Biblioteka Główna i OINT
Politechniki Wrocławskiej
100100259760

Biblioteka
Politechniki Wrocławskiej

069 II

ADOLF JAN MORAWSKI
INŻYNIER ELEKTRYK

# SIECI ELEKTRYCZNE I WSPÓŁPRACA ELEKTROWNI

NAKŁADEM STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH
WARSZAWA 1936

DRUKARNIA
TECHNICZNA
SPÓŁKA
AKCYJNA
WARSZAWA
CZACKIEGO
3/5
TEL.
614-67 i 277-98

Biblioteka Politechniki Wrocławskiej

352610 L/1

Inv. L. 9069.

Wyniesienie

Akc. 1260/51

Biblioteka Główna i OINT Politechniki Wrocławskiej 00045523

## OD STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH.

Oddając do rąk szerokiego ogółu elektryków nowe dzieło o sieciach elektrycznych i współpracy elektrowni inż. A. J. Morawskiego, Stowarzyszenie Elektryków Polskich wyraża głęboką radość, że dzieło to mogło być wydane nakładem Stowarzyszenia.

Cenna książka inż. A. J. Morawskiego porusza najbardziej istotne zagadnienia, dotyczące zakładów wytwórczych i urządzeń przesyłowych. Dla tych wszystkich, którzy stykają się z temi zagadnieniami, powyższa książka będzie niewątpliwie cennym nabytkiem i wielką pomocą w rozwiązywaniu zagadnień, stających codziennie przed każdym inżynierem i technikiem.

Warunki gospodarcze obecnej doby zmuszą elektrownie do szukania dróg jaknajbardziej taniego produkowania i przesyłania energji elektrycznej. Uwzględnił to w swej pracy inż. A. J. Morawski, poruszając w niej nietylko zagadnienia natury technicznej, lecz w znacznej mierze i zagadnienia natury gospodarczej i organizacyjnej.

Powstanie tego pierwszego dzieła z zakresu sieci elektrycznych i współpracy elektrowni zostało umożliwione dzięki ofiarnej i bezinteresownej pracy Autora, a wydanie zostało poparte przez Ministerstwo Przemysłu i Handlu. Uważamy za swój miły obowiązek złożyć na tem miejscu gorące podziękowanie zarówno Autorowi, jak i Ministerstwu Przemysłu i Handlu.

Wydajemy to pierwsze tak obszerne i źródłowe dzieło w przeświadczeniu, że dołożyliśmy wszelkich starań, aby wywiązać się należycie z trudnego zadania, i że przysłużyliśmy się dobrze sprawie elektryfikacji naszego kraju. Niewątpliwie książka inż. A. J. Morawskiego wzbogaci nasz dorobek na polu polskiej literatury elektrotechnicznej i zapełni lukę, odczuwaną dotkliwie przez wszystkich elektryków.

*Komisja Wydawnicza S. E. P.*

## OD AUTORA.

Przystosowanie elektryfikacji do dzisiejszych potrzeb życiowych łączy się ściśle z rozwiązaniem szeregu zagadnień, dotyczących współpracy wielu elektrowni, bez której przystosowanie takie nie jest możliwe. Zagadnienia te odnoszą się zarówno do dziedziny techniki jak i organizacji. Omówienie obu tych dziedzin jest przedmiotem niniejszej pracy.

Podstawy handlowe współpracy elektrycznej, które są niemniej ważne niż wyżej wymienione zagadnienia, zostały w pracy tej poruszone w sposób najogólniejszy, gdyż w szczegółach można je rozwiązać tylko przy rozpatrywaniu poszczególnych przypadków, a ponadto w tym zakresie nasza lileratura elektrotechniczna została wzbogacona pierwszorzędnej wartości dziełem inż. Vladimira List'a, Profesora Politechniki Czeskiej w Brnie, pod tytułem „Gospodarka w Zakładach Elektrycznych" (Warszawa 1933, nakładem Związku Elektrowni Polskich).

Praca niniejsza oparta jest na studjach praktycznych, przeprowadzonych przez autora w niektórych główniejszych ośrodkach elektyfikacyjnych Czechosłowacji, Austrji, Północnych Włoszech, Szwajcarji i Niemiec, oraz na studjach teoretycznych. Literatura, z której przy pracy tej korzystałem, jest wymieniona dla poszczególnych działów osobno, co ma na celu ułatwienie Szanownym Czytelnikom bliższego zajęcia się zagadnieniami, któremi specjalnie się interesują.

Wszystkim niżej wymienionym Firmom i Ich Przedstawicielstwom składam podziękowanie za uprzejmą pomoc w niniejszej pracy przez łaskawe zapoznanie mnie w Swych fabrykach ze szczegółami konstrukcyjnemi poszczególnych urządzeń, przyrządów i t. d. oraz przez bezinteresowne użyczenie mi fotografji i klisz:

A E G,

Ateliers de Constructions électriques de Charleroi,

Ateliers de Constructions électriques de Delle,

B B C,
Concordia Maschinen-und Elektrizitäts-Gesellschaft, Stuttgart,
Elin,
Hartmann & Braun A.-G.,
Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren-G. m. b. H.,
S. Kleiman i S-wie, Warszawa,
Koch & Sterzel,
Oerlikon,
Polsko-Duńskie Towarzystwo Izolatorów Norden, Sp. z o. o.,
Sachsenwerk Licht-und Kraft-Aktien-Gesellschaft,
Siemens,
K. Szpotański i S-ka Sp. Akc., Warszawa,
The Four Wheel Drive Sales Co.,
Westinghouse Electric International Company.

*inż. A. J. Morawski.*

Siersza-Wodna, w styczniu 1936 r.

# SPIS RZECZY

str.

Od Stowarzyszenia Elektryków Polskich
Od Autora
Wstęp 1

I. ANALIZA TEMATU 5

A. Określenie sieci okręgowej oraz elektrowni zawodowych i okolicznościowych

B. Określenie sieci wielkiej, sieci państwowej oraz elektrowni wielkiej 7

C. Określenie elektryfikacyjnej osoby prawnej 12

II. HARMONIZACJA PRACY WIELKICH PRZEDSIĘBIORSTW ELEKTRYFIKACYJNYCH Z OKRĘGOWEMI 13

III. ORGANIZACJA WSPÓŁPRACY ELEKTROWNI i SIECI 16

IV. WYDZIAŁ EKONOMICZNY (W. E.) 21

A. Biuro Statystyczne (B. St.) 27

B. Biuro Kalkulacji (B. K.) 28

C. Biuro Akwizycyjne i Propagandowe (B. A. i P.)

V. WYDZIAŁ TECHNICZNY (W. T.) 31

**A. Oddział ruchu (O. R.)**

1. Centralne Biuro Rozdziału Obciążeń (C. B. R. O.)

A. Środki łączności 34

1. Sieć telefoniczna państwowa 35
2. Sieć telefoniczna własna
   a. rozpięta na słupach państwowych
   b. rozpięta na słupach własnych
   c. sieć telefoniczna kablowa
   d. sieć telefoniczna kablowo-napowietrzna 36
3. Telegraf

4. Sieć telefoniczna na słupach z przewodami wysokiego napięcia
5. Telefonja wysokiej częstotliwości wzdłużprzewodowa 40
6. Radjotelegrafja 43
7. Stosowalność poszczególnych środków łączności 44

B. Pomiar zdalny 45

1. System kompensacyjny 47
2. System impulsowo-czasowy 48

C. Obsługa samoczynna i zdalna 53

D. Kierowanie rozpływem obciążeń 60

I. Zmiana przepływu energji między dwoma punktami zasilającemi

II. Zmiana przepływu energji w sieciach zamkniętych 70

III. Regulacja przepływu prądów mocnych oraz regulacja częstotliwości 73

1. Rozdział obciążeń dynamiczny 74
2. Rozdział obciążeń techniczny 76
a. Stopień nierównomierności regulatora
b. Charakterystyki regulatorów 77
c. Regulator z mechanizmem odwodzącym sztywnym 78
d. Stopień nieczułości regulatora 80
e. Samotna praca jednostki wytwórczej 81
f. Zmiana stopnia nierównomierności 84
g. Zmiana częstotliwości, liczby obrotów 85
h. Regulator z mechanizmem odwodzącym elastycznym 87
i. Uzyskiwanie stopnia nierównomierności w regulatorach o mechaniźmie odwodzącym elastycznym 89
j. Regulacja kombinowana jakościowo-ilościowa f-my BBC 91
k. Współpraca wielu jednostek wytwórczych zaopatrzonych w regulatory obrotów 93
l. Zniekształcone przebiegi statycznej charakterystyki regulacji 97
ł. Regulacja częstotliwości i regulacja mocy 98
m. Współpraca jednostki wytwórczej o regulacji częstotliwości z jednostką wytwórczą o regulaji mocy
n. Dobór szybkości dokonywania regulacji mocy i częstotliwości 101
3. Rozdział obciążeń gospodarczy czyli umowny 102
a. Podział jednostek wytwórczych na jednostki podstawowe, programowe i szczytowe 103
b. Praca jednostek wytwórczych podstawowych i programowych
c. Praca jednostek wytwórczych szczytowych oraz idea Spennemann'a zmiany ról podczas pracy anormalnej 105
d. Regulacja wielu jednocześnie pracujących jednostek szczytowych metodą zwykłą i metodą Graner'a 107
e. Rodzaje współpracy jednostek wytwórczych 108
f. Sposoby wzajemnego połączenia z sobą sieci współpracujących 110
g. Konfiguracja wzajemnych połączeń sieci współpracujących 111
α. Połączenie elektrowni o mocy małej z elektrownią o mocy wielkiej 112
β. Połączenie z sobą poszczególnych grup elektrowni 116

IV. Sprzedaż i zakup energji elektrycznej 118
1. Obrót energją elektryczną z udziałem pośrednika, t. j. przedsiębiorstwa sieciowego 119
2. Obrót energją elektryczną na zasadzie wzajemnej wymiany (H. Piloty) 120
3. Obrót energją elektryczną po cenach produkcji własnej (inż. F. Courtoy)
4. Obrót energją elektryczną po cenach zależnych od posiadanych rezerw mocy (F. J. Fowler)
5. Obrót energją elektryczną po cenach normowanych przyrostem kosztów własnych, spowodowanych wymianą energji (inż. T. Czaplicki) 121
V. Pomiar energji elektrycznej sprzedanej i zakupionej
VI. Wyzyskanie poszczególnych zakładów 125
E. Równowaga pracy równoległej 127
1. Statyczna równowaga pracy równoległej 136
2. Dynamiczna równowaga pracy równoległej 143
a. Równowaga dynamiczna wewnętrzna 150
b. Równowaga dynamiczna zewnętrzna 156
F. Regulacja napięcia w sieciach 159
Metody i systemy regulacji 160
I. Metoda indukcyjna 161
1. Transformatory regulujące pokrętne 162
2. Transformatory regulujące suwakowe 169
3. Transformatory regulujące przełączalne 172
4. Transformatory regulacyjne z zaczepami zmienianemi pod obciążeniem 173
II. Metoda kompensacyjna 177
1. System kompensacji sztucznej 178
2. System kompensacji naturalnej 183
A. Moc charakterystyczna linji
3. System kompensacji wyrównawczej (Dwight'a) 187
A System Baum'a utrzymywania napięć w sieci 188
a. Kompensatory synchroniczne 190
b. Kompensatory asynchroniczne 192
c. Porównanie kompensatorów synchronicznych i asynchronicznych
d. Dławiki kompensacyjne 193
4. Automatyzacja urządzeń kompensacyjnych 196
III. Uruchamianie sieci wielkich 197
IV. Odłączania dokonywane w sieciach wielkich
V. Zakończenie 198
G. Zwarcia 200
I. Ograniczanie wielkości prądów zwarcia 203
II. Ograniczanie czasu trwania zwarcia 207
A. Odłączanie zwarć 208
1. Wyłącznik olejowy z komorą wybuchową 218
2. Wyłącznik olejowy z komorą olejową 220

3 Wyłącznik sprężeniowy (powietrzny) 221
a. Wyłącznik powietrzny firmy Delle 222
4. Wyłącznik wodny 224
a. Wyłącznik wodny firmy AEG
b. Wyłącznik wodny firmy BBC 226
c. Wyłącznik rozprężeniowy (ekspansyjny) firmy Siemens-Schuckert
d. Wyłącznik olejowy konwekcyjny 227
5. Wyłącznik dejonizacyjny powietrzny 231
6. Wyłącznik dejonizacyjny olejowy 234
B. Lokalizowanie zwarć czyli selekcyjne odłączanie zwarć 235
Przekaźniki opornościowe (odległościowe) 239
1. Przekaźniki pozorno-opornościowe (impedancyjne) 264
2 Przekaźniki urojono-opornościowe (reaktancyjne) 267
3. Przekaźniki czynno-opornościowe (rezystancyjne)
4. Przekaźniki kombinowane czynno-opornościowe i częściowo urojono-opornościowe (rezystancyjno-cząstkowo-reaktancyjne) 268
a. Zwarcia dwufazowe 282
b. Zwarcia trójfazowe
c. Uziemienia jednoczesne w dwóch fazach
5. Charakterystyka najważniejszych konstrukcyj niektórych nowszych przekaźników opornościowych 287
a. Dr. Paul Meyer (AEG)
b. AEG 288
c. Siemens 295

H. Uziemienia 302

I. Kompensacja prądów uziemienia 306
1. W linjach jedno i wielotorowych, połączonych z sobą metalicznie (idea prof. Petersen'a)
a. Dławik gaszący Petersen'a
b. Dławik gaszący dysonansowy 314
c. Dławik gaszący R. Bauch'a 316
d. Dławik gaszący Reithoffer'a 317
2. W linjach dwutorowych, nie połączonych z sobą metalicznie lub nie zsynchronizowanych 318

II. Selekcja uziemionego odcinka 320

III. Podział sieci 321

J. Przepięcia 322

I. Rodzaje przepięć 323

II. Przenoszenie się przepięć przez transformatory 327
A. Przepięcia wewnętrzne 328
1. Przepięcia rezonansowe
2. Przepięcia łączeniowe 330
a. Przepięcia przy włączaniu obwodu otwartego
b. Przepięcia przy przyłączaniu obwodu zwartego na końcu 331
c. Przepięcia przy przyłączaniu otwartych przewodów napowietrznych do sieci kablowej
d. Przepięcia przy przyłączaniu otwartych przewodów kablowych do sieci napowietrznej 332
3. Przepięcia wyłączeniowe
4. Przepięcia zwarciowe 333
5. Przepięcia uziemienia

6. Przepięcia z przyczyn skombinowanych 334
a. Przepięcia wywołane przepaleniem się jednego bezpiecznika
b. Przepięcia wywołane jednoczesnem przepaleniem się dwóch bezpieczników
c. Przepięcia wywołane jednoczesnem zerwaniem się i uziemieniem jednego z przewodów
d. Przepięcia wywołane zerwaniem się jednego przewodu i jego opadnięciem na ziemię z jednoczesnem przepaleniem się bezpiecznika w drugiej fazie 335

B. Przepięcia zewnętrzne
1. Wyładowania statyczne powolne 336
2. Wyładowania statyczne nagłe 337
3. Bezpośrednie uderzenie pioruna w urządzenia elektryczne 338
4. Przepięcia indukowane 352
5. Fale uskokowe 354

III. Ochrona przeciwprzepięciowa 384
1. Izolacja urządzeń 386
2. Uzbrojenie ochronne 388
3. Linka ochronna uziemiona (odgromowa) 393
4. Zjawisko korony czyli ulot elektryczny i tłumienie fal 404
5. Rozpraszanie fal w punktach węzłowych 409
6. Działanie ochronne kabli 411
7. Dławiki gaszące 413
8. Uziemianie punktu zerowego
9. Dławiki uziemiające
10. Obszar niebezpieczny
11. Ochronniki łagodzące czoło fali 423
a. Wyłączniki ochronne
b. Dławiki 427
c. Tlejący przyrząd Dr. Paul Meyer'a 430
d. Pochłaniacz fal firmy Ferranti Incorporated, N. Y. City, U. S. A. 431
12. Ochronniki niszczące energję fali 433
a. Zabezpieczenie linji na jej końcu
b. Zabezpieczenie linji w jej ciągu 434
c. Wielkość prądu upustowego 437
d. Wielkość oporności upustowej 438
e. Wartość ochronna przyrządów przeciwprzepięciowych 441

A. Przyrządy przeciwprzepięciowe o wartości ochronnej stałej 442
1. Ochronnik rożkowy

B. Przyrządy przeciwprzepięciowe o wartości ochronnej zmiennej skokami 444
1. Ochronnik Dr. Bendmann'a
2. Ochronnik dwustopniowy firmy Siemens 445

C. Przyrządy przeciwprzepięciowe o wartości ochronnej zmiennej w sposób ciągły 446
1. Ochronniki zmienno-opornościowe (przelewowe) t. j. o oporności zmieniającej się odwrotnie do zmian wysokości przepięcia
a. Ochronniki thyritowe firmy General Electric Company 449
b. Ochronniki SAW firmy AEG
c. Ochronniki t zw. resorbitowe firmy BBC 450
d. Ochronniki firmy K. Szpotański i Sp., Fabr. Ap. El. w Warszawie 451

2. Ochronniki zaworowe t. zw. katodowe firmy Westinghouse i firmy Siemens 452
13. Koordynacja izolacji urządzeń 456
14. Iskierniki ochronne 467
15. Zakończenie 469

K. Zakłócenia pracy elektrycznej i ich likwidacja 473

I. Przerwy pracy elektrycznej i zapobieganie im
1. Przerwy pracy powodowane przez izolatory 475
a. Wady fabrykacji izolatorów: rysy i pęknięcia 477
b. Nierównomierny rozkład napięcia na poszczególne ogniwa wisiora 478
c. Układ przewodów na słupie 484
d. Zanieczyszczenie izolatorów
e. Sprawdzanie izolatorów podczas pracy
f. Przeciążenie mechaniczne izolatorów 487
2. Przerwy pracy powodowane przez obniżenie się wartości izolacyjnej urządzeń
3. Przerwy pracy powodowane przez przewody
a. Materjał przewodów: miedź, aluminjum, stal-aluminjum, aldrey
b. Drgania przewodów 489
c. Montaż przewodów 490
d. Niebezpieczeństwo powodowane przez stosowanie przewodów o różnym materjale
e. Sadź 491
α. Nagrzewanie przewodów 492
4. Przerwy pracy powodowane przez uszkodzenia transformatorów 495
a. Zabezpieczenia Buchholz'a 496
5. Przerwy pracy powodowane przez przyczyny żywiołowe 497
a. Zaciski ślizgowe
b. Słupy o poprzeczkach wahliwych
6. Przerwy pracy powodowane przez nieprawdopodobne skutki różnych zjawisk 499
7. Przerwy pracy powodowane przez złośliwość i urojenie 500
8. Przerwy pracy powodowane przez wadliwą budowę sieci
9. Przerwy pracy powodowane przez pożary 502

II. Likwidacja zakłóceń pracy elektrycznej 504
1. Likwidacja zakłóceń spowodowanych w zakładach wytwórczych oraz w stacjach sieciowych o obsłudze stałej 505
2. Likwidacja zakłóceń spowodowanych w sieciach napowietrznych oraz w stacjach bez obsługi stałej
a. Likwidacja zakłóceń pracy spowodowanych przez zwarcie
b. Likwidacja zakłóceń pracy spowodowanych przez uziemienia 508
c. Likwidacja zakłóceń pracy spowodowanych przez jednoczesne zwarcie i uziemienie 510
3. Likwidacja zakłóceń spowodowanych w sieciach kablowych 511
4. Likwidacja zakłóceń pracy powodujących obniżenie napięcia i częstotliwości 512

L. Synchronizacja 513
1. Różnica częstotliwości 514
2. Różnica napięć 517
A. Przyłączanie bez synchronizacji 518
B. Metoda synchronizacji częściowej 521

1. System synchronizacji t. zw. „Pull-in"
2. System synchronizacji przybliżonej 522
3. System synchronizacji t. zw. „Self-Synchronizing"
4. System synchronizacji pobieżnej zwykłej
5. System synchronizacji pobieżnej-ekspresowej 524
C. Metoda synchronizacji zupełnej
1. System przyśpieszonej synchronizacji zupełnej 526
2. System dokładnej synchronizacji
D. Synchronizacja samoczynna i odręczna
E. Synchronizacja sieci 527
F. Zamykanie pierścienia sieci okrężnej
G. Kryterja systemów synchronizacji 528

M. Regulacja czasu 531
2. Wielka Elektrownia w N. (W. E. w N.) 532
3. Wielki Zakład Rozdzielczy w N. (W. Z. R. w N.) 534
4. Punkt Węzłowy w N. (P. W. w N.)
5. Okręgowe Biuro Rozdziału Obciążeń w N. (O. B. R. O. w N.)

**B. Oddział Utrzymania i Rozbudowy (O. U.-Rb.)** 535
1. Biuro Zakupów i Magazyny (B. Z. i M.) 538
2. Biuro Utrzymania (B. U.)

Organizacja Oddziału 539
a. Środki Transportowe (S. T.)
b. Warsztaty (W.) 540
c. Laboratorjum (L.)
3. Inspektorat Sieciowy w N. (I. S. w N.) 541
a. Drużyna Pogotowia (Dr. P.)
b. Starsi Monterzy (St. M.) 542
c. Dozorcy Sieciowi (D. S.)
d. Magazyny Podręczne (M. P.)
e. Informacje Pomocnicze (I.) 543
4. Biuro Projektów (B. P.)
5. Biuro Rozbudowy (B. R.)
6. Biuro Naukowej Organizacji (B. N. O.)
7. Szkolenie Personelu (Szk. P.) 544
8. Kierownictwo Sieci Okręgowej (K. S. O.)
a. Biuro Obwodowe (B. O.)
b. Posterunek Sieciowy (Post. S.) 545
c Grupa Dyspozycyjna (Gr. D.)
d. Placówki (Pl.)
e. Elektrownie Zawodowe (E. Z.)
f. Elektrownie Okolicznościowe (E. O.)

**VI. WYDZIAŁ ADMINISTRACYJNY (W. A.)** 547
1. Dział Rachuby (D. R.)
a. Biuro Rachuby Ogólnej czyli Księgowości (Ks.)
b. Biuro Rachuby Technicznej (T.)
2. Dział Handlowy (D. H.)
3. Kasy (K.) 548

**VII. DORADCA PRAWNY (D. Pr.)** 549

**VIII. DORADCA TECHNICZNY (D. T.)**

**IX. WŁADZE NACZELNE**

A. Zarząd (Z.)
1. Sekretarjat (S.) 556

B. Nadzór 557
1. Wewnętrzny
a. Biegli Rewidenci
b. Komisja Rewizyjna (K. R.)
2. Zewnętrzny
a. Rada Nadzorcza (R. N.)
C. Walne Zgromadzenie Akcjonarjuszów (W. Z. Akc.) 561
Zakończenie 563
Literatura
Spis rysunków

# WSTĘP.

Niezmiernie trudne warunki bytu indywidualnego i społecznego zmuszają do posługiwania się jaknajekonomiczniejszemi metodami pracy. Zastosowanie elektryczności do wytwarzania, przesyłania i rozdziału energji pod względem ekonomji i wygody jest bezkonkurencyjne, toteż wielkie korzyści, jakie dla ogółu wypływają z wszechstronnego korzystania z energji elektrycznej przy tak wielu przejawach życia ludzkiego, spowodowały nadzwyczajny rozrost sieci elektrycznych i wprzągnęły do współpracy siłownie, pracujące do tej pory samopas. Z jednej strony gwałtowne powiększanie się obszaru pokrywanego sieciami corazto gęstszemi, a z drugiej strony współpraca wielu elektrowni stwarza nowe warunki pracy dla sieci i elektrowni, co wraz z przesyłaniem wielkich mocy na wielkie odległości stawia przed nami nowe zadania do spełnienia.

Możność należytego rozwiązania tych nowych zagadnień wymaga gruntownego poznania tworzących się nowych warunków pracy i odpowiedniego przygotowania i przystosowania się do nich. Drogą ku temu będzie racjonalne zorganizowanie wszystkich wysiłków i czynności zdążających do tego celu.

Jedynie celową organizacją jakiejkolwiek czynności, działania i t. d. jest organizacja naukowa, t. zn. ściśle przystosowana do „organizmu", do „ustroju", w danym przypadku sieci, i do warunków, w jakich organizm ten żyć musi. Ta sama organizacja, przeniesiona we wszystkich swych szczegółach z „wzorowo" działających sieci, dla których została stworzona, do sieci, pracujących w innych warunkach, nigdy nie daje oczekiwanych wyników. Organizacja wszelkich ludzkich wysiłków zależy od wielu czynników, a w żadnym innym przypadku nie jest tak bardzo uzależniona przedewszystkiem od warunków miejscowych jak właśnie w dziale elektryfikacyjnym. Dlategoteż praca niniejsza nie może dać gotowego i szczegółowego wzoru, który możnaby bezkrytycznie zastosować w każdych warunkach. Staraniem naszem będzie ujęcie tematu w sposób najbardziej ogólny, wskazujący właściwą drogę organizacyjną i ułatwiający w poszczególnych przypadkach opracowanie organizacji w szczegółach.

Chcąc dojść do organizacji, pojętej w ten sposób, należy przedewszystkiem przeprowadzić dokładną analizę tematu. Tak jak dla lekarza mimo głębokiej wiedzy lekarskiej niemożliwa jest stała opieka nad utrzymaniem w pełni sił fizycznych i umysłowych, w największej wydajności życiowej danego pacjenta bez dokładnej znajomości jego organizmu, tak też dla organizatora sieci nieodzowna jest znajomość ustroju danej sieci, jej terytorjalnego pokrycia, jej stosunku technicznego i handlowego z jednej strony do dostawców prądu, t. j. do elektrowni lub wielkich sieci, a z drugiej strony do odbiorców lub sieci okręgowych zwłaszcza, że w sieciach elektrycznych do spełnienia pewnych zadań można stosować różne organizmy, nietylko w różny sposób zbudowane, lecz często działające według różnych zasad. Skoro więc sieci elektryczne przy jednakowych zadaniach mogą być złożone z różnych organizmów, wymagają one różnego traktowania.

Dalej należy przejść do poznania ustroju sieci, jej części składowych, zadań tych części i ich sposobów działania, a skolei, zapoznając się z potrzebami sieci, t. j. z jej obsługą i czynnościami, które muszą być wykonywane dla utrzymania ruchu, zakończymy analizę.

Przedmiotem analizy będą najbardziej złożone organizmy sieciowe, a to celem objęcia możliwie wszystkich czynników, wpływających na organizację. Zdamy sobie wówczas dokładnie sprawę z zadań bądźto sieci wielkiej bądźteż sieci okręgowej i z czynności, warunkujących rozwiązanie tych zadań. W ten sposób automatycznie wyłonią się osoby, których obowiązkiem będzie spełnianie pewnych określonych czynności. Harmonizacja zadań i czynności unormuje jednocześnie wzajemne ustosunkowanie się osób, a rozciągłość sieci i warunki terytorjalne zadecydują o ilości zarówno osób jak i środków pomocniczych. Dzięki temu znane będą nieodzowne kwalifikacje tych osób oraz ich zakres działania i pomoc materjalna, jaka musi być dana im do dyspozycji. Wyznaczony przez nas zakres działania będzie jednak dotyczył raczej pewnej grupy pracowników niż jednostki. Musimy postąpić w ten sposób dlatego, że znane nam są jedynie rodzaje pracy, a nieznany jest jej rozmiar, który zależy od warunków miejscowych. Nie rozpatrujemy żadnego konkretnego przykładu organizacji, a pozatem zupełnie ścisłe wyznaczanie granic działania poszczególnych osób niezawsze jest celowe zwłaszcza tam, gdzie od pracownika oczekuje się, a nawet wymaga, przytomności umysłu i przystosowania się do warunków pracy, zresztą niezawsze dających się przewidzieć jako od nas często niezależnych. W takich przypadkach pracownik musi, a w wielu innych jestto pożądane, aby wykazał możliwie dużo inicjatywy. Natomiast ścisłe ograniczenie jego działalności prowadzi do automatyzacji ludzkich wysiłków, która zabija inicjatywę i oprócz zysków materjalnych nie przynosi pracownikowi tego, co jest dla niego najcenniejsze, t. j. zadowolenia z pracy, która to okoliczność nie jest bez znaczenia dla przedsiębiorstwa. Zdaniem naszem granice zakresu pracy poszczególnych pracowników powinny być tylko zaznaczone o tyle, aby uniknąć wzajemnego oglądania się pracowników na siebie, aby nie było wątpliwości, kto dane zadanie powinien wykonać, i aby normalne zazębianie się poszczególnvch prac odbywało się bez tarć i zgrzytów. Taką organizację możnaby nazwać organizacją naturalną.

Jedynie organizacja naturalna, t. j. ściśle dostosowana do warunków miejscowych, może zapewnić najkorzystniejsze pod względem technicznym i ekonomicznym wyniki. Należy tu podkreślić, że w organizacji sieci elektrycznych i współpracy elektrowni koszty pracy ludzkiej, umysłowej czyteż fizycznej, odgrywają o wiele mniejszą rolę niż w jakichkolwiek innych przedsiębiorstwach gospodarczych. Twierdzenie to nie ma bynajmniej na celu chęci uzasadnienia konieczności obsady personalnej nazbyt obfitej; przeciwnie, jak z dalszego ciągu tej pracy wynika, staraniem naszem będzie jaknajdalej posunięte zastąpienie pracy ludzkiej pracą odpowiednich maszyn, przyrządów i t. p. Człowiek otrzymuje rolę raczej odpowiadającą jego inteligencji niż sile fizycznej i jeżeli pracę jego będziemy ograniczali, to postąpimy tak, mając na widoku nie tylko, a w wielu razach nie tyle względy oszczędności, ile przedewszystkiem konieczność dawania pewnych impulsów z nadzwyczajną dokładnością, czyteż wykonywania pewnych czynności, reagowania na pewne zmiany, niedostępne dla obserwacji i odczucia ludzkiego. Przez wymianę człowieka na przyrząd wprowadzimy więc niejako nowy nerw do naszej organizacji, nerw konieczny, którego człowiekowi brak. Decydującym momentem jest tu dążenie do utrzymania się stale na największej wysokości wyzyskania urządzeń, a więc zapewnienia ciągłości produkcji i możliwie największej dostawy. Te dwa momenty uwzględnimy więc przedewszystkiem.

Dążeniem nowoczesnej techniki jest jaknajwiększe wyzyskanie sił przyrody z ograniczeniem pracy ludzkiej jedynie do kierowania temi siłami i nadzoru nad sprawnością ich pracy. Organizacja pracy maszyn i przyrządów musi więc być i jest stawiana zawsze na pierwszem miejscu. Dopiero do tej organizacji mechanicznej musimy dostosować organizację personalną. Należy więc zapoznać się również z czynnikami organizacji mechanicznej. Z drugiej strony celem naukowej organizacji jest nietylko zapewnienie sprawnej technicznie produkcji, t. j. wytwarzania możliwie doskonałego produktu (prąd o stałej częstotliwości, o jednakowem napięciu i t. d.), lecz przedewszystkiem gospodarcze ugruntowanie bytu, t. j. zapewnienie zdolności życiowej. Zanim przejdziemy więc do rozważań technicznych, koniecznem jest zastanowienie się nad wymaganiami gospodarczemi doby dzisiejszej, nad dynamiką ekonomiczną nowoczesnego ruchu elektryfikacyjnego, która jest powodem i umotywowaniem powstania nowych poważnych trudności w naszej pracy. Czynniki gospodarcze mają wpływ na organizację dostawy prądu elektrycznego nie mniejszy niż czynniki techniczne, dlategoteż muszą one być traktowane równorzędnie. Organizacja musi umożliwić i ułatwić wytrzymanie i zwalczanie konkurencji, z którą, jak w danym przypadku, spotykamy się we wszystkich dziedzinach stosowania prądu elektrycznego, jak to: do oświetlenia, napędu, grzejnictwa, celów chemicznych i t. d. Organizacja musi również zapewnić osiągnięcie największych zysków i jaknajwiększe obniżenie strat, związanych zarówno z wytwarzaniem jak i z przesyłaniem oraz dostawą gotowego produktu do miejsc jego spożycia. Z punktu widzenia gospodarczego będziemy traktowali prąd elektryczny jak towar conajmniej tak dobry jak każdy inny.

Organizacja sieci elektrycznych i współpracy elektrowni obejmuje zakres działań ludzkich szerszy, niż inne działy gospodarcze, gdyż w przeciwieństwie do nich musi normować jednocześnie i współmiernie zarówno wytwarzanie swego towaru, jak również jego przesyłanie i dostawę do miejsca odbioru. Celem nowoczesnej sieci elektrycznej jest takie normowanie produkcji i takie przesyłanie gotowego towaru, aby osiągnąć największe korzyści zarówno techniczne jak i gospodarcze.

# I. Analiza tematu.

## A. OKREŚLENIE SIECI OKRĘGOWEJ ORAZ ELEKTROWNI ZAWODOWYCH I OKOLICZNOŚCIOWYCH.

Pierwsze sieci, które zasilały prądem elektrycznym kilka lub kilkanaście miejscowości mniej lub więcej od siebie odległych, otrzymały nazwę „okręgowych" jako rozdzielające prąd na terenie pewnego okręgu. Początkowo sieć odgrywała rolę podrzędną tak, że elektrownie zasilające te sieci, przykuwały całą uwagę i troskę kapitału wyłącznie do siebie, a jako dostarczające prądu elektrycznego sieciom okręgowym zostały przez analogję nazwane „elektrowniami okręgowemi". Te dwie nazwy „elektrownia okręgowa" i „sieć okręgowa" nie wchodziły w kolizję z sobą dopóty, dopóki elektrownia mogła zaspokoić zapotrzebowanie swego okręgu. Sytuacja jednak zmieniła się zupełnie z chwilą, kiedy elektryfikacja przebojem zdobyła sobie przemysły tak konserwatywnie niedowierzające jej pewności ruchu, wygodzie i ekonomji, jak górniczy, hutniczy i inne przemysły ciężkie. Od tej chwili większość wydatków inwestycyjnych przenosi się z zakładu wytwórczego na zakład rozdzielczy wraz z jego zakładami przetwórczemi i przesyłowemi, t. j. sieć bezpośrednio zespoloną z odbiorcami wytwórni, a będącą niejako generalnym odbiorcą elektrowni. Wiemy, że o zdolności życiowej danego wytwórcy decyduje wyłącznie spożywca, a dopiero po wytworzeniu się rynku zbytu wchodzi w grę drugi czynnik życiowy: współzawodnictwo, które pociąga za sobą zastosowanie właściwych metod i urządzeń i to zarówno odnośnie do produkcji jak i dostawy. Znane to prawo, występujące z bezwzględną, zawsze jednakowo brutalną siłą we wszystkich przejawach życia gospodarczego, nie czyni oczywiście wyjątku i w stosunku do wytwórcy prądu elektrycznego.

Zrozumienie tego prawa przez wytwórców prądu spowodować musiało zwrócenie stale wzmagającej się ich uwagi na generalnego reprezentanta odbiorców, t. j. na sieć, a więc na zapewnienie jej rozrostu tembardziej, że zdobycie nowego spożywcy bez rozwoju sieci jest fizyczną niemożliwością. Z drugej strony poznanie przez spożywców nadzwyczajnych zalet energji elektrycznej było powodem stale zwiększającego się popytu na prąd. I oto dla sprostania zadaniom, przed któremi życie przemysłowe da-

nego okręgu postawiło elektryfikację, dla zasilania nadspodziewanie rozrastającej się sieci okręgowej nie wystarcza już jedna elektrownia okręgowa. Sieć okręgowa musi pobierać prąd już nietylko ze swego macierzystego zakładu wytwórczego, lecz i z wielu innych zakładów wytwórczych, zbywających prąd bądźto zawodowo bądźteż okolicznościowo. A wtedy konsument stracił już świadomość, czy prąd otrzymuje z elektrowni najbliższej czyteż z dalszej, a może nawet odległej od niego o kilkadziesiąt lub kilkaset kilometrów. Jest mu to zresztą obojętne. Wytwórca jest mu nieznany, lecz tylko bezpośredni dostawca, t. j. sieć.

Widzimy więc, że o ile sieć okręgowa nabrała specjalnego charakteru, o tyle jej zakład macierzysty „elektrownia okręgowa" niewiele już różni się od innych elektrowni. Cała różnica polega jedynie na tem, że elektrownia okręgowa produkuje prąd zawodowo, a inne elektrownie w danym okręgu zazwyczaj nie stanowią osobnej „osoby prawnej" i produkują prąd głównie dla potrzeb tego przemysłu, w skład którego wchodzą. Sprzedaż prądu nie stanowi więc dla nich głównego celu: jest ona dla nich jedynie okolicznościową lub pomocniczą. Nazwa „elektrownia okręgowa" jest więc czysto historyczna, toteż obejmujemy ją ogólniejszem pojęciem, jakiem jest nazwa „elektrownia zawodowa".

Mamy więc już do czynienia z siecią okręgową i elektrowniami zawodowemi i okolicznościowemi.

Ważne byłoby również dla nas zdanie sobie sprawy z wzajemnego stosunku sieci okręgowej do elektrowni zawodowej i okolicznościowej. Stosunek ten jest bezwątpienia taki sam, jak odbiorcy do dostawcy, jak spożywcy do wytwórcy. Różni się on jednakże od zwykłych tych pojęć tem, że z ogólniejszego ekonomicznego punktu widzenia — sieć okręgowa jest odsprzedawcą, elektrownia zawodowa zasadniczo wytwórcą, a elektrownia okolicznościowa zazwyczaj wytwórcą i odbiorcą.

Sieć odgrywa w gospodarce społecznej rolę pośrednika pomiędzy wytwórcą a odbiorcą, t. j. rolę ogniwa, koniecznego z punktu widzenia technicznego i ekonomicznego. Już z tych rozważań zauważyć możemy, że w danym okręgu zasilania, ściśle związanym z daną siecią okręgową, podaż prądu utrzymuje się w czasie na wysokości stałej, w każdej chwili określonej zdolnością wytwórczą wszystkich elektrowni przyłączonych do sieci i to zarówno zawodowych jak i okolicznościowych.

Popyt na prąd jest natomiast wielkością zmienną; zależy on od bardzo wielu niezależnych od siebie czynników, od rodzaju przyłączonych do sieci przedsiębiorstw, od ich przeżyć gospodarczych, konjunktur i kryzysów. Jeżeli w danej sieci okręgowej znaczny popyt na prąd wywołują takie przedsiębiorstwa, które ulegają jednoczesnym i jednoimiennym przeżyciom gospodarczym, to w tym przypadku przeżycia te odbijają się w przemożny sposób i na sieci okręgowej, a wówczas skutkiem np. kryzysu grupy odbiorców jednorodnych czyteż choćby jednego, ale znacznego odbiorcy, kalkulacja, oparta na przewidywanym pewnym popycie, może zachwiać całym rachunkiem handlowym sieci, a nawet spowodować niepokrycie jej kosztów stałych.

Ponieważ przedsiębiorstwa jednorodne na całym świecie grupują się w ten sposób, że ich zużycie energji elektrycznej przeważa zużycie tej

energji przez inne przemysły danego okręgu, jak np. przemysły włókiennicze, samochodowe, węglowe, naftowe i t. d., przeto przenoszenie z tych przemysłów przeżyć gospodarczych na sieci okręgowe byłoby na porządku dziennym. Z drugiej strony przy specjalnej konjunkturze dla tych przemysłów sieci elektryczne o stałej podaży i nieświadome chwili nadejścia tej specjalnej konjunktury dla swych odbiorców mogłyby nie być do niej przystosowane tak, że mogłyby nie sprostać popytowi, wywołując tem olbrzymie straty dla całego kraju, podobnie jak to np. miało miejsce w wielu krajach podczas wielkiego strajku angielskiego, gdy koleje, porty, okręty i t. d. nie mogły sprostać wymaganiom gwałtownie zwiększonej konjunktury przemysłu węglowego.

Oczywiście przy kryzysie takich odbiorców następuje w sieci okręgowej stan niejako nadprodukcji.

## B. OKREŚLENIE SIECI WIELKIEJ, SIECI PAŃSTWOWEJ ORAZ ELEKTROWNI WIELKIEJ.

Jednakże stan t. zw. nadprodukcji nie zawsze w danym okręgu jest zjawiskiem ujemnem, spowodowanem np. kryzysem u odbiorców jednorodnych. Stan taki bardzo często istnieje jako dar natury w postaci np. gazów ziemnych, występujących w ilości przewyższającej zapotrzebowanie miejscowe, rzek, dających się ujarzmić, jednak znacznie odległych od ośrodków przemysłowych i od odbiorców energji, lub też rzek, dostarczających energji w ilości większej niż ta, jaka racjonalnie może być spożyta na miejscu produkcji. Tylko w bardzo sprzyjających warunkach terenowych i wodnych możliwa jest akumulacja energji w postaci energji potencjalnej mas wodnych, doprowadzonych grawitacyjnie lub zapośrednictwem pompowania ze zbiorników wodnych, specjalnie do tego celu zbudowanych lub okolicznościowo w tym celu wyzyskanych, a specjalnie przeznaczonych np. dla celów przeciwpowodziowych. Są to jednak przypadki wyjątkowe, związane z dość pokaźnym nakładem pieniędzy. Pojemność takich zbiorników jest mniej lub więcej ograniczona. Służą one raczej do umożliwienia ekonomiczniejszego wyzyskania istniejących zakładów elektrycznych wytwórczych, niż do spekulacyjnego magazynowania naszego towaru, t. j. energji elektrycznej.

Jako przykład służyć może Zakład zbiornikowy Niederwartha zbudowany w Saksonji pod Dreznem (Riedel: Pumpspeicherwerk Niedarwatha. Mitteilungen der VDEW. Nr. 509/1930 r.):

Moc I rozbudowy . . . . . 60 000 kW
Dzienna zdolność wytwórcza . . 330 000 kWh, a więc max. wyzyskanie roczne:

$$\frac{330\,000\ \text{kWh}}{60\,000\ \text{kW}} \times 300\ \text{dni roboczych} = 1\,650\ \text{h rocznie.}$$

Kapitał zainwestowany wynosi 400 RMk/1 kW, podczas gdy kapitał zainwestowany w jednostce parowej waha się w granicach:

$$280 + 330\ \text{RMk/1 kW.}$$

Koszt więc tego zakładu jest wysoki nawet na stosunki niemieckie, gdzie według prof. Pomianowskiego (Przegląd Techn. Nr. 19—20/1932 r.), tego rodzaju zakłady kosztują średnio około 200 RMk.—.

Ta wysokość kosztu tłomaczy się tem, że przy I rozbudowie wykonano część robót II rozbudowy, po której ukończeniu moc zakładu wzrośnie do 150 000 kW, a dzienna zdolność pracodawcza do 580 000 kWh. Jednakże skutkiem tego wykorzystanie roczne spadnie do 1 150 h. Na tem właśnie granicznem wykorzystaniu oparty jest rachunek rentowności tego zakładu. Poniżej tego wykorzystania ten zakład się nie rentuje.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że wpompowanie wody wymaga energji:

$$N_{1KM} = \frac{1}{\eta_{i1}} \cdot \frac{Q_{m^3/sek} \cdot H_m \cdot 1000}{75}, \text{ gdzie}$$

$$\eta_{i1} = \underset{\text{elektr.}}{0{,}96} \times \underset{\text{odśrodk.}}{0{,}78} \times \underset{\text{tłoczenia}}{0{,}98} = 0{,}735$$

a woda spadająca daje w turbinie energję:

$$N_{2KM} = \frac{1}{\eta_{i2}} \cdot \frac{Q_{m^3/sek} \cdot H_m \cdot 1000}{75}, \text{ gdzie}$$

$$\eta_{i2} = \underset{\text{cisnące}}{0{,}94} \times \underset{\text{turbiny}}{0{,}87} \times \underset{\text{generator}}{0{,}97} = 0{,}793$$

to sprawność zakładu wodno-zbiornikowego wynosi:

$$\eta_{iw} = \eta_{i1} \cdot \eta_{i2} = 0{,}735 \cdot 0{,}793 = 0{,}582$$

a uwzględniając straty w przewodach elektrycznych i na transformowanie, sprawność zakładu wodno-zbiornikowego loco punkt zasilający otrzymamy:

$$\eta_i = \eta_p \cdot \eta_{iw} \cong 0{,}92 \cdot 0{,}582 = 0{,}535.$$

W Niederwartha $\eta_i$ waha się w granicach $0{,}50 \div 0{,}60$. Obliczona przez nas sprawność ta podobna jest do sprawności podanej przez prof. Pomianowskiego dla zakładu w Viverone koło Novarry (Bryła, Podręcznik Inżynierski I. str. 530).

Naogół więc sieci nie mogą magazynować prądu elektrycznego tak, jak magazynujemy inne dobra materjalne, przeto cena za prąd nie spada w przeciwieństwie do nadprodukcji każdego innego towaru; przeciwnie, cena ta w naturalny sposób dążyłaby do zwyżki z tego względu, że koszty stałe, przystosowane do produkcji normalnej, rozkładają się w tym przypadku na mniejszą ilość jednostek wyprodukowanych, a więc i sprzedanych kWh.

Jednakże zwyżce tej kładą tamę umowy, koncesje, uprawnienia, nadzory rządowe i t. d. A ponadto w takich momentach przemysły gorzej pracujące są bardziej czułe na zwyżki cen i raczej dążą do wydatnego obniżenia swych kosztów produkcji. W tych więc razach bardziej niż kiedykolwiek uwydatnia się przy sprzedaży prądu elektrycznego konieczność zacho-

wania zdolności konkurencyjnej z wszelkiego rodzaju innemi sposobami napędu, oświetlenia i t. d. Specjalny sposób kalkulacji, stosowany przez zakłady elektryczne, a oparty na ścisłych podstawach naukowych, wyklucza tu możliwość spekulacyjnego wetowania strat z lat chudych. Z tej trudnej sytuacji musimy szukać innych dróg wyjścia.

W tym celu biorąc pod uwagę sieci okręgowe całego kraju, możemy powiedzieć, że w każdej chwili mamy pewną ich ilość z podażą, równą popytowi, t. j. znajdującą się w stanie chwilowej równowagi, i z podażą, większą od popytu, oraz z popytem, przeważającym w danej chwili podaż.

Jak popyt i podaż każdego towaru dąży do zrównoważenia się przez drogi komunikacyjne, tak produkcja energji elektrycznej równoważy się ze spożyciem jej dzięki swym drogom specjalnym, t. j. sieciom elektrycznym, i to nietylko sieciom okręgowym, lecz również i sieciom dalekonośnym, których zadaniem jest wyrównywanie potencjałów ekonomicznych, powstających w poszczególnych sieciach okręgowych. Te sieci dalekonośne są więc szyną zbiorczą, zbierającą prąd z miejsca jego naprodukcji i oddającą go w miejsca przeważającego nad produkcją popytu, są niejako kołem rozpędowem, które w każdej chwili w danym punkcie kraju wchłania w siebie energję lub ją oddaje; są to tak zwane sieci wielkie (w Ameryce: super power), łączące poszczególne sieci okręgowe, i sieci państwowe (w Ameryce: giant power), które znów przez współpracę z sieciami wielkiemi utrzymują w stanie równowagi gospodarczej przemysł elektryfikacyjny całego państwa. Zauważymy przytem, że przez nazwę „państwowe" sieci nie przesądzamy tytułu własności tych sieci; nazwa ta ma być jedynie określeniem, że zajmują one teren całego państwa jako sieci otwarte lub zamknięte w bardzo wielkie oka.

Ze względu na tę równowagę gospodarczą powstanie takich sieci w krajach, które ich jeszcze nie mają, jest życiowo nieuniknione. Przy organizacji zatem wszystkich poszczególnych przedsiębiorstw elektryfikacyjnych powinniśmy mieć to na uwadze.

Oprócz chęci uniezależnienia się od kryzysów, występujących u odbiorców, stale poszukujemy dróg, wiodących do zwiększenia zysków. Z jednej strony ubytku zysków lub powstałych strat, spowodowanych pogorszeniem się konjunktury gospodarczej danego okręgu, nie możemy odzyskać przez podniesienie cen sprzedażnych wobec wspomnianych wyżej przyczyn, a z drugiej strony przypuszczamy, iż urządzenia nasze stoją na wysokości zadania zarówno pod względem technicznym jak i organizacyjnym tak, że o modernizacji ich i obniżeniu dzięki temu kosztów produkcji nie może być mowy. Musimy więc szukać innych środków dla odzyskania równowagi handlowej względnie zwiększenia zysków.

W tym celu zwrócimy uwagę na główne składniki naszych kosztów produkcji. Są to: koszty kapitału, stałe, niezależne od wyzyskania urządzeń i koszty ruchu proporcjonalne do produkcji. Tych ostatnich, jak już zaznaczyliśmy, nie jesteśmy wstanie zmniejszyć, pozostają więc tylko koszty kapitału, które w cenie jednostki wyprodukowanej, t. j. kWh, odgrywają główną decydującą rolę, tem większą, na im mniejszą ilość wyprodukowa-

nych kWh musimy je rozdzielić. Dotyczy to zarówno napędów cieplnych jak i przedewszystkiem napędu wodnego, gdzie nawet koszty ruchu są prawie wcale niezależne od wyzyskania urządzeń. Ponieważ koszty inwestycyjne elektrowni wodnych są przeważnie znacznie większe od kosztów inwestycyjnych elektrowni cieplnych, przeto koszty kapitału odgrywają tu jeszcze większą rolę. Dążeniem naszem musi więc być rozłożenie kosztów kapitału na produkcję wielką —z jednej strony przez możliwie największe wyzyskanie urządzeń, a z drugiej przez zwolnienie maszyn, stojących nieprodukcyjnie w rezerwie, jednakże bez zmniejszania pewności ruchu. Rezerwy te w różnych samopas pracujących elektrowniach są różne i o ile elektrownie zawodowe zadowalają się 100%-wą rezerwą, o tyle elektrownie kopalniane, szczególniej z dużą ilością wody, twierdzą, że 100%-wa rezerwa jest za mała, że wynosić ona powinna 200%—300%. Niekiedy spotykamy 500%-wą i nawet większą rezerwę. Oczywiście, jest wiele i takich elektrowni, które pracują zupełnie bez rezerwy wzgl. z rezerwą niezupełną bądźto w kotłach, bądź w maszynach napędowych, bądźteż w wodzie.

Wobec bardzo rzadkich, a przytem niejednoczesnych w poszczególnych przedsiębiorstwach przypadków konieczności korzystania z rezerw, przez wzajemne łączenie elektrowni zyskujemy możliwość zredukowania tych rezerw. Dzięki temu poza kosztami przyłączenia poszczególnych elektrowni do sieci okręgowych uzyskuje się możność znacznego zwiększenia podaży prądu bez angażowania w tym celu specjalnych kapitałów, a więc mamy możność rozłożenia kosztów kapitału na znacznie zwiększoną produkcję. W ten sposób w kalkulacji kosztów własnych składnik kosztów kapitału znacznie się zmniejsza.

Najbliżsi sąsiedzi nasi, Niemcy, przez jeden tylko rok 1924 zaoszczędzili, a raczej bez specjalnych, poza sieciami, inwestycyj uruchomili (według Dr. H. Passavant'a) 197 000 kW dzięki postępującej współpracy elektrowni tak, że moc maszyn, stojących w rezerwie łącznie z maszynami używanemi do pokrycia szczytów, wynosząca w 1924 roku 43,7% maszyn wytwarzających prąd wszystkich zakładów niemieckich, dzięki temu zmniejszyła się w 1925 roku do 39,5%.

Dzięki takim połączeniom elektrowni sieć okręgowa otrzymuje prąd po cenach znacznie zniżonych skutkiem wielkiego wyzyskania urządzeń elektrowni zawodowych, przejmujących obciążenia zasadnicze, i ma możność dla obciążeń szczytowych i pośrednich nabywania prądu elektrycznego okolicznościowo w wielu razach po cenie znacznie nawet tańszej od kosztów produkcji w podobnych warunkach wyzyskania swej elektrowni macierzystej. Dzieje się to skutkiem tego, że dane przedsiębiorstwa gospodarcze kosztami inwestycyj swej elektrowni oraz kosztami jej przy pracy jałowej obciążają swą własną produkcję, a nie pomocniczą produkcję prądu elektrycznego, nie mającą w większości przypadków zasadniczego znaczenia dla danego przedsiębiorstwa; a także dlatego, że dzięki sprzedaży prądu np. kopalnie pozbywają się najgorszego swego produktu czyteż odpadków produkcji, zalegających wielkie przestrzenie i niebezpiecznych ze względu na swą samozapalność, jak np. miału węglowego; wreszcie, że produkcja

prądu elektrycznego jest uzupełnieniem wyzyskania pary wrazie stosowania jej w wielkich ilościach do celów ogrzewania lub do bezpośrednich celów chemicznych.

Równowaga gospodarcza i dobrobyt kraju zależne są od sprawności i szybkości wyrównywania potencjałów gospodarczych. Dlategoteż w gospodarce społecznej tak wielką rolę odgrywa stan i ilość dróg komunikacyjnych, dzięki którym wyrównywanie to się odbywa. Jak już poprzednio zauważyliśmy, rolę dróg takich na rynku elektrycznym odgrywają sieci elektryczne o sprawności i szybkości „wyrównywania tych potencjałów" niedoścignionej na drogach innych rynków, a że prąd elektryczny po przedarciu się przez konserwatyzm wielkiego i ciężkiego przemysłu zbawienny swój wpływ wywiera i na odrodzenie i rozwój drobnego przemysłu, zgniecionego wynalazkiem i rozpowszechnieniem się maszyny parowej, i przeniknął do rolnictwa, gospodarstwa domowego, pałaców, wielkich domów i małych chat, stał się temsamem dominującym czynnikiem w gospodarce społecznej, dobrodziejstwem i błogosławieństwem ludzkości. A zatem elektryfikacja w gospodarce społecznej odgrywa rolę nie mniejszą niż tak potężny czynnik gospodarczy, za jaki uznano powszechnie koleje, okręty i inne środki komunikacji.

Jeszcze nie tak bardzo dawno temu wyzyskiwano siły wodne w miejscu ich występowania, a więc w miejscu, które niekoniecznie zapewniało osiągnięcie największych korzyści, gdyż niezawsze dały się z sobą pogodzić korzyści i dobre strony ujarzmienia wody we właściwem pod względem energetycznym miejscu ze złemi stronami tego samego miejsca dla celów produkcji tego dobra ekonomicznego, dla którego wytworzenia siła ta była potrzebna. Ówczesne trudności przesyłania siły wiązały z jednem miejscem zarówno wytwarzanie energji jak i produkcję fabryczną. W miarę tego, jak trudności przesyłania, a nawet i rozdziału energji, ściśle mówiąc, nietyle zniknęły, ile stały się stosunkowo nadzwyczaj łatwe do pokonania, miejsca produkcji fabrycznej zupełnie uniezależniły się od miejsc produkcji tej siły.

Taksamo do niedawna jeszcze było z elektrowniami zawodowemi. Powstawały one i działały właśnie w okręgach zużycia tej energji. Miały więc możność wyboru miejsca najkorzystniejszego pod względem rozprowadzenia i rozdziału prądu elektrycznego, lecz wybór miejsca najkorzystniejszego dla celów produkcji tego prądu ograniczać się musiał do okręgu zbytu. Elektrownie te stopniowo zastępowane lub uzupełniane są wielkiemi stacjami transformatorowo-rozdzielczemi, które korzystniej dostarczają prądu z elektrowni wielkich zbudowanych w miejscach dla produkcji energji najkorzystniejszych, t. j. przy samych źródłach energji, wpobliżu kopalń węgla kamiennego bądźto brunatnego czyteż ropy, w miejscach racjonalnie i korzystnie dającej się wyzyskać siły wodnej i t. d. Widzimy więc, jak dzięki rozwojowi sieci elektrycznych, elektryfikacja z zagadnienia gospodarczego miejscowego, „podwórkowego", stała się zagadnieniem gospodarczem o znaczeniu pierwszorzędnem, państwowem.

Z nieznanym do tej pory w historji rozmachem rozwija się elektryfikacja jako konieczność życiowa, wiążąc z sobą olbrzymie kapitały i intere-

sy najszerszych warstw społeczeństwa. Dla uruchomienia tych wielkich kapitałów i uzgodnienia interesów politycznych i gospodarczych rozwój elektryfikacji zaabsorbował w sobie zgodną współpracę Państwa, samorządu i społeczeństwa.

Wielkie sieci elektryczne łączą samodzielne a gospodarczo różne okręgi elektryfikacyjne. Ruch sieci musi być tak skoordynowany, aby samodzielność ta była utrzymana w takich samych granicach, w jakich kultura określiła swobodę człowieka dzikiego do człowieka cywilizowanego, żyjącego w społeczeństwie. Jak jednostka korzysta ze społecznego współżycia, tak też i społeczeństwo korzysta z poszczególnych swych jednostek. Dla dobra publicznego interes społeczeństwa stoi ponad interesem jednostki. I jakkolwiek jednostka musi nagiąć się do tego interesu i często zrezygnować z niektórych swych swobód, to ograniczenie tej swobody w społeczeństwie praworządnem nie wpływa na niekorzyść tej jednostki. Tak też jest i w elektryfikacji. Interesy sieci wielkich, jakkolwiek mogą one powstać dopiero tam, gdzie już istnieją sieci mniejsze, t. j. okręgowe, jako interes w pojęciu szerszem niż interes sieci okręgowych — jest pierwszy. Mimoto sieci wielkie nie mogą naruszać praw sieci okręgowych i odwrotnie: na jednym i tym samym terenie mogą zupełnie samodzielnie rozwijać się i działać, każda w granicach swych praw i uprawnień, spełniać swe zadanie, każda w imię swych gospodarczych interesów, lecz tak jedna jak i druga muszą pracować skoordynowanie i wzajemnie się uzupełniać.

## C. OKREŚLENIE ELEKTRYFIKACYJNEJ OSOBY PRAWNEJ.

Z dotychczasowych rozważań wynika, że obecnie używane nazwy: Elektrownia Miejska w N., Elektrownia Okręgowa w N. i t. p. są wprawdzie historycznie umotywowane, ale obecnie zupełnie niewłaściwe, gdyż pojęciem szczegółowem obejmują działalność ogólniejszą. „Elektrownie" te zajmują się oprócz wytwarzania energji elektrycznej, do czego przecież jedynie ogranicza się rola elektrowni czyli zakładu wytwórczego, także przetwarzaniem, przesyłaniem i rozdzielaniem tej energji. Dlategoteż przedsiębiorstwa te powinny się nazywać: Miejskie (Gminne) Przedsiębiorstwo Elektryfikacyjne w N. lub Przedsiębiorstwo Elektryfikacyjne Miasta (Gminy) N., Okręgowe Przedsiębiorstwo Elektryfikacyjne w N. lub Przedsiębiorstwo Elektryfikacyjne Okręgu N. i t. p. Analogicznie będziemy mieli np. Wielkie Przedsiębiorstwo Elektryfikacyjne Zagłębia Węglowego i t. p. Jeżeli natomiast czynności danej osoby prawnej ograniczają się do samotnej pracy poszczególnego zakładu, to wówczas idąc organizacyjnie wdół, będziemy mieli: Polskie Sieci Państwowe, Wielkie Sieci N., Okręgowe Sieci N., Obwodowe Sieci N., Miejskie Sieci N., Gminne Sieci N., Wielka Elektrownia w N. lub Wielki Zakład Elektryczny Wytwórczy w N., Elektrownia Zawodowa w N., Elektrownia Okolicznościowa np. Kopalni N. i t. p.

## II. Harmonizacja pracy wielkich przedsiębiorstw elektryfikacyjnych z okręgowemi.

Z rozważań, podanych w punkcie I. B., określających różne rodzaje sieci oraz elektrowni, a opartych na znaczeniu ich w życiu gospodarczo-społecznem, wynika ogromna waga sieci wielkich dla całego Państwa. Tego rodzaju sieci wielkie istnieć mogą jedynie w oparciu się o sieci okręgowe, które dla sieci wielkich stwarzają warunki, jeżeli nawet handlowo nie motywujące powstania takich sieci, to przynajmniej stwarzające pewne widoki rentowności sieci wielkich w najbliższej przyszłości, dającej się przewidzieć. Wielki rozwój sieci okręgowych jest więc koniecznym warunkiem powstania zorganizowanej gospodarki energetycznej w Państwie, a więc gospodarki wzmacniającej byt Państwa, zapewniającej Państwu najwyższą odporność gospodarczą i polityczną. Budowa nowych elektrowni bez względu na to, czy angażuje się w tym celu kapitał państwowy, samorządowy czyteż prywatny albo o jakiejkolwiek strukturze kombinowanej, może być przeprowadzona tylko w tym przypadku, gdy powstanie takich elektrowni jest niezbicie umotywowane brakiem wszelkiej możliwości otrzymania prądu z istniejących sieci okręgowych i gdy z chwilą pojawienia się tej możliwości lub też z chwilą powstania możności otrzymania energji elektrycznej z sieci okręgowej po cenach nie wyższych od kosztów wyprodukowania tej energji we własnej siłowni takie „prowizoryczne" elektrownie ustąpią miejsca transformatorniom, jak również i te z istniejących elektrowni, które nie mają danych, pozwalających się wyzyskać dla współpracy elektrowni. W przeciwnym razie każdy grosz, wydany na taką elektrownię, jest bezpowrotną stratą skutkiem niewłaściwego wykorzystania kapitału, tego środka wymiennego, który stanowi o bogactwie nietylko samej „osoby fizycznej czyteż prawnej", angażującej ten kapitał w budowie takiej elektrowni, ale i całego społeczeństwa, w którego skład dana „osoba fizyczna lub prawna" wchodzi. Takie prowizoryczne elektrownie w ogólnej gospodarce elektryfikacyjnej mogą być rozpatrywane jedynie w charakterze spożywców, podobnie jak i rozprowadzające sieci lokalne czyteż miejskie. Istnienie takich elektrowni wbrew wyraźnemu interesowi Państwa, dążącego do kon-

solidacji wszystkich państwowotwórczych wysiłków swych obywateli, możnaby określić jako żerowanie na chaotycznej i nieświadomej celu polityce energetycznej lub na braku tej polityki.

Jak z dotychczasowych rozważań wynika, pięć czynników odgrywa decydującą rolę w organizacji elektryfikacji, a mianowicie: elektrownie zawodowe, elektrownie okolicznościowe, sieci okręgowe, sieci wielkie i sieci państwowe.

Cztery pierwsze, jako noszące charakter miejscowy, mogą być pod decydującym wpływem osób prywatnych, samorządów lub też pod wpływem spółek mieszanych o dowolnem ustosunkowaniu się sił wpływowych prywatnych, samorządowych, czyteż nawet rządowych. Inaczej jednakże przedstawia się sprawa z sieciami państwowemi, które ze względu na ich znaczenie ogólno-państwowe powinny podlegać decydującym wpływom państwa.

W jaki sposób państwo zapewni sobie ten wpływ, czyto przez odpowiednio sformułowane warunki koncesyjne czyteż uprawnieniowe, czy przez zaangażowanie większego lub mniejszego kapitału, to jest już sprawą, której rozpatrywanie przekracza ramy niniejszej pracy. Pomijamy ją więc i zadowalamy się jedynie omówieniem czynników elektryfikacyjnych i jakgdyby rzuceniem na całe państwo siatki, w której każdem oku znajduje się sieć okręgowa wraz z jej satelitami, t. j. elektrowniami zawodowemi i okolicznościowemi oraz sieciami obwodowemi, miejskiemi i gminnemi. Oka te pomiędzy sobą mają relację lub w pewnych przypadkach mogą jej nie mieć i łączą się zależnie od miejscowych warunków w rozmaity sposób z siecią wielką, a ta ostatnia z państwowemi szynami zbiorczemi.

W ten sposób nawiązując jakgdyby łączność z sąsiadami wgórę (sieci wielkie) i wdół (sieci lokalno-miejskie), możemy zająć się organizacją sieci wielkiej bez obawy wyodrębnienia takiego „oka", t. j. sieci okręgowej wraz z jej satelitami z ogólnego planu elektryfikacyjnego.

Jako podstawę rozważań organizacyjnych wybieramy wielkie przedsiębiorstwo elektryfikacyjne dlatego, aby z jego organizacji, która jest najbardziej złożoną, po wyeliminowaniu wzgl. skoncentrowaniu pewnych działów, przejść do organizacyj wyższych lub niższych, jak np. okręgowego przedsiębiorstwa elektryfikacyjnego, a więc do organizacyj mniej złożonych, nie tracąc przytem nic na jednolitości.

Wypada podkreślić, że sieci wielkie mogą powstać dopiero wtedy, gdy w chwili powstania mają już zapewnionych odbiorców. Odbiorcami tymi są sieci okręgowe. Tak więc koniecznym warunkiem powstania sieci wielkich jest istnienie należycie rozbudowanych i zagospodarowanych sieci okręgowych. Sieci okręgowe najłatwiej będzie można łączyć i najchętniej będą się one z sobą łączyły, gdy interesy ich będą wspólne lub uzgodnione. Stąd wniosek, że koncerny elektryfikacyjne, łączące w sobie interesy wielu sieci okręgowych bez względu na to, czy sieci te są w bliższem lub dalszem sąsiedztwie z sobą, mogą w sposób naturalny, handlowo zdrowy, a więc realny tworzyć sieci wielkie przez wzajemne łączenie wszystkich swych sieci okręgowych. Możliwem jest, że w pierwszej chwili takie

połączenia odgrywać będą rolę połączeń rezerw; jestto już duża korzyść. Jednakże w następnej chwili, gdy obciążenie jednej z tych sieci okręgowych wzrośnie ponad jej własną podaż mocy, sieć wielka dostarczy brakującej mocy i w ten sposób oprócz rezerwy rozpocznie spełniać właściwe swe i stale zwiększające się zadanie.

W ten sposób będziemy mieli pewność zorganizowanej, uspołecznionej i sharmonizowanej pracy każdej z tych komórek z całym organizmem wszystkich innych gospodarczych wysiłków społeczeństwa.

Na zakończenie tego rozdziału zastanowimy się jeszcze nad różnicą „energetyczną" pomiędzy sieciami okręgowemi a wielkiemi. Otóż dla pierwszych z nich charakterystyczne jest to, że pomiędzy elektrowniami kierunek przepływu energji najczęściej jest zmienny. Elektrownie te często raz pobierają prąd, to znów go wysyłają. Jestto pewnego rodzaju wymiana. Natomiast wielkie sieci przesyłają prąd prawie zawsze jednokierunkowo. Pobierają one go z elektrowni badzo wielkich, zbudowanych nieprzygodnie, lecz celowo u źródeł energji i jedynym ich celem jest dostawa prądu elektrycznego do miejscowości daleko od źródeł tych położonych. W początkowym momencie swego istnienia sieci wielkie mogą pobierać prąd nawet wyłącznie tylko z sieci okręgowych o nadprodukcji.

Rola, jaką sieci wielkie odgrywają w stosunku do sieci okręgowych, jest taka sama, jak rola państwowej sieci wobec sieci wielkich. Zarówno sieci wielkie jak i państwowe świetnie nadają się do eksportu na wielką skalę energji elektrycznej do państw sąsiednich, jak to się już dziś odbywa między np. Szwajcarją a Niemcami, Austrją a Niemcami i t. d. Organizacyjnie sieci państwowe niczem się nie różnią od sieci wielkich. Różnice pomiędzy temi trzema zasadniczemi rodzajami sieci, t. j. państwowemi, wielkiemi i okręgowemi, działającemi wszystkie na jednym terenie, są:

*Popierwsze obszarowe, powtóre napięciowe.* Sieci państwowe obejmują obszar całego państwa, sieci wielkie obejmują obszar równy np. całej dzielnicy państwa, a sieci okręgowe obszar równy jednemu lub kilku powiatom. Oczywiście, że obszary dwóch ostatnich sieci niekoniecznie muszą pokrywać się z granicami administracyjnemi państwa, lecz raczej pokrywają się z granicami gospodarczemi. Co do różnic napięciowych, to sieci okręgowe zazwyczaj nie posiłkują się napięciem, przekraczającem 60 kV; sieci wielkie używają napięcia od 60 kV do 110 kV względnie 150 kV; sieci państwowe natomiast posiłkują się już napięciami 200 kV i wyższemi. Tak wielkie napięcia zwiększają trudności techniczne w prowadzeniu ruchu urządzeń, a to ze względu na wielką pojemność takich sieci, na trudną regulację napięć, na ochronę przed zwarciami i uziemieniami, na utrzymanie współpracy elektrowni w równowadze nietylko przy pracy spokojnej, lecz również i przy zakłóceniach i t. d. Nie stanowi to jednak jeszcze o odrębności organizacyjnej tak, że mówiąc w dalszym ciągu o sieciach wielkich, będziemy mieli stale na myśli także i sieci państwowe.

# III. Organizacja współpracy elektrowni i sieci.

Sieć elektryczna pobiera więc prąd z elektrowni, różniących się między sobą tak pod względem warunków produkcji jak i zainteresowania różnych kapitałów. Koszt kupna i cena sprzedażna tego prądu, warunki techniczne, prawne, miejsce i czas odbierania prądu i t. d. są to czynniki, które przedewszystkiem brane być muszą pod uwagę przy organizowaniu współpracy elektrowni.

Aby współpraca elektrowni doszła do skutku, musi być oparta na zdrowych zasadach handlowych. Każda tranzakcja handlowa jest tylko wówczas interesem, gdy obie strony, biorące w tranzakcji tej udział, są zadowolone. Tembardziej więc sieć elektryczna, jako pośrednik między wytwórcą a spożywcą, musi oprócz własnych zysków mieć na względzie zarówno interes wytwórcy we współpracy elektrowni, jak i interes spożywcy w odbiorze tej energji. Wszystkie te interesy muszą osiągnąć największe korzyści. Że takie uzgodnienie interesów nie jest rzeczą łatwą, dowodem tego może być ilość i różnorodność czynników, wpływających na osiągnięcie tych korzyści dla ogółu, i to czynników ściśle uzależnionych od warunków gospodarczych kraju.

Które z przyłączonych elektrowni, a często nawet i poszczególnych maszyn, wytwarzających prąd, mają stać i stanowić rezerwę, a które mają być w ruchu; które znów mają pokrywać obciążenia zasadnicze, a które szczytowe; która elektrownia i z jakim spółczynnikiem mocy ma pracować, krańcowo mówiąc: która z elektrowni ma dostarczać tylko prądu mocnego, a która bezmocnego, która z elektrowni i jaką ma odgrywać rolę w całym zespole równoległej wspólnej pracy, a która ma ją zastąpić w przypadku programowego lub przypadkowego jej unieruchomienia; czy znów korzystniej jest całą swą możliwość wytwórczą przeznaczyć na pokrycie zapotrzebowania stałego, a szczyty pokrywać z sąsiednich sieci okręgowych, czyteż z sieci wielkiej, czy odwrotnie: zasadnicze obciążenie pobierać z zewnątrz, a szczyty pokrywać z central własnego okręgu; czy, kiedy i ile energji można oddawać nazewnątrz okręgu własnego, a więc do sąsiednich sieci okręgowych lub też do sieci wielkiej — są to pytania, które muszą być stale roz-

wiązywane, aby wraz ze zmianą warunków gospodarczych osiągnąć największe korzyści.

Odpowiedzi na te pytania zależne są oczywiście od popytu na energję elektryczną i możliwości własnej produkcji; od wzajemnego ustosunkowania się obciążeń poszczególnych odbiorców; od nakrywania względnie wymijania się szczytów czyteż wyrównywania dolin przez szczyty obciążeń; od rodzaju napędu elektrowni, a więc od tego, czy jestto elektrownia wodna, parowa, gazowa, ropna i t. d.; od ilości materjału pędnego i jego dowozu, frachtu; od wielkości i rodzaju zbiorników wodnych, ilości rozporządzalnej wody w czasie; od własnych kosztów produkcji prądu w poszczególnych elektrowniach; od finansowego i organizacyjnego stosunku, ustalonego pomiędzy elektrowniami przyłączonemi a siecią elektryczną.

Wszystkie te warunki trafnych odpowiedzi są zmienne w czasie i to organicznie, t. j. zależnie od warunków pracy samej sieci, np. od sezonowości czyteż pewnej zmienności w czasie popytu i ekonomicznie, t. j. zależnie od zmian warunków gospodarczych. Tak więc i odpowiedzi muszą być zmienne.

Natomiast dla osiągnięcia największych korzyści konieczne jest możliwie szybkie, bezwładne wprost przystosowanie się sieci i całego zespołu współpracującego do zachodzących zmian organicznych czy też ekonomicznych. Jesto więc jedno z najważniejszych zadań, któremu musi sprostać cały aparat organizacyjny współpracy elektrowni.

Skolei wypada zastanowić się nad tem, jakie korzyści ma mieć na celu organizacja współpracy elektrowni. Pomijając już korzyści, wynikające z zerwania z dziką gospodarką elektryfikacyjną i przejścia do gospodarki zorganizowanej, celowej pod względem ekonomicznym i technicznym, rozpatrzymy dwie korzyści takiej współpracy, a mianowicie: 1. zapewnienie rezerw przedsiębiorstwom, które ich nie posiadają, oraz zwiększenie pewności rezerw przedsiębiorstwom, które je już mają, a to przez rozłożenie „ryzyka" na znaczną ilość siłowni; 2. zwolnienie trzymanych w nadmiarze przez inne przedsiębiorstwa rezerw dla celów produkcji prądu. Osiągnięcie pierwszej z tych korzyści jest niewątpliwe, o ile na danym obszarze przedsiębiorstwa, nie posiadające dostatecznych lub wogóle żadnych rezerw, nie przeważają nad przedsiębiorstwami z rezerwami. Jeżeli przyjmiemy za słuszne kryterjum, według którego Niemcy (Schönberg u. Glunk „Landeselektrizitätswerke") uważają, że rezerwa w wysokości 10% do 20% (w Anglji 15%; Sir Archibald Page i C. W. Marshall „The British Grid System and its Relation to Certain Technical and Economic Problems") mocy wszystkich maszyn wytwarzających prąd gwarantuje zupełną pewność ruchu, to dla produkcji prądu zyskujemy nie mniej niż 80% mocy wszystkich obecnie pracujących maszyn i to jedynie za cenę kosztów połączeń między poszczególnemi siłowniami, a ponadto zyskujemy na ogromnej elastyczności pod względem przejmowania znacznych obciążeń.

Pierwsza z wyżej wymienionych korzyści, t. j. dotycząca zwiększenia pewności ruchu, wystarcza już w zupełności dla zorganizowania współpracy elektrowni i uwypuklenia interesu różnych elektrowni do współudziału w tej organizacji. Co się tyczy drugiej korzyści, t. j. uzyskania do ruchu ponad 80% mocy, to dla zdania sobie sprawy z handlowego punktu

widzenia należałoby porównać koszty, związane z zainstalowaniem równoważnej mocy, z kosztami połączeń poszczególnych siłowni dla uzyskania tej samej mocy. Oczywiście porównanie to w pewnych, zresztą odosobnionych, przypadkach może wypaść na niekorzyść współpracy. Możemy jednakże powiedzieć, że naogół koszt połączeń będzie bezwzględnie mniejszy od kosztów powiększania istniejących względnie budowy nowych siłowni. Różnice tych kosztów możemy gospodarczo korzystniej użyć albo na rozbudowę zakładów rozdzielczych albotež na rozbudowę tych przemysłów, których elektrownie „okolicznościowo" biorą udział w zespole współpracy elektrycznej.

Okoliczność, wynikająca z wyżej wspominanego obliczenia, nie jest więc dla organizacji elektryfikacji hamująca, lecz przeciwnie — sprzyjająca.

Obecnie zajmiemy się przyrostem zapotrzebowania mocy elektrycznej po wyczerpaniu wyżej wymienionej mocy, zwolnionej z rezerw. Do tego celu wiodą dwie drogi: powiększanie istniejących lub budowa nowych elektrowni o napędzie cieplnym lub wodnym. Korzystać oczywiście należy zarówno z jednych jak i z drugich, tembardziej, że przy rozbudowanych sieciach miejsce ustawienia siłowni nie jest związane z miejscem produkcji prądu; dlategoteż o rodzaju napędu i miejscu ustawienia siłowni decydują już wyłącznie: najracjonalniejsze wykorzystanie naturalnych bogactw kraju w miejscu ich występowania, jakoto: węgla, torfu, ropy, gazu ziemnego, wody i t. d., jak i względy na interes i bezpieczeństwo Państwa. W tym przypadku jest więc możliwe do osiągnięcia daleko idące pogodzenie interesów kapitalisty z interesami społeczeństwa. W ten sposób nieużyteczne dotąd czyto odpadki węglowe, węgiel brunatny, łupki, wody, gazy, ulatujące dotąd w powietrze i t. d., stać się mogą nowem nieprzebranem bogactwem kraju, a to po uszlachetnieniu tych surowców przez zamianę ich na energję elektryczną. Bezwartościowe do tej pory źródła energji mogą więc stać się tem cennem dobrem ekonomicznem, które obecnie corazto częściej eksportuje się poza granice Państwa.

Z drugiej strony rozwój sieci elektrycznych i współpracy zwiększa pewność dostawy prądu elektrycznego oraz umożliwia powstanie różnorodnych przemysłów przetwórczych i wytwórczych w miejscach, do tych celów najodpowiedniejszych, niekoniecznie związanych z miejscami, zasobnemi w źródła energji.

Oprócz tego mamy możność wykorzystania różnych charakterystyk obciążeń poszczególnych odbiorców prądu, skutkiem czego uzyskujemy lepsze wyzyskanie maszyn i urządzeń, gdyż dzięki wielkim sieciom mamy przemysły, odbierające od nas energję elektryczną, o różnorodnej produkcji, pracujące w różnych warunkach i według rozmaitych systemów produkcji, rozmaicie geograficznie położone i rozmaicie na zmianę warunków gospodarczych reagujące. Według Dr.-Inż. Ludwika Musil'a dzięki zastąpieniu przygodnej pracy elektrowni, samopas pracujących, współpracą, a więc pracą według zgóry przemyślanego programu, oszczędność na kosztach produkcji prądu wynosi 5%—12%. W ten sposób jesteśmy wstanie osiągnąć najwyższe korzyści gospodarcze i możemy uniezależnić się od odbiorców pod względem zmian warunków gospodarczych, którym odbiorcy ci podlegają.

Wreszcie dzięki współpracy elektrowni oraz sieci wielkich i okręgowych wprowadza się do życia gospodarczego całego Państwa jeszcze jeden czynnik, wpływający na zrównoważenie ekonomiczne. Należy mianowicie zdać sobie sprawę z tego, dla przezwyciężenia jakich trudności powinna być przewidziana organizacja. Otóż do słabych stron współpracy, poza trudnościami utrzymania współpracy w równowadze, musimy zaliczyć także takie fizykalne zjawiska czy skutki, jak: zwarcia, uziemienia i regulację napięcia.

Mając więc na uwadze wszystko wyżej powiedziane, musimy podkreślić wielką rolę, jaką w omawianej przez nas organizacji odgrywa wzgląd ekonomiczny.

Powszechnie wiadomem jest, że twór doskonały technicznie, a wadliwy ekonomicznie, nie jest zdatny do życia. I odwrotnie: myśl doskonała ekonomicznie, a nie obleczona w celowe szaty techniczne, jest nierealna. Rozpatrując więc sprawy elektryfikacyjne tylko z jednego punktu widzenia, dochodzimy do wniosków fałszywych. Stąd wypływa konieczność zdawania sobie sprawy z ekonomicznych momentów, występujących w życiu gospodarczo-elektryfikacyjnem. Aby sąd był zupełnie trafny, powstaje konieczność współpracy elektryków z ekonomistami. Elektrycy, jako wyraziciele potrzeb i zadań, związanych z elektryfikacją, są z natury rzeczy sprawom tym najbliżsi, a przy poczynaniach swoich w tym kierunku nie mogą pomijać względu ekonomicznego, gdyż tylko wówczas powstanie możność wzajemnego zrozumienia się elektryka z ekonomistą, wzajemnej zgodnej współpracy i porozumienia się językiem zrozumiałym dla obu. Warunek ten jest tem konieczniejszy, że elektrotechnika, jako najmłodsza z nauk, ma język mało zrozumiały nawet dla techników innych specjalności, a cóż dopiero mówić o prawnikach i ekonomistach, którzy w olbrzymiej większości przypadków nie zdają sobie sprawy nawet z kilowata, z godziny, z kilowatogodziny, prądu, napięcia, przesunięcia faz, wykorzystania, spółczynnika wyzyskania i obciążenia i t. d. i oczywiście nie widzą różnicy pomiędzy temi wielkościami czyteż wartościami, a przecież pojęcia te mają zasadnicze znaczenie w życiu gospodarczem energetycznem.

Rozważanie elektryfikacji równorzędnie pod względem technicznym i ekonomicznym jest konieczne tembardziej, że elektryfikacja musi być uzgodniona z innemi przejawami życia gospodarczego całego Państwa.

Łatwo sobie wyobrazić, jak wielką krzywdę mogą wyrządzić tak ważnemu dla Państwa zagadnieniu, jakiem jest elektryfikacja, osoby, zajmujące wpływowe i decydujące stanowiska w administracji czyto państwowej, samorządowej czyteż prywatnej, a nie mające właściwego pojęcia w sprawach zależnych od ich decyzji. Toteż nic dziwnego, że kwestja ta została wyjaskrawiona przez życie przedewszystkiem w państwach o rozwiniętej już wysokiej kulturze elektryfikacyjnej. Dlatego też np. w Niemczech na uniwersytecie w Tübingen od roku 1928 zostały wprowadzone na wydziale prawnym i ekonomicznym wykłady o gospodarce elektrycznej.

Zdając sobie sprawę ze znaczenia elektryfikacji zarówno dla Państwa jako całości, jak i dla poszczególnych obywateli, należałoby ją w zaraniu jej rozwoju postawić na odpowiedniej platformie, którą, jak już poprzednio uzasadniliśmy, jest współpraca elektryków z ekonomistami. W interesie ogółu elektryfikatorów polskich byłoby stworzenie na naszych

uniwersytetach katedr z zakresu gospodarki elektrycznej dla prawników i ekonomistów, aby w ten sposób umożliwić im przygotowanie się do rzeczywiście pożytecznej i skutecznej współpracy z nami w tym tak ważnym przejawie naszego życia gospodarczego.

Aby współpraca elektrowni mogła się rozwijać, konieczne jest, jak już zaznaczyliśmy, oparcie jej na zdrowych zasadach handlowych. Ponieważ przy tak wielkich mocach i ilościach pracy, jakie wchodzą w grę przy współpracy, znaczne jest uzależnienie osiągnięcia najwyższego efektu gospodarczego od zewnętrznych stale zmiennych i najrozmaitszych czynników gospodarczych, przeto nad gospodarczą stroną współpracy w wielkich przedsiębiorstwach elektryfikacyjnych czuwać musi specjalny Wydział Ekonomiczny.

# IV. Wydział Ekonomiczny (W. E.).

Konieczność istnienia takiego Wydziału staje się zrozumiała, gdy weźmiemy pod uwagę wielką ilość współpracujących z sobą elektrowni, najróżniejszych pod względem własnych kosztów produkcji energji elektrycznej, materjału pędnego i t. p., pracujących najczęściej w warunkach technicznych i gospodarczych najzupełniej rozmaitych. Wydział ten musi więc czuwać nad tem, aby wszystkie dobre strony, czyto techniczne czyteż gospodarcze, czy wreszcie związane ze szczególnie korzystnem dla produkcji lub rozdziału prądu miejscem ustawienia danej elektrowni, były całkowicie wyzyskane, czyli innemi słowy, głównem zadaniem Wydziału Ekonomicznego jest pilnowanie, aby odbiór i rozprowadzenie energji odbywało się przy najmniejszych stratach, aby elektrownie były wyzyskane racjonalnie na zasadzie czysto handlowej i przy zapewnieniu największej pewności ruchu, aby nie wchodziły w grę względy sympatji czyteż antypatji do pewnych elektrowni oraz poszczególnych elektrowni między sobą. Obowiązkiem Wydziału Ekonomicznego jest stworzenie planu obciążeń i rozpływu energji zarówno mocnej jak i bezmocnej oraz prowadzenie gospodarki rezerw sił. Najracjonalniejsze wyzyskanie elektrowni i urządzeń wyklucza również możliwość powodowania się względami konkurencyjności przy regulacji odbioru mocy, pracy czyteż przepływu energji, czego ilustracją może być następujące rozważanie: powszechnie utarło się mniemanie, że elektrownie wodne są konkurencją dla elektrowni cieplnych. Tymczasem tak nie jest. Wprawdzie w pewnych przypadkach elektrownie wodne mogą dostarczać prądu taniej niż elektrownie cieplne, lecz prawie z zasady tylko przy wielkiem wykorzystaniu. Wody, które można wyzyskać jedynie dla wytwarzania prądu elektrycznego, muszą odpowiadać dwom warunkom: a mianowicie wód tych musi być dostateczna ilość i o dostatecznie wielkim spadzie. Natomiast wody z ujarzmionych rzek o średnich spadach i z rzek nizinnych mogą być brane w rachubę dla produkcji prądu elektrycznego tylko wtedy, gdy produkcję tę obciąża jedynie umożliwiająca ją handlowo część całkowitych kosztów inwestycyjnych tego ujarzmienia, a reszta inwestycyj obciąża inne korzyści gospodarcze, jakie z ujarzmienia tego wynikają dla kraju, jakoto: zapobieganie powodziom, nawadnianie łąk, odwadnianie bagien, uspławnianie rzek, zatrudnianie bezrobotnych i t. d. Koszt budowy elektrowni parowej przypadający na 1 kW

mocy zainstalowanej, jest naogół nieraz kilkakrotnie mniejszy od kosztu 1 kW mocy zainstalowanej w elektrowni wodnej. Dłuższy okres amortyzacyjny kapitału zainwestowanego w elektrowni wodnej powoduje uwzględnienie przy kalkulacji kosztów stałych odnośnej niższej stopy procentowej niż w elektrowni parowej. Natomiast oprocentowanie kapitału tak w jednym jak i w drugim przypadku jest jednakowe. Niższe oprocentowanie od wyższego kapitału inwestycyjnego w elektrowniach wodnych stoi więc wobec wyższego oprocentowania a niższego kapitału inwestycyjnego elektrowni cieplnej. W zwykłych warunkach wodnych koszty inwestycyjne elektrowni wodnej są tak wielkie w stosunku do kosztów inwestycyjnych elektrowni cieplnej, że przypadające na 1 kW mocy roczne koszty stałe, czyli t. zw. roczne koszty kapitału, wyrażone iloczynem sumy stóp procentowych (amortyzacja + oprocentowanie + odnowienie) przez kapitał, odpowiadający zainstalowanemu kilowatowi, są mniejsze w elektrowni cieplnej niż w wodnej. W elektrowni cieplnej jednak są koszty paliwa, których w elektrowni wodnej oczywiście niema. Dalej, jak już zaznaczyliśmy, prądu elektrycznego nie można produkować tak jak gazu, dlatego też nie można sprzedawać go po pewnej średniej cenie, lecz jedynie po cenie, uzależnionej od wykorzystania urządzeń wytwarzających prąd i sieci. Jeżeli więc dla jednego i drugiego przypadku kalkulację cen prądu przeprowadzimy zależnie od wykorzystania i porównamy ją z sobą, to dojdziemy do wniosku, że w średnich warunkach wodnych, t. j. przy przeciętnem ustosunkowaniu się rocznych kosztów elektrowni cieplnej do elektrowni wodnej, dopiero przy około 3 650 h rocznego wykorzystania koszt produkcji prądu w elektrowni wodnej zrównywa się z kosztami produkcji prądu w elektrowni cieplnej, co zresztą wynika z niżej podanego obliczenia:

| | Elektrownia | |
|---|---|---|
| | parowa | wodna |
| Koszty zakładowe, przypadające na 1 kW . | 600 zł | 1200 zł |
| oprocentowanie kapitału . . . . . | 8% | 8% |
| odpisy na fundusz odnowienia . . . . . | 4% | 2% |
| odpisy na utrzymanie, naprawę, obsługę . . . . | 2% | 1,5% |
| administracja, podatki, ubezpieczenia . . . . . | 6% | 3% |
| Razem . . . . . | 20% | 14,5% |
| Czyli na 1 kW i rok przypada . . . $k_p =$ | 120 zł | $k_w = 174$ zł |
| Paliwo, przypadające na bieg jałowy (niezależnie od obciążenia) rocznie: | | |
| $a = 8760$ h . 0,2 kg/1 kW i 1 h . 0,010 zł/1 kg = | 17,50 zł | — |
| Paliwo zależne od obciążenia: | | |
| $b = 1{,}0$ kg/1 kWh × 0,010 zł/1 kg . . . . = | 0,01 zł/kWh | — |

Wobec tego cena sprzedażna 1 kW wynosi:
w elektrowni parowej:

$$c_p = \frac{k_p + a}{t} + b$$

w elektrowni wodnej:

$$c_w = \frac{k_w}{t}$$

Ceny są więc zależne od $t$, t. j. od rocznej ilości godzin użytkowania mocy. Ceny prądu będą równe tak w elektrowni parowej jak i wodnej, gdy:

$$\frac{k_p + a}{t} + b = \frac{k_w}{t}$$

a więc przy wykorzystaniu elektrowni równem:

$$t = \frac{k_w - k_p - a}{b} = \frac{174 - 120 - 17{,}5}{0{,}01} = \frac{36{,}5}{0{,}01} = 3\,650 \text{ h}$$

Powyżej tego wykorzystania elektrownie wodne mogą oddać prąd taniej od elektrowni cieplnych. Dopiero przy wielkiem wykorzystaniu koszt paliwa zaczyna odgrywać znaczną rolę w cenie prądu, podczas gdy przy wykorzystaniu nikłem, t. j. zwykłem oświetleniowem, koszt węgla jest prawie bez wpływu na cenę kWh. Przy 3 000 h koszt paliwa, przypadający na 1 kWh, może w dużej elektrowni wynosić już 30% kosztów stałych 1 kWh, przy 7 000 h koszt paliwa może się zrównać z kosztami stałemi, a przy pełnem całorocznem wykorzystaniu, t. j. 8 760 h, koszt ten może przewyższyć np. o 30% koszty stałe, czyli że dla przemysłowych odbiorców prądu o wielkiem wykorzystaniu elektrownie wodne mogą oddać prąd taniej niż elektrownie cieplne, o ile warunki wodne pozwolą na osiągnięcie takiego wykorzystania i o ile możliwość tego wykorzystania zbiegnie się z czasem zapotrzebowania tej energji przez odbiorców oraz z ich możliwością spożycia w całości dostarczonej przez elektrownię wodną energji. Wiemy jednak, że obfitość wody mamy do dyspozycji niekoniecznie właśnie wtedy, gdy zapotrzebowanie prądu jest największe. Magazynować tę wodę w zbiornikach rocznych, a nawet miesięcznych, można tylko w wyjątkowych i nielicznych przypadkach, gdy możliwość stworzenia takich zbiorników jest wyjątkowym darem przyrody. Natomiast elektrownie cieplne w swej produkcji nie są ograniczone ani trudnością magazynowania paliwa, ani tembardziej porą roku. Ponadto dla spełnienia warunków ekonomicznej pracy istniejących elektrowni wodnych konieczne jest posiadanie możliwości sprzedania energji elektrycznej przy mocy, odpowiadającej rozporządzalnej w danej chwili wodzie. Przy wielkiej wodzie moc ta może być tak duża, że sprzedanie jej wymaga obszaru zasilania większego, niż wypadałoby to dla wody średniej, a z drugiej strony nawet ta „średnia" sieć mogłaby przy małej wodzie nie znaleźć w elektrowni wodnej zrównoważenia zapotrzebowanego przez nią prądu. Wiemy, że niektóre elektrownie wodne w lecie dają dużo energji, np. Górny Lech 321 milj. kWh, Klingenau 145 milj. kWh i t. d., natomiast w zimie mało (Górny Lech 124 milj. kWh, Klingenau 85 milj. kWh), a inne znów odwrotnie: w lecie dają mało energji, np. Weissbach 52 milj. kWh, Schluchsee 17 milj. kWh i t. d., a w zimie dużo (Weissbach 152 milj. kWh, Schluchsee 113 milj. kWh). Z powyższego jasno wynika, że warunki ekonomicznej pracy elektrowni wodnej wymagają współpracy z innemi sieciami i elektrowniami,

gdyż tylko wówczas istnieje możliwość wyzyskania wód 3—4-miesięcznych, nagłych dopływów wody oraz pewnego wyrównania sił wodnych z różnych grup rzek, w których największe wody nie występują równocześnie. Dlategoteż nie może być mowy o konkurencji jednych elektrowni z drugiemi: są one wzajemnem uzupełnieniem siebie.

W związku z tem spotykamy się z takiem zadaniem: z jednej strony dla osiągnięcia największych korzyści gospodarczych wypływa konieczność wykorzystania każdej kWh możliwej do wyprodukowania w elektrowniach wodnych, gdyż niewykorzystanie takie jest bezapelacyjne i bezpowrotną stratą. Wypadałoby więc produkcję elektrowni cieplnych dostosowywać do każdoczesnej możliwości produkcji elektrowni wodnych. Innemi słowy: elektrownie cieplne powinny uzupełniać produkcję elektrowni wodnych odpowiednio do zapotrzebowania sieci. Z drugiej strony wiemy, że elektrownie cieplne pracują ekonomicznie jedynie wówczas, gdy praca ta odbywa się z możliwie największem wykorzystaniem ich urządzeń. Dążeniem elektrowni cieplnych jest więc utrzymywanie się na możliwie wysokiem i stale jednakowem obciążeniu. Natomiast zapotrzebowanie na prąd powoduje stale szczyty obciążeń, których przejęcie przez jedne lub drugie elektrownie musiałoby spowodować obniżenie ich wyzyskania i rentowności. Pogodzenie tych okoliczności dla zapewnienia elektrowniom jak-ekonomiczniejszej pracy można osiągnąć jedynie w skoordynowanej ich współpracy na wspólną sieć. Wtedy to nieekonomicznie pracujące elektrownie cieplne elektrownie wodne zbiornikowe, elektrownie o napędzie silnikami spalinowemi, jak np. Dieslami, na których użycie w jednostkach tak wielkich, jak np. 15 000 KM (Grosskraftwerk Neuhof-Hamburg, port), a nawet 23 400 KM, pozwala nadzwyczajny postęp techniki w tej dziedzinie, mogą być korzystnie użyte dla pokrywania zapotrzebowania szczytowego. Szczególnie w wielkich miastach stosuje się do tego celu również przetwornice z odpowiednią baterją akumulatorów, zainstalowanych w odpowiedniem miejscu. Mają one jednak ograniczony zakres stosowalności tak ze względu na znaczne koszty inwestycyjne jak i koszty utrzymania.

Akumulatory bywają stosowane dla wyrównania szczytów obciążeń krótkotrwałych, wynoszących około 1 godziny. Na najkorzystniejsze rozwiązanie tego zagadnienia ekonomicznego pozwoli wreszcie pompowanie w chwilach mniejszego obciążenia wody do zborników, które w chwilach zwiększonego obciążenia oddadzą energję w nich zamagazynowaną. Co do elektrowni z przepompowywaniem wody do zbiorników, to dzięki wspólnym i rozległym sieciom nie jesteśmy ograniczeni w wyborze miejsca najkorzystniejszego dla stworzenia tego rodzaju zbiorników i elektrowni. Klasycznym przykładem takiego zakładu wodno-zbiornikowego jest elektrownia Hengstey, opisana w Nr. 22 z r.1928 czasopisma „Wasserkraft und Wasserwirtschaft" w artykule Spetzler'a „Stausee und Pumpenspeicher Hengstey". Elektrownia ta korzysta z wody, którą wpompowuje sobie przez 14 nocnych godzin do zbiornika wodnego, położonego o 160 m wyżej od elektrowni, przyczem korzysta z prądu elektrowni obcych. Zbiornik ten ma pojemność 1 200 000 m³. Ten zapas wody wyzyskuje się następnie w ciągu 6—10 godzin pracy dziennej dla produkcji prądu na pokrycie szczytów zapotrzebowania energji elektrycznej w ilości około 400 000 kWh. Wypada zazna-

czyć, że zbiornik ten oprócz wody z pomp nie ma żadnego innego dopływu wody.

Możliwa jest także kombinacja polegająca na użyciu zasobników pary systemu Dr. Ruths'a, które można ustawić nawet pod gołem niebem, przyczem przy wykonaniu pionowem zajmują bardzo małą powierzchnię gruntu i które przy ich wykorzystaniu dziennem, nie przekraczającem 3½ godzin, są o około 30% tańsze od równoważnej im instalacji kotłowej, a koszty pracy są około 40% mniejsze. Nawet w niewielkich elektrowniach zastosowanie tych zasobników pozwala na zaoszczędzenie na samem tylko paliwie średnio 15% (Dipl.-Ing. F. Ohlmüller: „Der Ruths-Dampfspeicher"). Zasobniki Ruths'a zastosowano na większą skalę poraz pierwszy w elektrowniach w ojczyźnie wynalazcy,t. j. w Szwecji w Malmö w r. 1922. W elektrowni tamtejszej głównem zadaniem zasobników było pędzenie ekonomiczne turbogeneratora, który pobierał ilość pary, niewiele przekraczającą zapotrzebowanie jej przy biegu jałowym, gdy turbogenerator dostarczał sieciom prądów bezmocnych, natomiast znaczną ilość pary wtedy, gdy wrazie nagłego wzrostu obciążenia mocnego w sieciach przejmowała to obciążenie na siebie w tak krótkim ułamku sekundy, że żarówki zmiany tej zupełnie nie odczuwały. Urządzenie to odgrywało więc rolę doskonałej rezerwy momentalnej, nie osiągalnej w żaden inny sposób przy takim samym kapitale zainwestowanym i kosztach ruchu. Niemcy, zachęcone wspaniałemi wynikami osiągniętemi w Malmö, zastosowali poraz pierwszy zasobniki Ruths'a w roku 1924 w elektrowniach kolejowych (Hamburg), gdzie poprawiają one znacznie sprawność kotłowni, a potem w końcu 1929 r. w elektrowni w Charlottenburgu ustawiono pod gołem niebem baterję, złożoną z 16 zasobników, każdy o pojemności 312,5 $m^3$ i ciśnieniu zdawczo-odbiorczem 1,5—14 atm. Zasobniki te pracują tam na dwie turbiny, zbudowane specjalnie dla odbioru z nich pary, każda o mocy 20 000 kW, i od 7-ej do 9-ej h pokrywają szczyt o mocy 10 000 kW, a od 16-tej do 20-tej h szczyt, osiągający nawet 40 000 kW; w tym czasie oddają one pracę, wynoszącą 67 000 kWh. Koszty urządzenia tego wynoszą przy 40 000 kW mocy oddawanej 200 RM/1 kW, zużycia pary 9,1 kg/kWh. W innych przypadkach koszt ten zniża się nawet do 140 RM/1 kW. Natomiast zwykła szczytowa elektrownia kosztuje niemniej niż 280—330 KM/1 kW.

Zasobniki Ruths'a przynoszą wielkie korzyści często i przy tego rodzaju kombinacji, że zasila się je parą, otrzymaną podczas dolinowego obciążenia z kotłów elektrycznych, a podczas występowania szczytów uzupełniają one moc, jaką potrzebuje sieć w chwilach tych obciążeń; uzupełniają one więc tę moc ponad ekonomiczną zdolność wytwórczą przyłączonych do sieci elektrowni. Podobne urządzenie elektryczno-parowe, lecz wyzyskujące parę, nagromadzoną w odpowiedniej chwili w zasobnikach, dla celów ogrzewalniczych w chwilach zwiększonego zapotrzebowania pary, działa już w Monachjum.

Widzimy więc, że jedynie przy skoordynowanej pracy wszelkiego rodzaju elektrowni możliwa jest racjonalna produkcja i rozdział prądu elektrycznego. Zauważymy jeszcze, że, jak już wyżej wspomnieliśmy, koszty zmienne zaczynają odgrywać rolę dopiero przy większem wykorzystaniu, co znów jest wskazówką, że możliwość produkcji prądu bez tych kosztów

zmiennych, t. j. produkcja wodna, powinna być jaknajbardziej wykorzystana. Wielkie elektrownie nowoczesne o małem zużyciu paliwa na 1 kWh, oddaną na sieć, powinny przejąć stałe obciążenie, a elektrownie starsze, mniej ekonomiczne, i wszystkie t. zw. pożeracze pary czyteż paliwa powinny być przeznaczone do pokrycia szczytów, gdyż tutaj mamy do czynienia z wykorzystaniem niewielkiem, przy którem koszty paliwa, przypadające na 1 kWh, nie odgrywają żadnej roli wobec kosztów stałych. Oczywiście elektrownie szczytowe muszą leżeć możliwie blisko rejonu występowania szczytów, a elektrownie obciążeń podstawowych powinny znajdować się u źródeł energji. Jak widzimy, wszystko przemawia za pracą równoległą elektrowni, dzięki czemu także elektrownie starsze z punktu widzenia ekonomicznego będą mogły być należycie wyzyskane. Współpraca może uratować od niechybnej zagłady te elektrownie, pracujące samopas, które skutkiem złego wykorzystania nie mogą należycie zwiększyć konsumcji z przyczyny ceny za prąd wprawdzie uzasadnionej, lecz zbyt wysokiej, ani też poprawić swego fatalnego stanu finansowego przez modernizację urządzeń. Modernizacja taka wpływa na zmniejszenie się zużycia paliwa, a koszt paliwa, wobec innych kosztów przy pracy ze złem wykorzystaniem, jest znikomo mały. Wynosi on np. przy 3000 h rocznego wyzyskania 30% całkowitych kosztów produkcji prądu, przy 1000 h tylko 13%, jak to już zresztą zaznaczyliśmy poprzednio. Stąd wniosek, że wysokie koszty, związane z modernizacją, mogą nietylko nie dać pożądanego wyniku, lecz przeciwnie jeszcze bardziej podrożeć produkcję już i tak nierentującej się elektrowni, podczas gdy przy współpracy elektrownia taka otrzyma albo rolę pokrywającej obciążenie zasadnicze i wówczas najdalej idąca modernizacja jest na miejscu, alboteż rolę pokrywającej szczyty, dzięki czemu dotychczasowe jej urządzenia będą mogły być korzystnie wyzyskane, gdyż w tym przypadku większe lub mniejsze zużycie węgla nie odgrywa roli. W ostatniem dziesięcioleciu rozwija się jeszcze jedna możliwość lepszego wykorzystania tych elektrowni, a mianowicie ich współpraca cieplna z nowopowstałemi centralnemi zakładami zaopatrywania w cieplik mieszkańców większych miast, szpitali, teatrów, zakładów przemysłowych, oranżeryj i t. d. Tego rodzaju współpraca elektrowni z takiemi zakładami istnieje już w Niemczech w około 15 miastach, jak np. w Monachjum, Charlottenburgu, Hamburgu, Dreznie i in. O korzyściach, wynikających z połączenia gospodarki cieplnej z gospodarką elektryczną, można najlepiej wnioskować z obliczeń Dipl.-Ing. Margolis'a, które wykazują, że 15—25%-wą cieplną sprawność elektrowni można w ten sposób podnieść aż do 85% lub nawet wyżej dzięki zmniejszeniu tą drogą strat cieplika w kondensacji tak, że stosując turbiny przeciwprężne, naogół z łatwością można wyprodukować 1 kWh wydatkiem np. 1200 kaloryj zamiast 6000—7000 kaloryj, jak to obecnie jeszcze wydatkuje wiele elektrowni. Przy zastosowaniu rurociągów cieplnych o dostatecznie dużej średnicy straty na przenoszeniu ciepła są niewielkie i naprzykład już przy średnicy rury 300 mm wynoszą 1,5% na 1 km rurociągu.

Jak widzimy, Wydział Ekonomiczny ma bardzo złożone i ważne zadania, które wymagają szeregu prac ciągłych, analizujących czynniki, wpływające na rozwiązanie tych zadań i w rezultacie na wyciągnięcie wła-

ściwych wniosków o znaczeniu bezpośrednio wpływającem na rentowność i celowość istnienia całego przedsiębiorstwa. Ogrom tych prac wymaga należytego ich usystematyzowania i podziału. Dlategoteż występuje konieczność podzielenia Wydziału Ekonomicznego na poszczególne Biura.

### A. Biuro Statystyczne (B. St).

Powyżej zauważyliśmy, że do rozwiązania tak złożonych zagadnień koniecznem jest poznanie bardzo wielu czynników, często zupełnie od siebie niezależnych, a zmiennych w czasie. Gruntowne poznanie tych czynników, poznanie praw, rządzących ich zmiennością, wreszcie śledzenie każdorazowego ich stanu — są to główne zadania Biura Statystycznego. Dzięki tym danym można wyciągać dalsze wnioski, dotyczące prowadzenia odnośnych działów całego przedsiębiorstwa elektryfikacyjnego, oraz można sprawdzać skuteczność odnośnych zarządzeń i posunięć czyto natury technicznej czyteż handlowej. Aby to było możliwe, praca Biura Statystycznego musi być celowa. Należy żądać od tego biura danych, dotyczących wyłącznie tych czynników, które mają istotny wpływ na sprawy nas interesujące z wykluczeniem wszelkiego balastu, utrudniającego nietylko prace statystyczne, lecz gmatwającego je do tego stopnia, że dane istotne tracą swą przejrzystość i wartość orjentacyjną i informacyjną. Biuro Statystyczne zasadniczo dostarczać ma wiadomości trzech rodzajów: 1) natury ekonomicznej, 2) handlowej, 3) technicznej. Pierwsze z nich obchodzą nas ze względu na wykorzystanie lub przystosowanie się do zmian konjunktury gospodarczej, która obchodzi nas zarówno w odniesieniu do odbiorców prądu, a to dla orjentacji co do zapotrzebowania prądu w najbliższej przyszłości, jak i w odniesieniu do materjałów, potrzebnych do produkcji, przesyłania lub przetwarzania prądu. Oczywiście, najważniejsze z nich to koszty paliwa, a więc węgla, ropy i t. d., koszty robocizny i t. d. Co do wiadomości natury handlowej, to przedewszystkiem będą to dane, dotyczące kosztów produkcji prądu w poszczególnych zakładach wytwórczych, straty przesyłania, rozdzielania i przetwarzania tak w całem przedsiębiorstwie elektryfikacyjnem jak i w jego częściach i t. d. Wreszcie wiadomości techniczne odnoszą się do zapasów paliwa lub wody, dopływu i stanu wody, obciążeń mocnych i bezmocnych w poszczególnych punktach sieci, produkcji prądu, ilości sprzedanego prądu, strat, przerw w dostawie lub w poborze prądu, mocy i pracy sprzedanej, możliwości wytwórczej i t. d. Źródłami tych wszystkich wiadomości są raporty z wszystkich zakładów wytwórczych, rozdzielczych, biur, placówek i t. d., wchodzących wskład całego przedsiębiorstwa; pomocnemi są również publikacje bądźto rządowe bądźteż prywatne. Nie trzeba dodawać, że raporty statystyczne powinny być ułożone w ten sposób, aby z jednej strony nie przedstawiały dla personelu trudności w ich wypełnianiu, a z drugiej strony ułatwiały prace Biura Statystycznego. Ściśle określoną część danych statystycznych, zebranych w ten sposób, Biuro Statystyczne perjodycznie przesyła do zainteresowanych biur, a inną część znów przechowuje u siebie; z tej części korzystać mogą tylko pewne biura. Naogół wiadomości statystycz-

ne traktuje się jako tajemnicę służbową, dostępną tylko w pewnej mierze pewnemu określonemu personelowi, natomiast zupełnie niedostępną dla reszty personelu, a tembardziej dla ludzi obcych.

## B. Biuro Kalkulacji (B. K.).

Dzięki danym, zebranym przez Biuro Statystyczne, można opracować rozplanowanie obciążeń i to zarówno mocnych jak i bezmocnych oraz kierunku przepływu energji w ten sposób, aby przy rozporządzalnych środkach technicznych osiągnąć jaknajwiększe korzyści gospodarcze. Jednakże przy planowaniu zapewnienia tych korzyści Biuro Kalkulacyjne musi mieć na uwadze konieczność utrzymania pewności ruchu. Dlategoteż musi być ono poinformowane dokładnie o każdoczesnej możliwości produkcyjnej, przetwórczej, rozprowadzającej i t. d. wszystkich swych zakładów, jak również i o zapotrzebowaniu prądu. Stosownie do tych informacyj Biuro to opracowywuje podział ról między poszczególne elektrownie (lub wrazie potrzeby nawet pomiędzy poszczególne maszyny wytwarzające prąd), t. j. wyznacza które z nich mają pracować, przejmując obciążenia zasadnicze, które przejmą na siebie obciążenia zmienne i dzięki temu będą utrzymywały częstotliwość na pewnej określonej wysokości, które mają być trzymane w rezerwie dyspozycyjnej wobec części, znajdującej się w remoncie lub rewizji. Oczywiście dotyczy to zarówno kotłów, zespołów wytwarzających prąd jak i maszyn pomocniczych. Wreszcie Biuro Kalkulacyjne prowadzi gospodarkę węglem, ropą, wodą i t. d.

Biuro Kalkulacyjne opracowuje rozplanowanie obciążeń i energetyczne wyzyskanie poszczególnych zakładów, obejmujące okres czasu całoroczny. Następnie plan ten bardziej szczegółowo zostaje opracowany na każdy poszczególny kwartał roku. Te plany kwartalne są stale sprawdzane i uzupełniane, jednakże tak, aby na dwa tygodnie przed upływem kwartału plan pracy całego zespołu współpracującego i poszczególnych jego Zakładów był ostatecznie podany do wiadomości zainteresowanych osób. Na 5 dni przed upływem każdego miesiąca zostają ostatecznie ustalone i rozesłane plany pracy na każdy następny miesiąc. Wreszcie na 12 godzin naprzód podaje się plany pracy na każdy dzień następny.

## C. Biuro Akwizycyjne i Propagandowe (B. A. i P.).

Wydział Ekonomiczny przeprowadza najściślejsze kalkulacje, dotyczące przejęcia, rozdziału i oddawania prądu elektrycznego, orjentuje się najlepiej co do kosztów produkcji i przeniesienia energji elektrycznej oraz wpływających na to różnych czynników, jak naprzykład miejsca i czasu odbioru czy przejęcia, spółczynników mocy i wykorzystania, wystarczalności urządzeń i innych możliwości i konieczności technicznych i t. d. Wydział ten musi więc również zająć się sprawą sporządzania umów o dostawę i sprzedaż prądu elektrycznego. Prace te wykonywa specjalne Biuro Akwizycyjne. Zakres działania tego Biura jest tylko o tyle ograniczony, że

z chwilą zawierania umów, dotyczących wymiany energji elektrycznej w większych rozmiarach, ma ono zwykle w takiej sprawie tylko głos referenta, głos doradczy, a faktycznie umowy zawierają między sobą z jednej strony Zarząd (Rada Nadzorcza) przedsiębiorstwa elektryfikacyjnego, a z drugiej strony Zarząd odnośnego zakładu wytwórczego. Biuro Akwizycyjne zwykle nie decyduje samodzielnie także wówczas, gdy przyłączenie jakiegoś odbiorcy połączone jest z wielkiemi kosztami inwestycyjnemi. Biuro to musi być nadzwyczaj ruchliwe, aby wyzyskać każdą możliwość dostawy prądu elektrycznego. Każde zaniedbanie lub opóźnienie w akwizycji powoduje bezpowrotną stratę dla przedsiębiorstwa. Tak jak nie można odzyskać straconego czasu, tak też nie powetuje się strat, spowodowanych przez niewyzyskanie możliwości w danej chwili wyprodukowania i sprzedania prądu elektrycznego. Przysłowie „czas to pieniądz" nie znajduje nigdzie tak dobrego zastosowania jak w elektryfikacji. Jestto jeszcze spotęgowane przez tę okoliczność, że kapitaliści, zaangażowani w sieciach i elektrowniach, mają zawsze czas swej działalności na danym terenie ograniczony odpowiedniemi umowami, koncesjami czyteż uprawnieniami. Im wcześniej więc przyłączy się danego odbiorcę czyteż grupę odbiorców, tem przez dłuższy przeciąg czasu kapitaliści otrzymują większe zyski. Przyłączanie nowych odbiorców jest jednak połączone z nowemi kosztami inwestycyjnemi. Te nowozaangażowane kapitały inwestycyjne będą wyzyskane tem lepiej, im większą ilość odbiorców dzięki nim zyskamy. Dlatego też Biuro Akwizycyjne musi rozporządzać dużemi środkami pomocniczemi, propagandowemi i t. d. Dotyczy to szczególnie akwizycji w sieciach okręgowych, a więc średnich i drobnych odbiorców. Chwiejną równowagę budżetową, uzależnioną w mniejszym lub większym stopniu od konjunktury największych odbiorców, staramy się ustalić przez możliwie liczne przyłączanie drobnych odbiorców oświetleniowych i przemysłowych. Wprawdzie odbiorcy ci powodują w elektrowniach małe wykorzystanie urządzeń i wymagają angażowania stosunkowo dużych kapitałów inwestycyjnych, zwiększają koszty ruchu, utrzymania, administracji oraz powodują występowanie szczytów obciążeń, mimoto jednak dla tych odbiorców prąd elektryczny jest artykułem codziennego użytku, a więc tylko w nieznacznej mierze ulegającym w zużyciu wahaniom i niezależnym od konjunktury. Pozatem odbiorcy ci należą do rzędu najlepszych płatników. Wpływy gotówki od tych odbiorców są zawsze pewne. Złe wykorzystanie ich instalacyj można poprawić przez propagandę jaknajwszechstronniejszego zastosowania prądu elektrycznego. Wprawdzie najczęściej wmiarę wszechstronniejszego stosowania prądu elektrycznego trzeba zwykle wzmacniać sieci rozprowadzające, gdyż moce rozprowadzane zwiększają się, jednak dzięki temu szczyty stają się bardziej płaskie, ponieważ użytkowanie przeróżnego rodzaju przyrządów i grzejników rozkłada się na cały dzień, a w każdym razie nie wypada w chwili występowania szczytu oświetleniowego. W przypadku stosowania nocnego prądu grzejnego ten rozkład obciążeń staje się jeszcze bardziej równomierny. Można więc śmiało twierdzić, że przyłączenie każdego żelazka, kuchenki, odkurzacza czyteż wentylatora i t. p. zwiększa wykorzystanie urządzenia, a co za tem idzie, i sieci. Dlatego też propaganda wszechstronnego stosowania elektryczności w życiu

codziennem jest jednem z najważniejszych zadań przedsiębiorstw elektryfikacyjnych. Toteż przedsiębiorstwa te, pod względem kupieckim racjonalnie prowadzone, poświęcają wiele starań i pieniędzy dla osiągnięcia najkorzystniejszych wyników gospodarczych z tej propagandy, dla której nietylko organizują wielkie stałe i ruchome wystawy wzorów wszelkiego rodzaju przyrządów i grzejników, lecz również sprzedają je na dogodnych warunkach, t. j. na spłaty ratalne. Sprzedaż ta ma na celu wyłącznie zyski, wynikające ze zwiększonego zbytu prądu, lecz nigdy ze sprzedaży tych przyrządów, które nietylko oddaje się bez zysku, lecz często nawet poniżej kosztów własnych, a nabywając je hurtowo jest się wstanie oddawać je odbiorcom po cenach najniższych i udostępnić ich nabycie nawet niezamożnym. Dając do użytku towar wyłącznie w gatunku pierwszorzędnym, unika się zniechęcenia nabywców przez udowodnienie w bezpośredni i namacalny sposób niezawodności działania przyrządów elektrycznych oraz wygody i ekonomji, nieosiągalnej w takim stopniu żadnemi innemi środkami.

Wyniki pracy i wysiłków tego Biura (B. A. i P.) śledzi i bada Wydział Ekonomiczny (W. E.) oczywiście zapomocą statystyki. Najlepiej i najbardziej obrazowo bada się rozwój stosowania energji elektrycznej zapomocą schematu sieci, wkreślonego na mapę t. zw. ślepą, t. j. taką, która oprócz nazw miejscowości, nas interesujących, nie posiada żadnych innych szczegółów terenowych. Schemat taki dotyczy sieci wysokich napięć wraz z transformatorniami, stacjami rozdzielczemi oraz odbiorami bezpośredniemi, t. j. z wysokiego napięcia. Podobnie jak przy elektrycznem obliczaniu sieci wkreśla się na schemacie sieci rozpływ prądów i mocy, tak Biuro Statystyczne (B. St.) wkreśla na ślepej mapie dopływ gotówki z poszczególnych miejscowości poprzez transformatornie i sieci do elektrowni lub innego punktu, zasilającego sieć w energję elektryczną. Oczywiście nie zależy nam tu na dokładnem rozdzieleniu dopływającej gotówki pomiędzy poszczególne gałęzie sieci, lecz chodzi o dokładne określenie dopływu z każdej miejscowości. Jeżeli taką „mapę" uzupełniać będziemy corocznie, wypisując na niej odnośne sumy dla każdego roku innym kolorem, to otrzymamy doskonały obraz zmian, jakim dopływ gotówki ulegał w danej miejscowości, w danej części terenu oraz na całym terenie. Jeżeli osobną taką mapę wykreślimy dla wpływów za sprzedaną energję dla celów oświetleniowych i gospodarstwa domowego, oddawaną przy użyciu liczników, osobno za energję, sprzedawaną ryczałtowo, osobno dla energji, zużytej na oświetlenie uliczne, drobny napęd i wreszcie dla odbiorców, z którymi zostały zawarte umowy indywidualne, wówczas otrzymamy dokładny obraz zmian, zachodzących w sprzedaży energji według interesującej nas taryfy. Osobna mapa może znów informować nas o łącznych wpływach z danej miejscowości za całą rozsprzedaną tam energję. Wreszcie jako uzupełnienie tych wiadomości można zanotować na mapie zaludnienie miejscowości, ilość zainstalowanych lampek, silników, interesujących nas specjalnie przyrządów i t. p. Odczytując mapy w ten sposób sporządzone, z łatwością można zdać sobie sprawę z dochodowości sieci, możliwości akwizycyjnych i konieczności skierowania specjalnego wysiłku propagandowego na pewne miejscowości

# V. Wydział Techniczny (W. T.).

Wydziałowi Technicznemu powierzone jest osiągnięcie wszystkich korzyści gospodarczych. W tym celu dzieli go się zasadniczo na dwa oddziały: A. Oddział Ruchu, którego zadaniem jest utrzymanie w pracy wszystkich organizmów elektryfikacyjnych, oraz B. Oddział Utrzymania i Rozbudowy, który tworzy nowe organizmy i utrzymuje je w stanie najwyższej możliwej do osiągnięcia zdolności pracodawczej. Przejdziemy teraz do bliższego omówienia przedewszystkiem zadań poszczególnych oddziałów.

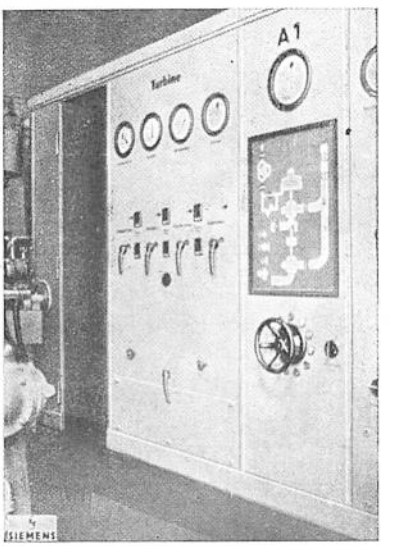
## A. ODDZIAŁ RUCHU (O. R.)

### 1. Centralne Biuro Rozdziału Obciążeń (C. B. R. O.).

Biuro to jest odpowiedzialne za prowadzenie pracy według rozkładu obciążeń, który otrzymuje z Wydziału Ekonomicznego. Pragniemy podkreślić, że współpraca C. B. R. O. z Wydziałem Ekonomicznym musi być bardzo ścisła i skoordynowana, gdyż często trudno jest przeprowadzić dokładną granicę między czynnościami obu tych biur. Rozkład obciążeń opracowany jest w ten sposób, że przy normalnych warunkach pracy ruch, prowadzony według niego, zapewnia najwyższe korzyści ekonomiczne całemu zespołowi przy zachowaniu jednak największej możliwej do osiągnięcia pewności pracy. W normalnych warunkach praca odbywa się więc ściśle według rozkładu, a w nadzwyczajnych przypadkach, jak np. przy zakłóceniach pracy, spowodowanych czyto wypadkami żywiołowemi czyteż przyczynami, których źródło leży w samym ruchu, zmianami w obciążeniu, które nieoczekiwanie mogą wystąpić u pewnych odbiorców i t. p., C. B. R. O. musi działać według własnego uznania tembardziej, że tylko zasadnicze zjawiska dadzą się przewidzieć, jednakże i one występują w tak rozmaitej formie i w tak różnorodnych warunkach, że niemożliwem jest ustalenie już naprzód recepty działania zapobiegawczego lub likwidującego. W podobnych przypadkach konieczne są dyspozycje bezzwłoczne i muszą być ściśle spełniane przez odnośne posterunki. Dyspozycja, wydana błędnie lub niewyraźnie, może spowodować nieobliczalne wprost straty.

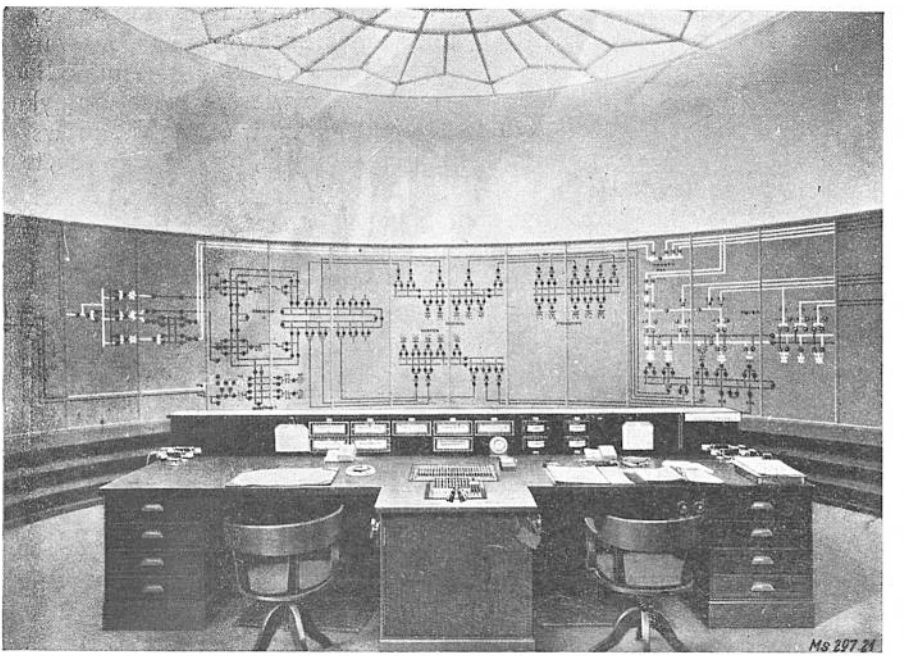
Charakterystyką personelu C. B. R. O. musi być ścisłe i jasne formułowanie dyspozycyj, spokój, rozwaga, zrównoważenie, przytomność umysłu i to niezachwiana nawet jednoczesnem spiętrzeniem zagadnień, zapotrzebowań, wypadków i t. d. oraz dokładna znajomość warunków miejscowych całego zespołu. Tak doborowy personel może być wybrany jedynie na zasadzie dłuższych obserwacyj z pośród długoletnich pracowników poszczególnych zakładów zespołu, przyczem wiadomości swe natury miejscowej personel ten musi odświeżać przez częste zwiedzanie wszystkich poszczególnych zakładów. Rozumie się, że warunki pracy tego Biura powinny być w ten sposób stworzone, aby personel był całkowicie odizolowany od zewnętrznych wpływów, odciągających jego uwagę od właściwego przedmiotu, t. j. od takich wpływów, które wrazie wypadku mogłyby potęgować napięcie nerwowe personelu lub wywołać albo zwiększyć możliwości powstania zamieszania i towarzyszącego zwykle temu t. zw. tracenia głowy. Z tego względu lokal tego Biura powinien być zawsze wyodrębniony nawet z tego zakładu, w którego pobliżu znajdowałby się. Zresztą sąsiedztwo takie nie jest ani konieczne ani potrzebne. C. B. R. O. może się znajdować w miejscu dla swej pracy najlepszem, chociażby nawet było zainstalowane zupełnie gdzieindziej niż największy zakład wytwórczy czyteż inny danego zespołu. Jednak ze względu na oszczędność na linjach, służących dla łączności, pomiaru oraz obsługi z odległości, wskazanem jest obranie dla C. B. R. O. miejsca, znajdującego się wpobliżu środka obciążeń sieci. C. B. R. O. musi być zaopatrzone we własne niezależne źródło prądu (np. akumulatory). Jestto konieczne dla wyeliminowania tego Biura spod wpływów zakłóceń elektrycznych miejscowych czyteż większych. Konieczność ta wypływa zarówno z potrzeby uchronienia personelu od wrażenia, wywieranego na niego przez wahnienia w oświetleniu właśnie w chwili, wymagającej największego skupienia i ześrodkowania myśli, jak i z potrzeby posiadania beznagannego oświetlenia i stałego napięcia dla sygnalizacji i znaków świetlnych, któremi Biuro to posiłkuje się dla własnych celów orjentacyjnych. Lokal tego Biura powinien również izolować personel od zewnętrznych impulsów świetlnych (błyskawice) jak i akustycznych (grzmoty) lub wpływu odgłosów z ulicy. Jednem słowem, cechą charakterystyczną lokalu C. B. R. O. to najzupełniejszy spokój i kompletna izolacja od wpływów zewnętrznych. — C. B. R. O. działa na prawach dyktatora. Dyspozycje jego muszą być bezzwłocznie i bezapelacyjnie ściśle wykonane, gdyż z różnych względów, a m. i. ze względu na brak czasu, wykluczone jest tłomaczenie się wobec osób, mających wykonać pewną czynność, z celowości tej czynności jak również i uzasadniać wydaną dyspozycję. Na tem polega ograniczenie swobody poszczególnych zakładów, o którem pisaliśmy poprzednio. Dlategoteż C. B. R. O. musi znajdować się poza sferą wpływów jakichkolwiek osób czyteż kapitału i w dyspozycjach swych może kierować się jedynie względami natury technicznej w rozkładzie obciążeń. Służba w C. B. R. O. musi oczywiście odbywać się i względami gospodarczemi wskazanemi przez Wydział Ekonomiczny nieprzerwanie w dzień i w nocy. Za sprawne działanie tego Biura odpowiedzialny jest bezpośrednio jego kierownik, którym jest zawsze inżynier, łączący w sobie zalety doskonałego praktyka z głęboką wiedzą teoretyczną.

Na zewnątrz występuje on jako dyktator, zwany rozrządcą (a. „load dispatcher", f. „répartiteur", n. „Lastverteiler"). Dyspozycje doraźne wydaje personel, dobrany i wyszkolony przez niego. Aby praca tego biura dyktatorskiego była wogóle możliwa, wszelkie manipulacje w całym zespole mogą odbywać się jedynie z jego dyspozycji lub conajmniej za jego zgodą. Natomiast wszelkie koniecznością chwili spowodowane manipulacje, wykonane bez dyspozycji C. B. R. O., muszą być bezzwłocznie podawane do jego wiadomości. Manipulacje te dotyczą nietylko przyłączania lub odłączania poszczególnych odcinków sieci, maszyn, otwierania lub zamykania pierścieni sieciowych, lecz także wszelkich zmian w nastawianiu wszystkich przyrządów, jakoto: przyrządów nadmiarowych, przepięciowych, transformatorów regulacyjnych i t. d. C. B. R. O. musi zawsze znać każdoczesny stan połączeń zespołów. Ponieważ pamięć ludzka jest zawodna, pozatem służba w C. B. R. O. odbywa się bez przerwy w dzień i noc tak, że obsługa zmienia się w oznaczonych odstępach czasu, przeto interesujący C. B. R. O. stan połączeń sieci musi być zobrazowany na specjalnej tablicy zapomocą linij i sygnałów świetlnych (rys. 1), wśród których przeprowadza się zmiany wraz z napływającemi meldunkami, a nie z wychodzącemi dyspozycjami. Tablica taka zaopatrzona jest również w sygnały akustyczne. Tego rodzaju urządzenie C. B. R. O. pokazuje rys. 2 (str. 34), przedstawiający wnętrze rozrządni C. B. R. O. w Oslo z tablicą orjentacyjną dla całego zespołu współpracującego o 230 wyłącznikach olejowych. Rozmiary tablicy wynoszą: długość 10,5 m, wysokość 2,5 m. Zespół współpracujący rozporządza mocą pozorną 500 000 kVA i wytwarza rocznie 3 miljardy kWh, posiłkując się sieciami o napięciach roboczych 30, 60 i 130 kV. Na rysunku widzimy, że pośrodku biurka dla dwóch dyżurnych znajduje się łącznica telefoniczna, a na pulpicie widnieją przyrządy dla pomiarów z odległości. Każda wydana dyspozycja z zasady wymaga meldunku o jej wypełnieniu ewent. o niemożności jej spełnienia, która to możliwość, jakkolwiek mogąca się zdarzyć, powinna być zasadniczo wykluczona. Aby dyspozycje C. B. R. O. były możliwie krótkie, jasne i wykluczały wszelkiego rodzaju dwuznaczność czyto odnośnie do manipulacji czyteż do przedmiotu tej manipulacji, musi być ustalona ścisła nomenklatura, obowiązująca aż do najdalszych placówek zespołu, ułożona według ustalonego, dla danych warunków najodpowiedniejszego systemu. Dyspozycje C. B. R. O. mogą być dwojakiego rodzaju: 1) dorywcze, t. j. spowodowane koniecznością chwili, oraz 2) ramowe, obejmujące czynności stale powtarzające się, które przeważnie po spełnieniu są w C. B. R. O. albo bezpośrednio widoczne na specjalnych przyrządach czyteż miernikach lub też są meldowane. Do tego




Rys. 1. Tablica rozdzielcza dla jednego zespołu w elektrowni wodnej pompowo-zbiornikowej Häusern.

rodzaju dyspozycyj należy np. rozdział obciążeń, który zwykle podaje się w postaci graficznej, wykonany na milimetrowym papierze, a zależnie od pracy danego zespołu rozdział ten obowiązuje np. przez określony cały miesiąc, tydzień lub dzień. C. B. R. O. swe dyspozycje ramowe rozsyła zazwyczaj pocztą lub w wyjątkowych przypadkach przez posłańców, nato-



Rys. 2. Rozrządnia Centralnego Biura Rozdziału Obciążeń (C. B. R. O.) w Oslo (S & H).

miast dyspozycje doraźne i meldunki o ich wykonaniu muszą być przekazywane natychmiast, a więc zapomocą łączności telefonicznej lub telegraficznej. Łączność jako jeden z wielu środków pomocniczych odgrywa obok nich w zespole współpracującym jedną z najważniejszych ról, warunkującą zarówno sprawność działania całego zespołu jak również ułatwiającą uniknięcie nadzwyczaj ciężkich strat, kosztów i t. d.

## A. Środki łączności.

Przedewszystkiem należy zdać sobie sprawę, kto z kim ma utrzymywać łączność i jakie wiadomości mają być do kogo kierowane. C. B. R. O. oczywiście interesują jedynie wiadomości, dotyczące najgłówniejszych linij i zakładów; musi więc ono utrzymywać łączność z centralnemi biurami rozdziału obciążeń współpracujących sąsiednich zespołów i z nastawniami wszystkich swych zakładów jakoteż z okręgowemi biurami rozdziału obciążeń, które otrzymują wiadomości z sieci miejscowych oraz poszczególnych nastawni sieci okręgowej. Każde C. B. R. O. musi więc utrzymywać łączność z wszystkiemi placówkami sieci, jakoto punktami rozdzielczemi, prze-

twórczemi, wytwórniami i t. d. Konieczność ta wypływa zarówno z utrzymania ruchu wszystkich zakładów elektrycznych jak i z prowadzenia ich w pracy skoordynowanej, zapewniającej osiągnięcie największych korzyści gospodarczych z utrzymania pewności pracy, zachowania warunków równowagi współpracy i potrzeby szybkiego usuwania zakłóceń pracy oraz ze względu na bezpieczeństwo publiczne. Jako najdawniejszy środek porozumiewawczy rozpatrzymy najpierw:

*1) Sieć telefoniczną państwową.* Jakkolwiek dla prowadzenia pracy sieci możliwe jest bezpośrednie korzystanie z państwowej sieci telefonicznej, to jednak najczęściej środka tego nie można wyzyskać, a to przedewszystkiem z racji ograniczenia czasu pracy większości urzędów pocztowo-telegraficznych do pracy dziennej, długiego czasu łączenia, który w większości przypadków dla ruchu elektrycznego jest nie do zniesienia, i wreszcie nazbyt częstych trudności lub poprostu niemożliwości terminowego otrzymania żądanego połączenia skutkiem przeróżnych długotrwałych uszkodzeń. Dlategoteż decydujemy się na budowę:

*2) Sieci telefonicznej własnej.* Sieć taka może być:

a) rozpięta na istniejących słupach telefonicznych linij państwowych. Ten system popierwsze nie wytrzymuje żadnej kalkulacji, a powtóre nie jest wolny od nazbyt częstych uszkodzeń. Niezawodność działania tego systemu, w porównaniu z poprzednio rozpatrzonym środkiem porozumiewawczym, znajduje się wprawdzie pod nieco mniejszym, lecz w każdym razie jeszcze zawsze znacznym znakiem zapytania. A ponieważ jednym słupem nie może rządzić dwu gospodarzy, przeto zwykle utrzymaniem tych linij zajmują się odnośne urzędy telegraficzne, których sprawność usuwania przerw niezawsze jest uzgodniona z warunkami prowadzenia ruchu elektrycznego. Dlategoteż z tego systemu korzystamy tylko w pewnych przypadkach i to jedynie dla mniej ważnych porozumień i tylko jako uzupełnienie istniejącego innego systemu sieci telefonicznej własnej, t. j.

b) rozpiętej na własnych słupach. Z rozpatrzonych dopieroco powodów właściwszem jest korzystanie z ustawy z dnia 3.VI. 1924 o poczcie, telegrafie i telefonie (Dz. U. R. P. Nr. 18 z 1935 r. poz. 104), na zasadzie której Państwo ogranicza zarezerwowaną dla siebie wyłączność na korzyść przemysłowych połączeń telefonicznych, służących do utrzymania ruchu zakładów elektrycznych. Można więc budować osobne linje telefoniczne na własnych specjalnie do tego celu ustawionych słupach zupełnie niezależnie od państwowych linij prądów słabych. Oczywiście, system ten jest już znacznym krokiem naprzód, lecz zarówno ten jak i wszystkie poprzednio wymienione systemy przedstawiają jedną najważniejszą wadę, a mianowicie wtedy, kiedy są najbardziej potrzebne, często właśnie niedziałają, gdyż te środki łączności są w wysokim stopniu uzależnione od pogody, wichrów, burz, zamieci śnieżnych i t. d. Dlategoteż w przypadkach szczególnie ważnych posługujemy się:

c) własnemi linjami telefonicznemi kablowemi podziemnemi. System ten stosuje się przedewszystkiem dla połączenia C. B. R. O. z wytwórcami prądu i głównemi stacjami rozdzielczemi czyteż przetwórczemi. Posiłkujemy się tym systemem szczególnie chętnie wówczas, gdy przewodami telefonicznemi posługujemy się równocześnie dla przenoszenia na odległość po-

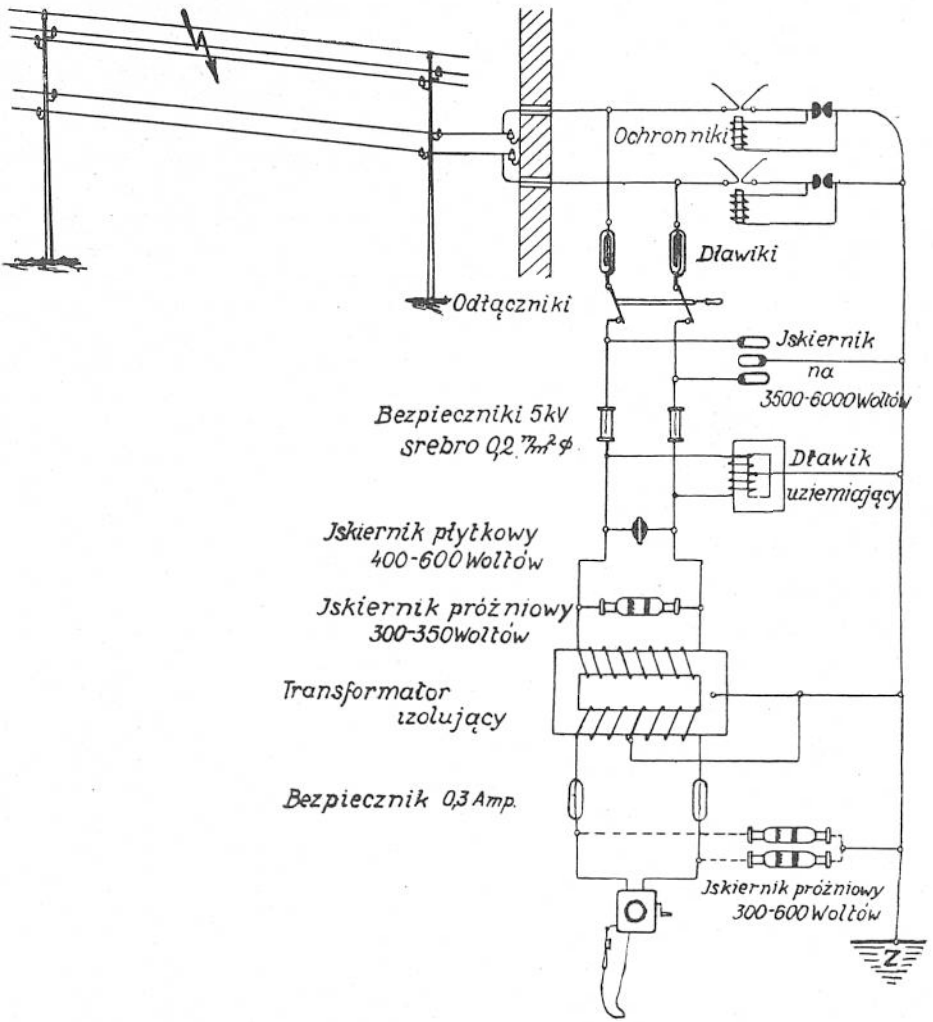
miarów wielkości elektrycznych, fizycznych lub hydrotechnicznych, o czem będzie mowa w dalszym ciągu tej pracy.

d) Sieć telefoniczna kablowo-napowietrzna. Pewnym pośrednim systemem pomiędzy siecią telefoniczną kablową i napowietrzną, jednoczącym zarówno zalety sieci jednej jak i drugiej, jest dopieroco zapoczątkowane stosowanie specjalnych kabli napowietrznych o pancerzu stalowym, wytrzymałym na znaczne nawet naciągi. System ten ma jeszcze tę dodatnią stronę, że jego stalowy pancerz zastępuje ochronne linki odgromowe. Dlatego też do dalszego omówienia kabli telefonicznych stalowo-pancernych powrócimy przy rozpatrywaniu zagadnień, związanych z linką ochronną.

*3) Telegraf.* Przy wyżej opisanych systemach sieci telefonicznych można oczywiście posiłkować się jako przyrządem porozumiewawczym także i telegrafem, którym można porozumiewać się jeszcze przy takich zakłóceniach tele-elektrycznych, przy których porozumiewanie się telefoniczne jest już zupełnie lub prawie zupełnie niemożliwe. Ponieważ przy stosowaniu tego mniej wygodnego środka porozumiewawczego napotykano na pewne trudności, przeto korzystanie z niego ograniczano do minimum. Był on więc tylko w rzadkich przypadkach stosowany w sieciach europejskich. Obecnie jednak corazto częściej wprowadza się ten system wzajemnego porozumiewania się do C. B. R. O. i jego placówek dzięki wynalezieniu takiego sposobu przekazywania pisma maszynowego, którym, przy użyciu nieco zmienionej zwykłej maszyny biurowej, można nadawać aż do 390 znaków na minutę i to przy bardzo prostej i wygodnej manipulacji. Rozumie się, że C. B. R. O. może posiłkować się dowolną drogą elektryczną (prądem stałym, zmiennym dowolnej częstotliwości, wzdłużprzewodowo), używając zarówno wyżej wymienionej maszyny jak też i przyrządów do przesyłania na odległość rysunków czyli t. zw. chemografów.

*4) Sieć telefoniczna na słupach z przewodami wysokiego napięcia.* Następnym systemem, wprawdzie co do pewności ustępującym systemowi kablowemu, lecz zato niepomiernie od niego tańszym, jest stosowanie t. zw. w mowie potocznej telefonu wysokonapięciowego, t. j. telefonów, połączonych z sobą przewodami napowietrznemi, rozpiętemi na słupach sieci wysokiego napięcia. Schemat tego urządzenia widzimy na rys. 3. System ten ze względu na cienki przekrój przewodów telefonicznych nie jest stosowany w sieciach o dużych rozpiętościach. Stosowanie go jest również ograniczone ze względu na dążenie do utrzymania przewodów roboczych możliwie blisko ziemi. Przewody prądów słabych, prowadzone pod przewodami roboczemi wysokiego napięcia lub wzdłuż nich, są narażone: a) na przejęcie napięcia roboczego, zwykle bardzo wysokiego, b) na wpływy elektromagnetyczne, c) na wpływy elektrostatyczne. Pierwszy z powyższych trzech względów warunkuje przedewszystkiem zachowanie pewnego dość dużego odstępu przewodów prądów słabych od przewodów prądów silnych. Odstęp ten wynosi, jak wiadomo, przy niskiem napięciu najmniej 1 m, a przy wysokiem napięciu 2 m. Ponieważ przewody telefoniczne, rozpięte na jednych i tych samych słupach z przewodami prądów silnych, muszą być w myśl istniejących przepisów bezpieczeństwa traktowane taksamo jak przewody prądów silnych, przeto system ten wymaga stosowania odpowiednio wyższych słupów sieciowych, specjalnych zabez-

pieczeń i ostrożności, co wprawdzie podraża koszt budowy linji prądów silnych, lecz w bardzo wielu przypadkach jest handlowo umotywowane po krytycznem porównawczem rozważeniu tego rodzaju podrożenia kosztów z kosztami budowy linji prądu silnego plus koszty innego rozwiązania, zapewniającego możliwość porozumiewania się.



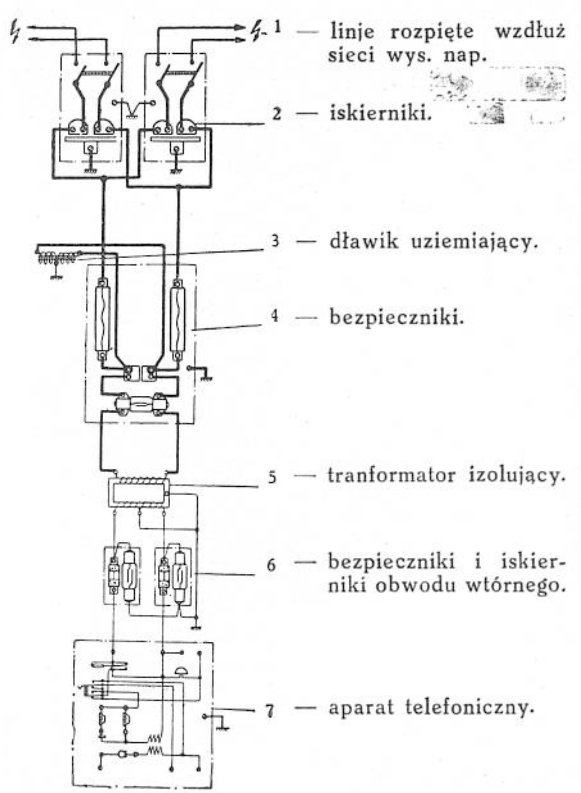

Rys. 3. Urządzenie telefoniczne firmy Siemens & Halske A. G. dla sieci telefonicznej rozpiętej na słupach z przewodami wysokiego napięcia.

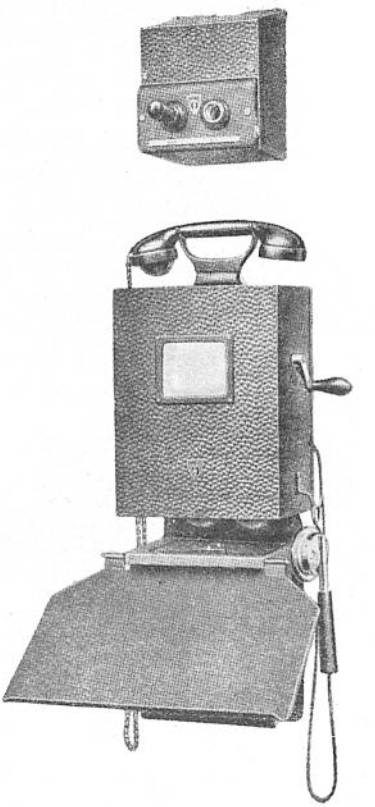
Skutkiem zmiennego pola elektromagnetycznego prądu roboczego, w którego sferze działania znajdują się przewody telefoniczne, indukują się w tych przewodach prądy zmienne i to chętniej prądy wyższych harmonicznych niż prądy o częstotliwości roboczej. Wysoki ton prądów wyższych harmonicznych dotkliwie daje się odczuć rozmawiającym, a nawet jest wstanie uniemożliwić rozmowę. Natomiast zmienne pole elektro-

statyczne powoduje, że przewody telefoniczne, znajdujące się w niem, przyjmują w stosunku do ziemi pewne napięcia, które są tem większe, im wyższe jest napięcie robocze oraz im większa jest pojemność linji telefonicznej w stosunku do przewodów roboczych i do ziemi. O ile napięcia indukowane w przewodach telefonicznych są jednakowe, to powstałe wskutek nich prądy wzajemnie się znoszą. Ażeby to mogło nastąpić, koniecznem jest stosowanie dwóch przewodów i nieużywanie ziemi jako przewodu powrotnego. Celem zniesienia się prądów indukowanych przewody telefoniczne muszą być założone w stosunku do przewodów roboczych możliwie symetrycznie i dlatego w równych i krótkich odcinkach, nie większych niż 200 m, krzyżujemy przewody telefoniczne. Aby nastąpiło wyrównanie napięć influencyjnych, profil przewodów na słupach musi być jednakowy, to znaczy, że każdy przewód telefoniczny powinien być założony w jednakowej wysokości ponad ziemią i w jednakowej odległości od przewodów roboczych. Dzięki temu oba przewody będą miały w stosunku do ziemi jednakowy potencjał. Ponadto przewody muszą mieć jednakową i to wysoką izolację, ażeby skutkiem nawet małej różnicy w stanie izolacji każdego z przewodów nie powstały prądy upływowe o częstotliwości roboczej lub, co gorsza, wyższej harmonicznej. Dlategoteż należy stosować zawieszenie przewodów na izolatorach o wysokości około 150 mm. Ponieważ tak czuły przyrząd jakim jest słuchawka telefoniczna, reaguje już na bardzo słabe prądy, spowodowane nawet drobnem osłabieniem izolacji jednego z przewodów, przeto należy dążyć do uniemożliwienia przyjęcia przez przewody telefoniczne potencjału wyższego od ziemi. Może się to stać tylko wtedy, gdy oba przewody są możliwie doskonale uziemione. Jednak prowadzenie rozmowy po przewodach uziemionych jest niemożliwe, dlategoteż uziemienie to nie może być bezpośrednie, lecz musi być dokonane przez specjalny dławik, który stawiałby bardzo duży opór prądom wywoławczym, t. j. prądom o częstotliwości około 25 okr/sek. i prądom o częstotliwościach głosowych. Dławik taki, skombinowany dla jednoczesnego uziemienia obu przewodów, skonstruowała firma Siemens & Halske, opierając się na spostrzeżeniu, że napięcia statyczne w obu przewodach są jednoznaczne oraz przeciw sobie skierowane i to stale, gdyż biegunowość każdego z przewodów telefonicznych zmienia się jednocześnie w obu tych przewodach w takt częstotliwości prądu roboczego. Dławik składa się ze względów elektrycznych z dwóch cewek, nawiniętych na zamkniętym rdzeniu żelaznym, których środek łączy się z ziemią. Ze względów konstrukcyjnych dla otrzymania najdalej idącej symetrji każda z tych cewek jest podzielona na dwie części tak, że faktycznie rzecz biorąc, mamy cztery cewki. Jestto szczegół konstrukcyjny i przy dalszych rozważaniach elektrycznych będziemy mieli na uwadze tylko dwie cewki. Są one w ten sposób z sobą połączone, że prądy doziemne wzajemnie znoszą swe pola magnetyczne, dzięki czemu otrzymuje się dobre uziemienie przez stosunkowo bardzo niewielką oporność rzeczywistą oraz wyrównanie potencjałów pomiędzy przewodami telefonicznemi a ziemią. Wyrównanie zmiennych napięć pomiędzy obydwoma przewodami telefonicznemi praktycznie wcale nie następuje, gdyż w tym przypadku prądy na obu zaciskach dławika są różnokierunkowe, a skutkiem tego obie cewki powodują powstanie pola magnetycz-

nego, zgodnego co do kierunku w każdej z nich. Oporność indukcyjna bocznikującej cewki dla prądów wywoławczych jest duża i wynosi około 20 000 omów tak, że osłabienie prądu induktorowego do dzwonka jest bardzo nieznaczne, a dla prądów o częstotliwości głosowej oporność jest oczywiście bardzo wielka, rzędu około 170 000 omów, dzięki czemu praktycznie prądy zupełnie się nie osłabiają.

Są to główne podstawy zapewnienia praktycznej doskonałości urządzenia telefonicznego na słupach z przewodami wysokiego napięcia. Oczy-

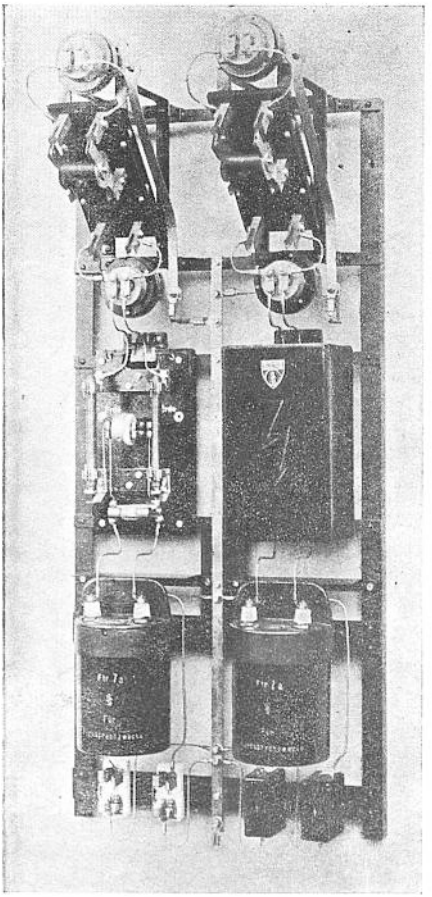


Rys. 4. Schemat urządzenia telefonicznego dla dwulinjowej sieci telefonicznej, rozpiętej na słupach z przewodami wysokiego napięcia. Obok aparat telefon. z przełącznikiem (S&H).

wiście tego rodzaju urządzenie telefoniczne posiada jeszcze szereg zabezpieczeń, widocznych na rysunkach i dających zupełne bezpieczeństwo obsłudze.

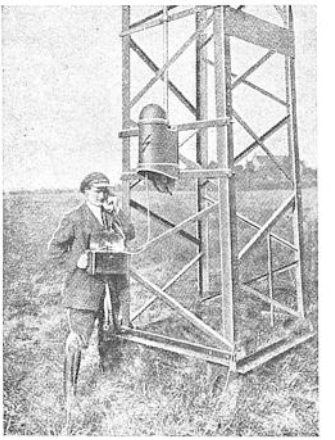
Na rys. 4 widzimy schemat takiego urządzenia telefonicznego dla dwóch linij oraz aparat telefoniczny wraz z przełącznikiem. Wszystkie widoczne na schemacie części urządzenia, z wyjątkiem samego aparatu telefonicznego, montuje się na specjalnej ramie, przytwierdzanej do ściany (rys. 5). W celu umożliwienia porozumiewania się monterom obchodowym wprost z nadzorowanej przez nich stacji elektrycznej rozmieszcza się w odpowiednich miejscach sieci żeliwne wodoszczelne skrzynki, zawierające bezpieczniki



Rys. 5. Urządzenie telefoniczne dwulinjowe, zmontowane na przenośnej ramie.

oraz transformator izolujący. Do skrzynek tych monterzy mogą włączyć zapomocą specjalnej wtyczki przenośny aparat telefoniczny, który noszą z sobą w skórzanej torbie na pasku (rys. 6).

5) *Telefonja wysokiej częstotliwości wzdłużprzewodowa.* Praktyka europejska i amerykańska wskazuje, że najpewniejszym systemem porozumiewawczym, niezależnym od wpływów atmosferycznych, napięć i t. d., jest najmłodszy z tego rodzaju systemów, zastosowany poraz pierwszy po wojnie światowej, t. j. telefonja wysokiej częstotliwości wzdłuż-



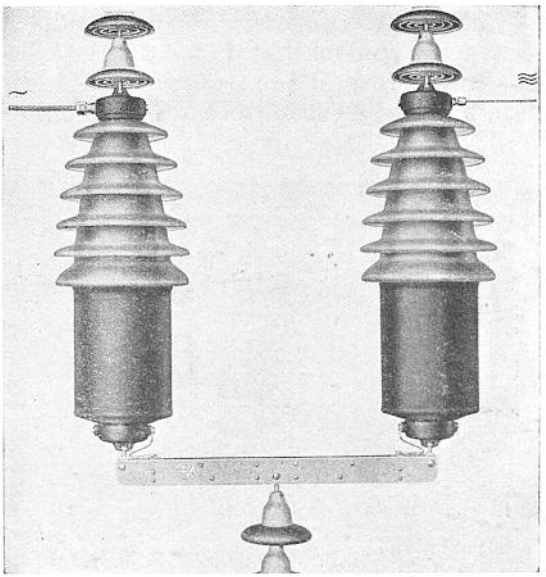
Rys. 6. Złącz telefoniczny na żelaznym słupie linji wysokiego napięcia (S & H).

przewodowa. System ten jest najlepszy zarówno ze względu na pewność porozumiewania się jak i na bezpieczeństwo obsługi. Nadaje się on jednak jedynie do stosowania go dla sieci mało rozgałęzionej. Przy dłuższych odcinkach jest on nawet tańszym środkiem łączności od wszelkich innych systemów, nie mówiąc już o bezkonkurencyjnej wprost pewności działania. Ze względów technicznych przyrządy te nadają się znakomicie tak dla odcinków krótszych, kilku-czy kilkunastokilometrowych, jak i dla odcinków długich (np. 585 km w Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk-A.-G., Essen). Mimo że aparaty te stosunkowo niedawno znalazły zastosowanie, że nadają się jedynie dla wielkich sieci i że są drogie, to jednak w krótkim czasie zdobyły one sobie takie zaufanie, że do końca 1932 r. pracowało ich już ponad 750 sztuk w Niemczech, Francji, Hiszpanji, Irlandji, Norwegji, Szwecji, Japonji, Rosji, Czechosłowacji, Szwajcarji, Jugosławji, Włoszech. W Polsce również zainstalowano już kilka takich aparatów, a mianowicie na linji 60 kV Jaworzno-Kraków, w Chorzowie (Śl. Zakł. Elektr.), w Łaziskach Górnych, na kopalni „Charlotte" Rybnickiego Gwarectwa Węglo-

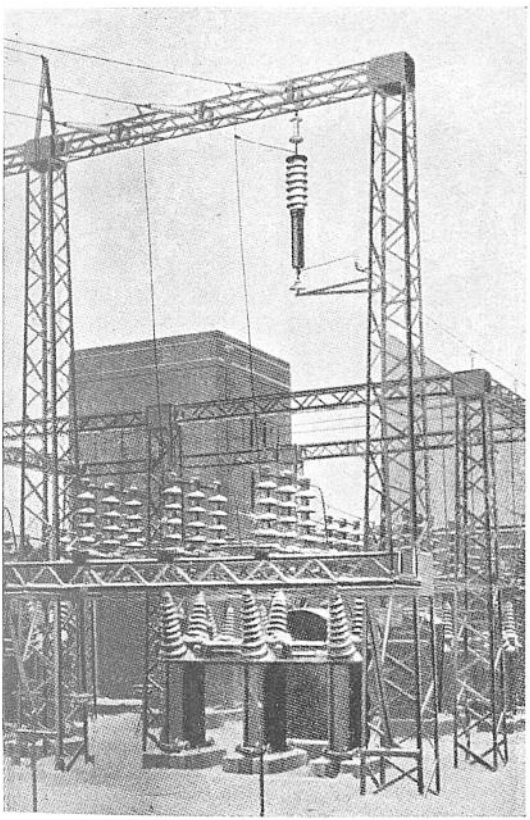
wego na kopalni Donnersmarcka i t. d. Fabrykacją tych aparatów oprócz Telefunken trudnią się firmy: a) amerykańskie: Western Electric Co., General Electric Co. i Westinghouse; b) europejskie: La Haute Fréquence i Deutsche Telephonwerke - und Kabelindustrie-A. G.

Słabą stroną telefonji wysokiej częstotliwości wzdłużprzewodowej jest delikatne urządzenie wywoławcze. Jestto bez większego praktycznego znaczenia dla stacyj stałych, jednakże skutkiem tego stacje przenośne urządzenia wywoławczego nie posiadają.

Telefonja wysokiej częstotliwości stawiała pierwsze swe



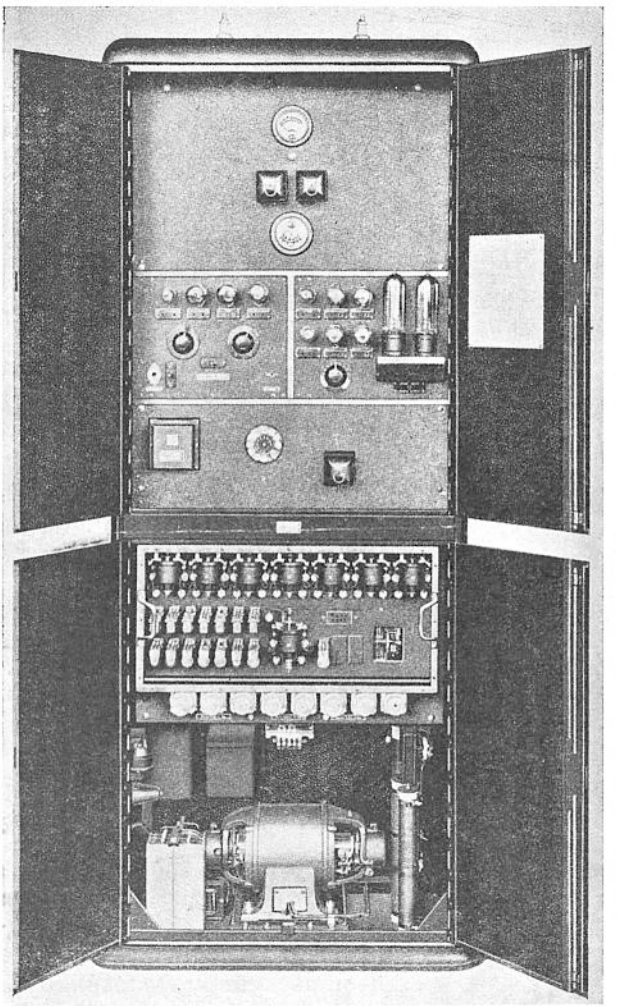
Rys. 7. Kondensatory sprzężeniowe (S & H).



Rys. 8. Kondensator sprzężeniowy wiszący w stacji rozdzielczej napowietrznej (S & H).

kroki, mając do przezwyciężenia wielkie trudności w nałożeniu prądów wysokiej częstotliwości na przewody robocze bardzo wysokich napięć. Skutkiem stosowania do tego celu sprzężenia antenowego, przeniesienie to było niedostateczne, gdyż ze względu na bezpieczeństwo rozmawiających i całość aparatów konieczne było zachowanie pewnej znacznej odległości anteny od przewodów roboczych wysokiego napięcia, co było przyczyną, że pojemność anteny w stosunku do ziemi była większa niż w stosunku do przewodów. Dopiero zastąpieniu anteny odpowiednio zbudowanemi i wytrzymałemi kondensatorami (rys. 7 i 8) zawdzięcza telefonja wysokiej częstotliwości swe nadzwyczajne i całkowicie zasłużone uznanie. Francuskie firmy rozwiązały zagadnienie to, coprawda z gorszym skutkiem użytecznym, przez zastosowanie sprzężenia indukcyjnego.

Dla umożliwienia porozumienia się jednocześnie obustronnego bez konieczności przechodzenia po rozmowie z aparatury nadawczej na aparaturę odbiorczą, t. j. z mówienia na słuchanie, stosuje się dwie częstotliwości, z których jedna jest nadawcza dla jednego aparatu i jednocześnie odbiorcza dla drugiego, a druga odwrotnie.



Rys. 9. Stacja telefoniczna nadawczo-odbiorcza wysokiej częstotliwości wzdłużprzewodowej, w wyk. stałem (S & H).

Do telefonji wysokiej częstotliwości posiłkujemy się zwykle jedną fazą linji wysokiego napięcia i ziemią jako przewodem powrotnym, natomiast firmy amerykańskie używają jako przewodu powrotnego zamiast ziemi drugą fazę linji wysokiego napięcia. Tylko General Electric Co. stanowi wyjątek i pod tym względem zbliża się do systemu europejskiego; oddala się od niego natomiast konserwatywnem stosowaniem w dalszym ciągu sprzężenia antenowego oraz jednej częstotliwości, skutkiem czego rozmowa jest uciążliwa i traci na naturalności, jaką mamy w rozmowie bezpośredniej. Przeniesienie drgań akustycznych, zmienionych na drgania elektryczne, z obwodu mikrofonowego na przewody wysokiego napięcia wymaga bez porównania większej energji, niż przy przeniesieniu tych drgań na zwykłe przewody telefoniczne. Celem umożliwienia tego przeniesienia wytwarzamy w specjalnym aparacie (rys. 9) drgania niegasnące wysokiej częstotliwości, na które nakładamy drgania elektryczne z obwodu mikrofonowego. Ta pomocnicza fala stosowana jest dla lepszej zdolności przenośnej w telefonji wzdłużprzewodowej najczęściej o częstotliwości 150 000—1 000 000 okr/sek. (fala o długości 2 000—3 000 m) i nazywa się falą nośną, którą modulujemy czyli odkształcamy przez nałożenie na nią drgań elektrycznych obwodu mikrofonowego. Falę tę odbieramy zapo-

mocą odbiorników analogicznych do odbiorników radjowych. Do tego rodzaju aparatów nadawczo-odbiorczych może być przyłączony albo jeden aparat telefoniczny albotеż centralka telefoniczna automatyczna lub ręczna. Dzięki temu, korzystając z systemu wysokiej częstotliwości, mamy możność łączenia się automatycznie z dowolnym telefonem, przyłączonym do automatycznej centralki. Cała rozmowa i manipulacja odbywa się zupełnie taksamo jak w zwykłym aparacie telefonicznym automatycznym.

Skolei postaramy się uzasadnić, dlaczego ten system telefonji wysokiej częstotliwości otrzymał nazwę wzdłużprzewodowej. Otóż jeżeli weźmiemy pod uwagę wogóle prąd zmienny o jakiejkolwiek liczbie okresów, przepływający przez przewód, to wiemy, że ze względu na potencjał, który przewód ten otrzymał, powstaje naokoło niego pole elektryczne, a ze względu na prąd, przepływający przez przewód, pole magnetyczne. Mamy do czynienia z prądem zmiennym, a zatem oba pola są również zmienne. Można powiedzieć, że mamy dwa ośrodki przenoszące energję: jednym jest otaczające przewód pole elektromagnetyczne, a drugim sam przewód, przewodzący prąd. Nie zwracając uwagi na źródła prądu, można zadać pytanie: co jest zjawiskiem głównem, a co pośredniem; czy głównem zjawiskiem jest pole elektromagnetyczne, a wtórnem prąd zmienny, czyteż odwrotnie. Mając do czynienia w praktyce przesyłania energji elektrycznej z prądem o częstotliwości technicznej powiemy, że prąd elektryczny, płynący przez przewód, jest zjawiskiem głównem, a pole magnetyczne zjawiskiem wtórnem, wywołanem przez prąd. W tym przypadku wynikałoby, że przewód jest ośrodkiem, przenoszącym energję. Tak też jest przy niskiej częstotliwości, czego dowodem, że naprzykład w przypadku przerwania się przewodu w dalszej jego części żaden prąd nie płynie. Inaczej jednak przedstawia się sprawa z prądem szybkozmiennym. Prąd ten pomimo zerwania się przewodu może płynąć w oddzielonej dalszej jego części. Takie przesyłanie prądu odbywa się nie dzięki przewodowi, który jest zerwany, lecz dzięki polu elektrycznemu i magnetycznemu, związanym z końcami przewodów. W tym przypadku bylibyśmy raczej skłonni mówić o wzdłużprzewodowem przesyłaniu energji elektrycznej. Oczywiście niema żadnej istotnej różnicy pomiędzy prądami różnych częstotliwości. Rozumowanie nasze jest przybliżone i wykorzystuje okoliczność łatwiejszego pokonywania przestrzeni bezprzewodowo zapomocą prądów o wyższej częstotliwości. W ten sposób można uzasadnić nazwę „telefonja wysokiej częstotliwości wzdłużprzewodowa".

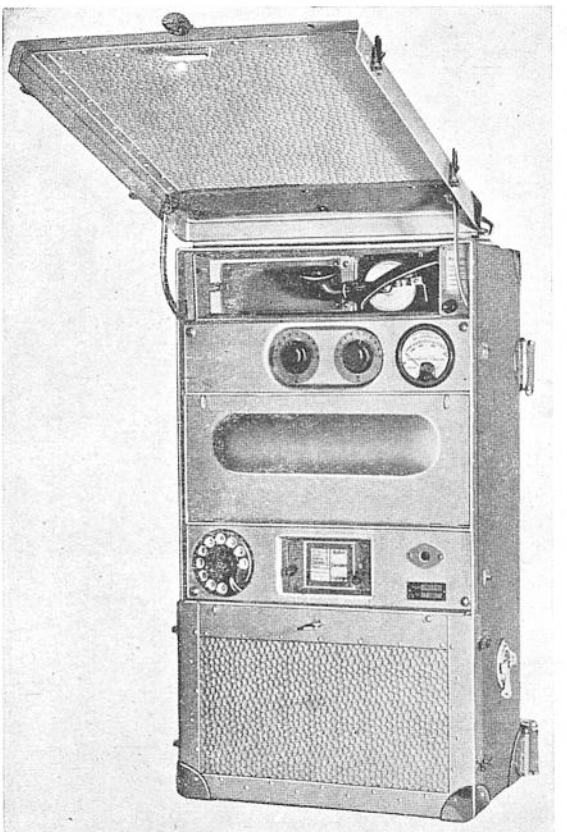
Co do stosowania w sieciach

6) *radjotelegrafji*, to w praktyce elektryfikacyjnej radjotelegrafja nie znajduje uznania. Nie przynosi ona także dotąd oczekiwanych wyników w służbie policyjnej, straży ogniowej i t. d. Znikoma ilość energji, dochodzącej do odbiornika, powoduje konieczność stosowania bez porównania większych ilości energji niż w telefonji wzdłużprzewodowej, stąd też i bardzo znaczne koszty. W czasie burzy radjotelegrafja nie działa, gdyż antenę wówczas uziemia się. Trzaski w odbiorniku, przeszkadzanie innych stacyj, wszystko to są przyczyny, które do tej pory nie pozwoliły na szersze zastosowanie radjotelegrafji w służbie elektryfikacyjnej. Niemniej jednak ulepszenia, zmierzające do usunięcia tych braków i niedogodności,

postępują i próby się odbywają. Obecnie dla próby Niemcy mają ustawić w Essen i Karlsruhe stacje radjotelegraficzne z zakresem fal 50—150 m i o mocy 200 watów dla obsługi linji najwyższego napięcia 220 kV.

7) *Stosowalność poszczególnych środków łączności.*

Na zakończenie rozważań o poszczególnych środkach łączności zastanowimy się skolei, w jakich przypadkach które z wymienionych środków należy stosować. A więc poszczególne zakłady wytwórcze między sobą oraz Centralne Biuro Rozdziału Obciążeń łączyć będziemy z zakładami wytwórczemi i głównemi punktami rozdzielczemi najpewniejszemi środkami łączności, t. j.: przy odległościach stosunkowo niewielkich i przy sieci elektrycznej gęstej i rozgałęzionej zastosujemy telefony o przewodach kablowych, telefony z przewodami zawieszonemi na słupach z wysokiem napięciem lub ostatecznie telefony z przewodami napowietrznemi na specjalnych własnych słupach; centralne i okręgowe biura rozdziału obciążeń między sobą i między wielkiemi zakładami wytwórczemi, rozdzielczemi i innemi zakładami sieciowemi, bardzo od siebie odległemi i połączonemi linjami elektrycznemi nie rozgałęzionemi lub niewiele rozgałęzionemi— połączymy telefonami wysokiej częstotliwości wzdłużprzewodowej; dla obsługi samych linij dalekonośnych posługiwać się możemy albo przenośnemi aparatami wysokiej częstotliwości wzdłużprzewodowej (ewent. ze sprzężeniem antenowem) (rys. 10) albotеż równolegle do linji wysokiego napięcia poprowadzoną własną linją telefoniczną napowietrzną; w sieciach okręgowych posiłkujemy się dla porozumienia się z wszystkiemi posterunkami sieciowemi własnemi napowietrznemi linjami telefonicznemi bądź to zbudowanemi na słupach z wysokiem napięciem bądźteż na osobnych słupach, przyczem, zależnie od potrzeby, posługiwać się będziemy tak aparatami stałemi jak i przenośnemi.



Rys. 10. Stacja telefoniczna nadawczo-odbiorcza wysokiej częstotliwości wzdłużprzewodowej, w wykonaniu przenośnem (S & H).

Wszystko wyżej powiedziane dotyczy jedynie porozumiewania się, będącego w ścisłym związku z prowadzeniem ruchu i utrzymaniem sieci

i zakładów. Wszelkie inne rozmowy, a więc np. handlowe, akwizycyjne i t. d., mogą odbywać się jedynie telefonami sieci państwowej, a to zarówno ze względu na obciążenie sieci telefonicznej własnej jak i ze względu na obowiązujące odnośne postanowienia ustaw o poczcie, telegrafie i telefonie, które dla tej kategorji rozmów telefonicznych nie uszczuplają państwowych praw monopolowych.

## B. Pomiar zdalny.

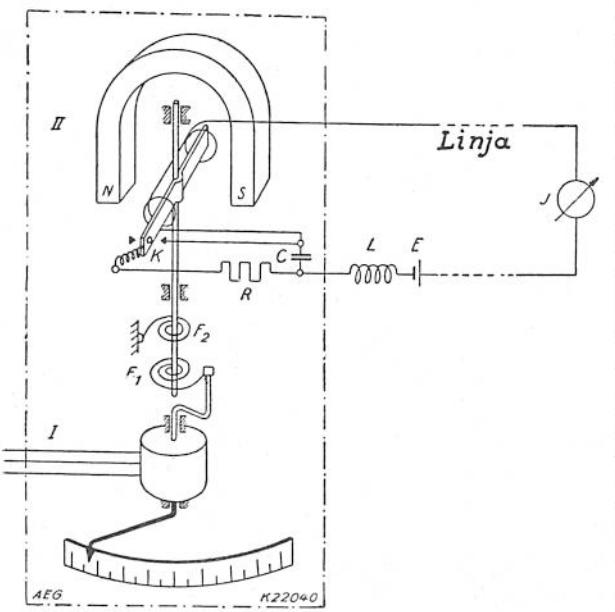
Regulowanie pracy całego zespołu wedle rozkładu obciążeń jest ściśle związane z rozkładem napięć, prądami mocnemi, bezmocnemi i t. d. C. B. R. O. otrzymuje rozkład obciążeń z Biura Ekonomicznego. Rozkład ten wykazuje, w jakim czasie jakim obciążeniom mają podlegać pewne ściśle określone punkty zakładu. Aby więc praca całego zespołu odbywała się ściśle według tego rozkładu, zapewniającego osiągnięcie największych korzyści gospodarczych, aby umożliwić stały nadzór nad pracą i uwidocznić stan pracy zespołu, konieczny jest stały pomiar wielkości elektrycznych, fizycznych i t. d.

Również nie możemy sobie wyobrazić, aby np. gospodarkę wodną pozostawić uznaniu poszczególnych elektrowni wodnych, gdyż nadmierna przezorność jednej elektrowni może pozbawić wody elektrownie, pracujące poniżej, względnie wobec pewnych dopuszczalnych szybkości przepływu wody w kanale i pewnej odległości elektrownie niższych stopni mogłyby otrzymać potrzebną im ilość wody z tak znacznem opóźnieniem, że nie mogłyby spełnić zadania, przewidzianego dla nich w rozkładzie obciążeń. To właśnie jest dziedzina, w której najpierw dokonywano pomiaru z odległości. W tym przypadku chodziło głównie o pomiar wysokości zwierciadła wody. Pomiary te, stosownie do rozporządzalnych wówczas środków, przeprowadzano tylko na stosunkowo niewielkie odległości. Dopiero prowadzenie ruchu rozległych sieci elektrycznych wykazało konieczność ulepszenia stosowanych już metod pomiarów z odległości celem osiągnięcia większej dokładności pomiaru i umożliwienia pokonania większych odległości.

Pomiary muszą się odbywać w pewnych, ściśle określonych miejscach. Pewne pomiary, których wyniki nie wymagają interwencji obsługi, mogą się odbywać zapomocą zwykłych mierników. I tu w pewnych przypadkach C. B. R. O. może zadowalać się meldunkami telefonicznemi o wynikach tych pomiarów, np. meldunki o zapasie wody podaje się zależnie od potrzeby np. co 6 godzin, odczyty głównych liczników co 8—24 godzin i t. p. Inne znów pomiary z tej kategorji powinny być samoczynnie rejestrowane, popierwsze dlatego, że wykresy są bardziej przejrzyste i przekonywujące aniżeli liczby, a powtóre odciążają personel od żmudnej roboty zapisywania odczytów. Dlategoteż w nowoczesnych biurach rozdziału obciążeń i nastawniach widzimy przeważającą ilość mierników samopiszących. Wykresy te odsyłane są w określonych odstępach czasu do odnośnego Biura Rozdziału Obciążeń, które po przejrzeniu, kontroli i wyciągnięciu wniosków odsyła je do Biura Statystycznego Wydziału Ekonomicznego. Następnie Biuro Kalkulacji korzysta z nich dla wyciągnięcia wniosków o za-

potrzebowaniu na węgiel, wodę, ropę i t. d., o przewidywanych obciążeniach w przyszłości i t. p.

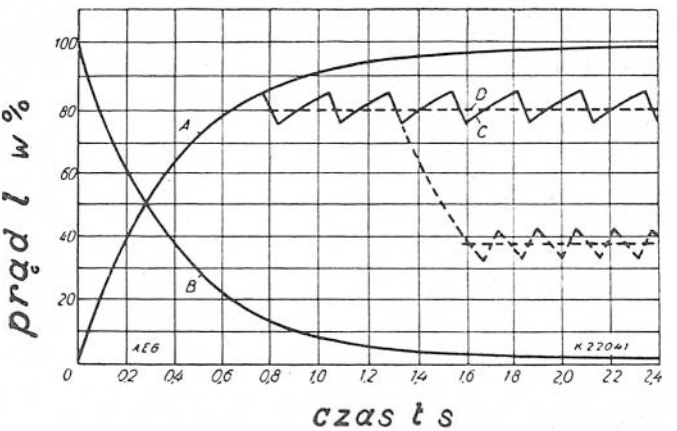
Inna znów kategorja pomiarów wymaga bezzwłocznych zarządzeń czyto Biura Rozdziału Obciążeń czyteż personelu odnośnej nastawni, a to zarówno dla utrzymania ruchu według ustalonego programu zapobiegania wypadkom (temperatura, poziom wody, ciśnienie, obroty i t. d.), jak i celem dotrzymania warunków umowy o dostawę względnie odbiór prądu elektrycznego. Do tej ostatniej kategorji należą najczęściej pomiary napięcia, mocy, prądów bezmocnych, częstotliwości i przesunięcia faz. Pomiary te muszą być przeprowadzane stale, a nie dorywczo, conajmniej w regularnych bardzo krótkich odstępach czasu, tak krótkich, aby z dostateczną techniczną dokładnością ciągłość pomiaru mogła być uważana za zachowaną. Tego rodzaju pomiary są konieczne i nieuniknione nietylko w sieciach wielkich i okręgowych, ale i w sieciach wielkomiejskich. Pomiary te również nie mogą absorbować personelu, podlegać jego niedokładności w odczytywaniu, zapisywaniu czyteż dalszemu przekazywaniu pomiarów. Skutkiem tego odnośne biura otrzymywałyby je z opóźnieniem, a ponadto w chwilach np. likwidacji zakłóceń, to jest właśnie wtedy, gdy konieczna jest najpilniejsza obserwacja tego, co się dzieje w sieci, mogłyby pomiarów tych wogóle nie otrzymywać. Pozatem np. C. B. R. O. meldunki o tych pomiarach musiałoby otrzymywać jednocześnie z bardzo wielu punktów obserwacji, co byłoby oczywiście technicznie niemożliwe do przeprowadzenia. Dlategoteż wykonywa się pomiary te wprawdzie w miejscach nas obchodzących, lecz czyni się to z odległości, t. j. bezpośrednio z Biura Rozdziału Obciążeń lub odnośnej nastawni. Wszystkie te pomiary z zasady dokonywa się samoczynnie i przeważnie przyrządami samopiszącemi tak, że udział człowieka ogranicza się tu jedynie do nadzoru i do korzystania z wyniku tych pomiarów. Niektóre przyrządy służące do dokonywania pomiaru zdala, nie wymagające stałej obserwacji, a mające znaczenie raczej miejscowe, jak np. przy pomiarach temperatury olejów transformatorowych, temperatury powietrza, chłodzącego maszyny synchroniczne i t. d., połączone są zarówno z przyrządem samozapisującym jak i z sygnalizacją optyczną i akustyczną, odpowiednio nastawioną.




Rys. 11. Pomiar zdala systemem kompensacyjnym według AEG.

Pomiar wielkości elektrycznych zdala przeprowadza się zasadniczo dwoma systemami:

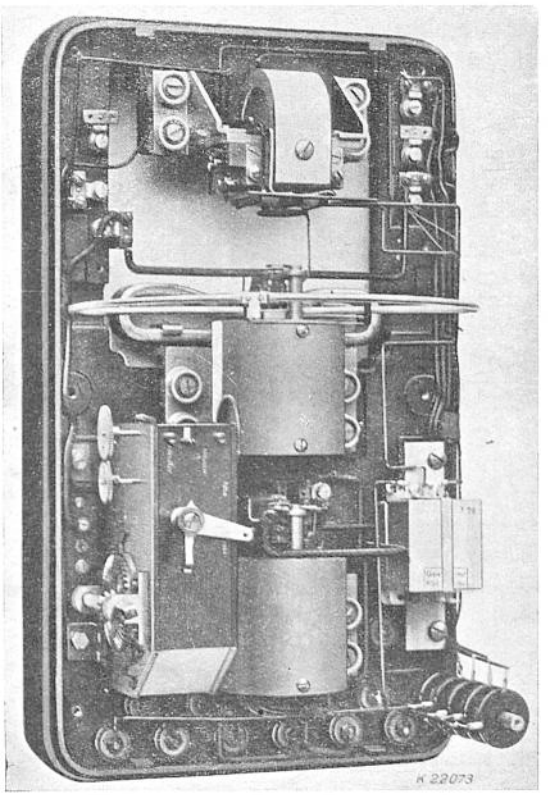
1) *System kompensacyjny* (rys. 11) polega na tem, że suma momentów skręcających sprężynki $F_1$, naciąganej przyrządem pomiarowym nadawczym *I*, oraz dodatkowej sprężynki $F_2$ równoważy się z momentem skręcającym przekaźnika *II*, spolaryzowanego, włączonego w obwód kombinowany z oporności rzeczywistej *R*, dławika *L*, kondensatora *C*, linji dalekonośnej z miliamperomierzem *J* jako przyrządem pomiarowym odbiorczym oraz ze źródłem prądu stałego *E*, t. j. z akumulatorami o napięciu od 24 woltów wzwyż. Cały pomiar ma przebieg następujący: stosownie do mierzonej wielkości skazówka miernika *I* odchyla się i odpowiednio od tego odchylenia naciąga sprężynę $F_1$. Powoduje to skręcenie się osi, skutkiem czego umieszczona na niej kotwiczka oprze się o kontakt *K* tak, że przez obwód systemu kompensacyjnego *II* popłynie pewien prąd. Obwód ten składa się z indukcyjności *L* oraz oporności rzeczywistej *R*; prąd, płynący przez niego, będzie więc wzrastał, a przebieg wzrostu tego prądu w czasie przedstawia znana nam krzywa wykładnicza, oznaczona literą *A* na rys. 12. Wraz




Rys. 12. Krzywe przebiegu prądu w urządzeniu AEG dla pomiarów, dokonywanych zdala metodą kompensacyjną.

z rosnącym prądem tego obwodu rośnie też moment skręcający, powstały skutkiem oddziaływania tego prądu na pole magnetyczne stałego magnesu *N*—*S*. Moment ten działa w przeciwnym kierunku do sumy momentów, wywieranych przez sprężyny $F_1$ i $F_2$, stara się więc oderwać kotwiczkę od kontaktu *K*, co w rzeczywistości dzieje się wówczas, gdy moment, wywierany przez prąd, przekroczy nieco momenty sprężynek. Po tem oderwaniu się prąd ładuje kondensator *C* i maleje według krzywej wykładniczej *B*. Jednakże w chwili, gdy skutkiem tej zmiany prądu malejący moment skręcający prądu stanie się mniejszy od momentu sprężynek, spowodują one ponowne zetknięcie się kotwiczki z kontaktem *K* i t. d. W ten sposób przez przewody stale będzie płynął prąd o natężeniu $i \pm \Delta i$ według krzywej *C*. Miernik odbiorczy *J* będzie więc wskazywał średnią wielkość według natężenia prądu *i*, przedstawionego prostą *D*. Jeżeli nastąpiłaby nagła zmiana wielkości, mierzonej miernikiem nadawczym I np. zmniejszenie się,

wówczas kotwiczka będzie odchylona tak długo, aż prąd w obwodzie *E-L-C-J-E* spadnie wzdłuż krzywej wykładniczej odłączania *B* do odpowiedniej wielkości, jak to zresztą widzimy na rys. 12. Ze względu na niekorzystny przebieg górnej i dolnej części krzywych *A* i *B* zakres dokładnego pomiaru tego systemu ogranicza się do wielkości prądu *i* zawartej między 15% a 80% prądu znamionowego miernika. Celem umożliwienia dokonania pomiaru także i przy momencie skręcających równym zeru przestawia się nieco bieguny przekaźnika spolaryzowanego oraz doregulowywuje zmianę naciągu sprężynki $F_2$ zapomocą odpowiedniej śrubki. Dzięki niesymetrycznemu nastawieniu biegunów osiągamy pewien dodatkowy moment skręcający, konieczny dla działania przekaźnika, a nie wywierany już przez sprężynkę $F_1$, gdy skazówka miernika I jest bliska położenia zerowego.




Rys. 13 Przyrząd rejestrujący dla pomiarów, dokonywanych zdala metodą kompensacyjną (AEG).

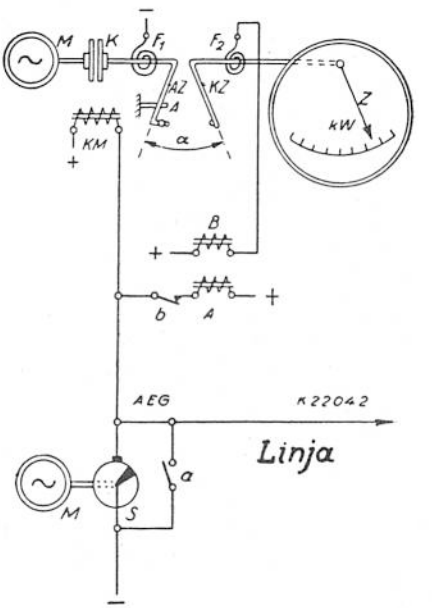
System ten, działający zapomocą prądu stałego, umożliwia przesyłanie pomiarów ciągłych, posiłkując się przytem przewodami specjalnie do tego celu przeznaczonemi. Nadaje się on zwłaszcza dla tych przypadków, gdy pomiar odbywa się na stosunkowo niewielkie odległości, a więc przedewszystkiem dla sieci wielkomiejskich.

Przyrząd pomiarowy odbiorczy niewiele różni się od zwykłych bezpośrednich przyrządów pomiarowych. Może on być w ten sposób zbudowany, że sumuje poszczególne wielkości, nadawane na wspólny przewód mierników, i to dodaje je zarówno algebraicznie jak i geometrycznie. Przyrządy te mogą być oczywiście wykonane również dla stałej rejestracji przekazywanego pomiaru. Taki właśnie rejestrujący przyrząd pomiarowy odbiorczy widzimy na rys. 13.

2) *System impulsowo-czasowy.* W sieciach okręgowych, gdzie odległości są znaczne, nie można ze względów gospodarczych posiłkować się specjalnemi przewodami dla celów meldunkowych czyteż pomiarowych. Dlategoteż stosuje się tu inny system pomiarowy. Ponieważ w sieciach wielkich i okręgowych w przeciwieństwie do sieci wielkomiejskich nietyle zależy na obserwacji każdej chwilowej zmiany wielkości elektrycznych, ile na

średnich wielkościach z pewnego obranego okresu czasu, przeto zadowalamy się okresowym pomiarem i obserwacją interesujących nas wielkości elektrycznych, fizycznych i t. p., których pomiary następują kolejno po sobie; w tych przypadkach posiłkujemy się systemem impulsowo-czasowym, który polega na tem, że przyrząd pomiarowy nadawczy zmienia odchylenie swej skazówki dzięki silniczkowi synchronicznemu na impuls prądu, trwający proporcjonalnie długo do tego odchylenia. W przyrządzie odbiorczym prąd ten włącza również silniczek synchroniczny, który znów ze swej strony wywołuje proporcjonalne do tego czasu odchylenie skazówki. Celem bliższego wyjaśnienia przekazywania pomiaru na odległość zwrócimy uwagę na rys. 14.

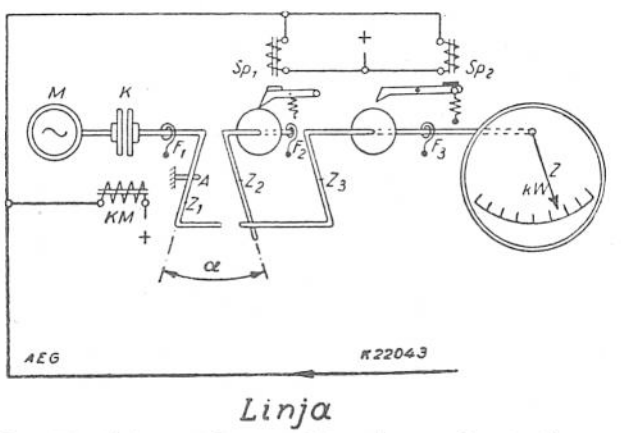
Dowolny miernik $Z$ o własnym dowolnym układzie pomiarowym odchyla się, stosownie do zmierzonej przez siebie wielkości, odpowiednio skazówką swą $Z$ o pewien $\sphericalangle \alpha$. Na przedłużeniu oski tego miernika założono drugą skazówkę $KZ$, która oczywiście odchyliła się również o ten sam kąt $\alpha$ od swego położenia zerowego. Przedłużoną oskę połączono zapomocą specjalnie do tego celu służącej sprężynki $F_2$ z dodatnim biegunem źródła prądu. Obwód jednak jest rozwarty i żaden prąd nie płynie. Na dole rysunku widzimy synchroniczny silniczek $M$ z osią zaopatrzoną w walec kontaktowy S. W chwili, gdy jeden z kontaktów walca zetknie się ze szczotką, ślizgającą się po jego obwodzie, wówczas popłynie prąd przez magnes sprzęgła $KM$ oraz poprzez zwarty kontakt $b$ prądu ciągłego przejdzie przez przekaźnik $A$, który natychmiast zewrze kontakt prądu roboczego $a$, dzięki temu utrzyma się przepływ prądu zarówno poprzez $KM$, jak i $A$, gdyż stale wirujący silnik $M$ tylko na jeden krótki moment przepuścił prąd przez siebie. W tym samym czasie włączone zostało sprzęgło $KM$ tak, że silniczek synchroniczny $M$ zaczął obracać opierającą się dotąd o kołek $A$ skazówkę $AZ$; w chwili, gdy zetknie się ona ze skazówką $KZ$, popłynie prąd przez $F_1$-$AZ$-$KZ$-$F_2$ i dalej przez przekaźnik $B$. Skutkiem tego przekaźnik ten spowoduje rozłączenie się kontaktów prądu ciągłego $b$ i przekaźnik $A$ zostanie w ten sposób odłączony, a więc temsamem przerywa się kontakt $a$ i prąd przestaje płynąć przez magnes sprzęgła $KM$. W ten sposób skazówka $AZ$ zostaje odłączona od napędzającego ją silniczka $M$, a sprężyna $F_1$ odciąga ją do pierwotnego położenia $A$. Ponieważ dzięki silniczkowi synchronicznemu skazówka $AZ$ poruszała się ze stałą szybkością kątową, przeto przez $KM$ przepłynął prąd przez czas, proporcjonalny do odchylenia $\alpha$, a więc do wielkości, zmierzonej miernikiem $Z$. Jeżeli dla lepszego




Rys. 14. Schemat ideowy nadajnika urządzenia dla pomiarów, dokonywanych zdala systemem impulsowym firmy AEG.

zrozumienia wyobrazimy sobie, że pomiar przenosimy zapomocą prądu stałego, zapomocą dwuprzewodowej linji, której jeden przewód, połączony z +, nie jest uwidoczniony na rysunku, a drugi, zaznaczony, połączony jest ze szczotką walca kontaktowego S, to zauważymy, że przez te przewody będzie przepływał prąd taksamo długo jak i przez *KM*. W ten sposób nadajemy w przewody impuls prądu, który trwa proporcjonalnie długo do kąta $\alpha$; rozpoczyna się on w chwili, gdy walec kontaktowy S spowoduje przepływ prądu przez *KM* oraz *A*, a skończy się w chwili zwarcia z sobą skazówek *AZ* i *KZ*. Przy całkowitem odchyleniu miernika Z impuls trwa około 4 sek.

Korzystając z rys. 15, postaramy się teraz zbadać przerobienie impulsu prądu na odpowiednie odchylenie o $\sphericalangle \alpha$ skazówki miernika odbiorczego Z. Otóż impuls, przepływając poprzez linję, przechodzi przez przekaźnik $Sp_2$, który zapadką nie pozwoli opaść skazówce Z, gdyż zaraz potem działający z odpowiedniem opóźnieniem przekaźnik $Sp_1$ podniesie swoją zapadkę, skutkiem czego sprężyna $F_2$ odciąga pośrednią skazówkę $Z_2$ tak, że ta ostatnia opadnie na skazówkę $Z_1$. W tej chwili magnes sprzęgła *KM*, działający ze stosunkowo największem opóźnieniem, sprzęgnie silniczek synchroniczny *M* ze skazówką $Z_1$, która teraz zacznie się poruszać wraz ze skazówką $Z_2$. Ponieważ szybkości kątowe silniczków miernika nadawczego i obecnie rozpatrywanego miernika odbiorczego są równe, przeto silniczek odbiorczy również przesunie skazówki $Z_1$ i $Z_2$ o $\sphericalangle \alpha$ (pomijamy bardzo małe opóźnienie działania magnesu odbiorczego *KM*). W tej chwili niknie impuls prądu, skutkiem czego teraz najpierw działa przekaźnik $Sp_1$ i zapadką nie pozwala opaść skazówce $Z_2$. Nieco później odłącza się sprzęgło *KM* i wreszcie przekaźnik $Sp_2$ zwalnia skazówkę Z. Celem zdania sobie sprawy z tego, co się z nią stanie, przypuśćmy, że obecny pomiar, charakteryzujący się $\sphericalangle \alpha$, dotyczył wielkości mniejszej, niż wskazana przez miernik odbiorczy Z. Skutkiem tego skazówka $Z_2$, nie osiągnąwszy zetknięcia się ze skazówką $Z_3$, została zatrzymana zapadką $Sp_1$. W tym przypadku po zwolnieniu zapadki $Sp_2$ skazówka Z, a raczej $Z_3$ opadnie na skazówkę $Z_2$. Gdyby natomiast wielkość przekazywana, a więc i $\sphericalangle \alpha$ były większe od dotychczasowych wskazań miernika Z, wówczas skazówka $Z_2$, popychana przez $Z_1$, natrafiłaby po drodze na skazówkę $Z_3$ i przesunęłaby ją odpowiedno wyżej. Ruchowi temu zapadka $Sp_2$ nie może się sprzeciwić, gdyż działa ona tylko jednokierunkowo.




Rys. 15. Schemat ideowy odbiornika urządzenia dla pomiarów, dokonywanych zdala, syst. impulsowym firmy AEG.

Widzimy, że przy tej metodzie dokonywania pomiaru zdala przeka-

zywanie pomiaru, t. j. przerabianie odchylenia skazówki nadajnika na impuls, a impulsu w odbiorniku na odchylenie, odbywa się na drodze mechanicznej.

Impulsy te mogą być przenoszone zarówno zapośrednictwem prądów wysokiej częstotliwości systemem wzdłużprzewodowym, jakteż i przez nakładanie prądu stałego lub zmiennego o dowolnej częstotliwości na przewody telefoniczne kablowe lub napowietrzne; dzięki temu system ten może być użyty w przewodach, oddzielonych od siebie transformatorami, np. izolacyjnemi. Jednoczesne prowadzenie rozmów i pomiarów na jednych i tych samych przewodach zupełnie sobie nie przeszkadza i może być prowadzone niezależnie jedno od drugiego bez względu na to, czy przewody te przechodzą przez jakieś pośrednie stacje przekaźnikowe wzmacniające czyteż nie. Miernik odbiorczy może być skazówkowy (rys. 16) lub rejestrujący, a dzięki zastosowaniu zarówno w miejscu pomiaru jak i miejscu odbioru walca z odpowiednią ilością kontaktów, włączane są co pewien czas kolejno mierniki różnych wielkości. W ten sposób jeden aparat odbiorczy może rejestrować sześć różnych wielkości, mierzonych w ustalonej kolejności i w ustalonych odstępach czasu. Rejestracja odbywa się na wspólnej taśmie, każda wielkość mierzona rejestrowana jest innym kolorem. Pomiary, przeprowadzone w sposób wyżej opisany, dokonywane są z błędem nieprzekraczającym ± 2%—3%. Tylko przy pomiarze napięcia i częstotliwości wymagana jest wyższa dokładność, t. j. wahająca się w granicach ± 0,5%—1%.

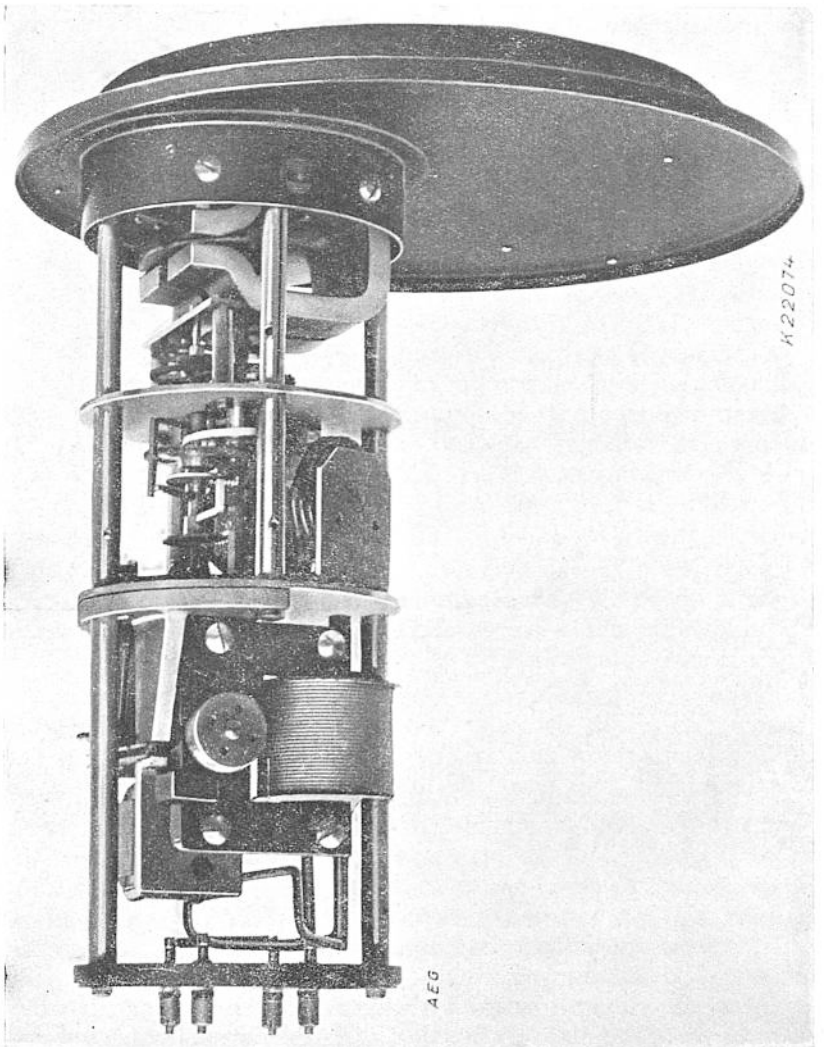
Dzięki możliwości przy obu systemach mierniczych samoczynnego geometrycznego lub algebraicznego sumowania wielkości mierzonych można odrazu zorjentować się co do sumy np. mocy przenoszonej przez szereg linij lub oddawanej przez szereg elektrowni, jak również i różnicy między mocą oddawaną i pobieraną.

Należy jeszcze zaznaczyć, że oprócz dwu wyżej wymienionych systemów pomiarów zdala istnieje jeszcze trzeci system, polegający na tem, że do przenoszenia pomiaru używa się prądu zmiennego o częstotliwości zmieniającej się wraz ze zmianą mierzonej wielkości, alboteż używa się do tego celu wysokiej częstotliwości, przyczem falę nośną moduluje się rozmaicie.

Jeżeli chodzi o porównania systemu kompensacyjnego z systemem impulsyjnym należy zauważyć, że o ile dokładność wskazań pierwszego systemu jest zależna od oporności linji, jej stopnia izolacji, a więc i pogody, wpływającej zarówno na zmianę tej oporności jak i zmianę izolacji, o tyle drugi system jest pozbawiony tych wad. Również prądy pasożytnicze, dostające się drogą bądźto galwaniczną, indukcyjną czyteż pojemnościową do przewodów pomiarowych, a w szczególności założonych na słupach z prądami silnemi, mogą wpływać na pomiar, czego również nie mamy przy metodzie impulsyjnej, która w dodatku pozwala na użycie dla przekazywania pomiarów także przewodów siłowych. Metody impulsyjnej nie można użyć jedynie w tych nielicznych przypadkach, gdy chcielibyśmy przenieść pomiar z jednej sieci niezależnej do drugiej, jak również wprowadzić do sieci, złączonej z pierwszą zapomocą maszyn wirujących, a więc, ogólnie

mówiąc metody tej nie można stosować wówczas, gdy sieci pracują asynchronicznie lub gdy miejsce odbioru pomiaru znajduje się bez napięcia.

Na zakończenie pragniemy jeszcze wspomnieć, że w przypadku, gdy rozdział mocy na poszczególne elektrownie jest uzależniony od wyniku




Rys. 16. Odbiornik urządzenia dla pomiarów, dokonywanych zdala, systemem impulsowym firmy AEG, w wykonaniu dla wpuszczenia w tablicę.

pomiaru, dokonanego z odległości, C. B. R. O. musi mieć możność zmiany tego rozdziału w odpowiednich przypadkach, co osiąga drogą umyślnego sfałszowania pomiaru, dokonywując tego zapomocą stosownego urządzenia, t. zw. po niemiecku Phantomgeber.

Poza wyżej wymienionemi systemami dokonywania pomiarów zdala

istnieje oczywiście cały szereg innych systemów, których szczegółowe rozpatrywanie nie należy jednak do tematu niniejszej pracy i dlatego czytelników, interesujących się bliżej tą sprawą, odsyłamy do literatury, wymienionej dla niniejszego rozdziału.

## C. Obsługa samoczynna i zdalna.

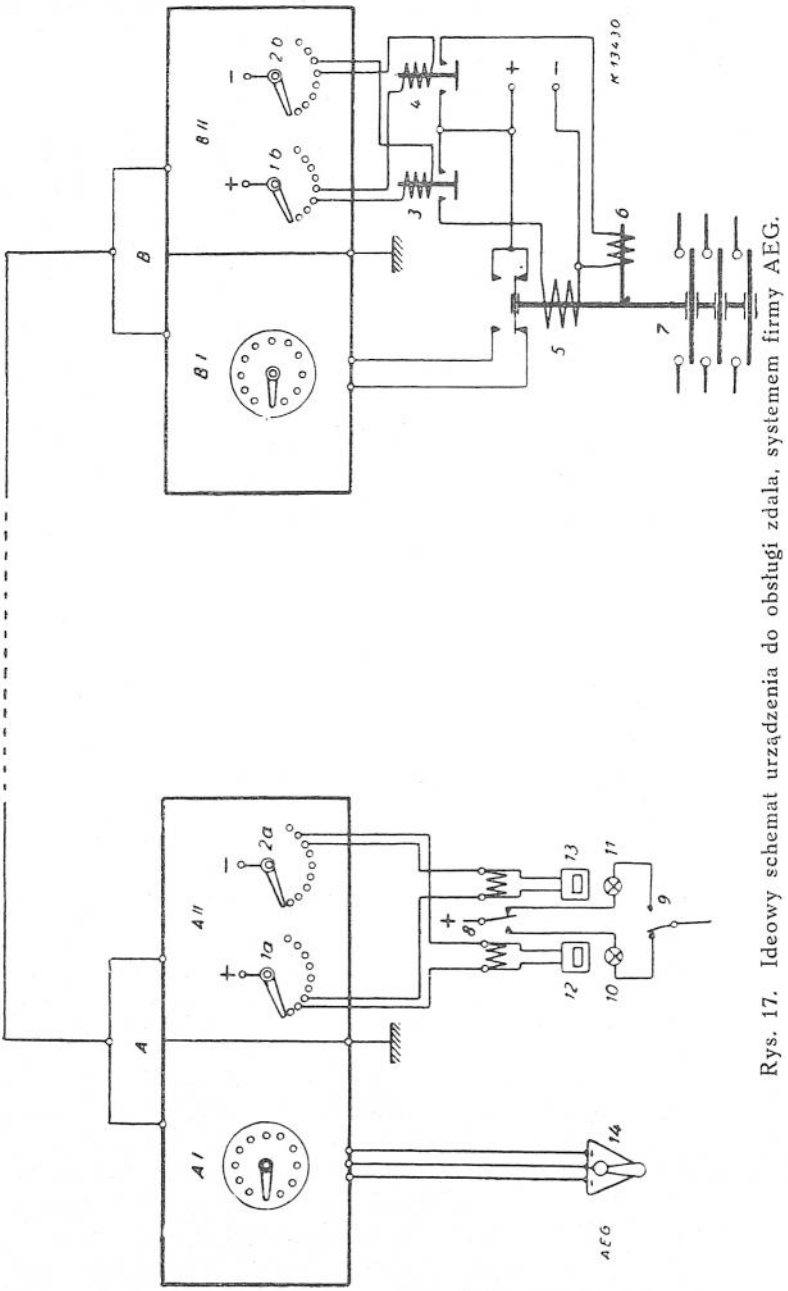
Centralne Biuro Rozdziału Obciążeń, mając już możność wykonywania pomiarów, posiada w każdej chwili obraz stanu roboczego nadzorowanych przez siebie urządzeń. Dzięki środkom łączności może kierować obsługą i na drodze pośredniej wykonywać pewne czynności. Jednakże w niektórych przypadkach jest wskazane zastosowanie samoczynnej obsługi, szczególnie wtedy, gdy pewne czynności, stale jednakowe, powtarzają się okresowo, np. przyłączanie lub odłączanie transformatorów, w niektórych przypadkach regulacja napięć i t. p. Samoczynna obsługa cieszy się szczególnem uznaniem i rozpowszechnieniem przedewszystkiem w trakcji elektrycznej. Wielkie i małe podstacje są obsługiwane samoczynnie, samoczynnie przyłączane lub odłączane prostowniki rtęciowe w zależności od obciążenia i t. p. Podstacje te są stale zamknięte i tylko od czasu do czasu kontroluje się je. Niezawodność działania tych urządzeń nasunęła myśl szerszego ich zastosowania, toteż znajdują one coraz to większe i chętniejsze zastosowanie także w urządzeniach zakładów sieciowych i w zakładach wytwórczych. Pozwala to na znaczne ograniczenie pracy ludzkiej, ułatwia kierowanie ruchem i zwiększa dokładność wykonywanych czynności. W niektórych przypadkach jednak zachodzi konieczność wykonywania pewnych czynności także w innych terminach, niż pierwotnie przewidywane, np. pewien transformator bywał stale samoczynnie przyłączany o $17^h$, tymczasem z jakichkolwiek nieprzewidzianych przyczyn już o $12^h$ występuje obciążenie wymagające przyłączenia tego transformatora. Dlategoteż poza obsługą samoczynną i niezależnie od niej należy mieć możność obsługiwania stacyj bezpośrednio z odległych punktów obserwacyjnych, jakiemi są np. biura rozdziału obciążeń (rozrządnie) lub nastawnie. Szczególnie ważne jestto w przypadku np. likwidowania jakiegoś zakłócenia ruchu.

Oprócz szeregu dobrych stron obsługi samoczynnej obsługa zdala ma jeszcze ten plus, że pozwala na wykonywanie pewnych czynności wmiarę potrzeby. Z tej racji system obsługi zdala stosuje się zarówno w stacjach z obsługą samoczynną, lecz niezależnie od niej, jak również i w stacjach zupełnie bez obsługi. Częstokroć korzystnem jest powierzenie części czynności obsłudze samoczynnej, wykonywanie części zdala, a części zapośrednictwem personelu. W każdym razie stosowanie takiej lub innej obsługi jest rzeczą zależną od różnych okoliczności miejscowych tak, że każdy poszczególny przypadek musi być traktowany indywidualnie.

Nad przyrządami samoczynnemi, jako ogólnie znanemi, nie będziemy się zastanawiali i przejdziemy bezpośrednio do zaznajomienia się z systemem przyrządów, umożliwiającym obsługę zdala. Poniżej rozpatrzymy jedno z rozwiązań tego zagadnienia. Rozwiązanie to nadaje się zarówno do

wielokrotnego posługiwania się w tym celu przewodami prądu słabego, jakoteż fazą przewodu roboczego przy systemie wysokiej częstotliwości wzdłużprzewodowej, podobnie zresztą jak przy wykonywaniu pomiarów zdala, przyczem wystarczy w tym przypadku tylko jedna częstotliwość (Dipl.-Ing. W. Brückel). Cały przyrząd składa się z dwóch części: pierwszej nadawczej *A I* (rys. 17), która wysyła impulsy prądu, odbierane na drugiej stacji przez odbiornik *B II*, wykonywujący zadania, odpowiadające tym impulsom, i drugiej, którą jest odbiornik *A II*, odbierający sygnały meldunkowe pochodzące z nadajnika *B I* drugiej stacji i zawiadamiające o wykonaniu zadania przez tamtejszy odbiornik. Sygnały dyspozycyjne składają się z dwóch grup impulsów, które następują po sobie w pewnym określonym czasie, przyczem zawsze suma impulsów pierwszej i drugiej grupy jest wielkością stałą dla danego urządzenia, równą np. 9 dla nadajnika *A I* oraz np. 10 dla nadajnika *B I*. Tak więc zarówno stacja *A*, dysponująca wykonanie jakiejś czynności, jak i stacja *B*, wykonywująca tę czynność, są zaopatrzone tak w nadajnik jak i odbiornik. Przypuśćmy, że pragniemy włączyć wyłącznik 7, ustawiony w stacji *B*, odległej od nas o kilkadziesiąt lub więcej kilometrów. W tym celu wyłącznikiem 14 uruchamiamy nadajnik *A I*, którego wybieraczem, podobnym zresztą do telefonicznego, nadajemy odpowiadające tej czynności impulsy 3 i 6. Po dokonanem nadaniu odłączamy przyrząd *A I* wyłącznikiem 14. W aparacie odbiorczym *B II* na pierwszą grupę sygnałów reaguje specjalny walec kontaktowy 1 *b*, który nastawia się na kontakt, odpowiadający liczbie impulsów odebranych, t. j. trzech, i łączy ten kontakt z jednym (+) biegunem miejscowego źródła prądu, poczem drugi taki sam walec 2 *b*, stosownie do ilości impulsów drugiej grupy, t. j. sześciu, nastawia się na odpowiadający tej ilości kontakt, łącząc go z drugim biegunem (—) tego samego źródła prądu. Ponieważ liczba porządkowa 3 kontaktu pierwszego walca połączona jest przez przekaźnik przyłączania 3 z odnośnym kontaktem drugiego walca, t. j. z tym, którego cyfra porządkowa 6, dodana do cyfry porządkowej pierwszego walca, daje wyżej wspomnianą ustaloną sumę 9, przeto w ten sposób przekaźnik 3 otrzymuje prąd z zewnątrz i przeprowadza wymaganą operację zapomocą magnesu przyłączania 5. Po przeprowadzeniu tej czynności, t. j. po włączeniu wyłącznika olejowego 7, odpowiednie kontakty sygnałowe, umieszczone na wale tego wyłącznika, zamykają się i w ten sposób uruchamiają nadajnik *B I*, który dla danego położenia wyłącznika nadaje odpowiednią ilość dwugrupowych impulsów, wynoszącą np. 2 i 8 o sumie, właściwej dla danego nadajnika *B I*, równej np. 10. Impulsy te przyjmuje odbiornik stacji dysponującej *A II* i zapomocą przekaźnika 8 zapala lampę sygnalizacyjną 10 oraz opuszcza klapkę sygnalizacyjną 12. Tak więc wykonana manipulacja sygnalizuje się samoczynnie. Po odebraniu tego meldunku przełącznikiem 9 gasimy lampkę 10 i podnosimy klapkę 12. W przypadku, gdybyśmy pragnęli odłączyć wyłącznik 7, przebieg działania byłby taki sam jak poprzednio, tylko wybieraczem nadajnika *A I* nadalibyśmy impulsy 4 i 5 tak, że odbiornik *B II* uruchomiłby przekaźnik odłączający 4, który dokonałby tej czynności zapomocą magnesu 6. Nadajnik *B I* zameldowałby impulsami 3 i 7 o doko-

nanej czynności, co zaznaczyłby odbiornik *A II* zapaleniem lampki 11 i spuszczeniem klapki 13.




Rys. 17. Ideowy schemat urządzenia do obsługi zdala, systemem firmy AEG.

Stosowanie dwugrupowego systemu sygnałów jest konieczne w celu wyeliminowania skutków impulsów przygodnych, otrzymanych ewent. z ze-

wnątrz, naprzykład z automatycznych central telefonicznych, opartych na podobnym systemie, gdyż pasożytnicze te impulsy mogłyby spowodować wykonanie jakiejś czynności. Odpowiednią ilość impulsów nadaje się zapomocą krążka z otworkami (wybieracza), podobnie jak w automatycznych stacjach telefonicznych.

Gdyby zdarzyło się, że skutkiem np. silnego zwarcia wszystkie automaty danej stacji wyskoczą, to meldują one samoczynnie o nowym swym stanie ruchowym kolejno w porządku łączonych przez walce sygnalizacyjne kontaktów.

Błędnie podana dyspozycja, np. dyspozycja włączenia już włączonego wyłącznika, nie będzie wykonana i aparat zażąda sprawdzenia wydanej mu dyspozycji. Oczywiście jest możliwa i taka kombinacja, że rezygnujemy z dokonywania czynności zdala i ograniczamy się jedynie do możności każdoczesnego sprawdzenia poszczególnych połączeń. W tym przypadku ustawiamy w podstacji tylko część nadawczą całego przyrządu.

Tak więc w każdej chwili można zapomocą wyżej opisanego urządzenia sprawdzić z odległości stan ruchowy danego punktu węzłowego.

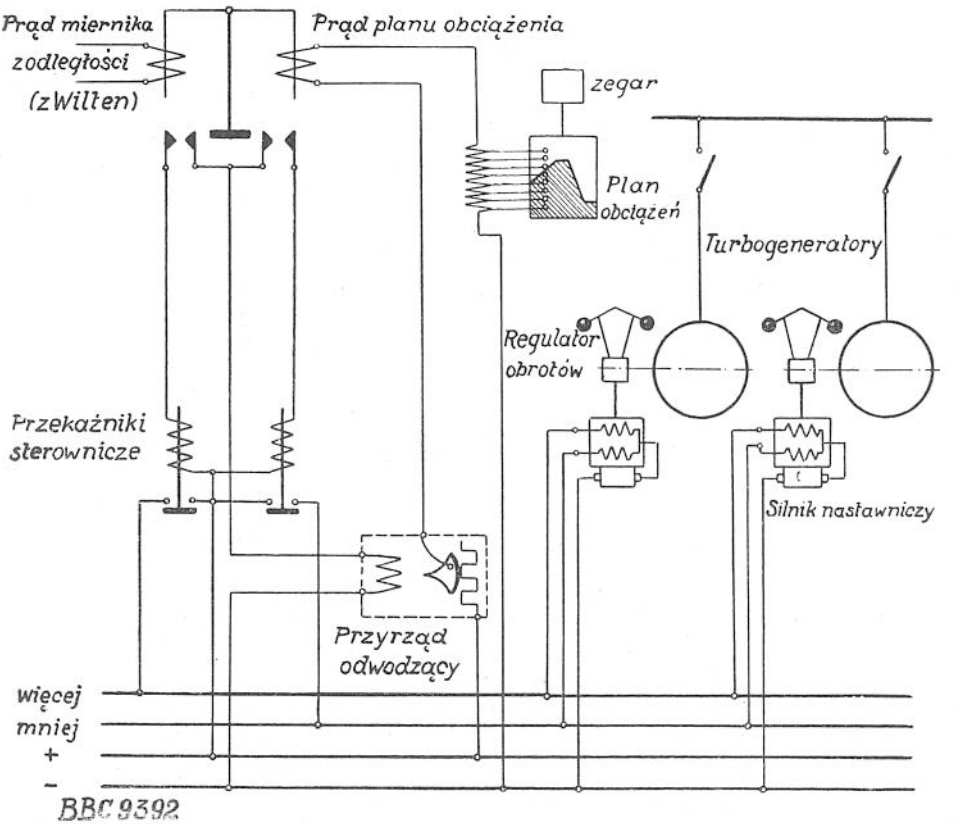
Do przesyłania impulsów można się posługiwać także średnią częstotliwością, np. 500-okresową, którą zapośrednictwem kondensatorów nakłada się na przewody robocze. Prąd o tej częstotliwości przechodzi przez napotykane po drodze transformatory, dociera do odpowiednich przekaźników, które uruchamia; dzieje się to więc zupełnie podobnie jak w niektórych systemach gaszenia i zapalania wielkomiejskiego oświetlenia ulicznego.

Przyrządy, umożliwiające obsługę zdala, zastosowane są m. in. w Berlinie (Berliner Stadt-und Ringbahn), w zakładzie wodnym zbiornikowym w Herdecke o mocy $4 \times 40\,000$ kVA, w Szwecji i t. d. Rozumie się, że są one również rozpowszechnione w Ameryce, jak np. w Milwaukee Electric & Railway Co., w Central Indiana Power Co., w Montana Power Co., np. w elektrowni wodospadu Great na rzece Missouri o mocy $2 \times 25\,000$ kW i t. d.

Systemem przeprowadzania pomiarów zdala oraz obsługą z odległości posiłkujemy się w różnych przypadkach także i dla nie bezpośrednich celów pomiarowych. Jako przykład może służyć samoczynne urządzenie przejmowania obciążeń w myśl rozkładu obciążeń przez jedną z elektrowni wodnych w Tyrolu. Elektrownia ta, jedna z największych elektrowni wodnych w Europie, należąca do towarzystwa Tiroler Wasserkraftwerke-A. G. (Tiwag), jest zbudowna w miejscowości Jenbach pod Innsbruckiem i korzysta ze spadu wód jeziora Achensee. Prąd, wytworzony w tej elektrowni, płynie poza granice Austrji, a mianowicie do sieci bawarskiej. Urządzenie to zostało wykonane w r. 1928 wspólnie przez firmy: BBC oraz Hartman & Braun A. G. Polega ono na różnicowem działaniu prądu przyrządu, mierzącego zdala moc, przekazywaną sieci bawarskiej w stacji Wilten pod Innsbruckiem, z prądem, na który „przetłomaczony" jest rozkład obciążeń w Jenbach. Moc ta jest mierzona z odległości 35 km zapośrednictwem kabla dwużyłowego, który jednocześnie służy do telefonowania. Odpowiedni przekaźnik, działający pod wpływem różnicy oddziaływań wyżej podanych dwóch czyników, t. j. mocy rzeczywiście przekazywanej z mocą, jaka powinna być przekazywana według

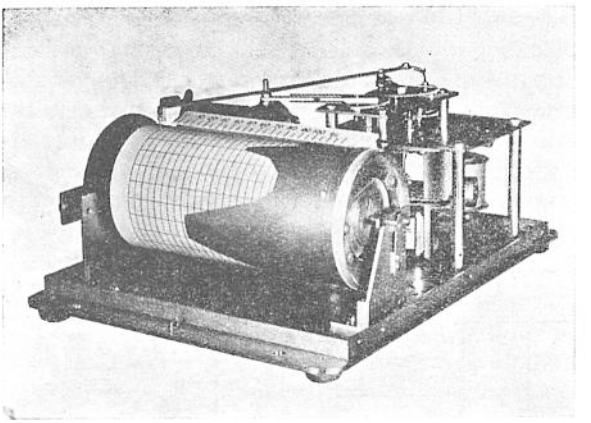
planu obciążeń, powoduje właściwe sterowanie regulatora ilości obrotów turbiny. Oczywiście, gdy tylko jeden taki automat musi obsługiwać nie jedną lecz więcej turbin, co dzieje się wówczas, gdy różnice obciążeń dostosowywanych są większe niż moc największej turbiny, to turbiny te muszą być dokładnie wyregulowane, t. j. powinny być do siebie elektrycznie, magnetycznie i mechanicznie zupełnie podobne, aby bezwładność regulacyjna i bezwładność przejmowania mocy były możliwie jednakowe, gdyż w ten sposób unika się zjawiska kołysania.

*Waga sterownicza*

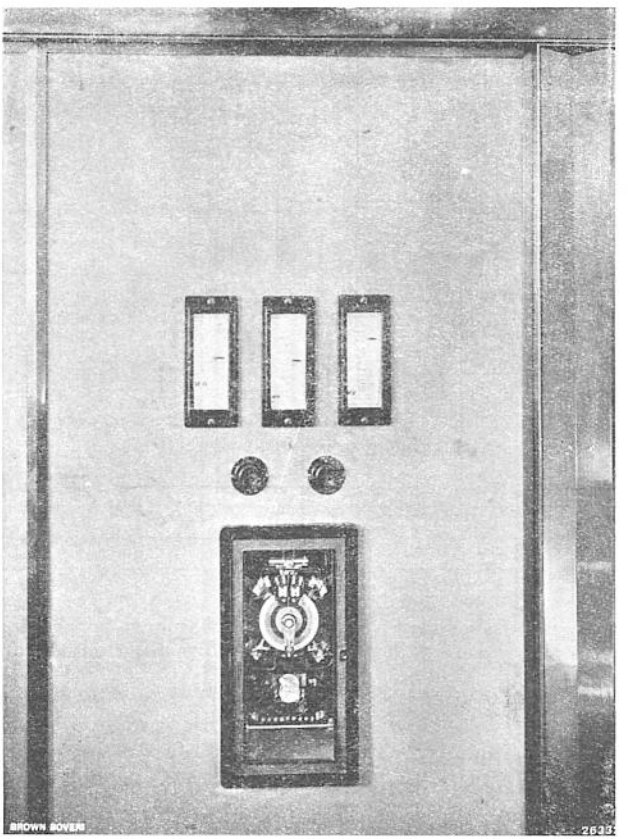



Rys. 18. Ideowy schemat samoczynnej regulacji zdalnej mocy, przekazywanej do Bawarji z Zakładu Wytw. Achenseewerk w Jenbach według firm BBC i Hartmann & Braun A. G.

Schemat dopieroco opisanego urządzenia widzimy na rys. 18. Plan obciążeń wycięty jest w odpowiedniej skali z cynfolji i naklejony na walec, obracany mechanizmem zegarowym. Podobny przyrząd widzimy na rys. 19. W każdej więc chwili metalowy plan obciążeń zwiera pewną część oporności, w ten sposób zmieniając natężenie prądu w zależności od przewidzianego planem obciążenia. Przypuśćmy, że obciążenie, przekazywane w Wilten, jest większe niż to z planu wypada. Wówczas prąd miernika zdalnego przeciąga na swoją stronę wagę sterowniczą, skutkiem tego zwie-

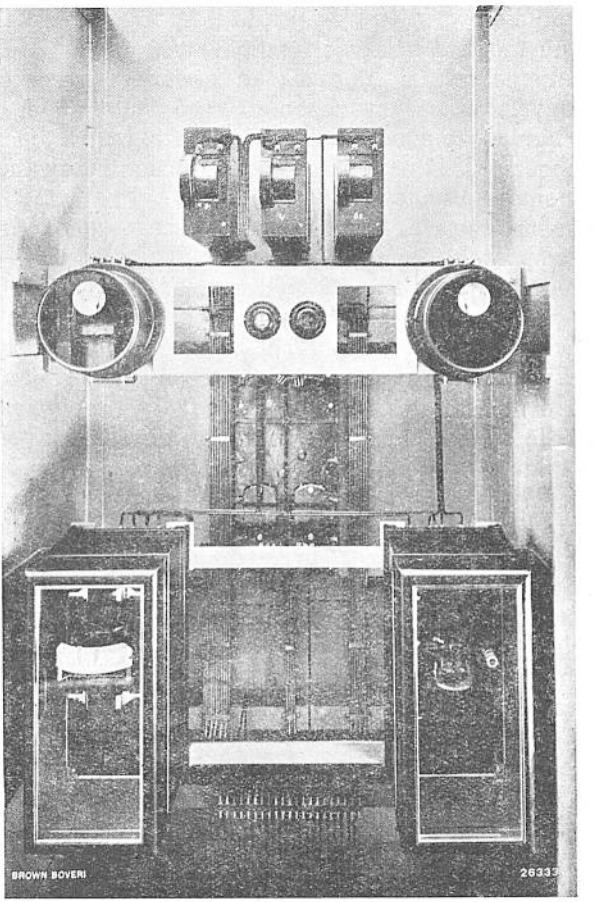


Rys. 19. Samoczynny przyrząd firmy AEG do utrzymania pracy wytwórni według programu.




Rys. 20. Tablica z kompletem przyrządów do samoczynnej regulacji mocy systemem BBC, ustawiona w Zakładzie Wytwórczym Achenseewerk w Tyrolu (widok kompletu z przodu).

łają się kontakty i zapomocą przekaźnika sterowniczego zmniejszają dopływ energji zewnętrznej do turbogeneratorów tak, że one obniżają swą moc. Na schemacie tym, nie wymagającym zresztą dalszych objaśnień, widzimy jeszcze przyrząd odwodzący, który ma na celu niedopuszczenie do tego, aby regulacja trwała tak długo, jak długo waga sterownicza się nie zrównoważy, gdyby bowiem regulator dokładnie w tej chwili przestał dzia-




Rys. 21. Tablica z kompletem przyrządów do samoczynnej regulacji mocy systemem BBC, ustawiona w Zakładzie Wytwórczym Achenseewerk w Tyrolu (widok kompletu z tyłu).

łać, to siła żywa wody, przepływającej przez długie rurociągi, spowodowałaby dalsze trwanie regulacji. W ten sposób turbina byłaby przeregulowana i dla wyrównania musiałaby nastąpić regulacja odwrotna. Wówczas turbogeneratory kołysałyby się. Aby to nie nastąpiło, przyrząd odwodzący tak zmienia prąd planu obciążeń, że regulacja zakończy się nie wówczas, gdy obciążenie turbiny osiągnie właściwą wielkość, lecz gdy napełnienie turbiny (przekrój rury, doprowadzającej wodę) będzie ściśle odpowiadało żądanemu obciążeniu sieci. Przyrząd odwodzący widzimy na froncie tablicy na rys. 20. Rys. 21 pokazuje tył tablicy.

## D. Kierowanie rozpływem obciążeń.

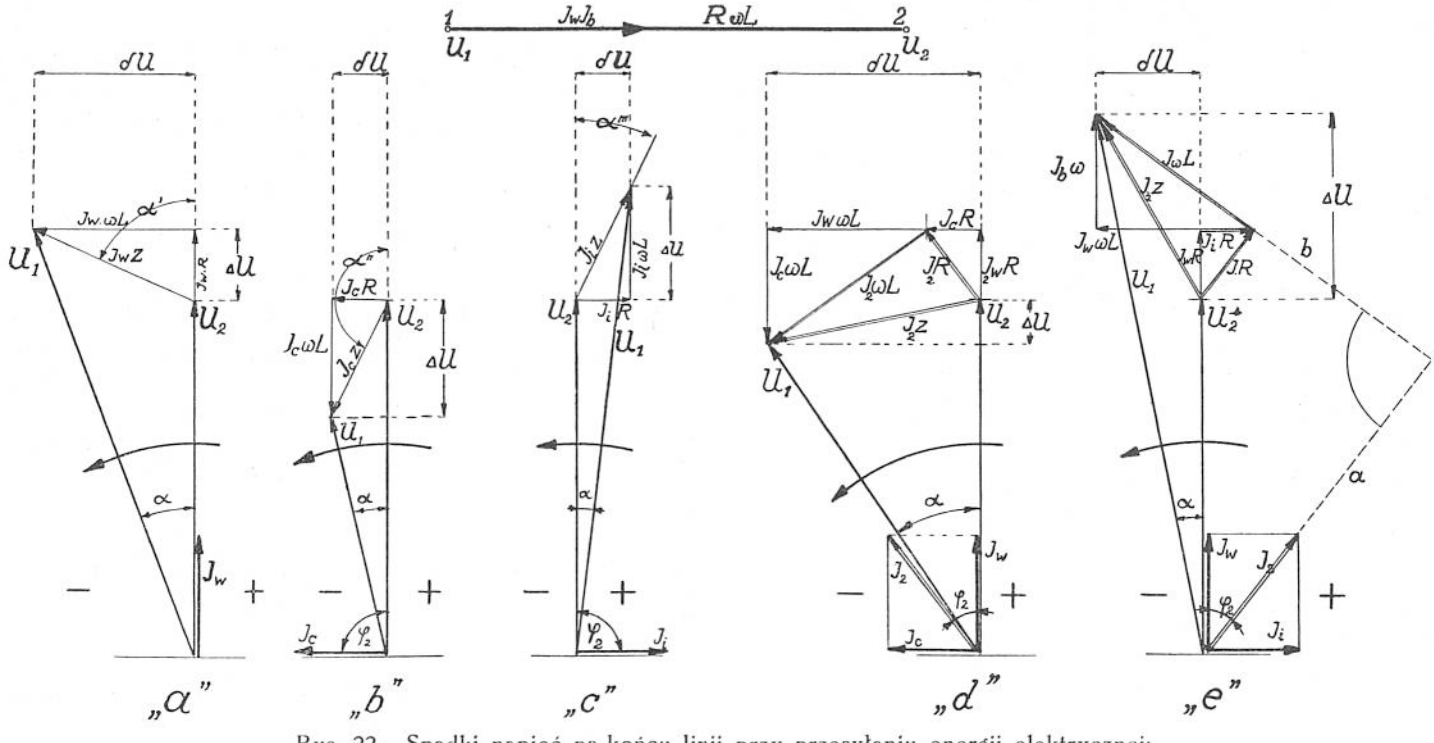
C. B. R. O. ma prowadzić ruch całego zespołu wedle rozdziału obciążeń, otrzymanego z Biura Kalkulacyjnego Wydziału Ekonomicznego, odpowiedzialnego za gospodarkę energetyczną całego zespołu. Rozdział obciążeń ułożony jest w ten sposób, aby z jednej strony zapewniał największe korzyści ekonomiczne w zakładach wytwórczych i w całym systemie pośredniczenia pomiędzy wytwórcą prądu a spożywcą; z drugiej natomiast strony ma dawać możliwie największą pewność ruchu. Celem osiągnięcia i utrzymania takiego rozdziału obciążeń podczas wszelkich zmian roboczych, zachodzących w całym zespole współpracującym, konieczna jest możność regulowania obciążeń pewnych ściśle określonych miejsc zespołu, których stan roboczy C. B. R. O. ma możność kontrolowania i zobrazowywania sobie zapomocą pomiarów.

Jeżeli umówimy się, że pod jednostką wytwórczą będziemy rozumieli w mniejszych zespołach generator, a w większych całą elektrownię, to operując tym jednym terminem, uogólnimy całe rozważania. Biorąc dalej pod uwagę, że przy rozważaniach tych koniecznem będzie rozpatrywanie łączne przepływu prądów bezmocnych z przepływem prądów mocnych, musimy zaznaczyć, że źródłem prądów mocnych są generatory, napędzane silnikami o działaniu zależnem od rodzaju przetwarzanej przez nas energji na energję elektryczną. Wielkość prądów mocnych w generatorach ustala się zmianą regulacji dopływu energji do silników napędowych. Co do przepływającego prądu bezmocnego zauważymy przedewszystkiem, że prąd ten z jednej strony jest zapotrzebowany przez odbiorniki prądu, a z drugiej strony przez urządzenia, przesyłające energję elektryczną; względnie prąd ten wywołany jest wzajemnem ustosunkowaniem się oporności rzeczywistej, indukcji i pojemności. Prądu bezmocnego dostarczamy dzięki zmianie wzbudzenia generatorów lub silników zarówno synchronicznych jak i asynchronicznych, a przepływ jego wywołujemy przez wprowadzenie do obwodu odbiorów pojemnościowych albo indukcyjnych lub też przez dodanie do napięcia, panującego w danym punkcie sieci, dodatkowego napięcia stosownej wielkości i kierunku.

Z kwestją kierunku przenoszenia energji związane są ściśle sprawy: utrzymania w stanie równowagi pracy równoległej całego zespołu, regulacji napięć i możności uruchamiania linij elektrycznych bardzo długich przy bardzo wysokich napięciach. Dlatego też ważnem jest zdanie sobie sprawy z wpływu, jaki mają poszczególne prądy na wektory napięć na początku i na końcu każdego odcinka sieci, przez który prądy te przepływają. Ponieważ zjawiska, związane z tym przepływem, są ogólnie znane z teorji elektryczności, przeto narazie ograniczymy się do przypomnienia ich sobie przez zwrócenie uwagi na rys. 22, na którym uwidocznione są te wpływy przy wszystkich pięciu możliwych przypadkach wzajemnego ustosunkowania się w sieci prądów mocnych, pojemnościowych i indukcyjnych.

### *I. Zmiana przepływu energji między dwoma punktami zasilającemi.*

Mając na uwadze zmiany wektorów napięć pod wpływem poszczególnych prądów, rozpatrzymy teraz ten szczególny przypadek zmiany kie-




Rys. 22. Spadki napięć na końcu linji przy przesyłaniu energji elektrycznej:
a) prądem mocnym, b) prądem bezmocnym pojemnościowym, c) prądem bezmocnym indukcyjnym
d) prądem wyprzedzającym, e) prądem opóźniającym.

runku przepływu energji w linji, gdy linja ta odgrywa rolę szyny zbiorczej, na której każdym końcu przyłączone są zakłady wytwórcze z ich własnemi sieciami. Ponieważ w szynie takiej pomiędzy każdą parą elektrowni zachodzą zupełnie podobne zjawiska, przeto w zupełności wystarczy rozpatrzenie jednego odcinka tej szyny, zawartego między dwoma punktami zasilającemi.

Przepływ prądu elektrycznego w określonym kierunku powodujemy trzema sposobami, a to przez wprowadzenie: 1) podłużnej, t. j. algebraicznej różnicy pomiędzy rzutem napięcia początku danego odcinka linji elektrycznej, czyli pomiędzy rzutem napięcia miejsca zasilającego, a napięciem końca tego odcinka czyli punktu odbiorczego na które rzutujemy napięcie początku linji; 2) poprzecznej, t. j. geometrycznej różnicy napięć czyli przesunięcia w fazie wektorów napięcia w miejscu zasilającem w stosunku do napięcia w miejscu odbioru; 3) różnicy napięć zarówno co do wielkości jak i faz. Ostatnio wymieniony sposób, t. j. gdy mamy możność dowolnej zmiany napięcia tak pod względem wielkości jak i fazy, jest najogólniejszy i najczęściej stosowany. Dwa pierwsze sposoby można uważać za szczególne przypadki ogólnego trzeciego sposobu.

Z rys. 22 „e" widać, że spadek napięcia podłużny, t. j. będący w fazie z napięciem odbiorczem $U_2$ i równy $\Delta U = U_1 \cdot \cos \alpha - U_2$, jest spowodowany prądem mocnym w oporności rzeczywistej i prądem bezmocnym w oporności indukcyjnej. Spadek ten znajdziemy z równania:

$$U_1 \cdot \cos \alpha = U_2 + \Delta U = U_2 + J_w \cdot R + J_i \cdot \omega L,$$

a stąd:

$$\Delta U = J_w \cdot R + J_i \cdot \omega L$$

Natomiast druga poprzeczna składowa wypadkowego spadku napięcia, prostopadła do $U_2$, spowodowana jest przez prąd mocny w oporności indukcyjnej (induktancji) mniej spadek napięcia prądu bezmocnego w oporności rzeczywistej, czyli:

$$U_1 \cdot \sin \alpha = \delta U = J_w \cdot \omega L - J_i \cdot R,$$

tak więc:

$$\delta U = J_w \cdot \omega L - J_i \cdot R$$

Stąd znajdziemy prąd bezmocny indukcyjny:

$$J_i = J_w \cdot \frac{\omega L}{R} - \frac{\delta U}{R}$$

Podstawiając to we wzór na podłużny spadek napięcia, znajdziemy, że:

$$\Delta U \cdot R = J_w \cdot R^2 + J_w \cdot \omega^2 L^2 - \delta U \cdot \omega L,$$

a stąd:

$$J_w = \frac{\Delta U \cdot R + \delta U \cdot \omega L}{R^2 + \omega^2 L^2}$$

Rozpatrzyliśmy przypadek, gdy zarówno prąd mocny $J_w$, jak i prąd bezmocny $J_i$ płyną w jednym kierunku, t. j. od stacji 1 do stacji 2. Zastanowimy się teraz nad zjawiskami, zachodzącemi w tym odcinku w przy-

padku, gdy prąd mocny płynie ze stacji 1 do stacji 2, natomiast prąd bezmocny $J_c$ płynie w odwrotnym kierunku, t. j. ze stacji 2 do stacji 1. Zwracając w tym celu uwagę na rys. 22 „d" zauważymy, że

$$U_1 \cos \alpha = U_2 + \Delta U = U_2 + J_w \cdot R - J_c \cdot \omega L,$$

gdzie $\Delta U$ może być dodatnie lub ujemne. Stąd:

$$\Delta U = J_w \cdot R - J_c \cdot \omega L$$

oraz:

$$U_1 \sin \alpha = \delta U = J_w \cdot \omega L + J_c \cdot R$$

a stąd:

$$J_c = - J_w \frac{\omega L}{R} + \frac{\delta U}{R}$$

Podstawiając to we wzór na podłużny spadek napięcia, otrzymamy:

$$\Delta U \cdot R = J_w \cdot R^2 + J_w \cdot \omega^2 L^2 - \delta U \cdot \omega L$$

A więc i w tym przypadku prąd mocny określony jest tym samym wzorem jak poprzednio, t. j.:

$$J_w = \frac{\Delta U \cdot R + \delta U \cdot \omega L}{R^2 + \omega^2 L^2}$$

Wobec tego, że kąt $\alpha$ nigdy nie przekracza (12—15)°, możemy z dostateczną dla praktyki dokładnością powiedzieć, że podłużny spadek napięcia $\Delta U$ powoduje zmiany napięcia co do wielkości, a poprzeczny $\delta U$ co do fazy. Widzimy więc, że do regulacji przepływu energji elektrycznej i do regulacji napięć możemy posiłkować się następującemi czynnikami: $\Delta U$, $\delta U$, $J_w$, $J_i$, $J_c$, $R$ oraz $\omega L$. $\Delta U$ i $\delta U$ zmienia się zazwyczaj zapomocą transformatorów regulacyjnych; $J_w$ w zakładach wytwórczych zmienia się zapomocą regulatorów mechanicznych maszyn napędowych, a w poszczególnych gałęziach sieci — zmianą jednego z czynników $\Delta U$, $\delta U$, $R$ lub $\omega L$ albo ich kombinacją; prąd bezmocny zmienia się przez zmianę wzbudzenia maszyn elektrycznych zapomocą zmiany faz między napięciem $U_1$ i $U_2$, a więc zapomocą $\Delta U$ i $\delta U$ lub wreszcie przez zmianę $\omega L$ względnie przez zmianę oporności pozornej.

Z powyższych wzorów wynika, że:

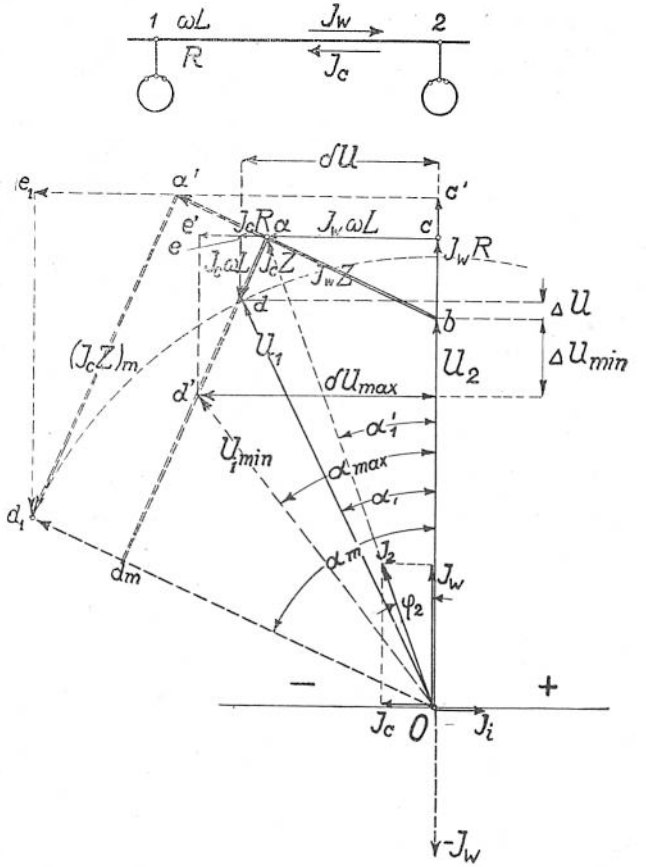
$$J_i = \frac{\Delta U - J_w \cdot R}{\omega L}$$

Prąd bezmocny nie będzie stale płynął między stacjami 1 i 2, gdy $\Delta U - J_w \cdot R = 0$. Jeżeli natomiast $\Delta U > 0$, co dzieje się wówczas, gdy $U_1 > U_2$ i gdy w dodatku $\Delta U > J_w \cdot R$, wtedy ze stacji 1 do stacji 2 płynie prąd mocny i w tym samym kierunku będzie mu towarzyszył prąd bezmocny, indukcyjny. Gdyby jednak było $\Delta U < J_w \cdot R$, wtenczas prąd mocny $J_w$ zachowa swój dotychczasowy kierunek ze stacji 1 do stacji 2, natomiast prąd bezmocny popłynie w odwrotnym kierunku, t. j. ze stacji 2 do stacji 1. Będzie to więc z punktu widzenia stacji 1 prąd pojemnościowy $J_c$, a z punktu widzenia stacji 2 prąd indukcyjny $J_i$. Ten prąd pojemnościowy będzie tem więk-

szy, im mniejsza będzie podłużna różnica napięć $\Delta U$. Gdy będzie $\Delta U = 0$, t. j. gdy $U_1 = U_2$ czyli gdy napięcia punktu zasilającego i odbiorczego są jednakowe, prąd pojemnościowy, płynący ze stacji 2 do stacji 1, będzie już znaczny. Gdybyśmy się zdecydowali na przesyłanie energji ze stacji o niższem napięciu $U_1$ do stacji o napięciu wyższem $U_2$, wówczas $\Delta U$ stałoby się ujemne, t. j. $\Delta U < 0$ tak, że i prąd pojemnościowy $J_c$ stawałby się tem większy, im większą wielkość ujemną przyjmowałoby $\Delta U$. Gdyby stacja 2 nie mogła wytworzyć odpowiednio wielkiego prądu bezmocnego, to wówczas musielibyśmy ustawić w niej specjalne generatory prądów bezmocnych, t. zw. kompensatory, o czem będzie mowa w dalszym ciągu tej pracy. Lecz i w ten sposób otrzymany prąd bezmocny jest ograniczony względami na gospodarność urządzenia, toteż dla zmniejszenia tego prądu musimy stosować transformatory regulujące napięcie albotеż włączać w linję dławiki o odpowiedniej indukcyjności.

Zwróćmy uwagę na rys. 23, a w szczególności na spadki napięć wyrysowane pełnemi linjami dla przypadku, gdy między stacjami 1 i 2 płynie prąd $J_2$ o składowej mocnej $J_w$ oraz o składowej bezmocnej $J_c$. Wobec tego, że dla rozpatrywanego odcinka sieci oporności $R$ oraz L są wielkościami stałemi i że $tg \sphericalangle cab = tg \sphericalangle ade$, to tangensy tych kątów są również stałe i są równe $\frac{bc}{ac} = \frac{ae}{ed} = \frac{R}{\omega L}$, a więc niezależnie zupełnie zarówno od natężenia prądu mocnego jak też i od natężenia prądu bezmocnego. Jedynie przyprostokątne $ac$ i $cb$ będą rosły lub też malały odpowiednio i proporcjonalnie do zmian natężenia prądu mocnego, a przyprostokątne $ae$ i $ed$ — proporcjonalnie do zmian natężenia prądu bezmocnego. Zauważymy, że w $\Delta abc$ przeciwprostokątna $ab$ jako równa $J_w . Z$ jest proporcjonalna do przesyłanej mocy czynnej, natomiast przeciwprostokątna $ad$ a $\Delta aed$ jest równa $J_c . Z$, jest więc proporcjonalna do przesyłanej mocy biernej pojemnościowej. W rozpatrywanej obecnie chwili sieć jest obciążona prądem mocnym $J_w$ i prądem bezmocnym $J_c$ w ten sposób, że napięcie na stacji 1, t. j. u źródła prądu, wynosi $U_1$, przyczem napięcie zdawcze $U_1$ wyprzedza napięcie odbiorcze $U_2$ o pewien kąt $\alpha_1$. Jeżeli więc przesyłamy przez linję moc stałą czynną tak, że $J_w = \text{const.}$, to $\Delta abc$ nie ulega zmianie. Skoro więc moc bierna ulega zmianie i w danej chwili jest proporcjonalna do odcinka $ad'$, wówczas $\Delta aed$ powiększył się i stał się równy $\Delta ae'd'$. Jak widzimy, przenoszenie mocy czynnej przy tak zwiększonym prądzie bezmocnym, odbywa się przy napięciu zniżonem w stacji 1 do wysokości $Od'$. Oczywiście, że napięcie to wobec wzrostu $\delta U$ do wysokości $ce'$ wyprzedza napięcie $U_2$ o kąt większy od kąta $\alpha_1$. Jeżeli uczynilibyśmy zastrzeżenie, że kąt $\alpha_1$ nie może przekroczyć pewnej wielkości i że właśnie tę wielkość osiągnęło napięcie $Od'$, wówczas $\sphericalangle d'Ob$ będzie największym kątem, przy którym będziemy mogli uskuteczniać przesyłanie energji; dlategoteż oznaczyliśmy go przez $\alpha_{max}$. Rzecz jasna, że wówczas napięcie $Od'$ jest najmniejszem napięciem, jakie jeszcze można utrzymywać w stacji 1; dlatego oznaczyliśmy je literą $U_{1\,min}$. Zauważymy, że napięcie $U_1$, ulegając zmianom, ślizga się wierzchołkiem $d$ swego wektora wzdłuż prostej $ad_m$, stanowiącej przedłużenie prostej $ad$, powodując jednocześnie zmianę kąta wyprzedzenia $\alpha$. Przypuśćmy, że napięcie u źródła

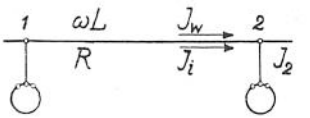
prądu, czyli w stacji 1, t. j. $U_1$ nie ulega zmianie co do wielkości: wówczas przy zmianie obciążenia wektor $U_1$, zmieniając kąt wyprzedzenia, wierzchołkiem swym zatoczy okręg koła. Jeżeli teraz będziemy powiększali przenoszoną moc czynną $J_w$, wtedy wierzchołek $a$ odpowiednio powiększającego się $\Delta\ abc$ będzie przesuwał się wzdłuż prostej $baa'$. W ten sposób prosta $ad_m$ będzie się przesuwała równolegle w tym samym kierunku. Z łatwością można zauważyć, że przesuwanie to będzie mogło odbywać się

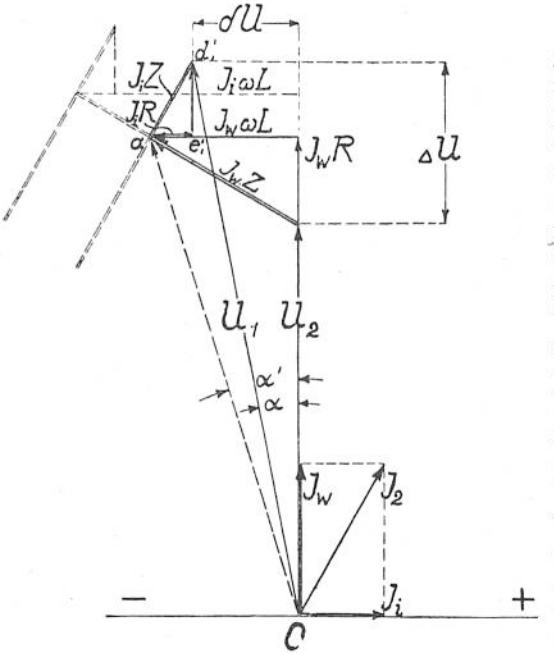



Rys. 23. Wykres zmiany przepływu prądów bezmocnych pojemnościowych.

tak długo, jak długo wierzchołek wektora $U_1$ będzie leżał na prostej mocy biernej $(J_c . Z)$. Krańcowem wychyleniem wektora $U_1$ będzie więc kąt $\alpha_m$, przy którym wierzchołek $d_1$ tego wektora będzie się znajdował w punkcie styczności $d_1$ linji $a'd_1$ z obwodem koła zatoczonego czubkiem wektora $U_1$. W ten sposób, o ile nie stawiamy żadnych ograniczeń co do wielkości kąta wyprzedzenia $\alpha$, największa moc czynna, którą możemy przenieść przy ustalonej wysokości $U_1$, jest proporcjonalna do odcinka $ba'$, a największa moc bierna jest znów proporcjonalna do odcinka $a'd_1$. Należy zauważyć, że $Od_1 \perp a'd_1$ oraz że $ba' \perp a'd_1$; stąd wynika, że $a'b \parallel d_1O$,

a co za tem idzie, $\sphericalangle \alpha_m = \sphericalangle abc$. W ten sposób, największa moc czynna $a'b$ jaką daną linją możemy przesłać przy $U_1 = \text{const.}$, ograniczona jest $\sphericalangle abc = \text{arc. tg} \frac{\omega L}{R}$. Im kąt ten jest większy, tem większa jest graniczna moc czynna, którą pragniemy przesłać. Stąd wniosek, że przez szeregowe włączenie w linję dławików o odpowiedniej oporności biernej (induktancji) można osiągnąć możliwość przenoszenia daną linją większych mocy, co ma szczególne znaczenie przy prądzie zmiennym o niższej częstotliwości, jak np. $16^2/_3$ (trakcja). Rzecz prosta, że to zwiększenie mocy jest ograniczone wielkością wektora $U_1$.




Rys. 24. Wykres zmiany przepływu prądów bezmocnych indukcyjnych.

Powróćmy znów do chwili, gdy obciążenie sieci charakteryzowało się odcinkiem *ab*, proporcjonalnym do mocy czynnej, odcinkiem *ad* proporcjonalnym do mocy biernej oraz napięciem $U_1$. Przypuśćmy, że odbierana moc czynna jest stała. Gdy w tych warunkach zaczniemy podnosić napięcie $U_1$ bądźto przez wzmacnianie wzbudzania generatora, bądźteż w inny sposób, wówczas punkt *d* przesuwać się będzie wzdłuż prostej $d_m a$ w kierunku do *a*; temsamem zmniejszać się będzie przesyłana moc bierna pojemnościowa *da*. Moc ta stanie się równa zeru, t. j. odbiór energji w stacji 2 będzie się odbywał przy $\cos \varphi = 1$ wówczas, gdy punkt *d* zleje się z punktem *a*. Odcinek $O_a$ będzie więc wówczas nowem napięciem $U_1$, przy którem będzie się odbywało to przesyłanie energji, przyczem kąt wyprzedzenia zmniejszy się do wielkości $\alpha'_1$. Jeżeli spowodowalibyśmy dalszy wzrost napięcia $U_1$, wówczas wierzchołek *d* przesunąłby się nazewnątrz prostej $d_m a$ i ślizgałby się dalej po jej przedłużeniu. W tej chwili popłynąłby prąd bezmocny indukcyjny, przyczem $\Delta$ *aed* ulegnie przekręceniu o 180° w płaszczyźnie rysunku naokoło punktu *a* tak, że bok *ae* padnie na *ac*. Przypadek ten przedstawia właśnie rys. 24, z którego bezpośrednio wynika, że przy $J_w = \text{const.}$ wzrost napięcia $U_1$ powoduje wzrost mocy biernej indukcyjnej, reprezentowanej odcinkiem $ad'_1$. Tak więc prąd bezmocny, a co za tem idzie i moc bierna, zmieniły kierunek o 180°. W ten sposób przy mocy czynnej, przesyłanej ze stacji 1 do

stacji 2, płynie również moc bierna ze stacji 1 do stacji 2, gdy napięcie $U_1 > Oa$, a płynie w odwrotnym kierunku, t. j. ze stacji 2 do stacji 1, gdy $U_1 < Oa$. Graniczny kąt wyprzedzenia, przy którym ta zmiana przepływu mocy biernych się odbywa, wynosi:

$$\alpha_1' = \text{arc. tg } \frac{J_w \cdot \omega L}{U_2 + J_w \cdot R}$$

lub ogólniej:

$$\alpha_1' = \text{arc. tg } \frac{\delta U}{U_2 + \Delta U}$$

Tak więc prądy bezmocne indukcyjne naogół zbliżają do siebie wektory napięcia początkowego i końcowego, prądy pojemnościowe natomiast powodują rozchylanie się tych wektorów.

Prąd bezmocny, który płynie ze stacji 2 do stacji 1, jest z punktu widzenia stacji 2 prądem indukcyjnym, podczas gdy dla generatorów stacji 1 jest on prądem pojemnościowym.

Z dotychczasowych rozważań wynika, że wraz ze zmianą napięcia $U_1$ zmienia się przepływ prądów bezmocnych zarówno co do natężenia jak i kierunku; i odwrotnie — zmiana przepływu mocy biernej powoduje zmianę napięcia $U_1$. Zmiana mocy czynnej powoduje, że wraz z nią zmienia się napięcie $U_1$, lecz nie dzieje się odwrotnie, t. j. zmiana $U_1$ nie powoduje zmiany mocy czynnej, jak to ma miejsce przy prądzie stałym; chyba że linja pracuje z kompensacją zupełną.

Rozpatrzmy ten szczególny przypadek, gdy napięcie miejsca zasilającego $U_1$ równe jest napięciu $U_2$ miejsca odbioru; wówczas $\Delta U = 0$ i otrzymamy:

$$\Delta U = 0 = J_w \cdot R + J_i \cdot \omega L$$

Z równania tego wynika, że:

$$-J_i = J_w \cdot \frac{R}{\omega L} = J_c$$

Równanie to wskazuje, że w przypadku pracy równoległej przy jednakowych napięciach początku i krańca linji prąd bezmocny jest proporcjonalny do prądu mocnego i jest w dodatku wyprzedzający. W tym przypadku więc prąd mocny płynie w odwrotnym kierunku w stosunku do prądu bezmocnego.

Widzimy więc, że sieci, których praca jest prowadzona przy jednakowem napięciu początkowem i końcowem, nie mogą być użyte do przesyłania dowolnych prądów bezmocnych, niezależnych od obciążenia odbiorczego czynnego.

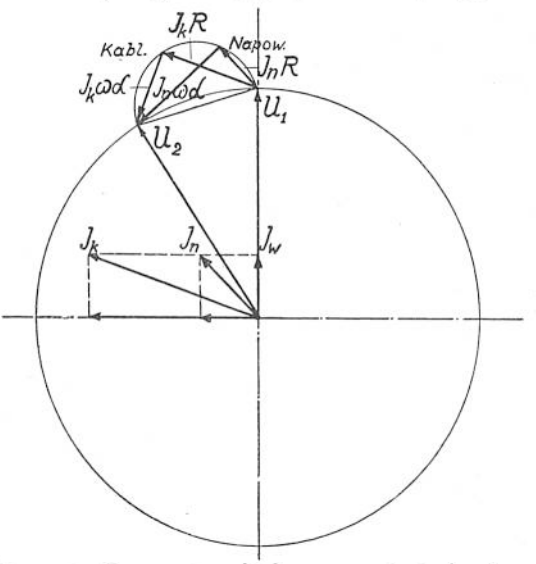
Pozatem z powyższego równania wynika, że przy tej samej mocy przenoszonej prąd bezmocny, a więc i wypadkowy, jest tem większy, im większa jest oporność czynna na jego drodze, a mniejsza oporność indukcyjna. Przypuśćmy, że porównywamy kable i przewody o jednej i tej samej oporności pozornej (impedancji): zauważymy, że w przewodach napowietrznych oporność indukcyjna jest kilkakrotnie większa niż w prze-

wodach kablowych, w których znów odwrotnie oporność czynna jest kilkakrotnie większa od oporności indukcyjnej. Naogół:

$$0{,}1 \div 1 \leqslant \frac{R}{\omega L} \geqslant 1 \div 10.$$

napow. = sieci = kablowe.

Z rys. 25 dla pracy równoległej przy jednakowej wysokości napięć początku i końca linji widzimy, że biorąc pod uwagę, iż przez spadki napięć — indukcyjny i czynny (omowy) — prąd jest dla danej linji zupełnie określony zarówno co do swej wielkości jak i fazy, oraz że przy wielkiej oporności czynnej mamy prąd bardziej wyprzedzający niż przy większej od niej oporności indukcyjnej. Uwzględniając więc, że $J_w = -J_i \cdot \frac{\omega L}{R}$, dochodzimy do przekonania, że możliwość przesłania mocy czynnej przy dużej oporności rzeczywistej jest mniejsza niż przy stosunkowo większej oporności indukcyjnej. Na podstawie tych rozważań łatwo można dojść do wniosku, że w pewnych warunkach przy pracy równoległej elektrowni o napięciach jednakowo wielkich przeniesienie pewnej mocy może być zupełnie niemożliwe i że elektrownie, pracując z jednakowemi napięciami, raczej powinny być połączone przewodami napowietrznemi niż kablowemi, gdyż przy przewodach kablowych prądy bezmocne byłyby bardzo wielkie, co musiałoby spowodować konieczność sztucznego ich zmniejszania przez wtrącanie w kable odpowiednio dobranych dławików albotеż przez równoległe dołączanie kilku kabli, dzięki czemu otrzymuje się zmniejszenie oporności rzeczywistej $R$.




Rys. 25. Praca równoległa przy napięciach równych na początku i na końcu linji.

Tak więc, chcąc być mniej skrępowanym w ilości przesyłanej mocy przy tej samej wielkości $\delta U$, należy: 1) zwiększyć kąt oporności pozornej przez zwiększenie stosunku oporności indukcyjnej do oporności rzeczywistej, t. j. przez zmniejszenie oporności rzeczywistej, co można osiągnąć przez zwiększenie przekroju przewodów ponad wszelkie względy nagrzewania, gospodarności i t. d. lub przez włączenie szeregowo odpowiednio dobranej oporności biernej (induktancji), co najczęściej czyni się np. w sieciach kablowych, choć zabieg ten stosuje się również w sieciach napowietrznych, jak to np. w lutym 1932 r. uczyniły Państwowe Koleje Austrjackie w stacji Roppen na linji 55 kV $16^2/_3$ okr./sek. Ruetzwerk — Spullerseewerk (Dr. J. Teichtmeister); 2) albotеż, co jest ze

względów praktycznych najbardziej wskazane, przepływ energji pomiędzy dwoma punktami zasilającemi regulować zapomocą wektora napięć, co do wielkości i kierunku. Aby jednakże sieci, przyłączone bezpośrednio do danych elektrowni, na tych zmianach napięcia nie cierpiały, nie można zmian tych dokonywać na zaciskach generatorów, lecz w samych przewodach, łączących dane elektrownie, przez wprowadzenie w sieć danych wektorów napięć rozmaicie skierowanych. Czynimy to zapomocą odpowiednich transformatorów, o czem będzie mowa w dalszej części tej pracy.

Jeżeli do równania na $\delta U$ podstawimy zamiast $J_i$ wartość jego, otrzymaną z przyrównania $\Delta U$ do zera, to otrzymamy:

$$\delta U = J_w \cdot \omega L \cdot \left[1 + \left(\frac{R}{\omega L}\right)^2\right]$$

przy $\Delta U = 0$

Równanie to mówi nam, że przy pracy równoległej elektrowni z wzajemną możliwością wymiany energji przy napięciach zasilających i odbiorczych sobie równych wraz ze zmianą obciążenia czynnego zmienia się wprost proporcjonalnie faza między temi napięciami. Zauważymy przytem, że przy jednakowem $J_w$ zmiana ta w kablach występuje znacznie mocniej niż w przewodach napowietrznych.

Jeżeli więc uczyniliśmy zastrzeżenie, że przenoszenie energji ma się odbywać przy ograniczonej wielkości poprzecznego spadku napięcia $\delta U$, to granicę tę przy mniejszej mocy, a więc szybciej osiągniemy przy przewodach kablowych niż napowietrznych.

Takim więc zależnościom elektrycznym podlega sieć, której pracę prowadzimy przy spadku napięcia równym 0, t. j. gdy $\Delta U = 0$.

Dla uzupełnienia rozważań rozpatrzymy przypadek, gdy, uwzględniając gospodarność sieci, zgodziliśmy się na pracę linji przy pewnym dopuszczalnym spadku napięcia $\Delta U \neq 0$, jednakże ruch sieci prowadzimy bez przesunięcia fazy napięcia zdawczego oraz napięcia odbiorczego, t. j. przy:

$$\delta U = 0 = J_w \cdot \omega L - J_i \cdot R$$

Stąd:

$$+ J_i = J_w \cdot \frac{\omega L}{R}$$

Podstawiając to we wzór na podłużny spadek napięcia, otrzymamy:

$$\Delta U = J_w \cdot R \cdot \left[1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2\right]$$

przy $\delta U = 0$

Widzimy, że i w tym przypadku nie może być mowy o przesyłaniu energji czynnej z dowolną mocą bierną, gdyż i teraz prąd bezmocny jest proporcjonalny do prądu mocnego, lecz tym razem jest prądem opóźniającym się i to większym w sieciach napowietrznych niż kablowych.

Tak więc i spadek napięcia przy tym samym prądzie mocnym będzie znacznie większy w sieciach napowietrznych niż kablowych.

Należy jeszcze zastanowić się, jakie znaczenie mają rozpatrywane przez nas spadki napięcia $\Delta U$ i $\delta U$.

Co do spadku napięcia $\Delta U$, który w zwykłych warunkach, t. j. przy małem przesunięciu faz między napięciami, jest prawie równy algebraicznej różnicy napięć, panującej między dwoma rozpatrywanemi punktami sieci, to dopuszczalna wysokość tego spadku określona jest z jednej strony przez odbiorniki prądu, a z drugiej strony jest ograniczona względami na gospodarność urządzenia. Spośród tych ostatnich względów decydującym jest wynik porównania kosztów kapitału zainwestowanego w sieci o większych lub mniejszych przekrojach przewodów z odpowiednio mniejszemi lub większemi kosztami straconej z tego powodu energji elektrycznej przesyłanej.

O ile przy spadku napięcia $\Delta U$ wchodzą w grę decydujące czynniki natury gospodarczej, o tyle spadek napięcia $\delta U$ jest ściśle związany z techniczną stroną ruchu elektrycznego, o czem zresztą przekonamy się w dalszym ciągu tej pracy.

### *II. Zmiana przepływu energji w sieciach zamkniętych.*

Biorąc pod uwagę sieć zamkniętą łatwo można zauważyć, że w miarę zmian, dokonywanych przez odbiorców w obciążeniu, środek obciążeń sieci przesuwa się podczas pracy, powodując temsamem zmianę oporności pozornych pomiędzy tym środkiem a punktami zasilającemi. Stąd wynika czysto naturalna zmiana rozpływu energji, uzależniona od oporności pozornej przewodów i napięć, panujących w sieci. Taki przepływ energji jednakże może być przyczyną, że część urządzeń mogłaby być niewyzyskana należycie, podczas gdy inna część byłaby przeciążona. Celem uniknięcia więc niepożądanego przepływu energji należy mieć możność regulacji tego przepływu zarówno co do wielkości jak i kierunku.

Aby ułatwić dalsze rozważania, rozpatrzymy najpierw przypadek jednokierunkowego przepływu energji przez dwie równolegle pracujące linje, z których każda, czyto ze względu na długość czyteż na materjał, przekrój czy układ, ma równe stałe (rys. 26 „a"). Skutkiem tego każda z gałęzi ma różne oporności pozorne $Z_1$ i $Z_2$ oraz różne kąty $\alpha_1$ i $\alpha_2$ oporności pozornych Wobec różnych oporności pozornych otrzymamy różne prądy w każdej gałęzi, gdyż, jak wiadomo, rozpływ prądu jest odwrotnie proporcjonalny do stosunku oporności pozornych, czyli będziemy mieli, że suma geometryczna $\hat{J}_1 + \hat{J}_2 = \hat{J}$ oraz spadek napięcia w gałęzi *abc* jest równy spadkowi napięcia w gałęzi *adc* tak, że:

$$\hat{J}_1 . \hat{z}_1 = \hat{J}_2 . \hat{z}_2$$

a stąd:

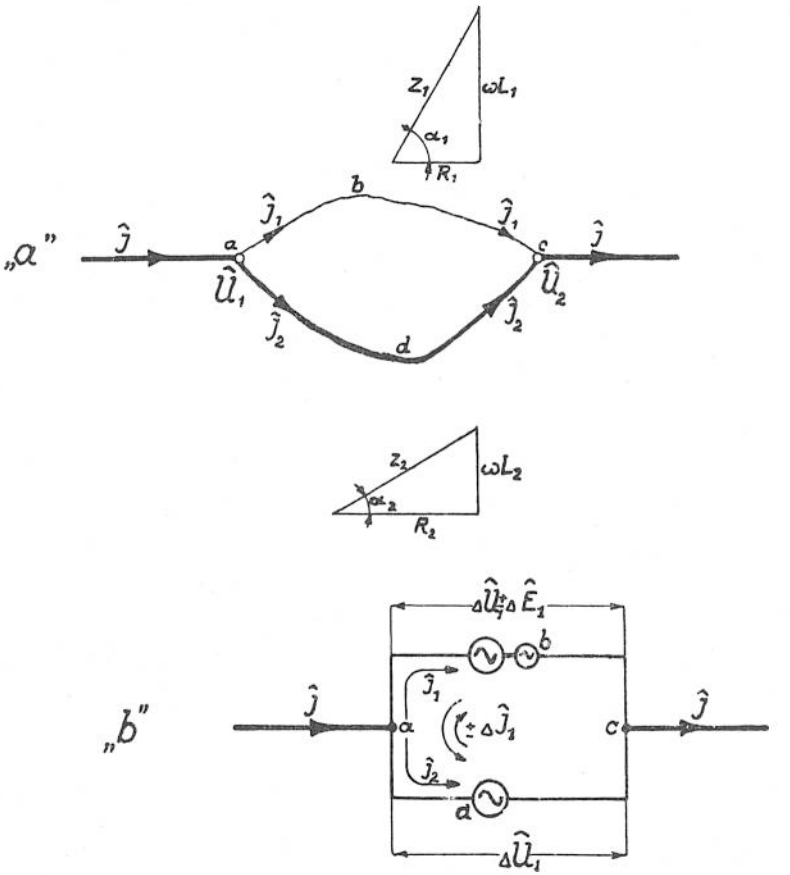
$$\hat{J}_1 : \hat{J}_2 = \hat{z}_2 : \hat{z}_1$$

Jeżeli $\hat{J} = \text{const.}$ i $\hat{z}_2 = \text{const.}$, to przy zmianie $\hat{z}_1$ ulegają zmianie prądy składowe $\hat{J}_1$ i $\hat{J}_2$. Można więc napisać:

$$\frac{\hat{J}_1 \mp \Delta\hat{J}_1}{\hat{J}_2 \pm \Delta\hat{J}_1} = \frac{\hat{z}_2}{\hat{z}_1 \pm \Delta\hat{z}_1}$$

Widzimy więc, że różnica w wielkościach oporności pozornych powoduje różnicę w wielkościach prądów składowych. Skutkiem tego jedna z gałęzi może być przeciążona, podczas gdy druga nie będzie wyzyskana. Pozatem wobec różnych kątów oporności pozornych mamy tego rodzaju przesunięcie faz, że algebraiczna suma prądów składowych jest większa od prądu wypadkowego.

Z powyższych rozważań wynika, że przez włączanie odpowiednich dławików, co czyni się często, lub włączanie oporności czynnych albotež




Rys. 26. Przepływ energji przez dwie równolegle pracujące linje.

stosowanie i jednego i drugiego sposobu można osiągnąć mniej lub bardziej dowolny rozpływ prądu.

Korzystniejszą zmianę przepływu energji otrzymamy, opierając się na spostrzeżeniu, że każda zmiana stosunku oporności poszczególnych gałęzi powoduje w nich zmianę rozpływu prądu i zmianę spadków napięcia zarówno co do wielkości jak i fazy. Odwracając więc to zjawisko, t. j. wprowadzając do odpowiednich gałęzi dodatkowe SEM-ne, np. $\pm \Delta \hat{E}$, zmieniające główny wektor napięcia $\Delta \hat{U}$ tak co do wielkości jak i fazy,

można pożądany rozpływ prądu osiągnąć w sposób dogodniejszy. Z rys. 26 „b" wynika, że popłynie wówczas w obwodzie obu gałęzi *abcd* prąd wyrównawczy:

$$\pm \Delta \hat{J}_1 = \frac{\pm \Delta \hat{E}_1}{\hat{z}_1 + \hat{z}_2}$$

który dodaje się do prądów, płynących w jednej z obu gałęzi, i odejmuje od prądów, płynących w drugiej gałęzi tak, że w gałęzi *abc* płynąć będzie prąd:

$$\hat{J}_1 \pm \Delta \hat{J}_1$$

a w gałęzi *adc*:

$$\hat{J}_2 \pm \Delta \hat{J}_1$$

przyczem założyliśmy, że $\hat{J} = \text{const.}$, $\hat{z}_1 = \text{const.}$ i $\hat{z}_2 = \text{const.}$

Dla uzyskania zmiany rozpływu prądu tym sposobem posiłkujemy się specjalnemi transformatorami regulacyjnemi, które omówimy bliżej w jednym z dalszych rozdziałów.

Obecnie pragnęlibyśmy zastanowić się nad tem, jaki kierunek powinno mieć dodatkowe napięcie $\Delta \hat{E}$, dodawane do napięcia $U_2$ końca przewodu, aby móc zmieniać przepływ prądu bądźto mocnego bądźteż bezmocnego. Rozumie się, że zmianę prądu mocnego uzyskamy wówczas, gdy prąd wyrównawczy $\Delta \hat{J}_1$ będzie w fazie z wektorem napięcia $U_2$. Jeżeli zwrócimy uwagę na rys. 22 „a", to z łatwością dojdziemy do wniosku, że dodatkowe napięcie $\Delta E$ powinno być przesunięte w stosunku do napięcia $U_2$ o kąt $\alpha'$, określony stałemi sieci zamkniętej, a więc musi być:

$$\sphericalangle \alpha' = \text{arc. tg} \frac{\omega (L_1 + L_2)}{R_1 + R_2}$$

aby ulegał zmianie prąd mocny.

Gdybyśmy chcieli zmienić przepływ prądu bezmocnego, musielibyśmy dać takie dodatkowe napięcie $\Delta \hat{E}$, aby prąd wyrównawczy był przesunięty w fazie w stosunku do napięcia $U_2$ o $90^0$ (rys. 22 „a" i „b"). Tak więc $\alpha'' = \alpha' + 90^0$ dla prądów pojemnościowych oraz $\alpha''' = \alpha' - 90^0$ dla prądów indukcyjnych. Jeżeli pierścień sieciowy zamkniemy w sposób galwaniczny, t. j. właściwe przewody połączymy z sobą bezpośrednio, to przy zwykłych sieciach napowietrznych $\sphericalangle \alpha \simeq 50^0$. W tym przypadku dla zmiany przepływu zarówno prądów mocnych jak i bezmocnych należy użyć mniejwięcej w równej mierze napięcia poprzecznego $\delta U$ jak i podłużnego $\Delta U$. Jeżeliby natomiast pierścień ten składał się z dwóch odcinków o różnych napięciach, a więc byłby zamknięty poprzez transformatory, wówczas wprowadziłyby one do obwodu pierścienia tak duże oporności indukcyjne w porównaniu do oporności rzeczywistych, że $\sphericalangle \alpha'$ stałby się prawie równy $90^0$. W tym ostatnim przypadku zmianę przepływu prądu mocnego należałoby uskutecznić prawie wyłącznie dodatkowem napięciem poprzecznem, a zmianę przepływu prądów bezmocnych prawie wyłącznie napięciem podłużnem. Przy zamykaniu takich wielonapięciowych pierścieni należy jednak zwrócić uwagę na to, czy użyte do tego celu transformatory mają tę samą

grupę połączeń. Jeżeli jeden z nich miałby układ połączeń $\lambda\lambda$, a drugi $\lambda\Delta$, wówczas między końcami zamykanego pierścienia napięcia będą przesunięte w fazie o 30°. W tym przypadku należałoby te fazy zrównać zapomocą bądźto zwykłego transformatora o przekładni 1 : 1 o układzie połączeń $\lambda\Delta$ albotеż autotransformatorem o tej samej przekładni i odpowiednim układzie połączeń. Ze względu na swą małą wytrzymałość na prądy zwarcia autotransformator jednak nie może stać samopas, lecz musi być bezpośrednio dołączony do transformatora dwuuzwojeniowego. Jeżeliby natomiast pierścień był utworzony z kabli, wówczas oporność indukcyjna jego byłaby bardzo mała w stosunku do oporności rzeczywistej, wtedy $\sphericalangle \alpha \simeq 0^0$ tak, że dla zmiany przepływu prądów mocnych posiłkowalibyśmy się dodatkowem napięciem podłużnem $\Delta U$, a dla zmiany przepływu prądów bezmocnych dodatkowem napięciem poprzecznem $\delta U$.

Transformatory regulacyjne, któremi posługujemy się dla wytworzenia tych dodatkowych napięć, możnaby nazwać: transformator regulacyjny napięcia poprzecznego (n. Quertransformator) oraz transformator regulacyjny napięcia podłużnego(n. Längstransformator). Jak z rozważań tych wynika, dla uzyskania dowolnej zmiany przepływu energji w sieciach zamkniętych posiłkujemy się zarówno jednym jak i drugim transformatorem albotеż ich kombinacją lub też transformatorami regulacyjnemi, pozwalającemi na jednoczesną zmianę wielkości wektora dodatkowego napięcia tak co do wielkości jak i kierunku, o czem zresztą będzie mowa w dalszym ciągu tej pracy. Oczywiście, że żądany rozpływ prądu uzyska się w każdej z gałęzi bez względu na to, w którą gałąź pierścienia włączy się transformator regulacyjny. Okoliczność ta jest ważna z tego względu, że moc transformatora regulacyjnego, potrzebnego do przeprowadzania wymaganej zmiany przepływu prądu, wyrażającą się iloczynem najwyższego napięcia dodatkowego przez największy prąd przepływający przez niego, można znacznie obniżyć, jeżeli wstawi się go do tej właśnie gałęzi pierścienia, przez którą z tych lub innych względów zostanie przepuszczony prąd o mniejszem natężeniu.

Rozumie się, że nastawianie transformatorów regulacyjnych odbywać się może zawsze tylko za wolą C. B. R. O.

### *III. Regulacja przepływu prądów mocnych oraz regulacja częstotliwości.*

Regulacja przepływu prądów mocnych jest ściśle związana z regulacją mocy rozporządzalnej w miejscach zasilających, a więc z regulacją jednostek wytwórczych. Jak wiemy, moc generatorów trójfazowych $N_g = \sqrt{3} \cdot U \cdot J \cdot \cos\varphi = N_s \cdot \eta_g$, gdzie $\eta_g$ jest sprawnością generatora, a $N_s$ mocą silnika, którym generator jest napędzany. W dalszym ciągu operować będziemy zamiast prądem mocnym bądźto mocą generatora bądźteż mocą silnika napędowego, co z jednej strony zupełnie nie zmienia naszego tematu, a z drugiej strony ułatwi jednoczesne rozważanie zjawisk elektrycznych z mechanicznemi. Taka wspólność rozważań jest nieunikniona z tego względu, że regulacja mocy generatorów jest ściśle złączona z regulacją mocy maszyn napędowych, a więc turbin parowych, wodnych oraz silników spalinowych.

Zanim przejdziemy do szczegółowego omawiania tego tematu należy zauważyć, że rozdział obciążenia na poszczególne jednostki wytwórcze dokonywany jest zasadniczo przez nas samych w sposób odręczny lub samoczynny. Praktycznie można uważać, że przy stopniowych łagodnych zmianach obciążenia w rozdziale obciążeń nie biorą udziału siły żywe, zamagazynowane w wirujących częściach turbogeneratorów. Zupełnie inaczej przedstawia się ta sprawa, gdy obciążenia ulegają nagłym zmianom. Wówczas, zanim zacznie działać regulacja samoczynna, turbogeneratory już pod wpływem swej siły żywej przejmują na siebie pewne części obciążenia. Wymienione dopieroco rozdziały obciążeń nazywamy rozdziałem obciążeń dynamicznym oraz rozdziałem obciążeń technicznym. Pierwszy z nich jest rozdziałem chwilowym, trwającym tak długo, aż obniżająca się wówczas częstotliwość sieci nie przekroczy granicy nieczułości regulatorów, które począwszy od tej chwili ustalą rozkład obciążeń, który trwać już będzie aż do chwili, gdy sieć ulegnie ponownie zmianie obciążeń. Regulatory rozdzielą więc obciążenie na poszczególne jednostki zależnie od swych technicznych właściwości. Jednakże taki rozdział obciążeń, nazwany przez niektórych autorów naturalnym rozdziałem obciążeń, częstokroć nas nie zadowala bądźto ze względów gospodarczych, bądźteż umownych, dla których pewne jednostki wytwórcze powinny pracować pod obciążeniem niezależnem od zmian obciążenia sieci lub też praca ich powinna odbywać się w zależności od obciążenia sieci innej, niż praca, jaką normowałyby regulatory. Dlategoteż przy współpracy elektrowni przewidujemy jeszcze jeden, może najwłaściwszy sposób obciążeń, a mianowicie rozdział obciążeń gospodarczy.

W tym porządku rozpatrzymy pokolei wszystkie trzy sposoby rozdziału obciążeń.

## 1. Rozdział obciążeń dynamiczny.

Dla uproszczenia rozważań założymy, że generatory są połączone między sobą przewodami bezoporowemi oraz że poszczególne turbogeneratory z punktu widzenia mechaniki są do siebie podobne.

Przypuśćmy, że dwa turbogeneratory pracują równolegle na sieć i że w pewnej chwili obciążenie sieci zmieniło się o $\Delta N$ kW, przyczem na współpracujące zespoły przypadło $\Delta N_1 + \Delta N_2 = \Delta N$. Jeżeli przy rozpatrywaniu czasu $\Delta t$ od chwili powstania zmiany obciążenia do chwili rozpoczęcia się interwencji regulatorów, wynoszącego zazwyczaj $\Delta t \simeq 0{,}5$ sek., zauważymy, że w czasie tym szybkości kątowe maszyn zmniejszają się z $\omega_1$ na $\omega_2$ i że $\omega = \frac{2\pi f_1}{p}$, gdzie $f_1$ jest częstotliwością sieci, a $p_1$ ilością par biegunów generatora pierwszego, wówczas możemy napisać dla turbogeneratora pierwszego

$$\Delta N_1 \,.\, \Delta t = J_1 \,.\, (\omega_1^2 - \omega_2^2) = J_1 \left[ \frac{4\pi^2 f_1^2}{p_1^2} - \frac{4\pi^2 f_2^2}{p_1^2} \right] = J_1 \frac{4\pi^2}{p_1^2} (f_1^2 - f_2^2)$$

gdzie $J_1$ jest momentem bezwładności wirników turbogeneratora pierwszego względem jego osi wirowania.

W analogiczny sposób znajdziemy dla drugiego turbogeneratora:

$$\Delta N_2 \cdot \Delta t = J_2 \frac{4\pi^2}{p_2^2}(f_1^2 - f_2^2)$$

Dzieląc powyższe równania przez siebie, znajdziemy, że:

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = \frac{\frac{J_1}{p_1^2}}{\frac{J_2}{p_2^2}}$$

Drugą stronę tego równania podzielimy i pomnożymy przez $\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot f_1^2}{2}$

Wówczas:

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = \frac{J_1 \cdot \frac{4\pi^2 f_1^2}{2 p_1^2}}{J_2 \cdot \frac{4\pi^2 f_1^2}{2 p_1^2}} = \frac{J_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{2}}{J_2 \cdot \frac{\omega_2^2}{2}} = \frac{L_1}{L_2}$$

Ale: $\Delta N_2 = \Delta N - \Delta N_1$, co podstawiając, otrzymamy:

$$\Delta N_1 = (\Delta N - \Delta N_1)\frac{L_1}{L_2}$$

a stąd:

$$\Delta N_1 = \frac{L_1}{L_1 + L_2} \cdot \Delta N$$

W podobny sposób znajdziemy, że:

$$\Delta N_2 = \frac{L_2}{L_1 + L_2} \cdot \Delta N$$

Jak widzimy, w pierwszej chwili wystąpienia obciążenia turbogeneratory przejmują na siebie obciążenia wprost proporcjonalne do energij kinetycznych (sił żywych), zamagazynowanych w wirujących częściach turbogeneratorów.

Rozumie się samo przez się, że w rozdziale obciążeń dynamicznym biorą udział wszystkie masy wirujące maszyn dołączonych do sieci, a więc obciążenie rozkłada się nietylko na turbogeneratory, lecz także i na silniki elektryczne. Ta współpraca silników niknie oczywiście wówczas, gdy zaczną działać regulatory silników napędowych. Wraz z dynamicznym rozdziałem obciążeń spadają jednak obroty poszczególnych maszyn, spada więc i częstotliwość w sieci; gdy spadnie ona do granicy nieczułości regulatorów, zaczynają one działać, dzięki czemu po pewnych przebiegach, które poznamy niżej, ustali się dalsze przejęcie przyrostu obciążenia sieci poprzez poszczególne turbogeneratory zależnie od dynamicznych właściwości poszczególnych turbogeneratorów.

## 2. Rozdział obciążeń techniczny.

Celem zdania sobie sprawy z technicznych możliwości rozdziału obciążeń na poszczególne współpracujące jednostki wytwórcze postaramy się zbadać, w jaki sposób można zmieniać obciążenie jednostki wytwórczej, np. turbogeneratora. W tym celu zauważymy, że na wykonanie pracy 1 KMh trzeba wydatkować ciepła w ilości:

$$\frac{75 \text{ kgm/sek.} . 3600 \text{ sek.}}{427 \text{ kgm/1 cpł}} = 632{,}3 \text{ cpł.}$$

tak, że zużycie pary na 1 KMh wynosi teoretycznie:

$$G_t = \frac{632{,}3 \text{ cpł/1 KMh}}{(i_1 - i_2) \text{ cpł/1 kg}} \text{ kg/1 KMh,}$$

gdzie $(i_1 - i_2)$ cpł jest zmniejszeniem się ilości energji cieplnej w 1 kg pary rozprężającej się adiabatycznie. Uwzględniając termodynamiczną sprawność $\eta_t$ znajdziemy, że rzeczywiste zużycie pary wyniesie:

$$G_r = \frac{G_t}{\eta} = \frac{632{,}3}{\eta_t . (i_1 - i_2)} . 1{,}36 \text{ kg/1 kWh}$$

Jeżeli turbina zużyła $G$ kg pary w ciągu 1 h, wówczas moc turbiny wynosiła:

$$N_s = \frac{G}{G_r} = G . \frac{\eta_t . (i_1 - i_2)}{1{,}36 . 632{,}3} \text{ kW,}$$

a moc oddawana na sieć (moc generatora):

$$N = G . (i_1 - i_2) . \frac{\eta_g . \eta_t}{1{,}36 . 632{,}3} \text{ kW}$$

Z tego wzoru wynika, że moc, wydawaną przez turbogenerator, można regulować dzięki: 1) albo zmianie ilości doprowadzonej do turbiny pary, albo 2) dzięki zmianie spadku energji cieplnej w turbinie, albo wreszcie 3) dzięki zmianie zarówno ilości pary jak i spadku energji cieplnej. Pierwsza z tych regulacyj mocy jest nam znana pod nazwą regulacji ilościowej; dokonywa się jej przez zamykanie lub otwieranie poszczególnych dysz turbiny. Drugą regulację nazywamy regulacją jakościową, polegającą na dławieniu pary dolotowej; trzecią nazywamy kombinowaną, jako polegającą zarówno na dławieniu pary jak i na jednoczesnej zmianie jej ilości. Dla rozważenia tego tematu obojętny jest sam sposób regulowania turbiny, toteż ograniczymy się jedynie do wymienienia powyższych sposobów, natomiast bliżej zajmiemy się samem sterowaniem tej regulacji.

### a. Stopień nierównomierności regulatora.

Jak nam wiadomo, rola koła rozpędowego polega na wyrównywaniu okresowych zmian szybkości obwodowej wirnika silnika, które występują podczas jednego obrotu wirnika. Występujący tu stopień nierównomierno-

ści biegu silnika mniej nas obchodzi, jako dotyczący silników tłokowych. Zadaniem naszem jest rozpatrzenie regulatorów energji, doprowadzanej do silnika, budowanych na zasadzie oddziaływania sił odśrodkowych. Z natury swej regulatory te działają więc wówczas, gdy zmienia się liczba obrotów wirnika, i to w ten sposób, że im większa jest ta liczba obrotów, tem mniejszy dopływ energji powoduje regulator. Z tego rozważania bezpośrednio wynika, że przy biegu jałowym silnik ma największą liczbę obrotów $n_1$ i pobiera najmniejszą ilość dopływającej energji, tylko taką, jaką silnik wydaje jedynie na pracę wirowania mas oraz na pokonanie oporów szkodliwych. Natomiast przy pełnem obciążeniu liczba obrotów silnika wynosi $n_2$ i jest najmniejsza, a ilość doprowadzonej do silnika energji — największa. Jeżeli średnią liczbę obrotów oznaczymy przez

$$n = \frac{n_1 + n_2}{2},$$

to zależność:

$$\delta = \frac{n_1 - n_2}{n} \cdot 100\%$$

nazywamy stopniem nierównomierności regulatora i wyrażamy ją w procentach. Stopień nierównomierności stosowany zwykle bywa w wysokości do 5%, a tylko czasami do 8%, natomiast ze względów elektrycznych pożądany jest w wysokości ok. 3%.

Z rozważań tych widzimy, że jakkolwiek przy turbogeneratorach nie może być mowy o stopniu nierównomierności takim, jaki występuje w maszynach tłokowych, pracujących nawet przy stałem obciążeniu, to jednak turbiny, zaopatrzone w regulatory, wykazują skutkiem samej zasady działania tych regulatorów pewien stopień nierównomierności wirowania, przekazany im przez regulatory. W tem też znaczeniu można mówić o stopniu nierównomierności biegu turbogeneratora.

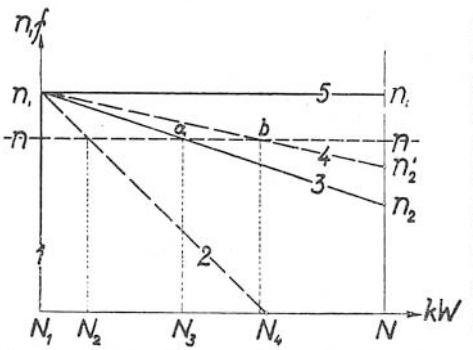
Tak więc przy udziale pewnej określonej regulacji energji zewnętrznej, doprowadzanej do silnika, stopień nierównomierności jest miarą zmian obrotów silnika, występujących wówczas, gdy począwszy od biegu jałowego, zaczniemy go obciążać aż do pełnego obciążenia.

b. Charakterystyki regulatorów.

Krzywa, przedstawiająca zależność mocy silnika od ilości jego obrotów, nazywa się charakterystyką regulacji silnika. Na rys. 27 widzimy szereg takich charakterystyk. Przypuśćmy, że każda z tych charakterystyk należy do turbogeneratorów, zaopatrzonych w różne regulatory, przyczem wszystkie generatory pracują na wspólną sieć. Przyjmiemy, że wszystkie turbogeneratory pracują z jednakową liczbą obrotów $n$, odpowiadającą częstotliwości sieci $f$ okr./sek. Z rysunku widzimy, że generator np. Nr. 3 będzie wówczas obciążony mocą $N_3$ kW, generator Nr. 2 mocą mniejszą, bo wynoszącą $N_2$ kW, a generator Nr. 4 mocą większą $N_4$ kW. Tak więc ten z turbogeneratorów przejmuje na siebie większą moc, którego spadek

obrotów $n_1$—$n_2$ jest mniejszy. Stąd wniosek, że jeżeli któraś z jednostek wytwórczych ma pracować z możliwie stałem obciążeniem, wówczas musi posiadać charakterystykę regulacji o możliwie wielkim spadku obrotów, oraz że w krańcowym przypadku jednostka wytwórcza będzie oddawała stałą moc praktycznie niezależnie od wahań częstotliwości w sieci, gdy jej charakterystyka regulacji będzie miała przebieg pionowy. Jestto więc turbogenerator Nr. 1, u którego osiągnęliśmy tę właściwość przez całkowite odłączenie regulatora obrotów. Maszyna ta dzięki sile synchronizującej, pochodzącej z pozostałych generatorów, pracujących na sieć, stale obraca się z ilością obrotów ściśle odpowiadającą częstotliwości panującej w sieci.

Jak widać z dotychczasowych rozważań, w maszynach o charakterystyce 2, 3 i 4 istnieje określona zależność między ilością obrotów maszyny, a jej obciążeniem. Tego rodzaju charakterystyki nazywają się statycznemi charakterystykami regulacji. W regulatorach tych istnieje równowaga między liczbą obrotów regulatora, która jest proporcjonalna do liczby obrotów generatora, a skokiem pochwy regulatora. Regulatory, które pracują w ten sposób, że wraz z rosnącą liczbą obrotów skok pochwy regulatora powiększa się, nazywamy regulatorami zrównoważonemi lub statycznemi, a w zależności od tego, czy nachylenie charakterystyki statycznej regulatora jest duże, czyteż przebieg jej bardziej zbliża się do poziomu, mówimy, że regulator ma dużą względnie małą statykę. Jeżeli charakterystyka regulacji przebiegała poziomo, jak na rys. 27, oznaczona Nr. 5, wówczas nazwalibyśmy ją astatyczną: praktycznie jest ona bezużyteczna. Regulator o takiej charakterystyce działa jedynie przy ustalonej liczbie obrotów $n_1$, powyżej której, a również i poniżej, zajmuje odpowiednio jedno ze swych krańcowych położeń, górne, względnie dolne.



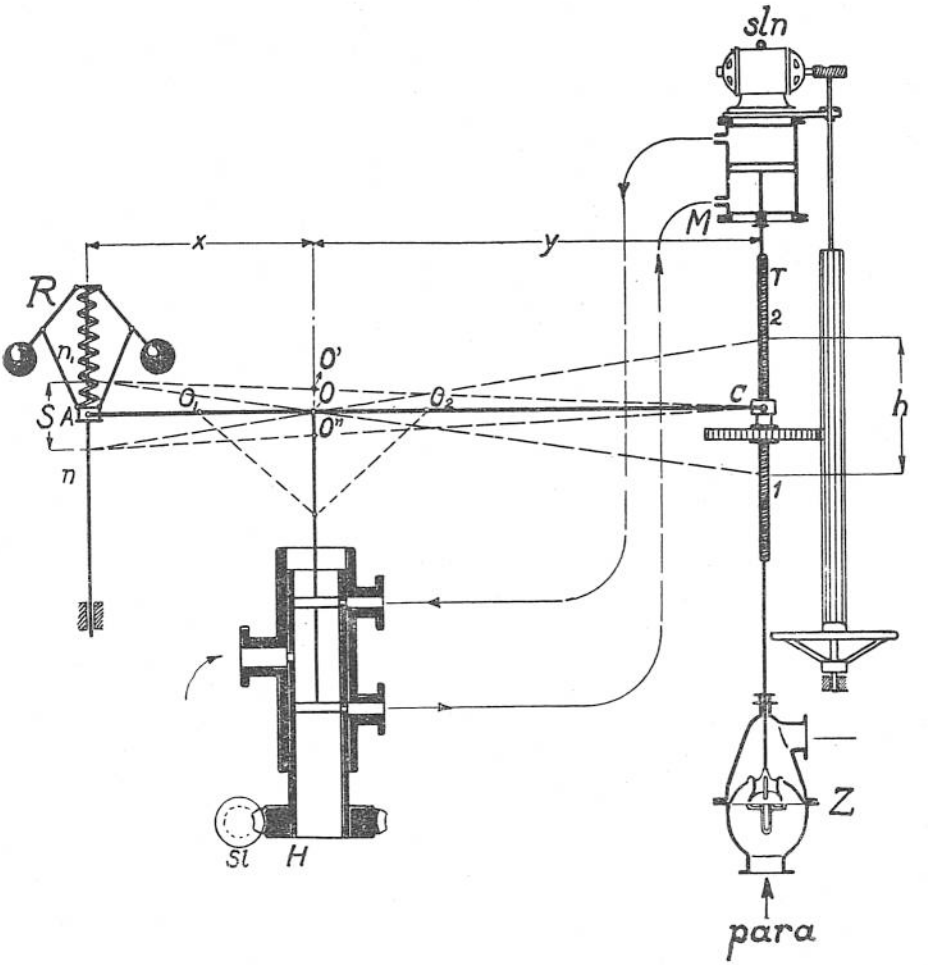
Rys. 27. Charakterystyki regulacyj jednostek wytwórczych.

c. Regulator z mechanizmem odwodzącym sztywnym.

Z dotychczasowych rozważań wynika, że każdy regulator musi spełnić dwa zadania: 1) mierzyć wielkość, stanowiącą kryterjum regulacji, oraz 2) zareagować właściwie na wynik pomiaru. Stosownie do tych dwóch zadań, każdy regulator składa się więc z dwóch części, połączonych między sobą mechanicznie, t. j. bezpośrednio, hydraulicznie, t. j. zapomocą serwomotoru, lub elektrycznie. Jak wiemy, część pomiarowa regulatora liczby obrotów jest najczęściej zbudowana na zasadzie oddziaływania sił odśrodkowych mas wirujących regulatora. Siły te są w równowadze z siłą ciężkości tych mas lub z naciągiem odpowiednich sprężyn wówczas, gdy maszyny wirują z przewidzianą liczbą obrotów. Gdy obroty maszyn rosną, regulator „podnosi się" i zmniejsza dopływ pary do silnika zapomocą odpo-

wiedniej przekładni tak, że obroty jego zniżają się i powracają do właściwej swej liczby. Gdy natomiast obroty spadają, regulator „opada" i zwiększa dopływ pary, a więc przyśpiesza bieg maszyny.

Regulator zmniejsza dopływ pary do turbiny bezpośrednio tylko w jednostkach mniejszych, w których ruch zaworów nie natrafia na tak wielkie opory, aby regulator zwykłej wielkości ich nie przezwyciężył. Regulatory




Rys. 28. Schemat regulacji turbiny.

więc, połączone z zaworami tylko mechanicznie, mniej nas obchodzą, gdyż są używane w jednostkach o mocy, naogół nie przekraczającej 400 kW. Natomiast w jednostkach o mocy większej, niż dopieroco wymieniona, stosujemy regulatory o pośredniem oddziaływaniu na przepływ pary. Jako środkiem pośredniczącym między regulatorem a urządzeniami turbiny, zmieniającemi przepływ pary, posiłkujemy się zwykle t. zw. serwomotorem olejowym. Przyrząd ten widzimy schematycznie na rys. 28. Przypuśćmy, że ob-

ciążenie turbogeneratora wzrosło; wówczas obroty jego obniżyły się i wynoszą np. $n_2$ obr/min. Wobec tego musiała opaść pochwa $A$ regulatora $R$ do punktu $n_2$, a wraz z nią opuściła się dźwignia ze swego pierwotnego położenia poziomego tak, że obecnie zajmuje ona położenie $n_2O''C$, przyczem osią jej obrotu był punkt $C$. W ten sposób punkt $O$ dźwigni obniżył się do punktu $O''$ tak, że tłoczki, umieszczone w tulei $H$ serwomotoru opuściły się, powodując tem otworzenie zasuniętych do tej pory otworów $m$ oraz $w$. Pompka zębata, napędzana z wału turbiny, wtłacza olej do środkowej komory suwaka pod ciśnieniem 2—3 atmosfer (czasami 4—5 atm.). Skutkiem opuszczenia się tłoczków olej popłynie przez otwór $w$ pod tłok serwomotoru $M$, dzięki czemu tłok ten podniesie się i wypchnie zawarty nad nim olej przez otwór $m$ do odpływowej komory suwaka. Przy tym ruchu trzon $T$ serwomotoru podniesie zawór $Z$ i wówczas dopłynie do turbiny większa ilość pary. Jednocześnie z podnoszeniem się zaworu podniesie się punkt $C$ dźwigni $D$, która tym razem, obracając się naokoło punktu $n_2$, przyjmie położenie $n_2O_2$. W ten sposób tłoczki suwaka $s$ powrócą do swego pierwotnego położenia czyli zostaną odwiedzione i zamkną otwory $m$ oraz $w$ tak, że obecnie regulacja będzie zakończona.

Gdyby obciążenie turbogeneratora uległo zmniejszeniu, wówczas oczywiście nastąpiłby wzrost obrotów do np. $n_1$ tak, że pochwa $A$ podniosłaby się do $n_1$, skutkiem czego olej popłynąłby przez rurkę $m$ i obniżył tłok $T$. Pozatem regulacja miałaby przebieg podobny do poprzednio opisanego. Niezmiernie ważną czynnością tej regulacji jest odwodzenie suwaka $s$ do pierwotnego położenia, a temsamem zamknięcie rurek olejowych $m$ oraz $w$. Gdyby to nie nastąpiło, raz wprawiony w ruch trzon $T$, łączący tłok serwomotoru z zaworem, trwałby w ruchu aż do osiągnięcia krańcowego położenia. Oczywiście maszyna taka, zależnie od kierunku ruchu tłoka, albo nadmiernie zwiększałaby obroty, albotéż nadmiernie zniżałaby je tak, że nie mogłaby być utrzymana w ruchu. Aby trzon względnie tłoki lub zawór nie zapiekły się albo nie zwiększyło się tarcie, tłoczki suwakowe wykazują ruchy pełzające, które nadajemy im przez lekko skośne ścięcie powierzchni pochwy $A$ regulatora.

Dotychczasowe rozważania wykazują, że każdemu położeniu pochwy $A$ regulatora $R$ odpowiada ściśle określone położenie zaworu $Z$, jak również każdemu położeniu pochwy odpowiada ściśle określona liczba obrotów maszyny. Z rys. 28 widzimy, że istnieje zależność:

$$\frac{s}{h} = \frac{x}{y},$$

a stąd statyka regulatora $s = h \cdot \frac{x}{y}$.

d. Stopień nieczułości regulatora.

Regulator przy pracy napotyka oczywiście na pewne opory, tarcia i t. p., na których przezwyciężenie musi wydać pewną część zamagazynowanej w sobie energji kinetycznej. O ile więc zmiana liczby obrotów turboneratora, a więc i regulatora, nie jest dostatecznie wydatna, to wzrost

energji kinetycznej regulatora może nie wystarczyć na pokonanie tych oporów. W ten sposób mimo zmiany liczby obrotów regulator może nie działać. Przyjmiemy, że turbina wykonywa $n$ obr/min. Jeżeli regulator zacznie działać z jednej strony dopiero przy wzroście obrotów do $n + \Delta n' = n_w$, a z drugiej strony dopiero przy zniżeniu się ich do $n - \Delta n'' = n_n$, wówczas stosunek:

$$\varepsilon = 2\frac{n_w - n_n}{n_1 + n_2}$$

nazywamy stopniem nieczułości regulatora. Jeżeli $\Delta n' = \Delta n'' = \Delta n$, wówczas

$$\varepsilon = \frac{n_w - n_n}{n} = 2\frac{\Delta n}{n}$$

W ten sposób stopień nieczułości $\varepsilon$ jest miarą początku podnoszenia się i początku opadania pochwy regulatora. Dla poszczególnej zmiany obrotów, t. j. wzwyż albotеż wniż, miarodajną jest tylko wielkość $\frac{1}{2} . \varepsilon$. Ponieważ jeden obrót wykonywany jest w czasie $\frac{60}{n}$ sek., to regulator zacznie działać dopiero po upływie $\Delta t$ sek., licząc od chwili wystąpienia zmiany ilości obrotów. Czas ten wynosi więc:

$$\Delta t = \frac{60}{n} . \frac{1}{2} \Delta n = 30 . \varepsilon \text{ sekund. } (0{,}3 \div 0{,}4 \text{ sekundy}).$$

W ten sposób stopień nierównomierności powiększa się o stopień nieczułości tak, że w rzeczywistości wynosi on:

$$\delta = \delta_0 + \varepsilon$$

gdzie $\delta_0$ jest stopniem nierównomierności w przypadku, gdy nie istnieją szkodliwe opory, a taki przypadek, jak się niżej przekonamy, nie należałby do ideału.

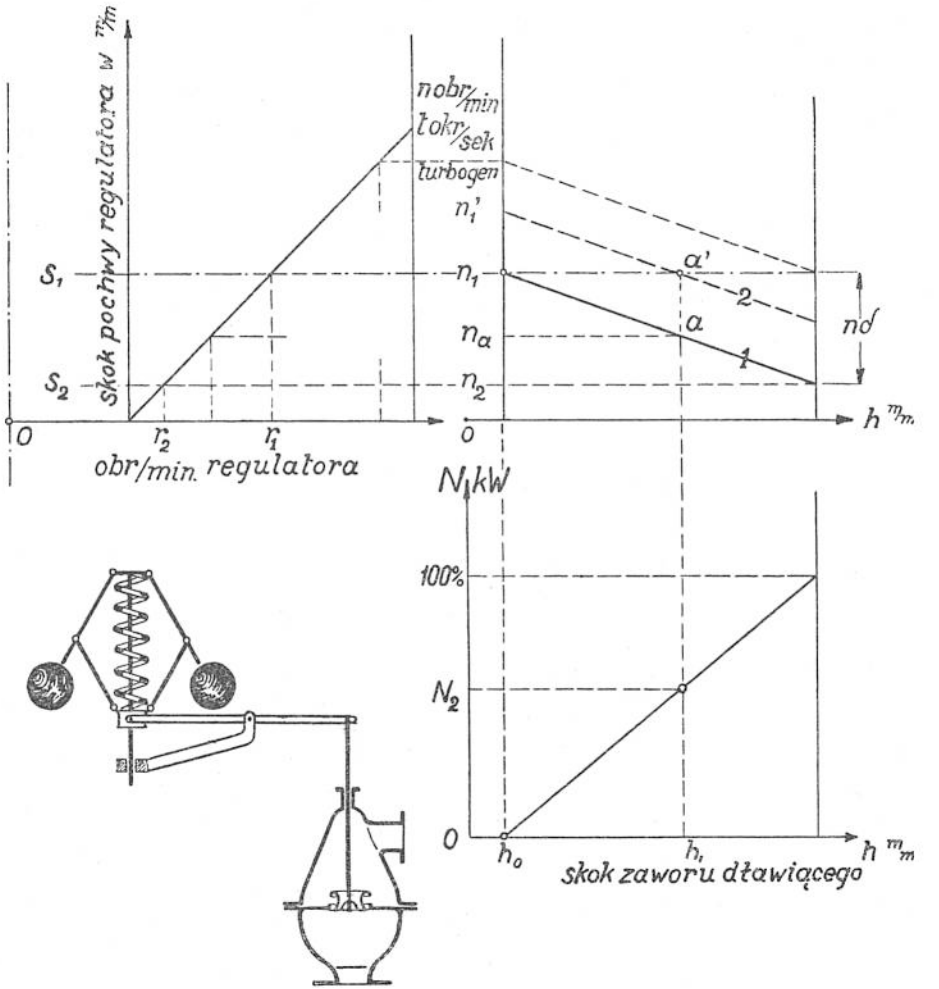
Stopień nieczułości regulatora można zmniejszyć dzięki pośredniemu oddziaływaniu regulatora, potęgującemu działanie regulatora na przepływ pary zapomocą np. serwomotoru olejowego.

Stopień nieczułości regulatora powinien być większy od stopnia nierównomierności, t. j. $\varepsilon > \delta_0$, gdyż w przeciwnym przypadku regulator reagowałby na każdą zmianę szybkości kątowej, co przy napędzie tłokowym lub przy obciążeniu tłokowem prowadziłoby do opadania i podnoszenia się regulatora, a więc i zaworu dławiącego, przy każdym skoku: regulator, jak to się mówi, tańczyłby.

e. Samotna praca jednostki wytwórczej.

Na rys. 29 widzimy uzależnienie pracy turbogeneratora od charakterystyki regulatora. Zauważymy z łatwością, że przy biegu jałowym, t. j. przy $N = 0$ kW, turbogenerator ma $n_1$ obr/min., co odpowiada obrotom regulatora $r_1$, a w związku z tem pochwa jego stoi na wysokości $s_1$. Turbogenerator kręci się dzięki pewnej ilości energji, doprowadzonej z zewnątrz poprzez zawór dławiący, odchylony na odległość $h_0$ mm. Przy pełnem obciążeniu ge-

neratora, t. j. przy $N = 100\%$, obroty jego spadły do $n_2$, regulator zwolnił obroty do $r_2$ i opadł do $s_2$, co w sposób mechaniczny względnie hydrauliczny spowodowało podniesienie się zaworu dławiącego do wysokości $h$. Jak widzimy, regulator normuje dopływ pary do turbiny zależnie od spadku obrotów czyli zależnie od statyki danego regulatora. Tak więc obroty każdego turbogeneratora są przy każdem obciążeniu różne i to najwyższe przy



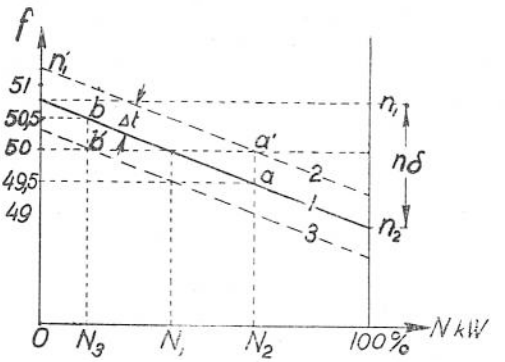

Rys. 29. Wykres samotnej pracy turbiny.

biegu jałowym, a najniższe przy pełnem obciążeniu. Jeżeli więc statyka regulatora wynosi np. 4%, wówczas zmiana obciążenia generatora o 25% powoduje zmianę liczby obrotów o 1%. Przypuśćmy, że turbogenerator pracuje z obciążeniem $N_2$ kW, a więc w punkcie $a$ charakterystyki regulatora przy $n_a$ obrotach na minutę. Jeżeli chcielibyśmy doprowadzić turbogenerator do liczby obrotów $n_1$, odpowiadającej jego biegowi jałowemu, t. j.

do liczby obrotów, odpowiadającej wymaganej częstotliwości, wówczas całą charakterystykę regulatora należałoby przesunąć równolegle wzwyż tak, aby punkt $a$ przesunął się do punktu $a'$. Aby to uzyskać, trzeba powiększyć szybkość kątową wirnika turbogeneratora. Oznaczając przez $M_k$ — moment kręcący silnika, $\omega$ — szybkość kątową, $n$ — liczbę obrotów na min., $p$ — liczbę par biegunów generatora, $f$ — częstotliwość oraz pamiętając, że $\omega = 2\pi\frac{f}{p}$; $n = \frac{f \cdot 60}{p}$, możemy napisać, że moc generatora:

$$N = \eta_s \cdot M_k \cdot \omega = \eta_s \cdot M_k \cdot 2\pi \cdot \frac{f}{p} = \eta_s \cdot M_k \cdot \frac{\pi \cdot n}{30}$$

Ponieważ sprawność generatora nie ma wpływu na dalszy bieg niniejszych rozważań i wysnutych stąd wniosków, przeto dla uproszczenia rozważań nie odróżniamy mocy generatora od mocy silnika napędowego.




Rys. 30. Zmiana statycznej charakterystyki regulacji zależnie od obciążenia.

Z powyższego wzoru widzimy, że skoro przy zmianie szybkości kątowej niema ulec zmianie obciążenie sieci, to zmianie tej musi towarzyszyć zmiana momentu kręcącego. Jeżeli więc $\omega$ rośnie, $M_k$ maleje i odwrotnie. Wobec niezmienionego obciążenia dopływ energji z zewnątrz do turbiny, a więc i skok zaworu dławiącego, nie ulegnie zmianie. Jak już wiemy, każdemu skokowi pochwy regulatora odpowiada pewna określona liczba obrotów turbogeneratora. Jeżeli więc przy danych obrotach generatora obniżymy pochwę regulatora, wówczas (rys. 28) podniesie się zawór dławiący Z. Skutkiem tego naruszy się równowaga między energją doprowadzoną do turbiny, a energją wydaną przez generator. Nadmiar tej energji spowoduje wzrost obrotów turbiny. Lecz jednocześnie z tym wzrostem obrotów regulator zacznie się podnosić, a temsamem zacznie przymykać zawór dławiący tak, że wzrost obrotów będzie corazto mniejszy i wreszcie, gdy zawór dławiący obniży się do poprzednio zajmowanej wysokości, nadmiar dopływu energji ustanie i turbina nadal będzie się kręciła z podwyższoną liczbą obrotów. Jeżeli w dalszym ciągu pozostawimy regulator samemu sobie, wówczas wrazie zmian obciążenia generatora liczba obrotów ustalać się będzie według charakterystyki 2 (rys. 30). Jeżeli więc obciążenie będzie malało, wówczas obroty turbiny będą rosły i teraz przy jej biegu jałowym będą wynosiły $n'_1 > n_1$.

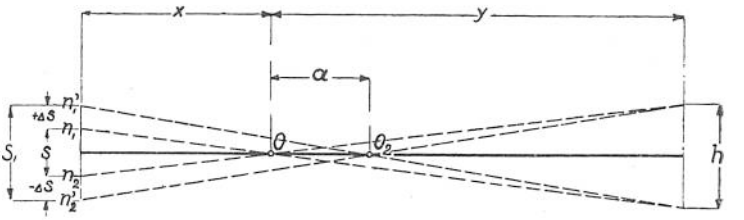
Przypuśćmy, że obecnie obciążenie generatora wynosi $N_3$ kW przy częstotliwości 50,5 okr./sek., odpowiadającej punktowi $b$ charakterystyki 1 z rys. 30. Częstotliwość ta jest za wysoka; pragniemy ją obniżyć do 50 okr./sek. odpowiadającej punktowi $b'$, a więc obniżyć liczbę obrotów turbiny.

W tym celu podniesiemy pochwę regulatora, przez co ograniczymy dopływ energji do turbiny, której obroty muszą się skutkiem tego obniżyć. W danym przypadku zmaleje więc szybkość kątowa, a moment skręcający wzrośnie. Charakterystyka regulatora ulegnie teraz obniżeniu się (3).

Widzimy więc, że dla zachowania stałej częstotliwości utrzymujemy pracę turbogeneratora w stanie określonym przecięciem się charakterystyki regulatora danej turbiny z linją poziomą, odpowiadającą częstotliwości, którą pragniemy utrzymać w stałej wysokości.

f. Zmiana stopnia nierównomierności.

Czasami dla współpracy konieczne jest nietylko „przesuwanie" statyki, lecz i zmiany jej co do wielkości. Zmianę taką podczas pracy maszyny można uzyskać przez przesuwanie punktu $O$ (rys. 31), ewentualnie aż do $O_2$,




Rys. 31. Zmiana stopnia nierównomierności.

t. j. w kierunku do serwomotoru, dla zwiększenia statyki, względnie do $O_1$, t. j. w kierunku do regulatora, dla zmniejszenia statyki, a temsamem i stopnia nierównomierności. Jeżeli chcielibyśmy statykę zmienić np. o $2.\Delta s$, t. j. aby wynosiła $s_1 = s + 2\Delta s$, to korzystając z oznaczeń, podanych na rys. 31, można napisać:

$$s + 2 \cdot \Delta s = h \frac{x + a}{y - a}$$

Stąd odległość $a$, o którą trzeba przesunąć punkt obrotu $O$ do punktu $O_2$, aby statykę powiększyć o długość:

$$a_2 = \frac{y \cdot (s + 2 . \Delta s) - h . x}{2 . \Delta s + s + h}$$

Jeżeli chcielibyśmy statykę zmniejszyć, to $O$ przesuwamy do $O_1$, a wówczas:

$$s - 2 . \Delta s = h \frac{x - a}{y + a}$$

stąd:

$$a_1 = \frac{y . (s - 2 . \Delta s) - h . x}{2 . \Delta s - s - h}$$

Jeżeli zauważymy, że $s = n \cdot \delta$, to podstawiając, otrzymamy:

$$a_2 = \frac{n \cdot y \cdot (\delta + 2 \cdot \Delta\delta) - h \cdot x}{n \cdot (2 \cdot \Delta\delta + \delta) + h}$$

oraz:

$$a_1 = \frac{n \cdot y (\delta - 2 \cdot \Delta\delta) - h \cdot x}{n \cdot (2 \cdot \Delta\delta - \delta) - h}$$

Ten system zmiany stopnia nierównomierności stosują np. firmy Krupp, GMA.

Przy współpracy ważnem jest, aby stopień nierównomierności nie był zbyt mały, gdyż w przeciwnym przypadku ustalonego stanu pracy występowałyby kołysania, czasami zupełnie uniemożliwiające współpracę, o czem się zresztą w dalszym ciągu przekonamy.

g. Zmiana częstotliwości, liczby obrotów.

Zmiana liczby obrotów, a co za tem idzie i częstotliwości, jest konieczna nietylko ze względu na utrzymanie częstotliwości na stałej wysokości, lecz i dla umożliwienia synchronizacji, włączania turbogeneratorów do współpracy. Zwykle wymagamy możności zmiany obrotów turbogeneratora o $\pm 5\%$. Zmianę tę, oczywiście poza niemożliwą do przeprowadzenia w czasie pracy zmianą ciężarów wirujących generatora, można osiągnąć dzięki zmianie obciążenia pochwy regulatora lub zmianie naciągu jego sprężyn. Wszystkich tych zmian, jak też i niżej wymienionych można dokonywać zarówno bezpośrednio przy maszynie odręcznie, jak i z nastawni zapomocą odpowiedniego silniczka regulacyjnego. Jednym z najczęściej stosowanych sposobów zmiany liczby obrotów jest przesuwanie punktu obrotu $c$ dźwigni $D$ wzdłuż trzona $T$ zaworu $Z$ (rys. 28). Przesuwanie punktu $c$ odbywa się wzdłuż nagwintowanej części trzona $T$. Posiłkując się oznaczeniami, podanemi na rys. 32 „a", możemy dla zmiany ilości obrotów $o \Delta s$ napisać następującą zależność:

$$\frac{\Delta h}{\Delta s} = \frac{y}{x}$$

Stąd znajdziemy długość drogi, o którą musimy przesunąć punkt obrotu $c$ dźwigni $D$, aby uzyskać żądaną zmianę liczby obrotów:

$$\pm \Delta h = \Delta s \cdot \frac{y}{x} = \frac{n}{n} \cdot \Delta s \cdot \frac{y}{x} = n \cdot \Delta\delta \cdot \frac{y}{x}$$

Ten rodzaj zmiany ilości obrotów jest zastosowany w turbinach np. Zoelly, The English Electric Company.

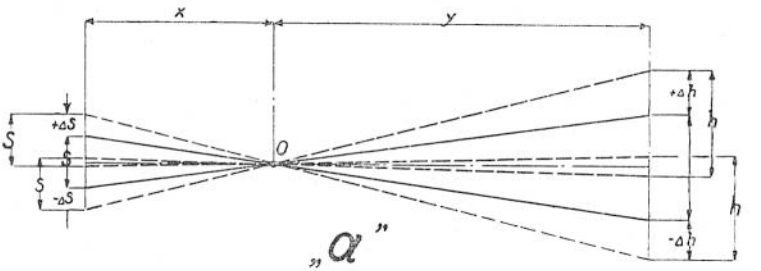
Niektóre fabryki, jak np. GMA, Krupp, stosują podwyższanie względnie obniżanie punktu obrotu $O$ dźwigni do położeń zawartych między $OO'$ i $OO''$ (rys. 28). Osiągają one to w ten sposób, że przyrząd suwakowy $S$ zaopatrują w wewnętrzną tuleję $H$, na której otworki olejowe, zasłaniane tłoczkami, są podłużnie śrubowo wycięte. Przekręcając więc tuleję zapomocą ślimaka $Sl$, powodujemy temsamem konieczność przestawienia

się do góry albo na dół tłoczków dla zrównoważenia. Opierając się na rys. 32 „b" zauważymy, że przy zmianie liczby obrotów o $\pm \Delta s$ możemy napisać, że: $s_r = (s + 2 . \Delta s)$; pamiętając, że $\delta = \frac{s}{n}$, powyższe równanie napiszemy w postaci:

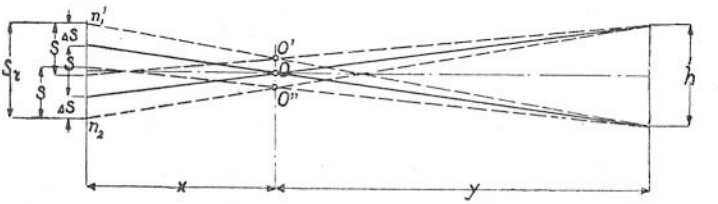
$$s_r = (s + 2 . \Delta s) . \frac{s}{s} = \frac{n(\delta + 2 . \Delta \delta)}{n . \delta} . s = \frac{\delta + 2 . \Delta \delta}{\delta} . s$$

Stąd skok pochwy regulatora $s$ dla uzyskania całego skoku $h$ zaworu Z wyniesie:

$$s = s_r \frac{\delta}{\delta + 2 . \Delta \delta}$$




„a"




„b"

Rys. 32. Zmiana częstotliwości, liczby obrotów:
„a" — zapomocą przesuwania punktu obrotu c dźwigni D wzdłuż trzona T zaworu Z
„b" — zapomocą dodatkowej tulei serwomotoru (rys. 28).

Tuleja musi się przytem przesunąć o $OO' = OO''$, którą to wysokość znajdziemy ze wzoru:

$$\frac{OO'}{\Delta s} = \frac{y}{x + y}$$

czyli:

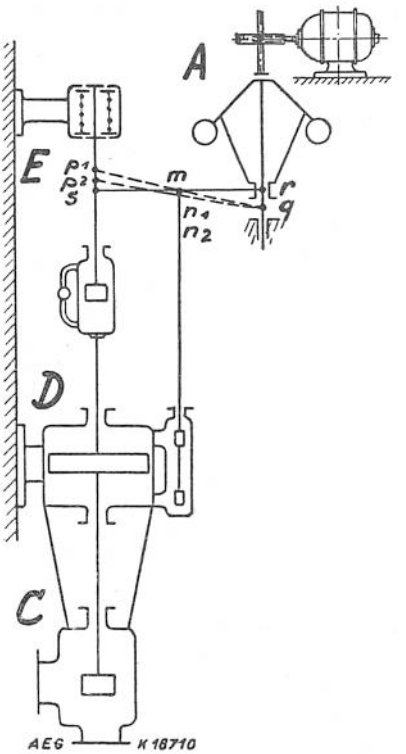
$$OO' = n . \Delta \delta \frac{y}{x + y}$$

Jak z łatwością można zauważyć, przy tego rodzaju zmianie obrotów turbiny statyka regulatora nie ulega zmianie co do wielkości, lecz tylko jakgdyby co do przesunięcia wzwyż lub wniż osi regulatora.

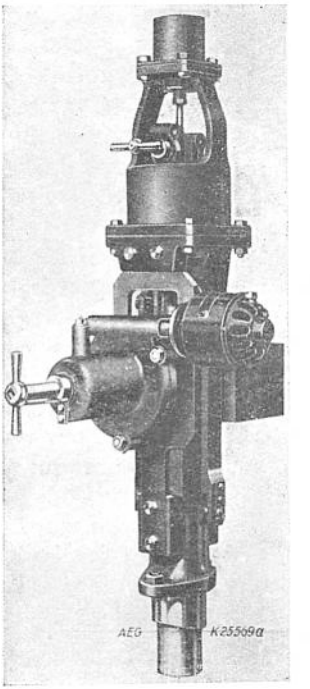
h. Regulator z mechanizmem odwodzącym elastycznym (n. Isodromregler).

Wyżej opisane sposoby zmiany liczby obrotów mają jednak obok wielu cennych zalet także i dwie poważne wady. Pierwsza z nich polega na tem, że każdy turbogenerator przy różnych obciążeniach pracuje z różną liczbą obrotów. Jeżeli więc charakterystyki regulatorów poszczególnych turbin są różne, to przy współpracy wielu jednostek wytwórczych zmianom obciążenia towarzyszyć będą znaczne siły synchronizujące, których zadaniem będzie doprowadzenie wirników do synchronicznej liczby obrotów. Oczywiście, że w tych warunkach rozdział obciążeń na poszczególne jednostki nie będzie zadowalający. Tę ostatnią wadę można wprawdzie usunąć przez zrównanie charakterystyk poszczególnych regulatorów, dzięki zmianie stopnia nierównomierności w znany nam już sposób, niemniej jednak częstotliwość, panująca w sieci, będzie ulegała stałym zmianom wmiarę zmian obciążenia. Częstotliwość tę można w pewnym, dość długim czasie doprowadzić do znamionowej wysokości ręcznie lub zapomocą sterowania zdala. Jednakże tu właśnie napotykamy drugą z wad regulatorów z mechanizmem odwodzącym sztywnym, na którą pragniemy zwrócić uwagę. Wada ta występuje przy nagłem odciążaniu względnie obciążaniu turbogeneratorów. Celem bliższego zapoznania się z nią wyobraźmy sobie, że turbogenerator jest dość mocno obciążony, skutkiem czego obroty jego zmalały, a dla doprowadzenia ich do normy podregulowaliśmy je np. przez przesunięcie wdół punktu obrotu dźwigni na trzonie $T$. W ten sposób skróciliśmy odległość pochwy regulatora od jej krańcowego położenia. Jeżeli teraz nagle jakiś odbiorca na sieci się odłączy i skutkiem tego turbogenerator nagle znacznie się odciąży, wówczas regulator, mimo doprowadzenia swej pochwy do górnego krańcowego położenia, nie domknie zaworu właśnie o odległość, na którą przesunęliśmy punkt obrotu na trzonie $T$ od położenia jego, ustalonego statyką regulatora. W ten sposób do turbiny dopływa znacznie więcej energji, niż wypadałoby z jej obciążenia, co spowoduje ciągły wzrost jej obrotów i o ile sami nie będziemy interwenjowali dość szybko, to regulator bezpieczeństwa, nastawiony zazwyczaj na wzrost obrotów o 10%, odłączy dopływ pary do turbiny. W odwrotnym przypadku, t. j. gdy nagle nastąpi wzrost obciążenia, a obroty zostały podregulowane wdół, regulator nie będzie wstanie podnieść wentyla tak wysoko, aby dodatkowo mogła dopłynąć odpowiednia ilość energji dla zrównoważenia obciążenia. Skutkiem tego turbina zacznie tracić obroty i wreszcie stanie. Unikamy obu wyżej wymienionych wad dzięki zastosowaniu w regulatorze mechanizmu odwodzącego elastycznego, który cechuje to, że pochwa regulatora przy każdym ustalonym stanie pracy znajduje się zawsze w jednem i tem samem miejscu w przeciwieństwie do regulatora z mechanizmem odwodzącym sztywnym, w którym każdemu stanowi pracy odpowiada inne położenie pochwy. O ile więc przy mechanizmach odwodzących sztywnych

każdy stan pracy cechują odpowiadające mu obroty maszyny, o tyle przy mechanizmach odwodzących elastycznych zmiana stanu pracy nie pociąga za sobą zmiany liczby obrotów. Schemat takiego urządzenia widzimy na rys. 33, na którym oznaczone są: literą A — regulator obrotów z silniczkiem nastawniczym, D — serwomotor, C — zawór parowy, E — urządzenie odwodzące elastyczne, składające się ze sprężyny oraz cylindra olejowego tłumiącego. W cylindrze tym znajduje się szczelnie do niego dopasowany




Rys. 33. Schemat regulatora z mechanizmem odwodzącym elastycznym.




Rys. 34. Urządzenie odwodzące elastyczne.

tłok. Cylinder ten jest całkowicie wypełniony olejem, a przód jego łączy się z tyłem zapomocą rurki, której przekrój w jednem miejscu można zmieniać zapomocą odpowiedniego kranika. W tych warunkach ruch tłoka w cylindrze jest możliwy tylko wówczas, gdy olej z jednej strony tłoka przechodzi przez rurkę na drugą stronę tłoka. Szybkość poruszania się tłoka w cylindrze jest więc naogół bardzo powolna; zależy ona od oporu, jaki olej w rurce podczas swej wędrówki napotyka, i może być zmieniana wyżej wspomnianym kurkiem. Przypuśćmy, że obciążenie nagle wzrosło, a skutkiem tego obroty maszyny spadły z $n_1$ na $n_2$ tak, że pochwa regulatora opuściła się z położenia $r$ do położenia $q$. Punktem obrotu dla dźwigni jest punkt $s$; punkt $m$ obniżył się więc, skutkiem czego suwak wpuścił olej pod tłok serwomotoru, co spowodowało podniesienie się go. Przy tem podnosze-

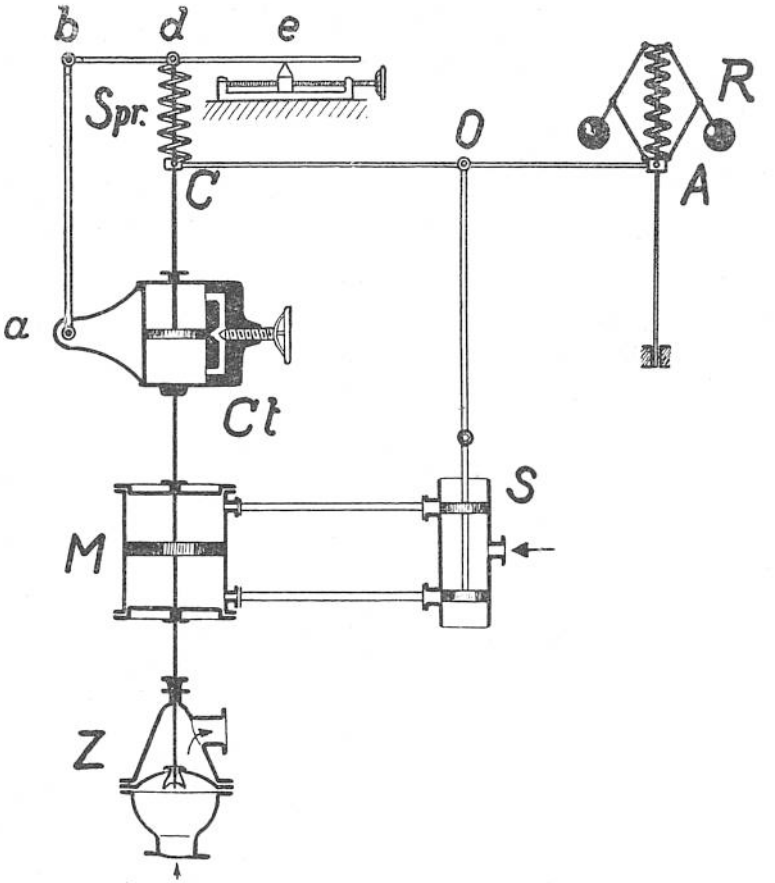
niu trzon nie napotyka na znaczniejszy opór sprężyny, gdyż w początkowem położeniu nie była ona napięta; niema więc ruchu względnego tłoczka i cylindra, dzięki czemu dźwignia zostaje przesunięta z punktu $s$ do punktu $p_1$, przyczem punktem obrotu dźwigni był punkt $q$ tak, że w tej chwili dźwignia zajmuje położenie $p_1$—$m$—$q$. Innemi słowy, punkt $m$ został „odwiedziony" do swego pierwotnego położenia. Na tem kończy się okres odwodzenia sztywnego, a zaczyna się odwodzenie elastyczne. Trzon serwomotoru, idąc do góry, naciągnął oczywiście sprężynę, która ciśnie na tłok cylindra tłumiącego. Pod wpływem tego ciśnienia olej powoli przechodzi z jednej strony tłoka na drugą tak, że dźwignia opuszcza się i obecnie zajmuje położenie $p_2$—$q$, a przy tem opuszczaniu się znów obniżyła punkt $m$; serwomotor podnosi się więc znów, obroty maszyny rosną i punkt $q$ podnosi się do góry. Po szeregu takich wahnięć dźwignia przy nowem obciążeniu odzyskuje swe pierwotne położenie $s$-$m$-$r$. Maszyna pracuje już pod większem obciążeniem, lecz przy dokładnie tych samych obrotach i wówczas okres elastycznego odwodzenia, a więc i cały przebieg regulacji, jest zakończony. Na rys. 34 widzimy takie urządzenie, które po niemiecku nazywa się „Isodrom-Vorrichtung", gotowe do użytku. Z łatwością można zauważyć, że jeżeli zamknęlibyśmy kranem rurkę, łączącą obie strony cylindra tłumiącego tak, że olej nie mógłby przepływać, a przytem sprężyna byłaby miękka, to regulacja odbywałaby się z odwodzeniem sztywnem. Gdyby natomiast sprężyna była bardzo silna, a przepływ oleju bardzo łatwy, wówczas punkt $s$ byłby punktem stałym tak, że regulator działałby bez odwodzenia. Z tego wynika, że regulacja z odwodzeniem elastycznem zajmuje pośrednie miejsce między regulacją z odwodzeniem sztywnem, a regulacją bez odwodzenia. Regulacja z odwodzeniem elastycznem zbliża się mniej lub więcej do regulacji z odwodzeniem sztywnem lub do regulacji bez odwodzenia, zależnie od siły sprężyny i wielkości oporu, stawianego olejowi przy przejściu z jednej strony cylindra na drugą.

Regulatory z odwodzeniem elastycznem dopuszczają różnicę częstotliwości, odpowiadającą tylko nieczułości regulatora. Naogół można liczyć się tu z różnicą częstotliwości, wynoszącą $\pm$ 0,1%, t. j. $\pm$ 0,05 okr/sek., i to nawet w trudnych warunkach pracy.

i. Uzyskiwanie stopnia nierównomierności w regulatorach o mechaniźmie odwodzącym elastycznym.

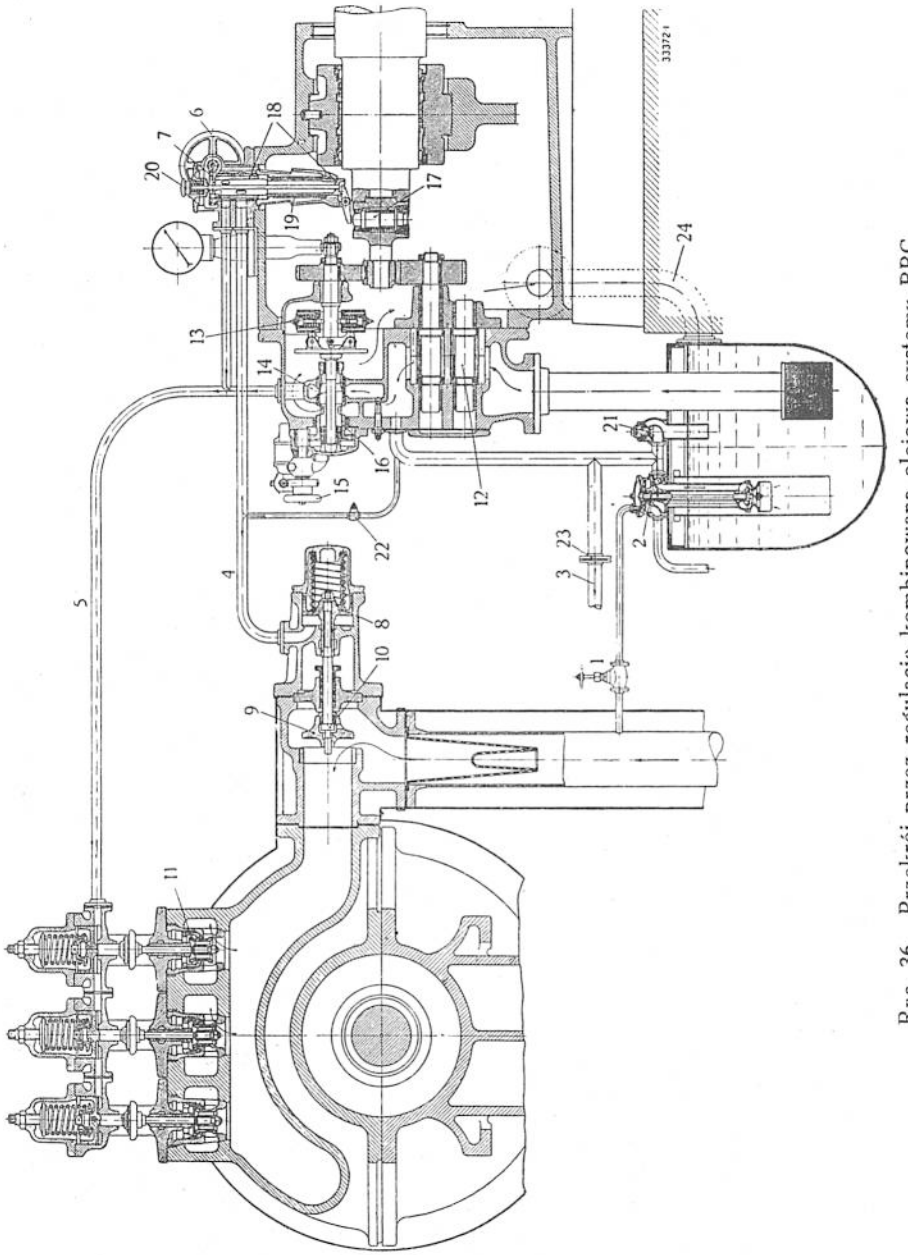
Regulacji z mechanizmem odwodzącym elastycznym nie można oczywiście stosować wówczas, gdy chcemy dołączyć równolegle jakąś nową jednostkę wytwórczą lub przyrosty obciążeń rozłożyć na szereg maszyn w sposób zależny od charakterystyki regulacyjnej. Wówczas, poza możnością przejścia w znany nam już sposób z mechanizmu odwodzącego elastycznego na sztywny, prof. Tolle podaje następujący sposób osiągnięcia pewnego stopnia nierównomierności w silniku, niezależnego od stopnia nierównomierności regulatorów. W tym celu (rys. 35) cylinder tłumiący $Ct$ łączy się sztywnym prętem $ab$ z dźwignią $be$, do której w punkcie $d$ przymocowana jest również sprężyna $Spr$. Punkt $e$ dźwigni $be$ jest punktem obrotu, przyczem punkt ten można dowolnie przesuwać wzdłuż dźwigni zapomocą kółka ręcznego.

W ten sposób punkt *b* dźwigni przesuwa się bądźto wzwyż bądźteż wdół, zależnie od podnoszenia się lub opadania tłoka serwomotoru *M*. Skutkiem tego ulega zmianie punkt *d* zaczepienia sprężyny *Spr*, który był do tej pory punktem stałym, a obecnie, zależnie od ruchów punktu *b*, zatacza łuki promieniem *de*. Wielkość tych ruchów jest proporcjonalna do ruchów tłoka serwomotoru. W ten sposób po każdym skończonym przebiegu regulacyjnym, gdy punkt *O* będzie się już znajdować w swem pierwotnem położeniu, punkt *C*, a zatem i punkt *A*, będą zajmowały miejsca różniące się nieco od




Rys. 35. Idea uzyskiwania stopnia nierównomierności w regulatorach o mechanizmie odwodzącym elastycznym.

miejsc początkowych. Silnik nie powraca więc przy zmianie obciążenia do swych pierwotnych obrotów tak, jak przy zwykłem odwodzeniu elastycznem, lecz wykonywa obroty inne. Jeżeli oddalimy punkt *e* od punktu *d*, wówczas stopień nierównomierności wzrośnie, gdy natomiast będziemy go zbliżali do punktu *d*, to stopień nierównomierności będzie malał. Stanie się on równy zeru wówczas, gdy punkt *e* zleje się z punktem *d*, i wrazie dalszego przesuwania punktu *e* w kierunku do punktu *d* otrzymywać będziemy corazto większy ujemny stopień nierównomierności.




Rys. 36. Przekrój przez regulację kombinowaną olejową systemu BBC.

j. Regulacja kombinowana jakościowo-ilościowa firmy BBC.

Należy jeszcze rozpatrzeć regulację turbin, stosowaną przez firmę BBC i różniącą się zasadniczo od regulacyj wyżej opisanych. Regulacja ta odbywa się bez udziału dźwigni, a polega jedynie na sterowaniu olejem. W najnowszem wykonaniu tej regulacji wał turbiny (rys. 36) napędza dzięki prze-

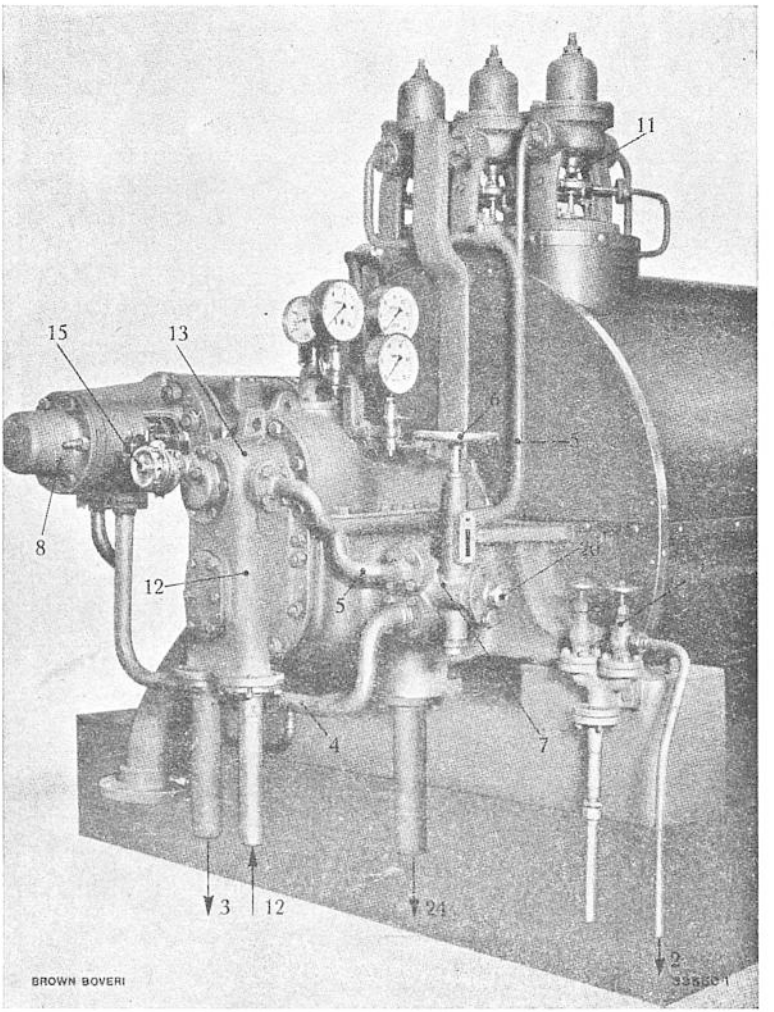
kładni trybowej z jednej strony regulator obrotów 13, a z drugiej strony t. zw. główną pompę olejową 12, składającą się z dwóch kół zębatych. Pompa ta tłoczy stałą ilość oleju do komory olejowej, znajdującej się nad pompą. Z komory tej część oleju dzięki przesłonie dławiącej 23 poprzez rurociąg 3 odpływa do smarowania poszczególnych organów turbiny. Część oleju poprzez zawór regulacyjny 22 przepływa tuleją 18 do normalnie zamkniętego przewodu 4, przeciwdziałając swem ciśnieniem naciskowi sprężyny 8, stanowiącej część urządzeń głównego zaworu bezpieczeństwa 9. Zawór ten zamknie więc dopływ pary wówczas, gdy w przewodzie 4 zniknie ciśnienie skutkiem tego, że wyleci z niego olej poprzez otwór tulei 18, którą w tym celu można odpowiednio przekręcić bądźto ręcznie zapomocą kółka 6 bądźteż nagle zapomocą sprężyny 19, zwolnionej naciśnięciem guzika 20, lub samoczynnie przez regulator bezpieczeństwa 17, który zwykle działa przy wzroście obrotów zależnie od nastawienia go o 10% do 15%. Reszta oleju z wyżej wspomnianej komory olejowej wpływa poprzez kanał 14 do rurociągu 5. W kanale tym znajduje się tuleja regulacyjna 16 ze szczeliną przysłanianą względnie odsłanianą mniej lub więcej zapomocą pochwy regulatora obrotów 13. Skutkiem tego olej częściowo wycieka poprzez tak nastawioną szczelinę tulei regulacyjnej 16 do komory przyrządu regulatorowego, z którego poprzez rurociąg powrotny 24 wraca do zbiornika olejowego. Tak więc zależnie od nastawienia tej szczeliny olej poprzez przewód olejowy 5 ciśnie spod spodu na tłoczki w mniejszych turbinach trzech, a w większych czterech serwomotorów. Tłoczki te z jednej strony są połączone z zaworami regulacyjnemi 11 dysz turbiny, a z drugiej strony cisną na nie sprężyny o nacisku dla każdego następnego serwomotoru corazto większym. Bezpośredniem zadaniem regulatora 13 jest tu więc mniejsze lub większe przysłanianie względnie odsłanianie szczeliny tulei regulacyjnej 14. Dzięki temu większa lub mniejsza ilość oleju odpływa z przewodu 5, co jest przyczyną, że olej naciska na tłoczki serwomotoru z siłą, zależną od stanu pracy regulatora 13. Jeżeli obciążenie jest małe, regulator obraca się szybciej, skutkiem czego pochwa regulatora odsłoni więcej szczelinę w tulei 16, a ciśnienie w przewodzie olejowym 5 stanie się mniejsze tak, że ciśnienie oleju wystarczy np. tylko na odpowiednie podniesienie wentyla serwomotoru pierwszego, podczas gdy oba pozostałe zawory są zamknięte. Jeżeli obciążenie turbiny zacznie rosnąć, obroty jej będą spadały, pochwa się wysunie i przesłoni bardziej szczelinę 14 tak, że ciśnienie w rurociągu 5 będzie się zwiększało wmiarę wzrostu obciążenia turbiny, a olej będzie podnosił corazto wyżej zawór pierwszy, następnie drugi i wreszcie trzeci. Brzeg szczeliny tulei regulacyjnej jest w stosunku do osi regulatora ścięty skośnie pod kątem nieco mniejszym od 90°, dzięki czemu nawet przy niezmieniającem się obciążeniu zmienia się nieco ciśnienie oliwy w przewodzie 5, skutkiem czego zawory wykonywują małe ruchy, zapobiegające zwiększeniu się tarcia w serwomotorach, względnie zapieczeniu się trzonków wentylowych. Zmiany liczby obrotów, zazwyczaj o około 4%, można dokonywać bądźto ręcznie zapomocą kółka 15, bądźteż silniczkiem sterowanym zdala, widocznym za wyżej wymienionem kółkiem. Regulacja ta polega na tem, że tuleją regulacyjną 16 przesuwa się w kierunku do lub od regulatora 13, skutkiem czego zmieniamy szczelinę 14 niezależnie od jej zmiany, dokonywanej przez regulator zapomocą pochwy.

Przez zmianę kształtu brzegu pochwy regulatora, normującego wielkość szczeliny w tulei regulacyjnej 16, osiągamy zmianę spółczynnika nierównomierności regulatora.

Celem uzupełnienia tych rozważań musimy zaznaczyć, że przekręcając kółko ręczne 6 o około 45° uruchamiamy turbinę, powodując niem zapośrednictwem suwaka dla oleju sterowniczego 7 zamknięcie przewodu 4, dzięki czemu najpierw zawór dodatkowy 10 zostaje otwarty, skutkiem czego para przedostaje się na jego drugą stronę, wyrównywując w ten sposób ciśnienia pary z obu stron zaworu głównego 9 tak, że dzięki temu zawór ten, zwany również zaworem bezpieczeństwa 9, z łatwością zostaje otwarty. Po przekręceniu kółka ręcznego o dalsze 45° zamknięty zostaje przewód 5 tak, że otwieranie dysz 11 będzie mogło odbywać się odpowiednio do obrotów regulatora 13. Zanim jednak przy uruchamianiu turbiny pompa główna 12 zacznie pompować olej i wytwarzać odpowiednie dla smarowania łożysk ciśnienie oleju sterowniczego, puszczamy w ruch zapomocą zaworu parowego 1 pompkę olejową pomocniczą 2 o napędzie parowym. Pompkę tę należy uruchamiać oczywiście także i wówczas, gdy się turbinę zatrzymuje, gdyż wtedy obroty turbiny maleją i główna pompa olejowa 12 przestaje działać, a temsamem zostaje wstrzymane smarowanie łożysk, co spowodowałoby niechybne ich zniszczenie. W celu zatrzymania turbiny kręcimy kółkiem 6 w odwrotnym kierunku tak, że po obrocie o $\sphericalangle$ 45° tuleja suwakowa 7 otwiera przewód 5, co powoduje zamknięcie dysz 11, a po przekręceniu kółka 6 o dalsze 45° w ten sam sposób otwiera się przewód 4 tak, że wentyle 9 i 10 zamykają dopływ pary do dysz. Z przewodów 4 i 5 olej wypływa poprzez otwory tulei 7 i 18 i przez komorę regulatorową i rurociąg powrotny 24 wraca do zbiornika olejowego. Wrazie konieczności nagłego zatrzymania turbiny naciskamy guzik 20. Zazwyczaj zawór 1 jest stale otwarty, a w przewód parowy pomiędzy ten zawór a pompkę pomocniczą umieszczamy drugi zawór, niewidoczny na rysunku; zawór ten działa w ten sposób, że gdy ciśnienie oleju w rurce, łączącej pompkę 2 z olejowym zaworem bezpieczeństwa 21, spadnie poniżej pewnej wysokości, zawór samoczynnie uruchamia pompkę pomocniczą 2. Na rys. 37 widzimy przód turbiny o mocy 2000 kW i 3000 obr/min. z regulacją wyżej opisaną.

k. Współpraca wielu jednostek wytwórczych, zaopatrzonych w regulatory obrotów.

Przypuśćmy, że dwa turbogeneratory o charakterystykach regulacyjnych 1 i 2 pracują równolegle na wspólną sieć obciążoną mocą $N = N_1 + N_2$. Dla ułatwienia rozumowań charakterystyki te narysujemy odwrócone do siebie o 180° (rys. 38). Punkt ich przecięcia leży na prostej $f$, odpowiadającej częstotliwości sieci, i określa obciążenie każdego z generatorów. Moc turbogeneratora 1 oznaczyliśmy $N_{n1}$, a moc turbogeneratora $2 - N_{n2}$. W ten sposób możemy odczytać z wykresu obciążenie sieci. Przypuśćmy, że obciążenie sieci wzrosło o $\Delta N$ kW. Wówczas charakterystyka 2 uległa równoległemu przesunięciu o $\Delta N$. Zbadajmy, jaką część wzrostu obciążenia sieci przejęły na siebie poszczególne generatory, przyczem części te, od-




Rys. 37. Przód turbiny o mocy 2000 kW i 3000 obr/min z regulacją olejową kombinowaną jakościowo-ilościową systemu BBC.

powiednio do numeracji generatorów, oznaczamy przez $\Delta N_1$ i $\Delta N_2$. Posiłkując się oznaczeniami, podanemi na rys. 38, możemy napisać:

$$z = \Delta N_1 \,.\, \mathrm{tg}\,\alpha \text{ oraz } z = \Delta N_2 \,.\, \mathrm{tg}\,\beta, \text{ gdzie } z = OS$$

stąd:

$$\Delta N_1 \,.\, \mathrm{tg}\,\alpha = \Delta N_2 \,.\, \mathrm{tg}\,\beta$$

Ale:

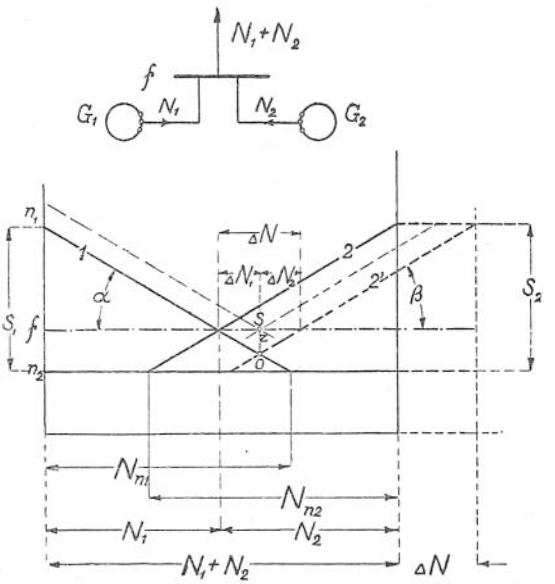
$$\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{s_1}{N_{n1}}, \quad \text{a: } \mathrm{tg}\,\beta = \frac{s_2}{N_{n2}},$$

gdzie przez $s$ oznaczyliśmy statykę regulatora turbiny pierwszej, względnie drugiej.

Pod pełnem obciążeniem turbogeneratora rozumiemy jego moc znamionową, a więc odpowiednio równą $N_{n1}$ i $N_{n2}$. Po tem omówieniu możemy w dalszym ciągu napisać, że:

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = \frac{\frac{s_2}{N_{n2}}}{\frac{s_1}{N_{n1}}} = \frac{s_2}{N_{n2}} \cdot \frac{N_{n1}}{s_1}$$

Z równania tego wynika, że rozdział mocy na poszczególne turbogeneratory jest wprost proporcjonalny do ich mocy nominalnych i odwrotnie proporcjonalny do statyk $s$ ich regulatorów, a więc i do ich stopni nierównomierności $\delta$. Stwierdzamy więc ponownie, że im bardziej poziomy przebieg ma charakterystyka regulacji, tem większy udział bierze na siebie dana maszyna w przejmowaniu udarów mocy. Aby uchronić ją przed zbyt wielkiemi przeciążeniami, staramy się dać jej możliwie duży spadek obrotów między jej biegiem jałowym a pełnem obciążeniem, t. j. dużą statykę czyli duży stopień nierównomierności.




Rys. 38. Rozdział przyrostu obciążenia między dwiema jednostkami wytwórczemi.

Ponieważ przy współpracy wielu jednostek wytwórczych, zaopatrzonych w regulatory obrotów, na wszelkie zmiany obciążenia sieci reagują regulatory wszystkich jednocześnie pracujących maszyn, przeto przy tym systemie współpracy w zwykłych warunkach żadna z jednostek wytwórczych nie powinna być obciążona bardziej niż do $^3/_4$ swej mocy znamionowej. W związku z tem przy tego rodzaju współpracy zakupujemy maszyny napędowe, np. turbiny, skonstruowane w ten sposób, że najwyższa ich sprawność przypada na obciążenie równe $^3/_4$ obciążenia znamionowego. Jak widzimy, tego rodzaju współpracę prowadzimy z „cichą rezerwą energetyczną", wynoszącą 25% sumy mocy znamionowych wszystkich jednocześnie pracujących jednostek wytwórczych poza „jawną rezerwą energetyczną", złożoną z maszyn umyślnie w tym celu wydzielonych.

Oznaczmy stosunek $\frac{N_{n1}}{s_1} = \mathbf{L}$ oraz $\frac{N_{n2}}{s_2} = \mathbf{L}_2$; $\mathbf{L}_1$ i $\mathbf{L}_2$ oznaczają zmianę obciążenia każdego z turbogeneratorów, przypadającą na zmianę ich obrotów na minutę o 1 obrót. $\mathbf{L}$ nazwiemy spółczynnikiem przyrostu obciążenia turbogeneratora (n. Leistungszahl). Podstawiając, otrzymamy:

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = \frac{\mathbf{L}_1}{\mathbf{L}_2},$$

czyli, że turbogeneratory przejmują wzrost obciążenia w wielkości proporcjonalnej do swych spółczynników obciążenia. Możemy napisać, że:

$$\Delta N_1 = \frac{\mathbf{L}_1}{\mathbf{L}_2} . \Delta N_2; \text{ ale } \Delta N_2 = \Delta N - \Delta N_1,$$

co podstawiając, otrzymamy:

$$\Delta N_1 = \frac{\mathbf{L}_1}{\mathbf{L}_2} . \Delta N - \frac{\mathbf{L}_1}{\mathbf{L}_2} . \Delta N_1,$$

a stąd:

$$\Delta N_1 = \frac{\mathbf{L}_1}{\mathbf{L}_2} . \Delta N . \frac{\mathbf{L}_2}{\mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2} = \frac{\mathbf{L}_1}{\mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2} . \Delta N$$

Rozumując w analogiczny sposób znajdziemy, że:

$$\Delta N_2 = \frac{\mathbf{L}_2}{\mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2} . \Delta N$$

Obydwa generatory jednak, pracując w punkcie $O$ przecięcia się charakterystyk regulacji, wirują z ilością obrotów niższą od znamionowej. Wobec tego obroty obu maszyn podregulujemy w znany nam już sposób, dzięki czemu obydwie charakterystyki przesuną się w górę równolegle do swego pierwotnego położenia tak, że punkt $O$ pracy turbin przesunie się wzdłuż linji pionowej $x$ i zajmie właściwe swe położenie w miejscu synchronicznem $s$. Tak więc generatory pracują obecnie pod obciążeniem: pierwszy $(N_1 + \Delta N_1)$, a drugi $(N_2 + \Delta N_2)$ już przy właściwej częstotliwości.

Z rozważań tych wynika bezpośrednio, że na zmiany obciążenia bardziej reaguje ten z turbogeneratorów (na niego przypada większa moc), którego spółczynnik $\mathbf{L}_1$ jest większy, a więc który ma mniejszą statykę $s_1$, którego charakterystyka regulacji ma więc przebieg mniej pochyły.

Rozważania te uogólnimy przypuszczając, iż na wspólną sieć pracuje $x$ jednostek, przyczem jednostki te połączone są z sobą siecią o znikomo małej oporności pozornej (impedancji), tak małej, że można ją pominąć. Wówczas jednostka $n$-ta przejmie na siebie wzrost obciążenia, wynoszący:

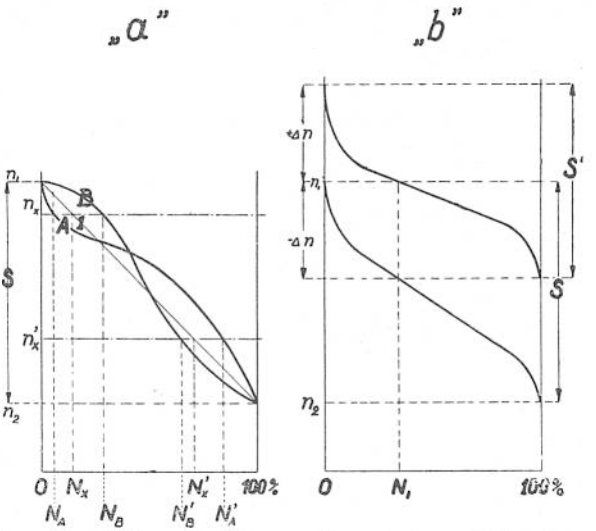
$$\Delta N_n = \frac{\mathbf{L}_n}{\sum_{a=1}^{a=x} \mathbf{L}_a} . \Delta N$$

Wszystkie te jednostki, pracujące razem, można ze względu na ich zachowanie zastąpić jedną jednostką wytwórczą, t. zw. zastępczą, której statyka zastępcza wyniesie:

$$s_z = \frac{\sum_{a=1}^{a=x} N_a}{\sum_{a=1}^{a=x} \frac{N_a}{s_a}}$$

1. Zniekształcone przebiegi statycznej charakterystyki regulacji.

Do tej pory milcząco przyjmowaliśmy, że charakterystyka statyczna każdej regulacji ma przebieg prostolinijny. W rzeczywistości jednakże tak nie jest. Tylko regulatory turbin wodnych mają przebieg bardzo zbliżony do prostolinijnego, natomiast regulatory turbin parowych cechuje przebieg mniej lub więcej wypukły lub wklęsły i takie sfalowanie charakterystyki jest zazwyczaj tem większe, im starsza jest konstrukcja regulatora. Skutkiem tego często nie wystarcza zrównanie stopni nierównomierności poszczególnych regulatorów dla uzyskania oczekiwanego rozdziału obciążeń przy całym zakresie zmian tego obciążenia, t. j. począwszy od biegu jałowego, a skończywszy na pełnem obciążeniu. Na rys. 39 „a" widzimy trzy różne charakterystyki regulacyj, z których oznaczoną cyfrą 1 podaliśmy, dla porównania, o przebiegu prostolinijnym. Wszystkie te charakterystyki mają jednakową statykę. Mimoto, jak widzimy, przy obrotach $n_x$, odpowiadających obciążeniom przejmowanym przez turbogeneratory $A$ i $B$, równym $N = N_A + N_B$, generator $A$ przejmuje na siebie część obciążenia $N_A$, znacznie mniejszą od części $N_B$, przejmowanej przez generator $B$. Przy wzroście obciążeń sieci do $N' = N'_A + N'_B$, odpowiadającym obrotom $n'_x$ widzimy, że $N'_A > N'_B$: a więc teraz bardziej obciążony jest turbogenerator $A$, a mniej $B$.




Rys. 39. Wpływ kształtu przebiegu statycznej charakterystyki regulacji na wielkość przejmowanego obciążenia:
„a" — przebiegi przypadkowo zniekształconych charakterystyk,
„b" — przebieg umyślnie zniekształconej charakterystyki oraz wpływ na nią zmiany liczby obrotów turbiny.

Celem uniknięcia tego rodzaju niespodzianek, utrudniających prowadzenie współpracy, dążymy do uzyskania charakterystyki regulacji jaknajbardziej zbliżonej do linji prostej z tem, że dla łatwiejszej synchronizacji i dołączania turbogeneratorów bez udarów mocy początek charakterystyki ma przebieg bardzo silnie spadzisty, taksamo koniec, a to dla uniknięcia udarów mocy na generator w okresie jego pracy zbliżonym do pełnego obciążenia, a spowodowanym nagłym wzrostem obciążenia sieci. Charakterystykę taką widzimy na rys. 39 „b". Pozatem należy zwrócić uwagę na wzajemne ustosunkowanie się poszczególnych statyk przy doprowadzaniu obrotów do wysokości nominalnej. Jeżeli np. generator pracuje przy obciążeniu $N_1$ tak, że skutkiem tego obroty jego spadły o $\Delta n$, to dla utrzymania częstotliwości musimy obroty generatora podwyższyć o $\Delta n$. Wówczas charakterystyki zazwyczaj przesuwają się nie ściśle równolegle do pierwotnych swych położeń, jak to do tej pory przyjmowaliśmy, lecz przebieg ich

łagodnieje, t. j. zbliża się bardziej do linji poziomej tak, że z podnoszeniem obrotów związane jest zmniejszenie się statyki, t. j. $s > s'$, jak widzimy na rys. 39 „b".

Przy organizowaniu współpracy elektrowni jest zwykle nieunikniona albo wymiana pewnej ilości regulatorów na regulatory nowszej konstrukcji, odpowiadającej nowym warunkom pracy, albotеż stosowanie odpowiednich uzupełnień i zmian w urządzeniach regulacyjnych, istniejących już przed zorganizowaniem współpracy.

ł. Regulacja częstotliwości i regulacja mocy.

Wyżej rozpatrzone regulatory z jednej strony utrzymywały obroty silników napędowych względnie generatorów w wysokości mało różniącej się od nominalnej liczby obrotów, które to różnice były wyrównywane przez obsługę, a z drugiej strony regulatory te powodowały rozdział obciążeń na poszczególne jednostki w zależności od statyki poszczególnych regulatorów. Działanie tych regulatorów było uzależnione od zmierzonej przez nie liczby obrotów turbogeneratorów. Przypuśćmy, że na sterowanie dopływu energji do silnika będziemy wywierali wpływ, zależny od obciążenia czyteż przepływu mocy przez jakikolwiek punkt sieci, względnie, że od wyniku pomiaru tej mocy będziemy uzależniali oddziaływanie regulatora obrotów: wówczas regulacja, dokonywana w ten sposób, ustalałaby obciążenie danego generatora, zależnie od mocy zmierzonej, a nie od obrotów turbogeneratora względnie częstotliwości prądu, i to utrzymując obciążenie generatora bądź na jednakowej wysokości, bądźteż posługując się obranym przez nas sposobem, uzależniającym wielkość obciążenia w pewnym stosunku do mocy zmierzonej, bądź wreszcie sposobem nawet niezależnym od pomiaru, lecz uzależnionym od nas samych. Dla przykładu zauważymy, że np. w regulacji systemem BBC można w tym celu włączyć w rurociąg 5 specjalny zawór regulacyjny, dzięki któremu można zmieniać ciśnienie oleju w przewodzie 5 w sposób dowolny lub związany np. ze wskazaniami kilowatomierza. Tę zmianę ciśnienia oleju osiągamy dzięki regulowaniu zaworem dopieroco wspomnianym większego lub mniejszego odpływu oleju cisnącego.

Jak z rozważań tych widzimy, mamy dwa niezależne od siebie kryterja, według których regulujemy poszczególne jednostki wytwórcze: jednem z nich są obroty generatora względnie częstotliwość prądu, co na jedno wychodzi, a drugiem — obciążenie danej jednostki względnie moc oddawana lub przesyłana. Należy przytem pamiętać, że im mniejszy stopień nierównomierności ma dany regulator, tem dokładniejsze muszą być mierniki wielkości charakterystycznej dla danej regulacji.

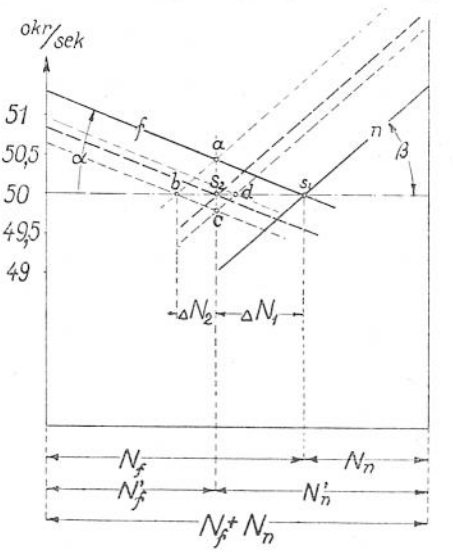
m. Współpraca jednostki wytwórczej o regulacji częstotliwości z jednostką wytwórczą o regulacji mocy.

Dotychczas rozpatrywaliśmy przejmowanie takich zmian obciążenia sieci przez poszczególne jednostki wytwórcze, które odbywały się w sposób stopniowy, bardzo powolny. Obecnie postaramy się zbadać zachowanie się turbogeneratorów, przejmujących obciążenie nagle się zmieniające. W tym celu przypuśćmy, że pracują równolegle dwa generatory. Jeden z nich jest zaopatrzony w regulator częstotliwości (obrotów): oznaczymy

go przez $G_f$, a drugi posiada regulator mocy: oznaczymy go przez $G_n$. Przyjmujemy, że w danym momencie obydwa generatory znajdują się w ustalonym stanie pracy tak, że jeden z nich jest obciążony mocą $N$ a drugi $N_n$, przyczem całkowite obciążenie sieci wynosi $N_f + N_n$. Wykres tej współpracy jest przedstawiony na rys. 40. Przypuśćmy, że ten rozdział obciążeń na poszczególne generatory nam nie odpowiada z jakichkolwiek-bądź względów, np. umownych. Pragniemy uzyskać obciążenia $N'_f$ oraz $N'_n$, przyczem całkowite obciążenie sieci nie ulega zmianie tak, że

$$N'_f + N'_n = N_f + N_n$$

W tym celu zwiększamy napełnienie turbiny $n$ albo ręcznie albotéż zapomocą silniczka sterowanego zdala tak długo, aż osiągniemy żądane obciążenie $N'_n$. Wówczas charakterystyka regulacji turbiny $n$, przesuwając się do góry równolegle do siebie, przetnie charakterystykę $f$ w punkcie $a$. Począwszy od tej chwili, dalszy przebieg regulacji przejmują samoczynnie regulatory. Wobec tego, że obecnie obie maszyny pracują przy wyższej częstotliwości, niż nominalna, regulator maszyny $f$ zmniejszy dopływ pary do swej turbiny i dopływ ten będzie się zmniejszał tak długo, dopóki punkt pracy chwilowej $a$ zejdzie do punktu $b$. W tym momencie częstotliwość jest dobra, lecz niewłaściwy jest rozkład obciążeń, gdyż maszyna $n$ uległa zbytniemu obciążeniu. Skutkiem tego maszyna $n$ zacznie zwalniać bieg i wreszcie na chwilę ustali się nowy stan pracy w punkcie $c$, w którym znów rozkład obciążeń jest właściwy, lecz niewłaściwa jest częstotliwość. Teraz zareaguje regulator maszyny $f$ i osiągnie nowy stan chwilowej równowagi w punkcie $d$ i t. d. Te wyrównywania naprzemian mocy i częstotliwości są, jak widzimy, corazto mniejsze i trwać będą tak długo, aż obie charakterystyki regulacyj przetną się w punkcie $s_2$. W ten sposób maszyny przechodzą z jednego ustalonego stanu pracy do drugiego po całym szeregu kołysań ich wirników. Powstaje przytem szereg wahań w obciążeniu poszczególnych turbogeneratorów, a więc kolejno: $s_1 - s_2 = \Delta N_1$, $s_2 - b = \Delta N_2$ i t. d. Zauważymy przytem, iż w rozpatrywanym przez nas przypadku $\Delta N_1 > \Delta N_2 > \Delta N_3 \ldots$ Kołysania te są więc tłumione. Różnicę w dwóch kolejno po sobie następujących wahnieniach można uważać za miarę tego tłumienia; możemy więc napisać, że tłumienie wynosi:




Rys. 40. Zmiana rozdziału obciążeń między dwiema jednostkami wytwórczemi.

$$D = \frac{\Delta N_1 - \Delta N_2}{\Delta N_1} = 1 - \frac{\Delta N_2}{\Delta N_1}$$

Równanie to nieco przerobimy, biorąc pod uwagę, że:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{a\,s_2}{\Delta N_1}, \text{ a } \operatorname{tg}\beta = \frac{a\,s_2}{\Delta N_2}$$

Podstawiając, otrzymamy:

$$D = 1 - \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\beta}, \text{ ale: } \operatorname{tg}\alpha = \frac{s_f}{N_{fn}} = \frac{1}{\mathbf{L}_f}, \text{ natomiast: } \operatorname{tg}\beta = \frac{s_n}{N_{nn}} = \frac{1}{\mathbf{L}_n},$$

gdzie $N_{fn}$ i $N_{nn}$ są mocą nominalną generatorów $f$ i $n$, $s_f$ i $s_n$ odpowiednią ch statyką, a $\mathbf{L}_f$ i $\mathbf{L}_n$ ich spółczynnikami obciążenia. W ten sposób otrzymamy następujący wzór na tłumienie kołysań:

$$D = 1 - \frac{s_f}{N_{fn}} \cdot \frac{N_{nn}}{s_n} = 1 - \frac{\mathbf{L}_n}{\mathbf{L}_f}$$

Z rozważań tych można wysnuć następujące wnioski:

1) Tłumienie będzie dodatnie wówczas, gdy $\frac{\Delta N_2}{\Delta N_1} < 1$, czyli gdy $\Delta N_1 > \Delta N_2$, a więc gdy $\operatorname{tg}\beta > \operatorname{tg}\alpha$, czyli gdy kąt nachylenia charakterystyki regulacyjnej mocy jest większy od kąta nachylenia charakterystyki regulacyjnej częstotliwości (obrotów), tj. gdy $\sphericalangle\beta > \sphericalangle\alpha$. Innemi słowy, musi być $\mathbf{L}_f > \mathbf{L}_n$. Zachowując te zależności będziemy pewni, że kołysania wirników turbogeneratorów stale będą się zmniejszały i osiągną punkt równowagi współpracy $s_2$.

2) Przy niezachowaniu powyższych zależności tłumienie wahnień będzie ujemne, toteż każde następujące po sobie kolejno wahnięcie mocy będzie corazto większe, kołysanie wirników będzie się stale zwiększało tak, że turbogeneratory zostaną rozłączone, współpraca „rozleci się".

3) Tłumienie kołysań będzie największe wówczas, gdy $D = 1$. Dzieje się to, gdy: $\frac{s_f}{N_{fn}} \cdot \frac{N_{nn}}{s_n} = \frac{\mathbf{L}_n}{\mathbf{L}_f} = 0$, a więc gdy $\mathbf{L}_n = 0$ lub $\mathbf{L}_f = \infty$. Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że ze względu na współpracę staramy się nigdy nie dać statyki mniejszej od 2% tak, że $s_f \geqslant 2\%$, to dla uzyskania możliwie wielkiego tłumienia, moc jednostki wytwórczej, regulującej częstotliwość $N_n$, musi być jaknajwiększa. Gdybyśmy takiej jednostki nie mieli, to zauważywszy, że nie może być $N_{nn} = 0$, dojdziemy do wniosku, że statyka jednostek wytwórczych, regulujących moc, musi być: $s_n = \infty$, czyli charakterystyka regulacji mocy musi być pionowa. Jednostkami temi pracujemy więc z wyłączonym regulatorem i z napełnieniem zgóry ustalonem.

4) Wreszcie tłumienie będzie równe zeru, t. j. $D = 0$, gdy $\mathbf{L}_n = \mathbf{L}_f$. Wówczas po wyprowadzeniu jednego z wirników ze stanu równowagi, oba wirniki zaczną się kołysać tak, że punkt $d$ (rys. 40) stale będzie się zlewał z punktem $s_1$. Teoretycznie, kołysania trwać będą stale. Ruch będzie bardzo niespokojny, niezrównoważony lub nawet wręcz niemożliwy do utrzymania.

Rozważania powyższe nie tracą nic na ważności również i wówczas, gdy oprócz współpracujących z sobą: jednostki regulującej częstotliwość i jednostki regulującej moc, pracują na wspólną sieć jednostki o $s_p = \infty$

czyli z ustalonem obciążeniem, nie biorące udziału w regulacji. Jeżeli spółczynnik obciążenia takiej jednostki oznaczymy przez $\mathbf{L}_p$, wówczas równanie na tłumienie kołysań przyjmie postać:

$$D = 1 - \frac{\mathbf{L}_n + \mathbf{L}_p}{\mathbf{L}_f}$$

Na zakończenie tych rozważań należy jeszcze zauważyć, że turbina jest do kołysania tem skłonniejsza, im mniejszy stopień nierównomierności posiada jej regulator, oraz że przy charakterystyce regulacyjnej nieprostolinijnej turbogenerator jest skłonniejszy do kołysań przy obciążeniu, odpowiadającemu tej części charakterystyki, której przebieg jest bardziej zbliżony do poziomego, niż przy obciążeniu, odpowiadającemu części charakterystyki przebiegającej bardziej stromo.

n. Dobór szybkości dokonywania regulacji mocy i częstotliwości.

W powyższych rozważaniach przyjęliśmy, że najpierw działała regulacja mocy, później częstotliwości, później znów mocy i t. d. naprzemian. Musimy jednak zauważyć, że naogół każda z tych regulacyj działa z pewną szybkością. Przy współpracy elektrowni nie jest więc rzeczą obojętną, z jaką szybkością przesuwamy charakterystykę statyczną. Jeżeli dzięki odpowiedniemu nastawieniu silniczka regulacyjnego przeszliśmy z obciążenia $N_1$ na obciążenie $N_2$, t. j. zmieniliśmy obciążenie o $\Delta N = N_2 - N_1$, i uczyniliśmy to w czasie $\Delta t$ sekund (rys. 30), to szybkość regulacji możemy wyrazić wzorem:

$$v = \frac{\Delta N}{\Delta t} \cdot \frac{100}{N}$$

Jestto więc procentowa zmiana mocy w jednostce czasu przy stałej częstotliwości prądu w sieci.

Oznaczmy szybkość działania regulacji częstotliwości przez $v_f$, a szybkość działania regulacji mocy przez $v_m$. Oczywiście mogą być trzy przypadki wzajemnego ustosunkowania się tych szybkości, a mianowicie: 1) gdy regulacja mocy jest szybsza od regulacji częstotliwości, t. j. $v_m > v_f$, 2) gdy obie regulacje odbywają się z jednakową szybkością tak, że $v_m = v_f$, i wreszcie 3) gdy regulacja mocy jest powolniejsza od regulacj częstotliwości, a więc $v_m < v_f$. Prowadząc te rozważania według H. Langrehr'a, musimy zauważyć, że regulacja mocy jest uzależniona od względów gospodarczych lub umownych, a regulacja częstotliwości od względów ruchowych. O ile względy gospodarcze zadowalają się najczęściej powolną regulacją mocy, czego najlepszym dowodem są powszechnie stosowane przyrządy, rejestrujące moc największą jako średnią moc z okresu 15-minutowego, o tyle szereg przemysłów, jak np. papierniczy, włókienniczy, radjostacje i t. d. nie znosi długotrwałych wahnień częstotliwości. Jeżelibyśmy mimo tych rozważań zastosowali regulację mocy działającą szybciej niż regulacja częstotliwości, to po właściwem ustaleniu rozdziału mocy przy zmianie obciążenia w sieci zaczęłyby działać regulatory częstotliwości, które muszą przyśpieszyć w biegu nietylko wirniki turbogeneratorów,

lecz i silników przyłączonych do sieci. Przy wyregulowaniu częstotliwości równowaga w rozdziale mocy byłaby zachwiana, skutkiem czego okres regulacyjny trwałby nadal aż do zupełnego wyrównania rozdziału mocy z jednoczesnem osiągnięciem nominalnej częstotliwości. Ten rodzaj regulacji niewątpliwie ma tę dobrą stronę, że szybko wyrównywując obciążenia, można stosować mniejsze transformatory, łączące dwie współpracujące z sobą sieci, gdyż nie występują tu udary mocy znacznie przekraczające moc znamionową transformatora. Stąd wypływa też korzyść, polegająca na zainwestowaniu w tem urządzeniu mniejszej kwoty, oraz mniejsze są straty w żelazie. Jednakże powstałe stąd różnice są stosunkowo niewielkie w porównaniu do bardzo kosztownego, lecz szybkodziałającego urządzenia, sterującego moc zdala, który to rodzaj sterowania przy współpracy elektrowni jest prawie zawsze stosowany.

Jedynie w trakcji elektrycznej posługujemy się szybkością regulacji mocy większą od szybkości regulacji częstotliwości.

Co do regulacji, wymienionej pod 2), t. j. przy $v_m = v_f$, to tego rodzaju regulacji należy bezwzględnie unikać, gdyż jak wiemy, regulowanie mocy na odpowiednią wielkość nie odbywa się bez wpływu na częstotliwość, a wówczas działają regulatory częstotliwości (obrotów), co znów wpływa na moc. W ten sposób powstają kołysania, które mogą trwać do nieskończoności, gdyż żaden z systemów regulacji nie przeważa nad drugim. Przy jednakowej więc szybkości regulacji mocy i częstotliwości turbogeneratory są bardzo skłonne do kołysania.

Już z tych rozważań wynika bezpośrednio konieczność stosowania bardzo szybko działającej regulacji częstotliwości, a wolno działającej regulacji mocy. Nagłe udary mocy obniżają częstotliwość w stopniu tem mniejszym, im większe siły żywe są zamagazynowane w masach wirujących maszyn przyłączonych do sieci, gdyż wówczas wszystkie te masy przejmują na siebie udar mocy, dzięki czemu ulegają zmniejszonemu udarowi te turbogeneratory, które zaopatrzone są w regulatory obrotów, a więc których zadaniem jest utrzymywanie częstotliwości na znamionowej wysokości.

Jak praktyka wskazuje, im szybsza jest regulacja częstotliwości, tem spokojniejsza, pewniejsza jest współpraca. Rozważania te wskazują na wielkie korzyści, wynikające z zastosowania regulatorów z mechanizmem odwodzącym elastycznym dla turbogeneratorów, którym przypada w udziale zadanie utrzymywania częstotliwości sieci na stałej wysokości. Błędem byłoby jednak stosowanie tych właśnie tak bardzo czułych regulatorów we wszystkich jednostkach wytwórczych bez wyjątku, bez względu na to, jaką rolę we współpracy mają odegrać poszczególne jednostki, chyba że mechanizm odwodzący elastyczny przełączymy na mechanizm odwodzący sztywny. W każdym razie przy współpracy nie mogą jednocześnie pracować wszystkie turbiny o regulatorach z mechanizmami odwodzącemi sztywnemi. Dotyczy to jednostek wytwórczych regulujących moc, a nie dotyczy jednostek wytwórczych regulujących częstotliwość.

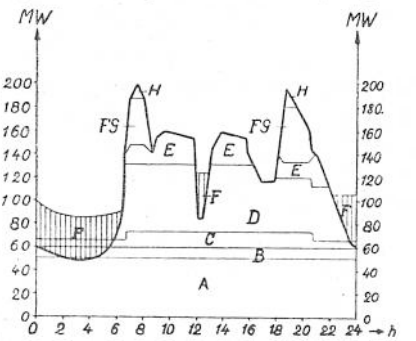
3. Rozdział obciążeń gospodarczy czyli umowny.

Dzięki odpowiedniemu doborowi statyki regulatorów częstotliwości można z łatwością uzyskać równomierny rozdział obciążenia sieci na po-

szczególne jednostki wytwórcze współpracujące z sobą. Jednakże równomierny rozdział obciążeń na każdą z tych jednostek nie jest ideałem, do którego urzeczywistnienia dążymy, gdyż w praktyce regulacja przejmowania mocy przez poszczególne jednostki wytwórcze odbywa się albo ze względów wewnętrznych ruchowych albo ze względu na gospodarność całego zespołu współpracującego albotеż ze względu na postanowienia zawartych umów, regulujących współpracę przedsiębiorstw elektryfikacyjnych, finansowo sobie obcych. Względy wewnętrzne, ruchowe należy zawsze uwzględniać, gdyż dotyczą one przedewszystkiem zapewnienia stałości i bezpieczeństwa dostawy i odbioru energji elektrycznej i mogą przejściowo odgrywać rolę wyłącznie decydującą o rozkładzie obciążeń; jednakże w normalnych warunkach pracy decydującą rolę odgrywają względy gospodarcze.

a. Podział jednostek wytwórczych na jednostki podstawowe, programowe i szczytowe.

Jak już przekonaliśmy się, względy gospodarcze wymagają, aby elektrownie bardzo drogie, a więc silnie obciążone procentami obsługi kapitału zainwestowanego, lecz dzięki temu pracujące z wysoką sprawnością, pracowały z jaknajwiększem wykorzystaniem rocznej ilości godzin pracy, aby więc pokrywały podstawowe zapotrzebowanie na energję elektryczną (rys. 41). Dotyczy to przedewszystkiem elektrowni wodnych bez możności magazynowania wody oraz elektrowni wielkich na bardzo wysokie ciśnienia pary (np. 100 atmosfer) i bardzo wysokie przegrzania pary (np. 450° C). Natomiast tanie elektrownie, jak np. elektrownie wodne o wysokiem ciśnieniu, elektrownie wodne z możnością magazynowania wód, elektrownie pompowe, starsze elektrownie cieplikowe tanie, częściowo lub w całości zamortyzowane, o małej sprawności, oraz elektrownie spalinowe powinny przejmować obciążenie wahliwe, a więc szczyty zapotrzebowania na energję elektryczną. W ten sposób, odbiegając od technicznego rozdziału obciążeń, C. B. R. O. przydziela poszczególnym jednostkom wytwórczym do spełnienia rolę bądźto jednostki podstawowej lub programowej, bądźteż rolę jednostki szczytowej, a to w myśl programu gospodarczego najkorzystniejszego, ustalonego przez W. E. Rzecz prosta, że o ile mają być osiągnięte najkorzystniejsze ceny zarówno na sprzedaż jak i na kupno prądu, to programem tym muszą być objęci i wytwórcy i odbiorcy energji elektrycznej.

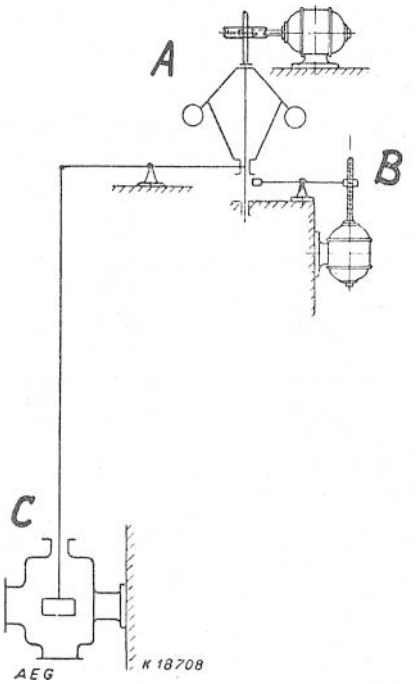



Rys. 41. Rozdział dziennego obciążenia sieci według A. Rachel'a na poszczególne elektrownie:
A—parowe o najwyższym cieplnym skutku użytecznym, o najtańszem paliwie,
B—wodne bez możności magazynowania wody,
C—pobór energji z elektrowni okolicznościowych lub sąsiednich sieci,
D—cieplne o niskich kosztach zakładowych i niskim cieplnym skutku użytecznym, a drogiem paliwie,
E—wodne z możliwością magazynowania wody,
F—pompowanie wody do Elektrowni wodnych pompowo-zbiornikowych,
FG—wodne pompowo-zbiornikowe i małe elektrownie szczytowe,
H—o napędzie silnikami Diesel'a

b. Praca jednostek wytwórczych podstawowych i programowych.

Jednostki podstawowe pracują więc z obciążeniem o stałej wielkości,

możliwie o pełnem obciążeniu; natomiast jednostki programowe pracują z obciążeniem zmienianem co pewne okresy czasu w ciągu doby, a więc pracują według programu. Zależnie od długości okresu pracy o niezmiennem obciążeniu oraz od wielkości zmian obciążenia na początku i końcu każdego okresu praca jednostek programowych zbliża się charakterem swym mniej lub więcej bądźto do pracy jednostek podstawowych, bądźteż do pracy jednostek szczytowych, odgrywa więc w stosunku do nich rolę pośrednią.




Rys. 42. Regulacja mocy przez ograniczanie działania regulatora obrotów według W. Kieser'a

A—regulator obrotów z silnikiem nastawniczym,
B—ograniczanie opuszczania się pochwy regulatora zapomocą pierścienia oporowego, nastawianego specjalnym silniczkiem,
C—sterowanie pary dolotowej.

W pierwszym przypadku pracy jednostek wytwórczych prowadzimy ich pracę bez regulatora mocy, nastawiając odpowiednio do obciążenia zawór doprowadzający parę. W drugim przypadku jednostki wytwórcze zaopatrzone są w regulatory mocy. Jednak w obu przypadkach generatory pracują bez regulatorów częstotliwości (obrotów), którą to rolę spełnia siła synchronizująca, pochodząca od innych współpracujących jednostek wytwórczych. To odłączanie regulatorów częstotliwości (obrotów) uskuteczniamy zawsze przy zastosowaniu regulatorów mocy w ten sposób, że regulatory obrotów nastawiamy na obroty o 5% wyższe od znamionowych. Dzięki temu działają one na zawór bezpieczeństwa, gdyż wrazie nagłego skoku obrotów, co dzieje się wówczas, gdy np. jakiś wyłącznik wyskakując odłączy turbogenerator i pozbawi go w ten sposób siły synchronizującej, zacznie działać regulator i przymknie odpowiednio dopływ pary (rys. 42). W ten sposób regulator częstotliwości zapobiegnie rozbieganiu się turbogeneratora i odłączeniu go regulatorem bezpieczeństwa tak, że praca związanej z nim sieci nie ulegnie przerwie.

Przy prowadzeniu współpracy elektrowni z regulacją obciążenia według programu stosuje się zawsze regulatory mocy i częstotliwości działające samoczynnie, a nie kierowane ręcznie.

Regulatory mocy normują więc obciążenie danej jednostki wytwórczej, działając na zasadzie porównania rzeczywistej wielkości mocy średniej $N_z$, zmierzonej z pewnego określonego czasu w pewnem, ustalonem zgodnie z programem, miejscu sieci, z programową wielkością mocy $N_p$, ustaloną zgóry dla danego miejsca i czasu. Jeżeli te dwie wielkości są sobie równe, t. j. $N_z = N_p$, wówczas regulatory nie są wprawiane w ruch. Gdy $N_z > N_p$, regulator mocy zmniejsza obciążenie danej jednostki aż do zrównania się tych mocy. Gdy natomiast $N_z < N_p$, regulator działa odwrotnie, a więc powiększa dopływ energji zewnętrznej do silnika napędo-

wego tak, że generator przejmuje na siebie corazto większe obciążenie, aż stanie się $N_z = N_p$. Oczywiście, że obciążenie danej jednostki wytwórczej programowej można uzależnić od mocy, panującej niekoniecznie tylko w jednem miejscu sieci, lecz od mocy, przepływających przez kilka punktów, czyli od ich sumy. Należy jednak przytem pamiętać, że w sieciach zamkniętych rozpływ obciążeń najczęściej nie odbywa się w sposób swobodny, zależny od stałych sieci, lecz w sposób wymuszony. Czasem jednak niektóre jednostki wytwórcze muszą zrezygnować z programowego obciążenia. Będzie się to działo wówczas, gdy wskazania mocy porównywanej $N_z$ będą bardzo wielkie w stosunku do mocy programowej $N_p$. W tym przypadku nie należy oczekiwać współpracy bez silnych wahań wytworzonej lub pobranej energji tak, że przy tego rodzaju warunkach współpracy jednostkom tym należy przydzielać rolę jednostek wytwórczych podstawowych, t. j. bez regulacji, a raczej z regulacją obrotów ograniczoną (odłączoną).

Ponieważ z programowem przejmowaniem obciążenia jest ściśle związana regulacja dopływu paliwa, przeto samoczynną regulacją programową musi być objęta kotłownia, której regulacja działa oczywiście z większą bezwładnością, niż regulacja silników napędowych. Tak więc można uważać regulację programowego wytwarzania pary za regulację główną, a regulację programowego obciążenia turbiny za regulację dodatkową, wyrównywującą. Trzeba pamiętać o tem, że przy stałem napełnieniu turbiny 1% zmiany ciśnienia pary zmienia moc o 1%; 10° C zmiany temperatury przegrzania pary zmienia moc o 0,8%, a 1% zmiany próżni powoduje zmianę mocy o 1% — 2%.

c. Praca jednostek wytwórczych szczytowych oraz idea Spennemann'a zmiany ról podczas pracy anormalnej.

Nadwyżki obciążenia ponad obciążenie jednostek podstawowych przejmowane są przez jednostki szczytowe taksamo, jak i wszelkie chwilowe udary mocy. Jak przekonaliśmy się już poprzednio, elektrownie szczytowe, a więc z regulacją częstotliwości, powinny być o dostatecznie wielkiej mocy zarówno ze względu na tłumienie kołysań jak i ze względu na możliwość podołania najwyższym obciążeniom szczytowym, jakie mogą wystąpić w sieci. Jednak przy współpracy większej ilości elektrowni nawet przy najskrupulatniej wykonywanym planie rozdziału obciążeń zdarza się, że wahania w obciążeniu przekraczają moc nawet największego zakładu wytwórczego, gdyż jak praktyka wskazuje, wahania te wynosić mogą 5—10% całkowitego obciążenia zespołu współpracującego. Jeżeli znów dana jednostka szczytowa pracuje u kresu swej obciążalności lub też zupełnie jałowo, wówczas wrazie zmian obciążenia sieci wzwyż lub wniż nieuniknione byłyby wahania częstotliwości, gdyż w przypadku przeciążenia jednostki szczytowej nie byłaby ona wstanie utrzymać częstotliwości na wysokości znamionowej, podczas gdy przy jałowym jej biegu elektrownie podstawowe i programowe dawałyby moc większą od zapotrzebowania sieci. Ten nadmiar mocy musiałby iść na pracę przyśpieszenia mas wirujących, co oczywiście pociągnęłoby za sobą wzrost częstotliwości. Podobne przypadki mamy wówczas, gdy wrazie nagłego znacznego odciążenia elektrownia szczytowa nie może szybko zniżyć swego obciążenia ze względu na to, że nie może nadążyć z opanowaniem nad-

miaru produkcji pary, a więc i wzrostu ciśnienia w kotłach. W tym przypadku C. B. R. O. nakazuje obniżenie obciążenia w jednej elektrowni podstawowej lub, wrazie potrzeby, w wyznaczonej kolejności w kilku takich elektrowniach, zgóry dla tego celu przewidzianych.

Wrazie nagłego znacznego wzrostu obciążenia — częstotliwość spada. Obniżanie się częstotliwości będzie postępowało nadal pomimo natychmiastowego użycia rezerw momentalnych w tych przypadkach, gdy rezerwy te są słabe wobec wielkości przyrostu obciążenia. Wówczas, gdy częstotliwość opadnie do 48,5 okr./sek. i ma tendencję dalszego zniżania się, zgóry ustalona elektrownia podstawowa z własnej inicjatywy (dyżurnego w rozrządni) przejmuje na siebie większe obciążenie, starając się w ten sposób pomóc C. B. R. O. w opanowaniu spadku częstotliwości.

Takie nagłe odciążania i przeciążania zdarzają się wówczas, gdy zespół współpracujący rozdzieli się na dwie niezależne od siebie części skutkiem wyskoczenia z jakichkolwiekbądź powodów wyłącznika, łączącego z sobą te części. Wówczas w jednej z nich naogół będziemy rozporządzali nadmiarem mocy, a w drugiej jej niedoborem.

Przypadki te są tem przykrzejsze, że nadmiar mocy i jej niedobór występują jednocześnie i wymagają oczywiście jednoczesnego szybkiego opanowania wytworzonej skutkiem tego sytuacji. Opanowanie tej części zespołu, w której częstotliwość rośnie, omówiliśmy już, a co się tyczy szybkości opanowania części zespołu o malejącej częstotliwości, to szybkość ta jest konieczna z tego względu, że przy zniżeniu się częstotliwości do ok. 45 okr./sek. zwykle już nie można utrzymać w równowadze pracy równoległej tak, że od momentu takiego obniżenia się częstotliwości każdej chwili grozi całkowite rozlecenie się współpracy. Gdyby C. B. R. O. było zdania, że w ciągu 20 minut nie będzie wstanie spadku częstotliwości powstrzymać, wówczas, poczynając od chwili zniżenia się częstotliwości do ok. 47 okr./sek., C. B. R. O. zarządzi jako ostateczność kolejne w miarę koniecznej potrzeby odłączanie poszczególnych odbiorców energji elektrycznej w porządku zgóry dla podobnych wypadków ustalonym z uwzględnieniem bezpieczeństwa, interesu społecznego oraz spowodowania jaknajmniejszych strat dla odbiorców prądu. Oczywiście, że odłączania takiego dokonywa się jedynie w rozmiarach koniecznych dla osiągnięcia zamierzonego celu. W chwili, gdy częstotliwość została odzyskana w wysokości ok. 48 okr./sek., obniża się w drugiej części zespołu częstotliwość do tej samej wysokości, obie części zespołu synchronizuje się i łączy się je z sobą. Po dokonaniu tej czynności C. B. R. O. z łatwością doprowadza częstotliwość całego zespołu do przepisanej wysokości 50 okr./sek. Jak widzimy, w podobnych przypadkach rolę elektrowni szczytowych dzielić muszą między sobą kilka stosownie dobranych elektrowni. To samo zadanie spełnić mogą specjalne przekaźniki częstotliwości, które przełączają regulację maszyn, zmieniając w ten sposób ich rolę z jednostek wytwórczych szczytowych na jednostki podstawowe i odwrotnie. Na tem właśnie polega idea Spennemann'a, dyrektora elektrowni Kiel-Wik, oparta na opisanem dopieroco spostrzeżeniu, że w podobnych przypadkach jak również i przy różnych zakłóceniach normalnej pracy występują bardzo znaczne wahnienia częstotliwości. Te właśnie wahnienia częstotliwości wyzyskuje

się w odpowiednich przekaźnikach dla samoczynnego przeprowadzenia wyżej wspomnianych zmian roli we współpracy poszczególnych jednostek wytwórczych, a więc odłączania regulatorów częstotliwości i włączania regulatorów mocy i odwrotnie. Tego rodzaju przełączania regulatorów można dokonywać albo w ten sposób, że wszystkie jednostki wytwórcze przechodzą na regulację częstotliwości albotеż zmiana ta następuje w pewnym ustalonym porządku. Pierwsze z wyżej wymienionych przełączeń stosuje się wówczas, gdy powstanie jakieś bardzo poważne zakłócenie, wobec którego wskazanem jest nałożenie obowiązku utrzymywania częstotliwości w normie na możliwie dużą ilość jednostek wytwórczych, co dzieje się wtedy, gdy np. jakaś wielka jednostka zostanie nagle odłączona. Jeżeli jednak zakłócenia nie są tak wielkie, wówczas posługujemy się drugim sposobem przełączania, polegającym na tem, że do przekaźników częstotliwości dołączamy przekaźniki czasowe, opóźniające działanie przekaźników częstotliwości. Dzięki różnemu nastawieniu przekaźników czasowych przełączania następują w kolejności, przez nas samych ustalonej. Należy jednak pamiętać o tem, że o ile taką zmianę ról można szybko przeprowadzić w elektrowniach parowych o sterowaniu olejowem, o tyle przy turbinach wodnych czynności tej nie można zazwyczaj wykonać z szybkością, odpowiadającą warunkom sprawnego opanowania zakłócenia. Zresztą zależy to od zasobu siły żywej wody doprowadzanej do turbiny, a więc od spadku wody, średnicy rur, ilości rur, obsługujących daną turbinę i t. p. warunków natury przeważnie hydraulicznej.

d. Regulacja wielu jednocześnie pracujących jednostek szczytowych metodą zwykłą i metodą Graner'a.

Przy współpracy wielu sieci zdarza się, że wahania w obciążeniu sieci przekraczają moc nawet największego zakładu wytwórczego. Wówczas obowiązek pokrywania szczytów nakładamy na kilka zakładów, przyczem należy rozłożyć każde wahnienie obciążenia na poszczególne zakłady stosownie do ich mocy czynnej. W tym celu posiłkujemy się dwiema metodami:

*I. Metoda zwykła* polega na porównywaniu rzeczywistej liczby obrotów generatora z liczbą obrotów wektora t. zw. normalnego, który obraca się z szybkością kątową, odpowiadającą częstotliwości znamionowej. Porównywania tego dokonywamy w każdym zakładzie wytwórczym osobno, posługując się w tym celu zegarem astronomicznym oraz zegarem synchronicznym. Każde opóźnienie się skazówki zegara synchronicznego, t. j. wektora rzeczywistego, w stosunku do skazówki zegara astronomicznego, t. j. wektora normalnego, jest dowodem wzrostu obciążenia sieci. Ten porównawczy pomiar wyzyskujemy do regulacji udziału danego zakładu wytwórczego w przejęciu wzrostu obciążenia sieci. Regulacja ta będzie ukończona wtedy, gdy obie skazówki, t. j. zegara astronomicznego i zegara synchronicznego, będą się nadal poruszały z jednakową prędkością, co będzie dowodem, że rzeczywiste obciążenie sieci jest już zrównoważone pracą jednostek szczytowych.

*II. Metoda Graner'a* (Mittlere Isar-A.-G.). Zasada tej metody jest zupełnie taka sama jak poprzedniej, a różnica między niemi polega na

tem, że zegar astronomiczny ustawia się tylko w jednem miejscu, np. w C. B. R. O., i z tego miejsca przekazuje się wektor normalny wszystkim zakładom szczytowym systemem wysokiej częstotliwości wzdłużprzewodowo. Dzięki temu unika się pewnego rozregulowania w przejmowaniu obciążeń, powstałego skutkiem niezupełnej zgodności biegu kilku czyteż kilkunastu zegarów astronomicznych, ustawionych w różnych punktach wielkiego terenu.

e. Rodzaje współpracy jednostek wytwórczych.

Zależnie od ról, jakie we współpracy wyznaczymy każdej poszczególnej jednostce wytwórczej, rozróżniamy następujące rodzaje współpracy:

*I. Współpraca z regulacją uzależnioną od zaobserwowanych zmian częstotliwości.* — Ze względów historycznych należy wspomnieć przedewszystkiem o najstarszym sposobie regulacji przejmowania obciążeń. Polega on na tem, że obciążenie danej jednostki wytwórczej zależy od częstotliwości, panującej w zespole. Zgóry więc godzimy się na to, że częstotliwość nie jest wielkością stałą lecz zmienną w dość szerokich granicach, zależnie od obciążenia sieci. Cały rozkład obciążeń ograniczał się do prymitywnego zestawienia częstotliwości i obciążeń, przypadających na odpowiednie jednostki, a więc: gdy na sieci mamy pełne 60 okresów, pracuje tylko jednostka pierwsza; gdy okresy spadną np. do 59,5 włącza się jednostkę drugą i według pewnej skali przejmuje ona moc aż do np. 59 okresów, poczem dołącza się jednostkę trzecią i t. d. Oczywiście, wrazie zmniejszenia się obciążenia i podniesienia się skutkiem tego częstotliwości, poszczególne jednostki odłącza się wmiarę przechodzenia do innej częstotliwości niż ta, która warunkuje współpracę danej jednostki. System ten był stosowany w zaraniu współpracy elektrowni w Ameryce. Dzisiaj nie można go już stosować ze względu na konieczność utrzymania stałej częstotliwości, a to zarówno z uwagi na wielką ilość równolegle pracujących elektrowni, jak i na warunki pracy samych odbiorników, jak np. przetwornic, maszyn papierniczych i t. p., nie znoszących zmiany częstotliwości.

*II. Współpraca z regulacją stale dysponowaną.* — Znacznie lepszym systemem od powyższego jest system bezpośredniego przez C. B. R. O. dokonywanego dyktowania, opierającego się na zasadzie wskazań stosownych mierników i meldunków. Oczywiście, że w tych warunkach musi dość dużo czasu upłynąć od chwili wystąpienia obciążenia do chwili przejęcia go przez właściwą jednostkę tak, że nieuniknione są dość duże wahania częstotliwości, a tymczasem obecnie zwraca się wielką uwagę na utrzymanie częstotliwości możliwie stałej. Dlategoteż od mierników częstotliwości wymaga się dokładności wskazań tem większej, im większa ilość elektrowni pracuje równolegle. Pozatem system ten silnie absorbuje zarówno personel jak i urządzenia telefoniczne.

*III. Współpraca z regulacją opartą na porównywaniu* polega na uzależnieniu przejmowania obciążenia przez daną jednostkę wytwórczą od obciążenia całego zespołu. W tym przypadku otrzymujemy wykres o dwóch krzywych, z których jedna przedstawia wszelkie możliwe zmiany obciążenia zespołu, a druga — moc, odpowiadającą poszczególnym obciążeniom i przejmowaną przez dany zakład wytwórczy. Wówczas w zakładzie tym

mamy dwa mierniki obok siebie, z których jeden wykazuje sumaryczne obciążenie zespołu, a drugi moc przejmowaną przez własną jednostkę. Według wskazań miernika sumarycznego odczytujemy w rozkładzie obciążeń, jakie obciążenie przypada w danej chwili na tę jednostkę i stosownie do tego regulujemy przejęcie mocy tak, aby wskazania drugiego miernika, t. j. podającego obciążenie naszej jednostki wytwórczej były zgodne z właściwym punktem drugiej krzywej, wykreślonej w tym celu dla naszego zakładu. Przy tej metodzie dokładne wyregulowanie przejmowanych obciążeń wymaga telefonicznej interwencji C. B. R. O. Rozumie się, że zamiast sumarycznego miernika można odbierać z C. B. R. O. instrukcje stosownie do wskazań tego miernika, tam właśnie ustawionego. Jestto, rzecz prosta, bardziej kłopotliwe.

Do wyżej opisanej metody porównawczej można zaliczyć regulowanie przejmowanego obciążenia zapomocą samoczynnego przyrządu firmy B. B. C., założonego w elektrowni w Jenbach (Achenseewerk) w Tyrolu, o którym to przyrządzie wspomnieliśmy już wyżej.

System porównawczy rozkładu obciążeń nadaje się szczególnie dla tych przypadków, gdy cały zespół pracuje z nadprodukcją tak, że nadmiar swej produkcji sprzedaje albo do sieci wielkich alboteż sąsiednim zespołom; wówczas produkcję własną normuje się według obciążenia zakontraktowanego. Tak się też dzieje w Jenbach.

*IV. Współpraca grupowa* polega na tem, że część jednostek wytwórczych pracuje na sieć, której obciążenie jest mniejsze lub conajmniej równe mocy jednocześnie współpracujących jednostek wytwórczych, przytem wszystkie bez wyjątku jednostki wytwórcze zaopatrzone są w regulatory częstotliwości (obrotów). Przy współpracy grupowej rozdział obciążeń odbywa się jedynie w t. zw. przez nas sposób techniczny, toteż nie pozwala on na wyzyskanie najlepszych możliwości produkcji i zbytu pracy elektrycznej tak, że przy tym rodzaju współpracy nie osiąga się najwyższych gospodarczych korzyści. Ten rodzaj współpracy nie wymaga stosowania żadnych specjalnych urządzeń i regulatorów poza odpowiednim doborem ich statyk. Organizowanie współpracy rozpoczyna się zwykle od tego właśnie rodzaju współpracy.

*V. Współpraca z regulacją częstotliwości* organizacyjnie jest już lepszym rodzajem współpracy niż poprzednio rozpatrzony i polega na tem, że osobno regulowane jest obciążenie poszczególnych jednostek i osobno reguluje się częstotliwość, panującą w sieci. Charakterystykę obciążenia zespołu lub, wrazie uzasadnionych korzyści techniczno-gospodarczych, jego części, przewidywaną przy tym systemie dla okresu czasu, w którym obowiązywać ma dany rozkład obciążeń, rozkłada się odpowiednio do mocy, miejsca, warunków gospodarczych lub też umownych, rozporządzalnych przez nas poszczególnych jednostek wytwórczych — w ten sposób, aby oddzielić od siebie obciążenia podstawowe niezmienne w czasie od obciążeń zmiennych, t. j. szczytowych. Szczytowe obciążenia mogą być oczywiście wrazie potrzeby również podzielone. W ten sposób cała charakterystyka obciążenia składać się będzie jakgdyby z szeregu warstw, oddzielonych od siebie linjami równoległemi do osi czasu. Zadanie przejęcia obciążeń, reprezentowanych przez poszczególne warstwy, rozdaje się po-

szczególnym jednostkom wytwórczym, a to odpowiednio do ich właściwości techniczno-gospodarczych. Skutkiem tego część jednostek w rozpatrywanym czasie pracować będzie z obciążeniem niezmiennem podstawowem lub też programowem z regulacją mocy, jedna z nich przejmie obciążenie zmienne, a z pozostałych część jest pod parą w natychmiastowej gotowości, natomiast wszystkie inne poza temi, które są w naprawie, stanowią rezerwę dyspozycyjną.

Z chwilą, gdy obciążenie szczytowe wzrośnie do tego stopnia, że przejdzie ono już do następnej warstwy, wówczas dotychczasowa jednostka szczytowa staje się jednostką mocy podstawowej, a dotychczasową jej rolę przejmuje nowa jednostka, wyznaczona do tego celu z rezerw natychmiastowych lub też, zależnie od warunków, z rezerwy dyspozycyjnej. Przy zmniejszaniu się obciążeń wyłącza się oczywiście z pracy daną jednostkę szczytową, a zadanie jej przejmuje dotychczasowa jednostka zasadnicza najwyższej warstwy obciążeń. Również i przy tym rodzaju współpracy obywamy się bez specjalnych urządzeń i regulatorów.

*VI. Współpraca planowa.* — Pracę rozdziela się między poszczególne jednostki wytwórcze według planu, stworzonego na dzień, tydzień, miesiąc i t. p. okresy czasu, a opartego na przesłankach gospodarczych, jakoto na dyspozycji zdolności pracodawczej poszczególnych jednostek wytwórczych, na przewidywanem zapotrzebowaniu mocy i pracy, na dyspozycji energji okolicznościowej, odpadkowej, sezonowej i t. p. Ten rodzaj współpracy wymaga stosowania specjalnych urządzeń, zresztą poprzednio już opisanych. W ostateczności może on wprawdzie być prowadzony przy obsłudze odręcznej, lecz byłby to sposób niezadowalający i urządzenia samoczynne są tu z tej racji nieodzowne.

*VII. Współpraca udziałowa.* Przy tej możliwości współpracy pracuje jedna lub kilka jednostek wytwórczych jako jednostki szczytowe, uzupełniające moc, potrzebną do przejęcia obciążenia sieci, które przejmują na siebie jednostki z regulacją mocy, z których każda stale ma za zadanie przejmowanie na siebie pewnej zgóry określonej części obciążenia sieci. Ten rodzaj współpracy, tak jak i poprzedni, wymaga stosowania specjalnych urządzeń i regulatorów oraz automatyzacji.

*VIII. Współpraca okolicznościowa* polega na oddawaniu do sieci energji, rozporządzalnej ponad własne zapotrzebowanie poszczególnych przedsiębiorstw bądźto elektryfikacyjnych bądźteż innych. Współpracę taką spotyka się najczęściej tam, gdzie istnieją elektrownie wodne z możnością magazynowania wody oraz przedsiębiorstwa potrzebujące znacznej ilości pary dla celów cieplnych, chemicznych i t. p., a więc rozporządzające siłowniami, pracującemi z przeciwprężnością, z pośrednim odbiorem pary, dysponujące t. zw. mocą odpadkową.

*IX. Współpraca kombinowana* jest ta, którą prowadzi się przez skombinowanie wyżej wymienionych zasadniczych rodzajów współpracy.

f. Sposoby wzajemnego połączenia z sobą sieci współpracujących.

Najprostszem połączeniem z sobą sieci współpracujących jest:

*1) Galwaniczne połączenie* czyli bezpośrednie połączenie przewodów jednej sieci z przewodami sieci drugiej, oczywiście przy tej samej częstotliwości i tem samem napięciu. Jestto najprostszy i najtańszy sposób po-

łączenia, ma jednak poważne wady, z których najważniejsze są: a) skutki uziemienia w jednej sieci przenoszą się do sieci pozostałych; b) regulację prądów bezmocnych można uskutecznić tylko przez regulację napięcia w poszczególnych elektrowniach.

*2) Elektromagnetyczne połączenie*, a więc zapomocą różnego rodzaju transformatorów, t. j. roboczych, regulacyjnych, izolacyjnych i t. p. Obecnie używa się wyłącznie tego właśnie sposobu łączenia z sobą sieci współpracujących. Skutki uziemienia nie przenoszą się na resztę sieci, regulacja prądów bezmocnych może odbywać się bez zmiany napięcia na generatorach i wreszcie łączone z sobą sieci nie muszą mieć jednakowych napięć, lecz tylko jednakową częstotliwość.

*3) Wirujące połączenie* uskutecznia się najczęściej zapomocą synchronicznych przetwornic. Ten sposób połączenia jest bardzo drogi i stosuje go się tylko wyjątkowo w dwóch przypadkach: a) gdy łączy się z sobą sieci o różnych częstotliwościach, b) gdy jedna z sieci chce uniezależnić swoją własną regulację częstotliwości od regulacji częstotliwości reszty zespołu współpracującego. Wówczas sieć o takich specjalnych wymaganiach dołącza się do zespołu współpracującego zapomocą t. zw. przetwornic poślizgowych (n. Schlupfumformer). — W obu tych przypadkach połączenia sieci odbywają się bezpośrednio zapomocą przetwornic, o ile napięcie łączonych z sobą sieci nie przekracza najwyższego napięcia, na jakie danej wielkości przetwornice są budowane. W przeciwnym przypadku należy dokonywać tego połączenia z użyciem odpowiednich transformatorów, jak to się zresztą zwykle dzieje.

g. Konfiguracja wzajemnych połączeń sieci współpracujących.

Konfiguracja wzajemnych połączeń sieci współpracujących zależy przedewszystkiem od odnośnych postanowień umownych. Jeżeli np. istnieje na pewnym terenie $n$ sieci, nadających się do współpracy, to jeżeli każda z sieci będzie działała osobno, utworzy się $\frac{n(n-1)}{2}$ par współpracujących z sobą. Sprawa ta będzie się przedstawiała o wiele korzystniej wówczas, gdy zostanie utworzone przedsiębiorstwo elektryfikacyjne, obejmujące zespół współpracujący, złożony z $n$ sieci, przyczem każda poszczególna sieć nie zawiera już umowy z siecią sąsiednią, lecz z tem przedsiębiorstwem, czyli będzie wtedy zawartych $n$ — 1 umów, z których każda będzie dotyczyła jednego (ewentualnie więcej) zdawczego miejsca pracy. Według A. Rachel'a rozróżniamy między sieciami połączenia:

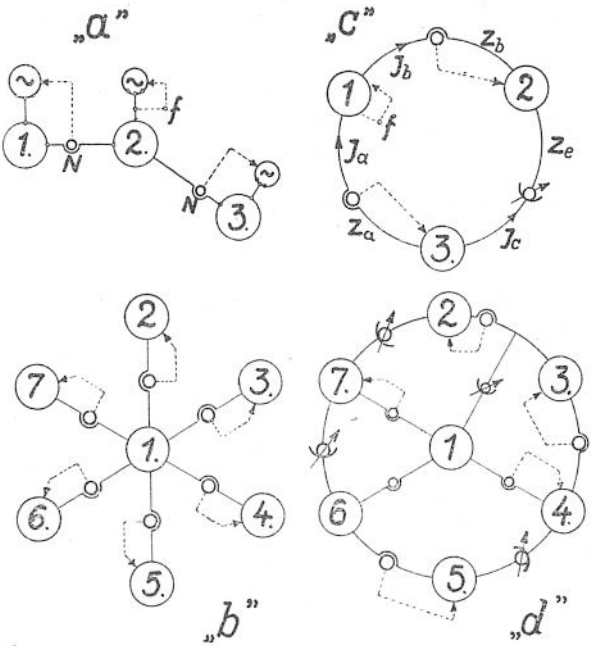
A. Jednokrotne oraz B. wielokrotne.

A. Połączenia jednokrotne mogą być wykonywane:
   a. sposobem łańcuchowym, przedstawionym na rys. 43 „a",
   b. sposobem promienistym, przedstawionym na rys. 43 „b".

B. Połączenia wielokrotne natomiast wykonywa się:
   a. sposobem pierścieniowym, uwidocznionym na rys. 43 „c",
   b. sposobem kombinowanym, uwidocznionym na rys. 43 „d", składającym się np. z połączenia pierścieniowego i promienistego i t. p.

Rzecz prosta, że każda z wyżej wymienionych sieci może posiadać szereg własnych elektrowni. Wszystko to, co mówiliśmy o połączeniach mię-

dzysieciowych, odnosi się także i do połączeń między elektrowniami każdej sieci zosobna. Dlategoteż celem lepszego zrozumienia w dalszym ciągu będziemy używali terminu „elektrownia". Otóż rola we współpracy, jaką mamy chęć nadać którejś z elektrowni, zależy do pewnego stopnia również i od konfiguracji wzajemnych połączeń między elektrowniami. Aby to zrozumieć, spójrzmy na rys. 43 „a", gdzie środkowej elektrowni przydzieliliśmy rolę elektrowni szczytowej, a elektrownie skrajne regulujemy według mocy. Przy tym układzie współpracy elektrownia szczytowa wyrów-




Rys. 43. Połączenia międzysieciowe:

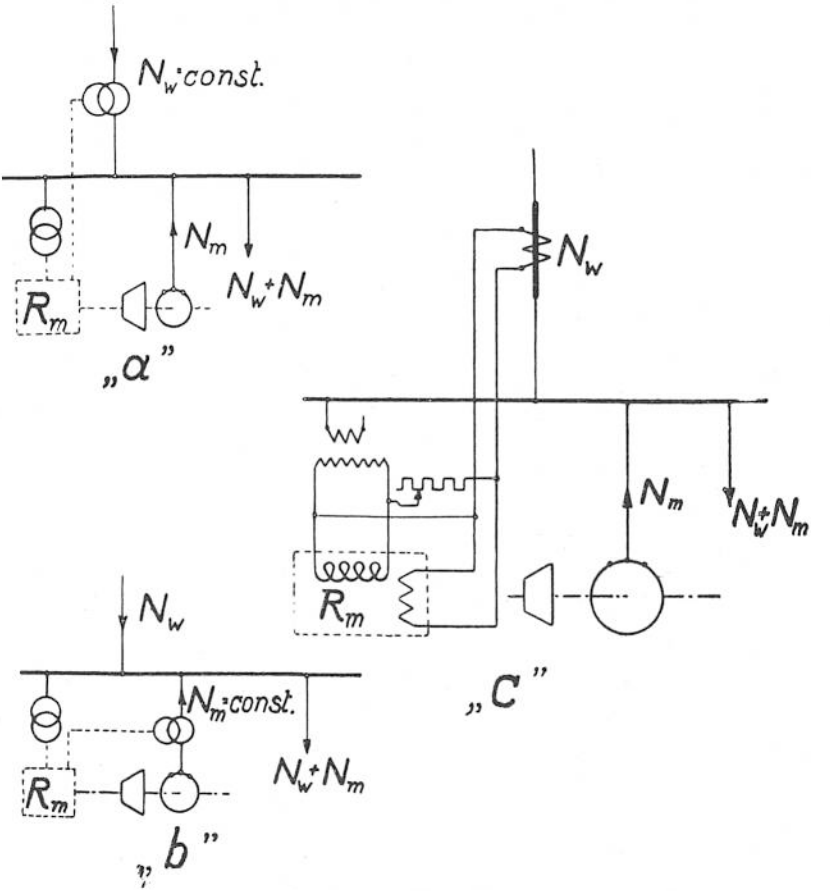
„a" — sposób łancuchowy, „c" — sposób pierścieniowy,
„b" — „ promienisty, „d" — „ kombinowany.

nywa obciążenie zarówno sieci 1 jak i 3 bezpośrednio. Gdybyśmy natomiast rozdzielili role w ten sposób, że elektrownie 1 i 2 byłyby regulowane według mocy, a elektrownia 3 byłaby szczytowa, wówczas wrazie uzupełniania mocy w sieci 1 przez elektrownię 3 ta dodatkowa moc musiałaby z elektrowni 3 dopłynąć do sieci 1 poprzez elektrownię 2. W ten sposób na wskazania miernika mocy $N$ elektrowni 2 oddziaływałaby moc uzupełniająca z elektrowni 3, co nie powinno mieć miejsca, gdyż wtedy regulacja mocy elektrowni 2 byłaby „fałszowana" wahaniami obciążenia tak, że elektrownia 2 mimo naszej woli brałaby udział w wyrównywaniu tych wahań, co nie należałoby do jej zadań. Jak z rozważań tych wynika, rolę elektrowni szczytowej należy powierzać elektrowni możliwie centralnie położonej.

*a.* Połączenie elektrowni o mocy małej z elektrownią o mocy wielkiej.

Łącząc elektrownię o małej mocy $N_m$ z elektrownią o mocy wielkiej $N_w$, można rozpatrywać dwa przypadki, a mianowicie: 1) gdy $N_m$ pokrywa swoje

szczyty, a obciążenia podstawowe pobiera z $N_w$ — oraz odwrotnie, t. j. 2) gdy $N_w$ pokrywa obciążenie podstawowe, a na szczyty obciążeń pobiera energję z zewnątrz. W pierwszym przypadku regulator obrotów turbiny elektrowni małej odłączamy, a raczej nastawiamy go na obroty o 5% większe od znamionowych. Wówczas np. w regulacji *BBC* regulator, stara-

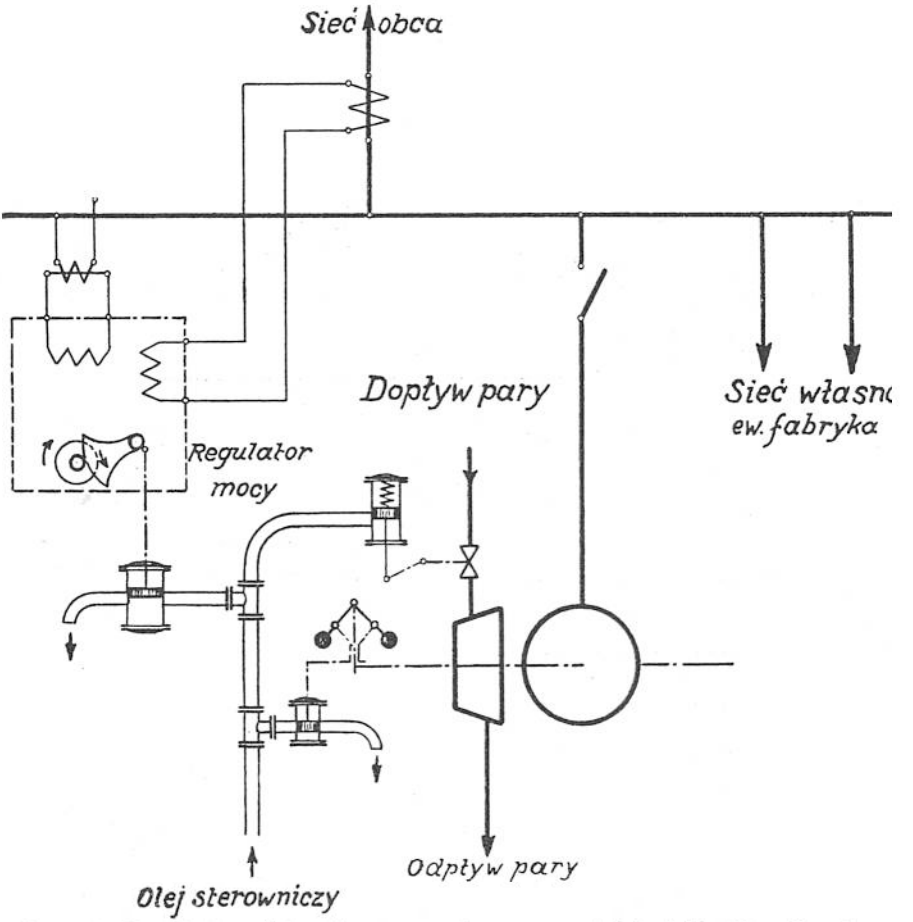



Rys. 44. Połączenie elektrowni wielkiej z elektrownią małą:

„a" — regulacja przy poborze mocy o stałej wielkości,
„b" — regulacja przy poborze mocy szczytowej,
"c" — regulacja przy zmianie mocy $N_w$ w dowolnych granicach zarówno przy jej poborze jak i oddawaniu.

jąc się podnieść obroty turbiny o wymienione wyżej 5%, zamyka pochwą swą szczelinę w tulei regulacyjnej tak, że regulację odpływu oleju sterowniczego z rurociągu 5 (rys. 36) przejmuje na siebie regulator mocy, który w danym przypadku tak reguluje obciążenie turbogeneratora, że z elektrowni wielkiej dopływa stale jednakowa moc (rys. 44 „a"), przyczem częstotliwość w sieci małej byłaby utrzymywana przez elektrownię wielką. Gdybyśmy to samo zagadnienie chcieli rozwiązać zapomocą regulatora

częstotliwości, wówczas generator małej elektrowni, pracując tym razem jako jednostka szczytowa, utrzymywałby częstotliwość nietylko własnej sieci, lecz i obcej: pokrywałby szczyty nietylko własne, lecz brałby udział w pokrywaniu szczytów elektrowni wielkiej. W ten sposób oczywiście nie mogłoby być mowy o poborze mocy o stałej wielkości z elektrowni wielkiej. Na rys. 45 widzimy jak tego rodzaju regulacja wykonana jest w tur-




Rys. 45. Regulacja turbiny dla utrzymania mocy o stałej wielkości w dowolnym punkcie sieci.

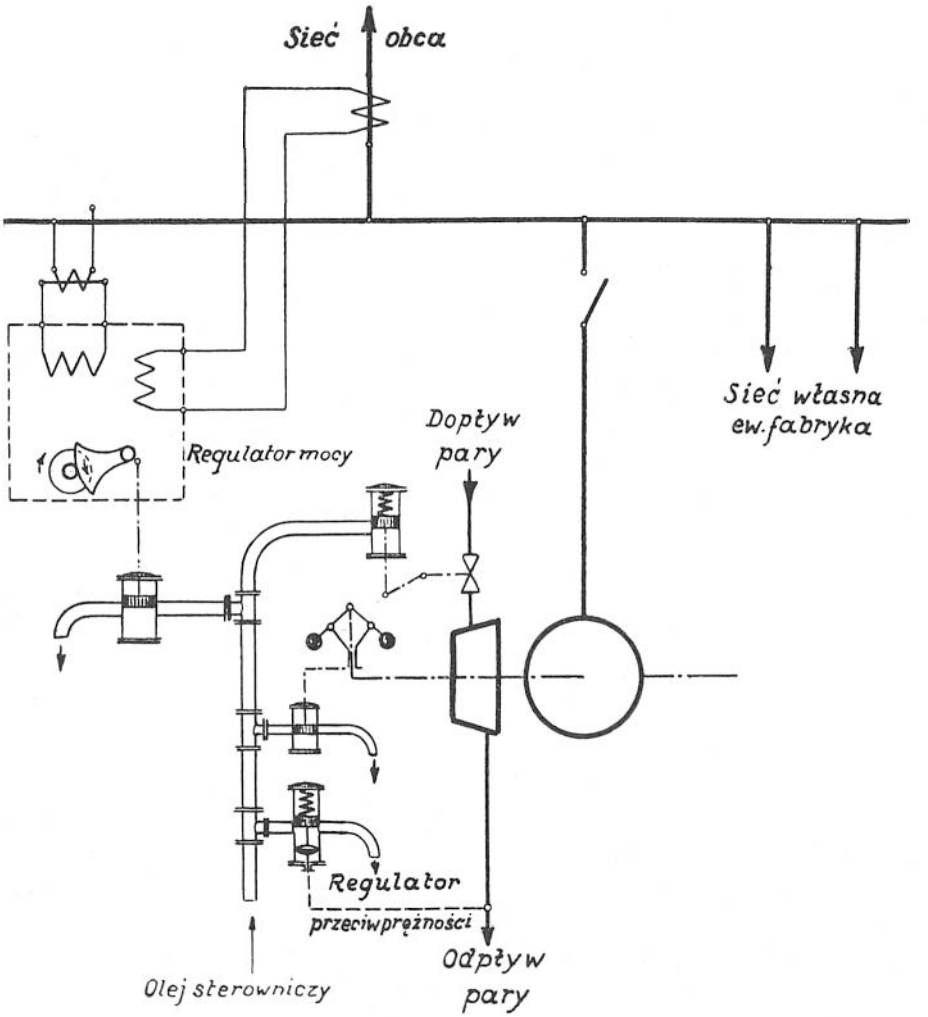
binach *BBC*. W drugim przypadku postępujemy taksamo jak i w poprzednim, tylko obecnie uzwojenie prądowe regulatora mocy dołączamy do miernikowych transformatorów prądowych, włączonych między zaciski generatora a szyny zbiorcze (rys. 44 „b"). Gdybyśmy chcieli moc, np. pobieraną z zewnątrz, zmieniać w sposób dowolny, to musielibyśmy w odpowiedni sposób zmieniać wskazania watomierza regulatora mocy. Zmian tych, według Dr.-Ing. G. Boll'a można dokonywać bądźto skokami, zaopatrując wtórne uzwojenie miernikowego transformatora prądowego w zaczepy, przełą-

czalne pod prądem, albo włączając w szereg zmienne oporności w obwody miernikowe prądowy lub napięciowy lub kombinując z sobą podane dopiero co sposoby albo wreszcie nakładając na wtórny obwód prądowy układu watomierza prąd pobrany zzewnątrz, np. miernikowego transformatora napięciowego (rys. 44 „c"). O ile w pierwszych przypadkach regulacji możemy zmieniać moc najwyżej w stosunku 1 : 3, o tyle w ostatnim przypadku moc tę możemy zmieniać do zera, a nawet przejść z poboru mocy na jej wydawanie.

Działanie regulatora mocy można wytłomaczyć sobie w ten sposób, że jeżeli ma on regulować moc, przepływającą w pewnem miejscu sieci stale na jednakowej wysokości, to dokonywa on swej regulacji tak, jakgdyby starał się utrzymać natężenie prądu w miernikowym obwodzie stale na wysokości znamionowej, a więc wynoszącej 5 A. Jeżeli więc nałożyliśmy na te 5 A jeszcze pewien prąd z zewnątrz, to regulator tak zmniejszy moc, żeby transformator prądowy wydał o tyle mniejszy prąd, aby znów suma jego prądu + prąd nałożony wynosiła 5 A. Skoro więc nałożymy 5 A, to prąd w miernikowym transformatorze prądowym musi zniknąć, a więc nie będzie wówczas przepływała przez to miejsce żadna moc, oczywiście czynna, gdyż przy regulacji mocy prądy bezmocne nie podlegają żadnym zmianom.

Przy małych elektrowniach często można się spotkać z turbinami, pracującemi z przeciwprężnością. Dzieje się to w tych zakładach przemysłowych, które mają duże zapotrzebowanie na parę dla celów grzejnych, jak np. w papierniach. Jeżeli takie elektrownie dołączone są do obcej sieci, z której uzupełniają swoje zapotrzebowanie na energję elektryczną, wówczas może się zdarzyć, że zapotrzebowanie na parę grzejną jest duże w chwili, gdy zapotrzebowanie własne na moc jest małe. Wtedy elektrownia przemysłowa posyłałaby nadmiar swej mocy do sieci obcej. Gdy jednak umowa z siecią obcą takiego zwrotu energji elektrycznej nie przewiduje, wtenczas regulator mocy musi być nastawiony zaworowo tak, aby energja ta do obcej sieci nie płynęła. Schemat połączeń takiego zwrotnego regulatora mocy widzimy na rys 46. Regulator ten, zapomocą zewnętrznego źródła prądu, niewidocznego na rysunku, jest nastawiony na moc równą zeru. Jeżeli zapotrzebowanie pary jest małe, turbina wytwarza małą moc tak, że reszta zapotrzebowania własnego na moc pokrywana jest z obcej sieci. Jednakże wówczas regulator stara się podnieść obciążenie własnego turbogeneratora, aby moc z zewnątrz nie dopływała. Wynikiem tych usiłowań regulatora jest ewent. całkowite zamknięcie zaworu regulacyjnego tak, że ciśnieje oleju sterującego musiałoby wzrosnąć. Jednak wraz ze wzrostem obciążenia turbogeneratora przepłynęłoby przez turbinę więcej pary, a wobec małego jej odbioru dla celów grzejnych ciśnienie jej wzrosłoby; do tego wzrostu ciśnienia nie dopuści jednak regulator przeciwprężności, który natychmiast otworzy sterowany przez siebie zawór, skutkiem czego odpowiednia ilość oleju sterowniczego odpłynie, obciążenie generatora spadnie i dopływ pary z turbiny powróci znów do normy. Jeżeli teraz zapotrzebowanie pary grzejnej wzrośnie i skutkiem tego ciśnienie pary odlotowej spadnie, to regulator przeciwprężności zamknie odpływ oleju z rurociągu sterowniczego tak, że wzrośnie w nim ciśnienie oleju, a także i dopływ pary i turbogenerator wyda większą moc. Gdyby moc ta wzrosła do tego

stopnia, że jej nadmiar ponad własne zapotrzebowanie popłynie do sieci obcej, wówczas zwrotny regulator mocy otworzy zawór regulacyjny, skutkiem czego dopływ pary do turbiny zmniejszy się i odpływ energji do obcej sieci zostanie zatamowany.

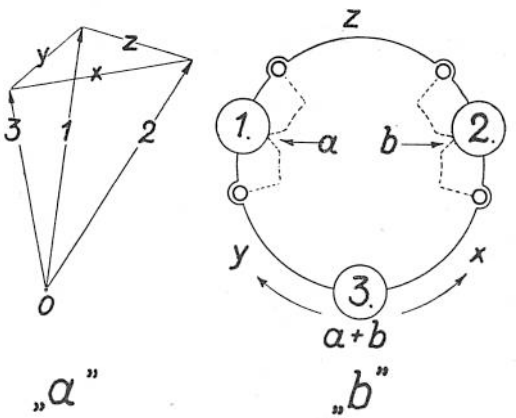



Rys. 46. Schemat regulacji mocy turbin pracujących z przeciwprężnością (BBC).

*β.* Połączenie z sobą poszczególnych grup elektrowni.

Jeżeli mamy połączyć z sobą dwie sieci, z których każda osobno reguluje swoją częstotliwość i pokrywa swe szczyty, a celem połączenia ma być wzajemna wymiana energji według programu, opartego na warunkach zawartej umowy, to w każdej sieci zaopatrujemy w regulatory mocy wszystkie elektrownie z wyjątkiem jednej największej. Te dwie elektrownie,

t. j. po jednej w każdej sieci, pracują jako elektrownie szczytowe. Nazwiemy je elektrowniami przewodniemi. Jedną z nich łączymy z miejscem połączenia obu sieci zapomocą urządzenia dla pomiaru mocy zdala, dzięki czemu elektrownię tę regulujemy według mocy w ten sposób, że bez względu na częstotliwość sieci elektrownia ta pracuje tak, że w miejscu połączenia przepływa programem ustalona moc. Natomiast elektrownia przewodnia drugiej sieci ma za zadanie utrzymanie częstotliwości w obu złączonych sieciach. Jeżeli wyobrazimy sobie, że na rys. 43 „a" sieć, oznaczona cyfrą 3, nie istnieje, to będziemy mieli schemat dopiero co omówionego połączenia z sobą dwóch sieci. W ten sposób można prowadzić współpracę wielu sieci. Z pewnemi trudnościami spotkalibyśmy się dopiero wówczas, gdy połączenie tych sieci chcielibyśmy wykonać sposobem pierścieniowym. Rozumując według inż. Boll'a, rozpatrzmy pierścień, złożony z trzech elektrowni (rys. 43 „c"). Niech elektrownia 1 reguluje częstotliwość całego zespołu. Dzięki regulacji mocy w linjach 2—1 oraz 3—1 moc przepuszczana jest zgodna z programem. W ten sposób i przepływ energji przez przewód 3—2 jest zupełnie określony. Aby się o tem przekonać, wyobraźmy sobie, że narazie przewód 3—2 jest wyłączony. Oczywiście, że między elektrowniami 2—1 oraz 3—1 istnieją pewne spadki napięcia, spowodowane prądami mocnemi i bezmocnemi, przepływającemi przez oporności pozorne (impedancje) tych linij. Rozumie się samo przez się, że ogólnie rzecz biorąc, te spadki napięcia są różne zarówno co do wielkości jak i kierunku.




Rys. 47. „a" Spadki napięć między trzema pierścieniowo połączonemi elektrowniami współpracującemi. „b" Regulacja mocy według systemu inż. J. Leopancher'a.

Skutkiem tego między elektrowniami 3—2 istnieje pewna różnica napięć $x$ (rys. 47 „a"), która przy załączeniu tego przewodu spowoduje przepływ mocy wyrównawczej. Rzecz prosta, że spadek napięcia $x$, a tem samem i przepływ mocy po przewodzie 3—2, nie zmieni się dopóty, dopóki nie ulegną zmianie przepływy mocy po przewodach 2—1 i 3—1. W ten sposób dotrzymanie dostawy względnie wymiany energji między elektrowniami 2 i 3 jest zależne od mocy, ustalonych umowami między elektrowniami 1 i 2 oraz 1 i 3. Aby więc uniezależnić współpracę elektrowni 2 i 3 od umów 1—2 oraz 1—3, należy mieć możność regulowania przepływu mocy po przewodzie 3—2 w sposób specjalny, który polega na wprowadzeniu między elektrownie 3 i 2 dodatkowe napięcia o dowolnym kierunku i dowolnej wielkości, co uskutecznia się, jak już wiemy, zapomocą odpowiednich transformatorów regulacyjnych (rys. 88). Wywołujemy więc przepływ prądu wyrównawczego przez cały pierścień 3—1—2—3, dowolnie zmieniającego natę-

żenie prądu, płynącego w danej gałęzi pierścienia. Jeżeli oznaczone na rys. 43 „c" prądy ustaliły się w obwodzie bez udziału dodatkowego napięcia lecz tylko odpowiednio do oporności pozornych (impedancji) poszczególnych odcinków pierścienia, to na zasadzie II prawa Kirchhoff'a można napisać:

$$\hat{J}_a \cdot \hat{z}_a + \hat{J}_b \cdot \hat{z}_b + \hat{J}_c \cdot \hat{z}_c = 0$$

Oczywiście, że spadek napięcia $\hat{J}_a \cdot \hat{z}_a = \hat{y}$ oraz $\hat{J}_b \cdot \hat{z}_b = \hat{z}$ jak również $\hat{J}_c \cdot \hat{z}_c = \hat{x}$. Przypuśćmy, że pragnęlibyśmy, aby w gałęzi 3 — 2 płynął pewien prąd $\hat{J}_c'$. Celem osiągnięcia tego należy w obwodzie wywołać prąd wyrównawczy $\Delta \hat{J}$ taki, aby $\hat{J}_c + \Delta \hat{J} = \hat{J}_c'$ i dlatego transformator regulujący musi wytworzyć dodatkowe napięcie $\Delta \hat{E}$ równe spadkowi napięcia, wywołanego prądem wyrównawczym $\Delta \hat{J}$ w opornościach pozornych (impedancjach) pierścienia $\hat{z}_a + \hat{z}_b + \hat{z}_c$, a więc:

$$\Delta \hat{E} = \Delta \hat{J} (\hat{z}_a + \hat{z}_b + \hat{z}_c)$$

Oczywiście, że w ten sposób ulegną jednoczesnej zmianie także prądy w pozostałych gałęziach pierścienia i będą wynosiły $\hat{J}_a'$ oraz $\hat{J}_b'$. Obecnie więc II prawo Kirchhoff'a wyrażamy wzorem:

$$\hat{J}_a' \cdot \hat{z}_a + \hat{J}_b' \cdot \hat{z}_b + \hat{J}_c' \cdot \hat{z}_c = \Delta \hat{E}$$

Z równania tego wynika, że gdyby $\Delta \hat{E} = \hat{J}_a' \cdot \hat{z}_a + \hat{J}_b' \cdot \hat{z}_c$, to wówczas $\hat{J}_c' = 0$ tak, że po przewodzie 3 — 2 nie płynąłby żaden prąd.

Konieczność użycia transformatorów regulacyjnych dla połączenia poszczególnych elektrowni występuje zawsze wówczas, gdy $n$ elektrowni łączymy z sobą w więcej niż w $(n-1)$ miejscach. Sposób uniknięcia konieczności stosowania tych transformatorów został podany przez inż. J. Leopancher'a (Bayernwerk). Przypuśćmy (rys. 43 „c"), że sieć 1 ma otrzymać moc $a$, natomiast sieć 2 moc $b$, przyczem sumę tych mocy $a+b$ ma dostarczyć sieć 3. O rozpływie mocy zadecydują oczywiście stałe obwodu (oporności). Jeżeli sieciom 1 i 2 obojętne jest, skąd i jaką drogą otrzymują wymagane przez siebie moce $a$ i $b$, to do każdej sieci możemy doprowadzić wymaganą moc w ten sposób, że w każdy przewód, doprowadzający do nich energję, włączamy miernik, dzięki czemu mierzymy różnice przepływających przez nie mocy. Zapomocą tych instrumentów elektrownie przodujące reguluje się tak, że różnica mocy jest stale równa mocy przynależnej do danej sieci. Przy tym systemie regulacji przez sieć i szyny zbiorcze każdej elektrowni płyną prądy, służące na wymianę między elektrowniami sąsiedniemi, skutkiem czego przewody te i szyny powinny być tak wzmocnione, aby wytrzymały i umożliwiły ten przepływ mocy. Ten sposób regulacji mocy może w pewnych przypadkach zaoszczędzić kosztów transformatorów regulacyjnych.

### *IV. Sprzedaż i zakup energji elektrycznej.*

Jak już zaznaczyliśmy, regulacja przepływu energji elektrycznej musi odbywać się w ten sposób, aby zostały całkowicie spełnione wszystkie warunki umów, zawartych z poszczególnymi uczestnikami współpracy, i to od-

nośnie zarówno do dostawy jak i odbioru i ewent. przesyłania mocy, pracy, spółczynnika mocy, zmiany tych wielkości w czasie i t. d. Oczywiście, że wzajemne rozliczenia za dostawę jak i odbiór energji zależne są od tego, czy wzajemna wymiana między dostawcami a odbiorcami odbywa się zapośrednictwem spółki sieciowej, obejmującej całą współpracę, czyteż bez niej i czy wreszcie do spółki sieciowej należą sami dostawcy i odbiorcy czyteż sami pośrednicy lub też czy stanowią spółkę zarówno jedni jak i drudzy. Mówiąc tu o odbiorcach, nie myślimy wcale o odbiorcach drobnych, jakich zwykle pod tem mianem w potocznej mowie rozumiemy, lecz tutaj słowo „odbiorca" oznacza przedsiębiorstwo przemysłowe lub elektryfikacyjne, pobierające energję elektryczną ze spółki sieciowej. Oczywiście, że taki odbiorca może być również w pewnym czasie, okresowo lub okolicznościowo, dostawcą prądu do spółki sieciowej. Rozumie się, że bez względu na organizację wymiany, problem wzajemnych rozliczeń rozwiązuje się w każdym poszczególnym przypadku osobno, a to zależnie tak od gospodarczych jak i technicznych warunków miejscowych. Poniżej wymieniamy kilka najbardziej charakterystycznych i często stosowanych zasad obrotu energją elektryczną.

### 1. Obrót energją elektryczną z udziałem pośrednika, t. j. przedsiębiorstwa sieciowego.

Pośrednik kupuje energję elektryczną jako wielki odbiorca na warunkach, ustalonych zazwyczaj w umowach indywidualnych, zawartych osobno między pośrednikiem a dostawcą. Pośrednik zakupił energję u $x$ dostawców w różnych ilościach i po różnych cenach, może więc obliczyć średnią cenę zakupu. W związku z pośrednictwem zainwestował on w odnośnych urządzeniach pewien kapitał i, co za tem idzie, ponosi koszty kapitału. Ma on wydatki na utrzymanie i naprawę urządzeń, musi opłacić robociznę i personel, a nie obejdzie się także bez kosztów administracyjnych; pozatem trzeba uiścić podatki, daniny, różne opłaty i t. d. Wreszcie pośrednik ponosi pewne straty energji na przesyłaniu, przetwarzaniu i rozdzielaniu energji. Znając warunki odbioru energji przez spożywcę lub dalszego odsprzedawcę, może on, mając wyżej określone swoje koszty własne, obliczyć cenę sprzedażną, a kwestją jego własnej kalkulacji będzie decyzja, czy klijentowi swemu zaliczyć ma średnią cenę, wynikającą z wszystkich swych kosztów, podzielonych przez całkowitą ilość sprzedanej przez siebie energji, czyteż poda mu cenę niższą od średniej, nie obciążając danego klijenta pewnemi kosztami własnemi, któremi ze względu na własną politykę taryfową obciąży zato innego klijenta, podając mu cenę wyższą od średniej. Rozumie się, że pośrednik musi mieć pewien godziwy zysk ze swego przedsiębiorstwa: nikt nie ma prawa żądać, aby pracował stale ze stratą lub choćby bez straty ale i bez zysku. Pośrednik może oczywiście stosować dowolne systemy taryfikacyjne, a więc może posiłkować się taryfą J. Hopkinson'a, opartą na opłacie osobnej za obciążenie i osobnej za pracę elektryczną; taryfą H. Doherty'ego, polegającą na opłacie ryczałtowej, opłacie za moc i opłacie za pracę; taryfą A. Wright'a, skonstruowaną na cenie za jednostkę pracy stopniowanej, a więc również uzależnionej od

ilości godzin wykorzystania mocy zamówionej względnie osiągniętej; wreszcie pośrednik może stosować taryfy podobne, stanowiące pewne odmiany taryf powyższych lub t. p.

2. Obrót energją elektryczną na zasadzie wzajemnej wymiany. (H. Piloty).

Ten system przeprowadzania wzajemnych rozrachunków stosowany jest wówczas, gdy obrotu energją elektryczną dokonywują sami wytwórcy, którzy w czasie rozporządzania energją w ilości, przekraczającej własne zapotrzebowania, nadmiar jej dostarczają do wspólnej sieci, a w chwili własnego zapotrzebowania, większego od możliwości własnej produkcji, pobierają energję ze wspólnej sieci. System ten polega na tem, że za dostarczaną wspólnej sieci pracę elektryczną względnie i moc płaci się cenę, której wysokość ustala się osobno dla każdego dostawcy energji, oczywiście w zależności od przesłanek gospodarczych, np. wielkości zakładu, jego sprawności cieplnej, materjałów pędnych, stopnia zamortyzowania zakładu i t. d., motywujących handlowo odpowiednią wysokość tej ceny. Natomiast pobieraną ze wspólnej sieci energję zalicza się udziałowcom współpracy po średnio-arytmetycznych kosztach własnych za dostarczoną pracę względnie i moc z uwzględnieniem, rzecz prosta, kosztów prowadzenia współpracy.

3. Obrót energją elektryczną po cenach produkcji własnej. (Inż. F. Courtoy).

Każdy z uczestników współpracy należy do spółki sieciowej. Spółka sieciowa zakupuje energję elektryczną po cenach kosztu własnego produkcji energji u danego dostawcy i sprzedaje ją swym udziałowcom po takiej cenie, po jakiej dany odbiorca mógłby sobie sam tę energję wytworzyć we własnym zakładzie wytwórczym. Ceny te ustala się osobno za moc i osobno za pracę. — Ten rodzaj obrotu energją elektryczną przynosi szczególnie wielkie korzyści wówczas, gdy we współpracy bierze udział duża ilość przedsiębiorstw przemysłowych, zbywających okolicznościowo prąd elektryczny, gdyż przedsiębiorstwa te, sprzedając nadmiar rozporządzalnej energji, nie liczą kosztów kapitału i t. p. kosztów stałych, związanych normalnie z produkcją prądu, gdyż koszty te wkalkulowane są w produkcję energji na własne potrzeby. Współpraca, oparta na tych zasadach, rozwinęła się silnie w przemysłowych okręgach Belgji. Zyski, osiągnięte z działalności spółki sieciowej, rozdziela się między uczestników wymiany energji według odpowiedniego klucza rozdziału zysków.

4. Obrót energją elektryczną po cenach zależnych od posiadanych rezerw mocy. (E. J. Fowler).

Ten system obrotu energją elektryczną polega na przesłance, że współpraca pozwala zmniejszyć rezerwy własnych maszyn do wysokości np. 20% mocy, możliwej do wytworzenia w danym zakładzie wytwórczym. Jeżeli więc u któregoś z uczestników wymiany energji elektrycznej obciążenie tak wzrosło, że rezerwa jego spadła poniżej tej normy, to za każdy kW ubytku

mocy rezerwowej opłaca on pewną należność zasadniczą (za moc). Natomiast ten uczestnik, którego rezerwy są większe od normy, otrzymuje ze spółki sieciowej opłatę za każdy kW mocy rezerwowej ponad ustaloną wielkość rezerwy. Oczywiście, że opłata za rezerwę nie może przekraczać kosztów stworzenia sobie własnej rezerwy. Co do ustalenia normalnej wysokości rezerwy, to w tym celu zlicza się zdolność produkcyjną w kW wytwórni wszystkich uczestników obrotu oraz sumę najwyższych obciążeń w urządzeniach własnych poszczególnych uczestników. Różnica między zdolnością produkcyjną a sumą obciążeń stanowi rezerwę, będącą np. wyżej wymienionemi 20% mocy, rzeczywiście możliwej do wytworzenia. W ten sposób częściowych rezerw nie wlicza się, przyczem pod częściowemi rezerwami rozumie się przeinwestowanie danego zakładu w jednym tylko kierunku, np. pewna elektrownia ma moc w maszynach 80 000 kW, a może wytworzyć np. tylko 50 000 kW ze względu na brak kotłów, chłodni, wody, węgla i t. p. — Co do drugiej części taryfy, t. j. opłaty za pracę elektryczną, to dla każdego z uczestników ustala się cenę, równą jego własnym kosztom wytwarzania, zależnym oczywiście od produkcji.

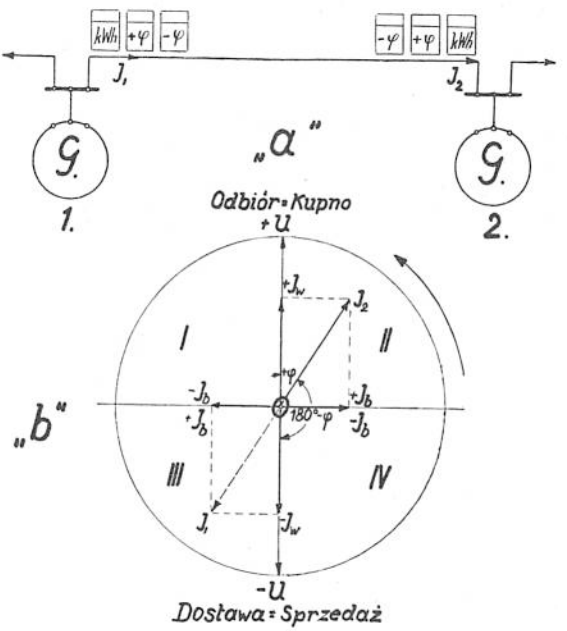
5. Obrót energją elektryczną po cenach normowanych przyrostem kosztów własnych, spowodowanych wymianą energji. (Inż. T. Czaplicki).

Obrót energją elektryczną, oparty na tej zasadzie, polega na założeniu, że żaden z uczestników współpracy nie powinien na tej wymianie mieć bezpośrednich zysków. W tym przypadku również uczestnicy wymiany zawiązują spółkę sieciową, która nabywa energję elektryczną po cenach, równych rzeczywistemu przyrostowi kosztów, spowodowanych nadwyżką produkcji ponad własne zapotrzebowanie, którą to nadwyżkę produkcji dostarcza się spółce. Odbiorca energji natomiast płaci spółce sieciowej tyle, ile wynosiłby rzeczywisty przyrost jego wydatków, gdyby pobraną energję chciał wytworzyć sam u siebie, a więc płaci tyle, ile sam sobie zaoszczędzi przez ograniczenie własnej produkcji o ilość, pobraną zzewnątrz, t. j. od spółki sieciowej. Zysk, jaki osiągnie spółka sieciowa z tej wymiany, dzieli się w odpowiedni sposób między poszczególnych uczestników współpracy.

*V. Pomiar energji elektrycznej sprzedanej i zakupionej.*

W obrocie energją elektryczną interesujemy się z jednej strony ilością energji elektrycznej zakupionej, czyli pobranej z sieci obcej, a z drugiej strony ilością energji sprzedanej czyli dostarczonej do tej sieci. Obchodzą nas tu jednak nietylko prądy mocne, lecz i bezmocne indukcyjne, t. j. $+J_b$, oraz pojemnościowe, t. j. $-J_b$. Jeżeli oznaczymy pobierany prąd mocny przez $+J_w$, a dostarczony przez $-J_w$, to odpowiednio do pracy, związanej z dostawą i poborem tych prądów, odbiorcę interesować będą pobrane kWh, ind. kWhr i pojemn. kWhr. Te same wielkości będą interesowały dostawcę. Widzimy więc, że jeżeli elektrownia np. 1 (rys. 48 „a") stale dostarcza energji elektrycznej, a elektrownia 2 stale energję tę pobiera, to zarówno w elektrowni 1 jak i w elektrowni 2 muszą znajdować się po trzy liczniki, z których jeden będzie mierzył energję czynną, a dwa pozostałe energję bierną indukcyjną i pojemnościową. Gdyby czasem role obu elektrowni zmieniały się tak, że elektrownia 1 chwilami pobierałaby

energję, dostarczaną jej przez elektrownię 2, to w tym czasie liczniki w obu elektrowniach kręciłyby się w odwrotnym kierunku i w elektrowni 1 odliczałyby od energji sprzedanej energję kupowaną. To samo działoby się w elektrowni 2. W ten sposób liczniki wskazywałyby różnicę między energją sprzedaną (dostarczoną) a energją zakupioną (pobraną). Z zasady jednak prawie zawsze sprzedaje się energję po innej cenie, a po innej zakupuje się ją. Z tego względu przy wzajemnej wymianie energji w każdej elektrowni, biorącej udział w tej wymianie, musiałyby być ustawione po trzy liczniki dla energji dostarczonej i po trzy liczniki dla pobranej. Każdy z tych sześciu liczników musi być zaopatrzony w hamowanie zwrotne, t. j. pozwalające tylko na jednokierunkowy bieg licznika. W ten sposób licznik dla sprzedaży energji nie będzie odliczał zakupionej energji i odwrotnie: licznik energji zakupionej nie będzie odliczał energji sprzedanej. Hamowanie zwrotne jest wystarczające w zupełności jednakże tylko wówczas, o ile chodzi o liczniki kWh, nie wystarcza natomiast w przypadku pomiaru kWhr ind. czyteż kWhr pojemn. Celem przekonania się o tem zwrócimy uwagę na wykres wektorowy, sporządzony na rys. 48 „b"




Rys. 48. Pomiar energji wymienianej między dwiema elektrowniami.

dla dwóch generatorów 1 i 2 zsynchronizowanych i z sobą połączonych. Jeżeli wyobrazimy sobie, że każdy z generatorów znajduje się w innej elektrowni, to w dalszym ciągu będziemy używali terminu „elektrownia" zamiast „generator", dzięki czemu rozważania nasze uogólnimy. Jak wiadomo, dwa generatory zsynchronizowane łączy się z sobą wówczas, gdy napięcia na ich zaciskach są sobie równe i przeciwnie skierowane, o ile chodzi o obwód zamknięty, złożony z dwóch współpracujących z sobą generatorów. Jeżeli więc elektrownia 2 będzie odbierała od elektrowni 1 prąd $J_2$ opóźniony o $\sphericalangle +\varphi$, a więc pewien mocny prąd $+J_w$ oraz bezmocny $+J_b$ (w I ćwiartce koła), to możemy powiedzieć, że elektrownia 1 dostarcza elektrowni 2 prądu wyprzedzającego z punktu widzenia elektrowni 1 o $\sphericalangle (180-\varphi)^0$ W ten sposób elektrownia 1 dostarcza elektrowni 2 prądu, charakteryzującego się wielkościami:

$$J_2 \cdot \cos(180 - \varphi) = -J_2 \cdot \cos\varphi = -J_w$$

oraz

$$J_2 \cdot \sin(180 - \varphi) = +J_2 \cdot \sin\varphi = +J_b,$$

a więc dostarcza prądu $J_1$, leżącego w III ćwiartce koła. Uwzględniając powyższe rozważania, zwrócimy uwagę na przebiegi pomiarowe, zachodzące w elektrowni 2. Znajdują się tam trzy liczniki: kWh, +kWhr (ind.) oraz —kWhr (pojemn.), mierzące energję pobieraną (ryglowane dla energji dostarczonej, t. j. wysłanej). Krążek licznika kWh kręcić się będzie np. zgodnie z kierunkiem obrotów skazówek zegara: licznik rejestruje zakupioną energję. To samo dotyczy licznika +kWhr. Co do licznika —kWhr, to patrząc na I ćwiartkę koła zauważymy, że pobór prądu indukcyjnego $+J_b$ jest równoznaczny z dostawą prądu pojemnościowego $-J_b$ z elektrowni 2 do elektrowni 1. W ten sposób licznik —kWhr elektrowni 2 chciałby „iść" w kierunku odwrotnym, na co nie pozwoli mu jego hamowanie zwrotne, gdyż licznik ten jest tylko przystosowany do poboru. Jeżeli teraz staniemy na stanowisku elektrowni 1 i zauważymy, że liczniki tej elektrowni są przystosowane do pomiaru tylko prądu dostarczanego, to rozumując podobnie, dojdziemy do wniosku, że licznik kWh będzie liczył taksamo jak i licznik ind. kWhr, natomiast licznik pojemn. kWhr będzie zahamowany.

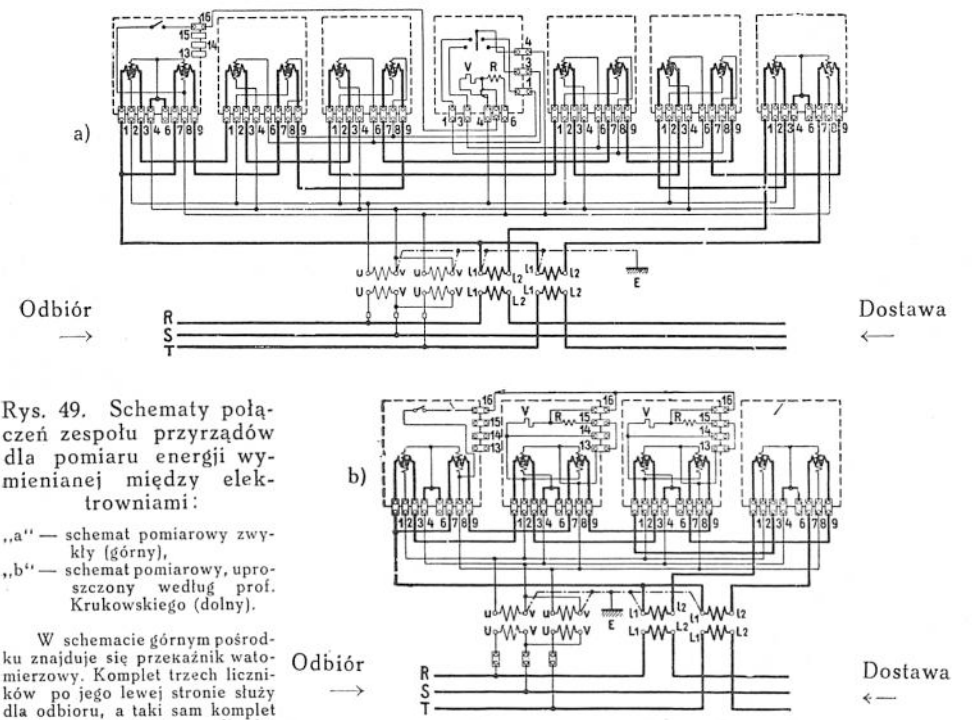
Przypuśćmy teraz, że elektrownia 2 pobiera prąd $J_2$ wyprzedzający z elektrowni 1 (ćwiartka II). Rozumując taksamo jak poprzednio zauważymy, że w elektrowni 1 będzie rejestrował energję licznik kWh oraz —kWhr, natomiast pobór prądu pojemnościowego $-J_b$ jest równoznaczny z dostawą prądu indukcyjnego $+J_b$. Licznik +kWhr, jako przeznaczony dla dostawy, chciałby więc iść w kierunku odwrotnym do ruchu skazówek zegara, na co nie pozwoli mu jego urządzenie hamująco-zwrotne. W elektrowni 1 będą szły liczniki kWh i —kWhr, natomiast zahamowany będzie licznik +kWhr. Przypuśćmy, że zarówno komplet liczników dla dostawy energji jak i komplet dla jej poboru, a więc wszystkie sześć liczników, zgrupowane są w jednej elektrowni, np. w elektrowni 1. Znane nam już zachowanie się tych liczników podczas wymiany energji zestawimy w poniższej tabeli dla dostawy prądu z elektrowni 1 do elektrowni 2.

Z tabeli tej widzimy, że przenosząc komplet liczników z elektrowni 2 do elektrowni 1, nie uzyskamy jeszcze możności osobnego pomiaru energji

| Prądu | Zespół liczników | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | pobór | | | dostawa | | |
| | kWh | $+\varphi$ | $-\varphi$ | $-\varphi$ | $+\varphi$ | kWh |
| opóźnionego (ind.) | ◠ | ◠ | ◥ | ◥ | ◠ | ◠ |
| wyprzedzającego (pojemn.) | ◠ | ◥ | ◠ | ◠ | ◥ | ◠ |

gdzie oznaczono przez: kWh — liczniki energji czynnej, $+\varphi$ — liczniki energji biernej ind., $-\varphi$ — liczniki energji biernej pojemn., ◠ zaliczanie, ◥ hamowanie.

dostarczonej z elektrowni 1 do elektrowni 2 i osobnego pomiaru energji pobieranej przez elektrownię 1 z elektrowni 2. Co do liczników energji czynnej, to zmieniając doprowadzenie prądu do cewek prądowych licznika kWh odbiorczego, powodujemy zahamowanie tego licznika wówczas, gdy elektrownia 1 będzie dostarczała energję, natomiast będzie on rejestrował wtedy, gdy elektrownia 1 będzie energję pobierała, a więc gdy licznik kWh dostawy będzie zahamowany. Co do liczników energji biernej to kierunek ich obrotu zależy od przesunięcia w fazie prądu względem napięcia. Ponieważ, jak widzieliśmy, pobór prądu bezmocnego jednego znaku jest równoznaczny z do-




Rys. 49. Schematy połączeń zespołu przyrządów dla pomiaru energji wymienianej między elektrowniami:

„a" — schemat pomiarowy zwykły (górny),
„b" — schemat pomiarowy, uproszczony według prof. Krukowskiego (dolny).

W schemacie górnym pośrodku znajduje się przekaźnik watomierzowy. Komplet trzech liczników po jego lewej stronie służy dla odbioru, a taki sam komplet z jego prawej strony — dla dostawy. Licząc od lewej ku prawej: pierwszy i szósty licznik służą dla pomiaru energji czynnej, drugi i czwarty mierzą energję bierną ind., a trzeci i piąty energję bierną pojemn.

W schemacie dolnym licznik pierwszy służy dla pomiaru energji czynnej odbieranej, licznik czwarty — energji czynnej dostarczanej, licznik drugi mierzy energję bierną ind. na górnem liczydle dla odbioru, na dolnem — dla dostawy, trzeci licznik mierzy energję bierną pojemn.

stawą prądu bezmocnego odwrotnego znaku, przeto dla umożliwienia osobnego pomiaru prądów bezmocnych, zarówno indukcyjnych jak i pojemnościowych, nie wystarcza zaopatrzenie liczników w urządzenia hamująco-zwrotne, lecz oprócz tego należałoby liczniki zarówno dla $+\varphi$ jak i dla $-\varphi$ kompletu odbiorczego wyłączać wówczas, gdy następuje dostawa prądu. Oczywiście liczniki energji biernej kompletu dostawy powinny być odłączone wtedy, gdy następuje pobór. Jednem słowem powinniśmy liczniki te przełączać. W związku z temi rozważaniami należy zaznaczyć, iż przy wymianie energji elektrycznej właściwsze jest oznaczanie przesunięcia fazy prądu nie w zależności od napięcia, lecz w stosunku do prądu mocne-

go, gdyż mamy tu dwa napięcia przesunięte względem siebie o 180°. Na okoliczność tę specjalnie zwraca uwagę prof. Krukowski.

Odłączania liczników energji biernej, o którem dopieroco wspominaliśmy, dokonywamy przez odłączanie napięcia od ich cewek napięciowych. Czynimy to zależnie od kierunku przepływu prądu mocnego zapomocą przekaźnika watomierzowego. Na rys. 49 widzimy obydwa komplety licznikowe, t. j. trzy liczniki dla poboru i trzy liczniki dla dostawy energji, uzupełnione sterującym przekaźnikiem watomierzowym, połączone w myśl naszych dotychczasowych rozważań. W ten sposób rozpatrzona poprzednio tabela zachowania się liczników w elektrowni 1 przedstawiać się będzie dla dostawy prądu z elektrowni 1 do elektrowni 2 jak następuje:

| Prądu | Zespół liczników | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | pobór | | | dostawa | | |
| | kWh | $+\varphi$ | $-\varphi$ | $-\varphi$ | $+\varphi$ | kWh |
| opóźnionego (ind.) |  | wyłączone | |  |  |  |
| wyprzedzającego (pojemn.) |  | wyłączone | |  |  |  |

Gdy elektrownia 1 pobierać będzie prąd z elektrowni 2, wówczas tak jak do tej pory zachowywały się liczniki odbiorcze, zachowywać się będą liczniki kompletu dostawy, a liczniki odbiorcze obejmą teraz ich rolę.

Oczywiście, że zespół przyrządów pomiarowych, złożony z sześciu liczników i jednego przekaźnika, jest urządzeniem skomplikowanem. Urządzenie to znacznie uprościł Dr. Inż. W. Krukowski, Profesor Politechniki Lwowskiej, przez użycie dla pomiaru wymienianej energji biernej dwóch liczników energji biernej dwuliczydłowych (dwutaryfowych), w których przełączanie dokonywane jest nie zapomocą przekaźnika watomierzowego, lecz zapomocą specjalnych kontaktów, w które zostało zaopatrzone urządzenie hamująco-zwrotne jednego z liczników energji czynnej. W ten sposób zespół pomiarowy prof. Krukowskiego składa się tylko z czterech liczników; stanowi więc urządzenie proste, przejrzyste, tanie, dające przytem wyniki pomiarowe taksamo dokładne, jak rozpatrzony przez nas poprzednio zespół, składający się z 6 liczników i jednego przekaźnika. Schemat połączeń zespołu pomiarowego prof. Krukowskiego widzimy na rys. 49 „b".

### *VI. Wyzyskanie poszczególnych zakładów.*

Przy układaniu planu rozdziału obciążeń, a więc i planu wyzyskania poszczególnych zakładów, powodujemy się, zresztą jak zwykle, nietylko względami technicznemi, lecz także niemniej od nich ważnemi względami gospodarczemi. W tym celu zauważmy, że gospodarcze warunki pobiera-

nia energji elektrycznej z danego zakładu elektrycznego wyrażają się równaniem:

$$K_w = A + B \cdot x^n$$

gdzie $K_w$ jest całkowitym kosztem energji pobieranej z danego zakładu wytwórczego. Koszt ten składa się z:

$A$ — t. j. z kosztów stałych, składających się z:

1) oprocentowania kapitału, zaangażowanego w wytworzeniu dostarczanej ilości energji;
2) amortyzacji;
3) odnowienia i innych odpisów;
4) podatku od zysku

oraz części stałej:

5) kosztów ogólnych (administracja);
6) robocizny, płac oraz świadczeń;
7) utrzymania urządzeń;
8) kosztów paliwa, przypadającego na bieg jałowy wytwórni.

$B$ — t. j. z kosztów zmiennych, zależnych od ilości $x$ kWh dostarczonej pracy elektrycznej, składających się z części zmiennej kosztów wyżej wymienionych pod 5, 6, 7 i 8, oraz z podatków i opłat obrotowych;

$n$ jest pewnym spółczynnikiem, przez którego wprowadzenie uwzględniamy przypadek pobierania energji elektrycznej częściowo drożej wyprodukowanej, a więc np. za szczytowe obciążenia i t. p. Naogół spółczynnik $n$ jest większy od jedności, lecz stosunkowo niewiele tak, że w dalszych rozważaniach możemy go pominąć.

W ten sposób równanie $K = A + B.x$ wyraża przebieg linji prostej w układzie współrzędnych, w którym na osi rzędnych podajemy roczne koszty $K$ w złotych energji pobieranej, a na osi odciętych ilość pobranej pracy elektrycznej $x$ w kWh (rys. 50a). Prosta ta odcina na osi rzędnych koszty stałe $A$.

Jeżeli na jednym wykresie wkreślimy dwie takie proste, charakteryzujące koszty poboru energji z dwóch różnych zakładów, np. 1 i 2, to wyciągamy stąd wnioski:

1) że elektrownia 1 jest elektrownią nowocześniejszą od elektrowni 2. Koszty stałe elektrowni 1 są większe od kosztów stałych elektrowni 2, jednakże przy jednakowej dostawie większe są koszty zmienne tej ostatniej jako mniej sprawnej;

2) przy produkcji $x'$ kWh całkowite koszty dostawy prądu jednakowe są zarówno w elektrowni 1 jak i 2. Pokrywając więc nasze zapotrzebowanie na energję elektryczną w ten sposób, że elektrowni 1 oddamy dostawę bardziej podstawową, a elektrowni 2 bardziej szczytową, otrzymamy najlepsze gospodarcze wyzyskanie współpracujących zakładów wytwórczych.

Jeżeli tego rodzaju rozumowanie przeprowadzimy dla wszystkich elektrowni, biorących udział we współpracy, będziemy mogli elektrownie te uszeregować w kolejności najekonomiczniejszego pokrycia zapotrzebowania na energję elektryczną.

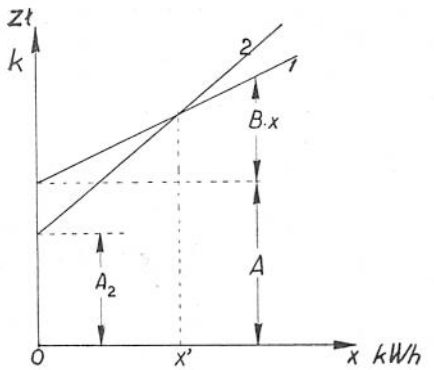
Gdyby do tego samego punktu zapotrzebowania energji elektrycznej można było ją doprowadzić z dwu lub więcej elektrowni, wyżej wymienione

rozumowania uzupełnilibyśmy jeszcze rachunkiem, obejmującym koszty przetwarzania i przesyłania tej energji. Wówczas wzór, poprzednio przez nas podany, zmieni się jak następuje:

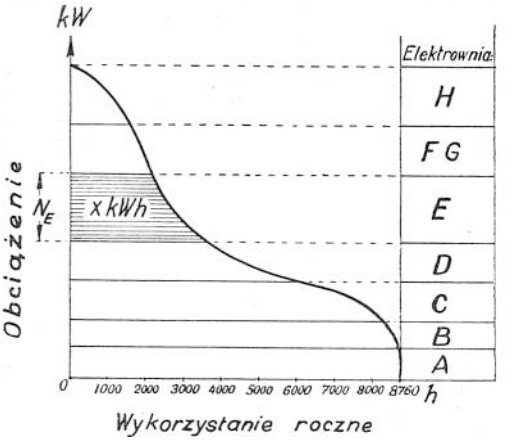
$$K = v \,.\, A + A_s + \frac{1}{\eta} \,.\, B \,.\, x$$

Wprowadzając $v$ $(> 1)$, uwzględniliśmy wzrost kosztów stałych wytwórni, spowodowany stratą mocy, powstałą w żelazie i miedzi skutkiem przetwarzania i przesyłania; przez wprowadzenie $\eta$ uwzględniamy towarzyszącą temu stratę pracy elektrycznej. Wreszcie $A_s$ są to koszty stałe urządzeń sieciowych, służących dla przetwarzania i przesyłania energji elektrycznej.

Jak łatwo zauważyć, skutkiem różnych wielkości $\eta$, $v$ oraz $A_s$ dla poszczególnych elektrowni proste ich kosztów dostawy nietylko różnie przesuną się do góry, lecz również i rozmaicie zmienią swe nachylenia, a w ten sposób zmienią się i ich gospodarczo-graniczne ilości $x'$ kWh dostawy.




Rys. 50a. Wykres kosztów dostawy energji elektrycznej.




Rys. 50b. Wykres Rossarder'a rocznego obciążenia zespołu współpracującego.
(Oznaczenia elektrowni jak na rys. 41).

Wreszcie licząc się z mocą każdej elektrowni, możliwością dokonywania w niej napraw i t. p. miejscowemi warunkami, dla każdego poszczególnego zakładu wytwórczego wyznaczamy rozmiar dostawy w kW i kWh przy pomocy wykresu Rossarder'a rocznego obciążenia całego zespołu współpracującego (rys. 50b), który wskazuje ilości godzin trwania danego obciążenia w ciągu roku. W ten sposób możemy określić granice obciążeń danej elektrowni, aby uzyskać wyznaczoną dla niej gospodarczo najkorzystniejszą dostawę.

Tego rodzaju rozumowania można przeprowadzać oczywiście nietylko dla rocznego, lecz i dla dowolnie mniejszego okresu czasu.

### E. Równowaga pracy równoległej.

Według Evans'a i Wagner'a pod równowagą pracy równoległej rozumiemy zdolność całego współpracującego zespołu lub jego części do rozwi-

jania sił równych lub większych od tych, które współpracę zakłócają. W ten sposób siły zakłócające zostają unieszkodliwione tak, że cały zespół pozostaje nadal w dotychczasowym zrównoważonym stanie pracy. Stan pracy zespołu współpracującego, jaki ustalił się w przypadku, gdy na niego nie działają żadne aperjodyczne siły zakłócające, nazywamy stanem równowagi statycznej. Gdy jednak po zakłóceniu aperjodycznem zespół wraca do pierwotnego swego stanu pracy mówimy, że zespół pracuje w stanie równowagi dynamicznej.

Poniżej postaramy się podać warunki, zapewniające utrzymanie pracy całego zespołu w równowadze zarówno statycznej jak i dynamicznej. W tym celu przystępujemy przedewszystkiem do zapoznania się z zachowaniem się generatora synchronicznego podczas wszelkich zasadniczych zmian warunków pracy.

Przedewszystkiem zdamy sobie sprawę z wpływu, jaki na ruch elektryczny wywiera poprzeczny spadek napięcia $\delta U$, który jest przyczyną przesunięcia faz między napięciami: początkowem i końcowem. W tym celu rozpatrzymy zjawiska występujące w maszynie synchronicznej podczas jej pracy.

Głównym przedmiotem naszych rozważań będzie zbadanie wzajemnego ustosunkowania się pola magnetycznego twornika, czyli t. zw. pola wirującego twornika, do pola magnetycznego wirnika. Oba te pola wirują jednokierunkowo, a w maszynach synchronicznych, o których właśnie dalej będziemy mówili, pole tworníkowe wiruje z tą samą szybkością kątową $\omega = 2\pi f$ co i bieguny wirnika. Dlategoteż możemy pominąć ruch wirowy obu pól i uwzględnić jedynie ruch biegunów wirnika względem pola wirującego twornika podobnie, jak pomijamy obrotowy ruch ziemi podczas badania jakiegokolwiek ruchu, odbywającego się na powierzchni ziemi względem jakiegokolwiek punktu tej powierzchni.

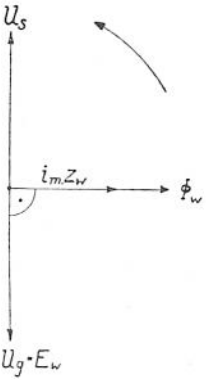
W silnikach twornik pobiera prąd z sieci i wytworzone w nim pole wirujące wyprzedza pole wirnika; — twornik swem polem ciągnie za sobą bieguny wirnika. W generatorze — odwrotnie: twornik oddaje prąd na sieć, a pole wirnika wyprzedza pole wirujące, wytworzone tym prądem tak, że tym razem bieguny wirnika ciągną za sobą pole tworníkowe. Istnieje oczywiście i takie pośrednie położenie biegunów wirnika, że przez twornik przyłączony do sieci żaden prąd nie płynie: twornik ani nie pobiera prądu z sieci, ani go też nie oddaje. W tym stanie pracy maszyna synchroniczna znajduje się w chwili jej zsynchronizowania z napięciem i częstotliwością, panującemi na jej szynach zbiorczych. Dlategoteż mówimy, że bieguny wirnika znajdują się wówczas w położeniu synchronicznem lub wyjściowem. Od tej chwili maszyna będzie pracowała jako silnik synchroniczny lub jako generator synchroniczny, zależnie od tego, czy siły zewnętrzne przyłożone do wirnika odpowiednio go względnie cofną lub też względnie wysuną naprzód.

Oczywiście, że rozważania nasze wobec zupełnej symetrji nie stracą nic na ścisłości, jeżeli w dalszym ciągu rozpatrywać będziemy tylko jedną fazę maszyny synchronicznej.

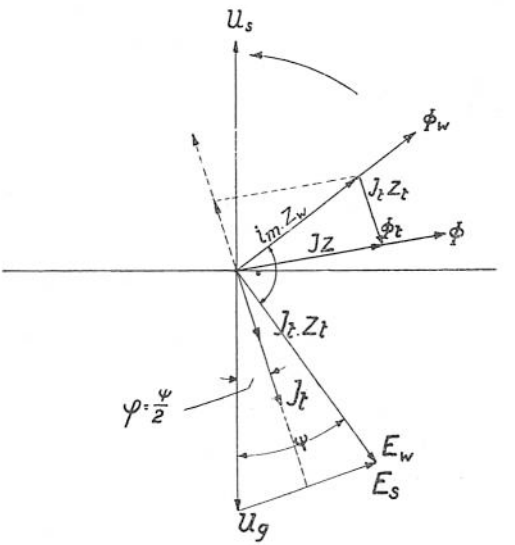
A więc przypuśćmy, że generator z niewydatnemi biegunami wzbudzony (rys. 51) i jałowo biegnący po zsynchronizowaniu przyłączamy do sieci. Przyłączanie to, odnośnie do napięcia, przeprowadzamy wówczas, gdy SEM—

$E_w$ generatora, będąca w tym przypadku jednocześnie jego napięciem na zaciskach $U_g$, jest równa i wprost odwrotna do napięcia sieci $U_s$. Wówczas po przyłączeniu żaden prąd przez twornik nie płynie i mamy do czynienia tylko ze strumieniem magnetycznym wirnika $\Phi_w = f\ (i_m z_w)$ (pomijamy strumień rozproszenia wirnika), a SEM „$E_w$" indukcji opóźni się o $90^0$ w stosunku do tego strumienia. Jeżeli przez odpowiednie nastawienie regulatora mechanicznego powiększyliśmy nieco moc doprowadzoną do silnika napędzającego generator, to wirnik trochę wysunął się naprzód (w kierunku wirowania), skutkiem czego dotychczasowa SEM jakgdyby odchyliła się w kierunku wirowania o $\sphericalangle \psi$ od swego położenia, które zajmowała przy biegu jałowym (rys. 52).

Po tem wysunięciu się wirnik dalej wiruje z dotychczasową swą szybkością kątową, lecz dzięki odchyleniu powstała różnica napięć $E_s$ między ujemnem napięciem sieci — $U_s = U_g$ a SEM-ną „$E_w$". Ta różnica napięć




Rys. 51. Wykres generatora zsynchronizowanego, jałowo biegnącego.



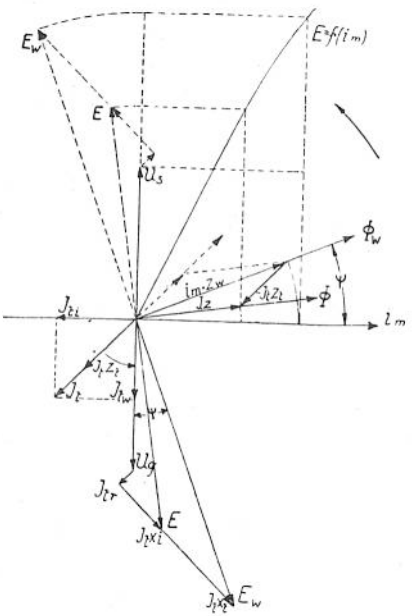

Rys. 52. Wykres początkowego obciążenia generatora.

wyprzedza napięcie na zaciskach generatora i powoduje powstanie wyprzedzającego względem napięcia generatora $U_g$ prądu $J_t = \frac{E_s}{x_i + x_t}$, który ustala nowy stan równowagi napięć przez spowodowanie w tworniku spadku napięcia $E_s$ wyprzedzającego o $90^0$ swój prąd. W wyżej wymienionym wzorze $x_z$ oznacza oporność urojoną (reaktację) odpowiadającą całkowitemu rozproszeniu wirnika i twornika, natomiast przez $x_t$ oznaczaliśmy oporność urojoną odpowiadającą reakcji twornika. Jak bezpośrednio z wykresu wynika, prąd $J_t$ wyprzedza napięcie zaciskowe generatora o kąt $\varphi = \frac{1}{2}\psi$, t. j. równy połowie kąta, o który wysunął się wirnik. Prąd ten, przepływając przez uzwojenia twornika, powoduje powstanie strumienia twornikowego $\Phi_t = f(J_t \,.\, z_t)$ przeciwdziałającego strumieniowi wirnika $\Phi_w = f(i_m \,.\, z_w)$. Skutkiem tego w szczelinie powietrznej otrzymamy wypadkowy strumień rzeczywisty $\overline{\Phi} = \overline{\Phi}_w + \overline{\Phi}_t$.

Biorąc pod uwagę, że spowodowaliśmy dowolnie małe wysunięcie się

wirnika czyli że nastąpił dowolnie mały ujemny poślizg, otrzymujemy i prąd wysyłany przez twornik do sieci mały. Narazie nie dyskutując o wielkości oporności czynnej $R$ generatorów, mogliśmy wobec tego bez popełnienia większego błędu pominąć w nim spadek napięcia czynny jako bardzo mały wobec indukcyjnego spadku napięcia.

Z rys. 52 bezpośrednio wynika, że wraz ze wzmocnieniem wzbudzenia wirnika, przy tym samym wypadkowym strumieniu w szczelinie $\Phi$ prąd $J_t$ zacznie się opóźniać tak, że przy dalszem wzmacnianiu wzbudzenia prąd $J_t$ będzie w fazie z napięciem na zaciskach generatora, który w ten sposób będzie dostarczał tylko prądu mocnego. Oczywiście, że ze zwiększeniem wzbudzenia wirnika możemy iść jeszcze dalej tak, że generator oprócz zawsze jednakowego prądu mocnego (mechanicznego regulatora dopływu energji nie ruszamy) będzie dostarczał również prądu bezmocnego opóźnionego i to do pewnych granic dowolnego. Pracę w ten sposób wykonywaną przez generator ilustruje rys. 53, w którym dla uzupełnienia rozważań tym razem uwzględniliśmy w tworniku spadek czynny $J_t . R$. Prąd twornika osłabia w tym przypadku strumień wirnika $\Phi_w$, wzmożony przez nas zwiększeniem wzbudzenia wirnika, i to osłabia tak, aby równowaga napięć nie była zachwiana. Dla zdania sobie sprawy ze zmian, jakim podlega prąd twornika $J_t$ podczas zmian wzbudzenia zauważymy, że równowagę napięć ustala tu prąd bezmocny, w danym przypadku opóźniający się, indukcyjny, zmieniający się co do swej wielkości wraz ze zmianą wzbudzenia wirnika. Prąd ten z niezależnym od wzbudzenia prądem mocnym powoduje obciążenie generatora pewnym prądem wypadkowym $J_t$, opóźnionym w stosunku do napięcia na zaciskach generatora o pewien kąt $\varphi$, a płynąc przez oporności twornika, wywołuje w nim spadki napięć: a) $E_s$, który wyprzedza powodujący go prąd o 90° i składający się z sumy algebraicznej $E_s = E_i + E_t$, t. j. spadku napięcia całkowitego (wirnika i stojana) rozproszenia (indukcyjnego) $E_i = J_t . x_i$ i reakcji twornika $E_t = J_t . x_t$, oraz b) spadek napięcia czynny $J_t R$, który jest w fazie z tym prądem.




Rys. 53. Wykres pracy generatora, obciążonego prądem opóźnionym.

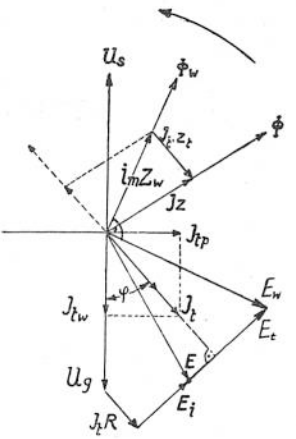
Odejmując te spadki napięć, oczywiście geometrycznie, od SEM „$E_w$", otrzymujemy napięcie na zaciskach $U_g$.

Zmniejszając natomiast wzbudzenie generatora przy tym samym prądzie mocnym, otrzymujemy prądy bezmocne wyprzedzające. Tego rodzaju przypadek pracy generatora ilustruje rys. 54. Teraz znów prąd twornika stara się uzupełnić ubytek strumienia, spowodowany przez nas zmniejszeniem wzbudzenia wirnika, dzięki prądom pojemnościowym, wytwarza-

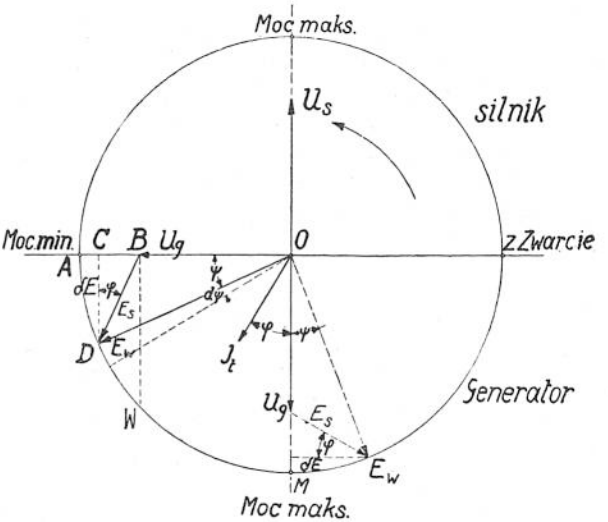
nym, alboteż indukcyjnym, które w tym celu dopływają do twornika z współpracujących jednostek wytwórczych.

Zwróćmy uwagę na jakikolwiek stan pracy generatora. Niech to np. będzie stan przedstawiony na rys. 55, a więc oddawanie prądu opóźnionego $J_t$. Oczywiście, że moc oddawana przez generator będzie wyrażała się wzorem:

$$W_g = U_g \cdot J_t \cdot \cos\varphi$$




Rys. 54. Wykres pracy generatora, obciążonego prądem wyprzedzającym.




Rys. 55. Wykres pracy maszyny synchronicznej przy $U_g$ = const. oraz $i_m$ = const.

Dla uproszczenia znów opuściliśmy spadek napięcia czynny. Wobec tego uwzględniamy tylko:

$J_t \cdot x_s = E_s$ gdzie całkowita oporność urojona $x_s = x_i + x_t$, stąd $J_t = \frac{E_s}{x_s}$

więc

$$W_g = U_g \cdot \frac{E_s}{x_s} \cdot \cos\varphi$$

ale

$$E_s \cdot \cos\varphi = E_w \cdot \sin\psi = \delta E$$

czyli:

$$W_g = \frac{U_g}{x_s} \cdot \delta E = \frac{U_g \cdot E_w}{x_s} \cdot \sin\psi = J_z \cdot U_g \cdot \sin\psi,$$

gdzie $J_z$ jest prądem zwarcia generatora przy napięciu $E_w$ równem SEM, a więc przy pracy jałowej generatora przy tem napięciu.

Tak więc moc oddawana przez generator jest wprost proporcjonalna do spadku napięcia $\delta E$ czyli do sin kąta elektrycznego $\psi$, zawartego pomiędzy napięciem zaciskowem generatora i jego SEM. — Kąt geometryczny będzie $p$ razy mniejszy. $W_g$ jest więc proporcjonalne do sin kąta $= p \times$ kąt wychylenia wirnika.

Dla lepszego zobrazowania sobie wpływu sin $\psi$ na pracę generatora przeprowadzimy według prof. Pichelmayera następujące rozumowanie me-

todą wykreślną. W tym celu trójkąt $O\,U_g\,E_w$ ($OBD$) obróćmy o $90^0$ około punktu $O$ w kierunku ruchu skazówki zegarowej. Wówczas spadek napięcia $E_s$ będzie wyobrażał prąd twornikowy $J_t$ zarówno co do kierunku jak i w pewnej skali co do wielkości.

Zauważymy przytem, że obciążenie generatora mierzy się w skali powierzchnią $\Delta\,OCD$, jak to z dyskusji powyższego wzoru wynika. Oczywistem jest, że generator oddaje max. mocy przy $\sphericalangle\,\psi = 90^0$ i zero mocy przy $\sphericalangle\,\psi = 0^0$.

Teraz zauważymy, że napięcie sieci $U_s = -U_g = \text{const}$. Jeżeli wypadkowy strumień magnetyczny $\Phi$ jest też stały, to i SEM „$E_w$" jest stała co do swej wielkości. Widzimy więc, że przy różnych wysunięciach wirnika czyli przy różnym poślizgu ujemnym wierzchołek wektora $E_w$ zatoczy łuk koła. Każdoczesnemu więc położeniu wirnika w stosunku do położenia jego z chwili, przedstawionej na rys. 51, czyli w stosunku do pola wirującego twornika, odpowiadać będzie pewien spadek napięcia $E_s$, a więc pewien prąd mocny i bezmocny.

Przy pracy, przedstawionej na rys. 55, generator oddaje prąd wyobrażony odcinkiem $BD$, którego składowa bezmocna jest $BC$, a mocna $CD$. Przy $\sphericalangle\,\psi = 0$ generator oddaje tylko prąd bezmocny indukcyjny, przedstawiony przez odcinek $AB$. Jeżeli SEM „$E_w$", przedstawiona na rysunku, jest największą, jaką możemy uzyskać wzbudzeniem generatora, to i bezmocny indukcyjny prąd $AB$ jest największy, jaki może wogóle generator wydać. Gdy wektor $E_w$ przy zwiększeniu $\sphericalangle\,\psi$ osiągnie punkt $W$, wówczas generator oddaje wyłącznie prąd mocny; przy dalszem zwiększaniu $\sphericalangle\,\psi$ rośnie prąd mocny, lecz jednocześnie powstaje i prąd pojemnościowy. W punkcie $M$, t. j. przy $\sphericalangle\,\psi = 90^0$, generator oddaje największy prąd mocny, a przy dalszem zwiększaniu $\sphericalangle\,\psi$ moc generatora spada tak, że moc silnika napędowego nie znajduje już zrównoważenia w obciążeniu generatora, skutkiem czego wirnik corazto bardziej wysuwa się naprzód, co powoduje zmniejszenie się mocy czynnej generatora. Generator oczywiście wypada z taktu i samoczynny wyłącznik odłącza go od całego zespołu współpracującego. Gdyby to się nie stało np. skutkiem zacięcia się wyłącznika, to gdy SEM „$E_w$" przyjmie kierunek napięcia sieciowego $U_s$, nastąpiłoby zwarcie generatora.

Widzimy więc, że aby generator obciążany statycznie zachował równowagę pracy, musi być $\sphericalangle\,\psi \leqslant 90^0$. Ten kąt $\psi$ jest tem większy, im $\delta E$ jest większe, a więc oporność indukcyjna (induktancja) zawarta między napięciem $U_g$ i SEM-ną $E_w$ zmniejsza stałość równowagi pracy.

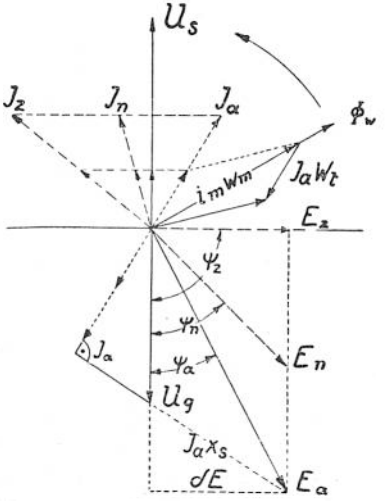
Poprzednio widzieliśmy, że moc oddawana przez generator

$$W_g = \frac{U_g}{x_s} \cdot \delta E$$

proporcjonalna jest do odcinka $\delta E$ na rys. 56.

Wyobraźmy sobie, że przy stałem obciążeniu generatora, współpracującego z innemi, zaczęliśmy zmniejszać wzbudzenie wirnika. Skutkiem tego zmniejszył się strumień magnetyczny $\Phi_w$ wirnika, a co za tem idzie i jego SEM „$E_a$", która teraz wynosi już tylko „$E_n$". Oczywiście, że napięcie na zaciskach generatora $U_g$ zmienić się nie mogło, gdyż musi ono zawsze być

równe i przeciwne do napięcia szyn zbiorczych $U_s$. Z dostateczną dla naszych rozważań dokładnością możemy twierdzić, że skutkiem tego zmniejszenia wzbudzenia nie uległa zmianie reaktancja całkowita $x^s$ = całkowitemu rozproszeniu wirnika i twornika $x_i$ + reakcja twornika $x_t$. Jeżeli więc obciążenie generatora nie ma ulec zmianie, to i dcinek $\delta E$ musi być wielkością stałą. Innemi słowy, wierzchołki nowych *SEM*-ych .. $E_n$ .. muszą ślizgać się po prostej $E_a\ E_z \parallel OU_g$. Widzimy więc, że ze zmianą wzbudzenia wirnika połączona jest nieunikniona zmiana $\sphericalangle \psi$, który w tych warunkach rośnie ze zmniejszającem się wzbudzeniem. Jeżeli teraz sobie przypomnimy, że SEM „$E_a$" jest zawsze opóźniona o 90° w stosunku do indukującego ją pola magnetycznego $\Phi_w$ wirniką, to widzimy, że wraz ze zmniejszaniem się wzbudzenia wirnik wysuwać się będzie naprzód. Dla zrównoważenia napięć ubytek strumienia magnetycznego wirnika uzupełniony być musi przez oddziaływanie twornika, przez który—jak to już widzieliśmy poprzednio, zaczną płynąć dodatkowe prądy pojemnościowe, zmieniające w fazie prąd wypadkowy $J_a$. Ze zmniejszaniem wzbudzenia wirnika nie możemy iść za daleko. Z rys. 56 widzimy, że przy $\sphericalangle \psi_z = 90^0$ mamy najmniejszą SEM = $E_z$, a więc i wzbudzenie, przy którem generator będzie jeszcze pracował. Jestto jednakże jego graniczna możliwość pracy. Wrazie dalszego zmniejszenia wzbudzenia wierzchołek wektora $E_z$ musi oderwać się od swej prowadnicy $E_z\ E_a$. Moc oddawana przez generator zmniejszy się, skutkiem czego wypadnie on z taktu. To samo zdarzy się, gdy wzbudzenie znajduje się wpobliżu swej granicznej minimalnej wielkości, choć jej jeszcze nie przekroczyło, a obciążenie generatora wzrosłoby. Wówczas znów linja jednakowego obciążenia $E_z\ E_a$ oderwie się od wierzchołka wektora $E_z$. Oczywiście, że całe to rozważanie dotyczy również i silników synchronicznych.

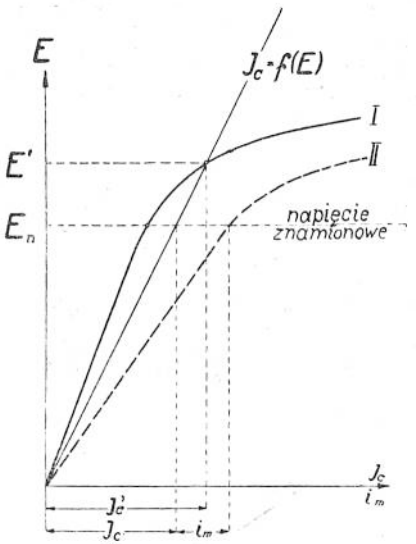


Rys. 56. Wykres zmiany $\sphericalangle \psi = f(im)$ przy $W_g$ = const.

Na podstawie dopieroco przeprowadzonych rozumowań wyciągniemy bardzo ważny dla praktyki wniosek, że ręczne, a jeszcze lepiej samoczynne wzmacnianie wzbudzenia, a więc zwiększanie *SEM-ej* generatora wmiarę wzrostu jego obciążenia, zwiększa jego stateczność współpracy z innemi generatorami. Z tegoteż powodu wrazie zakłóceń na sieci nie powinno się odstawiać samoczynnych regulatorów napięcia, a tembardziej nie powinno się w tych przypadkach osłabiać wzbudzenia generatorów.

Z powyższych rozważań bezpośrednio wynika szkodliwy dla współpracy, osłabiający równowagę pracy równoległej, wpływ pojemności sieci, gdyż skutkiem samowzbudzającego oddziaływania na generator prądu pojemnościowego sieci należy zmniejszać wzbudzenie generatora. Dla lepszego zdania sobie sprawy z tego oddziaływania Smurow porównywa z sobą we-

wnętrzną charakterystykę danego generatora z charakterystyką ładowania linji. Jeżeli spojrzymy na rys. 57 zauważymy, że samowzbudzenie generatora nie zastąpi całkowicie, lecz tylko w pewnej części wzbudzenie jego wówczas, gdy charakterystyka ładowania linji nie przetnie charakterystyki wewnętrznej generatora. Wtedy otrzymuje się wysunięcie wirnika o $\sphericalangle \psi_n$, zapewniający jeszcze stałą równowagę pracy. W przypadku odwrotnym kąt wysunięcia się wirnika tak wzrośnie, że nie będzie mowy o utrzymaniu równowagi pracy generatora.




Rys. 57. Wpływ prądu pojemnościowego sieci na wzbudzenie generatora:
I, II — wewnętrzne charakterystyki generatora,
$J_c = f(E)$ — charakterystyka ładowania sieci,
$J_c$ — prąd ładowania sieci,
$i_m$ — magnesujący prąd wirnika.

Stąd wynika następny bardzo ważny wniosek praktyczny, że gdy na sieć o dużej pojemności (kablową lub rozległą sieć napowietrzną wysokiego napięcia) pracuje kilka generatorów, to żaden z nich nie powinien pracować z obciążeniem małem w stosunku do swej mocy znamionowej, gdyż wówczas pracowałby on mniej statecznie od generatorów pełno lub prawie pełno obciążonych. Ażeby więc taki generator nie wypadł z taktu, należy go bardziej obciążyć kosztem odpowiedniego zmniejszenia obciążenia pozostałych generatorów. Innemi słowy, obciążenie powinno być równomiernie rozkładane na poszczególne współpracujące generatory, to znaczy proporcjonalnie do ich mocy znamionowych.

Jak już wiemy, ruch sieci elektrycznej można prowadzić zasadniczo dwoma systemami: 1) przy $\Delta U \neq 0$, podczas gdy $\delta U = 0$, i 2) gdy odwrotnie $\Delta U = 0$, natomiast $\delta U \neq 0$.

Pierwszy z tych systemów jest, jak już wiemy, zależny od względów czysto gospodarczej natury. Stosujemy go chętnie w sieciach pracujących samotnie, t. j. w oparciu się o jedną elektrownię, i to zwykle przy napięciach niskich i średnio-wysokich.

Jeżeli natomiast sieć współpracuje z wieloma elektrowniami, z których każda musi utrzymywać pewne stałe napięcie na swych szynach zbiorczych, wówczas ruch prowadzimy według systemu drugiego. A więc przy $\delta U \neq 0$ i $\Delta U = 0$. Moc przenoszona przez takie przewody jest:

$$W_2 = U_2 \,.\, J \cos \varphi = U_2 \,.\, J_w$$

zgodnie z naszem założeniem

$$\Delta U = J_w \,.\, R + J_b \,.\, \omega L = 0$$

stąd

$$J_w = - J_b \frac{\omega L}{R}$$

ale

$$\delta U = U_1 \sin \alpha = J_w \,.\, \omega L - J_b \,.\, R$$

a podstawiając w równanie to wartość dla $J_w$ dopieroco znalezioną, otrzymamy:

$$U_1 \sin \alpha = - J_b \cdot \frac{\omega^2 L^2}{R} - J_b \cdot R = - J_b \frac{\omega^2 L^2 + R^2}{R}$$

tak, że

$$- U_1 \sin \alpha \cdot R = J_b (\omega^2 L^2 + R^2)$$

stąd

$$J_b = - U_1 \frac{R}{\omega^2 L^2 + R^2} \cdot \sin \alpha$$

a więc

$$W_2 = U_2 \cdot J_w = - U_2 \cdot J_b \frac{\omega L}{R} =$$

$$= + U_1 \cdot U_2 \frac{\omega L \cdot R}{R (\omega^2 L^2 + R^2)} \cdot \sin \alpha = U_1 \cdot U_2 \frac{\omega L}{\omega^2 L^2 + R^2} \cdot \sin \alpha$$

ale

$$U_1 = U_2 = U \quad (\text{bo } \Delta U = 0)$$

więc

$$W_2 = U^2 \cdot \frac{\omega L}{\omega^2 L^2 + R^2} \cdot \sin \alpha$$

zauważymy, że:

$$\omega^2 L^2 + R^2 = Z^2$$

jest opornością pozorną (impedancją) linji przesyłowej, a $\omega L = X_i$ jest opornością indukcyjną (induktancją) linji; podstawiając otrzymamy:

$$W_2 = U_1 U_2 \frac{X_i}{Z^2} \cdot \sin \alpha$$

ale stosunek $\frac{X_i}{Z^2} = B$ jestto przewodność bierna linji przesyłowej, więc

$$W_2 = B \cdot U_1 \cdot U_2 \cdot \sin \alpha = B \cdot U_2 \cdot \delta U$$

Widzimy więc, że podobnie, jak w generatorze i w sieci zmiana obciążenia sieci powoduje zmianę fazy pomiędzy napięciem początkowem i końcowem i że moc przenoszona przez sieć jest proporcjonalna do sinusa $\sphericalangle \alpha$ zmiany tej fazy.

$B \cdot U_2 = J_2 \cdot \sin \varphi$ jest prądem bezmocnym, który dla spełnienia przyjętego przez nas warunku $\Delta U = 0$ musi być wyprzedzającym, a więc $- J_2 \sin \varphi$, i musi być równym $J_{2w} \cdot \frac{R}{\omega L}$.

Ostatecznie więc moc przenoszona przez przewody jest równa

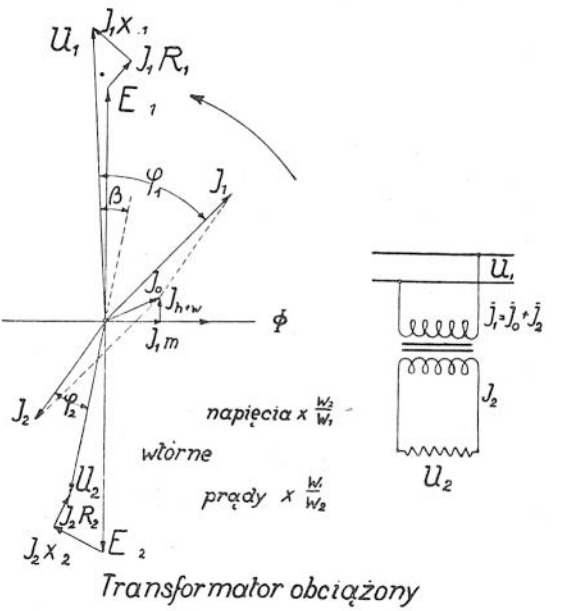
$$W_2 = B \cdot U_2 \cdot U_1 \sin \alpha = J_{2w} \frac{R}{\omega L} \cdot U_1 \cdot \sin \alpha$$

Moc ta będzie największą wówczas, gdy $\sphericalangle \alpha = 90^0$ i wynosi

$$W_{2\max} = U_1 \cdot J_{2w} \cdot \frac{R}{\omega L}.$$

Wówczas jednakże napięcie początkowe musiałoby wyprzedzać napięcie odbiorcze o kąt = 90°. Jak dalej się przekonamy, mocy tej nie jesteśmy wstanie przenieść, gdyż jeszcze przed jej wystąpieniem generatory wypaść musiałyby z taktu.

Jednakże wzajemne łączenie elektrowni tylko w rzadkich przypadkach odbywa się zapośrednictwiem napięcia generatorowego. W olbrzymiej większości przypadków połączenie takie dokonywane jest przy pomocy takich ogniw pośrednich, jakiemi są transformatory.




Rys. 58. Wykres pracy transformatora.

Jeżeli zwrócimy uwagę na wektorowy wykres transformatora (rys. 58), to spostrzeżemy, że również i transformator skręca napięcie pierwotne w stosunku do wtórnego o pewien kąt, który oznaczymy $\sphericalangle \beta$.

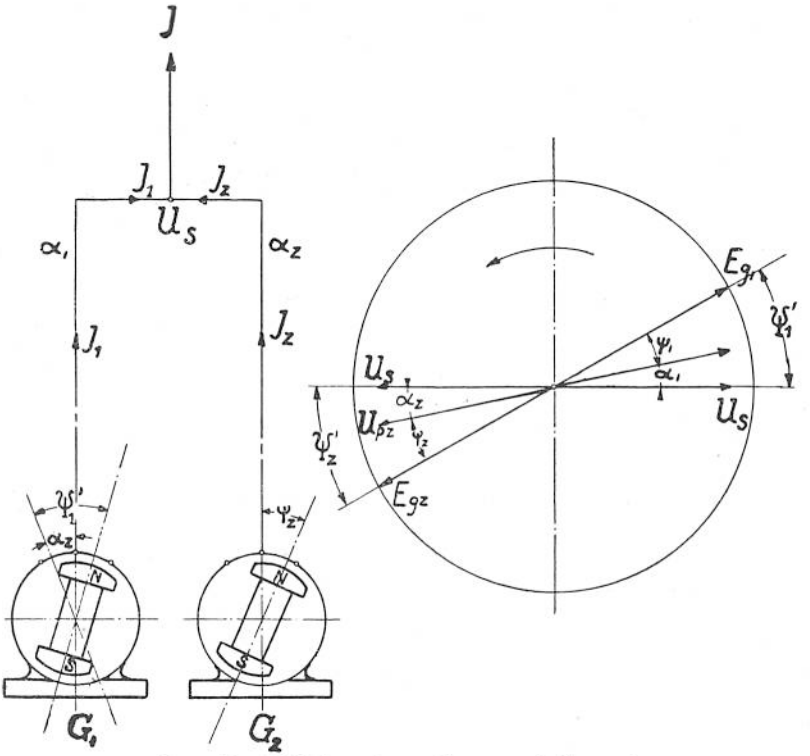
Jakie te przesunięcia napięć w fazie mają znaczenie dla prowadzenia ruchu elektrycznego, przekonamy się w następującem rozważaniu:

Z dopieroco przeprowadzonych na wykresie pracy maszyny synchronicznej przy $U_g = \text{const.}$ i $i_m = \text{const.}$ rozumowań wynikało, że aby praca równoległa była zachowana i generatory nie wypadły z taktu, nie może $\sphericalangle \psi$ przekroczyć 90°. Spełnienia warunku tego wymaga tak zwana:

1) Statyczna równowaga pracy równoległej.

Statyczną równowagę pracy równoległej utrzymujemy więc dzięki temu, że na wirnik stale działają tylko 2 równe sobie i wzajemnie przeciwne momenty, a mianowicie: 1°. Moment obrotowy, wywierany przez silnik napędowy, i 2°. Moment reakcji sił elektromagnetycznych wywieranych przez sieć na wirnik zapośrednictwem twornika danego generatora, jako zastęp-

czego odbiorcę i jako zastępczego generatora wszystkich generatorów równolegle pracujących w danej chwili. Oczywistem jest, że zachowanie warunku działania tylko dwóch wyżej wymienionych momentów możliwe jest tylko wówczas, gdy zmiany w obciążeniu rozpatrywanego generatora są tak małe i tak powolne, że bezwładności wirnika i innych mas z nim wirujących możemy nie brać pod uwagę. Tego rodzaju przechodzenie z jednego ustalonego stanu współpracy elektrycznej do drugiego równoznaczne byłoby praktycznie z niezmiennem obciążeniem sieci. Oczywiście, że z tak ideal-



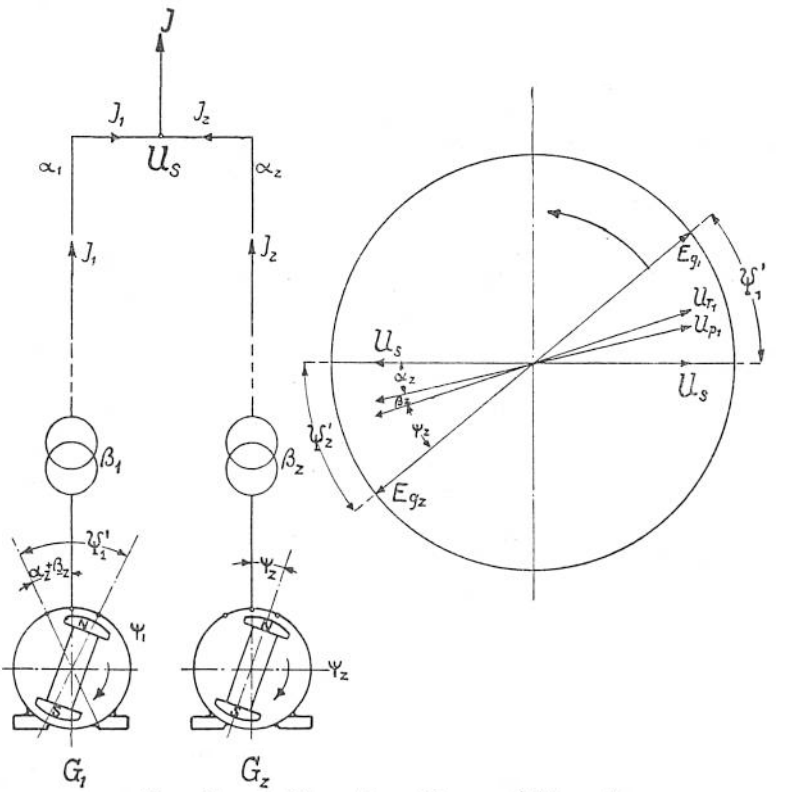

Rys. 59. I. Schemat współpracy elektrowni.

nemi warunkami prowadzenia ruchu elektrycznego spotykamy się niezmiernie rzadko. Dlategoteż statyczna równowaga pracy równoległej nie daje jeszcze wystarczającego warunku prowadzenia ruchu, lecz określa tę moc największą, której przejęcie w tak idealnych warunkach pracy teoretycznie jeszcze możemy powierzyć danej elektrowni czyteż generatorowi, lub którą w danym punkcie sieci możemy dostarczyć.

Oczywiście, że taka znajomość zdolności wytwórczej danej jednostki wytwórczej czyteż sieci jest bardzo ważna i służy do krytycznej oceny i wyboru jednego, w następstwie szczegółowo opracowywanego warjantu danego projektu współpracy. Abyśmy w tym kierunku mogli wysnuć jakiekolwiek wnioski zauważymy, że zasadniczo mamy trzy schematy pracy równoległej, które stosujemy zależnie od miejscowych warunków. Pierwszy

z nich, pokazany na rys. 59, przedstawia pracę równoległą mniejszych jednostek wytwórczych zapośrednictwem napięcia generatorowego. Drugi schemat z rys. 60 przedstawia pracę większych jednostek wytwórczych, w których generator i transformator stanowią zazwyczaj jedną całość. Wreszcie trzeci schemat z rys. 61 stanowi kombinację dwóch pierwszych.

Punkt spływu prądu, a więc wyobrażalny środek obciążeń sieci, stanowi jakgdyby szynę zbiorczą, na którą pracują równolegle wszystkie gene-




Rys. 60. II. Schemat współpracy elektrowni.

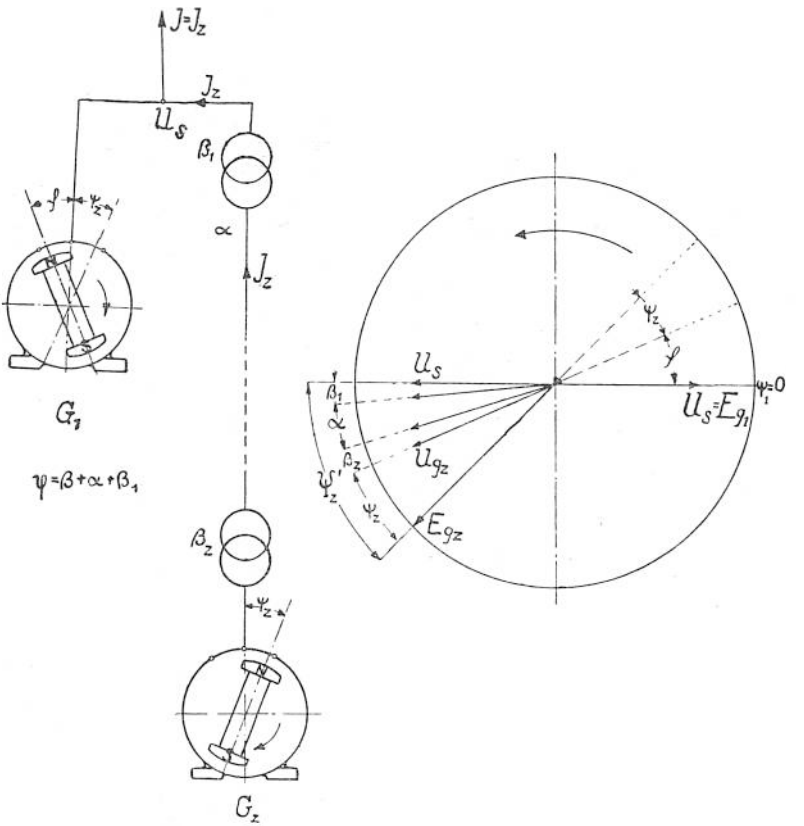
ratory całego zespołu. A więc w punkcie tym panuje pewne stałe napięcie $U_s$ wspólne dla wszystkich generatorów. — Zwróćmy szczególną uwagę na III-ci schemat pracy równoległej:

Wyobraźmy sobie, że narazie mamy przyłączony, lecz jeszcze nieobciążony generator $G_z$, natomiast generator $G_1$ stoi w gotowości dyspozycyjnej. Ponieważ generator $G_z$ jeszcze nie pracuje, to np. biegun północny jego wirnika zajmuje względne położenie górne pionowe, które jest jego położeniem synchronicznem. Przypuśćmy, że w środku obciążeń sieci, w którem panuje napięcie $U_s = \text{const.}$, powstaje pewne obciążenie $J$, które przejmuje na siebie generator $G_z$. Jak wiemy wirnik tego generatora wmiarę wzrostu tego obciążenia musi wysuwać się naprzód względem swego położenia synchronicznego i wreszcie osiągnie $\sphericalangle \psi_z$, odpowiadający obciążeniu

temu przyłożonemu do zacisków generatora. Prąd obciążenia tego, wypływając z generatora, przepływa przez transformator podwyższający napięcie, przez linję dalekonośną bardzo wysokiego napięcia i wreszcie przez transformator zniżający napięcie do wysokości $U_s$ i w ich opornościach powoduje poprzeczne spadki napięć, opóźniające w fazie napięcie $U_s$ o

$$\sphericalangle \Psi' = \psi_z + \beta_z + \alpha + \beta_1$$

względem SEM wirnika $E_{gz}$ generatora $G_z$. Z chwilą, gdy ten stan pracy generatora $G_z$ już ustaliliśmy, synchronizujemy generator $G_1$. Gdy jego SEM wirnika $E_{g1}$ jest równa i wprost przeciwna napięciu $U_s$, generator ten przy-

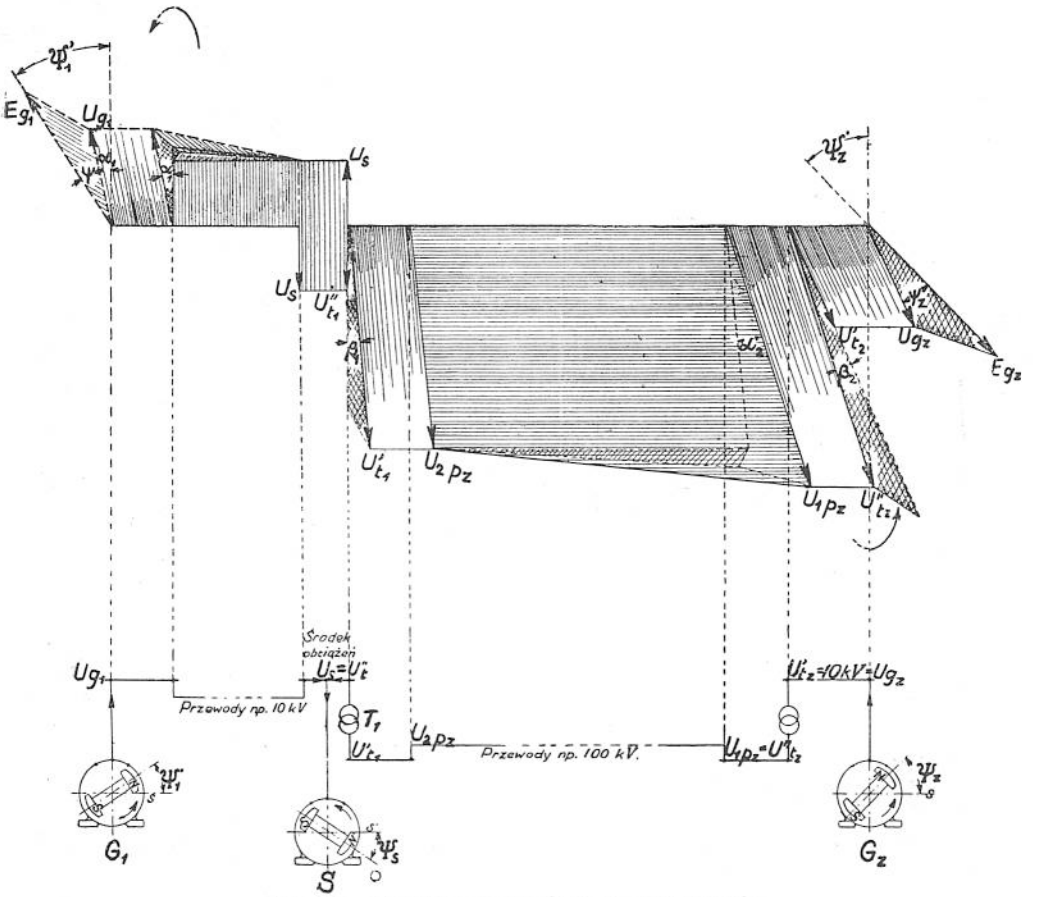



Rys. 61. III. Schemat współpracy elektrowni.

łączamy. Jak widzimy, wirniki generatorów $G_1$ i $G_z$ zajmują względne położenia, różniące się między sobą o $\sphericalangle \Psi'_z$. Oporność pozorna więc sieci i transformatorów spowodowała przesunięcie się w generatorze $G_1$ położenia synchronicznego o $\sphericalangle \vartheta = \Psi'_z - \psi_z = \beta_z + \alpha + \beta_1$ w kierunku odwrotnym do ruchu skazówki zegara, a więc opóźniająco. Od tego położenia wirnik generatora $G_1$, przy przejmowaniu przez ten generator narastającego obciążenia w środku obciążeń, zacznie się wysuwać naprzód, sto-

sownie do tego obciążenia w odniesieniu do jego zacisków, jak i stosownie do poprzecznych spadków napięć zachodzących na drodze przesyłania tego obciążenia do środka obciążeń.

Rys. 62 przedstawia przestrzenny wykres napięć dla zespołu składającego się z silnika synchronicznego i generatorów $G_1$ i $G_2$, pracujących według III-go schematu pracy równoległej, przyczem silnikowi dostarczają energji oba generatory. Na wykresie tym przedstawione są jednocześnie




Rys. 62. Przestrzenny wykres napięć zespołu.

względne położenia wirników obu generatorów i silnika, przyczem położenie synchroniczne określone jest literą „S".

W zupełnie podobny sposób możemy sobie przedstawić współpracę zespołu według schematu I. i II.

Taki rozkład napięć otrzymujemy w linjach elektrycznych stosunkowo krótkich. Jeżeli rozważaniami mielibyśmy objąć np. obszar, przekraczający granice polityczne Państwa, wówczas uwzględnić musielibyśmy jeszcze jeden czynnik wpływający na równowagę pracy elektrycznej, a mianowi-

cie odległość, a więc przesunięcie końcowego napięcia linji w stosunku do początkowego o $\sphericalangle \delta$, spowodowane skończoną szybkością rozchodzenia się prądu elektrycznego, wynoszącą $v = 300\,000$ km/sek. Przy 50 okresach na sekundę otrzymujemy więc długość fali:

$$\lambda = v \,.\, T = \frac{300\,000}{50} = 6\,000 \text{ km.}$$

Napięcie więc wzdłuż tego odcinka wykona całkowity obrót o 360°. Wobec tego przesunięcie fazy napięć o 1° następuje na każde

$$6\,000 \text{ km} : 360^{\circ} = 16{,}6 \text{ km.}$$

Jeżeli linja ma długość $l$ km, otrzymujemy przesunięcie faz wynoszące

$$\sphericalangle \delta = \left(\frac{l}{16{,}6}\right)^{0}$$

Tak więc SEM-ne będą przesunięte względem napięcia odbiorczego o kąty

$$\Psi_1 = \Psi_1' + \delta_1 \text{ i } \Psi_z = \Psi_z' + \delta_z .$$

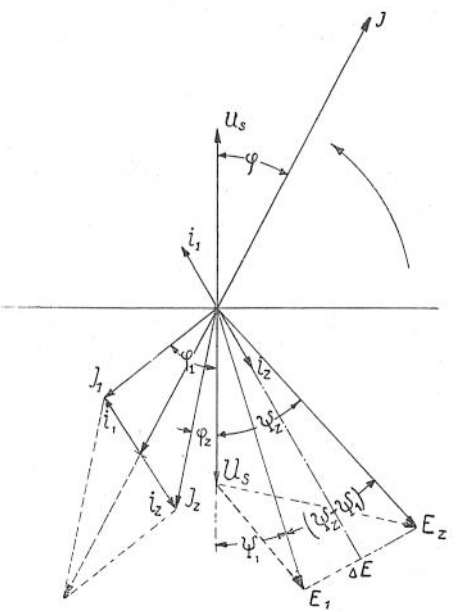
Jeżelibyśmy chcieli w przestrzennym wykresie napięć ten $\sphericalangle \delta$ uwzględnić, to patrząc na profil „bryły" napięciowej od strony generatora $G_z$ i uważając szyny środka obciążeń za punkt nieruchomy zauważylibyśmy, że cała ta bryła skręciła się śrubowo prawoskrętnie tak, że na generatorze $G_z$ kąt tego skrętu wyniósł $\delta_z$, a na generatorze $G_1 = \delta_1$.

Tak więc generator $G_z$, przejmując obciążenie $J_z$ środka obciążeń o napięciu $U_s$, wytwarza SEM-ną strumieniem magnetycznym swego wirnika $E_z$, która wyprzedza napięcie $U_s$ o $\sphericalangle \Psi_z$. Te warunki pracy dla generatora $G_1$ charakteryzują się w stosunku do tego samego napięcia $U_s$ wielkościami $J_1$, $E_1$, $\Psi_1$. Skutkiem tego, jak widzimy z rys. 63, ma miejsce przesunięcie faz wektorów $E_z$ i $E_1$ w stosunku do siebie o $\sphericalangle (\Psi_z - \Psi_1)$, a więc w obwodzie generatorów $G_z$ i $G_1$ istnieje różnica SEM-nych $\Delta E$ tak, że jeżeli oporność pozorna tego obwodu wynosi $Z = \Sigma$ oporności pozornych obu generatorów, transformatorów zawartych między temi generatorami oraz linij elektrycznych, to w obwodzie tym popłynie prąd wyrównawczy (Hołujanow):

$$i_{z,1} = \frac{\Delta E}{Z}$$

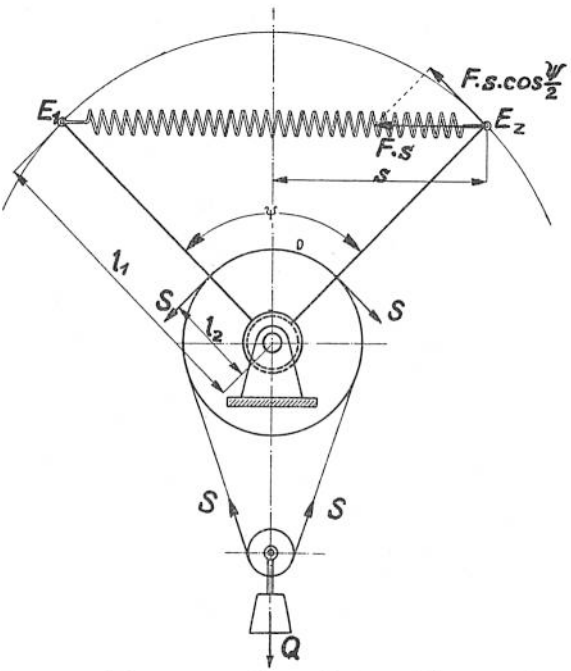
tak, że

$$\overline{J_z} = \overline{\tfrac{1}{2}J} + \overline{i_z} \text{ oraz } \overline{J_1} = \overline{\tfrac{1}{2}J} - \overline{i_z}$$




Rys. 63. Wykres pracy równoległej generatorów.

Z rys. 63 widzimy, że prąd ten przepływa zarówno przez twornik generatora $G_z$ jak i generatora $G_1$ i jest składowym prądów $J_z$ i $J_1$, obciążających te generatory, a że jest on prawie w fazie z SEM-ną $E_z$ i zgodnie z nią skierowany, przeto stanowi on dla generatora $G_z$ dodatkowe obciążenie czynne starające się przyhamować wirnik i nieco go cofnąć. Z SEM-ną $E_1$ prąd ten jest też prawie w fazie, lecz oczywiście odwrotnie skierowany, gdyż wchodzi do generatora $G_1$. Działa więc na niego ciągnąco. Skutkiem tego wirnik generatora $G_1$ wysuwa się naprzód. Widzimy więc, że prąd ten




Rys. 64. Mechaniczny model równowagi współpracy elektrycznej według Griscom'a.

działa na oba wirniki w ten sposób, że stara się doprowadzić bieguny ich jakgdyby do wzajemnego nakrycia się, do zajęcia jednego i tego samego miejsca względnego w stosunku do uzwojeń twornika. Prąd ten nazywa się prądem synchronizującym, a siła elektrodynamiczna, która powstaje skutkiem przepływu tego prądu przez twornik i działa na wirnik, nazywa się całkowitą siłą synchronizującą.

Ta siła ciągnąca względnie hamująca, jak wiadomo, wynosi według prawa Biot-Savart'a:

$$F = (10{,}2 \cdot i_{1,z} \cdot l \cdot B \cdot 10^{-8}) \text{ kg}$$

gdzie: $i_{1,z}$ — jest prądem wyrównawczym w A
$l$ — długością przewodów twornika w cm., podlegającą działaniu pola magnetycznego,
$B$ — indukcją magnetyczną w Gaussach.

Działanie tej siły wyobraża nam przedstawiony na rys. 64 a skonstru-

owany według Griscom'a przez firmę Westinghouse mechaniczny model współpracy dwóch generatorów, przejmujących dane obciążenie sieci $Q$.

SEM-ną każdego z generatorów przedstawia w pewnej skali długość ramienia mierzonego od wspólnej osi obrotu do punktu przyczepienia sprężyny. Zakładamy, że te SEM-ne są const., kąt $\Psi$, zawarty między obu ramionami, przedstawia kąt rozchylenia wirników obu generatorów. Jeżeli oznaczymy przez $F$ siłę potrzebną do rozciągania sprężyny na jednostkę długości rozciągnięcia, to warunek równowagi wymaga, aby:

$$F \,.\, s \,.\, \cos\frac{\Psi}{2} \,.\, l_1 = S \,.\, l_2$$

ale

$$s = l_1 \,.\, \sin\frac{\Psi}{2}$$

stąd otrzymamy:

$$F \,.\, l_1^2 \,.\, \sin\frac{\Psi}{2} \,.\, \cos\frac{\Psi}{2} = S \,.\, l_2$$

$$\tfrac{1}{2} F \,.\, l_1^2 \,.\, \sin\Psi = S \,.\, l_2, \text{ gdy } \Psi = 90^0 \text{ to } \tfrac{1}{2} F \,.\, l_1^2 = \max.$$

gdy więc kąt $\Psi > 90^0$, to $\frac{1}{2} \,.\, F \,.\, l_1^2 \,.\, \sin\Psi < S \,.\, l_2$ tak, że wówczas ramiona opadną wdół.

Tak więc równowaga w tym przypadku wymaga, aby $\sphericalangle \Psi \leqslant 90^0$. Zauważymy, że $\left(l_1 \,.\, \sin\frac{\Psi}{2}\right) \,.\, \left(l_1 \,.\, \cos\frac{\Psi}{2}\right)$ jestto pole trójkąta objętego kątem $\Psi$ i sprężyną. Całe pole to jest zatem proporcjonalne do momentu skręcającego $(S \,.\, l_2)$; wyobraża więc w skali moc obciążenia sieci. Mamy więc zupełną analogję z generatorem, którego moc jest proporcjonalna, jak to widzieliśmy, do trójkąta zawartego między jego SEM-ną a napięciem sieci.

Dana sprężyna, odpowiadająca pewnej sile synchronizującej, wywołuje więc pewien moment skręcający, który po przekroczeniu przez ramiona $\sphericalangle \Psi = 90^0$ maleje, zamiast rosnąć, wraz ze zwiększeniem się obciążenia sieci.

Tak więc statyczny warunek równowagi pracy równoległej wymaga, aby:

$$\sphericalangle \Psi \leqslant 90^0$$

2) Dynamiczna równowaga pracy równoległej.

Do tej pory uważaliśmy, że napięcie sieci, moc pobierana przez środek obciążeń i umiejscowienie tego środka są stałe. Do tak idealnych warunków pracy zbliża się może najbardziej praca sieci najwyższych napięć, natomiast naogół w sieciach wszystkie te 3 czynniki są zmienne. Zmienność tych czynników niezależna jest od nas z wyjątkiem napięcia, którego wysokość wprawdzie możemy regulować sami, jednakże tylko w pewnych granicach. Natomiast niezależna od nas, gdyż spowodowana przez odbiorców prądu, zmiana mocy pobieranej i zmiana środka obciążeń spowodować musi zmianę rozpływu prądu w sieci oraz zmianę obciążenia poszczególnych generatorów. Oczywiście, że zjawiska te, w dodatku występujące w niewia-

domej chwili, bezwątpienia prowadzić musiałyby między innemi do naruszenia równowagi. Aby, celem zapobiegnięcia temu, umożliwić sobie kierowanie rozpływem i przejęciem przez poszczególne punkty wytwórcze zarówno obciążenia prądem mocnym, jak i bezmocnym, posiłkujemy się po 1-sze specjalnemi urządzeniami, stosownie rozmieszczonemi dla regulacji napięć, co będzie stanowiło przedmiot osobnych rozważań, oraz po 2-gie posiłkujemy się specjalnym systemem przejmowania obciążenia sieci, który opisany jest w rozdziale o kierowaniu rozpływem obciążeń.

W celu uogólnienia dalszych rozważań rozszerzymy nieco dotychczasowe nasze pojęcie o t. zw. generatorze zastępczym. Pod mianem tem rozumieć będziemy generator, który:

1°. ma oporność urojoną bardzo małą, jako będącą wypadkową oporności urojonych wszystkich w danej chwili równolegle pracujących generatorów;

2°. ponieważ wszelkim zmianom w sieci, powodującym zmianę liczby obrotów generatorów, podlegają również silniki, przeto będziemy uważali, że powstające wówczas zmiany siły żywej w tych maszynach skoncentrowane będą w masie wirującej zastępczego generatora;

3°. moc generatora zastępczego jest równa sumie mocy wszystkich równolegle w danej chwili pracujących generatorów.

Zarówno mniejsze jak i większe zmiany stanu pracy prawie z zasady odbywają się w sposób nagły. Dlategoteż wirnik generatora dla dostosowywania się do nowych warunków pracy otrzymywać będzie pewne przyśpieszenie dodatnie i ujemne, co wobec masy wirnika i części z nim zespolonych powoduje, obok dotychczas działających na wirnik dwóch momentów, t. j. momentu obrotowego i momentu reakcji sieci, jeszcze powstanie momentu siły synchronizującej oraz momentu sił bezwładności mas wirujących generatora. Ponieważ momenty te są zmienne, przeto generator przejdzie do nowego ustalonego stanu pracy nie odrazu, lecz po szeregu następujących po sobie procesów wyrównawczych. Dla nas ważnem jest zbadanie, jaki przebieg będą miały te procesy.

W tym celu przypuśćmy, że generator załączony na wspólne szyny zbiorcze pracuje z pewnem obciążeniem $W_g$ watów. Przypuśćmy, że skutkiem przypadkowego chwilowego impulsu wirnik generatora przesunął się w kierunku wirowania o pewien $d\,\psi$ (rys. 55). Jak wiemy, generator do tej pory pracował oddając na sieć moc

$$W_g = U_g \,.\, J_z \,.\, \sin \psi \text{ watów}$$

Odpowiada to sile na obwodzie wirnika:

$$P = \frac{W_g}{9{,}81 \,.\, v} \text{ kg}$$

gdzie:

$$1 \text{ wat} = \frac{1}{9{,}81} \text{ kgm/sek.}, \quad v = \frac{\pi D n}{60} \text{ m/sek}$$

jestto szybkość obwodowa wirnika, $D$ — średnica wirnika w m, a $n$ — liczba obrotów tego wirnika na minutę.

Skutkiem zwiększenia się $\sphericalangle \psi$ o $\sphericalangle d\psi$ moc generatora wzrosła o

$$dW_g = U_g \,.\, J_z \,.\, \cos\psi \,.\, d\psi$$

a siła obwodowa wzrosła o

$$dP = \frac{1}{9{,}81 \,.\, v} \,.\, dW_g$$

Ten wzrost mocy siły obwodowej dokonał się na drodze

$$ds = \frac{D}{2} \,.\, \frac{d\psi}{p}$$

gdzie $d\psi$ podzieliliśmy przez ilość par biegunów $p$ badanego generatora w celu przejścia z kątów elektrycznych do geometrycznych.

Przyrost siły obwodowej na jednostkę długości obwodu wynosi:

$$F = \frac{dP}{ds} = \frac{2 \,.\, p}{9{,}81 \,.\, v \,.\, D} \cdot \frac{dW_g}{d\psi} = A \,.\, \frac{dW_g}{d\psi}$$

Przypuśćmy, że impuls po przesunięciu wirnika o $\sphericalangle d\psi$ znikł tak nagle jak i powstał. Abstrahując narazie od oddziaływania silnika napędowego zauważymy, że wirnik, nie mogąc znaleźć zrównoważenia w swym silniku napędowym, zostaje ściągnięty do pierwotnego swego położenia przez siłę działającą między polem magnetycznem wirnika i przewodami, przez które przepływa prąd twornika.

Siła ta jest równa i wprost przeciwna wzrostowi siły obwodowej wirnika. Siłę tę, proporcjonalną do przyrostu mocy na jednostkę łuku elektrycznego, t. j. do

$$\frac{dW_g}{d\psi} = U_g \,.\, J_z \,.\, \cos\psi$$

czyli

$$F = A \,\frac{dW_g}{d\psi} = A \,.\, U_g \,.\, J_z \,.\, \cos\psi$$

nazywamy przyrostem siły obwodowej $P$ lub siłą synchronizującą obwodową (amplituda). Siła ta pochodzi od zastępczego generatora.

Przyrost mocy $\frac{dW_g}{d\psi}$ nazywamy sprzężeniem generatorów.

Z równania na siłę synchronizującą:

$$F = A \,.\, U_g \,.\, J_z \,.\, \cos\psi = A \,.\, \frac{U_g \,.\, E_g}{x_s} \,.\, \cos\psi$$

widzimy, że:

1°. Siła ta jest wprost proporcjonalna do kwadratu napięcia i cos $\psi$, a odwrotnie proporcjonalna do oporności urojonej (reaktancji) $x_s$ względnie oporności pozornej (impedancji) obwodu obu współpracujących generatorów;

2°. Siła ta jest największą wówczas, gdy $\psi = 0$

$$F_{max} = A \,.\, \frac{U_g \,.\, E_g}{x_s}$$

a więc gdy generator względnie silnik synchroniczny biegnie jałowo;

3°. Siła ta jest tem mniejszą, im bardziej zbliża się do kąta prostego tak, że przy $\psi = 90^0$

$$F_{min} = 0$$

Wówczas najmniejsze nawet zakołysanie wirnika spowodować może wypadnięcie generatora czyteż silnika z taktu, a przecież w normalnej pracy zespołu musimy liczyć się z wahnięciami mogącemi wynosić 12°—15°. Przytem zauważymy, że gdy $\sphericalangle \psi > 90^0$, siła synchronizująca jest ujemna, a więc wówczas nawet wyprowadza ona wirnik z równowagi.

Oczywiście, że zjawienie się tej siły na obwodzie wirnika powoduje powstanie momentu obrotowego, który analogicznie nazywamy momentem synchronizującym lub też momentem kierującym (Direktionskraft).

$$M_s = F \cdot \frac{D}{2} = \tfrac{1}{2} A \cdot D \cdot \frac{U_g \cdot E_g}{x_s} \cdot \cos \psi$$

Jasnem jest, że wszystko to, co mówiliśmy o sile synchronizującej, odnosi się także do momentu synchronizującego.

Widzimy, że każda oporność, wtrącona w obwód generatora zastępczego i rozpatrywanego generatora czyteż silnika synchronicznego, zmniejsza siłę synchronizującą, a więc i moment synchronizujący. Dlategoteż pod tym względem siła alboteż moment synchronizujący są największe wówczas, gdy generatory pracują „krótko", t. j. bezpośrednio na wspólne szyny.

Z tego względu wyłączników ochronnych, t. j. z opornościami wstępnemi nie daje się między generatorami. Natomiast długie sieci, jako wprowadzające dość znaczne oporności pozorne między generatory, zmniejszają siłę i moment synchronizujący. Dla osiągnięcia więc możliwie najpewniejszej współpracy, sieci elektryczne, łączące z sobą poszczególne jednostki wytwórcze, powinny być tak silnie pod względem elektrycznym zbudowane, aby umożliwiały przepływ pomiędzy jednostkami współpracującemi możliwie jaknajwiększych prądów synchronizujących. Ponieważ przepływ tych prądów jest zjawiskiem korzystnem i koniecznem dla utrzymania współpracy w równowadze, przeto skutkiem przepłvwu tego nie powinny reagować zabezpieczenia przeciwprzetężeniowe.

Jak widzimy, wirnik, wyprowadzony z pierwotnego swego miejsca równowagi o $\sphericalangle d\psi$ i pozostawiony sobie, pod wpływem siły synchronizującej wraca do swego pierwotnego położenia. Oczywiście, że pod wpływem tej siły wirnik otrzymał pewne przyśpieszenie zgodnie skierowane z tą siłą. Działaniu przyśpieszenia tego podlegała masa wirnika. Gdy wirnik, cofając się, zajmie swe wyjściowe pierwotne położenie, w którem moment obrotowy silnika napędowego równoważył się z momentem oporu sieci, siła synchronizująca (wartość chwilowa) zniknie. Jednakże mimoto w tej chwili wirnik nie zatrzymuje się, gdyż przechodząc drogę *ds*, zamagazynował w swej masie *„M"* odniesionej do obwodu wirnika pewną energję kinetyczną, która w myśl zasady siły żywej, jest równa:

$$M \frac{dv}{dt} \cdot ds = F \cdot ds = F \cdot \frac{D}{2p} \cdot d\psi$$

We wzorze tym przyjęliśmy, że odchylenie wirnika było bardzo małe tak, że skutkiem tego mogliśmy przyjąć, że cos $\psi$ zmienił się tak mało, że

$$\frac{dW_g}{d\psi} \text{ a więc i siła synchronizująca } F = A \cdot \frac{dW_g}{d\psi}$$

jest wielkością stałą. Mamy więc:

$$M \cdot v \cdot dv = A \cdot U_g \cdot J_z \cdot \frac{D}{2p} \cdot \cos\psi \cdot d\psi,$$

a stąd całkując otrzymamy:

$$M \cdot \frac{v^2}{2} = A \cdot U_g \cdot J_z \cdot \frac{D}{2p} \cdot \sin\psi = C_k \cdot \sin\psi,$$

Porównywując to ze wzorem na siłę synchronizującą:

$$F = A \cdot U_g \cdot J_z \cdot \cos\psi = C_p \cdot \cos\psi$$

widzimy, że gdy siła synchronizująca staje się zerem, to siła żywa jest największa — i odwrotnie, gdy siła synchronizująca jest największa, to siła żywa jest najmniejsza. W ten sposób energja potencjalna zamienia się w energję kinetyczną — i naprzemian energja kinetyczna zamienia się w energję potencjalną.

A więc energja potencjalna, jaką wirnik posiadał w krańcowem swem położeniu, przeszła całkowicie w energję kinetyczną w chwili, gdy wirnik, cofając się, powrócił do swego wyjściowego położenia. Ta nagromadzona w masach wirnika energja nie da się zatrzymać wirnikowi, lecz cofnie go jeszcze bardziej. Ale wraz z rozpoczęciem się dalszego cofania wirnik spotka się z przeciwdziałaniem jednocześnie powstającej i wmiarę dalszego odchylania się wzrastającej siły synchronizującej. Wirnik otrzymuje więc przyśpieszenia ujemne i zatrzymuje się wraz z zanikaniem energji kinetycznej, t. j. wówczas, gdy energja kinetyczna zamieni się znów całkowicie na energję potencjalną. Wirnik więc zatrzymał się na moment tylko, gdyż energja potencjalna natychmiast zaczyna działać i zamieniać się na energję kinetyczną. Tak więc zjawisko to powtarza się znów od początku.

Oczywiście, że kołysania te trwałyby do nieskończoności, gdyby wirnik nie natrafiał na opory tłumiące zarówno mechanicznego pochodzenia, t. j. na tarcie w panewkach i o powietrze, jak i elektrycznego, a więc na indukujące się przy tem kołysaniu prądy wirowe w nabiegunnikach i straty w miedzi w uzwojeniach tłumiących. Toteż po kilkunastu wachnięciach wirnik względnie się zatrzymuje w swem miejscu równowagi, t. j. w miejscu, w którem jego moment obrotowy i moment oporu sieci dokładnie się równoważą. Od tej chwili wirnik znów wiruje ściśle synchronicznie.

Jak widzimy, mamy tu do czynienia z ruchem t. zw. harmonicznym prostym, charakteryzującym się równaniem:

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -\omega^2 \frac{D}{2} \cdot \sin(\omega t + \alpha)$$

W ruchu tym mamy w każdej chwili przyśpieszenie jakiegokolwiekbądź punktu położonego na obwodzie wirnika odwrotnie skierowane do szybkości tego punktu. Normalny ruch obrotowy wirnika pomijamy, jak również pomijamy styczną siłę obwodową wirnika, odpowiadającą obciążeniu generatora w danej chwili.

Skutkiem tego przyśpieszenia powstał dodatkowy moment skręcający $M_{kr}$, który przy momencie bezwładności $J$ wirnika wynosi:

$$M_{kr} = J \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2}$$

gdzie $\alpha = \psi_1 - \psi_z$ jest kątem geometrycznym, o jaki odchylił się wirnik generatora badanego i wirnik generatora zastępczego. Stąd dla generatora 1

$$\frac{d^2 \alpha_{1m}}{dt^2} = \frac{M_{kr}}{J_1} = \frac{M_{kr} \cdot \omega_m^2}{2 \cdot \frac{1}{2} \cdot J_1 \cdot \omega_m^2} = \frac{\omega_m}{2L_1} \cdot \Delta W_{g1}$$

gdzie siła żywa $= \frac{1}{2} J_1 \omega_m^2$ i przyrost mocy $\Delta W_{g1} = M_{kr} \cdot \omega_{m1}$.

Przechodząc teraz z kątów geometrycznych do kątów elektrycznych, napiszemy:

$$\alpha_e = p \cdot \alpha_m ; \quad \omega_e = p \cdot \omega_m$$

$$\frac{d^2 \alpha_1}{dt^2} = \frac{\omega_e}{2 L_1} \cdot (- \Delta W_{g1})$$

i w analogiczny sposób dla generatora zastępczego $z$

$$\frac{d^2 \alpha_z}{dt^2} = \frac{\omega_e}{2 L_z} \cdot (+ \Delta W_{gz})$$

Ponieważ przy kołysaniach tych zawsze jeden z generatorów będzie moc pobierał, a drugi ją wysyłał, przyczem co pół okresu role się zmieniają, to skutkiem tego w powyższych dwóch równaniach przy przyrostach mocy znaki są odwrotne.

Dalej otrzymujemy przez odjęcie, że przyśpieszenie wypadkowe dla obu wirników wynosi:

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} = \frac{d^2 \alpha_1}{dt^2} - \frac{d^2 \alpha_z}{dt^2}$$

Podstawiając w te równania poszczególne wartości dla przyśpieszeń i wyznaczając przyrosty mocy dla każdego z obu generatorów otrzymamy równanie, którego dla braku miejsca nie będziemy wyprowadzali, lecz podamy jedynie ostateczny wynik.

Otóż równowaga współpracy obu generatorów będzie zachowana, o ile generatory wytrącone ze swego stanu pracy ustalonej będą odbywały ruch harmoniczny. Z wyniku dalszych przeróbek równania na $\frac{d^2 \alpha}{dt^2}$ wynika według Dr. Inż. A. Mandl'a, że równanie to będzie wówczas przedstawiało ten ruch, gdy spełniona będzie nierówność:

$$\operatorname{tg} \alpha < \frac{L_z + L_1}{L_z - L_1} \cdot \frac{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}{R}$$

gdzie $L_{z,1} = J_{1,z} \cdot \frac{\omega^2}{2}$ = siła żywa mas wirujących generatora 1 względnie generatora $z$ oraz gdzie $\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = \operatorname{tg} \varphi$, jestto więc tg kąta $\varphi$ zawartego pomiędzy napięciem na zaciskach generatora a prądem przez niego przepływającym. Oporność pozorną $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$ obwodu obu generatorów mierzymy w ten sposób, że mierzymy prąd, jaki przepływa w obwodzie tym, gdy jeden z generatorów nie jest wcale wzbudzony (synchroniczna oporność urojona obu generatorów dodana jest do oporności pozornej sieci). Tak więc wzór przybiera następującą formę:

$$\operatorname{tg} \alpha < \frac{L_z + L_1}{L_z - L_1} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Ze wzoru tego widzimy, że przedewszystkiem na równowagę pracy równoległej wpływają siły żywe zamagazynowane w masach wirujących, a więc momenty rozpędowe $GD^2$.

*I. Przypadek:*

Przypuśćmy teraz, że pracują dwa jednakowe generatory, t. j. że $L_1 = L_z$, wówczas musi być $\operatorname{tg} \alpha < \infty$, a więc $\alpha < 90^0$. Tak więc, aby równowaga pracy równoległej nie była naruszona, bieguny generatorów, biorących udział w tej pracy równoległej, muszą między sobą stanowić kąt mniejszy od $90^0$.

*II. Przypadek:*

Generatorowy moment rozpędowy, odpowiadający sile żywej $L_z$, jest $\infty$, to znaczy, że nieskończenie wielka sieć zasila stosunkowo słaby silnik synchroniczny, wówczas $\operatorname{tg} \alpha < \operatorname{tg} \varphi$.

Czyli musi być

$$\alpha < \varphi$$

aby silnik taki mógł statecznie pracować, $tg\ \varphi$, a więc i $\varphi$ będzie tem większe, im $\omega L$ będzie większe. Stąd wniosek, że stateczość pracy silnika synchronicznego możemy znacznie powiększyć przez włączenie między zaciski silnika a szyny zbiorcze stosownie dobranego dławika. Jednocześnie widzimy, że pojemność sieci osłabia stateczność pracy silnika synchronicznego. Jeżeli $\omega L = 0$,

to

$$\operatorname{tg} \alpha < -\frac{1}{\omega C \cdot R} = \operatorname{tg} \varphi$$

Wówczas warunek równowagi przyjmie postać nierówności:

$$\alpha < \varphi < 0$$

Gdyby natomiast silnik ten pracował na sieć zupełnie skompensowaną, t j. gdy $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$, to $\operatorname{tg}\varphi = 0$, stąd $\varphi = 0$, tak, że

$$\alpha < 0$$

*III. Przypadek:*

Silnikowy moment rozpędowy $GD^2$, odpowiadający sile żywej $L_1$, jest $\infty$, wówczas $\operatorname{tg}\alpha < -\operatorname{tg}\varphi$, a więc musi być

$$\alpha < (180^0 - \varphi) \text{ lub } \alpha < -\varphi$$

aby słaby generator, zasilający bardzo silną sieć, nie wypadł z taktu. Stateczność więc pracy takiego generatora będzie tem większa, im będzie mniejszy $\operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$. Widzimy więc, że oporność indukcyjna w tym przypadku pogarsza stateczność.

Gdyby $\omega L = 0$, to $\operatorname{tg}\varphi = -\frac{1}{\omega C . R}$, i wówczas

$$\alpha < [180^0 - \varphi] \text{ lub } \alpha < -\varphi$$

A więc stateczność współpracy generatora na sieć z przeważającą pojemnością jest tem większa im pojemność jest mniejsza.

Gdy $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$, t. j. gdy mamy do czynienia z siecią skompensowaną, wówczas $tg\ \varphi = 0$ tak, że generator pracować będzie statecznie do granic:

$$\alpha < 180^0$$

*a) Równowaga dynamiczna wewnętrzna.*

Wobec założenia, że generator zastępczy jest bardzo wielki, rozpatrywane przez nas pulsacje siły synchronizującej nie spowodowały ani zmian napięcia na zaciskach tego generatora, a więc wzbudzenie jego pozostało bez zmiany, ani też nie uległa zmianie doprowadzona moc do silników napędowych.

Opisywany przez nas impuls, wyprowadzający wirnik z jego dotychczasowego stanu równowagi, spowodowany może być np. przez nagłe odciążenie lub obciążenie generatora przez odłączenie lub przyłączenie jakiegoś odbiornika. Wahania odbywać się wówczas będą po obu stronach tego miejsca względnego, w którem równoważą się momenty oporu sieci z momentem obrotowym wirnika. Oczywiście, że tego rodzaju zmiany w obciążeniu generatora muszą być stosunkowo niewielkie, aby regulatory energji napędowej nie reagowały, jak również nie ulegało zmianie wzbudzenie generatora. Jeżeli układ współpracujący jest zdolny do przechodzenia w tych warunkach z jednego ustalonego stanu równowagi do drugiego przy nagłej zmianie obciążenia, to mówimy, że układ współpracujący znajduje się w stanie równowagi dynamicznej wewnętrznej.

Jeżeli wahania wirnika są tak niewielkie, że możemy uważać, że siła synchronizująca jest na drodze $s$ wahnięcia wielkością stałą, to całkowita siła, powodująca wahania, jest proporcjonalna do tej drogi:

$$P_s = F \,.\, s$$

Opierając się na tem założeniu, możemy poprowadzić analogję wahnięć wirnika z wahnieniami swobodemi wahadła fizycznego kołowego, płaskiego i możemy znaleźć okres wahnięć wirnika, t. j. czas potrzebny na przebycie drogi punktu wahającego się z położenia wyjściowego do jednego krańcowego położenia i z tego położenia tą samą drogą odwrotnie do drugiego położenia krańcowego i spowrotem do położenia wyjściowego.

Jak wiemy, okres wahnięć takiego wahadła wynosi:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{s \,.\, M}{P_s}}$$

gdzie $s$ — jest najdłuższym odchyłem z położenia równowagi,
$M$ — jestto masa wirnika zredukowana do obwodu wirnika,
$G$ — jestto ciężar „ „ „ „ „
$P_s$ — jestto całkowita siła powodująca wahnięcie.

Podstawiając pod ten wzór wartości poprzednio już przez nas wyznaczone, otrzymamy:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{s \,.\, G}{g \,.\, F \,.\, s}} = 2\pi \,.\, \sqrt{\frac{G}{g} \cdot \frac{1}{A \,.\, \frac{dW_g}{d\psi}}} =$$

$$= 2\pi \,.\, \sqrt{\frac{G}{g} \cdot \frac{1}{\frac{2p}{9{,}81 \,.\, v \,.\, D} \cdot \frac{dW_g}{d\psi}}} = 2\pi \sqrt{\frac{G}{g} \cdot \frac{9{,}81 \,.\, v \,.\, D}{2p \,.\, U_g \,.\, J_z \,.\, \cos\psi}} =$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{G}{g} \cdot \frac{9{,}81 \,.\, \pi D \,.\, n \,.\, D}{2p \,.\, 60 \,.\, U_g \,.\, J_z \,.\, \cos\psi}} = 2\pi \sqrt{\frac{GD^2}{g} \cdot \frac{n}{2p \,.\, 1{,}95 \,.\, U_g \,.\, J_z \,.\, \cos\psi}}$$

a ponieważ częstotliwość $f = \frac{p \,.\, n}{60}$, to

$$T_1 = \frac{2\pi}{p} \sqrt{\frac{GD^2}{g} \cdot \frac{9{,}81 \,.\, \pi \,.\, f}{2 \,.\, U_g \,.\, J_z \,.\, \cos\psi}} = \frac{7{,}88}{p} \sqrt{\frac{GD^2 f}{U_g \,.\, J_z \,.\, \cos\psi}} \text{ sek.}$$

Jestto okres wahnięć własnych wirnika dla prądnic prądu jednofazowego, a dla prądnic prądu trójfazowego:

$$T_3 = \frac{7{,}88}{p} \sqrt{\frac{GD^2 \,.\, f}{1{,}73 \,.\, U_g \,.\, J_z \,.\, \cos\psi}} = \frac{6}{p} \sqrt{\frac{GD^2 \,.\, f}{U_g \,.\, J_z \,.\, \cos\psi}} \text{ sek.}$$

Wzór ten możemy jeszcze napisać:

$$T_3 = \frac{6}{p} \sqrt{\frac{GD^2 \,.\, f \,.\, Z}{U_g \,.\, E_g \,.\, \cos\psi}} \text{ sek}$$

Częstotliwość wahnięć wirnika wynosić będzie:
a) dla generatora jednofazowego:

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{p}{7{,}88}\sqrt{\frac{U_g \,.\, J_z \,.\, \cos\psi}{GD^2 \,.\, f}} \text{ okresów/na 1 sek}$$

b) dla generatora trójfazowego:

$$f_3 = \frac{1}{T_3} = \frac{p}{6}\sqrt{\frac{U_g \,.\, J_z \,.\, \cos\psi}{GD^2 \,.\, f}} = \frac{p}{6}\cdot\sqrt{\frac{U_g \,.\, E_g \,.\, \cos\psi}{GD^2 \,.\, f \,.\, Z}} \text{ okresów/sek.}$$

Czasem pożyteczne są wzory te w nieco odmiennej formie, a mianowicie biorąc pod uwagę, że:

$$U_g \,.\, J_z = \frac{U_g \,.\, J_n \,.\, J_z}{J_n} = W_{g1}\frac{J_z}{J_n}\,1000 = W_{g1} \,.\, k \,.\, 1000$$

gdzie $k$ — jest stosunkiem ciągłego prądu zwarcia przy wzbudzeniu jałowem do nominalnego prądu generatora,
$W_{g1,3}$ — nominalna moc pozorna generatora w kVA jedno- czyteż trójfazowego.
Wówczas

$$T_1 = \frac{0{,}25}{p}\sqrt{\frac{GD^2 \,.\, f}{k \,.\, W_{g1} \,.\, \cos\psi}} \text{ sek.}$$

$$T_3 = \frac{0{,}25}{p}\sqrt{\frac{GD^2 \,.\, f}{k \,.\, W_{g3} \,.\, \cos\psi}} \text{ sek.}$$

oraz

$$f_1 = \frac{p}{0{,}25}\sqrt{\frac{k \,.\, W_{g1} \,.\, \cos\psi}{GD^2 \,.\, f}} \text{ okr/sek.}$$

$$f_3 = \frac{p}{0{,}25}\sqrt{\frac{k \,.\, W_{g3} \,.\, \cos\psi}{GD^2 \,.\, f}} \text{ okr/sek.}$$

W powyższych wzorach podano: $GD^2$ = w kgm²; $U_g$, $E_g$ = w woltach; $J_z$, $J_n$ = w amperach; $W_{g1}$, $W_{g3}$ = w kVA; $p$ = liczba par biegunów, $f$ = częstotliwość, $Z$ = w omach.

*Przykład:*

Istniejący generator (Nr. 6 w Elektrowni w Böhlen).
$W_{g3} = 29\,600$ kVA. $U_g = 6\,300$ woltów,
$p = 1$ para biegunów, $n = 3\,000$ obr/min.
$f = 50$ okresów na sekundę,
$k = \frac{J_k}{J_n} = 0{,}57$ (szczelina powietrzna $\delta = 4$ cm)
$GD^2 = 12\,400$ kgm² (wirnik generatora łącznie z wirnikiem turbiny).

$$T_3 = \frac{0{,}25}{1}\sqrt{\frac{12\,400 \,.\, 50}{0{,}57 \,.\, 29\,600 \,.\, \cos\psi}} = \frac{1{,}515}{\sqrt{\cos\psi}} \text{ sek.}$$

kąt $\psi$ w generatorze tym wynosi:
1) $\sphericalangle \psi = 0^0$ przy biegu jałowym
2) $\sphericalangle \psi = 27^0$ przy obciążeniu i cos $\varphi = 0{,}80$
3) $\sphericalangle \psi = 42^0$ przy obciążeniu i cos $\varphi = 1{,}00$.

Tak więc cos $0^0 = 1$; cos $27^0 = 0{,}891$; cos $42^0 = 0{,}743$. Zachowując więc wyżej oznaczony porządek otrzymamy:

$$T_3 = 1{,}515 \div 1{,}605 \div 1{,}755 \text{ sek.}$$

$$f_3 = \frac{1}{T_3} = 0{,}66 \div 0{,}6225 \div 0{,}569 \text{ okr./sek.}$$

Jak widzimy, częstotliwość czyteż okres drgań własnych wirnika nie jest wielkością stałą, lecz zależną od:

1-o. oporności pozornej (impedancji) $Z$ [wraz z szeregowo włączonemi opornościami indukcyjnemi (reaktancjami) generatora badanego 1 oraz zastępczego $z$] zawartej w obwodzie obu generatorów.

Częstotliwość ta rośnie z malejącym pierwiastkiem kwadratowym z $Z$;

2-o. obciążenia generatora, co wyraża się wielkością $\sphericalangle \psi$. Częstotliwość ta jest największa wówczas, gdy $\sphericalangle \psi = 0^0$. Wówczas generator pracuje jałowo. Częstotliwość ta jest najmniejsza, bo równa zeru, gdy $\sphericalangle \psi = 90^0$. Przy corazto większych obciążeniach przejście generatora z jednego stanu ustalonego do drugiego odbywa się corazto powolniej;

3-o. stopnia wzbudzenia generatora, a więc i od spółczynnika mocy cos $\varphi$, z jakim generator pracuje. Wynika to z rozważań, dotyczących zmiany $\sphericalangle \psi = f\ (i_m)$ przy $W_g = \text{const.}$

Okres kołysań będzie większy dla generatorów pracujących prądem wyprzedzającym, a mniejszy dla pracy przy prądzie nieprzesuniętym w fazie. Okres przy pracy prądem nieprzesuniętym w fazie będzie znów większy niż przy pracy prądem opóźnionym. Stąd wynika bezpośredni wpływ pojemności sieci elektrycznych kablowych, oraz napowietrznych długich i o bardzo wysokich napięciach na czas przechodzenia z jednego stanu ustalonego do drugiego. Im większa jest pojemność, tem sprzężenie generatora jest słabsze, tem dłuższy jest okres wahnięć własnych wirnika.

Przy współpracy elektrowni możność regulacji wzbudzenia oraz rozdziału obciążeń czynnych i biernych nie może być pozostawiona woli poszczególnych kierowników elektrowni, lecz musi być podporządkowana decyzji C. B. R. O.;

4-o. od szczeliny w generatorze, gdyż wraz ze zmianą szczeliny zmienia się prąd zwarcia $J_z$;

5-o. od wielkości momentu rozpędowego $GD^2$.

Jak wiemy, moc wydawana przez generator na szyny zbiorcze, wyrażona jest wzorem:

$$W_s = \left[ \frac{U_s \cdot E_w}{Z} \cdot \sin \Psi \right] \text{ watów,}$$

gdzie

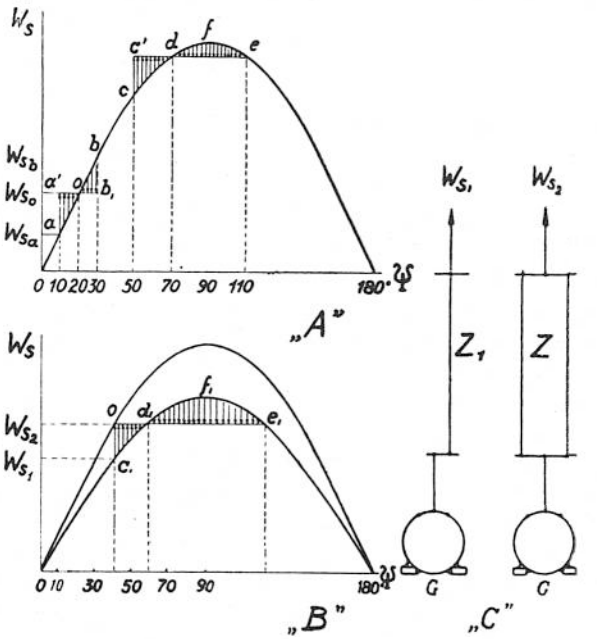
$U_s$ — jest napięciem na szynach zbiorczych w woltach.

$E_w$ — jest SEM-ną generatora od pola wirnika w woltach,

$Z$ — jest opornością pozorną (impedancją) obwodu stojana i sieci doprowadzającej do szyn zbiorczych w omach,

$\Psi$ — jest kątem przesunięcia faz SEM-nej „$E_w$" względem napięcia $U_s$.

Tak więc zależnie od kąta odchylenia wirnika wielkość mocy ma przebieg sinusoidalny o max. amplitudzie $\frac{U_s \cdot E_w}{Z}$; rys. 65 „A" przedstawia właśnie ten przebieg. Wyobraźmy sobie, że generator znajduje się w stanie pracy ustalonej, scharakteryzowanej w punkcie „$o$" współrzędnemi $W_{so}$




Rys. 65. Moc oddana $W_s = f(\sin \Psi)$.

i $\Psi = 20^0$. Jeżeli teraz skutkiem chwilowego impulsu wirnik odchylił się z $20^0$ do np. $30^0$, a więc moc jego wynosi obecnie $W_{sb}$ watów, to skutkiem tego powstała całkowita siła synchronizująca

$$k\left[W_{so} - W_{sb}\right] = -\left(F \cdot s\right) \text{kg} = \left(b\,b' \cdot k\right) \quad \text{gdzie } k = \frac{1}{9{,}81 \cdot v}$$

$v$ = jestto szybkość obwodowa wirnika, a $s$ = jestto droga $ob$, tak krótka, że możemy założyć, że na jej długości siła synchronizująca jest wielkością stałą. W punkcie $b$ powinna działać siła obwodowa $P = k \cdot W_{sb}$. jednakże wirnik, dzięki silnikowi napędowemu, rozporządza jedynie siłą obwodową $k \cdot W_{so} < k \cdot W_{sb}$, skutkiem tego równowagi oczywiście niema tak, że pod działaniem różnicy tych sił czyli pod działaniem całkowitej siły synchronizującej wirnik musi wrócić do punktu $o$. Lecz w tej chwili masy wirujące zamagazynowały w sobie max. siły żywej, która popędzi jeszcze dalej wirnik aż do położenia „$a$". W punkcie tym siła żywa zużyje się cał-

kowicie na pokonanie powstającego przytem i przeciwdziałającego jej przyrostu siły synchronizującej, który w punkcie tym osiąga wielkość:

$$+F.s = a'a.k; \quad k.[W_{so} - W_{sa}] = +F.s = aa.k$$
$$k.W_{so} = +[k.W_{sa} + F.s]$$

a więc w tym przypadku całkowita siła synchronizująca uzupełnia moc generatora dla zrównoważenia reakcji sieci. Pod wpływem tej siły wirnik zajmie położenie „o", odpowiadające tej reakcji. Zajęcie tego położenia oczywiście odbywa się z pewnem przyśpieszeniem, a więc wirnik ma znów pewien zasób siły żywej tak, że zjawisko powtarzać się będzie tak długo, dokąd cała siła żywa nie zużyje się w oporach, natrafianych podczas tych przebiegów.

Jak widzimy, krańcowy punkt odchylenia „b" daleki jest od granicy statycznej równowagi pracy, dlategoteż wahania te, wywołujące pulsację energji między generatorami, nie szkodzą nam w utrzymaniu równowagi pracy równoległej. Inaczej jednakże sprawa ta przedstawia się, gdy maszyna synchroniczna pracuje w ustalonym stanie już wpobliżu swej granicy równowagi, np. w p. „d".

Jak widzimy, wówczas sprzężenie między generatorami jest słabe, a więc i przyrost siły synchronicznej jest mały. Temu samemu impulsowi chwilowemu w punkcie „d" odpowiadać będzie większe odchylenie wirnika niż w punkcie „o". Ustalenie nowego stanu równowagi będzie corazto wolniejsze i słabsze.

Ciekawe jest dla nas zdanie sobie sprawy z tego co się stanie, gdy krańcowe odchylenie wirnika „e" leży na tej samej poziomej, co i wyjściowe położenie „d". Obu tym punktom odpowiadają jednakowe moce. A więc czy wirnik powróci do swego wyjściowego punktu „d", czyteż dalej będzie pracował w stanie równowagi chwiejnej? Jak wiemy, siła synchronizująca wyraża się wzorem:

$$F = K.\cos\psi, \quad \text{gdzie } K = \frac{2p}{9{,}81.v.D}.U_g.J_z$$

przy 90°, a więc w p. „f" siła ta jest równa zeru.

Po przekroczeniu tego punktu przyrost siły obwodowej na jednostkę obwodu będzie ujemny, gdyż

$$F = K.\cos.(90 + \psi) = -K.\cos\psi$$

Począwszy więc od tej chwili, całkowita siła synchronizująca będzie malała wmiarę dalszego wysuwania się wirnika tak, że w p. „e" zniknie. Odcinek poziomy „d"—„e" jest proporcjonalny do drogi „s" pracy siły synchronizującej. Linje pionowe, ograniczone z jednej strony tym odcinkiem, a z drugiej krzywizną sinusoidy $d\,f\,e$, są proporcjonalne do siły synchronizującej. Powierzchnia $d\,e\,f\,d$ przedstawia więc w pewnej skali pracę siły synchronizującej. Analogicznie powierzchnia $d\,c'\,c\,d$ przedstawia energję kinetyczną mas wirujących. Siła synchronizująca musi zdławić energję kinetyczną; jeżeli więc powierzchnia $d\,f\,e\,d > d\,c'\,c\,d$, to równowaga będzie stała i wirnik powróci do punktu „d". Natomiast przy powierzchni $d\,f\,e\,d$ mniejszej energja kinetyczna nie byłaby zniszczona i skutkiem tego spowodowałaby dalsze wysunięcie się wirnika.

Począwszy więc od p. „e", wobec ujemnych przyrostów siły obwodowej, siła żywa i całkowita siła synchronizacyjna działałyby zgodnie na wirnik, powodując gwałtownie rosnące wysuwanie go i, co za tem idzie, wytrącenie generatora z taktu.

Z poprzednich rozważań wiemy, że moc

$$W_s = \frac{E_s \cdot E_w}{Z} \cdot \sin \Psi$$

Amplituda sinusoidy jest więc zależna od oporności pozornej (impedancji) Z. Zatem przy każdej zmianie tej oporności otrzymamy nową sinusoidę. Przypuśćmy, że generator znajduje się w ustalonym stanie pracy, określonym współrzędnemi p. „o" na rys. 65 „B". Schemat tej pracy przedstawiony jest na rys. 65 „C", przyczem generator pracuje zapośrednictwem 2 linij równolegle załączonych tak, że oporność pozorna całego obwodu wynosi Z. Z rys. 65 „B" widzimy, że p. „o" znajduje się daleko od granicy statycznej równowagi. Nie mamy więc wątpliwości co do pewności równowagi pracy.

Przypuśćmy, że z jakichkolwiek powodów odłączono jedną z równoległych linij tak, że praca odbywa się już z opornością pozorną większą, a mianowicie wynoszącą $Z_1$. Skutkiem tego praca generatora charakteryzować się będzie sinusoidą o mniejszej amplitudzie. Z rys. 65 „B" widzimy, że aby generator mógł i teraz pokonać reakcję sieci, wirnik jego musi przesunąć się naprzód do położenia $d_1$, odpowiadającego mocy $W_{s_2}$. Przejście do nowego stanu pracy odbywać się będzie oczywiście wahadłowo. Widzimy, że po odłączeniu jednej linji generator, pracując już na niższej sinusoidzie, pracuje z równowagą mniej pewną niż poprzednio. Oczywiście, jeżeli nowa sinusoida, odpowiadająca oporności pozornej $Z_1$, będzie niska, to skutkiem odłączenia jednej linji równowaga pracy równoległej musi być naruszona i generatory muszą wypaść z taktu.

Jak widzimy, zmieniona konfiguracja linji, a co za tem idzie, zmiana oporności pozornej linji, ma wielki wpływ na utrzymanie pracy zespołu w równowadze i dlategoteż zmiany te nie mogą być dokonywane również z woli indywidualnej, lecz jedynie z dyspozycji C. B. R. O.

*b) Równowaga dynamiczna zewnętrzna:*

Do tej pory rozpatrywaliśmy wahnięcia stosunkowo tak niewielkie, że maszyny napędowe nie brały udziału w ustalaniu równowagi. Znacznie niebezpieczniejsze są oczywiście te wahnięcia, które wywołują interwencję maszyn napędowych.

Jeżeli więc równowagę utrzymujemy dzięki tej interwencji bez względu na to, czy interwencja ta polega na zmianie mocy napędowej, czy na zmianie SEM-ej $E_w$, pochodzącej od strumieni wirnika, a więc dzięki zmianie wzbudzenia generatora, to równowagę taką, jako utrzymaną dzięki interwencji sił zewnętrznych, nazywamy równowagą dynamiczną zewnętrzną. Oczywiście, że interwencja ta nadchodzi z pewnem opóźnieniem skutkiem bezwładności wszelkiego rodzaju automatów, regulatorów, przekaźników, pomocniczych silników i t. d. Dlategoteż mówimy o bezwładności przejmowania mocy przez poszczególne generatory.

Naogół wahnięcia wirnika są dla ruchu zespołu równolegle pracującego zjawiskiem korzystnem, gdyż masy wirujące odgrywają rolę zupełnie podobną do roli koła rozpędowego. Gdybyśmy np. wprowadzili do wirnika masywne nabiegunniki lub w nabiegunnikach umieścili klatkę z miedzianych prętów, to indukujące się w nich prądy Foucault'a stłumiłyby te drgania.

Rzeczywiście posiłkujemy się tem urządzeniem. Jeżelibyśmy w tłumieniu tem jednak przeholowali i dali je zbyt wielkie, to pulsacje energji mogłyby wzrosnąć tak bardzo, że ruch byłby niemożliwy do utrzymania, gdyż masa wirująca nie mogłaby ani magazynować nadmiaru przypadkowo lub okresowo doprowadzonej do niej energji, ani też stopniowo jej oddawać. Wyrównywanie energji odbywałoby się więc gwałtownie. Otrzymywalibyśmy tak raptowne i wielkie udary prądu, że ruch byłby połączony z wstrząsami, podobnie jak jazda pojazdem nieresorowanym po kamienistej i wyboistej drodze.

Skoro więc należy liczyć się z temi wahaniami, to starać się musimy pracę generatorów tak regulować, aby mimo tych wahnięć nie przekroczyć statycznej granicy równowagi.

Licząc się więc z wielkością wahnięć, która może być nawet bardzo duża, np. przy zwarciach lub nagłych i znacznych odciążaniach, staramy się nie przekroczyć następujących przesunięć faz napięcia początkowego czyteż SEM-nej do napięć końcowych:

a) dla generatorów $\sphericalangle \psi \leqq 30^0$ (stopnie elektryczne)
b) „ transformatorów $\sphericalangle \beta \leqq 11^0$
c) „ sieci $\sphericalangle \alpha \leqq 22^0$

Wielkość poszczególnych tych kątów dobieramy tak, aby suma tych wszystkich kątów wraz z $\sphericalangle \delta$, zależnym od odległości, na którą przesyłamy energję elektryczną, nie przekroczyła:

$$\Psi \leqq 40^0 \div 45^0$$

Wówczas najcięższy z warunków równowagi, t. j. $\alpha = \psi_2 - \psi_1 \leqq 90^0$, będzie spełniony i posiadać będziemy pewien zapas na wytrzymanie wahnięć wirników.

Według Rüdenberga $\sphericalangle \Psi = 42^0$ odpowiada spowodowanemu prądem mocnym indukcyjnemu spadkowi napięcia w wysokości ok. 66% napięcia zdawczego. W większości przypadków ten spadek napięcia rozkłada się jak następuje:

| | |
|---|---|
| Na stojan generatora 1 . . . . | 12% |
| „ transformator I . . . . . | 10% |
| „ linję . . . . . | 22% |
| „ transformator II . . . . . | 10% |
| „ stojan generatora 2 . . . . . | 12% |
| Razem . | 66% |

Na linję przypada więc przeciętnie około 22% całkowitego indukcyjnego spadku napięcia, co odpowiada $\sphericalangle \alpha = 12—15^0$.

Przy bardzo dalekich transportach energji $\sphericalangle \Psi$ ogranicza moc, którą moglibyśmy przesłać. Celem usunięcia tego ograniczenia posiłkujemy się t. zw. systemem Baum'a, który polega na tem, że całą drogę transportową dzielimy na pewną ilość odcinków, niekoniecznie równych, o długościach 100—250 km, w których ustawimy generatory bezmocne. Dzięki temu, jak przekonamy się w dalszym ciągu, można dowolnie kompensować przesunięcia faz, spowodowane prądami bezmocnemi.

Jeżeli w zespole będziemy mieli maszynę synchroniczną, której moment obrotowy podczas każdego obrotu zmienia się perjodycznie, np. silniki napędowe, tłokowe, pompy i sprężarki tłokowe, to maszyny te powodują rozkołysanie się wirników generatorów. Tego rodzaju kołysanie się wirników nazywamy kołysaniem wymuszonem. Jeżeliby się tak zdarzyło, że częstotliwość tych kołysań wymuszonych byłaby równa częstotliwości kołysań któregokolwiekbądź generatora, to wówczas mamy do czynienia z rezonansem wahań. Wirnik o tej samej częstotliwości drgań własnych, stale w takt podbijany, osiągnąłby wkrótce tak wielką amplitudę odchylenia, że albo wypadłby z taktu, albotéż powodowałby okresowe powstawanie tak wielkich prądów wyrównawczych, że utrzymanie normalnego ruchu elektrycznego nie byłoby możliwe. Dlategoteż częstotliwość $f_s$ wymuszonych drgań żadnego z silników tłokowych nie może być równą częstotliwości żadnego z wirników $f_1, f_2, f_3 \ldots f_n$. — Taksamo żadna z częstotliwości wymuszonych pochodnych nie może być im równą, czyli:

$$n \cdot f_s < f_1, f_2, f_3 \ldots f_n$$

gdzie „$n$" jest liczbą całkowitą. — Praktycznie

$$n \cdot f_{s\,\min.} = 0{,}80\ (f_1, f_2, f_3 \ldots f_n).$$

Jeżeli np. zespół pracuje z pełnem zrównoważeniem, a nagle przyłączonoby np. silnik synchroniczny, napędzający sprężarkę tłokową, i częstotliwość drgań wymuszonych byłaby zbliżona mniej niż o $15 \div 20\%$ do częstotliwości drgań własnych wirnika którejkolwiekbądź pracującej maszyny synchronicznej, to równowaga mogłaby być naruszoną. Przeciwko temu bronimy się bądźto zaopatrywaniem silników synchronicznych w urządzenia tłumiące, jak np. masywne nabiegunniki, bądźteż zmianę jednego z czynników decydujących o częstotliwości drgań własnych, o których mówiliśmy poprzednio.

Dla uspokojenia więc pracy równoległej może być skuteczne: włączenie przed generator lub silnik odpowiednio dobranego transformatora lub dławika (zmiana oporności pozornej), zmiana masy wirującej (zmiana $GD^2$), zmiana szczeliny (zmiana $J_z$), wreszcie znieczulenie regulatora dopływu energji napędowej przez odpowiednie przytłumienie go.

Do tej pory mówiliśmy o wirnikach z niewydatnemi biegunami, przyczem przy rozważaniach pominęliśmy czynny spadek napięcia i pominęliśmy zmiany stanu magnetycznego w zależności od $\sphericalangle \psi$. Przy biegunach wydatnych oporność bierna twornika znacznie się zmienia wraz ze zmianą $\sphericalangle \psi$. Pominąć jej już nie możemy tak, że o ile poprzednio (rys. 54) miejscem geometrycznem wierzchołków prądu, przy $i_m = \text{const}$ i $\psi$ zmiennym, był obwód koła o promieniu $E_w$, o tyle teraz tem miejscem geometrycznem będzie krzywa czwartego rzędu, znajdująca się ekscentrycznie wewnątrz

koła opisanego promieniem $E_w$. Skutkiem tego max. moc, wydawana przez generator, przypada tu na $\sphericalangle \psi$, który musi być nawet dość znacznie mniejszy od 90° tak, że w tym przypadku przyrost mocy $\frac{dW_g}{d\psi}$ mamy większy niż poprzednio, a więc i okres wahnięć swobodnych krótszy.

## F. Regulacja napięcia w sieciach.

Przy rozwoju sieci elektrycznych tak nadzwyczajnym, że pokrywają one przestrzenie o dziesiątkach i setkach tysięcy kilometrów kwadratowych, przy przesyłaniu energji elektrycznej na wielkie odległości oraz przy współpracy wielu elektrowni niełatwą jest rzeczą utrzymanie w sieciach napięcia stale jednakowego, a raczej wahającego się tylko bardzo nieznacznie tembardziej, że w sieciach prąd elektryczny, zanim dostanie się do odbiorcy, jest wielokrotnie transformowany, a zmiany w obciążeniu następują w sieciach stale w szerokich granicach i w różnym czasie rozmaicie w różnych częściach sieci.

Wpływ wysokości napięcia na trwałość żarówki jest nam znany. Przyjmując według badań firmy Osram, iż przy napięciu znamionowem, t. j. $U = 100\%$, trwałość żarówki $t = 100\%$, to przy $U = 105\%$ $t = 55\%$, przy $U = 110\%$ $t = 30\%$, przy $U = 115\%$ $t = 20\%$, przy $U = 120\%$ $t = 10\%$. Z drugiej strony wprawdzie przy $U < 100\%$ $t$ bardzo szybko rośnie, bo naprzykład przy $U = 95\%$ wynosi $t = 220\%$, to jednakże strumień świetlny $\Phi$, wychodzący z żarówki, znacznie wówczas maleje, gdyż przy $U = 100\%$ $\Phi = 100\%$, przy $U = 95\%$ $\Phi = 83\%$, przy $U = 90\%$ $\Phi = 67\%$, a przy $U = 85\%$ $\Phi = 52\%$.

Co się tyczy silników, to moment rozruchowy i moc silników zmieniają się proporcjonalnie do kwadratu napięcia. Szczególnie czułe na zmiany napięcia w sieci są papiernie i przemysł włókienniczy.

Pozatem jeżeli przypomnimy sobie, jak wielki wpływ na rozpływ energji i równowagę pracy całego zespołu mają spadki napięcia, to zdamy sobie sprawę z nadzwyczajnej ważności tego zagadnienia, które jako doniedawna jeszcze nierozwiązane tworzyło przeszkodę w urzeczywistnieniu planów elektryfikacyjnych na szerszą skalę. Jednak dzięki nadzwyczajnym wysiłkom umysłowym ostatnich lat problem ten jest o tyle szczęśliwie rozwiązany, że nie jest on już nieprzezwyciężoną przeszkodą w realizacji nawet najśmielszych planów elektryfikacyjnych.

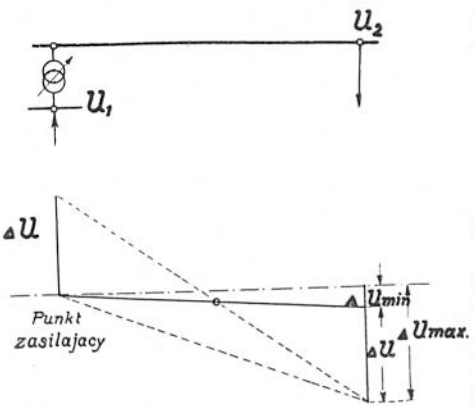
Napięcie ma wpływ: 1) wogóle na umożliwienie stosowalności prądu elektrycznego, a to ze względu na wymaganą stałość napięcia, 2) na pewność ruchu ze względu na rolę, jaką w warunkach równowagi pracy równoległej odgrywa faza napięć w sąsiadujących z sobą węzłach sieci, 3) na gospodarność przesyłania energji ze względu na wpływ, jaki napięcie wywiera na rozpływ mocy czynnej i biernej oraz związane z tem konsekwencje. Wobec powyższego regulacja napięcia w całym zespole musi być skoncentrowana tylko w jednych rękach i musi odbywać się według planu, uzgadniającego wszystkie zależności z regulacją w danem miejscu i w danej chwili.

*Metody i systemy regulacji.*

Jeżeli w punkcie zasilania (rys. 66) mielibyśmy stałe napięcie, to na końcu linji, zasilanej przez ten punkt, przy jałowym ruchu linji (prof. L. Kadrnozka), otrzymujemy już pewien spadek napięcia równy $\Delta U_{min}$, który przy największem obciążeniu linji osiąga wielkość $\Delta U_{max}$. Jeżelibyśmy więc pragnęli utrzymać napięcie w punkcie odbiorczym $U_2 = \text{const.}$, to na początku linji, t. j. w punkcie zasilającym, napięcie powinno się zmieniać w granicach:

$$U_{1\,max} - U_{1min} = (U_1' + \Delta U_{max}) - (U_1' + \Delta U_{min}) = \Delta U_{max} - \Delta U_{min}$$

Stosownie do tej różnicy spadków napięcia muszą być dobrane przekroje przewodów, przyczem tego spadku napięcia nie możemy przekroczyć bądźto ze względów wyżej podanych, bądźteż ze względu na odbiornik lub warunki umów albo uprawnień.



Rys. 66. Idea regulowania napięcia.

Stosunek:

$$p = \left( \frac{\Delta U_{max} - \Delta U_{min}}{U_2} \cdot 100 \right) \%$$

nazywamy stopniem regulacji linji. W urządzeniach, w których do regulacji posiłkujemy się zmianą wzbudzenia generatora, zwykle: $p \leqslant (10 - 15)\,\%$, a wyjątkowo tylko: $p \leqslant (20 - 22)\,\%$. Użycie do regulacji linji innych sposobów, o których będzie mowa niżej, pozwala na stosowanie wyższego stopnia regulacji linji.

Lepsze wyzyskanie miedzi przewodowej osiągniemy, jeśli przeniesiemy stałość napięcia z punktu odbioru do pewnego środkowego punktu danego odcinka. Można to uczynić przez odpowiednie podniesienie napięcia w punkcie zasilającym. Dokonywamy tego zwykle w ten sposób, że napięcie w punkcie zasilającym powiększa się o spadek napięcia na końcu. Dzięki temu przewody wyzyskuje się tak, jakgdybyśmy dopuszczali w nich podwójny dopuszczalny spadek napięcia; w ten sposób otrzymać możemy równomierniejsze napięcie na sieci. Ponieważ spadek napięcia jest zmienny i zależny od obciążenia, przeto wraz ze zmianą obciążenia musi odbywać się także zmiana napięcia.

Celem ułatwienia dalszych rozważań zwrócimy uwagę na rys. 22 „e". Spostrzeżemy, że dla prądu trójfazowego napięcie skojarzone wynosi:

$$U_1 = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{(U_2 \cos \varphi_2 + \sqrt{3} \,.\, J \,.\, R)^2 + (U_2 \sin \varphi_2 + \sqrt{3} \,.\, J \,.\, \omega L)^2}$$

gdzie oporność rzeczywista $R$ jednego przewodu o długości 1 km i przekroju $s$ mm² oraz o oporności właściwej $\rho$ Ω/mm² i 1 km jest równa $R = \rho \frac{1}{s}$ Ω; dla miedzi twardej przy 15°C $\rho = 17{,}8$ Ω/mm² i 1 km. Induk-

cyjność: $L = \left[0{,}5 + 2 \,.\, ln \,.\, \left(\frac{d}{r}\right)\right] . 10^{-4}$ H/1 km i 1 przewód, gdzie $d$ jest średnią odległością między przewodami w cm, natomiast $r$ jest promieniem przewodu w cm; szybkość kątowa $\omega = 2\pi f = 314$. Spadek napięcia czynny $\sqrt{3} \,.\, J \,.\, R$ jest w sieciach dalekonośnych mały w stosunku do spadku napięcia indukcyjnego $\sqrt{3} \,.\, J \,.\, \omega L$. Dlategoteż zmianą przekroju przewodów niewiele uzyskamy. Regulację napięcia odbiorczego $U_2$ możemy osiągnąć zasadniczo trzema sposobami: 1) regulacją napięcia na generatorze, t. j. $U_1$, 2) zapomocą napięć dodawczych, 3) dzięki zmianie $\sphericalangle \varphi$, a więc dzięki zmianie spółczynnika mocy. Pierwszy z wyżej wymienionych sposobów, stosowany osobno, może zadowolić jedynie wymagania miejscowe i to w niewielkich granicach.

Zmianę napięcia możemy uzyskać:

*I. metodą indukcyjną*, a więc zapomocą napięć dodawczych i to sposobem ciągłym dzięki systemowi transformatorów regulacyjnych, t. j. 1) pokrętnych, 2) suwakowych, alboteż odpowiednio małemi skokami zapośrednictwem transformatorów regulacyjnych, 3) przełączalnych lub 4) z zaczepami zmienianemi pod obciążeniem;

*II. metodą kompensacyjną*, a więc przez zmianę cos $\varphi$, w sposób najbardziej dokładny 1) systemem sztucznym, a więc skokami zapomocą dławików, a następnie w sposób ciągły zapomocą maszyn wirujących i to zarówno synchronicznych, jak i asynchronicznych, t. j. zapomocą kompensatorów, 2) systemem naturalnym, 3) systemem wyrównawczym.

Ze względów ekonomicznych stosuje się często kombinację metody I i II, gdyż dzięki użyciu wchodzących tu w grę transformatorów z zaczepami, zmienianemi pod obciążeniem, łącznie z kompensatorami, które w takiej kombinacji można stosować znacznie mniejsze tak, że koszt inwestycyjny regulacji wydatnie się obniży. Do skombinowanej w ten sposób regulacji napięcia używa się czasem, w pewnych przypadkach, regulacji napięcia na generatorze.

Każdy system regulacji napięcia musi odbywać się pod obciążeniem i może być dokonywanym automatycznie, ręcznie lub zapośrednictwem sterowania zdalnego.

Ponieważ zawsze względy techniczne muszą być w zgodzie ze względami ekonomicznemi, przeto regulatory napięcia nie mogą być ustawione w każdym punkcie zasilającym, lecz tylko w tych, które odpowiednio do zastosowanego systemu regulacji wynikną z ogólnego rozplanowania napięć w całej sieci.

Rozpatrzymy pierwszą z dopieroco podanych metod:

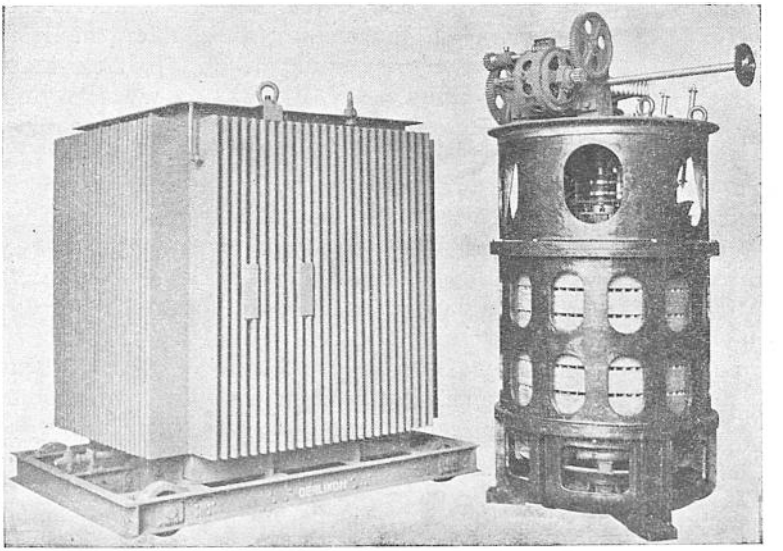
### *I. Metoda indukcyjna.*

Należy zauważyć że przy tej metodzie można dokonywać regulacji napięcia albo na końcu linji alboteż na jej początku. W pierwszym przypadku regulacja ma za zadanie utrzymywanie napięcia odbiorczego w wysokości stałej (const.), a w drugim wyrównanie (compound) strat i spadków napięć, występujących w danej linji. Zarówno w pierwszym jak i w drugim przypadku idea regulowania jest ta sama.

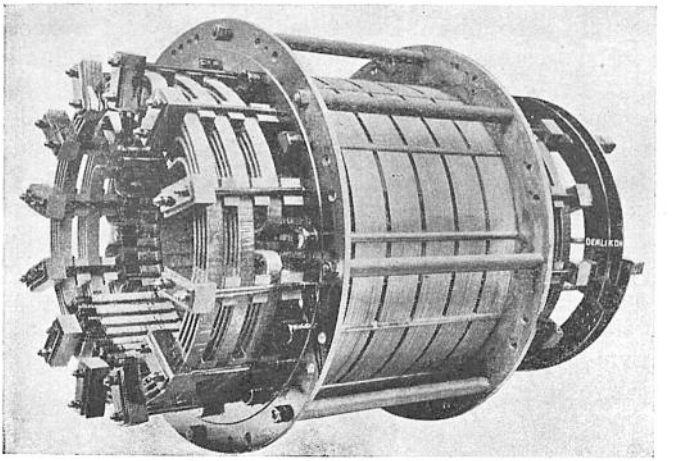
1. Transformatory regulujące pokrętne.

(a. Induction Regulator, f. transformateur tournant, n. Drehstromtransformatoren, Potentialregler).

Działanie tansformatorów tych jest oparte na znanej zasadzie asynchronicznego silnika z unieruchomionym wirnikiem (rys. 67, 68 i 69). Stojan



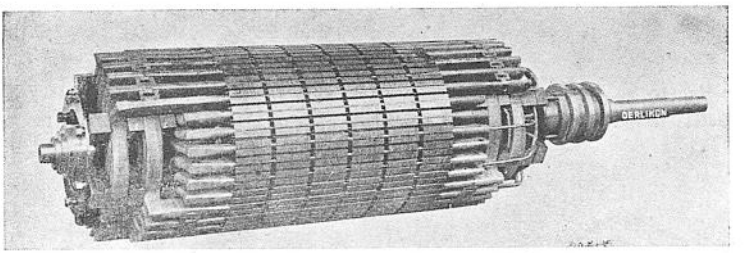
Rys. 67. Transformator regulacyjny pokrętny, wyjęty z kadzi olejowej.



Rys. 68. Stójnik transformatora regulacyjnego pokrętnego.

transformatora połączony jest szeregowo z siecią. Pokręcając wirnikiem, przeprowadzamy geometryczne dodawanie napięcia wirnika $U_z$ do napięcia szyn zbiorczych $U_k$ punktu zasilającego. A więc zasadniczo zmiana na-

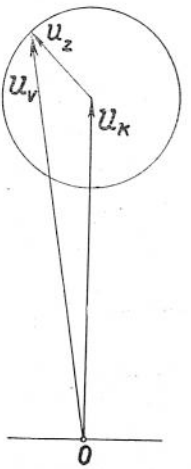
pięcia odbywa się z jednoczesną zmianą faz pomiędzy napięciem $U_k$ a zregulowanem napięciem sieci $U_v$. Miejscem geometrycznem napięć zregulowanych $U_v$ jest więc okręg koła, zatoczonego napięciem wirnika $U_z$ naoko-



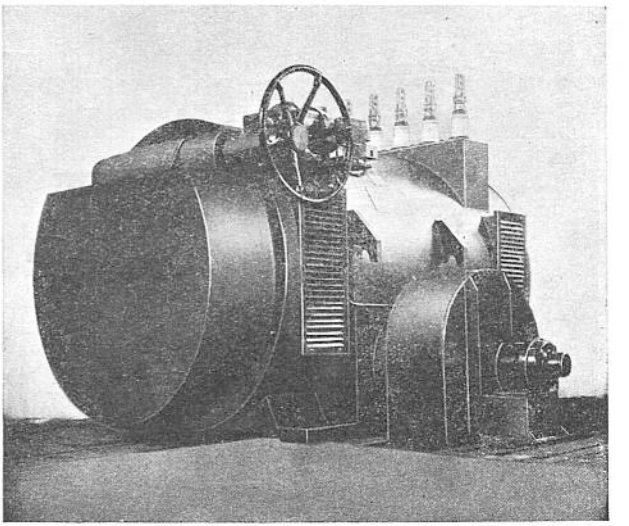
Rys. 69. Wirnik transformatora regulacyjnego pokrętnego.

ło wierzchołka wektora napięcia regulowanego $U_k$ (rys. 70). W ten sposób wpływamy na zmianę spadku napięcia zarówno podłużnego $\Delta U$, jak i poprzecznego $\delta U$.

Transformatory te cieszą się szczególnem uznaniem w Ameryce, gdzie obsługują 80% ogółu wtórnych sieci z regulacją napięcia. Stosowalność ich




Rys. 70. Regulacja napięcia pod obciążeniem zapomocą transformatora pokrętnego.



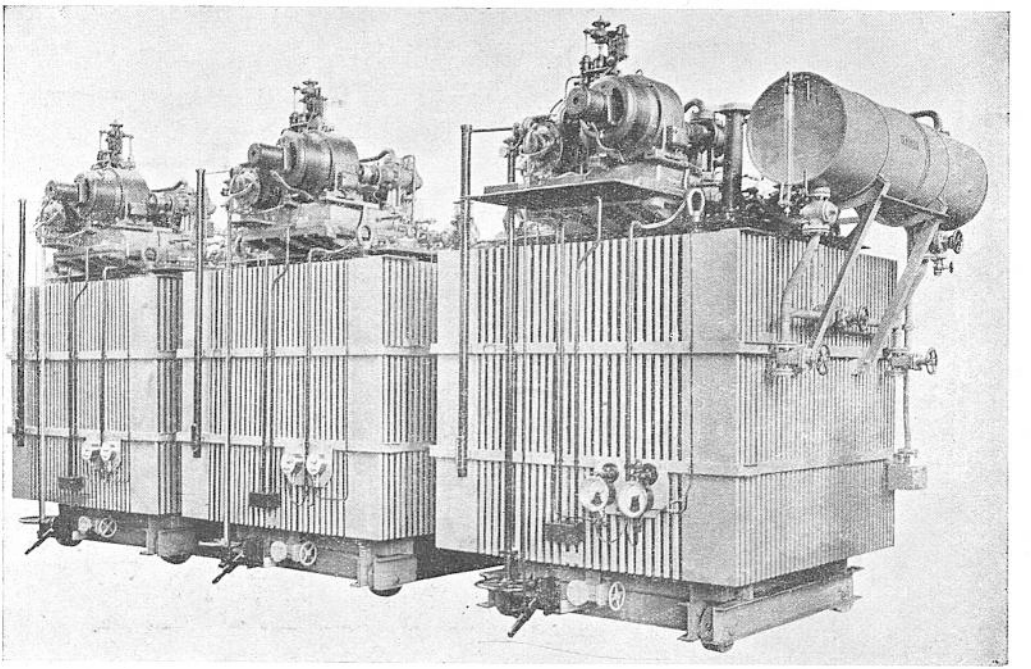
Rys. 71. Transformator regulacyjny pokrętny o mocy pożornej 15 000 kVA, dla zakresu regulacyjnego 6 — 6,6 kV.

jest jednakże ograniczona przedewszystkiem ich słabą wytrzymałością na zwarcia. Zasadniczo nie stosujemy ich również dla wielkich mocy przełykowych, chociaż ostatnio zbudowano taki transformator dla mocy przełykowej 15 000 kVA przy regulacji od 6 do 6,6 kV (rys. 71) (Sachsenwerk).

Granicą bezpośredniego włączania do sieci tych transformatorów jest 10 kV. Przy napięciach do 15 kV uzwojenie wtórne, t. j. przełykowe, włącza się jeszcze bezpośrednio na napięcie sieci, natomiast uzwojenie pierwotne

już zapośrednictwem specjalnego transformatora wzbudzającego. Przy jeszcze wyższych napięciach należałoby stosować specjalne transformatory izolujące i wzbudzające. Oczywiście mamy wówczas potrójne koszty, straty i potrójne komplikacje tak, że stosowanie transformatorów pokrętnych dla napięć wyższych niż 15 kV może się odbywać tylko w specjalnych przypadkach.

Dla regulacji napięcia zapomocą transformatorów pokrętnych posiłkujemy się silniczkiem, widocznym na rys. 72, sterowanym bezpośrednio i prze-

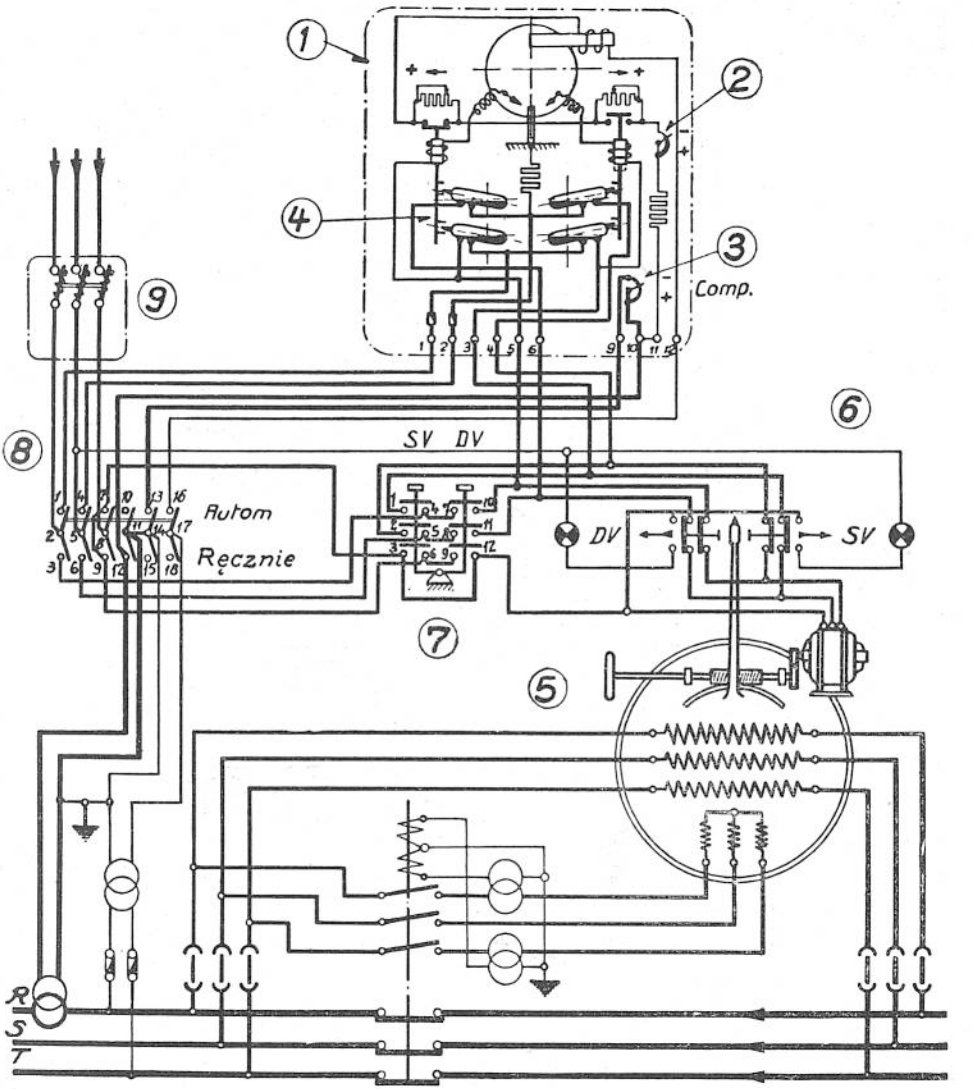


Rys. 72. Transformator regulacyjny pokrętny, zmontowany

ważnie z nastawni. Co do szybkości regulacji napięcia, to wymieniony poprzednio transformator pokrętny 15 000 kVA wymaga pół minuty czasu na przejście z 6 000 V poprzez 6 600 V znowu na 6 000 V.

Na rys. 73 widzimy schemat samoczynnej regulacji napięcia zapomocą przekaźnika typu JS firmy Oerlikon, a na rys. 74 fotografję tego przekaźnika. Celem poznania zasady działania tego urządzenia zwróćmy uwagę na schemat. Otóż na krążek Ferraris'a działają dwa magnesy, przedstawione na schemacie jako jeden, natomiast obydwa widoczne są na rys. 74. Uzwojenia tych magnesów przyłączane są do transformatora napięciowego miernikowego, dołączonego do napięcia regulowanego. Te dwa magnesy wywierają więc na krążek pewien moment skręcający, który w przypadku, gdy napięcie zmierzone jest równe napięciu przepisowemu, jest zrównoważony odpowiednim ciężarkiem i sprężyną regulacyjną (niewidoczną na rysunku). Zależnie od tego, czy napięcie regulowane jest wyższe czyteż niższe od

przepisanego, krążek obraca się odpowiednio wlewo lub wprawo, powodując zwarcie się kontaktu bądźto lewego bądźto prawego z kontaktem środkowym. W ten sposób odpowiedni elektromagnes uruchamia zapomocą prze-




Rys. 73. Schemat samoczynnej regulacji napięcia przekaźnikiem typu JS zapomocą transformatora regulacyjnego pokrętnego:

1—przekaźnik JS; 2—opornik do nastawiania napięcia; 3 — opornik do kompoundowania; 4—przekaźniki rtęciowe do uruchamiania serwomotoru: 5—transformator regulacylny pokrętny z serwomotorem; 6 - przełącznik końcowego wychylenia z lampką sygnałową; 7—przełącznik przyciskowy; 8 — przełącznik na regulację samoczynną lub ręczną; 9 — doprowadzenie prądu do urządzenia sterowniczego i serwomotoru.

kaźników rtęciowych 4 — serwomotor 5 regulatora indukcyjnego wprawo lub wlewo. Czułość tego przekaźnika jest bardzo duża, gdyż reaguje on na zmiany napięcia, wynoszące ± 0,5%. Aby jednak uchronić urzą-

dzenie od kołysań, krążek Ferraris'a zaopatrzony jest w tłumik płynny, widoczny na rys. 74, a oprócz tego przekaźnik posiada elektryczne urządzenie odwodzące, składające się z dwóch oporników, z których każdy włączony jest w obwód magnesów napięciowych, napędzających krążek Ferraris'a. Jeden z tych oporników, a mianowicie znajdujący się na lewej stronie schematu, zwarty jest wówczas, gdy przekaźnik jest w równowadze, i włącza się w obwód wtedy, gdy krążek zwiera lewy kontakt. Drugi opornik, widoczny po prawej stronie schematu, włączony jest w obwód magnesu przy



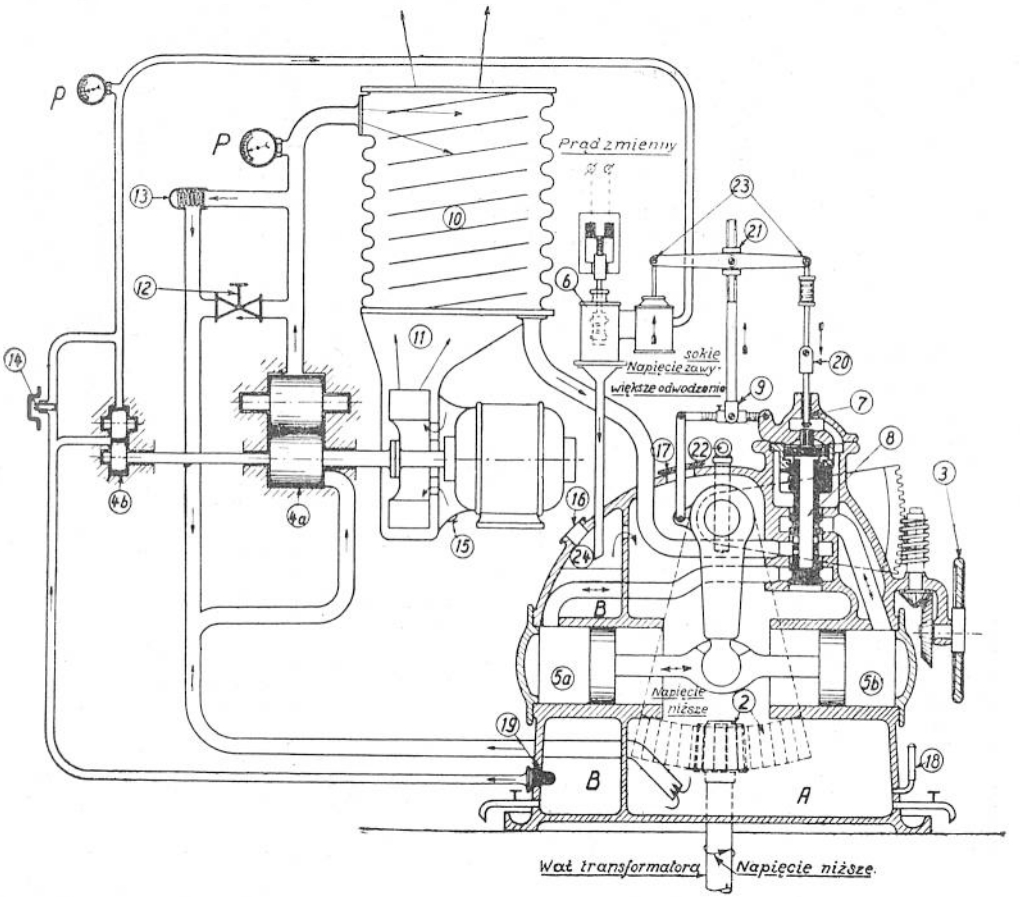
Rys. 74. Przekaźnik dla samoczynnej regulacji, typ JS firmy Oerlikon.

równowadze, a zwarty, gdy krążek zwiera prawy kontakt. Oporności tych oporników są tak dobrane, że przy małych zmianach napięcia moment skręcający tak się zmienia, że krążek wraca do środkowego położenia. Stosując dla urządzenia odwodzącego pewne opóźnienie, zależne od szybkości przechodzenia z zaczepu na zaczep, można użyć ten sam przekaźnik do sterowania regulacji napięcia zapomocą transformatorów z zaczepami, zmienianemi pod obciążeniem.

Wreszcie należy zauważyć, że przekaźnik ten można uzależnić nie od napięcia, ale np. od natężenia prądu, mocy czynnej i t. d., z czego korzystamy przy samoczynnej regulacji przepływu mocy. Gdyby moment skręcający, wywierany na płytkę, był porównywany z momentem skręcają-

cym, nie pochodzącym od ciężarka i sprężynki, lecz pochodzącym od drugiego systemu pomiarowego, to otrzymalibyśmy przekaźnik t. zw. różnicowy, którym posiłkujemy się naprzykład przy sterowaniu regulatorów indukcyjnych dla utrzymania pewnego stałego cos $\varphi$ w przewodach dwóch współpracujących z sobą zakładów wytwórczych.

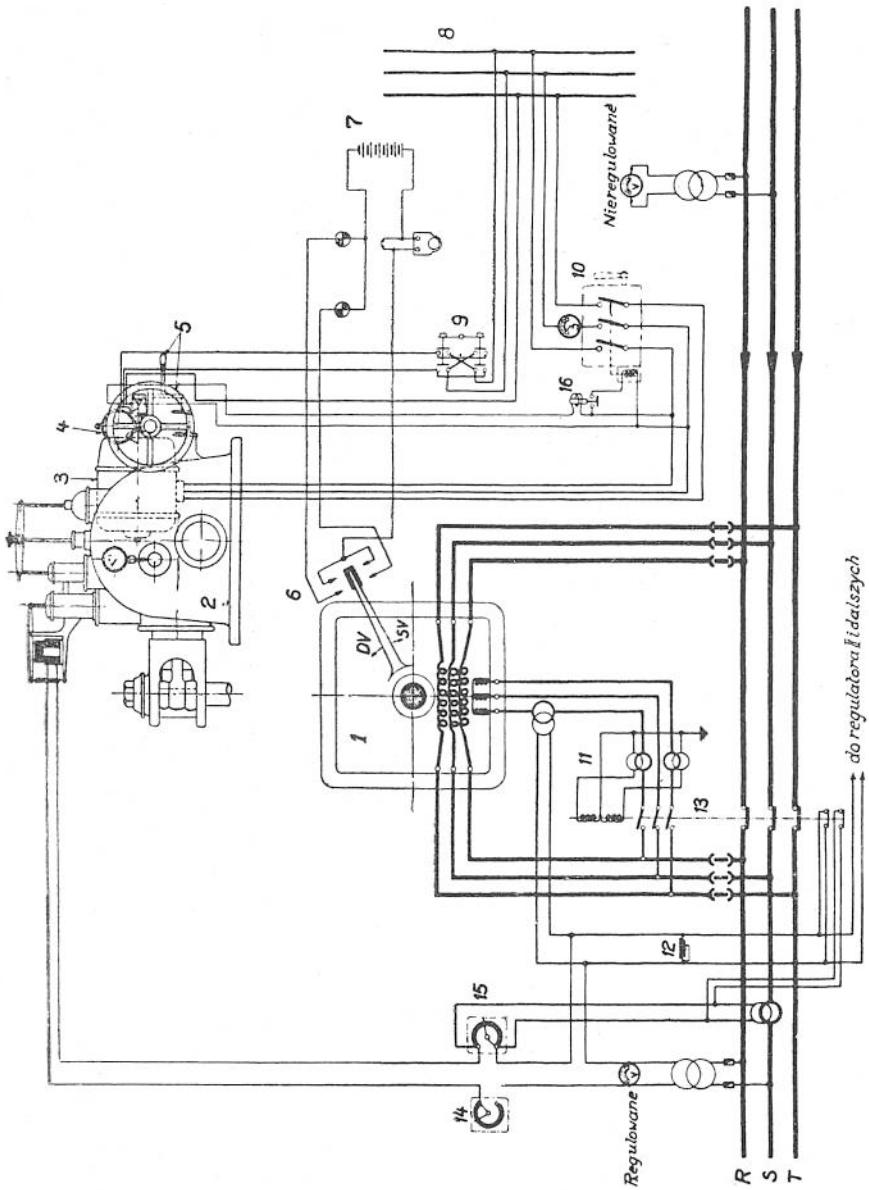
Wyżej opisany sposób samoczynnej regulacji napięcia stosuje się zazwyczaj przy użyciu stosunkowo niewielkich transformatorów regulacyj-




Rys. 75. Mechaniczny schemat olejowego sterowania regulacji napięcia zapomocą transformatora regulacyjnego pokrętnego.

nych pokrętnych. Natomiast większe tego rodzaju transformatory reguluje się zapomocą sterowania olejowego. Na rys. 75 widzimy mechaniczny schemat tej regulacji, natomiast rys. 76 przedstawia jej schemat elektryczny, a rys. 77 pokazuje transformator regulacyjny pokrętny z wbudowanym samoczynnym regulatorem napięcia. Ponieważ schemat elektryczny nie wymaga bliższego wyjaśnienia, zajmiemy się bliżej schematem mechanicznym. Urządzenie to składa się z elektromagnesu 6, czułego na zmiany napięcia regulowanego. Magnes ten zmienia ciśnienie w pomocniczym obiegu olejo-

wym, składającym się ze zbiornika oleju B, filtru olejowego 19, pompki pomocniczej 4*a* i przewodu powrotnego 24. Skutkiem występujących zmian ciśnienia olejowego zmiany napięcia w sieci przenoszą się zapomocą dźwig-

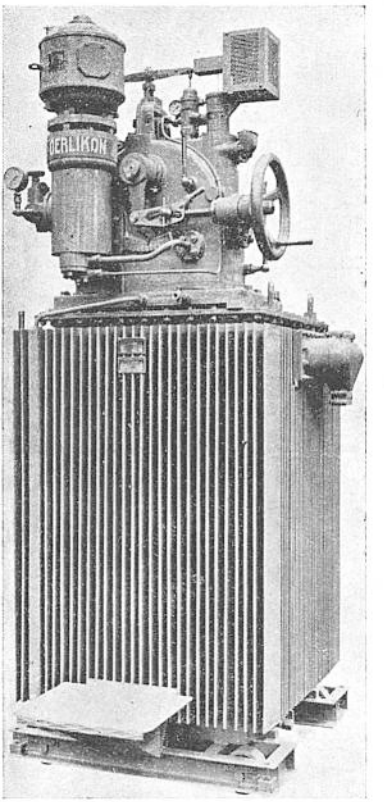



Rys. 76. Elektryczny schemat olejowego sterowania regulacji napięcia zapomocą transformatora regulacyjnego pokrętnego:

1 — transformator regulacyjny pokrętny; 2 — regulator napięcia o sterowaniu olejowem; 3 — pompy olejowe: główna i pomocnicza; 4—silnik, sterowany zdala; — 5 przełącznik na regulację ręczną i koło regulacyjne ręczne; 6 — łącznik sygnalizacji położenia krańcowego; 7 — bateria dla sygnalizacji; 8 — Źródło prądu pomocniczego; 9 — przełącznik przyciskowy; 10 - wyłącznik z zabezpieczeniem nadmiarowem cieplnem; 11 — urządzenie zabezpieczające wirnik; 12 — urządzenie równoważące dla pracy równoległej; 13 — przełącznik; 14 — opornik do nastawiania napięcia; 15 — opornik do kompoundowania; 16 — przekaźnik ochronny.

ni 23 i urządzenia sterowniczego pomocniczego 7 na główny zawór sterowniczy 8, który stosownie do tych zmian wpuszcza olej bądźto do cylindra 5*a*, bądźteż do cylindra 5*b*. Do cylindrów tych wchodzi olej obwodu olejowego

głównego, który stanowią: zbiornik olejowy A, pompa główna 4 *a*, chłodnica oleju 10 i 11, zawór główny 8 i oczywiście cylindry 5 *a* i 5 *b*. Ruchy tłoków w cylindrach 5 *a* i 5 *b* przenoszą się zapomocą zębatego segmentu 2 na oś wirnika transformatora pokrętnego. Pompy napędzane są wspólnym silnikiem 15. Przyrząd zaopatrzony jest w mechanizm odwodzący 9 — 21. Wrazie potrzeby można dokonywać regulacji ręcznie zapomocą ręcznego koła i odpowiedniej przekładni 3—22. Dla zabezpieczenia silnika przed przeciążeniem wstawiono zawór 13, utrzymujący odpowiednie ciśnienie w rurociągach. Przyrząd ten reaguje na zmiany napięcia, począwszy od $\pm$ (0,2—0,3) %. Na dokonanie zmiany napięcia poprzez całkowity zakres regulacyjny potrzeba czasu od 1,5 do 5 sekund. Przyrząd ten, podobnie jak i poprzednio rozpatrywany, może reagować na zmiany napięcia mierzone zdala. W tym celu posiłkujemy się *kompoundowaniem.*




Rys. 77. Transformator regulacyjny pokrętny z wbudowanym samoczynnym regulatorem napięcia o sterowaniu olejowem.

Czasem stosuje się równoległą pracę kilku transformatorów pokrętnych, jednak w tym przypadku piętrzą się zazwyczaj duże trudności, związane z koniecznością pokręcania wirników wszystkich równolegle pracujących transformatorów równocześnie dokładnie o ten sam kąt. Nawet bezpośrednie mechaniczne połączenie wirników nie wystarcza, aby tę dokładność zachować, i zachodzi potrzeba stosowania skomplikowanych urządzeń.

Przez połączenie dwóch transformatorów pokrętnych w szereg można jedną wspólną regulacją osiągnąć zmianę napięcia bez zmiany faz wektorów napięcia, t. j. wpłynąć na zmianę $\Delta U$, przyczem jednak wrazie zastosowania w tym przypadku indywidualnej regulacji dla każdego transformatora zosobna nie wyklucza się możności dokonywania zmiany faz, t. j. poprzecznego spadku napięcia $\delta U$.

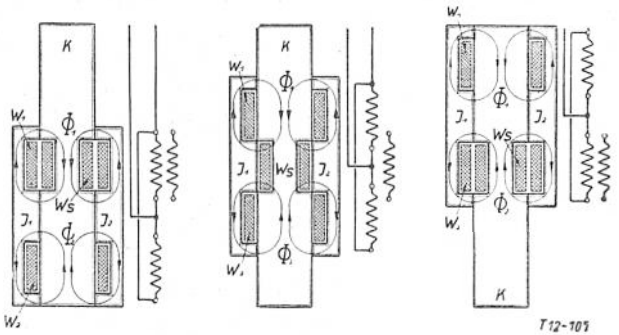
## 2. Transformatory regulujące suwakowe.

(*n.* Schubtransformatoren).

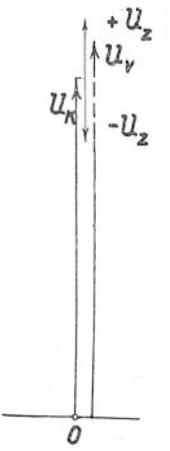
Transformatory te, wynalezione przed kilku laty i budowane przez firmę Koch & Sterzel, pozwalają na ciągłą podłużną zmianę napięcia. Transformator suwakowy należy do indukcyjnych regulatorów napięcia: jestto transformator typu płaszczowego. Posiada on (rys. 78) dwa uzwojenia pierwotne $W_1$ i $W_2$ o jednakowej szerokości, umieszczone w płaszczu przesuw-

nym $J_1$ oraz $J_2$ na jego krańcach w ten sposób, że środek płaszcza o szerokości jednego całego uzwojenia jest wolny. Każde z tych uzwojeń wytwarza strumień magnetyczny $\Phi_1$ oraz $\Phi_2$ o przeciwnych kierunkach. W środek rdzenia $K$, który jest nieruchomy, wpuszczone jest uzwojenie wtórne $W_s$, również o tej samej szerokości co uzwojenie pierwotne. Mamy więc trzy uzwojenia, z których dwa pierwotne $W_1$ i $W_2$ są przeciw sobie połączone i obejmują sobą koncentrycznie rdzeń K.

Przez przesuwanie płaszcza uzwojenie wtórne poddaje się pod działanie jednego ze strumieni magnetycznych uzwojenia pierwotnego. Zależnie więc od wzajemnego położenia uzwojeń — uzwojenie wtórne znajduje się pod działaniem całkowitego strumienia magnetycznego jednego z uzwojeń pierwotnych, jak widzimy na rys. 78 „a" i „c" albo części tego strumienia, aby wreszcie w położeniu środkowem znalazło się w jednakowej mierze

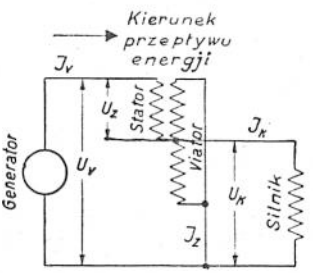



Rys. 78. Idea transformatora suwakowego.




Rys. 79. Regulacja napięcia pod obciążeniem zapomocą transformatora suwakowego pojedynczego.

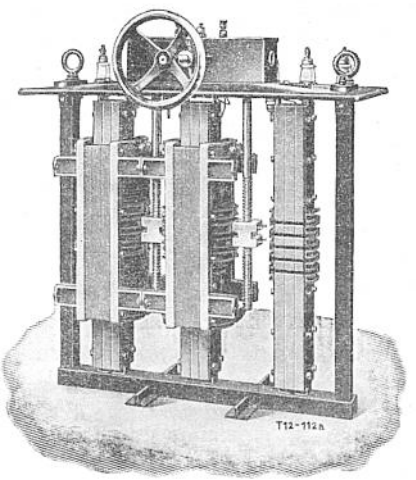
pod działaniem zarówno jednego jak i drugiego pola (oba pola są sobie przeciwne) (rys. 78). Przy dalszem przesuwaniu uzwojenie wtórne coraz bardziej jest poddawane przeważającemu działaniu pola, które ma odwrotny kierunek. Widzimy więc, że dzięki takiemu przesuwaniu w uzwojeniu wtórnem otrzymujemy napięcie, którego wektor tworzy prawie kąt równy zeru lub 180° z wektorem napięcia pierwotnego. Wektor napięcia wtórnego $U_z$ może więc bez przesunięcia fazy maleć ze swej maksymalnej wielkości stopniowo aż do zera, poczem rośnie aż do swej maksymalnej wielkości, lecz znaku odwrotnego (rys. 79). W ten sposób napięcie o stałej wysokości $U_k$ może się zmieniać do wysokości $U_v = U_k \pm U_z$ lub odwrotnie: napięcie zmieniającego się $U_v$ można zamienić na $U_k = \text{const}$. Rozwiązanie tego ostatniego przypadku widzimy schematycznie na rys. 80, natomiast rys. 81 pokazuje transformator suwakowy w montażu.



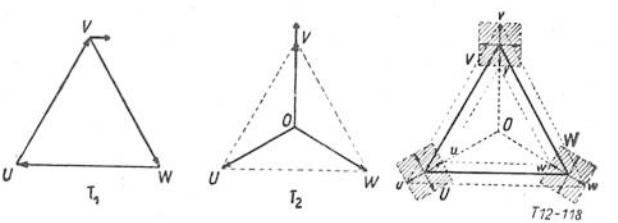

Rys. 80. Ideowy schemat połączeń transformatora suwakowego jako regulatora napięcia $U_k = \text{const}$.

Cewki dzięki swej konstrukcji, dają dostateczną pewność wielkiej wytrzymałości na siły dy-

namiczne prądów zwarcia. Aby rozproszenie utrzymać w granicach możliwie najmniejszych oraz aby ustalić jego stałość podczas wszelkich wzajemnych położeń uzwojeń pierwotnych i wtórnych, a w szczególności dla uniknięcia wzrostu rozproszenia w pośrednich położeniach uzwojeń, t. j. gdy uzwojenie pierwotne obejmuje tylko częściowo uzwojenie wtórne, zastosowano uzwojenia pomocnicze w środkowej części płaszcza, o której poprzednio wspominaliśmy, że jest wolna, a uzwojenia pierwotne objęte są specjalnemi uzwojeniami wyrównawczemi.



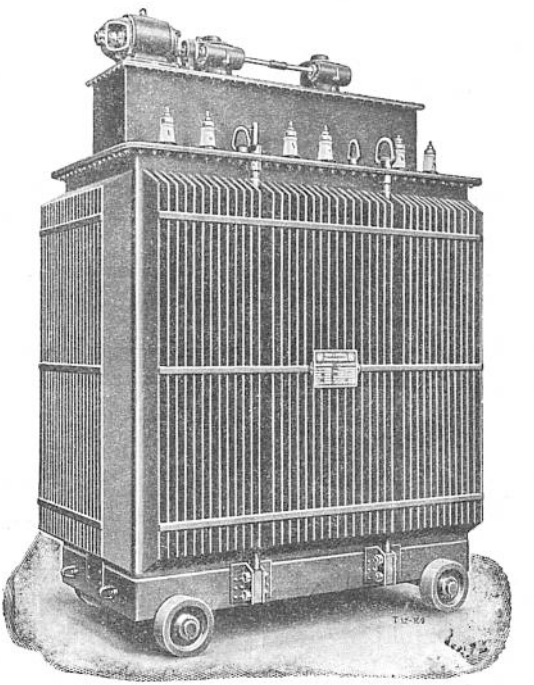
Rys. 81. Trójfazowy transformator suwakowy w montażu.




Rys. 82. Wektorowy wykres napięć dla bliźniaczego transformatora suwakowego.

Na całkowity przebieg zmiany wektora napięcia z maksymalnej jego wielkości do takiej samej wielkości znaku odwrotnego potrzeba 1—2 minut czasu.

Transformator suwakowy może być wykonany również tylko dla jednokierunkowej zmiany wektorów. Przez zastosowanie dwóch transformatorów suwakowych, w których uzwojenie pierwotne jednego z nich (rys. 82 $T_1$) jest połączone w trójkąt, a drugiego (rys. 82 $T_2$) w gwiazdę, wektor napięcia dodatkowego uzwojenia gwiazdowego możemy dodać geometrycznie do wektora napięcia dodatkowego z uzwojenia trójkątowego. Te dwa wektory dodatkowe, stojąc do siebie pod kątem $90^0$, zmieniają się od pewnej ustalonej dla danych warunków maksymalnej wielkości napięcia dodatkowego do takiej samej wielkości, lecz odwrotnego znaku. Dzięki temu



Rys. 83. Widok zewnętrzny kompletnie zmontowanego transformatora trójfazowego suwakowego, typ DRTO-1250, (6±1) kV.

wypadkowy wektor regulacyjny może fazę swoją zmieniać w stosunku do wektora regulowanego w granicach od 0 do 360°. W ten sposób wektory główne możemy przesuwać w fazie w stosunku do wyjściowego ich położenia. Taka bliźniacza kombinacja pozwala więc na używanie transformatora suwakowego nietylko do regulacji napięcia, lecz i do zmiany fazy, skutkiem czego mamy ułatwiony wpływ na przepływ energji i zmianę jej kierunku.

Uzwojenie pierwotne, t. j. w płaszczu, łączy się w sieć szeregowo i przy mniejszych typach buduje się je do 6 kV, a przy większych do 15 kV. Dla napięć wyższych stosuje się dodatkowe transformatory. Uzwojenie nieruchome w rdzeniu buduje się do 6 kV.

Pod względem wytrzymałości dynamicznej przy prądach zwarcia transformator suwakowy stoi wyżej od transformatora pokrętnego i od transformatorów, regulujących skokami, które pod tym względem są osłabione kontaktami wyłącznika powietrznego.

Transformatory suwakowe, tak jak wogóle transformatory płaszczowe, cechuje duża waga żelaza, dlategoteż ich prąd magnesowania jest większy o około 50% od prądu tego w transformatorach rdzeniowych; jest on jednak znacznie mniejszy niż w transformatorach pokrętnych, które zużywają go najwięcej ze względu na szczelinę powietrzną. Transformatory suwakowe podobnie, jak i pokrętne wymagają przy wyższych napięciach dodatkowych transformatorów izolujących i wzbudzających.

Przesuwanie płaszcza odbywa się zapomocą małego silnika (rys. 83), uruchamianego z nastawni.

### 3. Transformatory regulujące przełączalne.

*(n.* Zusatztransformatoren).

Ponieważ do sieci wyższych napięć bezpośrednio nie przyłącza się takich odbiorników, jak np. przetwornice, silniki komutatorowe, specjalne piece dla celów chemicznych czyteż metalurgicznych i t. d., które to odbiorniki nie znoszą wahań napięcia, wychodzących poza pewne szczupłe granice, przeto sieci o tych wyższych napięciach możemy regulować dość dużemi skokami. W tym przypadku sieci okręgowe muszą oczywiście przejąć na siebie obowiązek dodatkowej precyzyjnej regulacji bezpośredniego napięcia użytkowego.

Przy regulacji napięć zapomocą specjalnych transformatorów nie można przeprowadzać żadnych zmian w obwodzie prądu głównego, lecz tylko w obwodzie wzbudzającym, w którym mamy do czynienia tylko z małemi prądami.

Firma SSW do zmian napięć dużemi skokami stosuje transformator, w którym zmianę napięcia uzyskuje się przez zmianę połączeń transformatora regulacyjnego zapomocą specjalnego układu połączeń i odpowiednich wyłączników olejowych na trójkąt $\pm \frac{1}{2} \Delta U$ lub gwiazdę $\pm \Delta U$. Licząc w tem położenie środkowe, mamy pięć stopni regulacji, to jest $+\Delta U, +\frac{1}{2}\Delta U, \pm 0, -\frac{1}{2}\Delta U, -\Delta U$. Przez zastosowanie dwóch transformatorów przełączalnych otrzymujemy dalsze cztery stopnie regulacji, czyli łącznie dziewięć.

Oczywiście przy stopniach, odpowiadających połączeniu w trójkąt, otrzymujemy zmianę napięcia z jednoczesnem przesunięciem fazy napięcia zregulowanego do napięcia regulowanego. Z transformatorów przełączalnych możemy korzystać tylko w tych szczególnych przypadkach, w których nagła zmiana napięcia dość dużemi skokami nie grozi naruszeniem równowagi pracy lub innemi zakłóceniami pracy sieci.

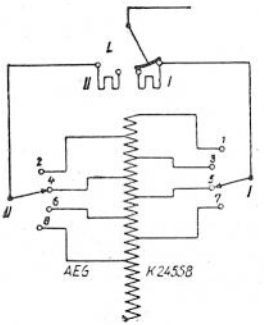
4. Transformatory regulacyjne z zaczepami, zmienianemi pod obciążeniem.

(*a.* transformer with regulating tappings, *n.* Stufentransformatoren, unter Last schaltbare Transformatoren).

Znacznie mniejszemi skokami, aniżeli w przypadku poprzednio rozważonym, możemy regulować napięcie zapomocą transformatorów z zaczepami. Regulacja ta polega tylko na zmianie podłużnego spadku napięcia $\Delta U$. Transformatory te oparte są na zasadzie, że napięcia pierwotne i wtórne mają się tak do siebie, jak ilości zwojów, t. j. $U_1 : U_2 = z_1 : z_2$. Przyłączając lub odłączając zapomocą zaczepów pewne grupy zwojów, zmieniamy skokami napięcie po wtórnej stronie transformatora. Jeżeli wtórne uzwojenie transformatora połączone jest w gwiazdę, to zaczepy zazwyczaj są założone w punkcie gwiazdkowym tego uzwojenia tak, że w ten sposób zmieniamy jakgdyby punkt zerowy. Pierwotnie dokonywano przejścia z jednych zaczepów na drugie w ten sposób, że dany transformator na chwilę wyłączano z pracy, zaczepy zmieniano w zwykły sposób, poczem transformator dołączano do pracy równoległej z innemi transformatorami. Powstający wówczas prąd wyrównawczy, płynący między danym transformatorem a transformatorami pozostałemi, skutkiem różnicy przekładni, starano się ograniczyć przez stosowanie wysoko dobranej w danym transformatorze induktancji rozproszenia. W ten sposób przełączano kolejno wszystkie transformatory. Sposób ten w Ameryce rozwinięto w metodę t. zw. Parallel windings method, polegającą na tem, że w bardzo wielkich transformatorach przy bardzo dużych natężeniach prądu stosuje się podwójne uzwojenia, równolegle z sobą połączone. Przy rozpatrywanej metodzie przełączania uzwojenia te na jednym końcu są z sobą połączone bezpośrednio, a na drugim zapomocą szyn zbiorczych, do których każdą gałąź osobno przyłącza się zapośrednictwem wyłącznika olejowego. Każda z tych gałęzi ma osobne zaczepy, dokładnie z sobą dobrane. Normalnie obie gałęzie pracują równolegle przy połączeniu na ściśle odpowiadającej sobie parze zaczepów. Pragnąc przejść na inne zaczepy, Amerykanie odłączają jedną z gałęzi wyłącznikiem olejowym i zmieniają zaczep bezprądowo, lecz pod napięciem, poczem wyłącznik włączają. W tym czasie obie gałęzie pracują więc z różną ilością zwojów, lecz tylko na chwilę aż do odłączenia drugiej gałęzi i przeprowadzenia w niej takiej samej zmiany zaczepów. Sposób ten, znany w Ameryce również pod nazwą „Split conductor method", jest tam częściej spotykany niż w Europie. Jestto sposób daleki od ideału, toteż wspominamy o nim raczej ze względu na historyczne jego znaczenie.

Przejście z jednych zaczepów na drugie pod obciążeniem odbywa się zapomocą przełącznika powietrznego o specjalnej konstrukcji, który przy wyższych napięciach ma kontakty zanurzone w oleju celem gaszenia iskier

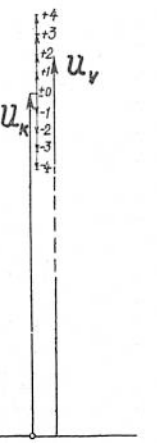
przy tem powstających. Taki przełącznik powietrzny ustawia się tuż obok transformatora. Bywa on także wykonywany jako całkowicie olejowy i wówczas ustawia go się również obok transformatora; może on jednak stanowić też z transformatorem jedną całość, zanurzoną we wspólnej kadzi olejowej.




Rys. 84. Idea zaczepów przełączalnych pod obciążeniem.

Zmianę punktu zerowego dokonywamy, przechodząc wyłącznie kolejno z zaczepu na zaczep w ten sposób, że zwieramy najpierw przyłączaną grupę uzwojeń przez pewną oporność, najczęściej indukcyjną ze względu na mniejsze rozmiary, a rzadziej czynną lub też kombinowaną z obu dopieroco wymienionych oporności taką oporność, aby obciążenie zwartych zwojów utrzymać w granicach dopuszczalnych, poczem oporność tę odłączamy, lecz dopiero wtedy, gdy jest już dokonany kontakt z nowym zaczepem.

Tego rodzaju przełączanie transformatora objaśnimy na przykładzie, posiłkując się przytem rys. 84, który przedstawia układ połączeń jednej z faz. Linja znajduje się pod napięciem, odpowiadającem 5-mu zaczepowi, gdyż I część przełącznika $L$ połączona jest z linją. Pragniemy podnieść napięcie linji. W tym celu II część przełącznika łączymy z zaczepem 4, następnie przełącznik $L$ spina środkowe kontakty, łącząc temsamem w szereg opornik I i II. Mamy więc na chwilę część zwojów, zawartą między zaczepami 4 i 5, zwartą poprzez oporności, połączone z sobą w szereg. Przy przesuwaniu obecnie w tym samym kierunku przełącznik $L$ schodzi ze środkowego kontaktu opornika I, przerywając temsamem obwód zwarty, a jednocześnie wchodzi on na zewnętrzny kontakt opornika I. W ten sposób linja pracuje już pod wyższem napięciem. Gdybyśmy pragnęli poddać linję pod jeszcze wyższe napięcie, to I część przełącznika należy teraz połączyć z zaczepem 3 i t. d. Schemat ten urzeczywistniono w praktyce w ten sposób, że wszystkie trzy części przełącznika poruszają się dzięki jednemu wspólnemu wałowi, który, obracając się w jedną stronę, zachowuje poprzednio opisany porządek łączeń, odpowiadający podwyższaniu napięcia, a obracając się w odwrotnym kierunku, odwraca ten porządek tak, że wówczas następuje obniżenie napięcia w linji. Regulację napięcia można więc przeprowadzić w stosunku do napięcia regulowanego zarówno wgórę jak i wdół (rys. 85).

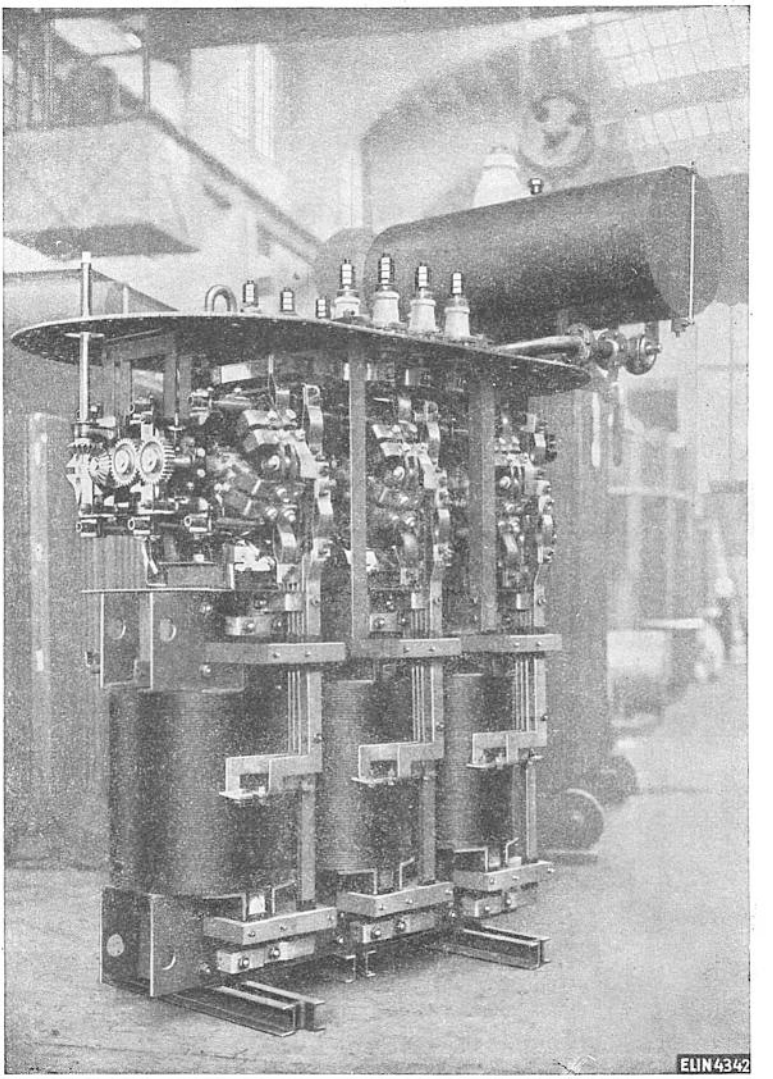



Rys. 85. Regulacja napięcia pod obciążeniem zapomocą transformatora z zaczepami.

Regulację napięcia uskutecznia się bądźto ręcznie, bądźteż zapośrednictwem silnika, uruchamianego bezpośrednio z nastawni. Kompletne przejście z jednego zaczepu na sąsiedni trwa 0,02 sek.

Sprawność omawianych transformatorów dochodzi do 99,5%. Są one z natury swej przełykowe (rys. 86), lecz mogą być budowane również jako robocze. Transformatory te mają ten wielki plus w stosunku do poprzednich rodzajów regulacji napięć, że buduje się je do największych mocy i do bez-

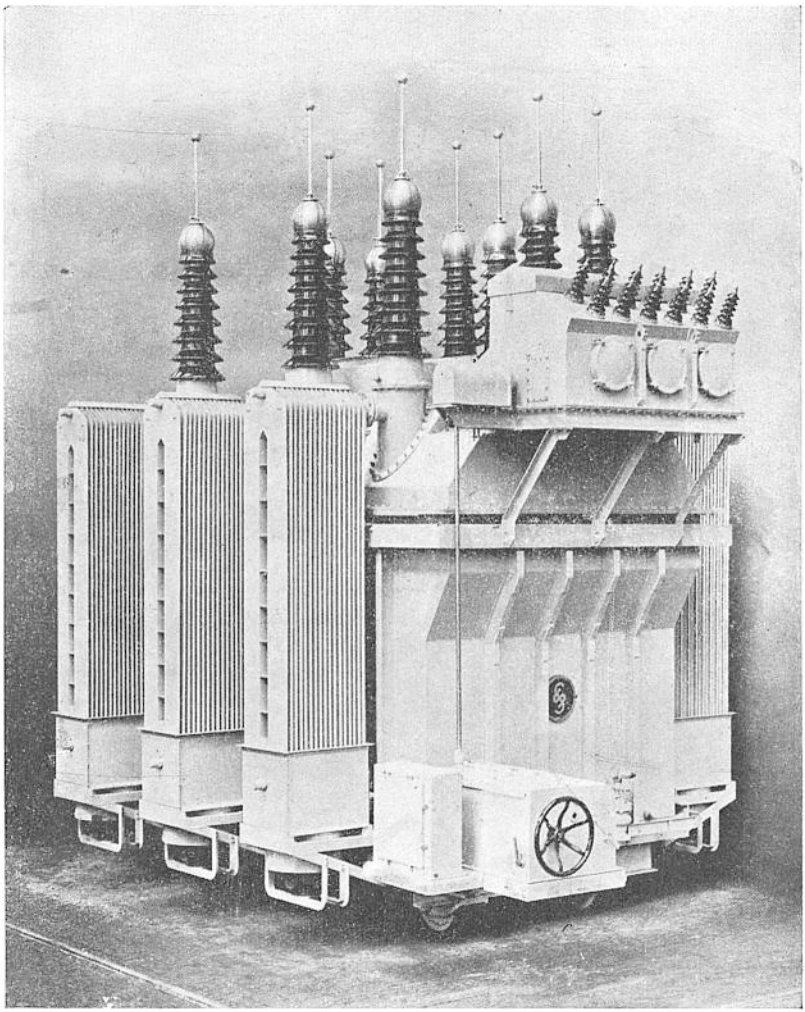
pośredniego przyłączania nawet do najwyższych napięć, naprzykład w jednej jednostce moc przełykowa 60 000 kVA i 110 kV ± 10% w 8-miu stopniach (rys. 87).




Rys. 86. Autotransformator trójfazowy o mocy przełykowej 9 200 kVA, 50 okr/sek. przełączalny pod obciążeniem 5 460 (5 460 ± 9 × 65), (59), (54) woltów. Ustawiony w Krakowie w linji Jaworzno (wyjęty z kadzi olejowej).

Co do szybkości zużycia kontaktów przełącznika, to niech posłużą jako ilustracja przepisy poszczególnych fabryk, polecające przeprowadzenie kontroli kontaktów po uskutecznionych 10 000 przełączeń, a generalne czyszczenie i ewentualną częściową wymianę kontaktów po dokonanych 100 000 przełączeń.

Przy regulacji napięć metodą indukcyjną i to szczególnie przy regulacji samoczynnej należy zwracać baczną uwagę na to, aby przy posiłkowaniu się systemami, powodującemi zmianę fazy, nie przechodzić nieplanowo z wydawania energji na jej pobór i nie wywoływać tem kołysania się maszyn

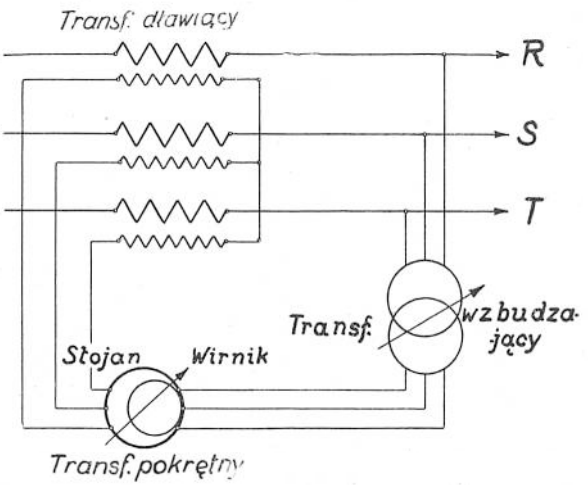


Rys. 87. Trójfazowy transformator regulacyjny o mocy przełykowej 60 000 kVA, nap. rob. 100 kV $\pm$10% w 8-miu stopniach, nastawialnych pod obciążeniem.

wytwórczych, których bieg mógłby być hamowany przy nieprogramowem nagłem przejściu na pobór energji z zewnątrz, a przy manipulacji odwrotnej bieg ich mógłby być przyspieszany.

Należy również zwrócić uwagę na wielkość stopnia regulacji. Otóż w tych pniach sieciowych, w których nagłym zmianom napięcia przeciwstawi się bezwładność magnetyczna przyłączonych silników, można operować bar-

dzo dużemi stopniami regulacyjnemi, bo dochodzącemi do 5% napięcia roboczego na 1 stopień. W tym przypadku czynimy tu jeszcze jedno zastrzeżenie, a mianowicie, że regulacja napięcia odbywa się w dużej odległości od miejsca spożycia prądu, a więc na początku linji. Gdyby było odwrotnie. t. j. gdyby regulacja była dokonywana na końcu linji, wówczas 1 stopień regulacji nie powinien przekraczać 2%. Jeżeli znów regulacja napięcia odbywałaby się w sieci oświetleniowej, a więc pozbawionej bezwładności magnetycznej, to jeden stopień regulacji nie powinien przekraczać 1%.




Rys. 88. Schemat dołączeń do sieci transformatora regulacyjnego pokrętnego zapomocą transformatorów izolacyjnych: przełykowego oraz wzbudzającego ewent. również regulacyjnego, np. z zaczepami zmienianemi pod obciążeniem.

Co się tyczy samoczynnej regulacji napięcia, to naogół z korzyścią stosuje się ją możliwie małemi stopniami, jednak nie nazbyt małemi, gdyż wówczas regulator działałby za często, co mogłoby spowodować powstanie zaburzeń w sieci. Z tego względu jest rzeczą wskazaną, aby samoczynny regulator działał z pewnem opóźnieniem.

Na zakończenie rozważań, dotyczących regulacji napięć metodą indukcyjną, należy zauważyć, że często korzystnem jest regulowanie napięcia zapomocą kombinacyj, składających się z transformatorów, i tak naprzykład z transformatora z zaczepami i z transformatora suwakowego albo z transformatora z zaczepami i z transformatora pokrętnego (rys. 88).

### *II. Metoda kompensacyjna.*

Jak wiemy, spadek napięcia podłużny (rys. 22 „d" i „e") jest równy:

$$\Delta U = J \cdot \cos \varphi_2 \cdot R \pm J \cdot \sin \varphi_2 \cdot \omega L = J_w \cdot R \pm J_b \cdot \omega L,$$

gdzie znak + jest dla obciążenia indukcyjnego, a znak — jest dla obciążenia pojemnościowego.

Natomiast spadek napięcia poprzeczny wynosi:

$$\delta U = J \cdot \cos \varphi_2 \cdot \omega L \mp J \cdot \sin \varphi_2 \cdot R = J_w \cdot \omega L \mp J_b \cdot R$$

Tym razem jednak znak — jest dla obciążenia indukcyjnego, a znak + dla obciążenia pojemnościowego.

Otóż o ile spadki napięcia czynne zmniejszą się stosownie do zwiększonego przekroju, o tyle spadek napięcia indukcyjny pozostanie prawie bez zmiany, chyba że zwiększenie przekroju osiągnęliśmy przez równoległe

połączenie przewodów. Ten sposób zmniejszania spadków napięcia byłby jednakże w sprzeczności z zasadą budowy sieci, opartą na względach gospodarczych. Widzimy więc, że nie mogąc, jak to już poprzednio zaznaczyliśmy, ze względu na gospodarczość sieci zmniejszyć spadków napięcia przez odpowiednią budowę sieci, możemy zmianę tę uskutecznić przez zmianę kąta $\varphi_2$, zawartego między prądem odbiorczym a napięciem odbiorczem. Wyzyskujemy przytem okoliczność, że prądy bezmocne indukcyjne i pojemnościowe są przesunięte w stosunku do siebie o 180°. Zależnie od potrzeby wytwarzamy więc jedne lub drugie prądy o odpowiedniem natężeniu i w odpowiednich punktach sieci. W ten sposób potrafimy prądy bezmocne częściowo lub całkowicie kompensować.

Zauważymy, że gdy kąt $\varphi_2 = 0$, to spadek napięcia czynny $= J_w . R$, a bierny równa się zeru. Gdy prąd opóźnia się, spadek bierny jest dodatni, a gdy prąd wyprzedza napięcie, spadek bierny jest ujemny, a więc powoduje wzrost (podskok) napięcia. Przez regulację prądu bezmocnego można więc skutecznie zmieniać spadki napięcia. Rzecz prosta, że nie może być mowy o regulacji napięcia zapomocą prądów bezmocnych w tych przypadkach, gdy przewody nie posiadają dostatecznej indukcyjności. Wówczas kosztem wytwarzania wielkich prądów bezmocnych zyskalibyśmy bardzo niewiele na zmianie napięcia. Ten rodzaj regulacji należy więc stosować wyłącznie tam, gdzie spadki napięć są spowodowane przedewszystkiem prądami bezmocnemi. Rozumie się, że dla zwiększenia spadku napięcia nie korzystamy również z prądu bezmocnego opóźniającego się pomimo, że konieczność zniżenia napięcia występuje naprzykład w dnie świąteczne i nocą, gdy obciążenie sieci jest stosunkowo niewielkie. Ten sposób zwiększenia spadków napięcia powodowałby naturalnie większe straty cieplne w sieci, dlatego też w tych przypadkach korzystamy z regulacji napięcia zapomocą trasformatorów regulacyjnych. Wyjątek pod tym względem czynimy tylko wówczas, gdy do sieci są przyłączone elektrownie, korzystające z wody niedającej się magazynować i nie wyzyskanej całkowicie. Wtedy oczywiście straty w sieci nie odgrywają tak wielkiej roli i system regulacji napięć zapośrednictwem prądów bezmocnych opóźnionych zachowujemy nadal, dzięki czemu zaoszczędzamy koszty inwestycyjne, które inaczej byłyby wydane na transformatory regulacyjne.

### 1. System kompensacji sztucznej.

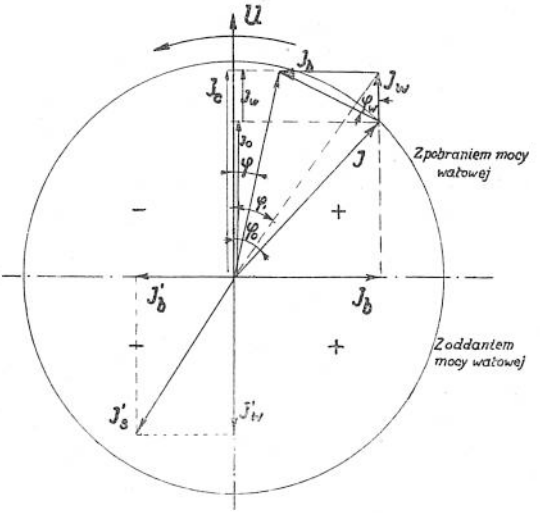
### (Maszyny wirujące).

Dla wytwarzania na wielką skalę prądów bezmocnych indukcyjnych i pojemnościowych stosuje się generatory bierne, t. j. maszyny wirujące synchroniczne lub asynchroniczne o odpowiedniej charakterystyce, nazywane ogólnie kompensatorami, które stosownie do wielkości wzbudzenia dostarczają prądu wyprzedzającego lub opóźnionego.

Dla regulacji napięcia systemem obecnie rozpatrywanym nie korzysta się z kondensatorów, gdyż jakkolwiek przyłączona do sieci stała baterja kondensatorów ma wpływ na wielkość spadku napięcia, to jednak nie ma wpływu na spadki napięcia $\Delta U_{min}$ do $\Delta U_{max}$, t j. na spadki, występujące

począwszy od biegu jałowego linji aż po jej pełne obciążenie. Rys. 89 przedstawia przebieg kompensacji dla ogólnego przypadku. Generator dla wytwarzania prądów bezmocnych może pracować:

a) jako silnik, oddający pewną moc mechaniczną, pobieraną w postaci elektrycznej z sieci przy cos $\varphi = 1$; wówczas otrzymujemy nie kompensację, gdyż bezmocny prąd sieci $J_b$ pozostaje ten sam, lecz otrzymujemy przesunięcie faz dzięki zwiększeniu mocnego prądu sieci $J_0$ o obciążenie silnika $J_w$ do wielkości $J_c$. Kąt przesunięcia faz zmniejsza się wówczas z wartości $\varphi_0$ do $\varphi_1$. Zmniejszenie to jest oczywiście zależne od czynnego obciążenia sieci $J_0$ i od mocy czynnej $J_w$, pobieranej przez silnik. Rozumie się, że z tego rodzaju przesunięciem faz nie można się liczyć przy regulacji napięcia. Wpływa ono jedynie na poprawienie w sieciach spółczynnika mocy, a więc umożliwia lepsze wyzyskanie urządzeń, oraz zmniejsza straty. Generator bierny można uruchomić także jako silnik, pobierający lub oddający sieci prądy bezmocne, a więc pracujący jako




Rys. 89. Regulacja napięcia pod obciążeniem zapomocą kompensacji sztucznej generatorami bezmocnemi.

b) generator bierny, samoistnie się napędzający prądem elektrycznym, pobieranym z sieci. Wówczas $J_w$ jest bardzo mały, idący tylko na wykonanie pracy mechanicznej maszyny biegnącej jałowo jako silnik.Dzięki odpowiedniemu wzbudzeniu można otrzymać prądy bezmocne $J_b$ bardzo wielkie w stosunku do $J_w$. Skutkiem tego otrzymujemy dowolną kompensację prądu bezmocnego sieci $J_b$, a co za tem idzie także dowolną zmianę kąta $\varphi$. Ten właśnie rodzaj pracy maszyn synchronicznych i asynchronicznych stosuje się najchętniej dla regulacji napięć metodą kompensacji sztucznej przy wielkich mocach przenoszonych w sieciach wielkich o długości stu i więcej kilometrów i napięciach najwyższych. Maszyny te od jedynego ich zadania nazywamy kompensatorami. Możliwe są oczywiście także pośrednie stadja, przy których maszyna przechodzi stopniowo z przeważającej dla siebie pracy jako generator bierny do pracy jako silnik z cos $\varphi = 1$. Te pośrednie stadja można wyzyskać dla regulacji napięć o tyle, o ile nie jesteśmy ograniczeni ciągłością pracy mechanicznej maszyny; może więc to nastąpić tylko w specjalnych przypadkach jak np. przy wyzyskaniu tych maszyn do napędu pomp, jeżeli kwestje wodne pozwalają na dowolność czasu pracy i dowolność wielkości obciążeń w danej chwili;

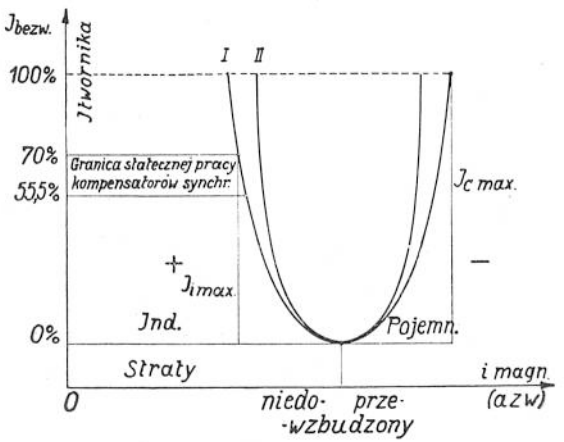
c) jako generator bierny napędzany mechanicznie, a więc np. silnika-

mi parowemi, wodnemi lub spalinowemi; wówczas $J_w$ równa się zeru i wtedy otrzymujemy tylko prąd bezmocny odpowiedniego do wzbudzenia znaku. Oczywiście i w tym przypadku możliwe są stadja pośrednie pomiędzy pracą maszyny tej jako generatora biernego, a pracą jej jako generatora zwykłego, oddającego do sieci oprócz prądu bezmocnego $J_b'$ także prąd mocny $J_w'$.

Pierwszą możliwość pracy tego generatora wykorzystujemy w elektrowniach współpracujących, położonych korzystnie ze względu na rozpływ prądów bezmocnych, oczywiście o ile elektrownie te posiadają w swych generatorach odpowiednią moc. Najchętniej robimy to w tych elektrowniach, które prąd mocny produkują nieekonomicznie. Wreszcie drugi rodzaj pracy tych generatorów wykorzystujemy dla regulacji napięcia, a to w kombinacji z rezerwą natychmiastową, jak się to dzieje np. w Malmö, o czem już poprzednio była mowa.

Stosując metodę kompensacyjną regulacji napięć, osiągamy:

1° dzięki ograniczeniu drogi przepływu prądu bezmocnego do linji, łączącej punkt odbiorczy z punktem wytwarzania tego prądu, możność lepszego wyzyskania prądami mocnemi przewodów, transformatorów i wogóle urządzeń elektrycznych, dzięki czemu otrzymujemy zmniejszenie się kosztów stałych, przypadających na jednostkę mocy przesyłanej;

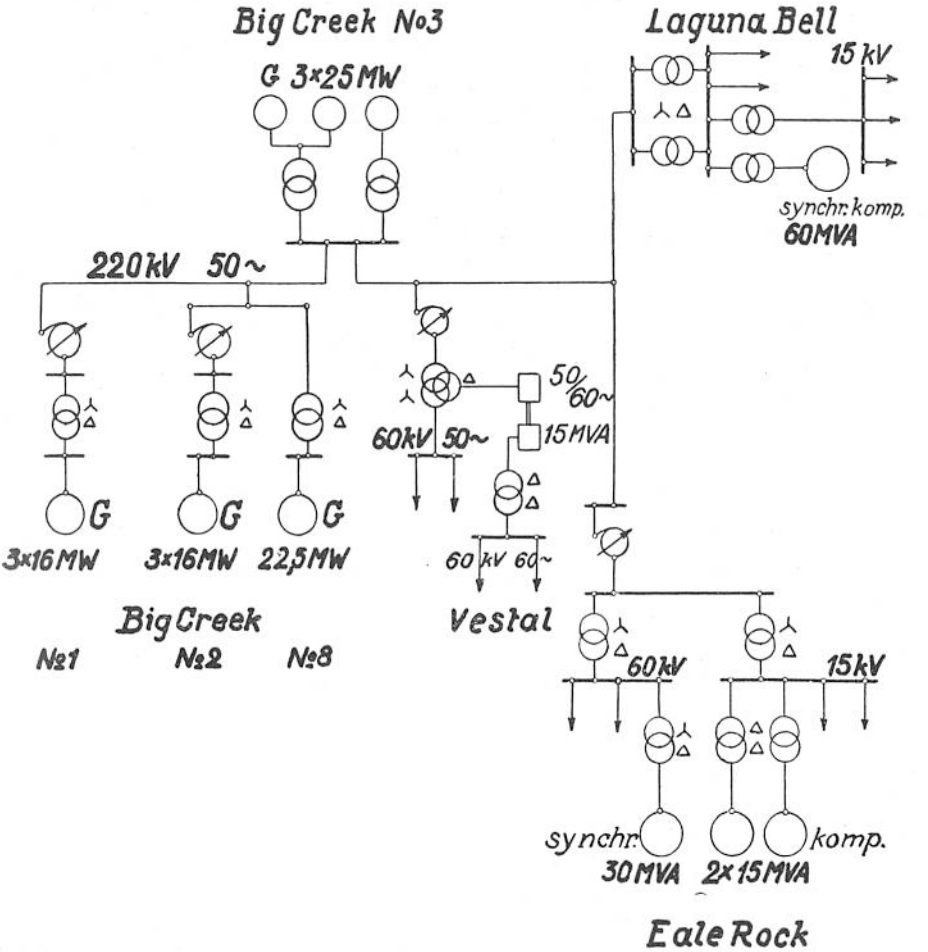



Rys. 90. Krzywa Mordey'a.

2° zmniejszenie się strat cieplnych w sieci. Natomiast to, co zaoszczędzamy w mocy generatorów elektrowni dzięki odciążeniu ich od prądów bezmocnych, tracimy w znacznej mierze w maszynach wytwarzających prądy bezmocne. Tak zwane kondensatory wirujące, czyli kompensatory wirujące, nie oddające mocy czynnej, lecz tylko moc bierną, mogą mieć konstrukcję znacznie lżejszą od np. generatorów synchronicznych; ażeby uzyskać krzywą Mordey'a ostrą (rys. 90), t. j. aby przy stosunkowo małych zmianach wzbudzenia powstawały wielkie prądy, robi się w synchronicznych kompensatorach bardzo małą szczelinę i dzięki temu tego rodzaju kompensator synchroniczny jest tańszy od silnika synchronicznego czyteż generatora. Z ostrością krzywej Mordey'a nie można jednak iść zadaleko, gdyż przy indukcyjnem obciążeniu kompensator synchroniczny pracowałby niespokojnie i łatwo wypadałby z taktu. Natomiast cała część napędowa elektrowni, jak nawęglanie, kotły, turbiny itd., która do tej pory nie mogła wykazać całej swej sprawności, gdyż była ograniczona przez zmienność spółczynnika mocy, może być całkowicie wyzyskana przy systemie kompensacyjnym regulacji napięcia. Stanowi to bardzo poważny zysk, w wielu

przypadkach decydujący. Taksamo znaczne są oszczędności na stratach cieplnych w sieci.

Jeżeli zaoszczędzone w ten sposób kWh obliczymy dla poszczególnych sieci mniej strata energji, idąca na napęd kompensatorów, to mnożąc różnicę stąd otrzymaną przez cenę kosztu własnego 1 kWh loko sieć i kapitalizując wynik tego działania, otrzymamy łącznie z wartością zysku na czę-

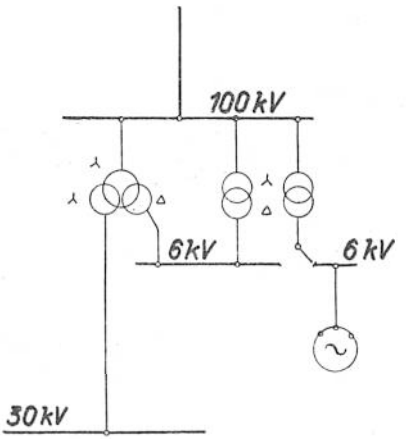



Rys. 91. Sieć 220 kV Southern California Edison Co.

ści napędowej elektrowni kryterjum gospodarczej dopuszczalności czyteż celowości tego systemu regulacji napięcia, o ile oczywiście inne względy nie przesądzają już tej sprawy w jednym lub drugim kierunku.

Przy średnich napięciach i średnich odległościach stosowania kompensatorów niezawsze można gospodarczo uzasadnić tembardziej, że niema tam wielkich trudności w regulacji napięć przy różnych spółczynnikach mocy. Uzasadnienie takie może istnieć jednak już wówczas, gdy spółczynnik mocy jest niższy od 0,8—0,7.

Maszyny, wytwarzające prądy bezmocne, muszą oczywiście znajdować się w różnych częściach sieci tak, aby każda z tych części indywidualnie i niezależnie od innych mogła mieć napięcie regulowane odpowiednio do warunków jej pracy (rys. 91). Maszyny te mogą być ustawione na początku, na końcu lub też w miejscach pośrednich linji. Przy ustawieniu ich w elektrowni ekonomja strat całego zespołu sieciowego oczywiście nie poprawia się, gdyż sieci muszą w dalszym ciągu prowadzić cały prąd bezmocny, natomiast maszyny te poprawiają cos $\varphi$ w generatorach i skutkiem tego w Ameryce nazywają je „power factor correcters". Mają one więc znaczenie miejscowe i służyć mogą do precyzyjnego regulowania napięcia w sieciach okręgowych. Pod ustawieniem maszyn tych na końcach linji rozumiemy ustawienie ich w miejscach pobliskich obszarowi zasilania, dzięki czemu najskuteczniej odciąża się sieci od prądów bezmocnych, przeważnie indukcyjnych. Ustawienie kompensatorów w miejscach pośrednich linij jest pożądane zarówno ze względu na utrzymanie wzdłuż sieci napięcia możliwie równomiernego, na wielkie moce bierne, które mamy doprowadzić do sieci, na rozkład tych mocy w sieci oraz ze względu na utrzymanie równowagi pracy równoległej. Tego rodzaju przypadki występują przedewszystkiem przy odciążaniu sieci od prądów pojemnościowych. Dzieje się to oczywiście przy wielkich sieciach i wielkich napięciach.




Rys. 92. Regulacja napięcia pod obciążeniem przez zmianę spadku napięcia w transformatorze.

Rzecz prosta, że do ustawienia generatorów biernych wyzyskujemy przedewszystkiem punkty węzłowe sieci.

Dla regulacji napięcia wyzyskuje się również i tę okoliczność, że generatory bierne na sieci o wyższem napięciu pracują zawsze zapośrednictwem transformatorów, które oczywiście zachowują się podobnie, jak przewody z wielką indukcyjnością i to tem większą, że w celu ograniczenia prądu zwarcia trzeba stosować je z wielką opornością urojoną, a więc o wysokiem napięciu zwarcia. Przepływające przez te transformatory prądy bezmocne powodują w nich znaczne spadki napięcia. Wpływając więc na przepływ przez transformatory prądów bezmocnych, mamy możność zmiany tych spadków napięcia. Sposób ten objaśnimy na przykładzie: jeżeli w danej elektrowni otrzymujemy dodatkowy prąd sieci o napięciu za wysokiem, to zmniejszając wzbudzenie generatorów, wytwarzamy w nich prądy bezmocne opóźnione, mniejsze aniżeli potrzebuje sieć okręgowa danej elektrowni. Skutkiem tego z wielkiej sieci przez transformatory musi dopłynąć do sieci okręgowej większy prąd bezmocny, który spowoduje pożądany spadek napięcia w transformatorach; i odwrotnie, gdy napięcie w transformatorze mamy za niskie, zmniejszamy straty w transformatorze przez przejęcie przez generatory przewzbudzone dostawy większej ilości prądów bez-

mocnych, opóźnionych aniżeli normalnie (pracują one z gorszym cos $\varphi$), skutkiem czego transformator, dostarczając tylko niewielkiej mocy biernej, dostarcza napięcia wyższego. Przy regulacji napięcia najwyższego zapośrednictwem prądów bezmocnych, otrzymywanych ze specjalnie do tego celu przeznaczonych maszyn synchronicznych, urządzamy się zwykle w ten sposób, że maszyny te stanowią jedną całość z osobnemi transformatorami. Dzięki temu nie pozbawiamy się możności regulacji napięcia niższego, otrzymywanego przez specjalne transformatory, nie pracujące równolegle z transformatorem + maszyna synchroniczna. Wrazie potrzeby można transformator ten użyć oczywiście jak każdy inny, co jest uwidocznione na rys. 92.

## 2. System kompensacji naturalnej.

Dalekonośne sieci elektryczne, a szczególnie budowane na bardzo wysokie napięcia, są oczywiście bardzo drogie i aby były rentowne oraz nie obciążały zbyt wielkiemi kosztami przesyłowemi energji elektrycznej, muszą pracować z możliwie jaknajbardziej wyzyskaną zdolnością przesyłową i przełykową. Z jednej strony sieci takie nie mogą więc służyć dla zaspokojenia zapotrzebowania szczytowego, lecz tylko zasadniczego: obowiązek przejęcia szczytów muszą wziąć na siebie elektrownie z najbliższego sąsiedztwa miejsc występowania tego szczytowego obciążenia; z drugiej strony sieci te muszą być „oczyszczone" z prądów bezmocnych. W sieciach okręgowych prąd indukcyjny przeważa prąd pojemnościowy. Dla sieci okręgowych prąd indukcyjny jest więc zjawiskiem niekorzystnem, natomiast prąd pojemnościowy, jako kompensujący go, jest zjawiskiem korzystnem. W sieciach wielkich o najwyższych napięciach mamy zjawisko wprost odwrotne. Sieci te są kondensatorami o bardzo wielkiej pojemności tak, że powodują one bardzo znaczne prądy wyprzedzające. Jak już widzieliśmy, prądy te mają bardzo wielki wpływ na równowagę pracy równoległej; w tym przypadku należy więc prowadzić z niemi walkę niemniej intensywną niż w sieciach okręgowych z prądami bezmocnemi indukcyjnemi, tembardziej, że energja pola elektrycznego jest wprost proporcjonalna do kwadratu napięcia ($\frac{1}{2}CU^2$); a zatem im wyższe napięcie zastosowalibyśmy w sieci, tem większą uwagę musielibyśmy zwrócić na tę energję.

### A. Moc charakterystyczna linji.

(f. puissance caractéristique, n. Natürliche Leistung).

W sieciach o napięciach bardzo wysokich można uzyskać naturalną kompensację wprost przez takie dobranie napięcia sieci do mocy przenoszonej, aby indukcyjne spadki napięcia, spowodowane tym transportem, były co do swej wielkości równe wprost przeciwnym im ujemnym, pojemnościowym (podskokom) napięcia.

O takiej kompensacji może być mowa tylko w tym przypadku, gdy obciążenie, a właściwie bezmocne prądy opóźniające się są wielkością stałą lub prawie stałą, gdyż prądy pojemnościowe wobec nieznacznych zmian napięcia w sieci są również prawie stałe. Mamy więc w tym przypadku rezonans prądu. Jak wiemy, przy rezonansie prądu musi istnieć zależność po-

między roboczym oporem indukcyjnym, pojemnościowym i rzeczywistym, wyrażona wzorem:

$$R^2 = \frac{L}{C} \quad \text{czyli } R = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Lewą stronę tego równania pomnożymy i jednocześnie podzielimy przez kwadrat napięcia; otrzymamy wtedy:

$$\frac{U^2_{2f} \cdot R}{U_{2f} \cdot U_{2f}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{lub } U^2_{2f} = U_{2f} \cdot \frac{U_{2f}}{R} \sqrt{\frac{L}{C}},$$

a ponieważ:

$$U_{2f} \cdot \frac{U_{2f}}{R} = P_{2f}$$

jest przenoszoną mocą czynną, przeto możemy napisać, że dla stworzenia naturalnej kompensacji sieci musi być spełniony warunek, wyrażony wzorem:

$$U^2_{2f} = P_{2f} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{lub } P_{2f} = U^2_{2f} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Wówczas indukcyjny spadek napięcia kompensuje się z ujemnym spadkiem (podskokiem) napięcia, wywołanym prądem pojemnościowym tak, że przy tego rodzaju przesyłaniu energji elektrycznej spółczynnik mocy wzdłuż całej linji jest równy jedności; mamy więc do czynienia jedynie ze spadkiem napięcia czynnym, t. j. podobnie jak przy prądzie stałym. W tym przypadku są więc najmniejsze straty w linji; ma to szczególne znaczenie dla gospodarności przesyłania energji przy wielkiem wykorzystaniu linji.

Wyżej określoną przez nas moc $P_{2f}$ Thomas nazwał mocą krytyczną. Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$ jest opornością pozorną (impedancją) charakterystyczną linji, to przez analogję moglibyśmy moc $P_{2f}$ nazwać jeszcze mocą charakterystyczną linji lub według terminologji niemieckiej mocą naturalną linji. Jeżeli teraz przejdziemy z napięcia fazowego na napięcie międzyprzewodowe dla linji trójfazowej, to otrzymamy:

$$P_2 = 3\, U_{2f} \cdot \frac{U_{2f}}{\sqrt{\frac{L}{C}}} = U^2 \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{U^2_2 \sqrt{\frac{C}{L}}}{1000} \text{ kW}$$

Jeżeli $U_2$ wyrazimy w kilowoltach, to:

$$P_2 = \frac{U_2^2}{Z} \cdot 10^{-3} = U_2^2 \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot 10^{-3} \text{ kW}$$

Charakterystyczną oporność pozorną czyli oporność falową $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$ znajdziemy ze wzoru, który wyprowadzimy, posiłkując się następującem rozumowaniem:

W dopieroco podanym wzorze na oporność falową, $L$ jest wypadkową indukcyjnością roboczą jednego przewodu o długości 1 km w henrach (po uwzględnieniu indukcyjności wzajemnej), a $C$ jest pojemnością roboczą tego przewodu w faradach na 1 km. Ze wzoru tego wyrugujemy pojemność i w tym celu zauważymy, że szybkość rozchodzenia się fal wzdłuż przewodów wyraża się wzorem:

$$v = \frac{1}{\sqrt{L.C}} = 300\,000 \text{ km/sek.}$$

stąd $C = \frac{1}{v^2 . L} = \frac{1}{300\,000^2 . L}$; podstawiając to we wzór na oporność falową znajdziemy, że oporność tę można wyrazić wzorem:

$$Z = v \, . \, L = 300\,000 \, . \, L$$

Wzór ten jest dla praktyki bardzo dogodny, gdyż pozwala szybko obliczyć oporność falową, przyczem można korzystać z podanych w kalendarzach technicznych (np. Elektryk 1933, str. 341) gotowych wzorów na obliczanie indukcyjności 1 km przewodu jedno- i wielotorowych linij o poszczególnych układach przewodów przeplecionych i nieprzeplecionych. Wzory te dotyczą jednak przewodów o materjale niemagnetycznym i bez rdzenia z materjału magnetycznego. Dla uogólnienia naszych rozważań przeprowadzimy następujące rozumowanie:

Jak wiemy, indukcyjność wypadkowa jednego przewodu wyraża się wzorem dla każdego przewodu równym:

$$L = 2 . l . \left( \ln \frac{d}{r} + \frac{\mu}{4} \right) . 10^{-9} H$$

Ponieważ chodzi nam o indukcyjność przewodu o długości $l = 1$ km $= 10^5$ cm, to:

$$L = 2 \left( \ln \frac{d}{r} + \frac{\mu}{4} \right) . 10^{-4} H/1 \text{ km i } 1 \text{ przewód,}$$

gdzie $d$ jest wzajemną średnią geometryczną odległością między osiami przewodów w cm, $r$ jest promieniem przewodu w cm oraz $\mu$ jest przenikalnością magnetyczną przewodu, równą jedności dla materjałów niemagnetycznych i bez rdzenia z materjału magnetycznego.

$$L = 2 \left( \ln \frac{d}{r} + \frac{\mu}{4} \right) . 10^{-4} = \left( 2 \ln \frac{d}{r} + 0{,}5 . \mu \right) . 10^{-4} =$$

$$= \left( 4{,}6 \lg \frac{d}{r} + 0{,}5 . \mu \right) . 10^{-4} H/1 \text{ km i } 1 \text{ przewód}$$

czyli:

$$Z = 300\,000 . L = 30 \left( 4{,}6 \lg \frac{d}{r} + 0{,}5 . \mu \right) = \left( 138 . \lg \frac{d}{r} + 15 . \mu \right) \Omega$$

Jeżeli natomiast mamy do czynienia z przewodami niemagnetycznemi i bez rdzenia z materjału magnetycznego, wówczas:

$$Z = \left( 138 . \lg \frac{d}{r} + 15 \right) \Omega$$

lub biorąc pod uwagę, że w tym przypadku indukcyjność

$$L = \left(4{,}6 \lg \frac{d}{r} + 0{,}5\right) . 10^{-4} =$$

$$= 4{,}6 \left( \lg \frac{d}{r} + 0{,}108 \right) . 10^{-4} =$$

$$= 4{,}6 \left( \lg \frac{d}{r} - \lg 0{,}78 \right) . 10^{-4} =$$

$$= 4{,}6 \left( \lg \frac{d}{0{,}78 . r} \right) . 10^{-4} \; H/1 \text{ km i 1 przewód,}$$

to:

$$Z = 138 . \lg \frac{d}{0{,}78 . r} \; \Omega$$

Jak widzimy, oporność falowa logarytmicznie zależy od stosunku $(d : r)$, który w praktyce waha się naogół w granicach od 100 do 2000.

Dla linij napowietrznych jednotorowych z przewodami miedzianemi o układzie symetrycznym (trójkąt równoboczny) można przyjąć, że średnio

$$Z_{np} = \sqrt{\frac{L}{C}} = 400 \; \Omega .$$

Dla kabli przyjmiemy, że:

$$Z_{kb} = 50 \; \Omega$$

Jeżeli wartość tę podstawimy we wzór H. Goodwin'a dla mocy charakterystycznej $P_2$ to otrzymamy, że dla przewodów napowietrznych $P_2 = 2{,}5 . U_2^2$ kW, a dla kablowych $P_2 = 20 . U_2^2$ kW.

Opierając się na tych wzorach, można zestawić tabelę mocy charakterystycznej linji dla napięć znormalizowanych Rozp. Min. Rob. Publ. z dnia 26.V.1930, Dz. U. R. P. Nr. 45, poz. 384:

| Rodzaj linji trójfazowej | Napięcie robocze na końcu linji w kV | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 30 | 60 | 100 | 200 |
| | Moc charakterystyczna w MW | | | |
| napowietrzna | 2,25 | 9 | 25 | 100 |
| kablowa | 18 | 72 | 200 | — |

Widzimy więc, że przez odpowiedni do obciążenia dobór napięcia zmienia się wielkość natężenia prądu, a ponieważ zarówno w kablach jak i przewodach napowietrznych moc bierna indukcyjna jest proporcjonalna do częstotliwości, indukcyjności linji i kwadratu natężenia prądu, natomiast moc bierna pojemnościowa jest proporcjonalna do częstotliwości, pojemności i kwadratu napięcia, przeto w ten sposób można w sieci dowolnie zmieniać stosunek mocy biernej indukcyjnej do mocy biernej pojemnościowej.

Wyżej podane moce są orjentacyjne tak, że dla każdego konkretnego przypadku muszą być obliczone w zależności od rzeczywistej wielkości charakterystycznej oporności pozornej linji.

Wyłącznie tylko samym systemem kompensacji można niestety posiłkować się skutecznie tylko w tych przypadkach, gdy moc przesyłana jest niezmienna, a więc gdy stanowi obciążenie zasadnicze tak, że do niej możemy dobrać napięcie robocze; przyczem cos $\varphi = 1$. Mimoto jednak przy budowie sieci elektrycznych, pracujących wyższemi napięciami i przenoszących większe moce na duże odległości, bierze się zawsze pod uwagę moc charakterystyczną linji, względnie moc, którą zamierzamy przenieść obieramy za moc charakterystyczną linji, do której dobiera się odpowiednie w tym celu napięcie, a kompensację naturalną osiąga się sztucznie w sposób, który rozpatrzymy w następnym rozdziale.

### 3. System kompensacji wyrównawczej (Dwight'a).

Musimy zauważyć, że w większości przypadków trzeba jednakże liczyć się z obciążeniem zmiennem. Spółczynnik mocy takiego obciążenia zmienia się również w czasie i jest zależny od odbiorców. Wobec tego prądy indukcyjne, przepływające przez przewód są zmienne, podczas gdy prądy pojemnościowe są wielkością prawie stałą, a to wobec stosunkowo nieznacznych wahań napięcia. Nie może więc być mowy o naturalnej kompensacji stałej, liczonej na dłuższy przeciąg czasu. Ogólnie rzecz biorąc, mamy raz nadmiar prądów bezmocnych indukcyjnych, to znów pojemnościowych, a tymczasem warunkiem gospodarczo korzystnej i pewnej pracy sieci wielkich jest ich praca wyłącznie prądami mocnemi. Wobec tego nie można korzystać wyłącznie z kompensacji naturalnej, która naogół co do rozmiaru swego jest zmienna, przypadkowa, a w przypadku umyślnym nie stale zupełna tak, że do zupełnej lub zadowalającej kompensacji należy dodatkowo wytworzyć i dostarczyć do sieci prądów bezmocnych wyrównawczych, oczywiście poza prądem indukcyjnym, pobieranym przez wszystkie przyłączone do sieci transformatory na ich bieg jałowy. Rozumie się, że prąd ten bierze również udział w kompensowaniu nieraz dość znacznej części całkowitego prądu pojemnościowego sieci. W ten sposób zwiększamy jakgdyby pojemność czyteż indukcyjność linji zależnie od tego, czy do sieci posyłamy prąd bezmocny pojemnościowy, czyteż odbieramy prąd bezmocny indukcyjny. Tą drogą można więc oporność falową linji, wyrażającą się wzorem $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$, sztucznie zmieniać, powiększając lub zmniejszając pojemność sieci $C$ o konieczną dla naszych celów wartość $C_1$. Można więc napisać, że oporność falowa dla danego przypadku wyraża się ogólnym wzorem:

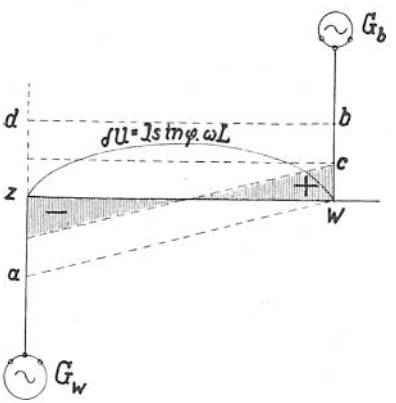
$$Z_1 = \sqrt{\frac{L}{C \pm C_1}}$$

Jednakże wraz ze zmianą oporności falowej linji zmienia się także moc charakterystyczna linji. Wynika to bezpośrednio ze wzoru:

$$P_2 = 10^{-3} \cdot \frac{U_2^2}{Z_1}$$

W ten sposób do każdej zmiany obciążenia $W_2$ można dobrać oporność falową $Z_1$ tak, że napięcie odbiorcze $U_2$ nie ulegnie zmianie. Jestto nadzwyczaj szczęśliwe rozwiązanie zagadnienia przesyłania wielkich mocy na wielkie odległości w sposób ekonomiczny, gdyż sieć odciążona od prądów bezmocnych jest wyzyskiwana na korzyść prądów mocnych (rys. 93), a przytem można utrzymać napięcie odbiorcze na stałej wysokości przy niezmiennem napięciu $U_1$ na początku linji.

Ten system przenoszenia energji, przy którym niezależnie od obciążenia sieci zarówno $U_1$ = const., jak i $U_2$ = const., został zastosowany poraz pierwszy w Ameryce i od swego wynalazcy nazywa się systemem Dwight'a. Dzięki temu systemowi mamy możność przesyłania energji niezależnie od wahań napięcia i bierzemy pod uwagę tylko gospodarczość przesyłania, t. j. straty energji, oraz koszty inwestycyjne sieci wraz z kompensatorami i t. p. Sieć, pracującą przy $U_1$ = const. i $U_2$ = const., nazwano siecią sztywną dla odróżnienia od sieci, elastycznej, którą nie cechuje ta stałość napięć.



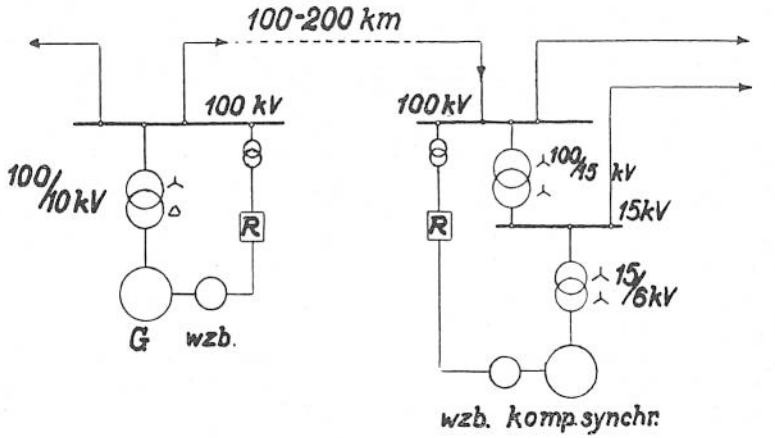
Rys. 93. Regulacja napięcia pod obciążeniem zapomocą kompensacji wyrównawczej.

Celem uzyskania możności przeprowadzenia tego wyrównania w sposób rzeczywiście skuteczny, należy zwrócić uwagę na rozkład prądów pojemnościowych i indukcyjnych wzdłuż linji elektrycznej. Otóż prąd pojemnościowy linji jest najmniejszy na jej krańcu i równy zeru, a wzrasta linjowo w kierunku punktu zasilającego. Taki sam przebieg ma prąd opóźniający się, który został wywołany indukcyjnością przewodów, tylko że jest on oczywiście znaku odwrotnego. Te dwa prądy, rzecz prosta, częściowo się znoszą tak, że ostatecznie pozostaje dostarczona przez prądnicę resztka prądu pojemnościowego *za*, którego rozkład przedstawia na rys. 93 linja *aw*. W punkcie węzłowym *w* mamy zapotrzebowanie na prąd indukcyjny *wb*, którego miałby nam dostarczyć punkt zasilający *z*. Prąd ten jest w każdym punkcie linji jednakowy; przedstawia go linja *bd*. Zupełną kompensację prądu bezmocnego, t. j. taką, żeby w żadnym punkcie linji nie przechodzi żaden prąd bezmocny, poza systemem kompensacji naturalnej jest niepodobieństwem osiągnąć, gdyż byłoby to równoznaczne z zasilaniem linji dodatkowo w te prądy w nieskończenie wielu punktach.

A. System Baum'a utrzymywania napięć w sieci.

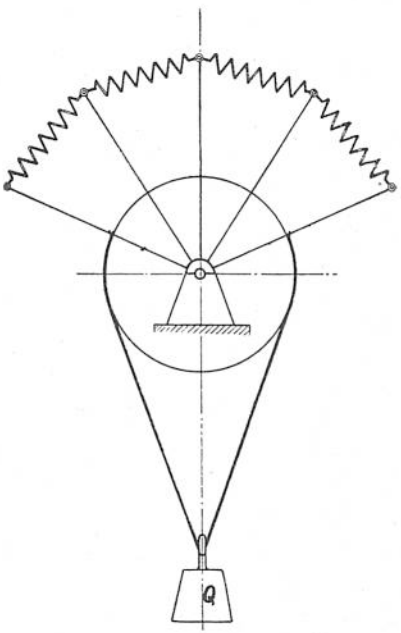
Z wyżej wymienionych względów zależnie od węzłowych punktów sieci, punktów zbytu czyteż równowagi pracy równoległej dzieli się całą sieć na odcinki o długości 100—200 km, na których krańcach tworzy się punkty bezmocnego zasilania; w punktach tych ustawiane są w tym celu kompensatory (rys. 94). Na tem właśnie polega amerykański system utrzymywania w linji dalekosiężnej napięcia praktycznie o stałej wysokości w każdym

punkcie sieci lub też powiększanie stałości równowagi współpracy elektrycznej. System ten wprowadził w życie w roku 1921 Amerykanin Frank G. Baum.




Rys. 94. Schemat odcinka sieci 100 kV z kompensatorami synchronicznemi.

Dla tego przypadku przesyłania energji elektrycznej model równowagi Griscom'a przekształca się w sposób, przedstawiony na rys. 95 dla układu przesyłania energji, składającego się z jednej stacji początkowej, jednej końcowej i trzech stacyj pośrednich. W rozpatrywanym przykładzie takim punktem bezmocnego zasilania jest punkt $w$ (rys. 93). Moc generatora biernego $P_b$ można dobrać w dwojaki sposób: 1) tak, aby prąd indukcyjny był równy prądowi pojemnościowemu, t. j. $P_b = wb - za$; 2) albotéż aby prąd indukcyjny był równy połowie prądu pojemnościowego, t. j. aby $P_b = wb - \frac{1}{2} za$. W drugim przypadku mamy generator bierny o mocy mniejszej o $\frac{1}{2} za$ niż w przypadku pierwszym kosztem większego o tę moc obciążenia generatora czynnego $G_w$. Obciążenie sieci w drugim przypadku jest równomierniejsze niż w pierwszym, jak również i korzystniejszy jest rozkład spadku napięcia, wykazanego linją $\delta U$. Ponieważ obciążenie, powodujące ten spadek napięcia, jest zupełnie równomiernie rozłożone wzdłuż odcinka linji, zawartego między dwoma sąsiadującemi z sobą punktami zasilającemi, przeto rozkład tego spadku napięcia charakteryzują dwie połówki paraboli, stykające się z sobą w wierzchołku stanowiącym krańce równomiernie rozłożonych obciążeń każdego z punktów zasilających.




Rys. 95. Model Griscom'a równowagi pracy równoległej dla sieci kompensowanej systemem Baum'a.

### *a. Kompensatory synchroniczne.*

(*a.* synchronous phase advancer, *f.* compensateur synchron, *n.* Synchron-Phasen-Schieber).

Rozważania te nie są jednak jedynem kryterjum, decydującem o mocy generatorów biernych, o czem przekonamy się zresztą poniżej. Obciążenie punktu węzłowego jest zmienne, dlategoteż zmienny jest prąd bezmocny. Generator bierny musi więc być dobrany w ten sposób, aby podołał tym zmianom obciążenia, oddając zależnie od potrzeby raz prąd bezmocny indukcyjny, to znów pojemnościowy. Silnik synchroniczny jest jednak bardziej wrażliwy na zmiany obciążenia przy niedowzbudzeniu, t. j. przy pobieraniu z sieci prądu bezmocnego indukcyjnego, niż przy przewzbudzeniu, t. j. oddawaniu sieci prądu bezmocnego pojemnościowego, musi bowiem istnieć pewne minimalne wzbudzenie, aby synchronizm był możliwy do utrzymania. Wpobliżu tej wielkości silnik pracuje niepewnie i może wypaść z taktu. Zwykle (G. Belfils, J. Fallou, R. Dormont) stosunek ilości amperzwoi $az_p$ przy obciążeniu do ilości amperzwoi przy biegu jałowym $az_0$ w silnikach synchronicznych wynosi:

$$\frac{az_p}{az_0} = 3{,}5$$

tak, że stosunek prądu bezmocnego pojemnościowego $J_c$ do prądu bezmocnego indukcyjnego $J_i$, jaki kompensator taki może spowodować, wynosi $k = \frac{J_c}{J_i} = 1{,}8$. Stosunek ten rzadko osiąga wielkość $k = 1{,}43$ tak, że średnio można liczyć się z $k = 1{,}6$. W ten sposób należy brać pod uwagę średni prąd indukcyjny, jaki może oddać kompensator synchroniczny $J_i = 0{,}625 \,.\, J_c$. Kompensator synchroniczny oddaje więc moc bierną średnio 1,625-krotnie większą od mocy biernej, którą może sam pobrać. Jeżeli kompensator ma pełne obciążenie pojemnościowe, to oporność falowa linji spada do wielkości:

$$Z_{min} = \sqrt{\frac{L}{C + C_1}} = \sqrt{\frac{L}{C + k.C}} = \sqrt{\frac{L}{C} \cdot \frac{1}{(1+k)}} = \frac{1}{\sqrt{1+k}} \cdot Z = \frac{1}{1{,}61} \cdot Z$$

Widzimy więc, że dzięki zastosowaniu kompensatorów synchronicznych moc charakterystyczna linji wzrasta średnio o 61%. W powyższem równaniu można $Z$ wyrazić wzorem $Z = \sqrt{\frac{l}{c}}$, gdzie $l$ jest spółczynnikiem indukcyjności 1 km linji, a $c$ pojemnością tego samego odcinka linji. Z drugiej strony wiemy, że między szybkością rozchodzenia się fal $v$ a temi dwiema wielkościami istnieje zależność:

$$v = \frac{1}{\sqrt{l \,.\, c}} = 300\,000 \text{ km/sek.}$$

Biorąc pod uwagę oba te równania można napisać, że:

$$\frac{c}{l} = \frac{1}{Z^2} \quad \text{oraz} \quad l = \frac{1}{c \,.\, v^2}$$

a podstawiając to, otrzymamy:

$$\frac{c}{\frac{1}{cv^2}} = \frac{1}{Z^2}, \text{ a stąd: } c = \frac{1}{Z \cdot v}$$

Obie strony tego równania pomnożymy przez szybkość kątową $\omega = 2\pi f = 314$ tak, że:

$$\omega c = \frac{\omega}{Z \cdot v}$$

Uprzytomnimy sobie teraz, że linja o długości $x$ km przy napięciu $U$ posiada moc pojemnościową:

$$P_c = U \cdot \frac{U}{\frac{1}{\omega c \cdot x}} = U^2 \cdot \omega c \cdot x = U^2 \cdot \frac{\omega \cdot x}{Z \cdot v}$$

Natomiast największa moc charakterystyczna linji wynosi:

$$P_2 = \frac{U_2^2}{Z_{min}} \cdot 10^{-3} = \frac{U_2^2 \cdot \sqrt{1+k}}{Z} \cdot 10^{-3}$$

gdy w równanie to wstawimy, jak dla przykładu założyliśmy, $k = 1{,}6$, wówczas:

$$P_2 = 10^{-3} \cdot 1{,}61 \cdot \frac{U_2^2}{Z}$$

Jeżeli kompensator może oddać $k$-krotną moc, którą może pochłonąć, to moc jego wynosi:

$$P_{ks} = k \cdot P_c = \frac{k \cdot U^2 \cdot \omega \cdot x}{Z \cdot v}$$

Dzieląc obydwa dopieroco otrzymane równania przez siebie znajdziemy, że

$$\frac{P_{ks}}{P_2} = \frac{k}{\sqrt{1+k}} \cdot \frac{\omega \cdot x}{v} = \frac{k}{\sqrt{1+k}} \cdot \frac{314}{300\,000} \cdot x = 1{,}045 \cdot x \cdot \frac{k}{\sqrt{1+k}}$$

Tak więc, zależnie od mocy charakterystycznej linji, moc kompensatora synchronicznego wynosi:

$$P_{ks} = 1{,}045 \cdot x \cdot \frac{k}{\sqrt{1+k}} \cdot P_2,$$

a podstawiając średnią wartość dla $k = 1{,}6$, moc kompensatora wyrazi się wzorem:

$$P_{ks} = 1{,}038 \cdot x \cdot P_2$$

W Ameryce często ustawia się kompensatory synchroniczne pod gołem niebem; są one wówczas szczelnie okapturzone i pracują w atmosferze wodoru, będącego pod ciśnieniem około 150 mm słupka wodnego, aby nie dopuścić powietrza i wilgoci do środka kompensatora. Dzięki bardzo znacznej

przewodności cieplnej tego gazu, chłodzenie maszyny jest bardzo intensywne tak, że dzięki tej okoliczności osiąga się znaczną oszczędność na wymiarach, a więc i na cenie kompensatora.

### *b. Kompensatory asynchroniczne.*

(*a.* induction phase advancer, *f.* compensateur asynchron, *n.* Asynchron-Phasen-Schieber).

Przy kompensacji prądów bezmocnych zapomocą kompensatorów asynchronicznych otrzymuje się lepsze wyniki, niż przy stosowaniu kompensatorów synchronicznych. Dotyczy to szczególnie silników asynchronicznych w połączeniu z różnemi maszynami komutatorowemi, z których silniki te (wirniki) otrzymują wzbudzenie niezależne od wahań napięcia sieci. Moc bierna kompensatorów asynchronicznych, zarówno indukcyjna, jak i pojemnościowa, dzięki biegowi asynchronicznemu jest ograniczona jedynie wielkością prądu stojana. Tak więc kompensator asynchroniczny może być obciążany indukcyjnie lub pojemnościowo jednakową mocą tak, że $k = 1$ i skutkiem tego oporność falowa linji spada do wielkości:

$$Z_{\min} = \frac{1}{\sqrt{1+k}} \cdot Z = \frac{Z}{\sqrt{2}}$$

Moc charakterystyczna sieci osiąga więc wielkość:

$$P_2 = 10^{-3} \cdot 1{,}412 \cdot \frac{U_2^2}{Z},$$

a moc kompensatora asynchronicznego wynosi:

$$P_{ka} = 1{,}045 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot x \cdot P_2 = 0{,}74 \cdot 10^{-3} \cdot x \cdot P_2$$

### *c. Porównanie kompensatorów synchronicznych i asynchronicznych.*

Kompensatory asynchroniczne pracują z jednakową mocą i jednakowo pewnie zarówno przy obciążeniu indukcyjnem jak i pojemnościowem, natomiast kompensatory synchroniczne pracują pewniej przy obciążeniu pojemnościowem niż indukcyjnem. Z drugiej jednak strony, gdy napięcie sieci bardzo silnie spadnie, zniży się również prąd bezmocny kompensatora asynchronicznego, podczas gdy przy przewzbudzonym kompensatorze synchronicznym będzie odwrotnie: popłynie znacznie większy prąd pojemnościowy. W danym przypadku nie bierzemy pod uwagę niedowzbudzonego stanu pracy kompensatora synchronicznego, gdyż z niedowzbudzeniem kompensator pracuje przy słabem obciążeniu sieci, które oczywiście nie może spowodować spadków napięcia o wielkości, mogącej mieć wpływ na pracę kompensatorów. Pod tym względem kompensator asynchroniczny zachowuje się więc podobnie jak kondensator statyczny. Wrazie zwarcia kompensatory asynchroniczne dają udarowy prąd zwarcia o natężeniu równem $(5 \div 6) \times J_n$ (gdzie $J_n$ jest znamionowym prądem kompensatora), kompensator synchroniczny natomiast daje prąd ten o natężeniu równem $15 \times J_n$. Jednak po upływie 2—3 okresów prąd zwarcia kompensatorów asynchronicznych spa-

da do zera, podczas gdy udarowy prąd zwarcia kompensatorów synchronicznych po upływie około 15 okresów przechodzi w ustalony prąd zwarcia o natężeniu równem $(2{,}5 \div 3) \times J_n$. Tego rodzaju zachowanie się kompensatorów podczas zwarcia przemawia za stosowaniem kompensatorów asynchronicznych przedewszystkiem w tych sieciach, w których wyłączniki pracują już na granicy swej wytrzymałości. Kompensatory asynchroniczne należy również ustawiać tam, gdzie moc przesyłana nie jest jeszcze ustalona i ulega ciągłym zmianom. Straty energji w kompensatorach synchronicznych wynoszą około 5% w stosunku do ich mocy pozornej, a w kompensatorach asynchronicznych około 3%. Samoczynna regulacja kompensatorów asynchronicznych jest trudniejsza niż kompensatorów synchronicznych i dlatego urządzenia samoczynne dla kompensatorów asynchronicznych są droższe niż dla kompensatorów synchronicznych. Również same kompensatory asynchroniczne, jako łączące w sobie conajmniej dwie maszyny, są nieco droższe od kompensatorów synchronicznych.

### *d. Dławiki kompensacyjne.*

[*a.* adjustable shocking (reactance) coils, *f.* bobines d'induction (de réactance) réglable, *n.* Regeldrosseln].

Jeżeli włączymy równolegle do sieci cewkę indukcyjną z żelazem o indukcyjności $L_1$, odpowiadającej przyłączeniu pojemności dodatkowej $C_1 = -\frac{1}{\omega^2 . L_1}$, to oporność falowa stanie się równa (G. Belfils, J. Fallou et R. Dormont):

$$Z_1 = \sqrt{\frac{L}{C - \frac{1}{\omega^2 L_1}}}$$

Dzięki temu można dokonywać kompensacji sieci zapomocą stosownie dobranych dławików, które powinny być o indukcyjności zmiennej. Najczęściej stosuje się także kilka dławików równolegle połączonych, które, zależnie od warunków kompensacji, przyłącza się do sieci lub też odłącza. Najchętniej stosuje się je w sieciach pracujących jałowo tak, że wówczas muszą one pokrywać całkowite zapotrzebowanie sieci na bierną moc indukcyjną. Górną granicę stosowalności dławików stanowi charakterystyczne obciążenie sieci. Dla tych dwóch przypadków pracy sieci, t. j. biegu jałowego oraz obciążenia sieci mocą charakterystyczną, postaramy się znaleźć indukcyjność dławików. W tym celu ze wzoru na moc charakterystyczną linji:

$$P_2 = \frac{U^2_2}{Z_1} . 10^{-3}$$

moc ta będzie równa zeru, t. j. praca linji będzie jałowa, gdy $Z_1 = \infty$. Nastąpi to wówczas, gdy $C - \frac{1}{\omega^2 L_1} = 0$. Jeżeli więc mamy przyłączoną linję bez obciążenia, należy dla skompensowania jej prądu bezmocne-

go przyłączyć dławiki o spółczynniku indukcyjności najmniejszym, t. j. wynoszącym:

$$L_{1,j} = \frac{1}{\omega^2 C} = L_{\min}$$

Przypuśćmy, że linję stopniowo obciążamy. Wmiarę obciążania odpowiednio dołączamy indukcyjność tak, że gdy obciążenie sieci $P$ wynosi $\frac{1}{k}$ część obciążenia charakterystycznego $P_2$, wówczas:

$$P = \frac{1}{k} \cdot P_2 = 10^{-3} \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{U^2_2}{Z}$$

Ale:

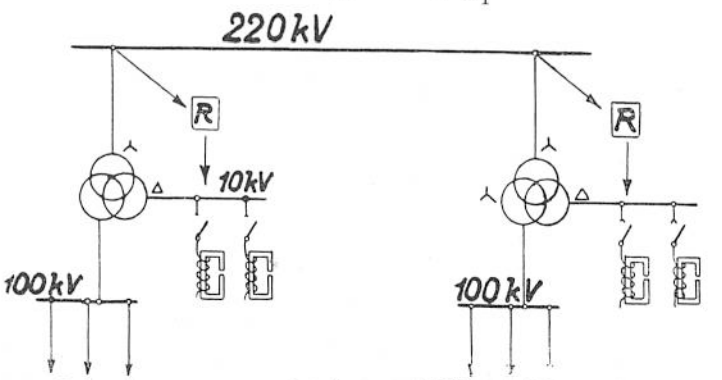
$$k \cdot Z = k\sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{L}{\frac{C}{k^2}}}$$

oraz:

$$\frac{C}{k^2} = C - C_1$$

a stąd:

$$C_1 = C\frac{k^2 - 1}{k^2} = \frac{1}{\omega^2 L_1}$$




Rys. 96. Schemat stacyj pośrednich sieci REW 220 kV i jej kompensacji zapomocą dławików.

Ostatecznie więc spółczynnik indukcyjności dławików przy obciążeniu $\frac{1}{k}$ — krotnem obciążenia charakterystycznego musi wynosić:

$$L_{1,o} = \frac{1}{\omega^2 C} \cdot \frac{k^2}{k^2 - 1}$$

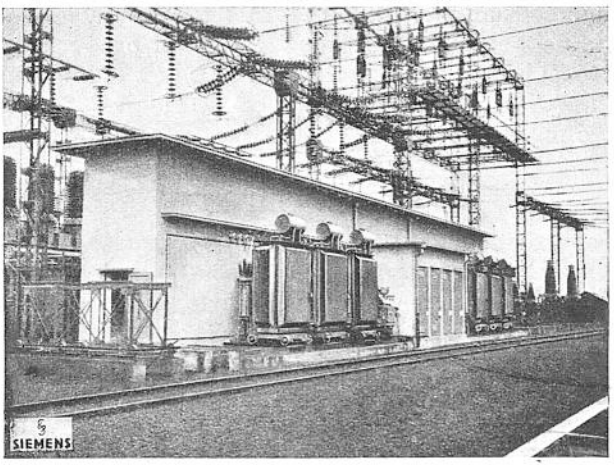
W ten sposób stosunek indukcyjności dławika przy obciążonej linji do indukcyjności dławika przy pracy jałowej linji wynosi:

$$\frac{L_{1,0}}{L_{\min}} = \frac{1}{\omega^2 C} \cdot \frac{k^2}{k^2 - 1} : \frac{1}{\omega^2 C},$$

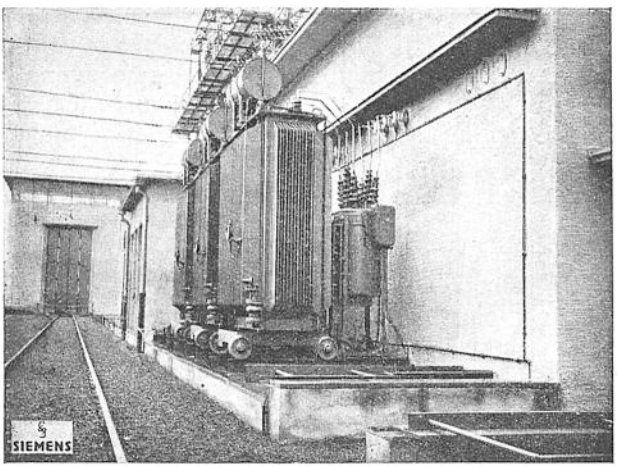
a stąd:

$$L_{1,0} = L_{\min} \cdot \frac{k^2}{k^2 - 1}$$

Gdy więc linja pracuje jałowo, t. j. z obciążeniem $\frac{1}{k} = 0$, to $k = \infty$ i wówczas $L_{1,0} = L_{\min}$; jeżeli natomiast linja pracuje z obciążeniem charakterystycznem, to $\frac{1}{k} = 1$ tak, że $k = 1$, wobec czego $L_{1,0} = \infty$. W przypadku




„a"




„b"

Rys. 97 „a" i „b". Sześć dławików kompensacyjnych, każdy o mocy pozornej 6000 kVA, 10 kV, ustawionych dla kompensacji prądów pojemnościowych w Essen w sieci 220 kV reńsko-westfalskiej.

pośrednim, t. j. gdy linja jest obciążona mocą równą np. 0,75 mocy charakterystycznej linji, to $\frac{1}{k} = 0{,}75$ czyli $k = \frac{1}{0{,}75} = 1{,}335$

$$L_{1,0} = L_{\min} \cdot \frac{1{,}335^2}{1{,}335^2 - 1} = 2{,}28 \cdot L_{\min}$$

Dławiki kompensacyjne, jako znacznie tańsze od kompensatorów wirujących, stosuje się chętnie w pierwszych latach pracy sieci wielkich, t. j. wówczas, gdy obciążenie tych sieci stanowi tylko część mocy charakterystycznej linji i w każdym razie, gdy moc tą nie jest przekraczana. Jako przykład służyć może sieć reńsko-westfalska 220 kV (rys. 96 i 97).

### 4. Automatyzacja urządzeń kompensacyjnych.

Od urządzeń samoczynnych, obsługujących bądźto kompensatory wirujące, bądźteż dławiki, wymagamy dużej szybkości działania, gdyż skutkiem ruchowych zmian w urządzeniach odbiorczych, jak odłączanie lub przyłączanie poszczególnych odcinków lub odbiorników, powstają nagłe zapotrzebowania na prądy bezmocne, czyto pojemnościowe czyteż indukcyjne. W podobnych przypadkach urządzenia samoczynne muszą przystosować kompensatory nietylko do nowych warunków pracy, lecz bardzo często muszą je uruchomić, przyłączyć do sieci i odpowiednio obciążyć. Sprawne działanie urządzeń samoczynnych w stacjach pośrednich sieci stanowi o utrzymaniu w równowadze całego zespołu współpracującego, a w stacjach krańcowych, jak np. w elektrowniach okręgowych lub przemysłowych, w których pobór prądu odbywa się przy ustalonym $\cos\varphi$, o ewentualnej przerwie w dostawie prądu. W tym ostatnim przypadku samoczynne regulatory napięć poszczególnych generatorów są wyłączone z pracy, a napięcie jest utrzymywane dzięki samoczynnemu urządzeniu, utrzymującemu $\cos\varphi$ na wymaganej wielkości. Gdyby więc elektrownia okręgowa czyteż przemysłowa została nagle odłączona od sieci wielkiej, wzbudzenie generatorów mogłoby stać się nieodpowiednie dla nowych warunków pracy tak, że bez natychmiastowej interwencji samoczynnego urządzenia, regulującego napięcie, ruchu nie możnaby nadal utrzymać. Rozumie się, że w podobnych przypadkach nie mogłoby być mowy o interwencji obsługi, która zawsze byłaby spóźniona. W takich razach samoczynne urządzenie, regulujące spółczynnik mocy, musi natychmiast uruchamiać regulatory napięcia. To samo dotyczy zakładów wytwórczych szczytowych. Co do stacyj pośrednich, to i tutaj również interwencja obsługi byłaby zawsze spóźniona, a w dodatku przy wielkim pośpiechu trudno byłoby wykluczyć manipulacje fałszywe, które mogłyby doprowadzić do ogromnych strat. Dlatego i te punkty muszą być obsługiwane samoczynnie. Urządzenie takie budowane obecnie, dokonywują uruchomienia kompensatora wirującego o mocy pozornej np. 30 000 kVA i doprowadzają go do stanu gotowości do pracy już w ciągu 1,5 min., a w ciągu dalszej 0,5 min. kompensator jest już całkowicie obciążony. Ponadto urządzenie samoczynne może być uruchamiane zdala, naprzykład z C. B. R. O., lub z miejsca ustawienia kompensatora przez zwykłe naciśnięcie stosownego guziczka kontaktowego.

### *III. Uruchamianie sieci wielkich.*

Z kompensacją silnie łączy się kwestja uruchamiania sieci wielkich. Możliwe są tu dwa przypadki: 1) gdy przed uruchomieniem można podzielić sieć tak, że przejęcie prądów pojemnościowych nie będzie stanowiło trudności dla generatorów czynnych, które jednak, korzystając wówczas z prądów pojemnościowych, będą bardzo słabo wzbudzone i skutkiem tego nagłe włączenie się jakiegokolwiek odbiorcy z odpowiednio dużym prądem indukcyjnym spowoduje zniżenie napięcia na generatorze do wartości bliskiej nawet zera tak, że siła synchronizująca ginie i generatory wypadają z taktu. W tych przypadkach sieć pracująca jałowo musi być włączona na odpowiednio dużą ilość jednocześnie pracujących maszyn. Dzięki temu prąd pojemnościowy rozkłada się na wiele generatorów tak, że każdy z nich pracuje już z daleko większem wzbudzeniem; 2) drugi przypadek mamy wówczas, gdy musimy uruchomić sieć z tak wielkim prądem pojemnościowym, że nie będziemy mogli przejąć go przez generatory. W takim razie, aby umożliwić sobie uruchomienie takiej linji i aby móc przejść na niej z biegu jałowego do wymaganego obciążenia, posiłkujemy się wyżej opisanemi dławikami kompensacyjnemi. Jak można wnioskować z poprzednich rozważań, dławiki te przy uruchomieniu takiej linji włącza się na sieć, a indukcyjność ich powiększa się stopniowo dopiero wmiarę wzrostu obciążenia i kompensacji prądów pojemnościowych.

### *IV. Odłączania dokonywane w sieciach wielkich.*

Wmiarę tego jak maleją obciążenia odbiorcze poszczególnych rozgałęzień sieci wielkich, sieci te pracują z corazto większym prądem pojemnościowym, powodującym podskok napięcia, wobec czego wzrasta także prąd pojemnościowy i t. d. Możemy więc mieć tutaj do czynienia ze zjawiskiem Ferranti'ego, zaobserwowanem poraz pierwszy w Anglji, które w dodatku o tyle się jeszcze komplikuje i potęguje, że znaczną część prądu pojemnościowego przejmą na siebie generatory czynne, co znacznie wzmacnia ich wzbudzenie, a temsamem powoduje dalszy spadek napięcia na sieci, ograniczony jedynie nasyceniem żelaza generatora i transformatorów. Celem uniknięcia nadzwyczaj przykrych następstw tego zjawiska, urządzenia kompensacyjne muszą być tak dobrane i tak ustawione, aby były wstanie przejąć na siebie skompensowanie całego prądu pojemnościowego mimo odłączania poszczególnych obciążeń czyteż poszczególnych odcinków.

Przy odłączaniu zarówno głównych pni sieci wielkich jak też poszczególnych ich gałęzi należy zwrócić uwagę, aby w odłączanych częściach kompensacja była możliwie zupełna, t. j. aby odłączanie dotyczyło możliwie tylko mocy czynnej. W przeciwnym razie odłączanie tak wielkich prądów bezmocnych powodowałoby zarówno powstawanie wielkich przepięć jak i naruszenie równowagi pracy. Rzecz prosta, że odłączona część sieci nie może naruszyć kompensacji reszty sieci. Konieczność ta prowadzi do takiego doboru miejsc ustawienia kompensatorów, który będzie odpowiadał pracy danej sieci i możliwościom ruchowym.

*Zakończenie.*

Przy sieciach o najwyższych napięciach otrzymujemy szczególnie korzystną regulację napięć przez jednoczesne skombinowanie metody kompensacyjnej z systemami regulacji zapomocą transformatorów z zaczepami o zakresie regulacji 10 — 15%. Kombinacja ta może przynieść wielkie korzyści pod względem gospodarczym, przez zastosowanie znacznie mniejszych kompensatorów. Stosując kompensację, można już dzisiaj dzięki systemowi Baum'a przesyłać gospodarczo korzystnie zapomocą jednego tylko toru przy 10%-wych stratach i zupełnej kompensacji (cos $\varphi = 1$):

przy nap. 60 kV moc 19 000 kW na odległ. 100 km przewodem 3× 95 mm² *Cu*
„ „ 100 „ „ 52 500 „ „ „ 200 „ „ 3×185 „ „
„ „ 200 „ „ 175 000 „ „ „ 400 „ „ 3×300 „ „
„ „ 380 „ „ 550 000 „ „ „ 600 „ „ 3×400 „ „

Gdybyśmy przy tem ostatniem napięciu zdecydowali się na 15%-we straty, to odległość przesyłowa dla mocy 500 000 kW wzrosłaby do 1000 km. Przy linjach dwutorowych, jakie zwykle stosuje się w sieciach wielkich, moce przesyłane są oczywiście podwójne.

Dzięki metodzie kompensacyjnej regulacji napięcia w sieciach wyklucza się zapomocą urządzeń samoczynnie działających prawie całkowicie wahania napięć nawet w przypadku nagłych zmian obciążenia; powiększa się również znacznie możność przesyłania energji na wielkie odległości. Zmniejsza się także straty na ulot elektryczny (zjawisko korony), który przy innych systemach regulacji jest największy przy punktach zasilających i stopniowo spada tak, że w punktach odbioru może już wcale nie występować. Skutkiem posługiwania się przy przesyłaniu energji systemem Dwight'a oraz systemem Baum'a uzyskuje się większą swobodę odpowiedniego doboru napięcia początkowego tak, że korona nie występuje nawet w bezpośredniem sąsiedztwie punktów zasilających. Dzięki metodzie kompensacyjnej można również lepiej ograniczyć wielkość prądów zwarcia skutkiem większej swobody w doborze dużych oporności urojonych w transformatorach i generatorach. Toteż obecnie stosuje się transformatory, w których przy mocy pozornej jednego transformatora:

od 250 do 4000 kVA napięcie zwarcia wynosi 3,5 — 7%
„ 5000 „ 25 000 „ „ „ „ 6 — 12,5%
„ 30 000 „ 100 000 „ „ „ „ 8,5 — 14,5%,

a zależnie od wysokości napięcia roboczego:

przy 60 kV napięcie zwarcia wynosi 3,5 — 6%
„ 110 „ „ „ „ 8 — 9%
„ 220 „ „ „ „ 12 — 14,5% a nawet 18%.

W dalszym ciągu mamy możność lepszego wyzyskania linij, transformatorów i generatorów dzięki odciążeniu ich od prądów bezmocnych. Wreszcie w istniejących już sieciach można zastosować system kompensacyjny regulacji napięcia bez dokonywania w urządzeniach poważniejszych zmian.

Na zakończenie należy zauważyć, że o ile w sieciach okręgowych liczymy się z prądami indukcyjnemi, o tyle w sieciach wielkich może bardziej nawet liczymy się z prądami pojemnościowemi.

W sieciach wielkich wyzyskuje się prądy indukcyjne dla zwalczania prądów pojemnościowych, natomiast w sieciach okręgowych należy postępować podobnie, lecz w minjaturze i w ograniczonej strefie działania w ten sposób, że metodę indukcyjną zastępuje się metodą pojemnościową tak, że do poszczególnych odbiorników indywidualnie przyłącza się równolegle kondensatory o pojemności tak dobranej, że pojemność znajduje się z danym odbiornikiem w rezonansie prądu. Wówczas odbiornik jakgdyby ssie z kondensatora prąd bezmocny, potrzebny mu do wzbudzenia pola magnetycznego. Prąd bezmocny mamy wówczas zlokalizowany w obwodzie kondensator-odbiornik tak, że sieć doprowadza do obwodu tylko prąd mocny. Jednakże kondensatory na wysokie napięcie (do 10 kV i do 450 kW bezmocnych) stosowane są rzadko i niechętnie, gdyż są one bardzo drogie, niezmiernie trudne w regulowaniu pojemności wmiarę zachodzących zmian roboczych sieci oraz dają silne udary prądu przy zwarciu.

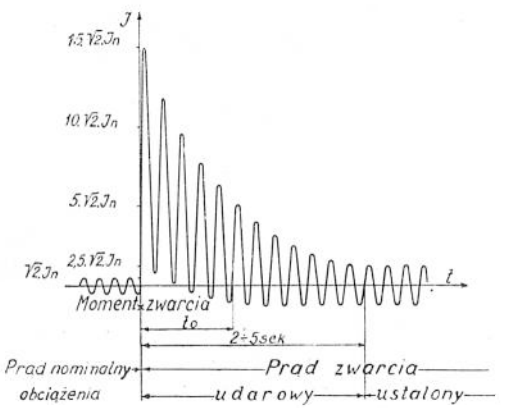
O ile więc kondensatory statyczne rzadko są używane w większym zakresie dla kompensacji prądów bezmocnych opóźnionych, o tyle wcale nie posiłkujemy się niemi dla regulacji napięcia w sieci. Natomiast dla podwyższenia napięcia w określonym punkcie sieci chętnie korzystamy z pojemności samej sieci kablowej lub długich odcinków sieci napowietrznej wysokiego napięcia. Takie odcinki sieci, o ile mamy je do dyspozycji, dołączamy na pracę jałową, t. j. nieobciążone, do tych szyn zbiorczych, na których pragniemy napięcie polepszyć. Takie więc odcinki sieci odgrywają rolę kondensatorów statycznych. Zabieg ten jest tem skuteczniejszy, im większą pojemność ma przyłączony jałowo odcinek sieci. Ze sposobu tego korzystamy szczególnie chętnie wówczas, gdy pragniemy podnieść napięcie u odbiorcy przyłączonego do zamkniętej sieci. Wyjaśnimy to na przykładzie, posiłkując się w tym celu rysunkiem 26 „a". Przypuśćmy, że w punkcie *b* mamy przyłączonego odbiorcę, u którego pragniemy podnieść napięcie. W tym celu w stacji *c* wyłączamy odcinek *cb*. Jeżeli gałąź *adc* jest silna, np. wielotorowa, a gałąź *abc* jest słaba, np. jednotorowa, to napięcie w punkcie *b* podniesie się nietyle skutkiem częściowego odciążenia tej gałęzi od prądu, dopływającego normalnie przez nią do punktu *c*, ile dzięki pojemności odcinka *bc*, a więc dzięki zmniejszeniu prądu bezmocnego opóźnionego, płynącego ze stacji *a* do odbiorcy *b*. Na szynach zbiorczych stacji *c*, od których odłączyliśmy linję *cb*, napięcie oczywiście nieco obniży się, skutkiem większego obciążenia gałęzi *adc* prądem normalnie płynącym przez *b* do stacji *c*, obniżenie to jednak będzie stosunkowo niewielkie wobec tego, że odcinek *adc* jest wielotorowy.

Jeżeli do sieci wielkiej są przyłączone silniki asynchroniczne, korzystnem jest użycie komutatorowych wzbudnic, które, włączone w obwód prądu wirnika silnika indukcyjnego, dostarczają mu prądu magnesującego, będąc same wzbudzane z sieci. Dzięki temu już od 50% obciążenia wzwyż możliwa jest praca silnika z $\cos \varphi = 1$. Poniżej tego obciążenia wraz ze spadkiem obciążenia otrzymujemy nawet prądy wyprzedzające tak, że silnik asynchroniczny może służyć jako generator bierny zupełnie tak samo jak kom-

pensator asynchroniczny. Moc takiego kolektorowego przesuwnika faz jest bardzo niewielka i np. przy mocy silnika asynchronicznego 500 kW wynosi zaledwie około 0,6%. Ten rodzaj walki z prądami indukcyjnemi jest więc zupełnie identyczny ze sposobem walki z prądami pojemnościowemi wielkich sieci metodą kompensacyjną systemem sztucznym.

## G. Zwarcia.

Dla C. B. R. O. bardzo ważną rolę odgrywają przetężenia, które są częstym powodem przerw normalnej pracy pewnych części zespołu, a czasem nawet i całości. Należałoby przeto najpierw omówić sprawę zabezpieczeń przeciwprzetężeniowych, a dopiero potem przejść do zwarć jako specjalnego i krańcowego przypadku zjawiska ogólnego, jakiem są przetężenia.




Rys. 98. Przebiegi prądów zwarcia.

Zważywszy jednakże, że zabezpieczenia przeciwprzetężeniowe w sieciach wielkich i okręgowych muszą być traktowane raczej jako zabezpieczenia natury miejscowej a nie ogólnej, że ani w swej zasadzie ani w szczegółach nie różnią się one od tych zabezpieczeń, stosowanych w sieciach mniejszych, oraz że są należycie znane — nie będziemy ich więc rozpatrywali i przejdziemy bezpośrednio do zwarć, które znów w rozpatrywanych przez nas sieciach odgrywają zupełnie specjalną rolę, wymagającą specjalnego zwrócenia na nie uwagi.

Prądy zwarcia odgrywają tem większą rolę, im większe moce w grę wchodzą. Dlatego też zwarcia są specjalnie ważne dla sieci elektrycznych, na które pracują liczne i wielkie elektrownie.

Sprawa ochrony przed prądami zwarcia jako problem dostała się do nas zza oceanu, a mianowicie z Ameryki, w której rozwój zarówno wielkich elektrowni jak i sieci elektrycznych powstał prędzej i rozwija się szybciej niż w Europie. Dopiero od około 1914 r. zaczęto w Europie zwracać uwagę na prądy zwarcia, t. j. wtedy, gdy wielkość ich wobec zupełnego nieprzygotowania urządzeń, nie pozwalała na współpracę ciągłą sąsiednich elektrowni oraz sieci i ograniczała współpracę tylko do współpracy dorywczej.

Uważając za znane samo powstanie i przebieg prądów zwarcia, nie będziemy się nad tą sprawą bliżej zastanawiali, musimy jedynie zauważyć, że amplituda prądu zwarcia w pierwszym momencie swego powstania w nowoczesnych prądnicach przyjmuje wielkość równą około 15-krotnej wielkości amplitudy prądu nominalnego obciążenia generatora (rys. 98) — i to bez względu na ilość faz zwartych. Prąd ten t. zw. udarowy prąd zwarcia, dla turbogeneratorów zwartych na szynach zbiorczych obliczamy według wzoru:

$$J_u = 1{,}8 \cdot 1{,}05 \cdot \frac{J_n}{\varepsilon} \sqrt{2} \quad \text{(wartość chwilowa),}$$

gdzie 1,8 jest doświadczalnie ustaloną stałą udaru,

1,05 „ 5%-wem podwyższeniem napięcia znamionowego generatora

$\varepsilon$ „ stosunkiem napięcia rozproszenia stojana do napięcia znamionowego prądnicy. W naszym przykładzie $\varepsilon = 0{,}178$,

$J_n$ „ prądem znamionowym prądnicy.

Udarowy prąd zwarcia, zależnie od konstrukcji maszyn wytwarzających prąd oraz miejsca w sieci, którem nastąpiło zwarcie, wmiarę upływu czasu, t. j. po około 2 —5 sekundach, przechodzi w prąd zwarcia trwały czyli ustalony. Tak więc amplituda udarowego prądu zwarcia maleje — i to do wielkości dwu- (zwarcie trójfazowe), trój- (zwarcie dwufazowe) względnie pięciokrotnej (zwarcie jednofazowe) amplitudy prądu znamionowego obciążenia generatora szybkobieżnego. Przy pracy generatorów wolnobieżnych, t. j. o biegunach wydatnych, prądy zwarcia ustalone są jeszcze o 25% większe od wyżej podanych.

Do tej pory milcząco przyjmowaliśmy, że samoczynne urządzenie regulacji napięcia nie istnieje lub też zostało wyłączone w chwili powstania zwarcia. Gdyby to nie nastąpiło, to ustalony prąd zwarcia mógłby przekroczyć wielkości wyżej podane jeszcze o około 50% i też najczęściej przekracza, a skutkiem dużego spadku napięć podczas zwarcia maleje siła synchronizująca tak, że wówczas generatory z łatwością wypadają z taktu. Celem utrzymania pracy równoległej nie odłączamy więc samoczynnych urządzeń regulujących napięcie. Niektórzy autorowie pragną zapobiec rozleceniu się współpracy nawet przez nagłe podniesienie napięcia (n. Stosser-regungs-verfahren), jakkolwiek jest to może już zbyt daleko idący zabieg, wymagający nazbyt silnych urządzeń, odpowiednich do spowodowanego nim wzrostu mocy odłączalnej tembardziej, że kołysania generatorów wystąpią już i tak, zanim podniesienie napięcia zostanie dokonane.

Celem ustalenia sposobów obrony urządzeń przed skutkami zwarcia, podstawę naszych rozważań stanowi znajomość wielkości prądu zwarcia i to zarówno udarowego jak i ustalonego, który może powstać w urządzeniach. Stosownie do tych wielkości i ze względu na wytrzymałość mechaniczną i cieplną muszą być dobrane wszystkie części urządzeń, a więc maszyny, wyłączniki olejowe i inne przyrządy.

Zauważamy teraz, że prądy udarowe stanowią dla urządzeń obciążenie dynamiczne (cieplne tylko wówczas, gdy prądy te są bardzo wielkie), natomiast prądy zwarcia ustalone stanowią obciążenie cieplne. Prądy zwarcia udarowe wytwarzają wszystkie będące w ruchu generatory, silniki synchroniczne, przetwornice jednotwornikowe oraz silniki asynchroniczne o mocy ponad 1000 kW, a prąd ustalony wzmagany jest, nietylko przez generatory synchroniczne, ale także przez silniki synchroniczne i przetwornice jednotwornikowe, o ile są one napędzane, a przez silniki asynchroniczne tylko w przypadku zwarcia dwuprzewodowego. Pozatem ustalony prąd zwarcia wzmacniany jest przez samoczynną regulację napięcia, gdyż przy zwarciu regulacja ta stara się utrzymać napięcie przez zwiększenie prądu wzbudzającego.

Przewody, przez które przepływa udarowy prąd zwarcia, oddziaływują wzajemnie na siebie, t. j. przyciągają się wzgl. odpychają z siłą, którą obliczamy ze wzoru:

$$F = 2{,}04 \cdot J_u^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-8} \text{ kg},$$

gdzie „$l$" oznacza rozpatrywaną długość w cm wzajemnie oddziaływujących na siebie przewodów, a „$a$" jest odległością w cm między temi dwoma równoległemi do siebie przewodami. Z obliczenia tego korzystamy zarówno przy sprawdzaniu wytrzymałości mechanicznej przewodów, jak i przy doborze odpowiednio wytrzymałych izolatorów wsporczych. Lecz i w tym przypadku nie jesteśmy wolni od niebezpieczeństwa rezonansu, jaki może powstać między częstotliwością drgań własnych przewodów i jedno- lub dwukrotną częstotliwością prądu roboczego. Według J. Biermanns'a (Überströme in Hochspannungsanlagen, Berlin 1926) siła, z jaką przewody wza-



Rys. 99. Skutki eksplozji wyłącznika olejowego (R. Rüdenberg).

jemnie na siebie oddziaływują, może być dwu- lub nawet trzykrotnie większa od siły wyliczonej według wyżej podanego wzoru, jeżeli częstotliwość drgań własnych przewodów będzie bliska jedno- lub dwukrotnej częstotliwości prądu roboczego. Dla przewodów obustronnie zamocowanych ilość okresów na sekundę drgań własnych obliczamy ze wzoru:

$$n = 112 \sqrt{\frac{E \cdot J}{g \cdot l^4}},$$

gdzie dla miedzi spółczynnik sprężystości $E = 1{,}15 \cdot 10^6$ kg/cm$^4$, „$J$" jest momentem bezwładności przekroju przewodu w cm$^4$, „$g$" jest wagą w kg przewodu o długości $l$ cm, „$l$" jest swobodną długością przewodu w cm zawartego między dwoma jego umocowaniami.

Jeżeli teraz weźmiemy pod uwagę, że prąd udarowy w sieci, na którą pracują generatory o łącznej mocy np. 80 000 kW, może przy napięciu generatorowem 6 000 woltów osiągnąć w nowych urządzeniach 150 000 amperów, a w starych nawet 300 000—400 000 amperów, i że wywołane tem obciążenia dynamiczne są wprost proporcjonalne do kwadratu prądu, to zda-

my sobie sprawę, z jak groźnem niebezpieczeństwem mamy do czynienia. Oprócz zakłócenia normalnej pracy prądy zwarcia mogą spowodować połamanie izolatorów wsporczych w szynach zbiorczych, pogięcie szyn, porwanie przewodów, skręcenie wałów, mechaniczne i cieplne uszkodzenia uzwojeń maszyn, mierników, rozłupanie izolatorów przejściowych w transformatorach miernikowych, samoczynne wyskakiwanie odłączników, wyrzucenie wyłączników olejowych z cel, zespojenie się kontaktów, eksplozję muf, kabli, wyłączników olejowych, transformatorów — a co za tem idzie: rozwalenie budynku, pożar i t. d. (rys. 99).

Natomiast wzrost temperatury przewodów miedzianych ponad temperaturę otoczenia obliczamy ze wzoru:

$$\vartheta = \left(\frac{J^2 . t}{156 . s}\right)^0 C,$$

gdzie „$J$" jest prądem mierzonym w amp., płynącym przez przewód o przekroju $s$ mm$^2$ w przeciągu czasu $t$ sek.

Prąd udarowy oczywiście również powoduje wzrost temperatury, lecz skutek ten, wobec naogół krótkiego czasu działania tego prądu, nie stanowi dla urządzeń istotnego niebezpieczeństwa.

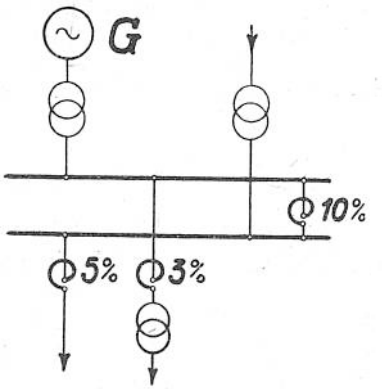
Stosownie więc do wywieranych przez prądy zwarcia dwóch rodzajów obciążeń, a mianowicie dynamicznego i cieplnego, w dwóch też kierunkach idą wysiłki nasze w walce z temi prądami, t. j. I. w ograniczaniu wielkości prądu zwarcia i II. w ograniczaniu czasu trwania danego zwarcia i lokalizowaniu go, t. j. selekcyjnem odłączaniu. W tym też porządku rozpatrzymy zasady prowadzenia walki, a więc:

### *I. Ograniczanie wielkości prądów zwarcia.*

Dzięki zmniejszeniu prądów zwarcia zwiększamy bezpieczeństwo urządzeń a) pod względem wytrzymałości mechanicznej, gdyż jednocześnie ze zmniejszeniem się prądów zwarcia zmniejszają się siły dynamiczne w stosunku do kwadratu prądu zwarcia; b) pod względem równowagi ruchu, gdyż zmniejszają się spadki na zaciskach generatora, dzięki czemu umożliwiamy utrzymanie się siły synchronizującej; c) pod względem wytrzymałości cieplnej, gdyż zmniejsza się obciążenie cieplne w stosunku do kwadratu zmniejszającego się prądu zwarcia; d) pod względem wytrzymałości elektrycznej, gdyż unika się przepięć i oddziaływań na inne uzwojenia. Jestto szczególnie ważne dla generatorów, gdyż przepływający przez stojan wielki prąd, spowodowany nagłem zwarciem, może indukować w obwodzie wzbudzającym generatora zmienne napięcie, które przy małym oporze indukcyjnym tego obwodu spowodować może przepięcia, a co za tem idzie, przebicie izolacji uzwojeń wirnika albotež innej części tego obwodu, jak np. wzbudnicy.

Ograniczanie wielkości prądów zwarcia osiągamy: 1) przez automatyczne odstawienie samoczynnej regulacji napięcia. W tym przypadku rola automatycznego regulatora jest wręcz przeciwna, gdyż stara się on przez zwiększenie wzbudzenia podnieść napięcie, które w generatorze spadło skutkiem zwarcia. W pewnym przypadku wskazane jest nawet osłabienie wzbu-

dzenia generatora. Zupełne odmagnesowanie, a nawet przemagnesowanie dla zniweczenia magnetyzmu szczątkowego stosujemy tylko jako obronę indywidualną generatora, dla zgaszenia łuku zwarcia, powstałego wewnątrz maszyny. Natomiast osłabienie pola jest wskazane z tego względu, że w przypadku wyskoczenia wyłącznika olejowego nastąpi nagle podskok napięcia na generatorze, co może prowadzić do przebicia. Jednakże wszystkie te zabiegi możemy stosować jedynie w wytwórniach pracujących samopas, gdyż przy pracy równoległej, skutkiem silnie zniżonego napięcia, generatory utraciłyby siłę synchronizującą, co spowodowałoby ich wypadnięcie z taktu i rozbicie pracy równoległej całego zespołu. Dlategoteż, celem utrzymania równowagi pracy równoległej, podczas zwarcia napięcie raczej podnosimy, aby utrzymać siłę synchronizującą w odpowiedniej wysokości, a przed nadmiernym wzrostem prądu zwarcia i jego skutkami zabezpieczamy się sposobami niżej podanemi; 2) ograniczenie wielkości prądu zwarcia osiągamy również przez zwiększenie oporności pozornej (impedancji) sieci przez szeregowe włączenie w linję odpowiednio dobranych oporności urojonych (reaktancyj), między wyłącznikiem a siecią (rys. 100). A więc dławiki stosujemy tam, gdzie sieć ma małą oporność urojoną (reaktancję). Stąd już możemy wnioskować, że skutecznie są chronione dławikami np. sieci wielkich miast, a więc sieci, gdzie na stosunkowo małym obszarze przesyłane są wielkie moce. Najczęściej stosujemy je w sieciach i to najchętniej dla zabezpieczenia linij odchodzących. Stosujemy je również i w samych szynach zbiorczych. Zwykle dobieramy dławiki na 5%-wy spadek napięcia przy normalnym prądzie pełnego obciążenia. Indukcja dławika wynosi (dławik płaski spiralny):



Rys. 100. Przeciwzwarciowe zabezpieczenia linij dławikami.

$$L = \frac{V \cdot 10^3}{2\pi \cdot f \cdot J_m}\, mH = \lambda \cdot D \cdot n^2 \cdot 10^{-6}\, mH,$$

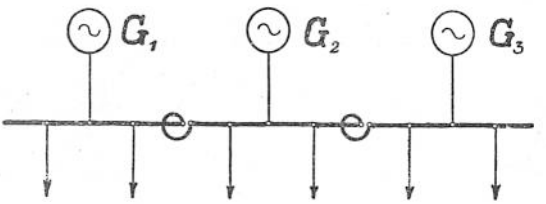
gdzie $V$ jest napięciem znamionowem dławika w woltach [napięcie oporności urojonej (reaktancji)], przy normalnym prądzie roboczym $J$ dławika przy częstotliwości $f$ okr./sek., $D$ jest zewnętrzną największą średnicą zwojów dławika w cm, $n$ jest liczbą zwojów dławika, a $\lambda$ jest spółczynnikiem indukcji dławika. Zwykle $V$ = 3-5-6-10% znamionowego napięcia roboczego sieci. Wówczas dławik np. 5-cio % zmniejsza udarowe prądy zwarcia do $\frac{1{,}8 \cdot 100}{5} =$ = 36-krotnej wielkości znamionowego prądu dławika, a ustalony prąd zwarcia wyniesie $\frac{100}{5}$ = 20-krotną wielkość znamionowego prądu dławika. Dławiki o nominalnem napięciu, wynoszącem 3% napięcia sieci, stosujemy tylko wówczas, gdy stanowią one uzupełnienie do conajmniej 5% oporności urojonej (reaktancji) transformatorów lub linij załączonych przed dławikami.

Wówczas jednakże należy zwracać uwagę na to, aby same dławiki prąd ten wytrzymały, co nie zawsze zachodzi przy opornościach urojonych (reaktancjach) 3%-wych, t. j. przy prądach zwarcia ok. 33-krotnie większych od prądu znamionowego.

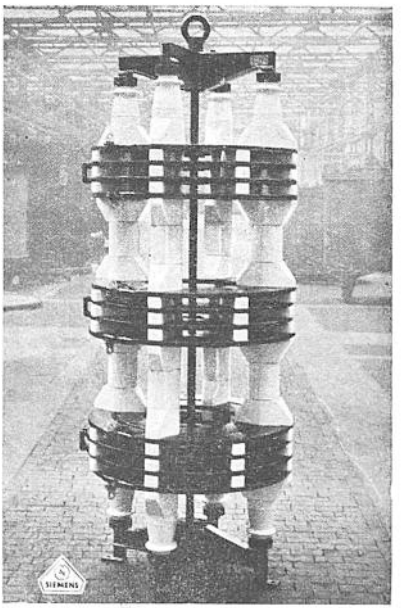
Dla ograniczenia prądu zwarcia posiłkujemy się często dzieleniem szyn zbiorczych, które w miejscach podziału łączy się (rys. 101) z sobą zapomocą dławików. Najskuteczniejsze działanie ich będzie wówczas, gdy w warunkach normalnych na dany odcinek szyn zbiorczych pracują przynależne do niego generatory, a tylko większe zapotrzebowanie sieci tego odcinka szyn zbiorczych ponad moc tych generatorów dopływa poprzez dławiki.

Dzięki założeniu dławików, nietylko ograniczamy prądy zwarcia, lecz również nie dopuszczamy do zniżenia się napięcia do zera, względnie do wartości, powodującej utratę siły synchronizującej, dzięki czemu generatory nie wypadają z taktu.

Dlategoteż przy zakładaniu dławików musimy mieć na uwadze, aby mimo zwarcia utrzymać napięcie nie niższe aniżeli 75%—50% napięcia roboczego.




Rys. 101. Przeciwzwarciowe zabezpieczenia szyn zbiorczych dławikami.



Rys. 102. Dławik dla sieci o napięciu 11 kV i 200 A.

Z powyższego widzimy, że szeregowe włączanie w sieć wielkich oporności urojonych (reaktancyj) nietylko zmniejsza prądy zwarcia, lecz również uspokaja ruch. Ze względów wytrzymałości mechanicznej dławiki obudowane są specjalną klatką porcelanową (rys. 102), z którą stanowią jedną całość. Co się tyczy wytrzymałości elektrycznej, to ponieważ przy zwarciach i łukowych uziemieniach odbite fale przepięciowe mogą wywołać podskok napięcia przy dławiku do czterokrotnej wysokości napięcia roboczego, przeto dławiki powinny być próbowane na napięcie nie mniejsze niż czterokrotne robocze. W każdym razie izolacja dławika ochronnego musi być silniejsza niż izolacja reszty urządzenia, i odporna na ciepło, a to z tego względu, aby nie nastąpiło uszkodzenie tej izolacji, a co za tem idzie, uziemienie i ewentualne dalsze przepięcie i to występujące właśnie przy ograniczaniu nadmiernego prądu. Jako najprostszy i najwygodniejszy środek ograniczania prądu zwarcia stosujemy dławiki te często przy przyłączaniu

do zespołu nowych sieci czyteż urządzeń odbiorców, a to dla ochrony nowoprzyłączonych urządzeń przed prądami zwarcia, do których urządzenia te nie były przystosowane. Oczywiście wrazie powiększania własnej mocy wytwórczej w większości przypadków korzystniej jest zabezpieczyć urządzenia własne dławikami, niż wymienić je na bardziej wytrzymałe, odpowiednie do nowego prądu zwarcia.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę elektrownie o mocy np. 50 000 kW, to z obliczeń Probst'a wynika, że w kablu przyłączonym do takiej elektrowni, a specjalnie niezabezpieczonym od prądów zwarcia, mogą wystąpić siły rozrywające w wysokości około 7 000 kg na 1 m. b. żyły kabla. Pomijając już wytrzymałość mechaniczną zauważymy, że kabel ten w stosunkowo krótkim czasie, bo wynoszącym zaledwie 0,2 sekundy, może nagrzać się do temperatury 4 000° C, a więc czterokrotnie wyższej ponad punkt topnienia miedzi. Oczywiście kabel musi eksplodować. Natomiast w wyłączniku olejowym olej może nagrzać się w tym czasie do kilkuset stopni. Jestto najlepszy dowód, jak wielką wagę przywiązywać musimy do ochrony przeciwzwarciowej wogóle, a w szczególności przy pracy równoległej. Jeżeli ze względów oszczędnościowych jakaś linja nie zostanie należycie ochroniona przed zwarciami, a z tych lub innych względów nastąpi zwarcie, wówczas całe urządzenie może stanąć w ogniu i nie da się wyłączyć. Jeden taki wypadek może stanowić o egzystencji elektrowni. Straty, wywołane takim wypadkiem, mogą spiętrzyć się do granic katastrofalnych, gdy skutkiem takiego wypadku unieruchomione będą na dłuższy okres czasu całe szeregi przemysłów. Od takich katastrof ustrzec się możemy jedynie współpracą elektrowni. Jednakże wówczas tem większą uwagę zwrócić musimy na ochronę przeciwzwarciową i pod tym względem żadne kwestje oszczędnościowe nie mogą wpływać na zmniejszenie bezpieczeństwa pracy własnego zespołu i odbiorców przyłączonych do sieci. Problem ten jest więc bardzo wielkiej wagi. Zabezpieczenia przeciwzwarciowe i przeciwprzetężeniowe całego zespołu muszą stanowić pewien system, którego nie wolno każdemu zmieniać dowolnie.

Mamy jeszcze jeden przypadek, w którym wobec zwiększenia się prądów zwarcia zastosowanie dławików jest nieuniknione. Konieczność taka występuje dla zabezpieczenia przewodów napowietrznych lub kablowych o przekroju za małym do wytrzymania obciążenia cieplnego, które, jak widzieliśmy, rośnie proporcjonalnie do kwadratu prądu zwarcia. O ile w sieciach małej mocy, o małym prądzie zwarcia, przy wyborze przekrojów, a nawet i typów aparatów, miarodajnemi były prądy normalnego obciążenia, o tyle przy wielkich mocach decyduje wzgląd na wytrzymałość obciążeń, spowodowanych prądami zwarcia. Zasada ta staje się corazto powszechniejsza, gdyż w corazto większej ilości przypadków jest ona stosowana nawet w sieciach niskiego napięcia. Dzieje się to dlatego, że udarowe prądy zwarcia w samych elektrowniach, nawet przy nowoczesnych prądnicach, są wielo-, np. 15-krotnie większe niż prądy pełnego ich obciążenia. Natomiast prąd normalny w jakiejkolwiek gałęzi sieci może być tylko drobną cząstką prądu pełnego obciążenia elektrowni. Ponieważ oporność indukcyjna (induktancja) pomiędzy miejscem zwarcia w gałęzi a elektrownią może być bardzo nieznaczna, przeto i prąd zwarcia, występujący w gałęzi, różni się tylko nie-

znacznie od prądu zwarcia w elektrowni. W każdym razie nawet ustalony prąd zwarcia może być kilkasetkrotnie większy od prądu normalnie płynącego w tej gałęzi sieci. Stąd wynika konieczność albo wymiany przewodów na grubsze albotеż zmniejszenia prądu zwarcia zapomocą dławików. Oczywiście, jak w każdym przypadku tak i tu, przy wyborze technicznie równie dobrego rozwiązania decyduje porównanie kosztów. W większości przypadków porównanie to wypada na korzyść dławików.

Z rozważań tych łatwo wywnioskujemy, że dławiki w sieciach najskuteczniej działają tam, gdzie mają za zadanie ochronę przed wielkiemi prądami zwarcia obwodu słabo obciążonego.

Dławików używamy chętnie przy napięciach roboczych do 50 kV. Nie wymagają one żadnej obsługi, o ile jednocześnie nie spełniają jakiejś innej roli. Wreszcie każdy transformator, szeregowo włączony w dany obwód, zmniejsza prądy zwarcia dzięki swej oporności urojonej (reaktancji). W przypadku, gdy otrzymujemy np. z generatorów napięcie 10 kV i transformujemy je np. na 30 i 100 kV, wówczas ze względu na ograniczenie prądów zwarcia, szczególnie korzystnem jest dla przetwarzania napięć użycie transformatora o trzech uzwojeniach. Transformatory takie obecnie coraz częściej są stosowane. 3) Wreszcie ograniczenie prądu zwarcia osiągamy przez stosowną budowę maszyn elektrycznych, dzięki czemu zaoszczędzamy konieczność włączenia przed niemi dławików. Dlategoteż zwykle instalujemy teraz generatory o pełnej oporności urojonej (reaktancji), wynoszącej w wolnobieżnych 21%—29%, a w szybkobieżnych (prądnicach turbinowych) 25%—45%, transformatory natomiast o napięciu zwarcia 8%—15%.

Naogół możemy powiedzieć, że przy jednakowych mocach prądy zwarcia są stosunkowo niebezpieczniejsze przy niższych napięciach, gdyż przy wyższych mamy znacznie dłuższe linje, a więc i większe oporności pozorne (impedancje), jak również i wielką oporność indukcyjną (induktancję) transformatorów, podwyższających albotеż zniżających napięcia.

W sieciach napięć najwyższych niebezpieczeństwa, związane ze zwarciem, ustępują miejsca niebezpieczeństwom, związanym z nagłem odjęciem obciążenia sieciom. W tych przypadkach wolimy raczej mieć do czynienia z prądem zwarcia o wielkości zazwyczaj nie przekraczającej dwukrotnie nominalnego prądu pełnego obciążenia, aniżeli ze skutkami prądów pojemnościowych, wyswobodzonych nagle zniknięciem prądów indukcyjnych obciążenia krańcowego.

Drugim sposobem walki ze zwarciami jest:

### *II. Ograniczanie czasu trwania zwarcia.*

Sposób ten jest ważny ze względu na wytrzymałość cieplną urządzeń oraz ze względu na utrzymanie w równowadze pracy równoległej. Z obu dopieroco wymienionych przyczyn czas, w jakim istnieć może zwarcie w sieci, powinien być możliwie najkrótszy. Celu tego dopniemy: 1) przez sprawne odłączanie zwarć, co osiągamy stosowną budową wyłączników, które byłyby zdolne do jaknajszybszego odłączenia; 2) przez selekcję zwarć, aby zakłócenie ruchu objęło możliwie najmniejszą ilość odbiorców względnie dostawców prądu.

## A. Odłączanie zwarć.

Przy odłączaniu zwarć względnie przyłączaniu odcinków sieci zwartych wyłączniki, które do tego celu stosujemy, pracują pod największem obciążeniem. Dlatego też konstrukcja tych wyłączników i ich budowa musi być oparta na zjawiskach, występujących w wyłącznikach podczas odłączania względnie przyłączania zwarć. Niestety niezupełnie zadowalają nas obliczenia, jakie możemy przeprowadzić dla wyjaśnienia tych zjawisk i towarzyszących im obciążeń elektrycznych, mechanicznych i cieplnych. Dlatego też rozwój wyłączników stale wyprzedzał teorję. Rozwój ten był oparty na doświadczeniu bądźto zaczerpniętem z pracy w sieciach, bądźteż zdobytem w specjalnie dla tego celu zbudowanych laboratorjach. Dopiero w ostatnich latach i w tej dziedzinie techniki zjawiska, warunkujące prawidłową pracę wyłączników, zostały wyjaśnione o tyle, że obecnie teorja wyprzedza praktykę, dzięki czemu droga rozwoju wyłączników jest jaśniej wytknięta.

Ze względów wytrzymałościowych każdy wyłącznik musi być zdolnym do odłączenia przewidywanej w miejscu jego ustawienia największej mocy odłączania, którą według przepisów VDE (REH) obliczamy według wzorów doświadczalnych:

a) dla zwarć dwufazowych:

$$N_0 = 1{,}1 \,.\, U \,.\, J_t \,.\, \left(1 + \frac{0{,}5}{a^2}\right) \text{ kVA}$$

b) dla zwarć trójfazowych:

$$N_0 = 1{,}1 \,.\, \sqrt{3} \,.\, U \,.\, J_t \,.\, \left(1 + \frac{0{,}5}{a^2}\right) \text{ kVA}$$

Już ze wzorów tych widać, że moc odłączalna będzie tem większa, im większy prąd płynie przez wyłącznik w chwili odłączania. A więc wyłącznik będzie tem więcej obciążony tą mocą, im szybciej nastąpi odłączenie zwarcia po jego powstaniu. Ustalono więc dla celów porównawczych i orjentacyjnych, że podawana moc odłączalna wyłączników dotyczy odłączenia dokonanego z 0,25 sek. opóźnieniem. Wówczas udarowy prąd zwarcia przeszedł już w prąd ustalony czyli trwały. W powyższych wzorach $J_t$ oznacza więc prąd zwarcia ustalony.

$a$ jest t. zw. właściwą odległością zwarcia; jestto stosunek:

$$a = \frac{x_s + x_n}{x_s},$$

gdzie $x_s$ jest opornością urojoną (reaktancją) całkowitego rozproszenia generatora, a $x_n$ jest wypadkową opornością obwodu zwartego, a więc przewodów i transformatorów.

Wyraz, stojący w nawiasie, jest równy około 1 przy zwarciach odległych i równy około 1,5 przy zwarciach, występujących w pobliżu wytwórni prądu.

Co się tyczy napięcia $U$, to Niemcy w obliczeniu mocy odłączania biorą pod uwagę istotnie panujące w chwili odłączania napięcie, a więc wyno-

szące około 0,7 × napięcia znamionowego, podczas gdy niektóre inne państwa, a między niemi i Ameryka, pod *U* rozumieją znamionowe napięcie sieci. W ten sposób niemieckie wyłączniki, ustawiane wpobliżu źródła prądu, są o około 30% słabsze od wyłączników pochodzenia innego, jak np. amerykańskiego.

Niżej podana tabela charakteryzuje wytrzymałość wyłączników olejowych:

| Napięcie znamionowe . . | 1 | 3 | 6 | 15 | 30 | 45 | 100 | 200 | kV |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Wyłączniki olejowe zwykłe: moc odłączalna przepisana przez VDE . . | 20 | 40 | 60 | | | | | | MVA |
| Wyłączn. olej. wzmocnione: max. moc odłączalna | | 100 | 300 | 400 | 500 | 600 | 1000 | 1500 | MVA |
| Wykonanie . . . . . | trójkotłowe jednokotłowe | | | | | | | | |

Z drugiej strony wyłącznik musi wytrzymać obciążenia, wywołane skutkami przyłączenia odcinka zwartego. Występujący wówczas udarowy prąd zwarcia nie może spowodować ani rozerwania kontaktów aniteż ich zespojenia lub zniekształcenia, które może być powodem jeżeli już nie zupełnego zniszczenia wyłącznika, to przynajmniej zacinania się go. Według przepisów VDE wyłączniki olejowe muszą wytrzymywać skutki niżej podanych prądów udarowych:

| Prąd znamionowy wyłączn. | 200 | 350 | 600 | 1 000 i więcej A. |
|---|---|---|---|---|
| Prąd udarowy | $\sqrt{2}$. 10 000 | $\sqrt{2}$. 15 000 | $\sqrt{2}$. 20 000 | $\sqrt{2}$. 30 000 A. |

Poza wytrzymałością wyłącznika na obciążenie elektryczne, mechaniczne i cieplne zarówno przy przyłączaniu jak i przy odłączaniu chromych części urządzeń wymagamy, aby wyłącznik zadania te wykonał w możliwie najkrótszym czasie. Jestto zagadnienie, którego rozwiązanie jest dla wyłączników decydujące. Celem bliższego zaznajomienia się z tem zagadnieniem i zapoznania się z obecnym kierunkiem budowy wyłączników musimy rozważyć w ogólnych zarysach teorję przebiegu odłączania.

Otóż przy rozdzielaniu kontaktów, wiodących prąd elektryczny, powstaje łuk, który przy prądzie zmiennym jest zarówno zjawiskiem bardzo pożytecznem i pożądanem, jak i jednocześnie niebezpiecznem. Łuk elektryczny w wyłączniku jest pożyteczny dlatego, że umożliwia odłączenie prądu w chwili jego przechodzenia przez zero. Na drodze mechanicznej nie możemy tego dopiąć zarówno ze względu na nadzwyczaj krótki czas, w jakim rozłączenie kontaktów powinno nastąpić, jak i ze względu na wielkie siły,

które musiałyby nadawać tym kontaktom stosowne przyśpieszenie. Łatwo sobie wyobrazić, jakie spustoszenie moglibyśmy spowodować, gdyby przerwa prądu nastąpiła nie w chwili jego przechodzenia przez zero; skutkiem byłoby nagłe zniknięcie pola magnetycznego, związanego z tym prądem. Tak więc łuk elektryczny spełnia rolę synchronizatora momentu rozdziału kontaktu z chwilą przechodzenia prądu przez zero. Po spełnieniu tej roli jednak łuk powinien jaknajszybciej i to bezpowrotnie zniknąć, gdyż dalsza jego obecność zagraża całości urządzeń, o czem przekonamy się poniżej. W tym celu przypuśćmy, że naprzykład w oleju rozwarliśmy nieco kontakty, wiodące prąd. Przy dostatecznem napięciu, panującem między kontaktami, następuje przebicie warstwy oleju, zawartej między kontaktami. Rzecz prosta, że towarzysząca temu zjawisku iskra bardzo silnie nagrzewa otaczający ją olej i powoduje powstanie par oleju i jego rozkładanie się. W ten sposób iskra otacza się płaszczem z gazu, powstałego z rozkładu oleju, i tak oddziela płomień od oleju i jego par.

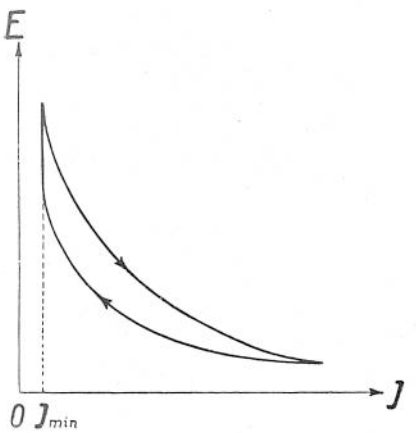
Rozważając zjawiska, występujące w ciągu jednego półokresu, możemy mówić przy prądzie zmiennym o katodzie i anodzie. Katoda, rozżarzona do temperatury wyższej od jasno-czerwonego żaru, wyrzuca z siebie zarówno ładunki elektryczne ujemne, t. j. elektrony, jak i dodatnie, t. j. jony; te ostatnie jednak w tak znikomej ilości wobec całej chmury elektronów, że obecność ich możemy pominąć. Zapominając narazie o istnieniu iskry zauważymy, że elektrony pod wpływem natężenia pola elektrycznego, panującego między kontaktami, biegną z pewnem przyśpieszeniem do anody. Na drodze swej elektrony natrafiają na atomy gazu, które pod wpływem zderzenia się z elektronami rozbijają się na nowe elektrony i jony. Nowe elektrony oczywiście zachowują się natychmiast podobnie do poprzednich tak, że zjawisko to potęguje się do tego stopnia, że możemy je nazwać jonizacją lawinową przestrzeni międzykontaktowej. Nie znaczy to jednak, że wszystkie elektrony dotrą do anody, gdyż przy zderzaniu się tracą swą siłę żywą i część ich wiąże się z napotkanemi jonami, tworząc t. zw. jony ujemne, a nawet neutralizując je zupełnie, skutkiem czego powstają atomy obojętne. Oczywiście, że i uwolnione jony także biorą udział w tem zjawisku, lecz są one o masie stosunkowo wielkiej, zresztą różnej, zależnie od materji, z której powstały, i biegną do katody znacznie wolniej od elektronów, których masa dla wszystkich ciał jest jednakowa i to bardzo mała. Dlategoteż jony nie odgrywają dużej roli w jonizacji. Jeżeli napięcie międzykontaktowe wzrośnie, to pod wpływem wzrostu gradientu pola elektrycznego kV/cm rośnie siła żywa elektronów, a zatem potęguje się jonizacja. Należy tu jeszcze zauważyć, że w próżni elektrony napotykają na swej drodze małą ilość atomów tak, że jonizacja w próżni jest mniejsza. Natomiast przy większem ciśnieniu atomów jest więcej, a co za tem idzie, mamy większą jonizację. Ta większa jonizacja jednak wymaga też większego napięcia międzykontaktowego, gdyż w corazto gęstszym ośrodku elektrony w swym ruchu napotykają na corazto większy opór.

W przerwie międzykontaktowej mamy więc jonizację zarówno przez emisję ciał rozżarzonych jak i przez zderzenie.

Elektrony, pędząc do anody, oddają jej swój ładunek, a jony wędrują z tym samym celem do katody. W ten sposób gaz staje się przewodni-

kiem prądu elektrycznego, a przewodnictwo to odbywa się przez konwekcję. Samo więc wytwarzanie cząsteczek gazu naładowanych ujemnie, czyli elektronów, oraz cząsteczek gazu naładowanych dodatnio, t. j. jonów, nazywa się jonizacją gazu.

Wmiarę upływu czasu jonizacja ta zwiększa się, gdyż elektrony, bombardując anodę, nietylko podtrzymują w ten sposób jej temperaturę, lecz nawet nagrzewają ją jeszcze bardziej, podczas gdy jony skutkiem swego bombardowania wywołują zupełnie analogicznie wzrost temperatury katody. Wreszcie skutkiem daleko posuniętej jonizacji następuje tak wielki wzrost przewodności konwekcyjnej gazu, zawartego w przerwie międzykontaktowej, że przy dostatecznie wysokiem napięciu międzyelektrodowem i przy dostatecznym dopływie ładunków elektrycznych następuje przewodnictwo łukowe. Przytem cząsteczki gazu, najbliższe drogi prądu, rozżarzają się pod wpływem wysokiej temperatury, skutkiem czego jonizacja, a więc i przewodnictwo, rośnie, prąd staje się większym i napięcie, konieczne do podtrzymania łuku, spada. Tak więc przebieg przewodzenia łukowego odbywa się wzdłuż charakterystyki opadającej (rys. 103). Jak widzimy, przy przewodnictwie łukowem pewna ilość energji musi być wydatkowana na wytworzenie i utrzymanie wysokiej temperatury, warunkującej w danym przypadku odpowiednią jonizację przestrzeni łukowej. W tym przypadku więc prąd nie jest proporcjonalny do napięcia, nie podlega prawu Ohma. — Natomiast skutkiem znacznego obniżenia się napięcia międzykontaktowego szybkość elektronów maleje do rzędu kilkunastu tysięcy kilometrów na sekundę. Początkowa więc sztywna droga iskry wiotczeje, łuk staje się bardzo giętki; skutkiem tego możemy go wydłużać bądźto naturalnym bądźteż sztucznym ciągiem gazu czyteż powietrza lub nawet stosunkowo słabym magnesem.



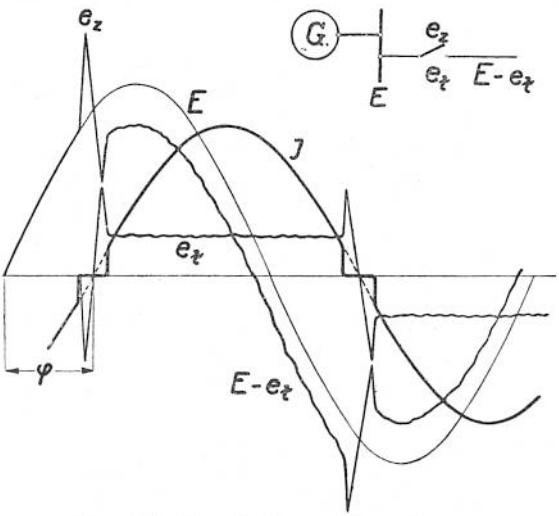
Rys. 103. Opadająca charakterystyka łuku elektrycznego.

Ta właściwość łuku elektrycznego jest ważna, gdyż została zastosowana w bardzo wielu przyrządach elektrycznych, a w szczególności w pewnym typie wyłączników, o czem będzie mowa w dalszym ciągu naszych rozważań.

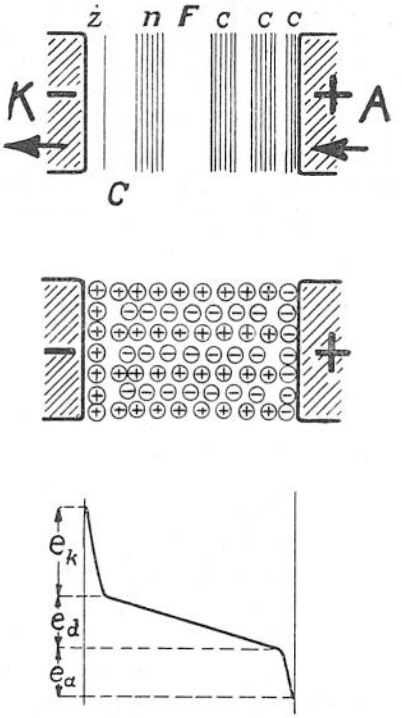
W chwili, gdy dopływ energji do kontaktów odpowiednio spadnie, łuk elektryczny gaśnie. Dzieje się to więc na chwilę przed przejściem prądu przez zero. Ponieważ jednakże chwila ta jest bardzo krótka, przeto w potocznej mowie nie odróżniamy jej od punktu zerowego sinusoidy prądu (rys. 104). Oczywiście, że ten fakt nagłego przerwania przepływu prądu nie jest bez wpływu na napięcie międzykontaktowe, gdyż indukuje się dość wysokie napięcie. Wobec pewnej samoindukcji i pojemności odłączonego obwodu napięcie to ma przebieg falowy i nakłada się na sinusoidę napię-

cia roboczego. W ten sposób między kontaktami panuje napięcie wypadkowe, które po upływie ćwierć okresu drgań własnych obwodu odłączanego od chwili przerwania prądu (zgaśnięcia łuku) osiąga wartość max. $e_z$, jak to zresztą widzimy na rys. 104. Na rysunku tym widzimy, że wielkość wypadkowego napięcia $e_z$ zależy od przesunięcia w fazie prądu płynącego w obwodzie odłączanym w stosunku do napięcia tego obwodu. Oczywiście $e_z$ będzie najmniejsze wówczas, gdy prąd i napięcie będą w fazie w chwili odłączania, i oczywiście $e_z$ będzie tem większe, im mniejszy będzie $\cos\varphi$.

Celem dokładnego zrozumienia skutków tego napięcia, musimy zdać sobie sprawę ze stanu elektrycznego, jaki ustalił się w danej




Rys. 104. Przebiegi napięć podczas odłączania.




Rys. 105. Przebiegi elektryczne w przestrzeni, zawartej między katodą i anodą.

chwili w przestrzeni międzykontaktowej. Stan ten możemy wyjaskrawić i wzrokowo zaobserwować w rurce Crooks'a. W tym celu musimy jednakże w rurce osiągnąć ciśnienie powietrza, odpowiadające zaledwie kilku milimetrom słupka rtęciowego. Przy tak małem ciśnieniu iskra, bijąca między dwiema elektrodami, wtopionemi w krańcach tej rurki, rozpływa się niejako i dalszy przepływ energji elektrycznej odbywa się na drodze konwekcyjnej, cała przestrzeń rurki zaczyna świecić, wreszcie, przy osiągnięciu wymaganego przez nas zniżenia ciśnienia, światło to układa się w widoczne warstwy. Katoda (rys. 105) pokryta jest cieniutkim kożuszkiem „*ż*" światła żółtego, poczem, przedzielona warstwą ciemną „*C*" t. zw. Crooks'a, widnieje warstwa światła niebieskiego „*n*". Wreszcie za dość grubą warstwą „*F*", t. zw. ciemnią Faraday'a, widzimy jedną lub więcej warstw „*c*" świecących barwą ceglastą, przyczem ostatnia z nich opiera się bezpośrednio o anodę. Barwa światła zależy od rodzaju rozrzedzonego gazu, w którym zjawisko to wywołujemy. Grubość warstw zależy od ciśnienia, przy-

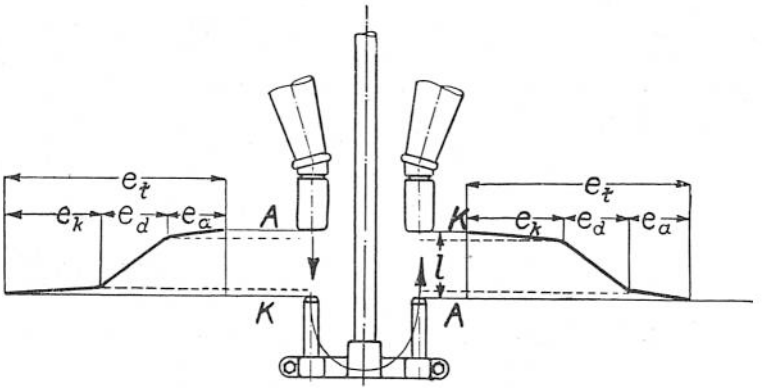
czem im ciśnienie jest niższe, tem cieńsze są warstwy. Zjawisko dopieroco opisane występuje w odpowiednich warunkach również i pod ciśnieniem atmosferycznem, a więc również i w rozpatrywanej przez nas przestrzeni łukowej; wówczas jednak nie możemy go tak wyjaskrawić jak w rurce Crooks'a i — co za tem idzie — wzrokowa obserwacja nie jest możliwa.

Jeżeli teraz jeden zacisk elektrometru połączymy z katodą, a sondę elektryczną, przyłączoną do drugiego zacisku, posuwać będziemy wzdłuż przerwy międzykontaktowej to zauważymy, że największą różnicę potencjałów wykaże kożuszek światła żółtego $e_k$ (rys. 105); następnie występuje spadek napięcia $e_d$, który możemy uznać jako proporcjonalny do długości przerwy międzykontaktowej. Wreszcie, tuż przy anodzie, następuje stosunkowo większy spadek napięcia w bardzo małej odległości od niej, lecz spadek ten jest bez porównania mniejszy od spadku żółtego kożuszka. Ten ostatni spadek, wobec bezpośredniego sąsiedztwa z anodą, nazywa się anodowym spadkiem napięcia $e_a$. Katodowy spadek napięcia $e_k$ występuje na grubości, wynoszącej około 0,007 mm, i nie zależy ani od ciśnienia ośrodka, w którym zjawisko występuje, aniteż od natężenia prądu. Jedynie wraz ze zmianą natężenia prądu odpowiednio rośnie lub maleje powierzchnia żółtej plamy na katodzie, t. j. powierzchnia, na której odbywa się wyładowanie. W ten sposób przy rosnącem natężeniu prądu rośnie powierzchnia spadku napięcia katodowego. W warstwie przykatodowej zebrane są jony, podtrzymujące tak duży katodowy spadek napięcia.

Należałoby teraz zadać sobie pytanie, co się stanie w przerwie międzykontaktowej, gdy nagle wstrzymamy dopływ energji do anody i katody. Otóż wówczas zebrane przy katodzie jony oddają momentalnie swe dodatnie ładunki katodzie, tworząc warstewkę, izolującą katodę od reszty przerwy międzykontaktowej, w której jony i elektrony nie zdążyły jeszcze oddać swego ładunku względnie się zneutralizować. Cała więc ta przestrzeń pozostaje nadal zjonizowaną, a więc przewodzącą. Jeżeli zatem po przerwie prądu zapanuje na kontaktach napięcie $e_z$, wystarczające do przebicia warstwy izolującej, t. j. nie mniej od 300 woltów, to łuk się zapala i zjawisko powtarza się tak długo, jak długo nie nastąpi albo obniżenie się napięcia na kontaktach alboteż dejonizacja przestrzeni łukowej tak wielka, że napięcie, występujące przy przerwaniu prądu, stanie się za niskie do przebicia warstwy izolującej.

Jeżeli pragnęlibyśmy przeszkodzić ponownemu zapaleniu się łuku, wówczas powinniśmy dążyć do takiej dejonizacji, która przezwyciężyłaby jonizację przez emisję rozżarzonych kontaktów i przez zderzenie. Dejonizację przestrzeni łukowej otrzymujemy: 1-o przez ponowne łączenie się elektronów z jonami, 2-o przez wyciekanie elektronów nazewnątrz, które odbywa się skutkiem tego, że elektron, zderzywszy się z atomem, traci część swej siły żywej i zbacza z drogi, 3-o przez oziębienie, które w okolicach elektrod utrudnia emisję ładunków, a wzdłuż powierzchni łuku ułatwia neutralizowanie się elektronów z jonami. Pozatem tworzy się lekka mgła; skutkiem tego elektrony wiążą się ze stosunkowo wielką masą kropelek mgły, wobec czego gwałtownie tracą przyśpieszenie swego ruchu w polu magnetycznem, przerywając w ten sposób jonizację przez zderzenie. Dejonizacja ta jest oczywiście tem skuteczniejsza, im łuk jest dłuższy.

Jeżeli więc w czasie palenia się łuku, t. j. w ciągu pół okresu, kontakty nie zdążą się dostatecznie oddalić, to łuk może się ponownie zapalić i zjawisko to powtarza się dalej. Stąd wynika konieczność oddalania się kontaktów z możliwie największą szybkością. Oczywiście pociągałoby to za sobą konieczność stosowania znacznych sił, rozwierających kontakty, oraz konieczność wielkiej długości drogi przebiegu kontaktów, szczególnie przy bardzo wysokich napięciach. Aby tego uniknąć, zwiększamy szybkość rozciągania łuku przez zastosowanie wielokrotnej przerwy (rys. 106). W ten sposób szybkość rozciągania łuku staje się odpowiednio wielokrotnie większa od szybkości oddalania się kontaktów tak, że jeżeli np. przy dwukrotnej przerwie szybkość ta wynosiła 4 ÷ 6 m/sek., to w wyłączniku o sześciokrotnej przerwie będzie ona wynosiła 8 ÷ 12 m/sek. Z takiego rozczłonkowania łuku wynika jeszcze jedna korzyść, dla której zrozumienia zauważymy, że




Rys. 106. Przebieg napięć łuku w dwuprzerwowym wyłączniku.

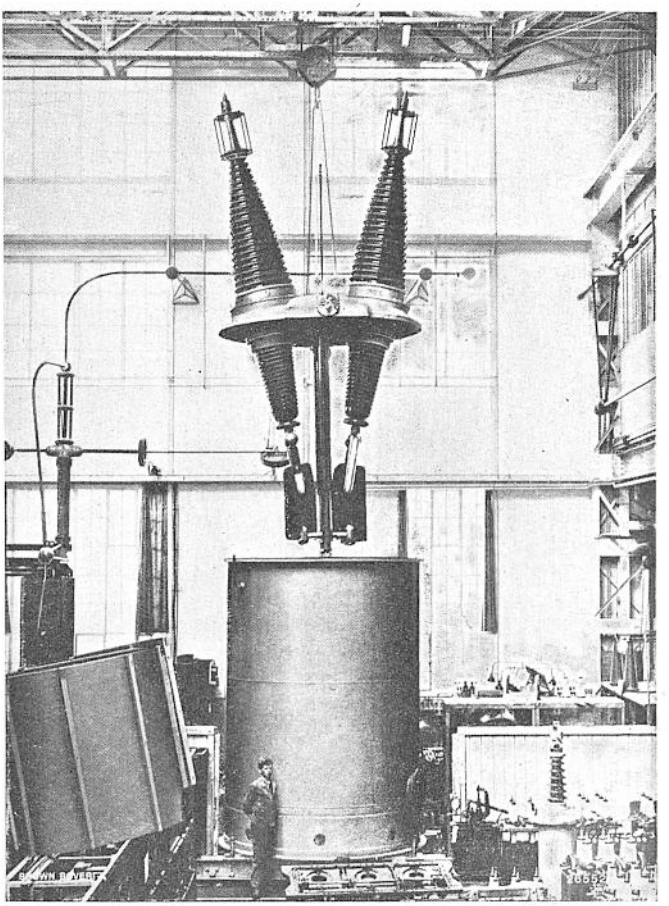
po zapaleniu się łuku napięcie jego wynosi: $e_l = e_k + e_d + e_a$. Jeżeli teraz dla porównania wyobrazimy sobie wyłącznik o dwukrotnej przerwie, a przytem oddalenie kontaktów zarówno w jednym jak i w drugim przypadku wyniesie np. 1 cm, to łuk przy dwukrotnej przerwie będzie wobec naszego założenia dwukrotnie dłuższy, wobec czego i spadek napięcia, zależny od długości łuku $e_d$, również się zdwoi. Lecz pozatem każdy z dwóch członów łuku stanowi osobny łuk o spadkach napięcia $e_k$ i $e_a$. Zatem spadek napięcia całkowitego łuku przy dwukrotnej przerwie wynosi:

$$e'_l = 2\,e_k + 2\,e_d + 2\,e_a .$$

Tak więc na podtrzymanie płonącego łuku w $n$-krotnej przerwie potrzebne jest $n$-krotne napięcie czyli $e'_l = n \,.\, e_l$. Każdy z członów wielokrotnego łuku ma więc swą warstwę katodowego spadku napięcia. Na przebicie tych „$n$" warstw potrzeba conajmniej napięcia: $e'_p = n \,.\, e_p = n \,.\, 300$ woltów. A wobec zwiększonej dejonizacji całej przerwy łukowej, na zapalenie łuku potrzeba napięcia: $e'_z = n \,.\, e_z$.

W celu intensywnego chłodzenia łuku elektrycznego i kontaktów zastosowano powszechnie olej mineralny; stąd też pochodzi nazwa napełnionych nim wyłączników: wyłączniki olejowe (rys. 107, 108, 109). Tak więc

głównem zadaniem oleju wyłącznikowego jest odprowadzenie znacznych ilości ciepła, które wytwarza się — jak to już widzieliśmy — skutkiem bardzo znacznych strat energji, zachodzących w łuku elektrycznym. Stracona praca, której wielkość jest właściwie przyczyną niebezpieczeństwa długo-



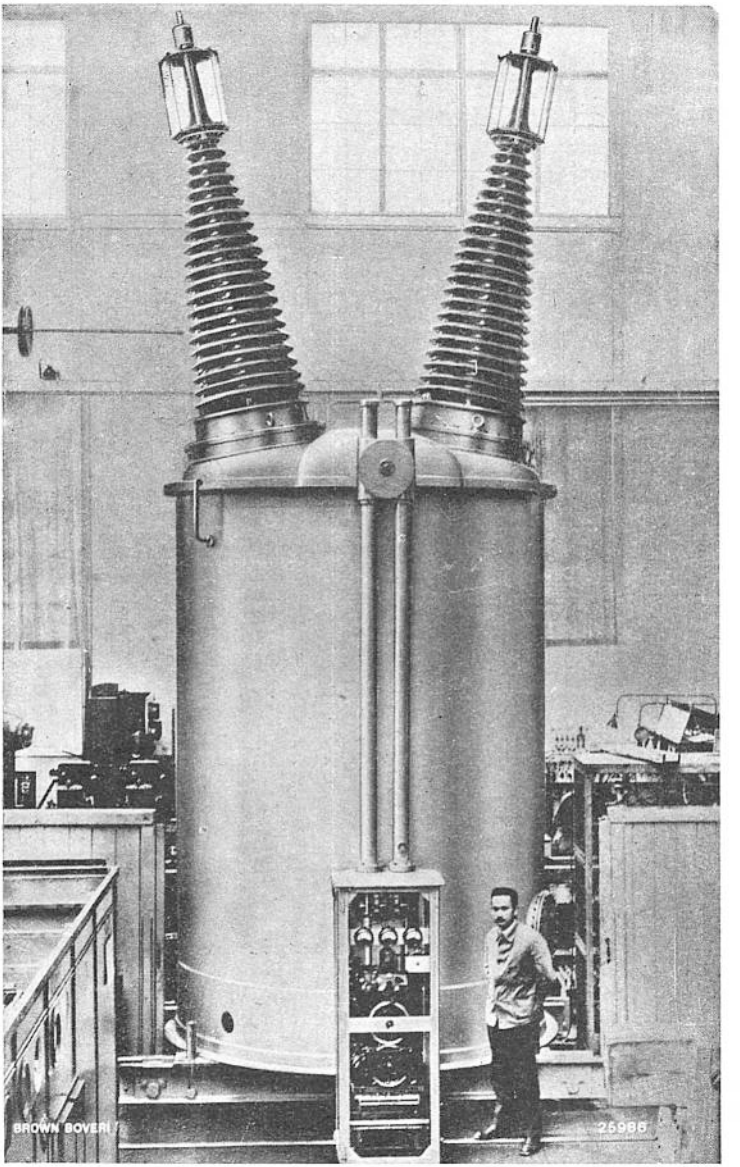
Rys. 107. Jednofazowy wyłącznik olejowy napowietrzny firmy BBC, typ AF, 220 kV, 400 A, wyjęty z kotła.

trwałości łuku, nazywa się pracą odłączania. Obliczamy ją według wzoru, podanego przez R. Rüdenberga („Elektrische Schaltvorgänge"):

$$A = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{e_t}{e_z} \cdot t_{gw} \cdot E \cdot J,$$

gdzie $t_{gw}$ oznacza czas w sekundach, liczony od chwili rozwarcia kontaktów do chwili ostatecznego zgaszenia łuku, $J$ jest amplitudą prądu przed rozwarciem kontaktów, $E$ natomiast amplitudą napięcia po odłączeniu. Jedną część ciepła, wytworzonego skutkiem tej pracy, muszą odprowa-

dzić kontakty. W tym celu muszą one być wykonane z materjału o wysokiem cieple właściwem, o dużej przewodności cieplnej i o wielkiej poje-

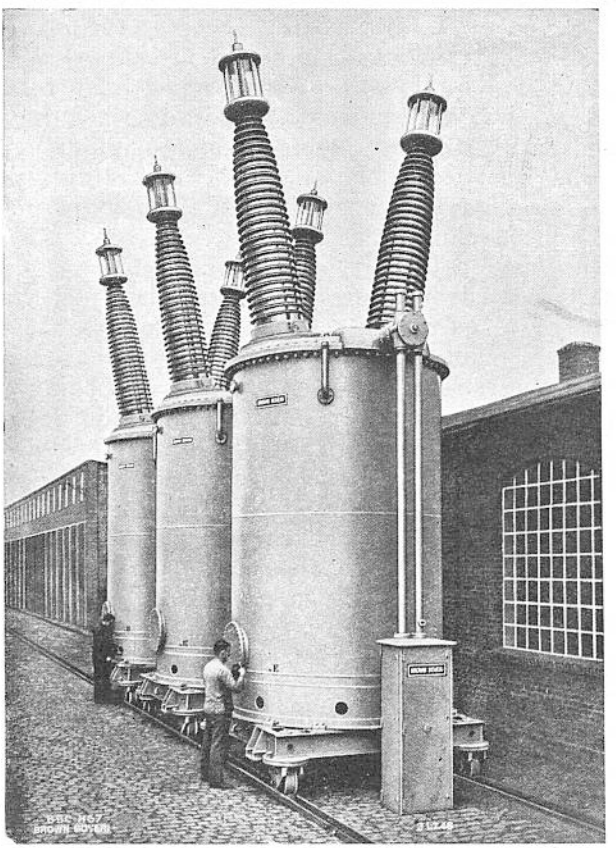



Rys. 108. Jednofazowy wyłącznik olejowy napowietrzny firmy BBC typ AF dla znamionowego napięcia roboczego 220 kV i znamionowego prądu 400 A.

mności cieplnej, aby się ani nie spawały ani nie perliły. Ostatni z powyższych trzech warunków decyduje o dostatecznie obfitem wymiarowaniu kontaktów, a dwa pierwsze stanowią o odpowiednim doborze materjału na

kontakty. Najlepszym materjałem na kontakty dla prądów silnych jest miedź.

Ponieważ największa ilość ciepła powstaje w drobnej części pierwszego półokresu, przeto następuje wybuchowe odparowanie oleju i częściowy jego rozkład. Nagłe odparowywanie oleju powoduje powstawanie naokoło kontaktów pęcherzy gazu i par oleju, wyrzucanych do góry. Według obserwacji Bauer'a powstaje wówczas około 50 $cm^3$ gazu na 1 kWsek. pracy



Rys. 109. Trójkotłowy wyłącznik olejowy dla sieci o napięciu roboczem $3 \times 220$ kV. (Zakład Elektryczny Gross-Auheim).

odłączania. Skutkiem tego powstaje wysokie ciśnienie w kotle wyłącznika, które musi on wytrzymać, albotež kocioł musi być zabezpieczony rurą, odprowadzającą nadmiar gazu nazewnątrz. Normalnie rura ta jest zaślepiona słabą mechanicznie diafragmą, np. z impregnowanego papieru, dla ochrony przed zanieczyszczaniem i wilgocią.

To nagłe wydzielanie się pęcherzy gazu wrazie odłączania silnych zwarć wyłącznikami olejowemi powoduje obserwowane przez nas częste wytryski oleju nazewnątrz kotła. Pary oleju, zmieszane z powietrzem znajdującem się w kotle, stanowią mieszaninę wybuchową. Jeżeli więc łuk

powstaje na kontaktach, zbyt płytko zanurzonych w oleju, wówczas istnieje niebezpieczeństwo przedostania się na powierzchnię oleju gazu o zbyt wysokiej temperaturze, co mogłoby spowodować samozapłon, oraz niebezpieczeństwo przedostania się poprzez pęcherze gazu łuku na powierzchnię lub wyskoczenia na powierzchnię rozżarzonych perełek metalu; skutkiem tego byłaby eksplozja wyłącznika, a co za tem idzie, zniszczenie nawet budynku (rys. 99) i t. p. Również więc i z tego względu zastosowanie szeregu przerw, t. j. szeregu krótkich łuków o ograniczonej ruchliwości i ograniczonym zasięgu, jest bardzo wskazane tembardziej, że przy długim łuku nie jesteśmy wstanie przewidzieć przestrzeni, którą będzie zajmował. Byłoby wówczas możliwe dotarcie łuku do korpusu wyłącznika lub przerzut łuku na sąsiednie fazy, co byłoby prawie jednoznaczne z mniejszem lub większem zniszczeniem urządzeń.

Oczywiście nie jest rzeczą obojętną, jaki gaz znajduje się w przestrzeni międzykontaktowej, gdyż od tego zależy zarówno wysokość napięcia przebicia $e_p$, jak i napięcia łuku $e_l$. Jak doświadczenie wskazuje, najkorzystniej dla nas zachowuje się pod tym względem wodór, który ma wielką przewodność cieplną i z tego względu wymaga wielokrotnie wyższych napięć $e_p$ i $e_l$, niż gdyby zjawisko to odbywało się w powietrzu. Natomiast wodór jest głównym produktem (około 70%) rozkładu oleju pod wpływem łuku; znajdując się więc w przestrzeni łukowej, podnosi temsamem wartość oleju jako materjału, umożliwiającego sprawne i bezpieczne odłączanie przedewszystkiem zwarć, które stanowią istotne niebezpieczeństwo dla wyłączników. Olej powoduje więc szybkie oziębianie przestrzeni łukowej, dzięki czemu następuje jej dejonizacja.

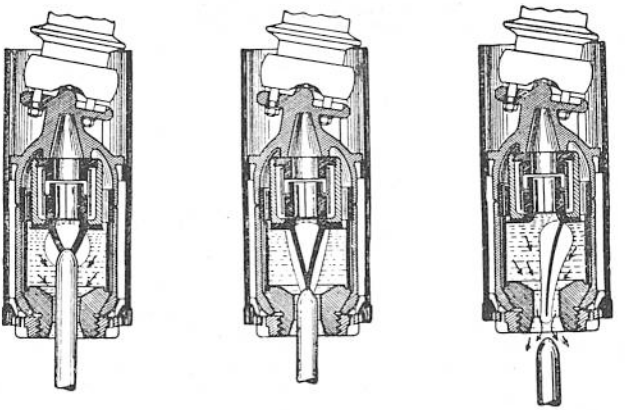
Tak więc od dobrego wyłącznika wymagamy oprócz jego dostatecznej wytrzymałości elektrycznej, mechanicznej i cieplnej przedewszystkiem ograniczenia czasu trwania ogniowego przebiegu wyłączania do możliwie pierwszego półokresu, t. j. do $t_{gw} < 1/100$ sek. oraz, co za tem idzie, do ograniczenia pracy odłączania do wielkości możliwie najmniejszej. Wymagania te zostają spełnione przez jaknajszybszą dejonizację przerwy łukowej, co najczęściej osiągamy przez silne ochładzanie jej. Dalej zauważono, że łuk przy prądzie zmiennym tem łatwiej gaśnie, im mniejszą średnicę ma jego pień. Zwiększenie ciśnienia powoduje wzrost napięcia przebicia $e_p$ przerwy łukowej; dzięki temu kontakty szybciej przekraczają odległość, w której napięcie przebicia $e_p$ staje się większe od będącego do dyspozycji napięcia zapłonu $e_z$. Wobec tego łuk już nie może się ponownie zapalić. Na tej zasadzie jest zbudowany:

1) Wyłącznik olejowy z komorą wybuchową:

*a.* Oil circuit breaker with explosion chamber,
*f.* Disjoncteur (interrupteur) avec chambre d'explosion,
*n.* Ölschalter mit Löschkammern.

Wyłącznik ten został wynaleziony przez Amerykanina Hilliard'a i wykonany przez „The General Electric Company". Na rynek europejski wprowadziła go firma AEG w roku 1911. W wyłączniku tym nieruchome kontakty, umocowane do izolatorów przepustowych, znajdują się w cylindrycz-

nej komorze zamkniętej i wypełnionej olejem. Komory te (rys. 110) są całkowicie zatopione w oleju w kotle wyłącznika. Są one sporządzone ze stali, a wewnątrz są wyłożone materjałem ogniotrwałym izolującym. Wrazie rozwarcia kontaktów łuk zapala się wewnątrz komory, a stosunkowo niewielka ilość oleju w komorze nagrzewa się bardzo silnie, gazuje, skutkiem czego powstaje wewnątrz komory bardzo duże ciśnienie, mogące wynosić do 80—100 kg/cm; powoduje ono zgaśnięcie łuku już po upływie kilku okresów. Jeśli to nie nastąpi, zgaszenie łuku odbędzie się na drodze dynamicznej, gdyż ruchome kontakty, wykonane z prętów o przekroju okrągłym, wychodzą nazewnątrz komory poprzez dostosowany do nich okrągły otwór w dnie komory. Gazy, cisnąc na ten pręt, przyśpieszają oczywiście temsamem jego wyjście z komory. Łuk więc wychodzi przez ten otwór nazewnątrz komory i skutkiem porwania ładunków elektrycznych z przestrzeni

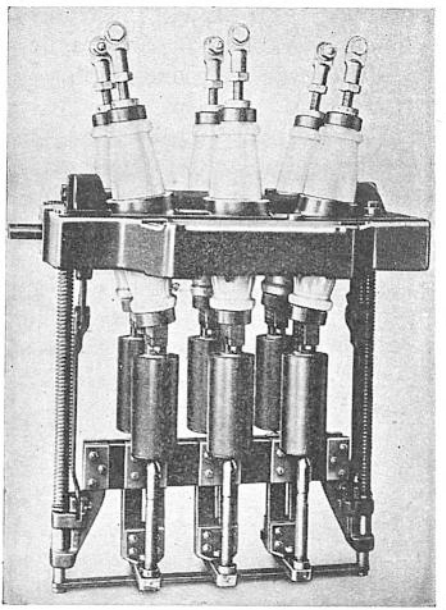


Rys. 110. Komora wybuchowa wyłącznika olejowego w stadjum pracy początkowem, pośredniem i końcowem.

łukowej zostaje zgaszony po upływie ok. $t_w = 0{,}25$ sek dzięki silnemu strumieniowi wypchniętego z komory tym samym otworem i poruszającego się z wielką szybkością gazu, par olejowych i gorącego oleju. Gorący olej oczywiście chłodzi się natychmiast, zmieszany z dużą masą oleju zawartego w kotle. Wypchnięty gorący gaz, w postaci małych pęcherzyków, biegnie najpierw w kierunku dna kotłowego, poczem dopiero wypływa na powierzchnię oleju, jako już dostatecznie ochłodzony. Oczywiście, że działanie tych komór jest tem wydatniejsze, im większą moc odłączamy. Dejonizacja przestrzeni łukowej polega tu zarówno na gwałtownym spadku temperatury, jak i na mechanicznem usuwaniu ładunków elektrycznych. W wyłączniku tym łuk jest bardzo krótki, bo wynosi zaledwie $^1/_3$ część długości łuku, powstającego w wyłączniku bez komór wybuchowych, a ilość wywiązującego się gazu zmniejszona jest do zaledwie 10%. Powstające podczas odłączania ciśnienie przejmują na siebie całkowicie komory wybuchowe. Ponieważ istniejące już wyłączniki można zaopatrywać w te komory, przeto temsamem mamy możność bardzo znacznego powiększenia ich mocy odłączalnej. Zazwyczaj wyłączniki olejowe z komorami wybuchowemi są dwu-

przerwowe, t. j. każda faza zaopatrzona jest w dwie komory (rys. 111); są jednak budowane również wyłączniki takie wieloprzerwowe.

Aby wyłączniki te mogły sprawnie działać wrazie odłączania stosunkowo małego prądu, komory wybuchowe są stosunkowo małe. Okoliczność ta pociąga za sobą konieczność stosowania niezbyt grubego trzpienia kontaktu ruchomego. W obec tego w wyłącznikach, zbudowanych na prąd znamionowy większy od 600 A, zastosowano dwa równoległe kontakty; grubszy z nich znajduje się nazewnątrz komory wybuchowej i rozwiera się szybciej; potem dopiero rozwiera się wewnątrz komory kontakt cienki, przeprowadzający właściwy przebieg odłączania.



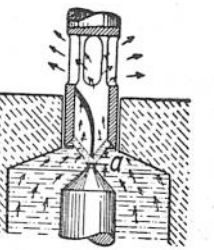
Rys. 111. Wyłącznik olejowy z komorą wybuchową, rząd 10, 350 A., o mocy odłączalnej 400 MVA.

Dla bliższej orjentacji podamy, że wyłączniki olejowe z komorami wybuchowemi ustawiono np. w sieci 132 kV Ohio Power Co. o mocy odłączalnej 1500 MVA; cały przebieg odłączania dokonywują one w ciągu około $t_w = 0{,}13$ sek. Pozatem firma General Electric Company ustawiła wyłącznik z komorami wybuchowemi w sieci 220 kV The Philadelphia Electric Company, gdzie zostały przeprowadzone próby, które wykazały, że cały przebieg odłączania prądu, płynącego w łuku o natężeniu 2 200 A, trwał $t_w = 0{,}133$ sek.

2) Wyłącznik olejowy z komorą olejową.

f. Disjoncteur (interrupteur) à injection d'huile,
n. Ölarmer Schalter.

Wyłącznik ten możemy uważać za pewnego rodzaju odmianę wyłączników olejowych z komorą wybuchową. Idea tego wyłącznika jest następująca: wysoka temperatura łuku oddziaływuje na olej, zawarty w komorze, i skutkiem rozszerzania się oleju oraz ciśnienia gazów olej wytryska przez stosowne kanały do przestrzeni łukowej bądźto wzdłuż bądźteż wpoprzek łuku (rys. 112). Spowodu zarówno intensywnego chłodzenia jak i mechanicznego usuwania ładunków elektrycznych z przestrzeni łukowej następuje dejonizacja tak silna, a raczej tak szybkie zastąpienie zjonizowanego gazu wysokowartościowym materjałem izolacyjnym, t. j. olejem, że całkowity przebieg odłączania następuje po upływie około $t_w = 0{,}15$ sek.



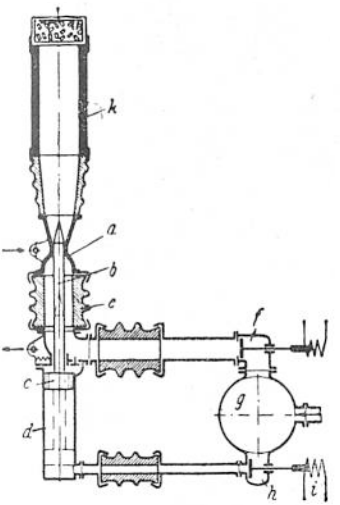
Rys. 112. Idea wyłącznika olejowego z komorą olejową.

Jak widzimy, różnica między komorą wybuchową a komorą olejową polega na tem, że w komorze olejowej ciśnienie jest znacznie mniejsze, gdyż jest ona stale otwarta, podczas gdy komora wybuchowa otwiera się dopiero pod koniec przebiegu odłączania. Zresztą niektóre rozwiązania konstrukcyjne przewidują wytwarzanie strumienia olejowego pod ciśnieniem z zewnątrz, osiągniętem odpowiednią sprężyną, naciskającą na tłok i t. p. W ten sposób do przestrzeni łukowej dostaje się tylko sam olej, podczas gdy w wyłączniku z komorą wybuchową do przestrzeni łukowej wpada strumień mieszaniny gazu, par olejowych i gorącego oleju.

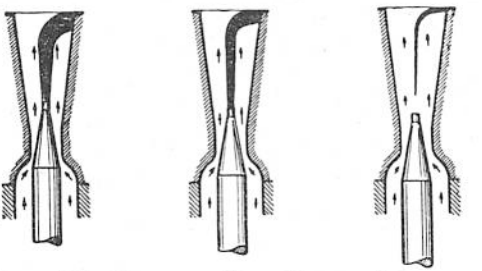
3) Wyłącznik sprężeniowy (powietrzny).

f. Disjoncteur (interrupteur) à injection d'air ou á gaz comprimé.
n. Druckluftschalter oder Druckgasschalter.

W wyłączniku powietrznym, którego pomysł powstał w Ameryce w roku 1902, kontaktem stałym jest dysza „*a*" (rys. 113), zamknięta kontaktem ruchomym „*b*". Wrazie zwarcia magnes wyzwalający otwiera zawór wpustowy „*f*", dzięki czemu ścieśnione powietrze (lub rzadziej dwutlenek węgla), zawarte w odpowiednim kotle „*g*", dostaje się do przedsionka dyszy, skąd część tego powietrza wchodzi do cylindra „*d*" z tłokiem „*c*", dokonywującym rozwarcia kontaktów; skutkiem tego przez otwartą dyszę (rys. 114) wylatuje nazewnątrz powietrze z przedsionka dyszy, dmuchając wzdłuż łuku. Przebieg gaszenia łuku kończy się już w pierwszym półokresie, t. j.




Rys. 113. Schemat wyłącznika powietrznego:
i — magnes zaworu *h* wpustowego, załączającego; e — izolator; strzałki wskazują zaciski dołączeniowe.

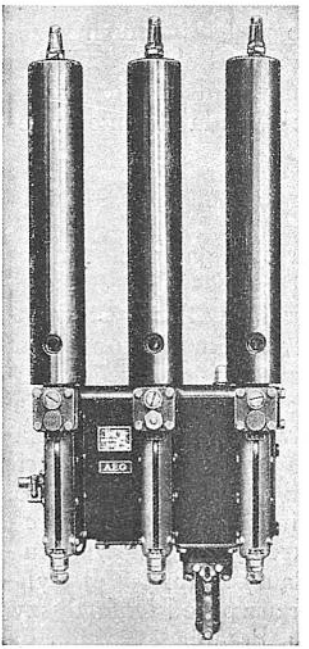


Rys. 114. Dysza wyłącznika powietrznego w stadjum pracy początkowem, pośredniem i końcowem.

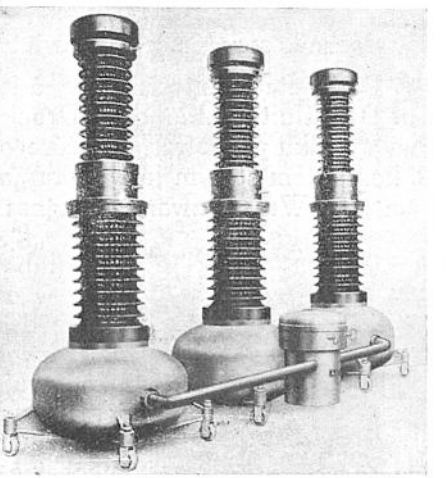
po upływie około $t_{gw} = 0{,}01$ sek., a to dzięki bardzo silnej dejonizacji, spowodowanej zarówno znacznem oziębieniem jak i wielką szybkością strumienia powietrza. Oczywiście, że pewną rolę odgrywa tu także ciśnienie, gdyż skutkiem jego wzrostu rośnie wytrzymałość elektryczna na przebicie warstwy powietrza, zawartej między kontaktami. Wyłącznik ten w najnowszem wykonaniu według prof. Rupell'a odłącza już bez hałasu.

Ten rodzaj wyłączników, jakkolwiek dopuszcza stosowanie ich dla napięcia od 3 kV do 220 kV na fazę (zainstalowane są do 100 kV), to jednakże jest o tyle skomplikowany, że wymaga jednoczesnej instalacji kom-

presorów, zależnie od mocy odłączanej dla 5 atm. do 9 atm. względnie do 16 atm. nadciśnienia, co w wielu przypadkach pociąga za sobą zbyt wielkie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne. Dlategoteż możliwości zastosowania tych wyłączników ograniczają się do większych rozdzielni, gdzie opłaca się ustawienie kompresora lub gdzie może być okolicznościowo wykorzystana istniejąca już instalacja kompresorowa, służąca zasadniczo do in-



Rys. 115. Wyłącznik powietrzny, rząd 10, typ CPJ, 600 A, moc odłączalna 200 MVA.



Rys. 116. Wyłącznik powietrzny, rząd 100, typ CPF, 600 A., moc odłączalna 1500 MVA, w wykonaniu napowietrznem.

nych celów. Zużycie powietrza zależy oczywiście od wielkości wyłącznika i tak naprzykład dla rzędu 10 dla załączenia potrzeba po przeliczeniu na ciśnienie atmosferyczne około 60 ltr., a do odłączenia około 150 ltr. Moc odłączalna tych wyłączników wynosi:

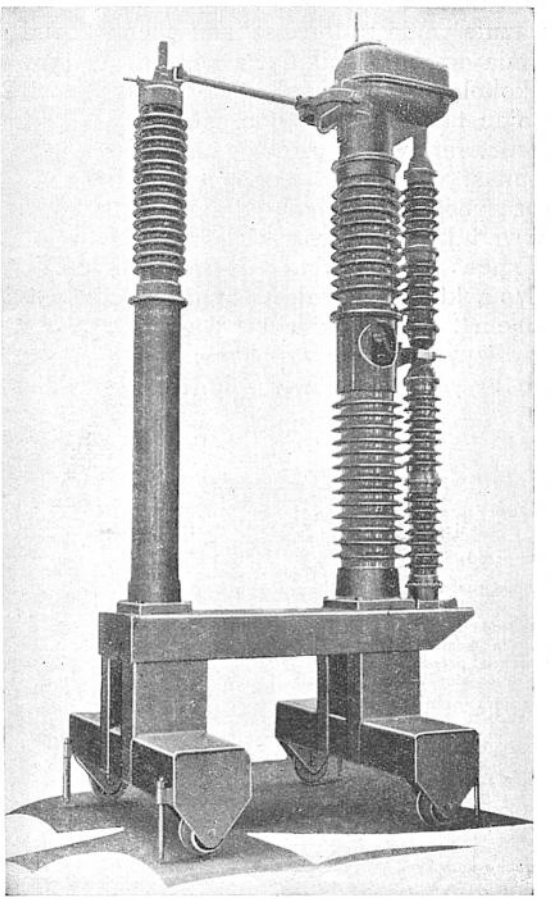
| | | |
|---|---|---|
| dla rzędu 10 i 20 . . . . . | 200 MVA | (rys. 115) |
| „ „ 30 . . . . . | 250 — 500 MVA | |
| „ „ 60 . . . . . | 1000 MVA | |
| „ „ 100 . . . . . | 1500 MVA | (rys. 116) |
| „ „ 220 . . . . . | 2500 MVA | |

Całkowity czas odłączania wynosi $t_w = 0{,}1 - 0{,}2$ sek., a czas przyłączania 0,15—0,3 sek. Wyłączniki te budują firmy AEG i BBC. W Europie ustawiono dotychczas wyłączników tych około 400 szt.

a. Wyłącznik powietrzny firmy Delle. (f. Disjoncteur pneumatique).

O ile w wyłącznikach powietrznych firmy AEG wdmuchiwanie powietrza odbywa się wzdłuż łuku, o tyle w wyłącznikach takich firmy Delle dzieje się to wpoprzek łuku. Powietrze wydłuża łuk tak, że obejmuje on sobą dwa kontakty dodatkowe, umieszczone w górnym kominku wyłącznika, zrobionym z materjału izolacyjnego. Górny kontakt dodatkowy jest połączo-

ny metalicznie ze stałym kontaktem wyłącznika, a dolny kontakt dodatkowy jest połączony w ten sam sposób z kontaktem ruchomym wyłącznika. Oczywiście, że i tutaj zjawisko dejonizowania przestrzeni łukowej odbywa się taksamo, jak w wyłączniku dopieroco rozpatrzonym. Wyłącznik Delle ma jednak jeszcze trzeci kontakt dodatkowy, umieszczony pomiędzy obu wyżej wymienionemi kontaktami dodatkowemi, t. j. dolnym i górnym. Ten środkowy kontakt jest więc objęty łukiem, a ponieważ między niego i dolny kontakt dodatkowy włączono pewną oporność rzeczywistą, przeto skutkiem tego łuk na pewnej swej długości zostaje zbocznikowany. Przy pierwszem przejściu prądu przez zero, zbocznikowana część łuku gaśnie więc niepowrotnie tak, że w drugim półokresie łuk pali się już tylko między środkowym a górnym kontaktem dodatkowym. W ten sposób oporność rzeczywista zostaje włączona samoczynnie w szereg z obwodem odłączanym, dzięki czemu prąd zwarcia maleje do wielkości dopuszczalnej dla danego wyłącznika, a pozatem poprawia się cos φ obwodu zwartego, co oczywiście utrudnia zapłon łuku tak, że zwykle po drugiem przejściu prądu przez zero przebieg wyłączania jest zakończony. Oprócz tego oporność ta zwiększa oczywiście tłumienie drgań własnych obwodu. Mieści się ona wewnątrz izolatora, ustawionego obok właściwego wyłącznika, podobnie jak i kondensator oraz transformator prądowy miernikowy, które służą do celów pomiarowych i dla przekaźników.



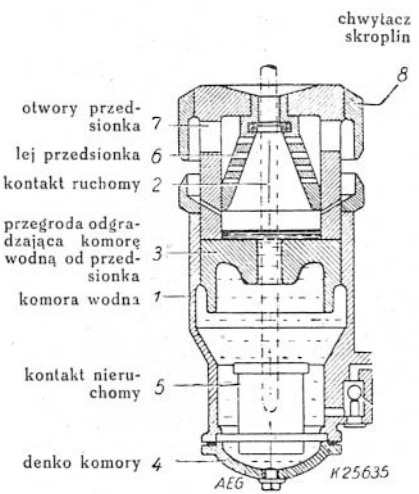
Rys. 117. Wyłącznik powietrzny firmy Delle.

Omawiane wyłączniki, z których jeden widzimy na rys. 117, posiłkują się powietrzem sprężonem tylko do około 2—3 atmosfer, natomiast w dyszy gasikowej oraz w kominku wyłącznika ciśnienie powietrza niewiele przekracza ciśnienie atmosferyczne. Przy znacznych mocach odłączalnych firma Delle zaopatruje swój wyłącznik w dwukrotne bocznikowanie łuku. Całkowite zgaszenie łuku odbywa się w tych wyłącznikach w czasie, nie przekraczającym 0,02 sek.

4. Wyłącznik wodny.

(Disjoncteur à eau, n. Wasserschalter).

Dążenie do usunięcia z wyłączników bądźcobądź niebezpiecznego w użyciu oleju poszło nietylko w kierunku zastosowania powietrza ścieśnionego, lecz także w kierunku zastąpienia oleju innemi płynami. Płyny te to przeważnie woda z domieszkami chemicznemi dla obniżenia jej punktu zamarzania oraz dla uniknięcia korozji. W tym celu niektóre firmy posługują się alkoholem (glykolem), nazywając taki rozczyn poprostu wodą. Inne firmy używają natomiast bardziej złożonych rozczynów, których skład stanowi tajemnicę firmy. Firma Siemens naprzykład używa płynu, który nazwała „expansin'em". Dla uniknięcia wyparowywania wody pokrywa się zwykle jej powierzchnię warstewką oleju. We wszystkich wyłącznikach wodnych osiągamy dejonizację przestrzeni łukowej zapomocą pary wodnej. Jak wiemy, dejonizacja odbywa się albo na drodze mechanicznej przez usuwanie ładunków elektrycznych z przestrzeni łukowej zapomocą silnego strumienia, jak w danym razie pary wodnej, lub też na drodze cieplnej przez bardzo silne oziębienie, skutkiem czego przerywamy jonizację, albo wreszcie jonizację uniemożliwia się udarowo przez olbrzymie zwiększenie masy elektronu, który lepi się do kropelek pary nasyconej i temsamem traci swą szybkość. W Europie pracuje około 1500 wyłączników wodnych.



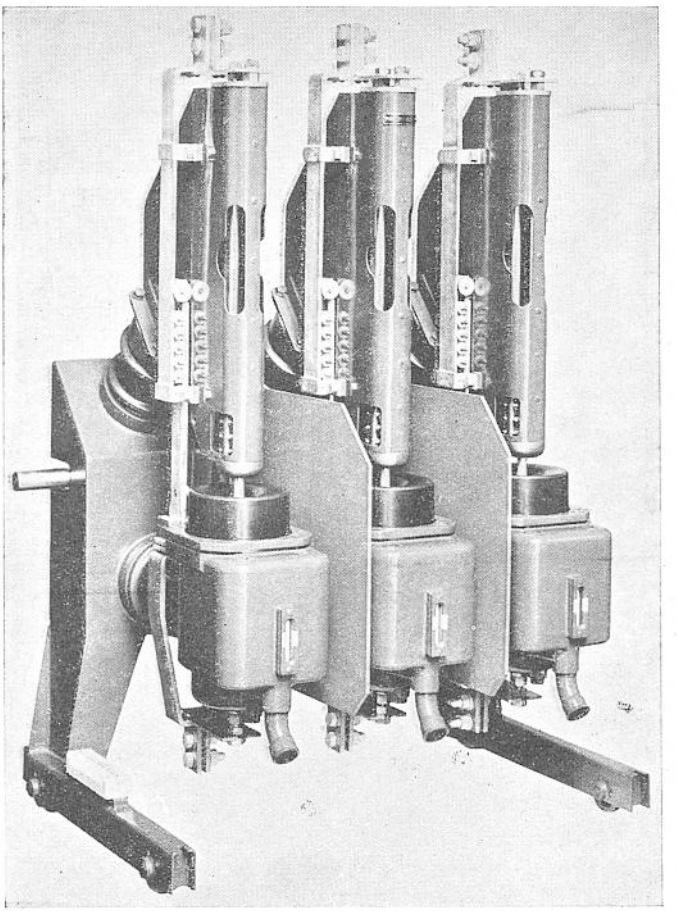

Rys. 118. Komora wodna wyłącznika CW firmy AEG




Rys. 119. Wyłącznik wodny CW firmy AEG, rząd 10, 600 A.

a) Wyłącznik wodny firmy AEG wyzyskuje dynamiczne własności

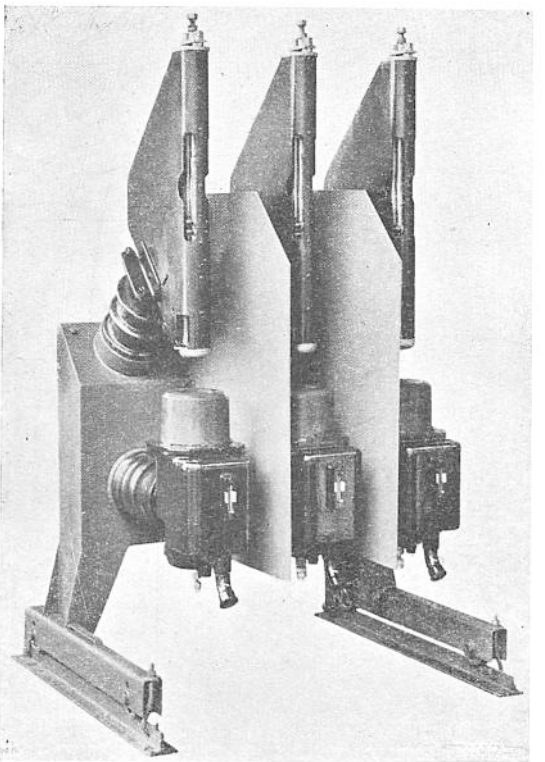
pary. Wytwarzanie pary odbywa się w komorze wodnej (rys. 118), zupełnie analogicznej do komory wybuchowej. Komora wodna „1" jest całkowicie zapełniona wodą, która przez szczelinę, okalającą kontakt ruchomy „2", przedostaje się do przedsionka komory. Na dnie komory znajduje się kontakt stały „5". Komora wodna wytrzymuje bardzo wysokie ciśnienie, które wytwarza się w niej podczas odparowywania. Wysokość komory jest



Rys. 120. Trójbiegunowy wyłącznik wodny f-my BBC, typ U 11 p. 400, bez napędu w położeniu załączenia; nom. napięcie 11 kV, nom. prąd 2500 A, moc odłączania 400 MVA.

tak dobrana, że ruchomy kontakt opuszcza ją w chwili wytworzenia się najkorzystniejszego ciśnienia, które jest bardzo wysokie. Wówczas łuk płonący między kontaktem stałym i ruchomym, otulony płaszczem pary, wychodzi za trzpieniem kontaktowym „2" do przedsionka komory, a przez otwór, uwolniony przez trzpień, wytryskuje strumień pary, spełniając swe zadanie w znany nam sposób. Pary tej nie traci się całkowicie, lecz część jej odprowadza się do zbiornika, skąd sama dopływa do komory wodnej

wmiarę potrzeby. Wyłączniki wodne, oznaczone przez firmę AEG znakiem *CW* (rys. 119), buduje się dla napięć 10 i 20 kV, dla prądów znamionowych 600, 1000 i 1200 A, o mocy odłączalnej do 400 MVA. Czas palenia się łuku wynosi $t_{gw} = 0{,}01 - 0{,}02$ sek.



Rys. 121. Trójbiegunowy wyłącznik wodny f-my BBC, typ U 24 k 250, bez napędu, w położeniu odłączenia; nom. napięcie 24 kV, nom. prąd 640 A, moc odłączania 250 MVA.

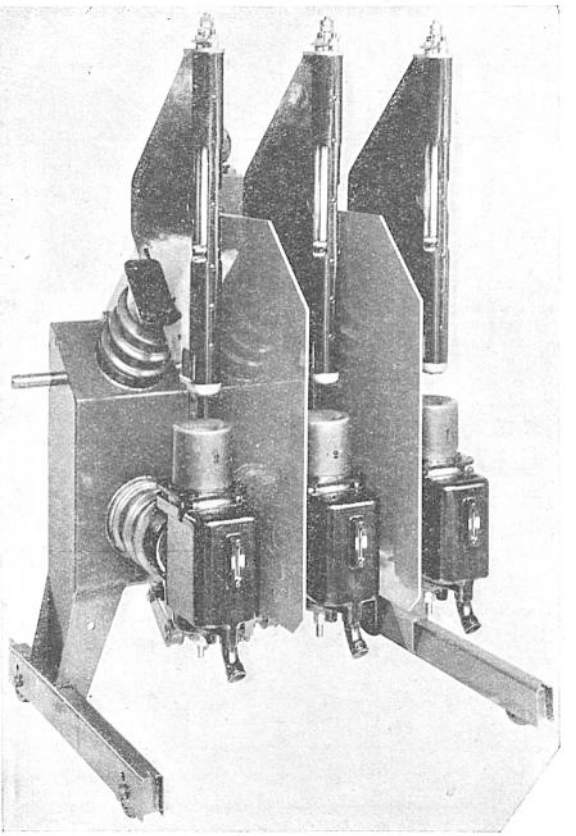
b) Wyłącznik wodny firmy BBC. (rys. 120, 121 i 122). W wyłączniku tym wytwarza się parę w komorze wodnej (rys. 123), naogół podobnej do poprzednio rozpatrywanej. Tu jednakże trzpień kontaktu całkowicie wypełnia otwór, prowadzący do przedsionka komory. Działanie tego wyłącznika opiera się na zasadzie dejonizowania przestrzeni łukowej zarówno na drodze dynamicznej jak i cieplnej. W tym celu, oprócz wywołania silnego strumienia pary, powodujemy w przedsionku komory nagłe jej rozprężenie. Część tej pary kondensuje się i w postaci wody spływa do komory, a reszta rurą wydmuchową odprowadzana jest nazewnątrz. Wypada jeszcze zauważyć, że przedsionek zamyka stosowną klapą otwór zewnętrzny zaraz po wyjściu trzpienia kontaktowego nazewnątrz przedsionka, a to w celu przeszkodzenia wypływowi pary nazewnątrz. Ponieważ wyłącznik musi pracować także w przypadku odłączania stosunkowo małych prądów, przeto komora wodna wymiarami swemi jest do tego dostosowana. Ażeby jednak podczas odłączania wielkich prądów ciśnienie w komorze nie przekroczyło ciśnienia, uznanego za najkorzystniejsze dla przebiegu dejonizacji, komory zaopatrzone są w samoczynne zawory. Wyłączniki te budowane są na napięcia do 37 kV, dla prądów znamionowych od 400—500 A i dla mocy odłączalnej 100, 250 i 400 MVA. Wyłączniki te dokonywują całkowitego odłączania po upływie $t_w = 0{,}1$ sek. Czas przyłączania wynosi około 0,15 sek. (rys. 124).

c) Wyłącznik rozprężeniowy (ekspansyjny) firmy Siemens-Schuckert. (f. Disjoncteur (interrupteur) à expansion. n. Expansionsschalter). Wyłącznik ten opiera swe działanie dejonizacyjne na powodowaniu

gwałtownego spadku temperatury w przestrzeni łukowej. Osiąga się to w ten sposób (rys. 125), że w komorze wodnej w znany nam już z poprzednich opisów sposób wytwarza się parę o wysokiem ciśnieniu. Ponieważ najkorzystniejszem ciśnieniem jest 15—30 atm., przeto komora wodna nie jest tu sztywna jak w poprzednich typach, lecz elastyczna, gdyż zapomocą odpowiednich sprężyn reguluje się jej docisk do przedsionka tak, że po przekroczeniu ustalonego ciśnienia komora wodna nieco się obniża, wypuszczając przez powstałą przytem szczelinę odpowiednią ilość pary. Para ta w przedsionku rozpręża się adiabatycznie i dzięki temu oziębia bardzo silnie przestrzeń łukową tak, że zgaszenie łuku trwa około $t_{gw} = 0{,}022$ sek. Czas przyłączania wynosi dla wyłączników do 10 kV około 0,1 — 0,2 sek., a powyżej 30 kV około 0,36 sek. Wyłączniki te budowane są na prąd znamionowy do 2 000 A (rys. 126, 127 i 128) o mocy odłączalnej:

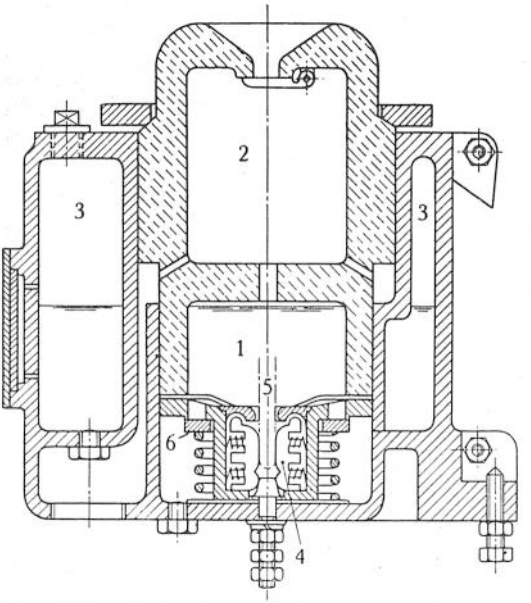
| | | | |
|---|---|---|---|
| rząd | 10 i 20 | 100, 200 i 400 | MVA |
| „ | 30 | 400 i 500 | MVA |
| „ | 60 | do 1 000 | MVA |
| „ | 100 | „ 1 500 | „ |
| „ | 150 | „ 2 400 | „ |
| „ | 200 | „ 3 000 | „ |

Wyłączniki rozprężeniowe na 100 kV pracują między innemi także w przedsiębiorstwie elektryfikacyjnem Gröba w Niemczech.



Rys. 122. Wyłącznik wodny, typ U 24 i 250 firmy BBC.

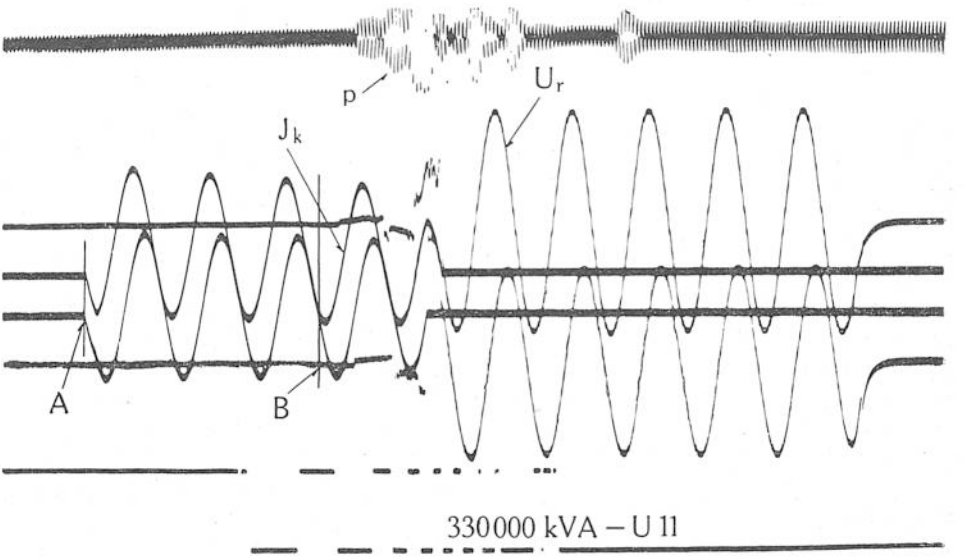
d). Wyłącznik olejowy konwekcyjny. (n. Konvektorschalter). Ze względu na koszt wyłączniki wodne stosuje się w urządzeniach o napięciu nie przekraczającem naogół 30 kV. Powyżej tego napięcia używa się jako środka dejonizującego wyłącznie oleju. Na rys. 129 widzimy przekrój przez wyłącznik konwekcyjny f-my BBC. Wewnątrz tego wyłącznika znajduje się cylinder, wykonany z materjału izolacyjnego, podzielony na szereg piętrowo ułożonych komór. Podłogą najniższej komory jest płyta, stanowiąca całość z kontaktem stałym wyłącznika. Kontakt ten, kształtu tulipanowego, składa się z kilku segmentów, zaopatrzonych w sprężyny, zapewniające należyty docisk do kontaktu ruchomego, który wchodzi w środek




Rys. 123. Przekrój przez komorę wodną wyłącznika wodnego BBC.

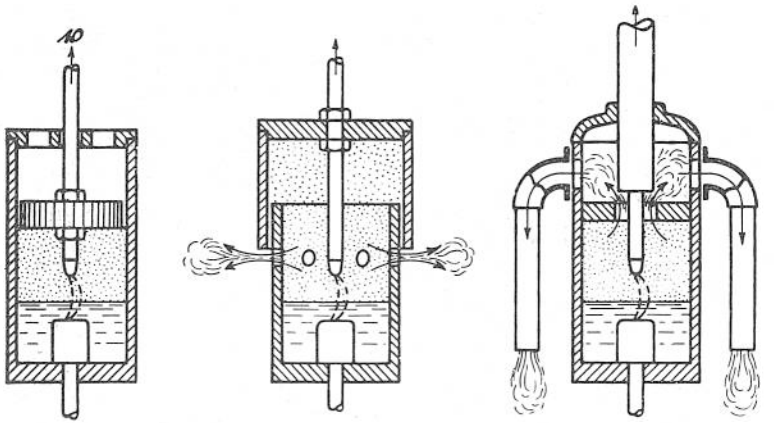
1 — komora wodna, 2 — przedsionek komory wodnej, 3 — komora wyrównawcza ciśnienia skraplającej się pary, przepuszczonej przez samoczynny zawór, 4 kontakt nieruchomy, 5 — trzpień kontaktu ruchomego, 6 — samoczynny zawór.

tulipana. Wspomniana przed chwilą podłoga dociskana jest do cylindra silną sprężyną. W ten sposób podłoga wraz z kontaktem ruchomym i sprężyną stanowi zawór, który obniża ciśnienie, panujące w komorach przy odłączaniu, do wysokości najkorzystniejszej dla przebiegu odłączania. Cały cylinder jest zanurzony w oleju tak, że wszystkie komory są nim wypełnione i wstanie przyłączonym są szczelnie zamykane przez kontakt ruchomy. Przy odłączaniu powstaje łuk między kontaktem stałym i ruchomym, skutkiem czego olej gazuje najpierw w dolnej komorze, a następnie w komorach dalszych. Wobec szczelnego zamknięcia komór powstające gazy nie mogą się rozszerzać tak, że odgazowywana powierzchnia oleju znajduje się stale w bezpośrednim sąsiedztwie łuku, powodu-




Rys. 124. Oscylogram zwarcia odłączonego wyłącznikiem wodnym firmy BBC, typu U 11 i 250.

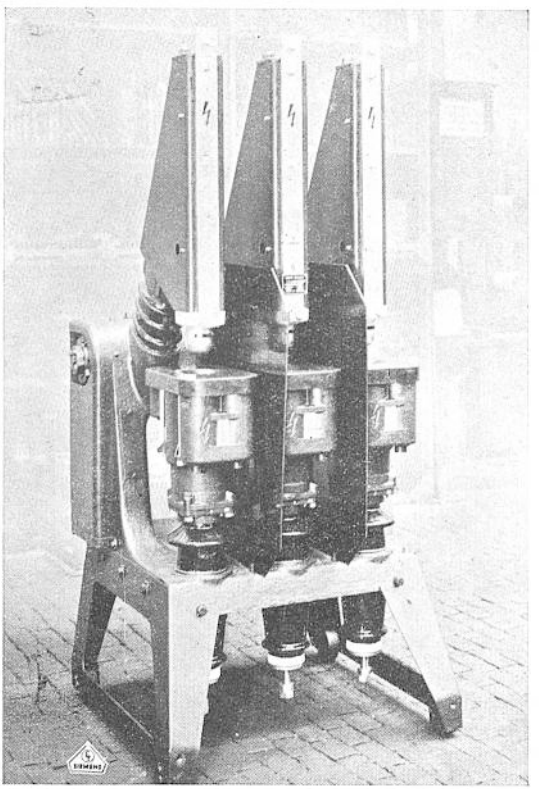
Moc odłączona 330 000 kVA. Czas trwania łuku 1,5 okresu; $p$ — przebieg ciśnienia w komorze, $J_k$ — prąd odłączany 16 000 A, $U_r$ — napięcie powrotne 11,9 kV, $A$ — początek zwarcia, $B$ — początek zapłonu łuku.



Rys. 125. Różne możliwości urzeczywistnienia idei wyłącznika rozprężeniowego.

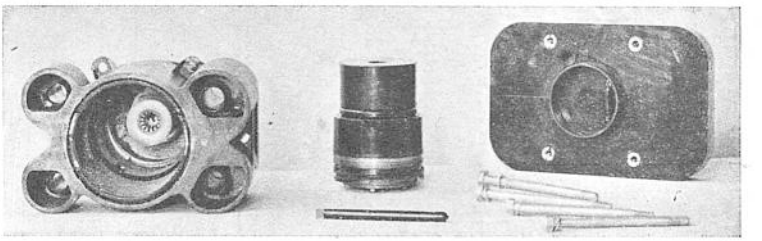
jąc tem bardzo silne jego ochładzanie, a temsamem silną dejonizację. Skutkiem tego nawet przy najwyższych napięciach łuk gaśnie bezpowrotnie po upływie 3—4 półokresów, t. j. po upływie czasu 0,03—0,04 sek.

Na rys. 130 widzimy wyłącznik olejowy konwekcyjny w wykonaniu napowietrznem dla 64 kV jednofazowy, natomiast rys. 131 przedstawia taki wyłącznik trójfazowy dla 135 kV. Podobnie jak w innych wyłącznikach tak i tu zastosowano odłączniki, stanowiące jedną całość z wyłącznikiem; są one połączone z napędem w ten sposób, że odłącznik przyłącza wcześniej niż wyłącznik i odłącza później od niego. Skoro już mowa o odłącznikach, należy zaznaczyć, że przy niektórych rozwiązaniach konstrukcyjnych wyłączników odłączniki, łączące się tak bezpośrednio z wyłącznikami, odgrywają czasem przy wielkich prądach roboczych rolę kontaktów głównych. Dzięki temu sam wyłącznik znajduje się stale pod niewielkiem obciążeniem prądu, co ułatwia, a często wogóle umożliwia jego konstrukcję. W opisywanych wyłącznikach przy samoczynnem odłączaniu

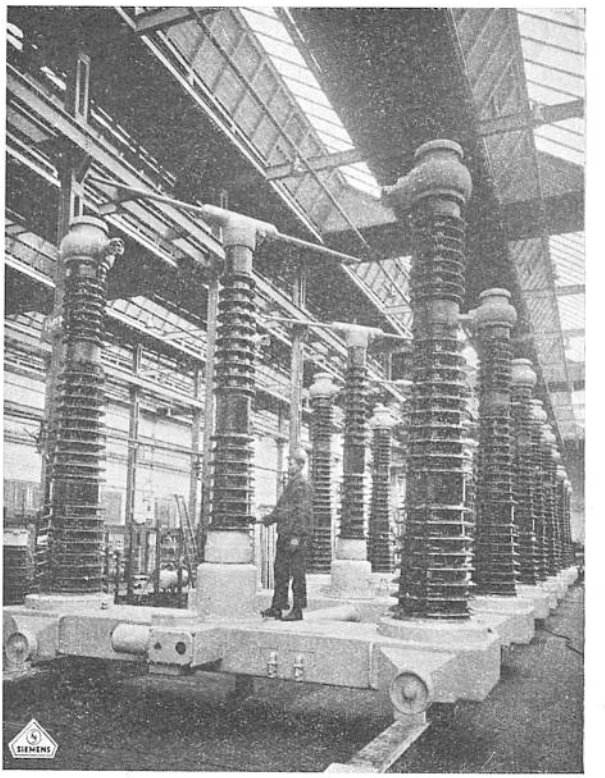


Rys. 126. Wyłącznik rozprężeniowy typu T. Gr. R. 604, rzędu 10, 600 A.

najpierw odłączane są odłączniki i dopiero wtedy, gdy całkowity prąd płynie już przez wyłącznik (bardzo krótko), następuje właściwy przebieg odłączania wewnątrz wyłącznika. Przy przełączaniu natomiast naj-



Rys. 127. Poszczególne części komory wodnej wyłącznika rozprężeniowego SSW T. Gr. R. 604, rzędu 10, 600 A.



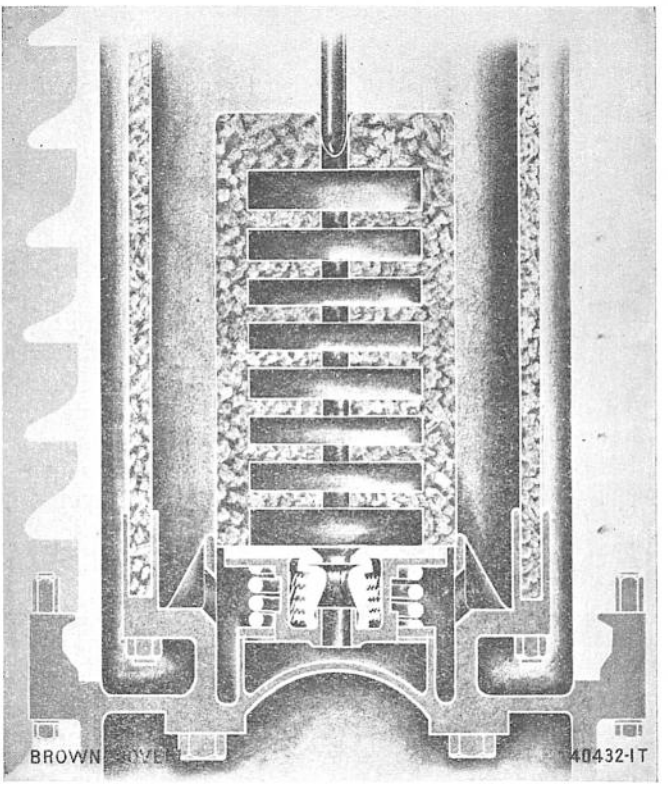
Rys. 128. Wyłącznik rozprężeniowy typu T. Gr. R. 620, 200 kV, 600 A.

pierw przyłącza wyłącznik, a później odłączniki. Jeżeli jednak odłącznik roli tej nie spełnia, to on przyłącza pierwszy, przed wyłącznikiem, a odłącza później, po wyłączniku.

5. Wyłącznik dejonizacyjny powietrzny.

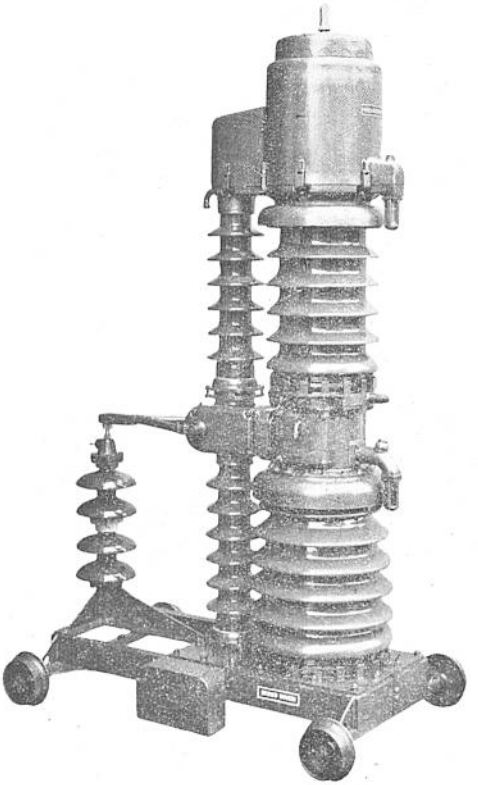
(a. Deion-circuit-breaker.
f. Disjoncteur- (interrupteur) Deion dans l'air.
n. Deion-Schalter).

Wyłącznik dejonizacyjny jest wynalazkiem amerykańskim, mianowicie Dr. Slepian'a, i jest wykonywany przez firmę Westinghouse Electric and Manufacturing Co. w Pittsburgu. Różni on się zasadniczo w sposobie dzia-



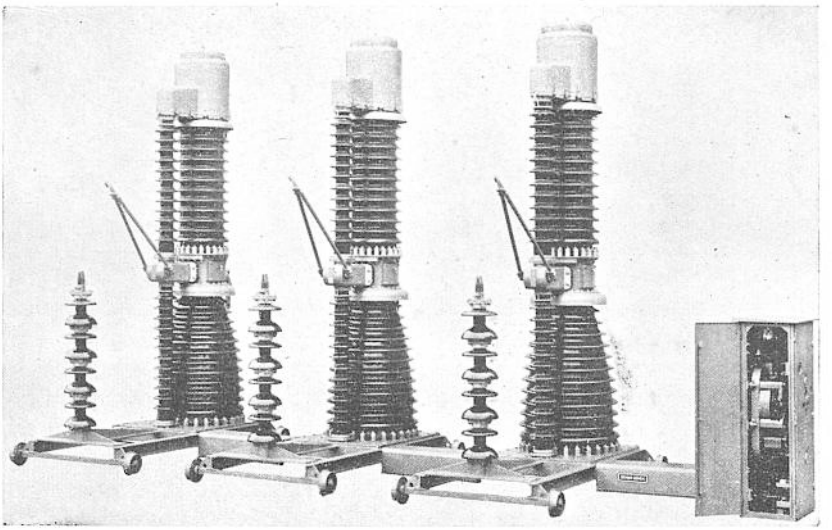

Rys. 129. Przekrój przez wyłącznik olejowy konwekcyjny firmy BBC.

łania od wyłączników poprzednio rozpatrywanych, gdyż działanie jego opiera się na utrudnianiu zapłonu łuku po jego gaśnięciu przy przejściu przez zero prądu w nim płynącego. Utrudnianie to odbywa się głównie dzięki wyzyskaniu warstwy izolującej spadku katodowego. W wyłączniku swym Dr. Slepian osiąga to w ten sposób, że elektroda stała jest ustawiona w rozwidleniu ułożonych w stos (rys. 132), jedne nad drugiemi, płytek, wyciętych z blachy miedzianej w kształcie podkowy (rys. 133). Stos ten ułożony jest w ten sposób, że na rurkę izolacyjną nawleczono poszczególne płytki, między któremi zachowany jest odstęp wynoszący ok. 1,5 mm (1/16").



Rys. 130. Jednobiegunowy wyłącznik konwekcyjny f-my BBC, typ T 64 z wbudowanym odłącznikiem, bez napędu; nom. napięcie 64 kV., moc odłączania 800 MVA.

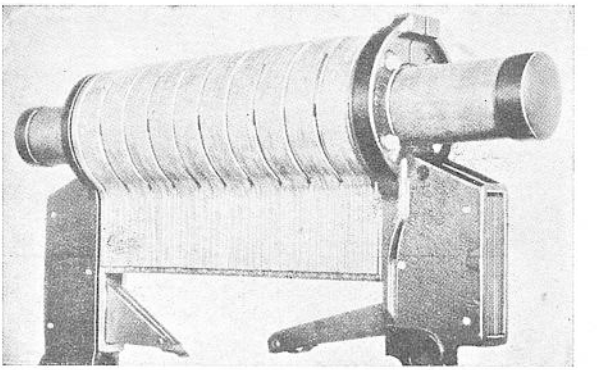
W pobliżu obu końców stosu ułożono między płytkami po jednej cewce; przechodzący przez te cewki prąd łuku wytwarza pole magnetyczne, skierowane w stosie dośrodkowo. Tę część pola można nazwać częścią czynną, natomiast część nieczynna przebiega nazewnątrz stosu przez żelazną osłonę, którą w tym celu pokryto cały stos. Kontakt ruchomy główny, otwierając obwód prądu w rozwidleniu stosu, powoduje powstanie łuku, który ma pozycję prostopadłą do płytek. Dzięki wzajemnemu oddziaływaniu prądu, płynącego w łuku i pola magnetycznego, wytwarzanego zapomocą wyżej wspomnianych cewek, pole to zagania łuk na płytki, który skutkiem tego zostaje rozcięty na $n$ krótkich łuków o długości, odpowiadającej rozstawieniu poszczególnych płytek. Każdy z tych króciutkich łuków ma swój spadek katodowy. W ten sposób uzyskujemy wielką, bo wynoszącą $(n+1)$ ilość w szereg połączonych warstw izolujących. Ilość płytek dobiera się w wyłączniku do napięcia sieci w/g wzoru:



Rys. 131. Trójbiegunowy wyłącznik konwekcyjny f-my BBC, typ R. 135, z wbudowanym odłącznikiem, bez napędu; nom. napięcie 135 kV, moc odłączania 1600 MVA.

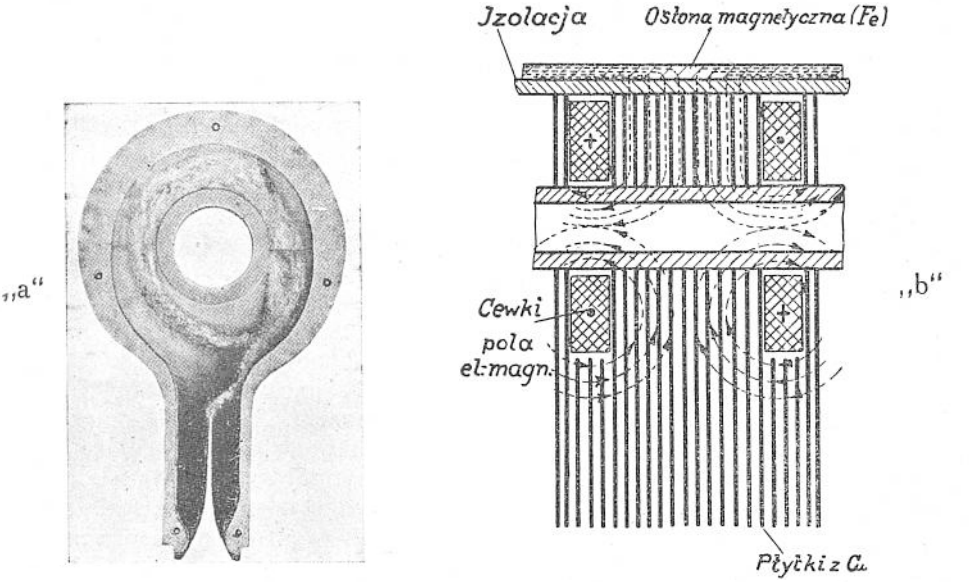
$$n = \frac{\text{znamionowe napięcie skuteczne w woltach}}{130 \text{ woltów}}$$

Pod wpływem pola magnetycznego łuk wjeżdża na okrągłą część płytek i każdy poszczególny mały łuk, niezależnie jeden od drugiego, zaczyna wirować dookoła środka płytki (rurki izolacyjnej) z szybkością, która według A. Roth'a wynosi 500 do 1000 m/s. Na rys. 133 „a" widzimy ślad drogi łuku. Według Dickinson'a i Baker'a te małe łuki mogą zrobić więcej niż 15 okrążeń na każdy półokres. Dzięki takiej ruchliwości łuku i jego krótkotrwałości temperatura płytek nie przekracza 400° C tak, że można uważać, iż poszczególne króciutkie łuki płoną przy zimnej katodzie i zimnej anodzie.



Rys. 132. Stos dejonizacyjny zmontowany.

Tego rodzaju wyłączniki, pracujące w powietrzu, stosowane są dla napięć 15 kV i dla natężeń prądu do 25 800 A. Firma Westinghouse nie widzi przeszkód w stosowaniu tych wyłączników na na-



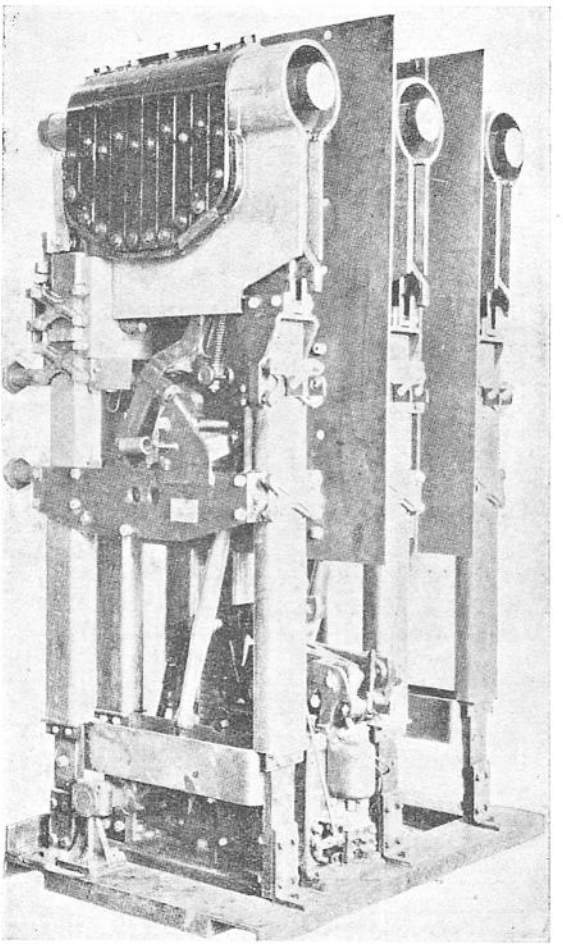

Rys. 133. Stos dejonizacyjny: „a" — płytka zaopatrzona w obrzeże izolacyjne; „b" — schemat stosu dejonizacyjnego.

pięcie 25 kV, a nawet wyższe. Łuk gaśnie po upływie 0,5 — 2,5 okresów tak, że $t_{gw} \leqslant 0{,}0083 - 0{,}0416$. Na rys. 134 widzimy wyłącznik trójfazowy zbudowany dla 2 000 A i 15 kV.

6. Wyłącznik dejonizacyjny olejowy.

(a. Deion grid oil circuit breaker).

Działanie wyłącznika dejonizacyjnego olejowego, skonstruowanego również przez Slepian'a (Westinghouse), polega na gwałtownem odparowywaniu oleju w samym łuku. Dzięki temu odparowywaniu łuk bardzo silnie oziębia się tak, że stosunkowo bardzo szybko gaśnie bezpowrotnie. Slepian dochodzi do tego celu w ten sposób, że stałe kontakty wyłącznika, stale zalane olejem, wykonywa w kształcie stosu podłużnie przeciętego tak, że szczelina ta przechodzi bardzo głęboko przez środek stosu. Stos ten jest przykręcony w pozycji pionowej do sworznia izolatora przejściowego danego wyłącznika. Kontakt ruchomy posuwa się w szczelinie stosu, który zrobiony jest z ułożonych jeden na drugim kompletów płytkowych. Każdy z tych kompletów składa się z jednej płytki żelaznej, jednej płytki z wypalanej glinki porowatej oraz dla izolacji z jednej płytki fibrowej. Porowata glinka oczywiście nasiąka olejem. W chwili, gdy otwieramy obwód, rozłączają się najpierw bezłukowo kontakty główne, leżące nazewnątrz stosu, a następnie kontakty dodatkowe, z których ruchomy kontakt przebiega, jak już zauważyliśmy, przez szczelinę stosu. W szczelinie tej powstaje więc łuk. Prąd, płynący w łuku, wytwarza swoje własne pole magnetyczne, otaczające łuk i zamykające się poprzez żelazne płytki stosu. Pole to zagania więc samo swój łuk wgłąb szczeliny stosu i wówczas łuk bezpośrednio styka się z nasiąkniętemi olejem płytkami porowatemi, z których olej gwałtownie odparowywuje, przyczem łuk sam traci znaczną ilość ciepła. W ten sposób następuje więc dejonizacja przestrzeni łukowej. Każdy kontakt stały wyłącznika zaopatruje się oczywiście w osobny stos dejonizacyjny. Wy-



Rys. 134. Wyłącznik dejonizacyjny powietrzny f-my Westinghouse dla prądu trójfazowego, 2 000 A, 15 000 woltów.

łącznik ten różni się od innych wyłączników olejowych tylko znacznie mniejszą zawartością oleju, mimo że jego moc odłączalna jest wielokrotnie większa. Całkowity czas odłączania zapomocą tych wyłączników wynosi:

przy napięciu 13 kV . . . . $t_w = 0{,}03$ sek.
„ „ 100 „ . . . . $t_w = 0{,}05$ „
„ „ 220 „ . . . . $t_w = 0{,}12 - 0{,}17$ sek.

W Europie pracuje około 250 takich wyłączników.

Z powyższych rozważań nad wyłącznikami wynika, że obecny ich rozwój postępuje według trzech zasadniczych idei: 1) Biermanns'a (powietrzne), 2) Kesselringa (wodne albotеż małoolejowe), 3) Slepiana (dejonizacyjne). Rozumie się, że we wszystkich wyłącznikach wogóle zjawiska występują w sposób bardziej złożony, niż to zostało przez nas ujęte. Tak naprzykład w wyłącznikach wodnych bezwątpienia dejonizacja następuje skutkiem jednoczesnego działania zarówno temperatury, ciśnienia, mechanicznego usuwania ładunków elektrycznych, jak i powiększania masy elektronów przez mgły i t. d. Zjawiska te nie występują jednakże w równej mierze. Niektóre z nich są tylko specjalnie wyjaskrawione w odnośnych ideach odłączania i w odpowiadających im rozwiązaniach konstrukcyjnych, gdyż ideje te opierają się często głównie tylko na jednym czynniku dejonizacyjnym. Ze względu na przejrzystość rozważania nasze, dotyczące tych zjawisk, są przybliżone, są one prawdopodobne, lecz jeszcze niezupełnie wyjaśnione.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że używane jeszcze obecnie stare wyłączniki olejowe całkowite odłączanie przeprowadzają w czasie średnio $t_w = 0{,}5 - 0{,}7$ sek., a czasem nawet w ciągu 1 sek., to zauważymy, że na tem polu uczyniono postępy, idące w parze z ogólnym wspaniałym rozwojem elektryfikacji. Krótki czas odłączania, a więc odbywającego się jeszcze podczas trwania prądu zwarcia udarowego, oraz wytrzymałość mechaniczna, cieplna i elektryczna nowoczesnych wyłączników, stanowiąca o bezpieczeństwie i pewności pracy, jest dowodem, że podstawy teoretyczne, o które opiera się rozwój techniki odłączania, są zupełnie słuszne.

### B. Lokalizowanie zwarć czyli selekcyjne odłączanie zwarć.

Corazto intensywniejsze i wszechstronniejsze stosowanie energji elektrycznej w codziennem życiu gospodarstwa społecznego spowodowało tak wielką rozbudowę sieci, że pokrywają one już bardzo rozległe przestrzenie. Powszechność stosowania prądu elektrycznego była przyczyną przenikania sieci nawet do najdrobniejszych komórek organizmu społecznego, a więc i do najmniejszych gospodarstw domowych, skutkiem czego sieć zamyka się w corazto drobniejsze oka z jednej strony, a z drugiej rozpowszechnienie elektryczności wprowadziło do sieci moce stosunkowo bardzo duże.

Wmiarę swego rozwoju sieć obsługuje po większej części odbiorców prądu o zapotrzebowaniu chwilowem czyteż sezonowem, gdyż nieliczne tylko przemysły, a to głównie chemiczne i papiernicze, pracują stale, t. j. z mocą utrzymującą się mniejwięcej na stałej wysokości, dzień i noc bez przerwy wciągu całego roku. W ten sposób przepływają w sieciach

moce znacznie różniące się w poszczególnych sezonach roku, a nawet różniące się bardzo nietylko w dni powszednie i świąteczne, lecz także i wciągu doby. Tak więc i moc jednostek prądotwórczych, pracujących jednocześnie, jest nawet wciągu doby różna. Stąd wynika, że w jednem i tem samem miejscu sieci w różnym czasie, lecz w jednakowy sposób spowodowany prąd zwarcia będzie różny i, jak wskazuje praktyka pracy sieci amerykańskich i europejskich, prąd ten zależnie od mocy jednocześnie pracujących generatorów wahać się może od swej maksymalnej wielkości, którą oznaczymy 100%, do swej wielkości minimalnej, która wówczas będzie wynosiła np. 4%. Stosunek ten jest szczególnie jaskrawy przy zwarciach, występujących w sieciach o bardzo dużych napięciach, kiedyto wielka pojemność sieci bierze duży udział we wzbudzeniu generatorów, gdyż przy zwarciu, t. j. po „załamaniu" się pojemności, napięcie na generatorach bardzo silnie spada tak, że prąd zwarcia może stanowić jedynie drobną cząstkę znamionowego prądu obciążenia. Mamy więc w sieci do czynienia z prądami zwarcia, które mogą różnić się między sobą w stosunku 1 : 25. Oczywiście, że przy tak dużych różnicach w wielkości tych prądów zwarcie, które wystąpiło np. w dzień świąteczny, powoduje powstanie prądu zwarcia o natężeniu mniejszem od normalnego prądu roboczego w dniu powszednim. Stąd wniosek, że zabezpieczenia nadmiarowe, stosowane przez nas z powodzeniem w sieciach o mniej skomplikowanej pracy i w sieciach otwartych, nie mogą spełnić należycie swej roli w sieciach zamkniętych, a szczególniej przy współpracy elektrowni, gdyż skutkiem przepływu przez nie prądów zwarcia mniejszych od prądu znamionowego — nie działałyby. Tymczasem ze względu na skutki zwarcia musieliśmy już dawniej starać się ograniczyć czas trwania zwarcia do granic zakreślonych wytrzymałością cieplną urządzeń, a obecnie skutkiem rozwoju sieci i współpracy elektrowni, musimy wyłączyć z pracy miejsce zwarcia na jaknajmniejszym terenie sieci, t. j. przeprowadzić selekcję chromego odcinka sieci, aby w ten sposób umiejscowione zakłócenia ruchu ograniczyć do jaknajmniejszej ilości spożywców energji czyteż jej wytwórców.

Współpraca elektrowni uzupełnia jeszcze wyżej wymienioną konieczność ograniczenia czasu trwania zwarcia warunkami równowagi pracy równoległej, gdyż skutkiem zwarcia następuje silny spadek napięcia tak, że siła synchronizująca maleje, poszczególne generatory otrzymują nagle różne obciążenia, na które dynamicznie reagują rozmaicie, a co zatem idzie — następuje zmiana częstotliwości, dudnienia prądów wyrównawczych, starających się przywrócić ruch synchroniczny, i skutkiem tego rosnące z każdą chwilą kołysania wirników. W ten sposób największy dopuszczalny czas trwania prądu zwarcia w sieci ograniczony jest czasem osiągnięcia granicznej wielkości ampliduty wahnięć wirnika, przy której jeszcze zachowana jest równowaga pracy równoległej.

Z obserwacyj i doświadczeń, przeprowadzanych w poszczególnych sieciach wynika, że czas ten naogół nie przekracza 10 sek. Jeżeli chcemy prowadzić współpracę ruchowo pewnie, to w doborze czasu odłączania poszczególnych organów sieciowych nie możemy nawet zbliżać się do tej wielkości, aby nie wpaść w taki okres czasu, w którym zjawiska, wywołane skutkami zwarcia, są już niemożliwe do opanowania.

Jak wskazuje dotychczasowa praktyka współpracy elektrowni, największy dopuszczalny czas trwania zwarcia w sieci nie powinien przekraczać, zresztą zależnie od miejscowych warunków, 2 do 3 sekund najwyżej.

Lecz i w zbyt krótkim czasie po powstaniu prądu zwarcia nie możemy prądu tego przerwać. W ten sposób rysuje się przed nami minimalna granica czasu odłączania, która, jak się o tem zaraz przekonamy, spowodowana jest względami mechanicznemi. Przez przerwanie udarowego prądu zwarcia nie jesteśmy wstanie uchronić urządzenia od obciążenia dynamicznego, gdyż odłączenie to musiałoby nastąpić przed zwarciem. Ze względu na uchronienie urządzenia od obciążenia dynamicznego niema celu wyłączanie go w chwili istnienia jeszcze prądu udarowego, gdyż obciążenie to stale się zmniejsza, mija i o ile do tej pory nic się nie stało, to pod względem wytrzymałości mechanicznej urządzeniu już nic nie grozi. Natomiast wyłączenie w chwili trwania jeszcze prądu udarowego musiałoby się odbyć z efektem odpowiednim do wielkiej mocy wyłączeniowej. Tymczasem nie wszystkie wyłączniki urządzenia są zdolne znieść efekt przerywania udarowego prądu zwarcia w chwili, gdy on nie zmniejszył się jeszcze odpowiednio. Dlategoteż odłączamy zwarcie po pewnym czasie $t_0$ od chwili jego powstania. Wówczas prąd udarowy zmniejszył się i skutkiem tego moc wyłączeniowa jest znacznie mniejsza.

Dla zobrazowania tego podajemy poniżej obliczenie wielkości prądów, występujących w pewnej sieci wmiarę upływu czasu od chwili zwarcia, spowodowanego w niej w pewnej odległości od elektrowni, w której pracował wówczas generator o prądzie znamionowym 2000 A:

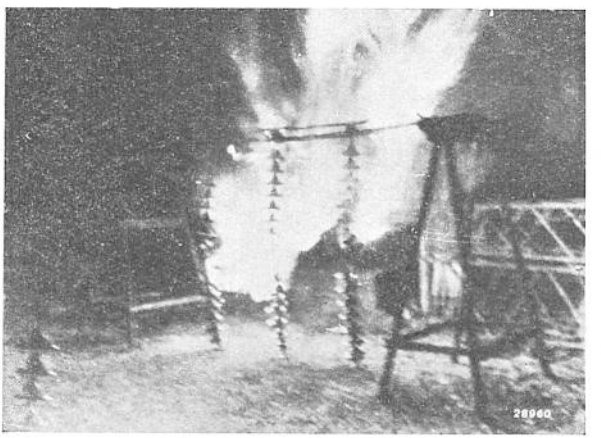
$t_0 = 0'$ $\quad J_z = 2000 \times 14{,}9 = 29800$ A
$t_0 = 0{,}10'$ „ $= 2000 \times 7{,}52 = 15040$ „
$t_0 = 0{,}25'$ „ $= 2000 \times 5{,}2 = 10400$ „
$t_0 = 0{,}50'$ „ $= 2000 \times 3{,}99 = 7980$ „
$t_0 = 1'$ „ $= 2000 \times 2{,}98 = 5960$ „
$t_0 = 2'$ „ $= 2000 \times 2{,}27 = 4540$ „
$t_0 = 3'$ „ $= 2000 \times 2{,}00 = 4000$ „

Konieczność uwzględnienia pewnego opóźnienia w odłączeniu zwarcia — jak to w dalszym ciągu naszych rozważań zauważymy — zbiega się szczęśliwie z bezwładnością wyłącznika olejowego i przekaźników. Oprócz tego czas $t_0$ opóźnienia w odłączeniu zwarcia powinien być tak długi, aby umożliwić uszeregowanie kolejności wyłączeń dla lokalizowania czyli selekcyjnego odłączania zwarć. Z drugiej strony, jak wynika z dotychczasowych naszych rozważań, czas ten powinien być tak krótki, aby generatory nie wypadły z taktu, a urządzenie tak dobrane i ochraniane, aby rosnące w tym czasie obciążenia cieplne nie były dla nich groźne.

Całe więc zagadnienie ograniczania czasu trwania zwarcia koncentruje się w doborze czasu, a raczej w doborze przez specjalny przyrząd, t. zw. przekaźnik, chwili dania impulsu do odłączenia obwodu zwartego.

Najczęściej stosowane w sieciach elektrycznych otwartych, bez współpracy elektrowni, przekaźniki nadmiarowe z opóźnieniem zależnem od prądu, niezależnem lub z zależnością ograniczoną, różnicowe i t. d. nie mogą roli

swej spełniać zadowalająco w sieciach bardziej skomplikowanych, zamkniętych i przy współpracy elektrowni. Konieczność zmniejszenia różnicy czasu między chwilami dania impulsu odłączania pomiędzy poszczególnemi wyłącznikami całego uszeregowania nie pozwala na jedno- lub dwusekundowe różnice w nastawianiu poszczególnych przekaźników danego uszeregowania, wymagane przez przekaźniki zwykłe dla zachowania kolejności odłączań. Również uzależnienie czasu dania impulsu odłączenia jedynie od wielkości prądu nie może zapewnić selekcyjności. W pewnych przypadkach stosowane z powodzeniem przekaźniki kierunkowe, oparte na zasadzie watomierzowej, niezawsze w sieciach wielkich i okręgowych oddają należytą usługę, gdyż przy silnych zwarciach wielkie spadki napięcia powodują, że przekaźniki te nie działają — zawodzą. Cały szereg innych przekaźników, stosowanych dla zapewnienia selekcyjności np. w sieciach kablowych lub w poszczególnych innych przypadkach, również nienadaje się do ochrony sieci wielkich i okręgowych zarówno ze względu na inne okoliczności towarzyszące zwarciom w tych sieciach, jak i ze względu czyto na konieczność stosowania przewodów o specjalnej budowie (np. zabezpieczenia Z. D. Siemensa wymagają kabli ze specjalną centralną żyłą izolowaną, czyli t. zw. Z. D. - kabli; podobno system Pfannkuch, AEG, wymaga stosowania kabli o specjalnej konstrukcji), czyteż na prowadzenie wzdłuż przewodów ochranianych (zabezpieczenia różnicowe Merz-Price'a) — przewodów specjalnych, które są źródłem nietylko większych kosztów, lecz i nowych możliwości zakłóceń ruchu. Wreszcie od selekcyjnych zabezpieczeń żądamy, aby oprócz dobrego działania nie wymagały przeprowadzenia w nich zmian zasadniczych wraz ze zmianą konfiguracji sieci. Dlategoteż dla sieci wielkich i okręgowych zbudowano w ostatnich latach specjalne przekaźniki, oparte na zupełnie nowej zasadzie. Przekaźniki te mają już za sobą dodatnie wyniki prób życiowych, a niektóre z nich, jak np. BBC, przeszły nawet próby ogniowe w sieci bawarskiej 110 kV, (rys. 135), a przekaźniki Dr. Paula Meyer'a w sieci wschodnio-pruskiej 60 kV.



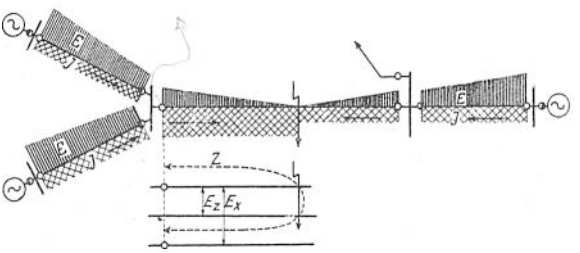
Rys. 135. Trójfazowe łukowe jednoczesne zwarcie i uziemienie linji 110 kV Meitingen-Norymberga, spowodowane umyślnie w Meitingen w maju 1929 r. podczas próby działania urojono-opornościowych przekaźników BBC.

Tylko dzięki rozwiązaniu tej sprawy możemy dziś sprawnie prowadzić ruch sieci o takich pierścieniach zamkniętych i o współpracy z tak licznemi elektrowniami i sąsiedniemi zespołami sieciowemi, jak to ma miejsce naprzykład w sieciach bawarskich.

Przekaźniki opornościowe (odległościowe).

a. Distance relay.
f. Relais à distance.
n. Distanzrelais.

Celem selekcyjnego odłączania odcinka sieci, w którym powstało zwarcie, zastosowano w ostatnich latach, t. j. od 1923 r., zarówno w Europie jak i w Ameryce specjalne przekaźniki, których działanie oparte jest na spostrzeżeniach, że wrazie zwarcia: a) napięcie spada, od źródła prądu licząc, do miejsca zwarcia w ten sposób, że praktycznie w miejscu zwarcia równa się zeru, oraz b) prąd zwarcia płynie zawsze do miejsca zwarcia i w odcinku zwartym jest zawsze największy (rys. 136).



Rys. 136. Rozpływ prądów i przebieg napięć w sieci zwartej.

Stąd wynika, że dla uzyskania odłączania selekcyjnego te z przekaźników powinny szybciej działać, przez które przepływa większy prąd, a które jednocześnie znajdują się pod działaniem niższego napięcia. Innemi słowy czas tego odłączania można wyrazić wzorem:

$$t_n = t_0 + k \cdot \left(\frac{E_n}{J_n}\right) = t_0 + k \cdot Z_n = t_0 + \frac{t_1' \text{ sek}}{1 \cdot \Omega} \cdot Z_n = t_0 + tg\,\alpha \cdot Z_n = t_0 + t_1;$$

gdzie $n$ — oznacza $n$-ty skolei przekaźnik w szeregu, licząc od miejsca zwarcia,

$t_0$ — czas własny zabezpieczenia, t. j. czas, po upływie którego spowodowane będzie odłączenie, gdy $E_n = 0$, a więc i $Z_n = 0$ t. j. gdy zwarcie wystąpi w bezpośredniem sąsiedztwie przekaźnika,

$E_n$ — napięcie między przewodami w miejscu ustawienia danego przekaźnika, mierzone po wtórnej stronie miernikowego transformatora napięciowego,

$J_n$ — prąd przepływający przez te przewody, mierzony po stronie wtórnej miernikowego transformatora prądowego,

$k$ — stała danego przekaźnika.

Z łatwością zauważymy, że wyraz stojący w nawiasie jest niczem innem, jak roboczą opornością pozorną $Z_n$ ochranianej części sieci. Widzimy więc, że przekaźnik spowoduje odłączenie danego odcinka tem później, im większa oporność pozorna oddziela go od miejsca zwarcia (rys. 137). Ponieważ w sieciach oporność pozorna jest wielkością stałą, przeważnie proporcjonalną do długości linji elektrycznej, przeto przekaźnik ten został nazwany odległościowym, choć właściwszą nazwą jest przekaźnik opornościowy. Możemy więc powiedzieć, że im dalej od danego przekaźnika wystąpiło zwarcie, tem później będzie odłączone.

Dla lepszego zorjentowania się w wyżej podanym wzorze zanalizujemy czas przebiegu odłączania. Przeciąg czasu, liczony od chwili zwarcia do chwili zamknięcia obwodu magnesu wyzwalającego wyłącznik, nazwiemy opóźnieniem odłączenia $t_p$ spowodowanem przez przekaźnik. Czas ten składa się z trzech składników:

1-o. z opóźnienia spowodowanego bezwładnością przekaźnika, czyli t. zw. własnego czasu przekaźnika $t_{wp}$;

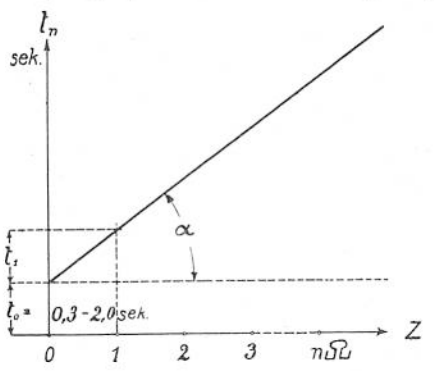
2-o. z opóźnienia umyślnego $t_{up}$, które jest albo określone stosowną konstrukcją przekaźnika, albotéż, co jest właściwsze, nastawiane przez nas samych;

3-o. z samoczynnie przez przekaźnik powodowanego opóźnienia proporcjonalnego do oporności pozornej (impedancji) obwodu zwartego $t_{ip}$;

Po upływie więc opóźnienia w odłączeniu, spowodowanego przez przekaźnik, t. j. po

$$t_p = (t_{wp} + t_{up} + t_{ip}) \text{ sek.}$$

zaczyna działać wyłącznik, który znów sam powoduje również pewne dodatkowe opóźnienie w odłączeniu $t_w$. Moment rozpoczęcia działania wyłącznika występuje w chwili zamknięcia (czyteż otwarcia) obwodu magnesu wyzwalającego. Wówczas zapadka wciągnięta przez magnes wyzwala wyłącznik tak, że po upływie czasu rozruchu wyzwalacza $t_{rw}$ zaczynają poruszać się kontakty ruchome wyłącznika. Kontakty te, po upływie czasu $t_{kw}$ przebiegają jałową drogę, poczem odrywają się od kontaktów stałych, skutkiem czego powstaje łuk. Od tej chwili licząc, po upływie $t_{gw}$ sek. łuk gaśnie ostatecznie. Przebieg odłączenia temsamem jest skończony. Ewentualne dalsze poruszanie się kontaktów wyłącznika już nas nie obchodzi. Zauważymy tylko, że ze względu na wytrzymałość wyłącznika czas $t_{gw}$ powinien być bardzo krótki, aby wytwarzający się w tym czasie gaz i pary olejowe nie wytworzyły w nim nadmiernego ciśnienia.



Rys. 137. Ciągła charakterystyka zabezpieczenia sieci przekaźnikami opornościowemi.

Tak więc opóźnienie w odłączeniu, spowodowane przez wyłącznik, wynosi:

$$t_w = (t_{rw} + t_{kw} + t_{gw}) \text{ sek.}$$

tak, że całkowite opóźnienie w odłączeniu czyli suma opóźnień, spowodowanych łącznie przez przekaźnik, jest równa:

$$t_n = t_p + t_w = (t_{wp} + t_{up} + t_{ip}) + (t_{rw} + t_{kw} + t_{gw}).$$

Czas własny przekaźnika $t_{wp}$ zależy od jego konstrukcji oraz od stosunku rzeczywiście występującej wysokości tej wielkości elektrycznej, która powoduje działanie przekaźnika w poszczególnych przypadkach do prze-

widzianej dla danego przekaźnika nominalnej wysokości tych wielkości (np. prądu).

Czas rozruchu wyzwalacza $t_{rw}$ oraz czas przebiegu drogi jałowej przez kontakty $t_{kw}$ są zależne wyłącznie od konstrukcji wyłącznika.

Czas palenia się łuku w wyłączniku $t_{gw}$ zależy częściowo tylko od konstrukcji, t. j. od iloczynu $z$ prędkości poruszania się kontaktów i ilości przerw kontaktowych każdej fazy, a przedewszystkiem zależy od prądu i napięcia obwodu w chwili jego odłączania.

Czas $t_{ip}$ jest czasem zmiennym, proporcjonalnym do oporności obwodu zwartego; dokładność jego odmierzania zależy od właściwości magnetycznych przekaźnika i dokładności przekładni napięciowej i prądowej transformatorów miernikowych, do których przekaźnik jest dołączony.

Wobec wielkiego zakresu zmian, jakim podlega czas $t_{ip}$, możemy uważać z dostateczną dla praktyki ścisłością, że dla danego zespołu zabezpieczenia czasy: $t_{wp}$, $t_{rw}$, $t_{kw}$ i $t_{gw}$ — są stałe. Jeżeliby wyłącznik odłączył zwarcie wystąpiające w bezpośredniem jego sąsiedztwie po upływie $(t_{wp} + t_{rw} + t_{kw} + t_{gw})$ sek., to mogłoby się okazać, że w chwili powstawania łuku, t. j. po $(t_{wp} + t_{rw} + t_{kw})$ sek. udarowy prąd zwarcia nie zdążył jeszcze zmaleć do wielkości dopuszczalnej dla danego typu wyłącznika.

Aby więc w najgorszym przypadku wystąpienia zwarcia, t. j. tuż przy wyłączniku, dobrać chwilę odłączenia do mocy odłączeniowej, dopuszczalnej dla danego wyłącznika, powodujemy umyślnie odpowiednie dalsze opóźnienie przekaźnika o $t_{up}$ sek. tak, że łuk powstaje dopiero po upływie $(t_{wp} + t_{up} + t_{rw} + t_{kw})$ sek. — Jeżeli teraz oznaczymy $t_{wp} + t_{up} + t_{rw} + t_{kw} + t_{gw} = t_0$, wówczas $n$-te skolei zabezpieczenie odłączy zwarcie po upływie $t_n = t_0 + t_{ip}$. A ponieważ $t_{ip}$ jest czasem oznaczonym przez $t_1$ we wzorze na czas odłączania przekaźników opornościowych, to w ten sposób dochodzimy do pierwotnego naszego wzoru, t. j. do $t_n = t_0 + t_1$.

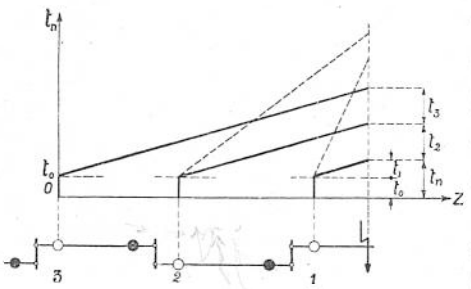
Z analizy czasu odłączenia zwarcia przez dowolne $n$-te skolei zabezpieczenie, wyrażające się wzorem:

$$t_n = t_0 + t_{ip} = [(t_{wp} + t_{rw} + t_{kw} + t_{gw}) + t_{up}] + t_{ip}$$

wynika, że selekcję odłączeń tylko wówczas osiągniemy, o ile w danem uszeregowaniu zabezpieczeń różnica czasu odłączania $t_n$ kolejnych zabezpieczeń będzie uzależniona jedynie od wielkości czasu $t_{ip}$. Aby to nastąpiło, każde zabezpieczenie powinno podlegać temu samemu opóźnieniu $t_0$. Opóźnienie to składa się z części stałej, zależnej jedynie od konstrukcji przekaźników i wyłączników lub od ich chwilowego stanu, oraz z części zmiennej, nastawianej przez nas samych. Stąd wynika, że przez odpowiednie dla danego zabezpieczenia dobranie wielkości czasu $t_{up}$ w przekaźniku, doprowadzić możemy opóźnienie w odłączeniu do wysokości $t_0$ jednakowej dla całego uszeregowania zabezpieczenia. Wrazie więc zmiany np. wyłącznika olejowego w danem zabezpieczeniu musi w niem ulec stosownej zmianie wielkość nastawienia czasu $t_{up}$. Jestto również jednym z dowodów konieczności scentralizowania obsługi zabezpieczeń.

Teraz omówimy znaczenie stałej „k" przekaźnika. Otóż ze wzoru $t_n = t_0 + k \cdot Z_n$ wynika konieczność dostosowania danego przekaźnika do ochranianej przez niego części sieci. Jeżeli przyjmiemy, że odłączenie

zwarcia ma nastąpić najdalej po np. $t_n = 3$ sek, a czas własny zabezpieczenia nastawiliśmy na $t_0 = 0{,}5$ sek., wówczas pozostaje na czas zależny od oporności pozornej $t_1 = k \cdot Z_n = 2{,}5$ sek. — Zależnie więc od wielkości oporności pozornej $Z_n$, spodziewanej w największym obwodzie zwarcia tego odcinka sieci, musi być stosownie dobrana wielkość stałej „k" danego przekaźnika, t. j. opóźnienie w sek. na każdy 1 om oporności pozornej tak, aby $t_n$ nie przekroczyło wymaganego przez nas czasu, jak w tym przypadku 3 sek. Oprócz tego stała „k" jest $tg$ kąta $\alpha$ nachylenia charakterystyki czyli przyrostem czasu odłączania na 1 om oporności przewodów (rys. 138). Nachylenie to musi być tak dobrane, aby charakterystyki poszczególnych przekaźników nie przecinały się z sobą. W przeciwnym razie przekaźniki, znajdujące się dalej od zwarcia, mogłyby spowodować odłączenie wcześniej niż przekaźniki bliższe tak, że zamiast kolejności wyłączeń: 1—2—3, wynikającej z pełnych linij rys. 138, mielibyśmy kolejność: 3—1—2, określoną linjami przerywanemi.



Rys. 138. Wpływ stałej „k" przekaźników opornościowych na kolejność odłączeń.

Skolei wypada zastanowić się nad wpływem różnicy czasu odłączania sąsiadujących z sobą zabezpieczeń na selekcyjność odłączania. W tym celu zwrócimy uwagę na zabezpieczenie 1 i 2 z rysunku 138.

Od chwili zwarcia licząc, przekaźnik 1 pracować będzie w ciągu czasu:

$$t_{1p} = t_{1wp} + t_{1up} + t_{1ip}$$

a przekaźnik 2 w czasie:

$$t_{2p} = t_{2wp} + t_{2up} + t_{2ip}$$

Po upływie czasu $t_{1p}$ nastąpi zamknięcie obwodu magnesu wyzwalającego, wobec czego rozpocznie pracę wyłącznik olejowy „1" i ukończy ją po $t_{1w} = (t_{1rw} + t_{1kw} + t_{1gw})$ sek. Całkowite odłączenie w „1" zwartego odcinka nastąpi więc po upływie czasu:

$$t_{n=1} = t_{1p} + t_{1w} = (t_{1wp} + t_{1up} + t_{1ip}) + (t_{1rw} + t_{1kw} + t_{1gw})$$

Jeżeli

$$t_{n=1} \geqslant t_{2p}$$

to wówczas zostanie wyzwolony wyłącznik „2" i po upływie czasu $t_{n=2} = t_{2p} + t_{2w}$ sek. od chwili wystąpienia zwarcia nastąpi zbyteczne odłączenie również odcinka sieci „2—1". Warunkiem selekcyjnego odłączania jest zapewnienie kolejności odłączań, aby więc ta kolejność była osiągalna, t. j. aby wyłącznik 2 nie był jeszcze wyzwolony, musi być zachowana następująca nierówność:

$$(t_{2wp} + t_{2up} + t_{2ip}) > (t_{1wp} + t_{1up} + t_{1ip}) + (t_{1rw} + t_{1kw} + t_{1gw})$$

czyli musi być

$$t_{2p} > t_{1p} + t_{1w}, \text{ albo}$$
$$t_{2p} - t_{1p} > t_{1w}.$$

Stąd wynika wniosek, że warunkiem koniecznym selekcyjnego odłączania jest zachowanie różnicy czasu odłączania ustalonych dwoma kolejnemi, jednokierunkowemi (nieryglowanemi) przekaźnikami choćby tylko nieco większej od opóźnienia w odłączaniu powodowanego przez wyłącznik olejowy.

Ponieważ opóźnienie w działaniu przekaźnika, spowodowane jego bezwładnością, wynosi około 0,1 sek. lub nawet mniej, przeto stosowanie metody selekcyjnego odłączania, uzależniającej czas dania impulsu wyłączającego od oporności pozornej, pozwala nawet na dalej idące uszeregowanie kolejności wyłączeń, niż pozwala na to bezwładność wyłączników nawet najnowocześniejszych. Skutkiem tej bezwładności różnice czasu dania impulsu wyłączającego, normowane przez przekaźniki, a wynoszące mniej niż wynosi czas własny wyłączników, a więc 0,12 — 1,00 sek., nie mogą być tolerowane, gdyż istniejące w urządzeniu wyłączniki o różnej bezwładności, a więc o różnym czasie własnym, przy zwarciu wyskakiwałyby w kolejności przygodnej, a nie planowej. Zależnie więc od bezwładności wyłączników, ich wytrzymałości, miejscowych warunków równowagi pracy równoległej i t. d., wprowadzamy do przekaźników pewne umyślne stałe opóźnienie $t_{up}$, dzięki czemu ustalamy t. zw. zasadniczy czas zabezpieczenia, wahający się w granicach $t_0 = 0{,}3 — 2{,}00$ sek. W ten sposób odstąpiliśmy od dawniejszej zasady uzyskiwania względnej selekcyjności w sieciach otwartych przez nastawienie na zgóry określony czas odłączania różny, lecz stały dla każdego poszczególnego miejsca założenia. Tak więc nowa metoda zmusza przekaźniki do samoczynnego nastawiania się na czas, zależnie od odległości miejsca zwarcia od danego przekaźnika. A ponieważ przekaźniki po działaniu wykazują specjalną skazówką czas $t_n$ w sekundach, to stąd sądzić możemy w pewnem praktycznie dopuszczalnem przybliżeniu o odległości miejsca zwartego od przekaźnika. Rzecz prosta, że określenie miejsca zwarcia jest niezmiernie ważne dla możliwie szybkiego zlikwidowania zwarcia i jego skutków, dlategoteż tę zaletę przekaźników odległościowych należy specjalnie podkreślić.

Oczywiście, że warunek zachowania różnicy czasu odłączania dwóch kolejnych przekaźników większej od opóźnienia spowodowanego przez wyłącznik, obowiązuje bez względu na odległość miejsca zwarcia od punktu „1". Obowiązuje więc i wówczas, gdy zwarcie wystąpiło bezpośrednio w p. „1". Dla tego przypadku $t_{1ip} = 0$ i nierówność przybiera formę:

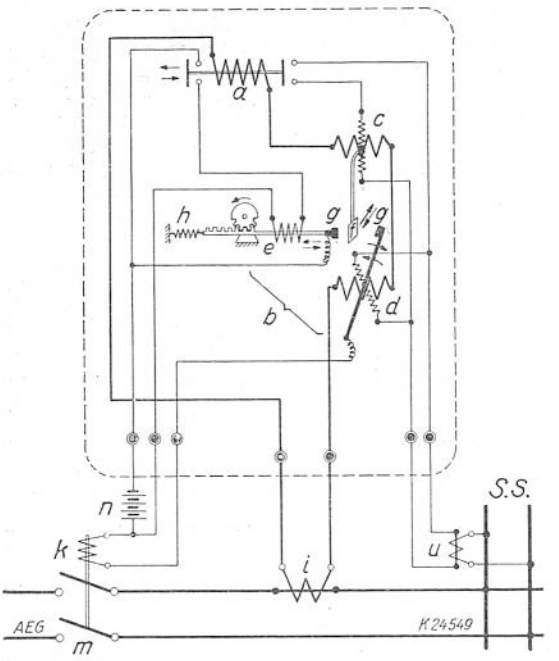
$$(t_{2wp} + t_{2up} + t_{2ip}) — (t_{1wp} + t_{1up}) > (t_{1rw} + t_{1kw} + t_{1gw})$$

Z nierówności tej wynika, że różnicę czasu odłączania dwóch kolejnych przekaźników możemy ustalić tem mniejszą, im nowocześniejsze są wyłączniki, a więc im krótszy jest czas $(t_{1rw} + t_{1kw} + t_{1gw})$.

Jeżeli w danym ciągu zabezpieczeń mielibyśmy jednakowe typy przekaźników i wyłączników tak, że moglibyśmy zastosować dla nich jednakowo długie opóźnienie umyślne takie, że $t_{2wp} = t_{1wp}$ oraz $t_{2up} = t_{1up}$, to skutkiem tego otrzymalibyśmy nierówność:

$$t_{2ip} > (t_{1rw} + t_{1kw} + t_{1gw}) \text{ czyli } t_{2ip} > t_{1w}.$$

Stąd wynika ogólny wniosek, że dla zapewnienia selekcyjności odłączeń najkrótszy odcinek zawarty między dwoma sąsiadującemi z sobą w da-




Rys. 139. Ideowy schemat przekaźnika oporność-

nym ciągu zabezpieczeniami, w przypadku zwarcia na szynach zabezpieczenia poprzedzającego, ma odmierzać opóźnienie w odłączaniu zależne od oporności pozornej tak długie, aby nieco przewyższało opóźnienie spowodowane przez wyłącznik najgorzej pracujący w danym ciągu zabezpieczenia (czas $t_w$ najdłuższy).

Przy doborze więc czasu $t_1$ decyduje najdłuższy odcinek sieci, a przy doborze $t_{ip}$ najkrótszy odcinek sieci i to zależnie od najgorszego wyłącznika.

Opóźnienie w odłączaniu spowodowane przez wyłącznik zwykle wynosi 0,12—1,00 sek. Mniejszy czas odpowiada najnowocześniejszym wyłącznikom, a dłuższy wyłącznikom starszej konstrukcji. Średnio możemy przyjąć, że w ist-

niejących urządzeniach czas ten wynosi $0{,}5 \div 0{,}7$ sek.

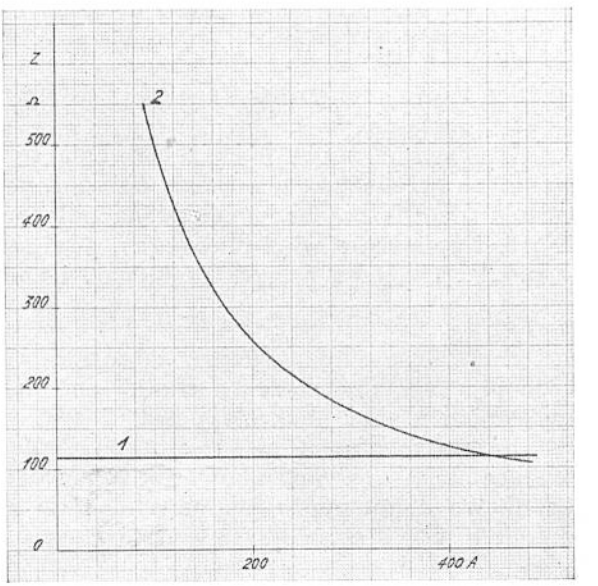
Dla uzupełnienia naszych rozważań wypada jeszcze zauważyć, że w przypadkach zwarć przemijających odłączanie linji nie nastąpi i przekaźniki powrócą do swego stanu wyjściowego wówczas, gdy zwarcie zniknie w czasie $t_z$:

$$t_z < (t_{1wp} + t_{1up} + t_{1ip})$$

a więc nim przekaźnik zdąży zamknąć obwód wyzwalający wyłącznika czyli, gdy

$$t_z < t_{ip},$$

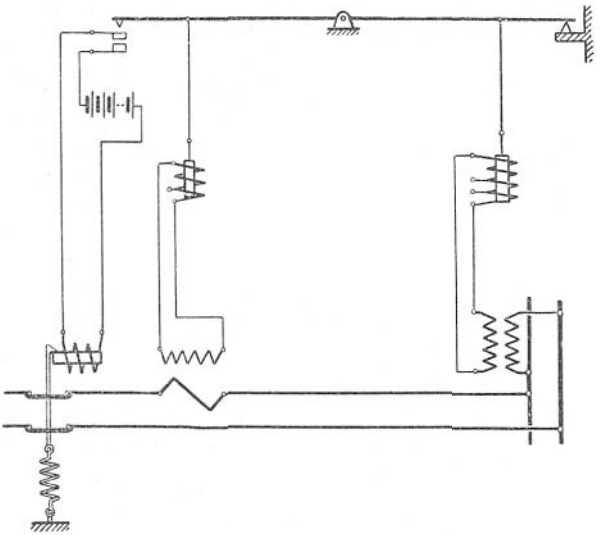
gdzie 1 ma oznaczać przekaźnik opornościowo najbliżej znajdujący się miejsca zwartego. Jak widzimy, wzór ten nie zawiera czasów zależnych od wyłącznika;




Rys. 140. Krzywe oporności pozornej: chronicj czyli rozruchowej i roboczej.

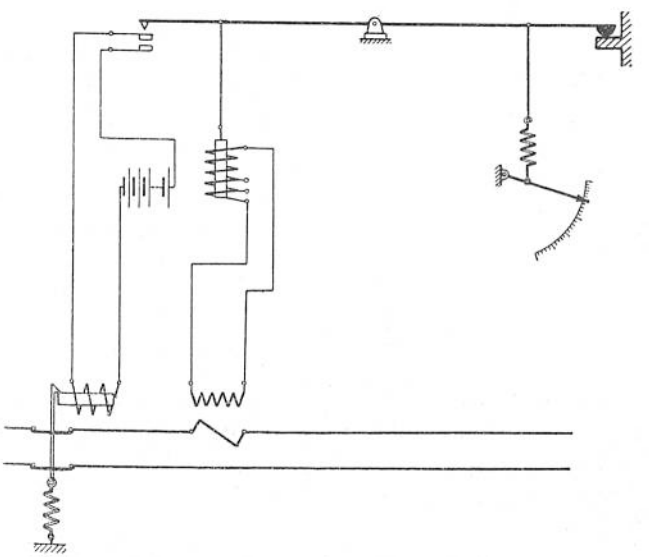
jestto zrozumiałe, jeżeli weźmiemy pod uwagę, że nad wyłącznikiem panujemy tylko do chwili dania impulsu ryglowi wyłącznika, poczem zjawisko odłączania następuje niepowstrzymanie.

Pożyteczną może być dla nas wiadomość, w jakim czasie przekaźnik powróci do swego położenia pierwotnego, licząc od chwili zniknięcia zwarcia, a raczej dokładniej określając ten moment: od chwili odłączenia zwarcia. Czas ten zależy oczywiście od konstrukcji poszczególnych organów, a więc od długości drogi powrotu, jaką poszczególne części tych organów muszą przebiec, czyteż od prędkości stygnięcia, o ile chodzi o organa, których działanie oparte jest na zasadzie cieplnej. W tych ostatnich organach czas ten może osiągnąć 5 sek. lub nawet więcej, podczas gdy organa zbudowane na zasadzie dynamicznej lub indukcyjnej wymagają czasu znacznie mniejszego, bo wynoszącego np. 2 sek., a nawet niektóre z nich 0,1 sek. Po upływie więc tego czasu przekaźnik jest gotów do ponownego działania.



Rys. 141. Ideowy schemat organu rozruchowego pozorno-opornościowego zredukowanego (podimpedancyjnego).

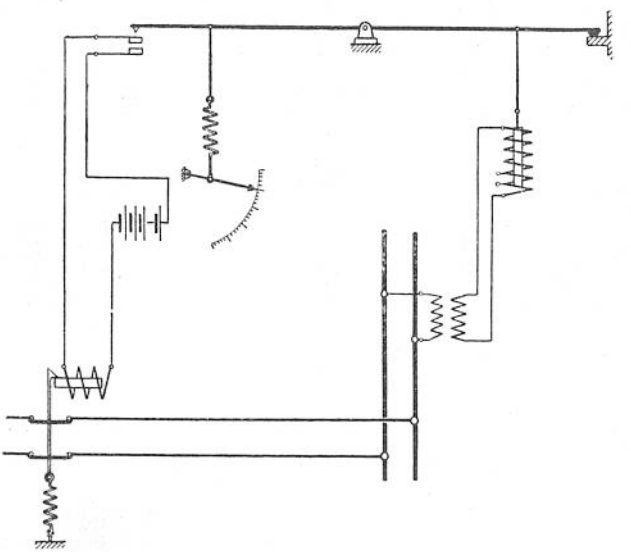
W przekaźnikach odległościowych (rys. 139) rozróżniamy cztery zasadnicze części, z których I., t. zw. organ rozruchowy „a", niejako nadzoruje sieć i z chwilą, gdy obrana przez nas oporność odpowiednio zmieni się, organ ten uruchamia II część stanowiącą organ ryglujący „c"; III-cią częścią przekaźnika jest organ pomiarowy „b", który mierzy obraną przez nas oporność danej części sieci i stosownie do zmierzonej wielkości oporności nastawia IV-ty organ, t. j. zegar „e", na odpowiedni czas odłączania.



Rys. 142. Ideowy schemat organu rozruchowego nadmiarowego.

Organ rozruchowy wykonywany jest zasadniczo w trojaki sposób, a mianowicie:

1. jako organ rozruchowy pozorno-opornościowy zredukowany (podimpedancyjny), nie reagujący na oporność pozorną roboczą, która np. przy obciążeniu 100 A i 50 kV wynosi: $50\,000 : 100 = 500$ omów, lecz reagujący na oporność pozorną zwartego obwodu (rys. 140). Wówczas napięcie na przekaźnikach jest bliskie zera, a prąd duży — tak, że przekaźniki te reagują dopiero przy wystąpieniu pewnej oporności pozornej, obranej przez nas, lecz bardzo małej w stosunku do oporności pozornej roboczej. Oczywiście, że przekaźniki o organach rozruchowych pozorno-opornościowych zredukowanych nie ochraniają urządzeń od przeciążeń, lecz tylko od zwarć. Przekaźniki te stosujemy chętnie w sieciach, w których obciążenie jest nadzorowane w nastawni w sposób bezpośredni lub zapomocą pomiarów zdalnych. Schemat takiego przekaźnika uwidoczniony jest na rys. 141;



Rys. 143. Ideowy schemat organu rozruchowego napięciowo-opadowego.

2. natomiast w sieciach, w których prąd zwarcia nie spada poniżej pewnej wielkości, jednakże znacznie większej od wielkości prądu znamionowego obciążenia, co zwykle ma miejsce w sieciach o napięciu roboczem do 30 kV, stosujemy przekaźniki opornościowe z organem rozruchowym zbudowanym nadmiarowo, nastawianym zwykle w jednotorowych linjach na $100 \div 200\%$ obciążenia znamionowego (rys. 142); natomiast linje dwutorowe zabezpieczamy, biorąc pod uwagę, że w przypadku odłączenia jednego z tych torów, pozostały musi przejąć całkowite wspólne obciążenie;

3. wreszcie dla pewnych przypadków korzystnem może być wykonanie organu rozruchowego jako napięciowo opadowego, t. j. działającego przy zniżeniu się napięcia sieci poniżej określonej przez nas wielkości, zwykle wynoszącej 70% znamionowego napięcia (rys. 143). Ten rodzaj organu rozruchowego często wykonywany jest jako opadowo-nadmiarowy.

Szczególniej pierwszy z wyżej wymienionych organów wymaga specjalnego omówienia i w tym celu, zwróciwszy uwagę na rys. 140 zauważymy, że odłączenie linji nastąpi wówczas, gdy oporność pozorna robocza spadnie wzdłuż hyperboli równobocznej „2" do $Z_0 = 115\ \Omega$ (krzywa wykreślona w założeniu, że napięcie jest wielkością stałą); wówczas w danym odcinku popłynie prąd 440 A. Jednakże, jak wiemy z początkowych naszych rozważań, prąd zwarcia, zależnie od mocy jednocześnie pracujących jed-

nostek wytwórczych w chwili jego wystąpienia, zmieniać się może w stosunku 1 : 25. Jeżeli 440 A byłoby natężeniem prądu zwarcia, występującem przy jednoczesnej współpracy wszystkich jednostek prądotwórczych, to dla zapewnienia rozruchu organu pozorno-opornościowego zredukowanego przy mniejszej ilości współpracujących tych jednostek, a więc przy prądach zwarcia mniejszych od 440 A, t. j. przy zwarciach występujących przy znacznie większych opornościach pozornych, należałoby organ rozruchowy nastawić na oporność pozorną rozruchową „1" odpowiednio wyższą od wymienionej na rys. 140. W ten sposób, jakgdybyśmy przesunęli prostą poziomą oporności pozornej chromej czyli rozruchowej (1) wgórę równolegle do osi odciętych. W ten sposób możemy w pewnej mierze zmieniać wielkość oporności pozornej rozruchowej $Z_0$. Ponieważ każdej wielkości tej oporności pozornej rozruchowej odpowiada w pewnej skali równoważny jej odcinek sieci o długości $l_0$, to zwarcie, występujące w odległości większej niż $l_0$ od danego przekaźnika, nie wywoła jego działania. Jeżeli natomiast w tym odcinku $l_0$ znajdować się będzie tylko jeden komplet przekaźników, a odpowiadający im wyłącznik z dowolnych względów nie wyskoczyłby, zaciąłby się, to wówczas następne przekaźniki, jako leżące od danego miejsca zwarcia w odległości większej niż $l_0$, a więc o oporności pozornej większej niż rozruchowa $Z_0$, nie działałyby. Aby tego uniknąć dobieramy $Z_0$ w taki sposób, aby odpowiadający jej odcinek sieci $l_0$ był podzielony na np. trzy części kolejno zabezpieczone, każda osobnym kompletem przekaźników.

Oporność pozorną rozruchową $Z_0$ zmieniamy, a więc przesuwamy prostą (1) równolegle do osi odciętych w ten sposób, że na napięcie włączamy odpowiednie zaczepy cewki napięciowej organu rozruchowego (rys. 141), lub przez zmianę zaczepów dławika połączonego w szereg z cewką napięciową— przez bocznikowanie cewki prądowej i t. p.

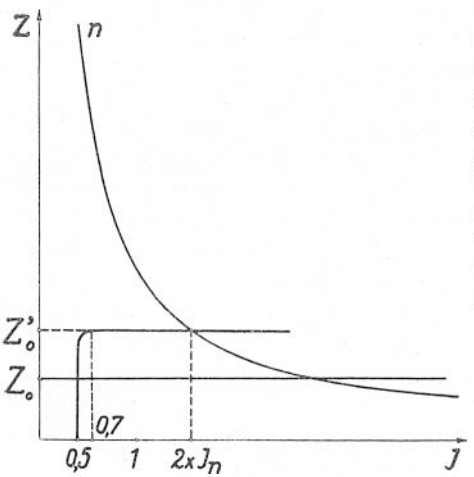
Jednakże tego rodzaju dobieranie $Z_0$ czyteż $l_0$ niezawsze daje się pogodzić z należytem wyzyskaniem sieci, gdyż wraz ze wzrostem $Z_0$ ogranicza się, rzecz prosta, zdolność przesyłowa linji. Ponadto w przypadku dołączenia do współpracy dalszych jednostek prądotwórczych, skutkiem zaszłego lub przewidywanego wzrostu obciążenia, może zagrażać to niebezpieczeństwo, że przekaźnik spowoduje odłączenie linji już przy stosunkowo niewielkiem jej przeciążeniu.

Jednakże okoliczność ta w pewnych przypadkach może być korzystną, toteż wyżej opisaną zasadę działania stosujemy w organach rozruchowych o działaniu nadmiarowem, wymienionych wyżej w p. 2. W tym przypadku dobieramy przecięcie prostej rozruchowej z krzywą oporności pozornej roboczej w punkcie, odpowiadającym dwukrotnemu prądowi znamionowego obciążenia ochranianej części sieci. Dzięki temu sieć będzie odłączona, gdy prąd osiągnie tę wielkość mimo, że napięcie pozostanie niezmienione.

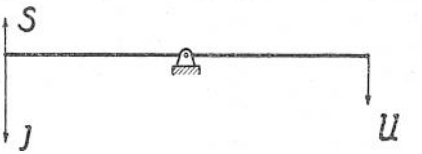
Gdy zasadę tę zastosujemy w organach rozruchowych pozorno-opornościowych zredukowanych, to wówczas przy pracy jednostek wytwórczych o słabej mocy (np. w niedzielę) w sąsiadujących ze zwarciem odcinkach sieci może wystąpić tak duży spadek napięcia, że przekaźniki mogłyby spowodować zupełnie niepotrzebnie ich odłączenie. Aby to nie nastąpiło, t. zn. aby przy takim spadku napięcia w zdrowych odgałęzieniach oporność pozorna

robocza nie spadła do oporności pozornej chromej, zakrzywiamy prostą rozruchową w odpowiednim punkcie. Dzięki temu zakrzywieniu przy takim spadku napięcia przekaźnik dopiero wówczas będzie działał, gdy obciążenie danego odcinka przekroczy określoną zakrzywieniem wielkość prądu, np. $0{,}5 \times J_n$ A (rys. 144).

Takie zagięcie prostej oporności pozornej chromej czyli rozruchowej uzyskujemy w ten sposób, że do jednego z końców belki dodajemy siłę dodatkową „S", wywierającą względem punktu obrotu tej belki dodatkowy moment obrotowy, obok momentu obrotowego wypadkowego z działania na jeden koniec belki siły $J$ z cewki prądowej, a drugi — siły $U$ z cewki napięciowej (rys. 145). Gdy napięcie zniknie, t. j. siła $U = 0$, równowaga belki będzie zachowana, o ile siła $J > 0$, t. j. gdy $J = S$. Jak już wyżej zaznaczyliśmy, $S$ dobieramy w ten sposób, że odłączenie może nastąpić dopiero przy $J \geqslant 2{,}5$ A



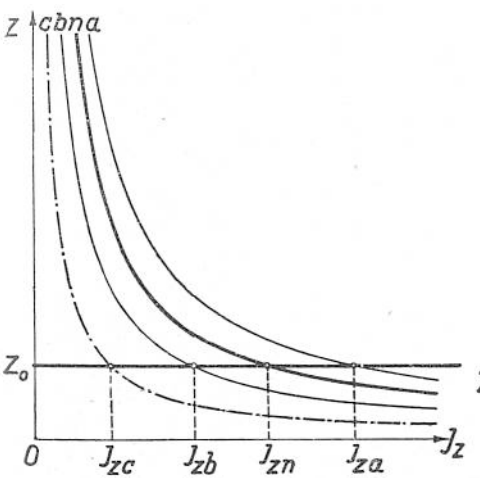

Rys. 144. Prostolinijne przebiegi oporności pozornych rozruchowych.



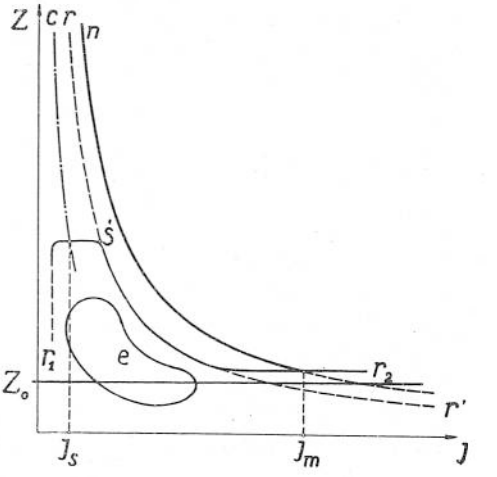

Rys. 145. Idea zakrzywiania charakterystyki rozruchowej.

Jak wiemy każdy punkt sieci elektrycznych podlega mniejszym lub większym wahaniom napięcia. Szczególniej przy współpracy elektrowni w sieciach o wyższych napięciach mamy dość duże wahania napięcia i to zarówno programowe, wynikające z kierowania rozpływem obciążeń, jak i przygodne, t. j. spowodowane przypadkami przez nas nie planowanemi. W ten sposób przekaźniki podlegają wpływom różnych napięć, co nie jest bez znaczenia dla ich działania. Dlatego też sprawę tę rozpatrzymy bliżej i zwrócimy uwagę na rys. 146. Na rysunku tym widzimy szereg krzywych oporności pozornej roboczej, z których każda wykreślona jest w założeniu, że napięcie = const. Krzywa oznaczona literą „n" wyobraża przebieg oporności pozornej roboczej przy napięciu znamionowem,
krzywa oznaczona literą „a" — przy napięciu wyższem od znamionowego, krzywa oznaczona literą „b" — przy napięciu niższem od znamionowego, a krzywa oznaczona literą „c" — przy napięciu przypadkowem, anormalnie niższem od znamionowego. Zauważymy, że przy obranej przez nas oporności pozornej rozruchowej $Z_0$ wmiarę zniżania się napięcia osiągamy corazto mniejsze wielkości prądu $J_{za} > J_{zn} > J_{zb} > J_{zc}$, przy których organ rozruchowy zacznie działać. Okoliczność ta spowodować może odłączenie zdrowych odcinków sieci, w których sąsiedztwie powstało zwarcie, gdyż w odcinkach tych napięcie może przejściowo spaść nawet poniżej normy, za którą uważane jest zazwyczaj $E_{min} = 0{,}70 \cdot E_{nom}$.

Dopieroco rozpatrzony przez nas wpływ wahań, a w szczególności spadku napięcia na działanie przekaźników, ogranicza swobodę w doborze odpowiednio dużej oporności pozornej rozruchowej „$Z_0$". Jeżeli znów skutkiem jakiegokolwiek wypadku na sieci załamie się oporność pozorna robocza tak, że nowy stan roboczy ustali się przy oporności pozornej $Z_x$ większej od $Z_0$, to organ rozruchowy wbrew naszym intencjom nie będzie działał. Tego rodzaju okoliczność ma miejsce w bardzo wielu przypadkach zwarcia łukowego. Zwarcia łukowe, zależnie od warunków w jakich powstają, mają najrozmaitsze i zresztą zmienne oporności pozorne. Obwiednia „e" (rys. 147) wszystkich możliwych wielkości tych oporności pozornych kształtem swym przypomina do pewnego stopnia charakterystykę dynamiczną łuku elektrycznego. Aby więc zapewnić odłączenie zwarcia łukowego mimo, że wówczas $Z_x > Z_0$, trzeba uzależnić działanie organu rozruchowego od kształtu przebiegu oporności pozornej rozruchowej, dobranej w ten sposób, aby ta nowa krzywa leżała w każdym przypadku nieco poniżej krzywej oporności pozornej roboczej przy najniższem dopuszczalnem napięciu roboczem, a jednocześnie powyżej obwiedniej oporności pozornych łukowych. Krzywa rozruchowa jest wówczas również hyperbolą równoboczną. Dzięki doborowi takiego przebiegu krzywej oporności pozornej




Rys. 146. Krzywe oporności pozornych roboczych dla napięć różnych lecz const.




Rys. 147. Hyperboliczny przebieg oporności pozornej rozruchowej oraz obwiednia łukowych oporności pozornych.

rozruchowej uzyskamy pewność, że wrazie zwarcia łukowego oporność pozorna robocza, załamując się, będzie zawsze mniejsza od oporności pozornej rozruchowej. W ten sposób organ rozruchowy zawsze uruchomi się. Natomiast wrazie spadku napięcia umyślnego, przygodnego lub okolicznościowego, np. przy zwarciu odległem, oporność pozorna robocza zawsze będzie wyższa od chromej tak, że organ rozruchowy nie będzie miał powodu do uruchamiania dalszych organów przekaźnika. Należy tu zaznaczyć, że mówiąc o oporności pozornej $Z_p$ sieci zawsze mieć będziemy na

myśli tę oporność pozorną przeliczoną w odniesieniu do wtórnej strony transformatorów miernikowych $Z_n$, przyczem:

$$Z_{n1} = \left[\frac{p_J}{p_E}\right] . Z_{p1} = c . Z_{p1} = c \sqrt{r^2_{p1} + x^2_{p1}}$$

gdzie: $p_J$ jest znamionową przekładnią transformatora miernikowego prądowego, a

$p_E$ jest znamionową przekładnią transformatora miernikowego napięciowego,

$Z_{p1}$ oporność pozorna pierwotna jednej fazy sieci,

$Z_{n1}$ oporność pozorna wtórna jednej fazy.

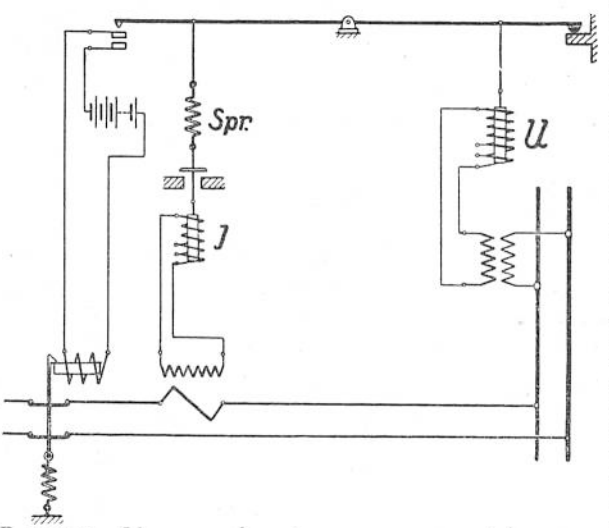
Wyżej wymieniony wzór dla obwodu dwufazowego zwartego zmieni się na:

$$Z_{n2} = 2 . c . Z_{p2} = 2 . c . \sqrt{(2 r_{p1} + r_{pz})^2 + (2 x_{p1})^2}$$

gdzie: $r_{pz}$ jest opornością zwarcia; a dla obwodu trójfazowego:

$$Z_{n3} = \sqrt{3} . c . Z_{p3} = \sqrt{3} . c . \sqrt{(r_{p1} + r_{pz})^2 + x^2_{p1}};$$

Hyperboliczny przebieg krzywej rozruchowej otrzymujemy w ten sposób, że magnes cewki prądowej $J$ łączymy z jednym z końców beleczki zapomocą sprężyny *Spr* (rys. 148). Wzrost prądu powoduje odpowiednie naciąganie sprężyny, które ograniczamy stosowną płytką. Naciąg sprężyny ściśle normuje pewną wartość napięcia $U$ = const., przy której równowaga beleczki jeszcze istnieje. Jeżeli natomiast oporność pozorna robocza załamie się, co w konsekwencji wyraża się odpowiedniem zniżeniem się napięcia, wówczas sprężyna *Spr* ściąga beleczkę i powoduje odłączenie ochranianego odcinka sieci. Zbliżenie hyperboli rozruchowej do roboczej czyteż ich wzajemne oddalanie uzyskujemy przez stosowną zmianę sprężynki lub użycie różnych zaczepów cewki napięciowej.




Rys. 148. Ideowy schemat pozorno-opornościowego zredukowanego (podimpedancyjnego) organu rozruchowego o charakterystyce hyperbolicznej.

Tego rodzaju charakterystyka oporności pozornej rozruchowej nie jest jeszcze wstanie dostosować działania przekaźnika do różnorodnych warunków pracy sieci elektrycznych, a to z dwóch przyczyn. Pierwszą z nich jest praca sieci o zmniejszonej mocy jednostek prądotwórczych np. w dni świąteczne. Wówczas wrazie zwarcia w sąsiednich gałęziach

sieci napięcie tak spada, że odpowiadająca temu napięciu krzywa oporności pozornej roboczej „c" (rys. 147) może zniżyć się tak, że przebiegałaby pod charakterystyką rozruchową „r". Oczywiście, że musiałoby to spowodować zupełnie zbyteczne odłączanie zdrowych części sieci. Aby tego uniknąć, zakrzywiamy krzywą rozruchową w punkcie „ś" tak dobranym, że krzywa ta, przebiegając poziomo, przecina krzywą rozruchową „c" w punkcie odpowiadającym prądowi $J_s$ nieco większemu od największego prądu roboczego, jakiego możemy spodziewać się przy zniżonem napięciu. W ten sposób oporność pozorną roboczą słabych sieci utrzymujemy powyżej oporności pozornej rozruchowej mimo przypadkowego zniżenia się napięcia roboczego.

Przechodząc teraz do dolnego przebiegu krzywej „r" oporności pozornej rozruchowej zauważymy, że ustalając jej przebieg prawie równolegle do krzywej oporności pozornej roboczej „n", rezygnujemy z ochrony sieci od jej przeciążeń, gdyż silny nawet wzrost prądu lecz nie połączony z jednoczesnem dużem zniżeniem się napięcia nie spowoduje uruchomienia organu rozruchowego. Dzięki temu przekaźniki zupełnie nie ograniczają zdolności przeciążania sieci. Jestto cenna zaleta tej charakterystyki rozruchowej, którą jednakże wyzyskujemy tylko wówczas, gdy przeciążenie sieci zabezpieczonych w ten sposób jest stale obserwowane w odnośnych rozrządniach lub nastawniach. Gdy z nadzoru takiego chcemy lub musimy zrezygnować, wówczas ta charakterystyka rozruchowa, nie reagując na przeciążenia większe od dozwolonych, dopuszczałaby do ochranianych urządzeń wielkie niebezpieczeństwo, wynikające z przeciążenia. Dla tych przypadków korzystnem jest ograniczenie zdolności przeciążenia sieci. W tym celu charakterystykę rozruchową wyginamy w dolnym jej biegu w ten sposób, że przecina ona krzywą oporności pozornej roboczej w punkcie odpowiadającym pewnemu prądowi $J_m$, obranemu przez nas dla danych urządzeń na graniczne przeciążenie. Gdyby więc prąd roboczy wzrósł do wielkości większej od $J_m$ wówczas oporność pozorna robocza stałaby się mniejszą od oporności pozornej rozruchowej, dzięki czemu organ rozruchowy spowodowałby odłączenie przeciążenia.

W powyższych rozważaniach widzieliśmy, jak decydującą rolę w dobrem działaniu przekaźnika odgrywa dostosowanie charakterystyki rozruchowej do: 1-o największego spodziewanego w danem urządzeniu prądu zwarcia, 2-o najmniejszego prądu zwarcia — oraz 3-o miejscowych warunków pracy ochranianego urządzenia.

Rozpatrzone przez nas charakterystyki rozruchowe pozwalają na dobre dostosowanie organu rozruchowego do tych warunków.

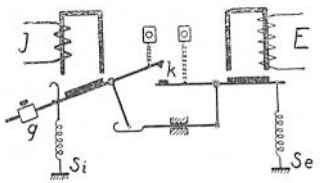
Organa rozruchowe budowane są na zasadzie elektromagnetycznej oraz częściej na zasadzie indukcyjnej. Istnieją oczywiście różnorodne rozwiązania konstrukcyjne tego organu, z których dla przykładu rozpatrzymy najpierw organ rozruchowy, skonstruowany na zasadzie elektromagnetycznej przez firmę Oerlikon. Rys. 149 przedstawia schemat tego rozwiązania. Organ ten składa się z dwóch magnesów, z których jeden wzbudzany jest dzięki cewce napięciowej $E$, a drugi — prądowej $J$. Moment skręcający, wywierany magnesem $E$ na kotwiczkę, wynosi $M_{kl} = c_1 . E^2$, gdzie napięcie, na które włączono cewkę wynosi $E = J . Z$. Przyciąganiu magnesu

przeciwdziała sprężyna $S_e$, wywołująca moment skręcający $M_{k2} = \text{const.}$ W przypadku równowagi $M_{k1} = M_{k2}$ czyli $M_{k2} = c_1 \cdot J^2 \cdot Z^2$, stąd

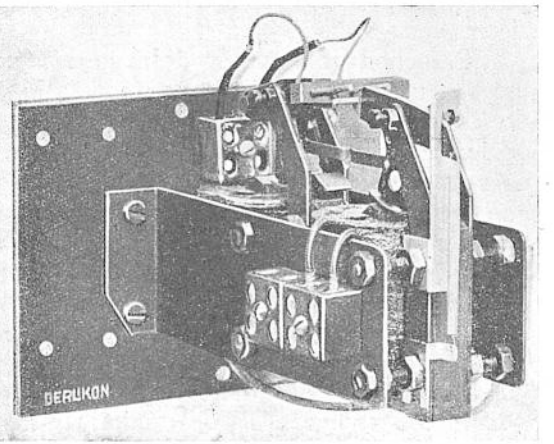
$$Z = \frac{1}{J} \cdot \sqrt{\frac{M_{k2}}{c_1}}, \text{ a ponieważ } \sqrt{\frac{M_{k2}}{c_1}} = c = \text{const.}, \text{ przeto } Z = \frac{c}{J} \text{ lub } Z \cdot J = c.$$

Porównywując ten wzór z równaniem hyperboli równobocznej $x' \cdot y' = 2a^2$, widzimy, że oporność pozorna $Z = f(J)$ wyraża się hyperbolą równoboczną ($s' - r'$ na rys. 147), której parametr $2a = \sqrt{2} \cdot c$. Sprężynki kontaktowe, widoczne na rys. 149, oznaczają jedynie swobodne doprowadzenie prądu do ruchomych kontaktów „k"; pozatem żadnego udziału w zjawisku nie biorą.

Co się tyczy działania elektromagnesu $J$ to zauważymy, że przesuwając ciężarek $g$, ograniczamy górną część charakterystyki rozruchowej tak, że kotwiczka tego układu może być przyciągnięta dopiero począwszy od natężenia prądu równego naprzykład $2/3\,J_n$. Górny przebieg charakterystyki rozpoczyna się więc w punkcie „s", odpowiadającym nastawionemu natężeniu prądu i to dzięki swobodnemu poruszaniu się kotwiczki prądowej niezależnie od układu napięciowego. Dopiero przy prądzie odpowiednio większym od znamionowego kotwiczka prądowa podnosi się wyżej i z jednej strony, zaczepiając o dźwignię, łączy się z układem napięciowym, a z drugiej — zaczepia o sprężynę $S_i$. Sprężyna ta naciągiem swym reguluje natężenie prądu, przy którym kotwiczka układu prądowego przezwycięży kotwiczkę napięciową, a temsamem spowoduje jej odchylenie tak, że mimo pełnego napięcia kontakty $k$ zostaną zwarte, powodując uruchomienie organu pomiarowego. W ten sposób dokonane jest zagięcie dolnej części charakterystyki rozruchowej i przejście jej w linję poziomą $r_2$. Rys. 150 przedstawia właśnie ten organ.



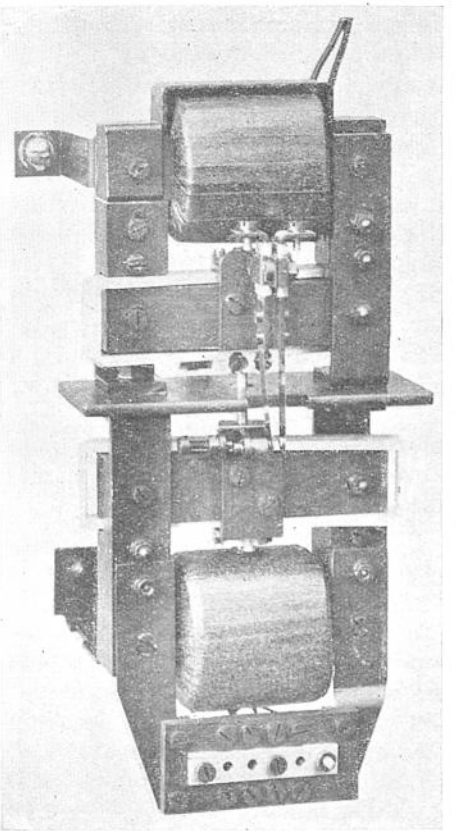

Rys. 149. Ideowy schemat organu rozruchowego pozorno-opornościowego firmy Oerlikon, działającego na zasadzie elektromagnetycznej.



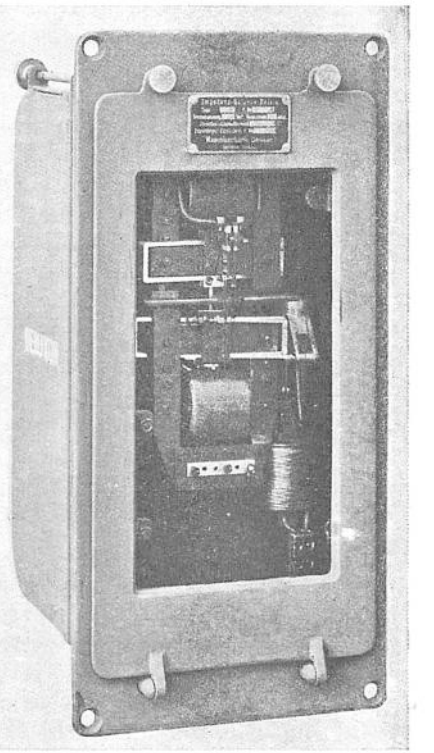

Rys. 150. Elektromagnetyczny organ rozruchowy pozorno-opornościowy.

Natomiast rys. 151 przedstawia schemat organu rozruchowego, zbudowanego na zasadzie indukcyjnej. Na rysunku tym widzimy dwa rdzenie żelazne, na których nawinięto uzwojenia pierwotne jako cewkę napięciową w górnym rdzeniu, a w dolnym jako cewkę prądową. Wtórne uzwojenie każdego z tych rdzeni stanowi dla każdego jeden osobny zwój zwarty, zro-

biony z grubej blachy. W ten sposób mamy dwa transformatory, których uzwojenia wtórne, umocowane na wspólnej osi, są ruchome. Rozpatrując każdy układ transformatorowy zosobna zauważymy, że gdy przez pierwotne uzwojenie przepływa prąd zmienny, to pod wpływem wzbudzonego w rdzeniu zmiennego pola magnetycznego zwarta cewka stara się zająć



Rys. 151. Organ rozruchowy pozorno-opornościowy zredukowany firmy Oerlikon.



Rys. 152. Organ rozruchowy firmy Oerlikon w okapturzeniu.

także miejsce, w którem nie indukowałby się w tej cewce żaden prąd, a więc stara się ustawić wzdłuż pola magnetycznego, t. j. w płaszczyźnie rdzenia magnesowego.

Moment obrotowy układu dolnego, o cewce prądowej, jest proporcjonalny do kwadratu przepływającego przez tę cewkę prądu. Możemy to wyrazić równaniem: $M_{k1} = k_1 . J^2$. Dla układu górnego, t. j. o cewce napięciowej, w analogiczny sposób możemy napisać: $M_{k2} = k_2 . E^2$. Moment ten jest odwrotnie skierowany w stosunku do momentu poprzednio rozpatrzonego. W przypadku równowagi całego układu musi być: $M_{k1} = M_{k2}$, a stąd $Z = \frac{E}{J}$. Ponieważ, dzięki sprężynie, $E$ ma zupełnie określoną stałą wiel-

kość, przeto charakterystyką tego organu rozruchowego jest hyperbola, którą stosownym doborem tej sprężynki możemy dowolnie zbliżać lub oddalać od hyperboli oporności pozornej roboczej. Sprężynka ta stanowi niewidoczne na rysunku sprzęgło elastyczne między układem górnym i dolnym organu rozruchowego. W ten sposób układ dolny stosownie do wielkości prądu naciąga tę sprężynkę, a układ górny działa jakby hamująco, oczywiście tem słabiej im bardziej zniża się napięcie, zresztą zupełnie podobnie jak na rys. 148. O ile, począwszy od położenia początkowego aż do końcowego odchylenia, moment skręcający układu dolnego bardzo silnie wzrasta, o tyle moment hamujący układu górnego niemniej raptownie maleje. Skutkiem tego różnica tych momentów gwałtownie rośnie. Górny układ skręca się i powoduje zwarcie kontaktów, widocznych na rys. 151. W ten sposób przekaźnik reaguje silnie przy najmniejszych zmianach oporności pozornej. Z tegoteż względu firma „Oerlikon" oznacza ten przekaźnik po niemiecku również nazwą „Minimalimpedanzrelais". Druga sprężyna w tym organie stanowi siłę kierującą „S" (rys. 145), dzięki której uzyskujemy wygięcie hyperboli rozruchowej w jej górnym przebiegu. Tak więc charakterystyka rozruchowa tego organu przebiega wzdłuż drogi, oznaczonej na rys. 147 literami: $r_1$ — $ś$ — $r'$. Rys. 152 przedstawia organ rozruchowy zmontowany, gotowy do pracy.

Wypada jeszcze zastanowić się nad możliwością uzależnienia działania organu rozruchowego od zmian oporności urojonej roboczej. Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że oporność urojona (reaktancja)

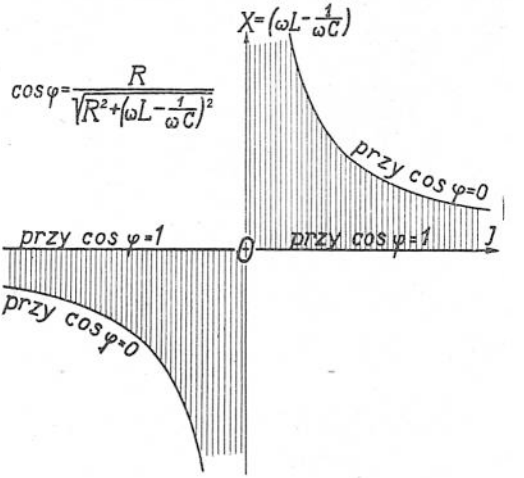
$$X = \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = \frac{E}{J} \cdot \sin \varphi = Z \cdot \sin \varphi$$

jest zależna od przesunięcia w fazie prądu względem napięcia, to zauważymy, że przy tej samej wielkości prądu oporność urojona może być różna. Sprawa ta komplikuje się jeszcze bardziej wobec tego, że sieci nasze powinny mieć możność pracy przy różnych spółczynnikach mocy. Musimy więc liczyć się ze zmianą znaku oporności urojonej od dodatniego począwszy, t. j. od oporności indukcyjnej (induktancji), poprzez zero do ujemnego, t. j. do oporności pojemnościowej (kapacytancji). Dla każdej wielkości i znaku spółczynnika mocy będzie osobna krzywa oporności urojonej roboczej. Ostatecznie więc oporność urojoną roboczą przy wszelkich możliwościach pracy elektrycznej obrazować będą płaszczyzny. Ponieważ przy $\cos \varphi = 0$, t. j. przy $\sin \varphi = 1$, oporność urojona $X = Z$, przeto jedną granicę stanowić będzie hyperbola równoboczna, która poprzednio wyobrażała przebieg oporności pozornej roboczej. Natomiast przy $\cos \varphi = 1$, t. j. przy $\sin \varphi = 0$, oporność urojona $X = 0$ i drugą granicę tej płaszczyzny stanowić będzie oś odciętych. Ponieważ oporność urojona, a co za tem idzie i prąd, mogą być ujemne, przeto druga taksamo ograniczona płaszczyzna będzie także w III ćwiartce układu współrzędnych. Płaszczyzny te uwidocznione są na rys. 153.

Jakąkolwiek więc krzywą rozruchową umieścilibyśmy w tych płaszczyznach, byłaby ona stale przecinana przez oporności urojone robocze przy normalnej nawet pracy, nie wymagającej interwencji przekaźników ochronnych przy różnych wielkościach prądu zależnie od zmian $\cos \varphi$.

Z tegoteż względu ze zmian wielkości samej oporności urojonej nie możemy wnioskować o stopniu obciążenia urządzeń, a co za tem idzie, działanie organu rozruchowego nie może być uzależnione od wielkości samej oporności urojonej.

Co się tyczy II części przekaźnika, t. j. organu ryglującego, to zauważymy, że do tej pory mówiliśmy o dwóch czynnikach normujących czas odłączania: są to napięcie i prąd. Uwzględnienie tych dwóch czynników jest warunkiem koniecznym selekcyjnego odłączania, lecz niewystarczającym, gdyż, jeżeli weźmiemy pod uwagę szynę zbiorczą (rys. 136), do której prąd doprowadzamy linją zabezpieczoną, a druga taka linja odprowadza prąd i na niej właśnie powstało zwarcie, to — praktycznie rzecz biorąc — możemy powiedzieć, że przekaźniki zarówno jednej jak i drugiej linji, jako przyłączone tuż przy jednych i tych samych szynach, znajdują się pod tem samem napięciem i w dodatku prądy przepływające przez nie są lub mogą być równe. Przekaźniki te powinnyby więc spowodować jednoczesne odłączanie zarówno linji ze zwarciem jak i linji doprowadzającej; skutkiem tego mogłyby być bez potrzeby unieruchomione linje zdrowe, odchodzące z tych samych szyn (rys. 136). Aby to nie nastąpiło, wprowadzono do przekaźników opornościowych, obok napięcia i prądu, nowy — trzeci — czynnik, który już nie wpływa na czas odłączania, lecz nie dopuszcza do działania pewnych przekaźników oznaczonych czarnemi punktami na rys. 138. Czynnikiem tym jest kierunek przepływu mocy elektrycznej. Powoduje on to, że dopuszczone są do działania tylko te przekaźniki, które znajdują się w obwodzie linji odprowadzającej energję z szyn zbiorczych. Blokowanie to odbywa się na zasadzie dynamometrycznej lub indukcyjnej i rzadziej na zasadzie elektromagnetycznej. Organ ryglujący w niektórych przekaźnikach stanowi mechanicznie część przekaźnika opornościowego (AEG, BBC), a w innych — osobny przyrząd (Dr. Paul Meyer, Oerlikon, S&H).



Rys. 153. Przebieg urojonej oporności roboczej.

Rys. 154 przedstawia w perspektywie organ ryglujący trójfazowy, zbudowany przez firmę Oerlikon, jako osobny przyrząd działający na zasadzie indukcyjnej, skonstruowany zresztą podobnie do poprzednio opisanego organu rozruchowego (rys. 151). Widzimy tu również jeden zwój wtórny, zwarty, ruchomy, w którym płynący prąd indukowany jako wtórny transformatora miernikowego napięciowego znajduje się pod wpływem pola magnetycznego wzbudzonego cewką prądową. Przyrząd ten odznacza się małem zużyciem własnem i stosunkowo dużym momentem skręcającym.

III. Organ pomiarowy. Przekaźniki opornościowe uzależniają czas od-

łączania od wielkości oporności pozornej obwodu chromego. Jak wiemy, kwadrat oporności pozornej wyraża się wzorem:

$$Z^2 = R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2 = R^2 + X^2.$$

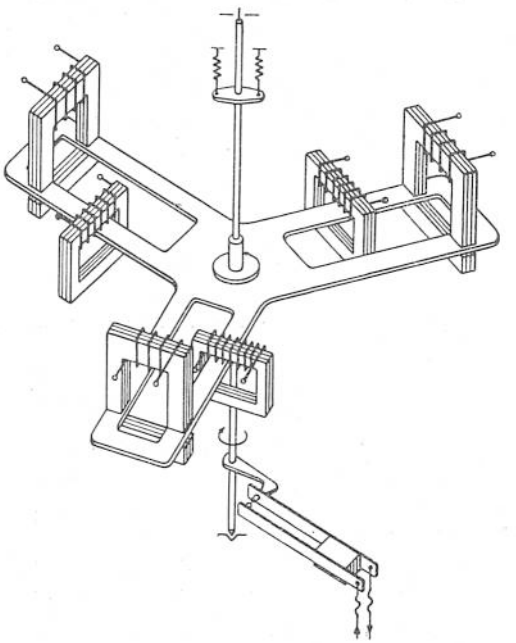
W szczególnych przypadkach oczywiście może być:

1) $R = 0$, wówczas $Z = X$ lub
2) $X = 0$, a wówczas $Z = R$.

Rzecz prosta, że zamiast mierzyć $Z$, możemy przeprowadzić pomiar poszczególnych jej składników, a więc $X$ lub $R$, a nawet możemy mierzyć jednocześnie np. $R$ i tylko pewną część $X$ i t. p.

Tak więc możemy w przekaźnikach opornościowych układ pomiarowy nastawić lub pobudować tak, aby mierzył żądane wielkości.

Stosownie więc do mierzonej oporności przekaźniki opornościowe dzielimy na: 1. przekaźniki pozorno-opornościowe (impedancyjne), 2. przekaźniki urojono-opornościowe (reaktancyjne), 3. przekaźniki czynno-opornościowe (rezystancyjne) i 4. przekaźniki kombinowane czynno-opornościowe i częściowo urojono-opornościowe (rezystancyjno-częściowo reaktancyjne).



Rys. 154. Perspektywiczny widok organu ryglującego firmy Oerlikon.

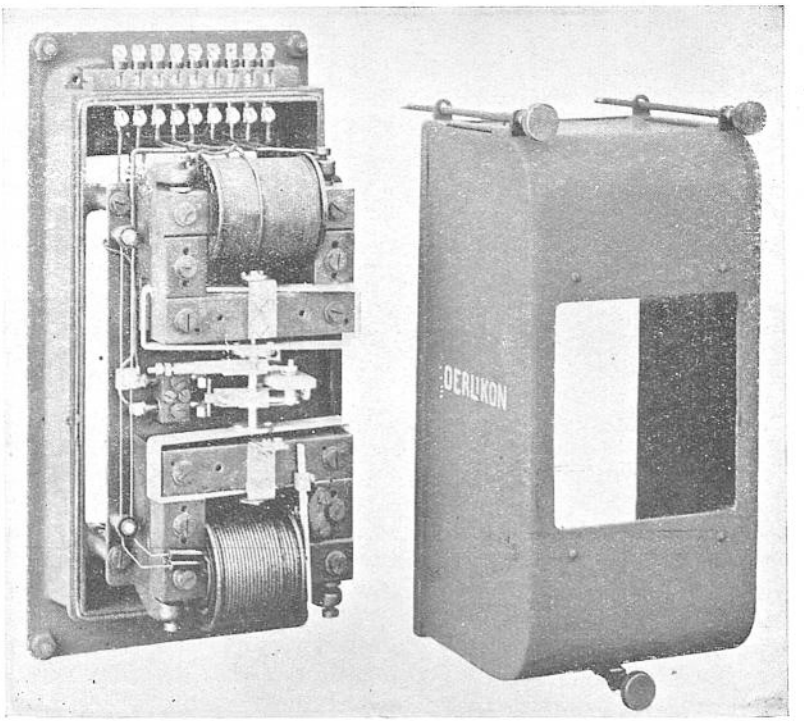
Jako przykład konstrukcji organu pomiarowego rozpatrzymy organ pozorno-opornościowy firmy Oerlikon. Z rozważań naszych nad organem rozruchowym pozorno-opornościowym zredukowanym (podimpedancyjnym) wynika, że po usunięciu z niego części deformujących hyperboliczny przebieg krzywej rozruchowej, przesunąwszy w znany nam już sposób tę krzywą aż do pokrycia się jej z krzywą roboczą, organ ten będzie mierzył oporność pozorną odpowiadającą w każdej chwili stanowi roboczemu danego obwodu. Jak już wiemy, mierzona oporność pozorna robocza wynosić będzie: $Z = \frac{E}{J}$. Tak więc, dzięki stosunkowo niewielkim zmianom konstrukcyjnym, można z łatwością uzyskać organ pomiarowy z wyżej opisanego organu rozruchowego. Rys. 155 przedstawia organ pomiarowy zbudowany na dopieroco omówionej zasadzie.

W przekaźnikach opornościowych bardzo często organ pomiarowy jest jednocześnie organem ryglującym. Jako przykład rozpatrzymy organ po-

miarowy urojono-opornościowy firmy „Oerlikon" (rys. 156). Jeżeli w organie pomiarowym pozorno-opornościowym tej firmy (rys. 155) górny układ skonstruujemy w ten sposób, że będzie mierzył moc bierną, wówczas $M_{k2} = k_2 \cdot EJ \cdot \sin\varphi$, podczas gdy dla dolnego układu moment skręcający pozostanie równy $M_{k1} = k_1 \cdot J^2$ tak, że $k_1 J^2 = k_2 \cdot EJ \sin\varphi$, a stąd oporność urojona

$$X = \frac{E \sin\varphi}{J} = Z \cdot \sin\varphi.$$

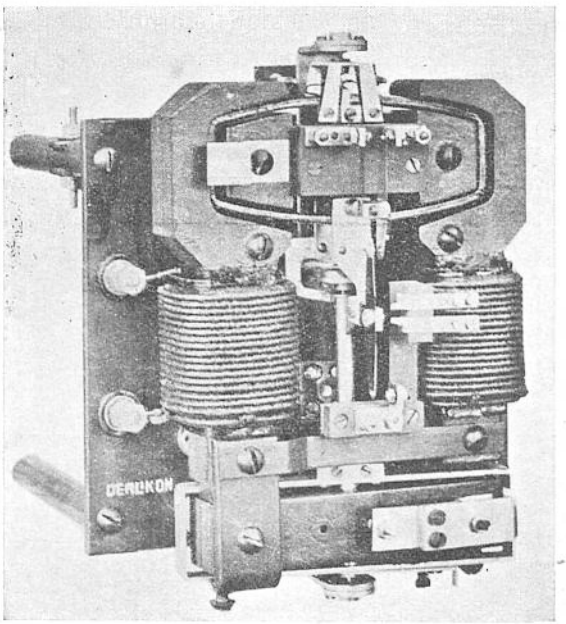
Aby to uzyskać, zaopatrujemy w górnym układzie zwarty ruchomy zwój w cewkę napięciową. Dla uzyskania przesunięcia w fazie o 90° prądu w




Rys. 155. Organ pomiarowy pozorno-opornościowy firmy Oerlikon.

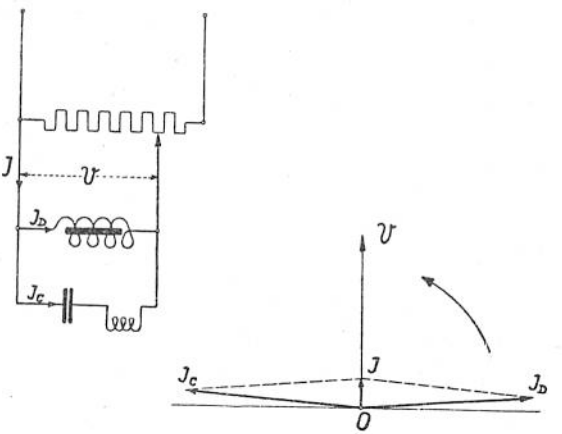
cewce napięciowej w stosunku do napięcia, włączamy cewkę tę w obwód, złożony z kondensatora i dławika (rys. 157). Kondensator i dławik dobieramy w ten sposób, że obwód ten, zasilany z dzielnika napięcia, jest w rezonansie prądów. Obwód pobiera z dzielnika bardzo niewielki prąd $J$, idący na pokrycie strat czynnych obwodu. Prąd ten oczywiście bardzo mało wpływa na napięcie $V$. Przesuwając ruchomy kontakt wzdłuż dzielnika napięć, możemy z łatwością przekaźnik zarówno dostosować do przekładni transformatorów miernikowych, jak i nastawić na stosowny zakres pomiarowy oporności urojonej. Ponieważ przy dokonywaniu wyżej wspomnianej zmiany układu górnego obydwa układy, t. j. górny i dolny, są magnetycz-

nie wzbudzone dzięki jednemu i temu samemu prądowi, przeto układy magnetyczne połączono w jedną całość, wzbudzaną dzięki jednej cewce prądowej. Cewki ruchome obu układów poruszają się niezależnie od siebie. Jedynie cewka dolnego układu porusza się stale w kierunku odwrotnym do ruchu skazówek zegara, natomiast cewka układu górnego porusza się zgodnie z ruchem skazówek zegara przy przepływie mocy biernej z szyn zbiorczych, a w kierunku odwrotnym, gdy moc bierna dopływa do szyn zbiorczych. O ile zauważymy, że na ośce dolnego układu znajdują się kontakty obwodu wyzwalającego wyłącznik, a na górnej ośce są zwierniki do tych kontaktów, to przy przepływie energji z szyn zbiorczych oba układy, skręcając się w odwrotnych kierunkach, spowodują zwarcie tych kontaktów, a co za tem idzie odłączenie zwarcia; natomiast przy dopływie energji do szyn zbiorczych zgodnie skręcające się układy nie zewrą kontaktów tak, że obwód wyzwalający nie będzie czynny. Na tem polega ryglujące działanie tego organu, który wstanie gotowym do pracy widzimy na rys. 156.




Rys. 156. Organ pomiarowy urojono-opornościowy o działaniu ryglującem.

Wreszcie IV organem przekaźników opornościowych jest zegar, który stosownie do wyniku działania organu pomiarowego odmierza czas odłączania. W przekaźnikach opornościowych rolę organu tego spełniają w niektórych wykonaniach, organy: rozruchowy i pomiarowy—dzięki samej zasadzie ich działania i odpowiedniej konstrukcji (AEG — Dr. Paul Meyer, Oerlikon); w innych znów wykonaniach organy te stanowią osobną część konstrukcyjną przekaźnika (BBC, Oerlikon, Siemens).



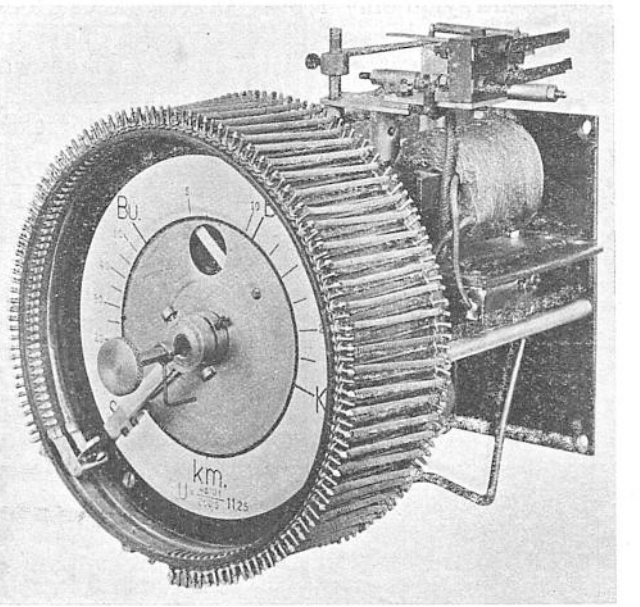

Rys. 157. Układ połączeń obwodu napięciowego organu pomiarowego firmy Oerlikon.

Dla zupełnego skompletowania wyżej opisywanego frag-

mentarycznie przekaźnika firmy Oerlikon rozpatrzymy bliżej działanie organu zegarowego konstrukcji tej firmy oraz rolę, jaką ma on do spełnienia, (rys. 158). Zegar napędzany jest ze stałą prędkością zwykłą sprężyną. Sprężynę tę samoczynnie naciąga silniczek elektryczny. W chwili powstania zwarcia organ rozruchowy przy pomocy małego elektromagnesu odryglowywuje zegar, dzięki czemu rusza on z miejsca, przekręcając skalę tarczową czasu własnego zabezpieczenia $t_0$. Tarcza ta przekręca się odpowiednio do nastawionego czasu $t_0$, który możemy dowolnie regulować w granicach 0,5 — 1,8 sek. Po upływie tego czasu włącza się obwód napięciowy organu pomiarowego. W tej chwili tarcza pozostaje na miejscu, a rusza duża skazówka zegara, spełniająca rolę ruchomego kontaktu ślizgającego się po zaczepach oporności dzielnika napięcia, otaczającego cylindrycznie zegar. Jeżeli przypomnimy sobie, że oba układy organu pomiarowego są w równowadze, gdy

$$M_{k2} = k_2 \,.\, E \,.\, J \,.\, \sin \varphi = \\ = k_1 \,.\, J^2 = M_{k1},$$

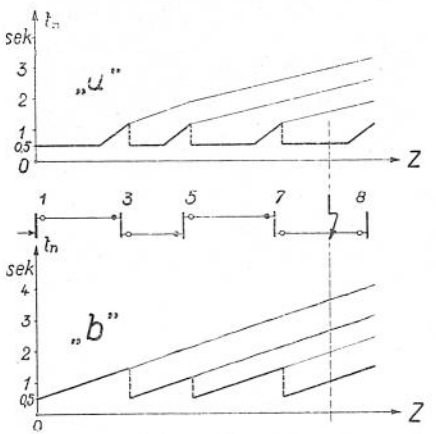
to dojdziemy do wniosku, że gdy górny układ otrzyma napięcie $V$ (rys. 157) nieco niższe od napięcia zwarcia $E$, wówczas równowaga będzie zachwiana, skutkiem czego organ pomiarowy zewrze kontakty obwodu wyzwalającego wyłącznik. A ponieważ ramię kontaktowe porusza się ze stałą prędkością, dając do obwodu rezonansowego corazto niższe napięcie, przeto w ten sposób zegar wyznacza czas $t_1$, proporcjonalny do występującej przy zwarciu oporności. Czas $t_1$ odczytać możemy na skali dzięki małej skazówce, popychanej przez ramię kontaktowe, które po spełnieniu swego zadania wraca do swego położenia pierwotnego, odciągnięte tam stosowną sprężynką.



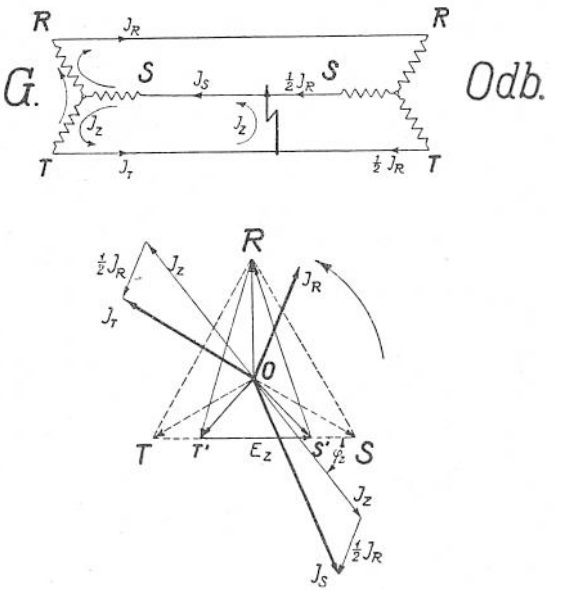

Rys. 158. Organ zegarowy ze wskaźnikiem odległości zwarcia firmy Oerlikon.

Przekaźnik odłącza więc po upływie czasu $t_n = t_0 + t_1$. W tym przypadku mielibyśmy do czynienia z zabezpieczeniem sieci o charakterystyce ciągłej, przedstawionej na rys. 137. Przekaźnik ten pozwala jednak na osiągnięcie zabezpieczenia sieci charakterystyką bardziej korzystną, którą nazwiemy łamaną. Działanie tak zmodyfikowanego przekaźnika polega na tem, że ramię kontaktowe po upływie czasu $t_0$ rusza nie ze swego pierwotnego miejsca, lecz z miejsca wysuniętego naprzód, obranego przez nas jako

nowe miejsce wyjściowe. To nowe miejsce odpowiada oporności urojonej (czyteż oporności pozornej) równej np. 80% oporności urojonej ochranianego odcinka. W ten sposób wrazie wystąpienia zwarcia w odległości, nie przekraczającej 80% ochranianego odcinka, odłączenie nastąpi bezzwłocznie po upływie czasu $t_0$. W pozostałej części ochranianego odcinka charakterystyka ma już przebieg zwykły, jak charakterystyka ciągła, przyczem nachylenie jej dobieramy w ten sposób, że wrazie zwarcia, występującego tuż przy następnym przekaźniku, czas $t_1 = 0{,}7$ sek. Różnicę tę utrzymujemy i przy przebiegu charakterystyki przez dalsze odcinki sieci tak, że charakterystyki mają przebieg równoległy. Nachylenia charakterystyki i jej zmiany dokonywamy odpowiednim doborem zaczepów, dowolnie gęsto rozrzuconych wzdłuż dzielnika napięcia. Na rys. 159 podajemy plan zabezpieczenia sieci przekaźnikami o charakterystyce odłączeń łamanej „a" oraz — dla porównania — przekaźnikami o charakterystyce ciągłej „b". Zaznaczamy przytem, że obie cha-




Rys. 159. Plan zabezpieczenia sieci przekaźnikami o charakterystyce odłączań łamanej „a" i ciągłej „b".




Rys. 160. Wykres prądów i napięć dla przypadku zwarcia dwóch faz sieci trójfazowej obciążonej.

rakterystyki dotyczą jednokierunkowego przebiegu energji, a więc, jak w naszym przykładzie, działają przekaźniki nieparzyste, podczas gdy parzyste są zaryglowane.

Z porównania tego widzimy, że charakterystyka zabezpieczenia łamana pozwala na szybsze odłączenie zwarcia niż charakterystyka ciągła. Jeżeli weźmiemy pod uwagę zwarcie, oznaczone strzałką, to przekaźnik 7 w przypadku „a" odłączy po $t_n = 0{,}5$ sek., a w przypadku „b" po $t_n = 1{,}00$ sek. Jeżeliby wyłącznik 7 zaciął się i nie odłączył, wówczas rolę jego spełni najbliższy sąsiedni przekaźnik 5, powodując odłączenie zwarcia przy charakterystyce łamanej po upływie czasu $t_n = 1{,}55$ sek. wobec czasu $t_n = 1{,}95$ sek., jaki ustala charakterystyka ciągła.

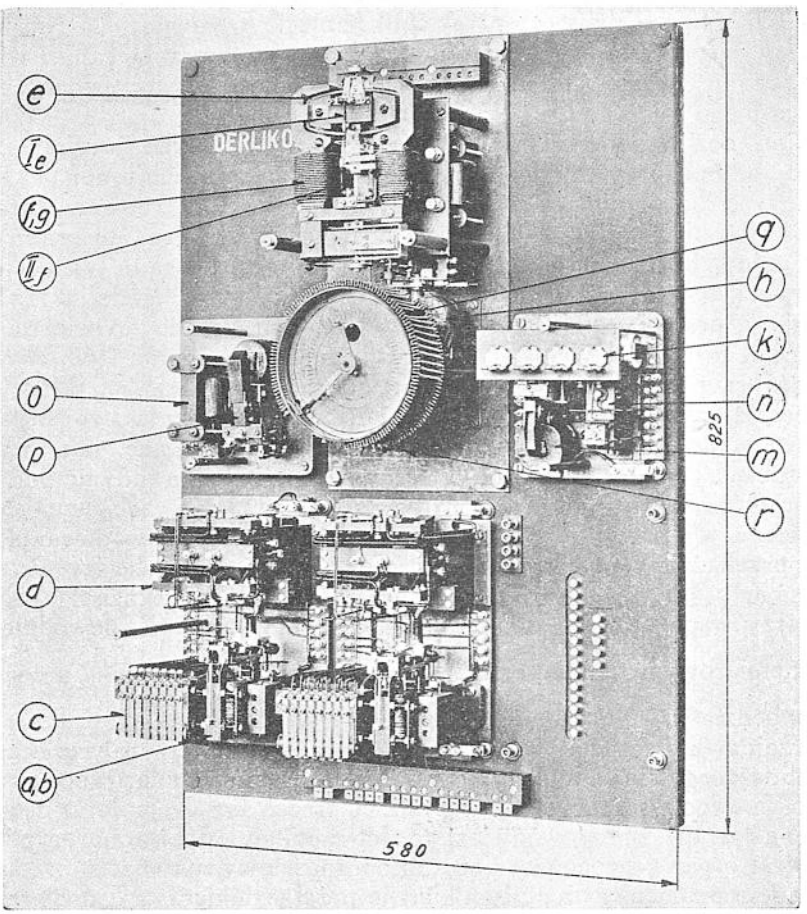
Zanim z poszczególnych wyżej omówionych organów złożymy komple-

tny przekaźnik zauważymy, że zasadniczo każda linja elektryczna musi być zabezpieczona osobnym przekaźnikiem w każdej fazie, a więc linja trójfazowa trzema przekaźnikami. Możemy jednak zabezpieczyć linję trójfazową tylko dwoma lub nawet jednym przekaźnikiem, lecz wówczas do kompletu zabezpieczającego wprowadzić musimy dodatkowe przełączniki samoczynne, które, zależnie od rodzaju zwarcia, będą włączały dla danego prądu zwarcia właściwe napięcie do układu napięciowego organu pomiarowego. Naprzykład przełączniki wrazie zwarcia, przedstawionego na rys. 136, muszą włączyć na górny przekaźnik napięcie $E_z$, a nie $E_x$. Narazie nie będziemy rozpatrywali sposobów dokonywania tego przełączania; wspominamy jedynie o tem, a bliżej zajmiemy się tego rodzaju czynnościami w dalszym ciągu tej pracy.

Skoro już wspomnieliśmy o zwarciach dwufazowych musimy zauważyć, że jedynie przy dwufazowem zwarciu sieci nieobciążonej w każdej ze zwartych faz płynie jednakowo wielki prąd — prąd zwarcia. Jeżeli natomiast zwarcie takie wystąpi w sieci obciążonej, wówczas do prądu zwarcia w jednej fazie dodaje się geometrycznie połowa prądu obciążenia fazy zdrowej, a w drugiej fazie odejmuje się tak, że w każdej z faz zwartych płyną prądy różniące się między sobą zarówno co do wielkości jak i fazy, jak to zresztą wynika z wykresu, podanego na rys. 160. Aby więc uniknąć przypadkowości w określeniu oporności zwarcia, od której zależy przecież ustalenie czasu $t_1$, firma Oerlikon zaopatrzyła swój organ pomiarowy w dodatkowe uzwojenie prądowe, kompensujące, jak w danym przykładzie, $^1/_2 J_R$. W ten sposób organ pomiarowy działa jedynie pod wpływem prądu zwarcia. Inne firmy postępują inaczej, jak to zobaczymy w dalszym ciągu tej pracy, a mianowicie wyznaczają do spowodowania odłączenia przekaźnik tej fazy, przez którą przepływa prąd większy. Przy rozpatrzonem przez nas zwarciu skierowalibyśmy do przekaźnika prąd $J_s$, który przy wspólnem dla obu prądów napięciu zwarcia $E_z$ powoduje w organie pomiarowym odmierzenie mniejszej oporności $\left(Z = \frac{E_z}{J_s}\right)$, a więc temsamem będzie ustalony mniejszy czas $t_1$.

Przejdziemy teraz do rozpatrzenia całego kompletu zabezpieczającego, składającego się jednak tylko z jednego organu pomiarowego urojono-opornościowego wspólnego dla wszystkich trzech faz. Komplet ten, jak widzimy na rys. 161, zmontowany jest na wspólnej tablicy. Literami „a, b" oznaczony jest organ rozruchowy pozorno-opornościowy, przyczem przełącznik „c" prądem pomocniczym stałym kieruje przełącznikiem „d", dobierającym do właściwych prądów stosowne napięcia. Wrazie zwarcia trójfazowego przełącznik ten puszcza na organ pomiarowy prąd fazy $R$. Wrazie zwarcia dwufazowego przełącznik „c" powoduje zapośrednictwem przełącznika „p" włączenie na zdrową fazę uzwojenia kompensującego „g" w układzie prądowym II f. Tak więc organ rozruchowy „a", „b" oraz przełączniki „c", „d" stanowią komplet jednej fazy i są zmontowane na osobnej tabliczce. Na tablicy widzimy dwa takie komplety, t. j. dla faz $R$ i $S$, podczas gdy komplet fazy $T$ jest zdjęty celem pokazania sposobu wzajemnego połączenia elektrycznego między sobą obwodów poszczególnych organów i pomocniczych przełączników. Połączeń tych dokonywa się zapomocą dwóch rzę-

dów kontaktów, do których dolegają sprężynki kontaktowe, umieszczone z właściwej strony tabliczki rozruchowej. Doprowadzenie prądu stałego do pomocniczych przełączników i obwodu wyzwalającego oraz prądu zmiennego z transformatorów miernikowych prądowych i napięciowych dokonane jest przy pomocy szeregu zacisków, widocznych na dolnym brzegu tablicy. Literą „o" oznaczono transformatorek jednouzwojeniowy (autotransformatorek), zasilający dzielnik napięcia „q", opasujący organ zegarowy. Za organem




Rys. 161. Widok wewnętrzny zabezpieczającego kompletu urojono-opornościowego.

zegarowym widzimy silniczek „r", nakręcający sprężynę zegara, oraz elektromagnes „h", odryglowywujący zegar. Wgórze tablicy umieszczono organ pomiarowy urojono-opornościowy, jeden wspólny dla wszystkich trzech faz. Litera „e" wskazuje górny układ organu mocy biernej, podczas gdy dolny układ prądowy widzimy pod literą „f". Oska układu dolnego zaopatrzona jest w kontakty „IIf" obwodu wyzwalającego wyłącznik, a oska układu górnego ma zwiernik „Ie" tych kontaktów. Należy jeszcze zauważyć, że z prawej strony tablicy widzimy trzy klapki „k" wskazujące, które z faz są chrome;

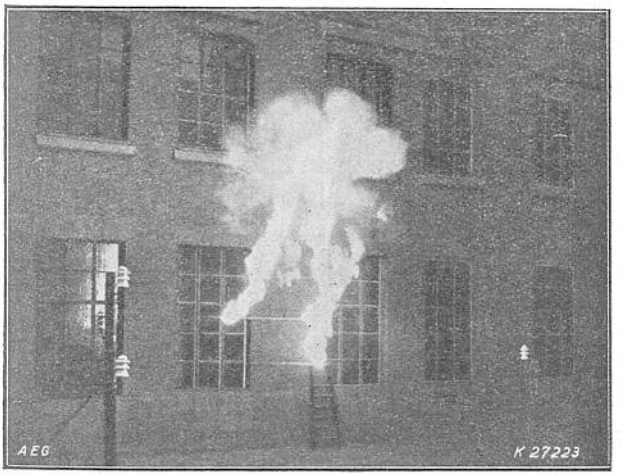
czwarta klapka służy dla wskazania uziemienia. W tym celu komplet zabezpieczający zaopatrzony jest w przekaźnik zerowy „m" i pomocniczy przełącznik „n", o których będziemy mówili jednak dopiero w dalszym ciągu tej pracy.— Cały komplet zabezpieczający w stanie, w jakim oddany jest do pracy, widzimy na rys. 162.

Zanim przejdziemy do rozpatrzenia poszczególnych przekaźników, zwrócić musimy uwagę na to, że w dotychczasowych rozważaniach przyjmowaliśmy, iż zwarcie przewodów odbywa się bezoporowo, a więc metalicznie. Jednakże z praktyki wiemy, że zwarcia najczęściej powstają skutkiem łuku elektrycznego (rys. 163). Rzecz prosta, że wówczas zwarcie występuje poprzez mniejszą lub większą oporność.

Jak wskazują pomiary, przeprowadzone w 1925—



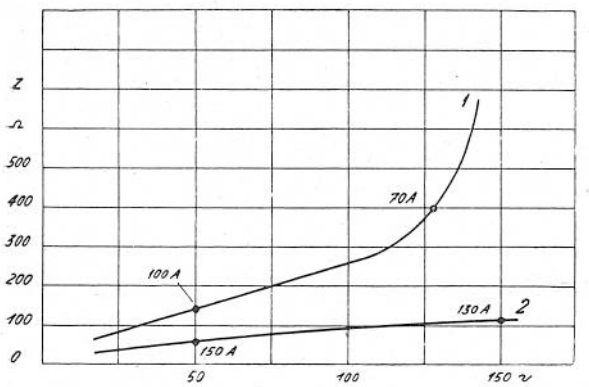

Rys. 162. Widok zewnętrzny zabezpieczającego kompletu urojono-opornościowego.




Rys. 163. Trójfazowe zwarcie łukowe sieci 45 kV.

1928 r. przez BBC, Dr. Inż. M. Waltera (Dr. Paul Meyer, AEG) oraz SSW, przy zwarciu łukowem oporność zwarcia, t. j. łuku, jest prawie wyłącznie opornością czynną, która w pewnych warunkach może osiągnąć wielkość równą 100, do 200, a czasami 400 omom lub nawet jeszcze większą. Oporność łuku jest oczywiście tem większa, im większa jest długość tego łuku. W pierwszej chwili łuk jest krótki,

a więc i oporność jest mała, lecz wmiarę upływu czasu łuk się wydłuża, a temsamem i oporność jego rośnie, jak to uwidocznione jest na rys. 164. A ponieważ im wyższe mamy napięcie, tem większe są odległości międzyprzewodowe, przeto przy wyższych napięciach łuk jest dłuższy (rys. 163 i 165), a więc i oporność jego większa. Z drugiej strony oporność łuku jest tem mniejsza, im większy jest prąd zwarcia, gdyż wówczas mamy duże nagrzanie, dużą jonizację. Im silniejsze jednostki prądotwórcze pracują na sieć, tem większe mamy prądy zwarcia, przeto i oporność łuku zwierającego jest tem mniejsza.



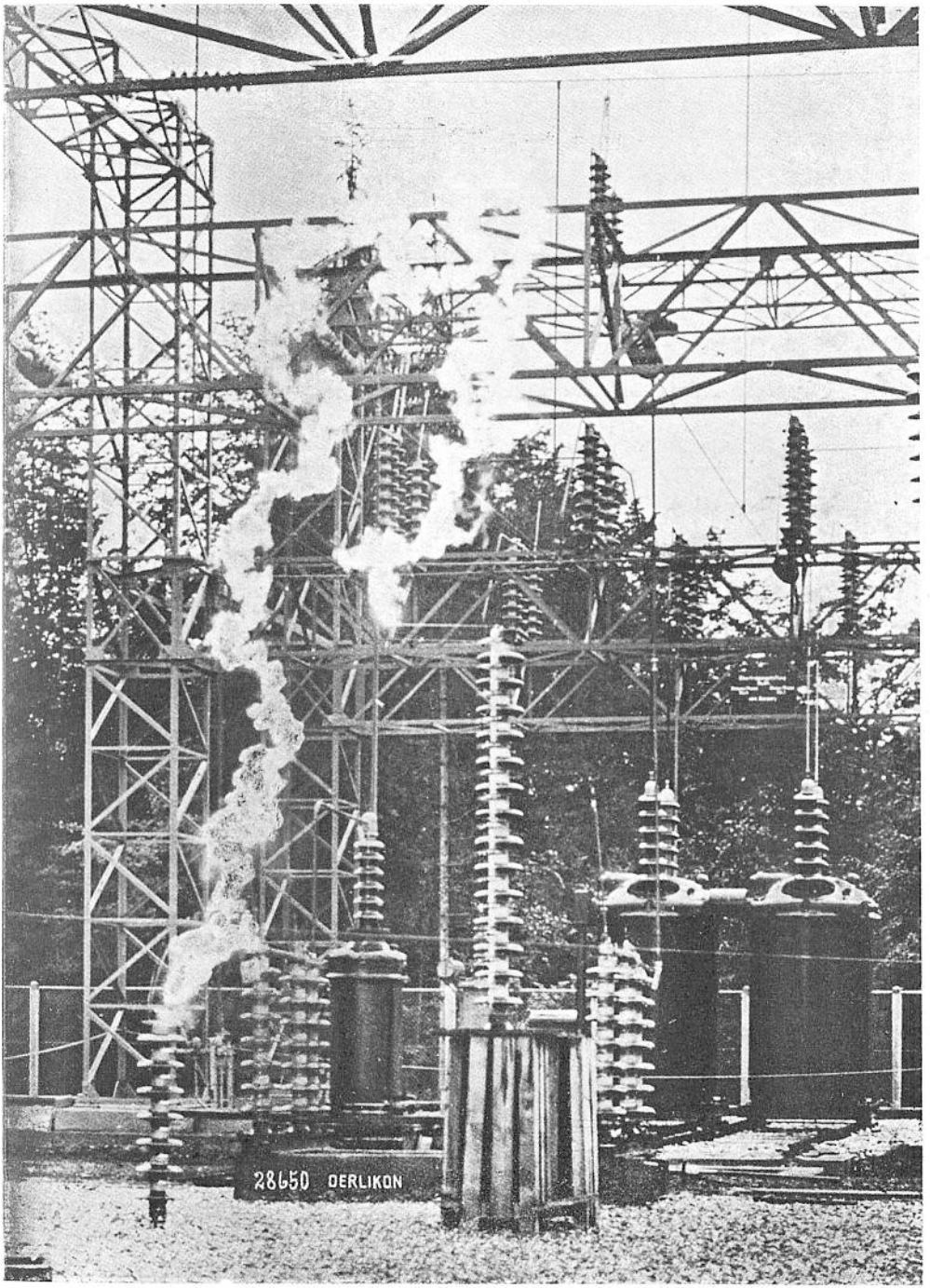

Rys. 164. Zmiana oporności $Z$ łuku wmiarę upływu czasu $t$, wyrażonego w okresach, od chwili powstania łuku.

Jeżeli teraz zwrócimy uwagę na rys. 166, przedstawiający trójkąt oporności, to zauważymy, że w przypadku wystąpienia zwarcia łukowego zamiast ewentualnie powstałego w tem samem miejscu zwarcia metalicznego oporność pozorna $Z_1$ obwodu zwartego łukiem jest mniej lub więcej większa od oporności pozornej $Z$ obwodu zwartego metalicznie. Rzecz prosta, że ten wzrost oporności pozornej musi spowodować opóźnienie w działaniu przekaźnika tak, że $(t_0 + k \,.\, Z_1) > (t_0 + k \,.\, Z)$. Tak więc czas odłączenia nie zależy wówczas od odległości, lecz od rodzaju zwarcia; mamy tu zatem taki sam efekt, jakgdyby zwarcie metaliczne nastąpiło w miejscu odległem o kilka, kilkanaście lub nawet kilkadziesiąt kilometrów od rzeczywistego miejsca zwarcia łukowego. Krańcowo mówiąc, w przypadku zwarcia łukowego w bezpośredniem sąsiedztwie przekaźnika — przekaźnik ten spowodowałby odłączenie zwarcia ze zbytecznem opóźnieniem. Co gorsza, łuk jest bardzo ruchliwy (rys. 167), wmiarę więc jego wydłużania lub skracania zmienia się oporność obwodu zwartego w granicach np. $Z_1 \div Z_2$. Jest rzeczą oczywistą, że kolejność odłączania przez poszczególne przekaźniki występowałaby nie wedle jakiejś określonej zasady, lecz raczej zależnie od przypadku, zbiegu okoliczności tak, że w tych warunkach o selekcyjności odłączania nie mogłoby być mowy.

Biorąc pod uwagę wszystko wyżej powiedziane, przejdziemy do rozpatrzenia poszczególnych rodzajów przekaźników opornościowych.

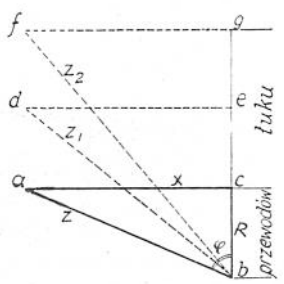
1. Przekaźniki pozorno-opornościowe (impedancyjne).

W sieciach o napięciu wysokiem lecz stosunkowo niewielkiem, a więc do 40 kV, oporność łuku jest prawie zawsze tak mała, że wpływ jej na zmianę oporności pozornej jest znikomy; wówczas korzystnem jest stoso-




Rys. 165. Łuk pod napięciem 132 kV.

wanie przekaźników pozorno-opornościowych, t. j. zaopatrzonych w organ pomiarowy pozorno-opornościowy. Przekaźniki te stosujemy zarówno w sieciach napowietrznych, kablowych jak i mieszanych. Wobec tego, że w przekaźnikach tych czas odłączania jest niezależny od cos $\varphi_z$, t. j. od kąta przesunięcia w fazie napięcia w stosunku do prądu zwarcia, przekaźniki te pracują jednakowo dobrze w sieciach bez dławików ochronnych, jak i w sieciach ochranianych dławikami, oraz w linjach jednego napięcia, które w dalszym biegu linji przetwarzane jest na inne napięcie. Również nie stanowi różnicy, czy sieć napowietrzna przechodzi w kablową czyteż odwrotnie oraz czy zwarcie jest łukowe czyteż metaliczne.

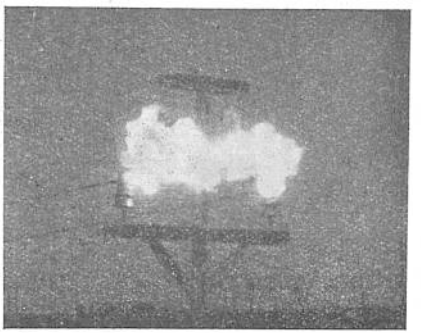



Rys. 166. Trójkąt oporności obwodu zwartego metalicznie i łukowo.

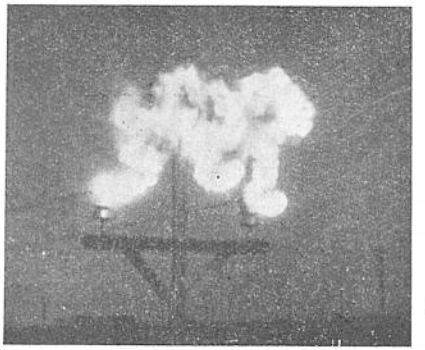
Przekaźniki pozorno-opornościowe odłączają w czasie:

$$t_n = t_0 + k \cdot \frac{E_n}{J_n} = t_0 + k \cdot Z_n.$$

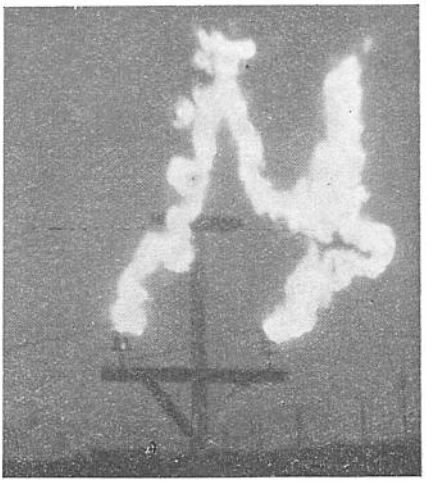
Czas odłączania tych przekaźników jest więc niezależny od cos $\varphi_z$, wahającego się zazwyczaj w granicach 0,3—1,0; okoliczność ta jest korzystna np. dla wielkomiejskich sieci kablowych, w których poszczególne odcinki ochraniane są dławikami o oporności pozornej mniejszej lub stosunkowo niewiele większej od oporności pozornej ochraniane go odcinka.



a



b



c

Rys. 167. Zdjęcie filmowe firmy BBC zwarcia dwuprzewodowego linji napowietrznej wys. napięcia: a) stadjum początkowe, b) stadjum pośrednie oraz c) stadjum końcowe.

2. Przekaźniki urojono-opornościowe (reaktancyjne).

W sieciach wielkich napięć, a więc począwszy od 60 kV wzwyż, w których oporność łukowych zwarć jest wielka, koniecznem jest wyeliminowanie oporności czynnej jako czynnika wpływającego na ustalenie czasu odłączania. Tak więc w danym przypadku czas odłączania wyraża się wzorem:

$$t_n = t_0 + k \cdot \frac{E_n}{J_n} \cdot \sin \varphi_n = t_0 + k \cdot X_n$$

Zależność czasu odłączania od przesunięcia w fazie prądu zwarcia w stosunku do napięcia powoduje, że wtrącone w sieć oporności indukcyjne, np. dławiki ochronne, powodowałyby bardzo znaczne opóźnienie w odłączaniu. Nie możemy więc przekaźników tych stosować w sieciach ochranianych dławikami oraz w sieciach połączonych transformatorami o wielkiej oporności urojonej. Również nie mogą one być stosowane w sieciach kablowych ze względu na znikomo małą oporność indukcyjną tych sieci oraz w sieciach mieszanych kablowo-napowietrznych.

W sieciach o stale pracujących wielkich mocach zasilających lepiej zadanie swe spełnią przekaźniki pozorno-opornościowe. Jeżeli natomiast moce zasilające są słabe, to wówczas może okazać się korzystne zastosowanie przekaźników urojono-opornościowych nawet przy napięciach niższych od 60 kV. Jednakże naogół możemy powiedzieć, że w sieciach napowietrznych do 40 kV stosujemy przekaźniki pozorno-opornościowe, od 60 kV do 220, a nawet do 380 kV — przekaźniki urojono-opornościowe, a w granicach 40—60 kV, zależnie od warunków miejscowych, od przypadku do przypadku decydujemy się na przokaźniki pozorno-opornościowe lub urojono-opornościowe.

3. Przekaźniki czynno-opornościowe (rezystancyjne).

Ze względu na czas odłączania, który w przekaźnikach tych zależny jest od oporności czynnej:

$$t_n = t_0 + k \cdot \frac{E_n}{J_n} \cdot \cos \varphi_n = t_0 + k \cdot R_n,$$

nie możemy liczyć na selekcję zwarć, którą w danym przypadku uniemożliwiają zwarcia łukowe oraz sama konstrukcja sieci ochranianej; a więc poszczególne części obwodu zwartego mogą mieć bardzo znacznie różniące się między sobą oporności czynne tak, że zmiany przekrojów, materjału przewodowego, dławiki i t. d. zmieniałyby czas odłączania w sposób nie dający się ująć jakąś stałą skalą. Łuk elektryczny w pierwszej chwili swego powstania jest krótki, a więc o oporności małej. Wmiarę upływu czasu łuk się wydłuża, oporność jego rośnie tak, że np. po 2 sek. oporność ta może być już np. 25—30-krotnie większa, skutkiem czego przekaźnik odmierzałby corazto dłuższy czas odłączania $t_n$.

Przekaźniki czynno-opornościowe możemy stosować tylko w szczególnych przypadkach w niektórych sieciach kablowych tak, że szerszego zastosowania przekaźniki te nie mają.

Zarówno przekaźniki urojono-opornościowe jak i czynno-opornościowe, t. j. uzależniające czas odłączania od $\cos \varphi$ albotež $\sin \varphi$, wymagają stosowania do nich transformatorów miernikowych prądowych, zaliczonych przez VDE (REW — 1932) do klasy dokładności wskazań 0,5, aby nawet przy dużych prądach zwarcia otrzymywać w samych transformatorach miernikowych przesunięcie faz możliwie jaknajmniejsze.

4. Przekaźniki kombinowane czynno-opornościowe i częściowo-urojono-opornościowe (rezystancyjno-cząstkowo-reakcyjne).

Sieci kablowe ochraniamy przed skutkami prądów zwarcia dławikami, lecz wówczas faza prądu zwarcia w stosunku do napięcia może zmieniać się w bardzo szerokich granicach i w ten sposób równie szeroko wpływać na czas odmierzany przekaźnikami urojono-opornościowemi i czynno-opornościowemi, powodując tem ich nieużyteczność dla tych przypadków.

Gdyby w dodatku skupiona oporność pozorna tych dławików była wielka w porównaniu z równomiernie rozłożoną takąż opornością sieci ochranianej, to również przekaźniki pozorno-opornościowe mogłyby działać niezbyt dokładnie. Przypadek ten występuje najczęściej w sieciach wielkomiejskich, w których często mamy kable o dużych przekrojach a stosunkowo krótkie. Wówczas oporność urojona ich jest znikomo mała, a oporność czynna mała tak, że dla uzyskania selekcyjnego działania przekaźników korzystnem byłoby, dla odmierzenia czasu odłączenia, użyć obok oporności czynnej odpowiednią część oporności indukcyjnej dławika. Dla tych przypadków firma BBC zbudowała przekaźniki opornościowe t. zw. LK, których czas odłączania wyraża się wzorem:

$$t_n = t_0 + k \,.\, Z \,.\, \cos\,(\varphi - \psi) = t_0 + t_1,$$

gdzie nastawiany $\sphericalangle \psi = 0^0 \div 5^0 \div 15^0$. Jednakże wraz ze zmianą $\sphericalangle \psi$ zmienia się zakres pomiarowy, a odpowiednio do podanych dopieroco wielkości tego kąta zakres ten wynosi $2 \div 6 \div 18$ omów. Gdy $\sphericalangle \psi = 0$, przekaźnik ten przyjmuje charakter działania przekaźnika czysto czynno-opornościowego i wówczas może obsługiwać dłuższe linje kablowe o mniejszych lecz jednakowych przekrojach i o tym samym materjale przewodowym.

Gdy $\sphericalangle \psi = 5^0$, wówczas wzór na czas odłączania możemy napisać w formie następującej:

$$t_n = t_0 + k\,(Z \,.\, \cos\varphi \,.\, 0{,}996 + Z \,.\, \sin\varphi \,.\, 0{,}087) = t_0 + k\,(0{,}996 \,.\, R + 0{,}087 \,.\, X).$$

Widzimy więc, że w tym przypadku czas odłączania przekaźników kombinowanych zależy od całej prawie oporności czynnej i prawie od 9% oporności urojonej. Zależność tę możemy wrazie potrzeby jeszcze zmienić dzięki nastawieniu przekaźnika na $\sphericalangle \psi = 15^0$. Wówczas:

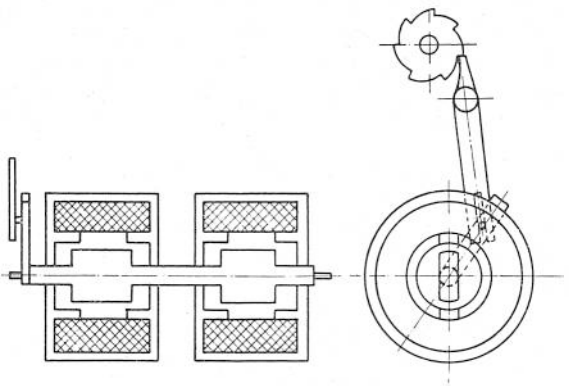
$$t_n = t_0 + k\,(0{,}966 \,.\, R + 0{,}259 \,.\, X),$$

gdzie $t_0$ jest niezależne od prądu i nastawiane w granicach $0{,}3 \div 1{,}2$ sek., a $t_1 = \max.\ 3$ sek.

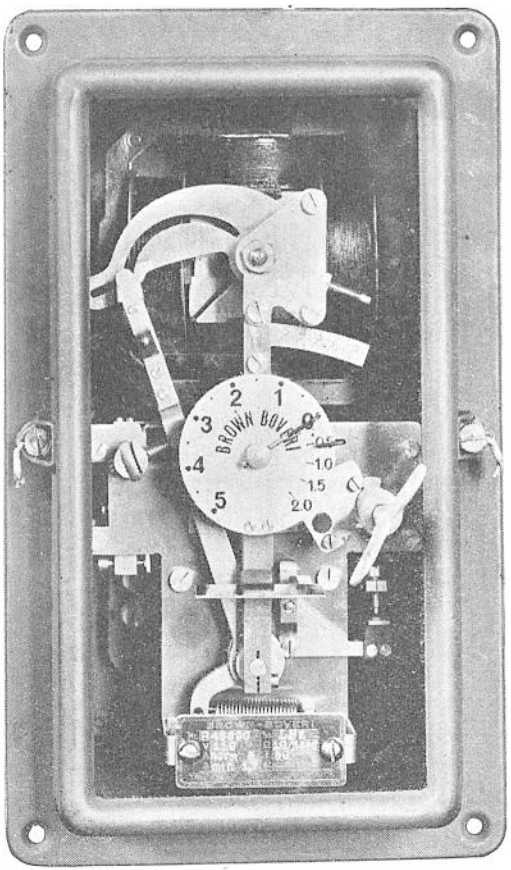
Przekaźniki nastawione na $\sphericalangle \psi = 15^0$, t. j. uwzględniające ok. $26^0/_0$ oporności indukcyjnej, stosuje się w sieciach kablowych ochranianych dławikami,

a więc z induktancją skupioną. Gdyby jednakże w sieci kablowej ta oporność indukcyjna skupiona była wielką w porównaniu z opornością czynną, wówczas należałoby zastosować przekaźniki pozorno-opornościowe.

Przekaźniki te BBC wykonywa jedynie z organem rozruchowym nadmiarowym, gdyż w wielkomiejskich sieciach kablowych prąd zwarcia jest prawie zawsze większy od znamionowego. Używa się ich w sieciach z punktem zerowym izolowanym lub uziemionym przez wielką oporność (np. dławiki gaszące). Przekaźniki te ochraniają jedynie przed zwarciami dwufazowemi i trójfazowemi.



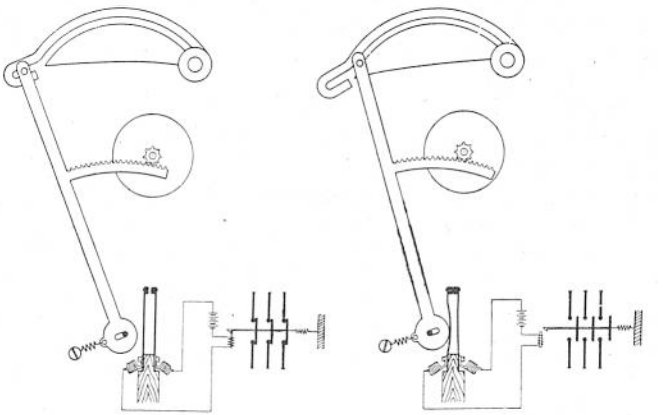
Rys. 168. Organ rozruchowy pozorno-opornościowy BBC.




Rys. 169. Przekaźnik opornościowy BBC.

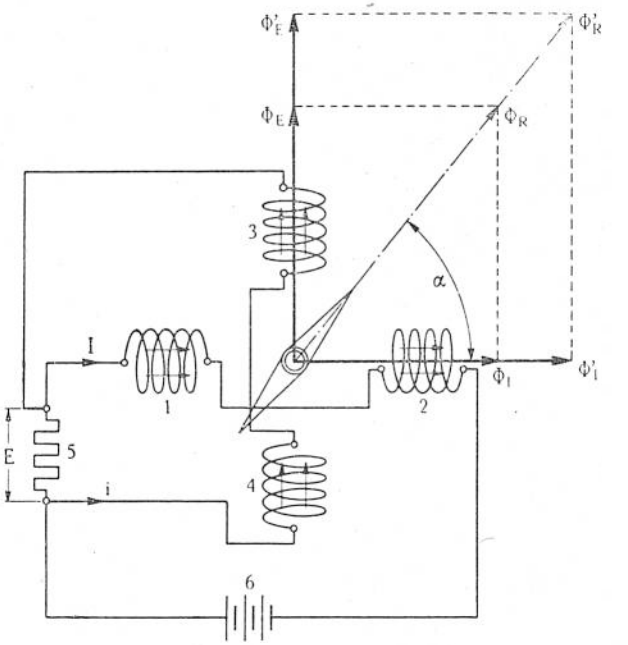
Dla lepszego zrozumienia zasady działania poszczególnych rodzajów przekaźników opornościowych rozpatrzymy bliżej przekaźnik firmy BBC. W tym celu przejdziemy kolejno poszczególne jego organy. O ile dopieroco opisany przekaźnik kombinowany zaopatrzony jest w organ rozruchowy nadmiarowy o tyle przekaźnik obecnie rozpatrywany bez względu na charakter działania jego organu pomiarowego posiada organ rozruchowy, pozorno-opornościowy. W przekaźniku tym konstrukcja organu rozruchowego jest bardzo szczęśliwie rozwiązana, gdyż obok prostoty wykonania spełniona jest przyjęta ogólnie dla całego przekaźnika zasada wykluczenia ruchu wszystkich tych części przekaźnika, które przewodzą prąd. Toteż organ rozruchowy (rys. 168) składa się z dwóch obok siebie ustawionych nieruchomych cewek, przez których środek przechodzi wspólna oś, zaopatrzona w dwie kotwiczki z miękkiego żelaza, t. j. po jednej dla każdej cewki. Jedna

z tych cewek jest prądowa, a druga napięciowa. Doprowadzenie prądu jest tak dobrane, że cewki wywierają na kotwiczki przeciwne sobie mo-



Rys. 170. Idea mechaniki odłączania przekaźnika opornościowego BBC.

menty skręcające, przyczem w czasie normalnej pracy sieci cewka napięciowa wywołuje większy moment skręcający, skutkiem czego oś jest nieruchoma. Wrazie większego zmniejszenia się oporności pozornej „prądowy"




Rys. 171. Schemat omomierza dynamometrycznego z przekaźnika opornościowego BBC.

moment skręcający przezwycięża i obraca oś. Koniec osi tej zaopatrzony jest w ramię z zapadką, które wówczas z jednej strony zwalnia rygielek

organu zegarowego, a z drugiej zamyka obwód napięciowy organu pomiarowego; w ten sposób organy te są uruchamiane.

W zwykłem wykonaniu organ rozruchowy działa według charakterystyki przedstawionej na rys. 144, przyczem zakrzywienie prostolinijnej części krzywej rozruchowej rozpoczyna się od $^2/_3$ prądu znamionowego, skutkiem czego organ ten reaguje przy prądzie nie mniejszym od wymienionej dopieroco wielkości.

Zegar, nie różniący się zasadniczo od zwykłego zegara, napędzany jest sprężyną nakręcaną ręcznie kluczykiem skrzydełkowym, widocznym po prawej stronie rys. 169. Jedno nakręcenie wystarczy na 50 odłączeń, t. j. około 100 sek. ruchu zegara. Organ rozruchowy znajduje się u dołu przekaźnika (za sprężyną); na rysunku jest on niewidoczny, gdyż zakryty jest płytką zegara, znajdującego się pośrodku przekaźnika. Odryglowany zegar natychmiast rusza i poprzez przekładnię, złożoną z kółka zębatego i zębatego wieńca segmentu koła, porusza ze stałą prędkością ramię, widoczne na rys. 169 i 170, dookoła sztyfcika, widocznego po lewej stronie rys. 170 u dołu jako czarny punkcik, do którego dociągane jest ramię stosowną sprężynką. Dzięki zastosowaniu sprężyny do poruszania zegara prędkość poruszania się ramienia jest stała, niezależna ani od prądu zwarcia, ani od występującego wówczas cos $\varphi$.

Organ pomiarowy jest omomierzem elektrodynamicznym o jednej parze cewek prądowych, oznaczonych na rys. 171 cyframi 1 i 2, oraz o jednej parze cewek napięciowych 3 i 4. Cewki ustawione są krzyżowo, a wewnątrz nich pomieszczone strzałki wskazują na jednokierunkowy przebieg pola magnetycznego w każdej parze cewek. Rdzeń żelazny zapewnia przyrządowi znaczny moment skręcający. Przypuśćmy, że mamy zmierzyć opór 5, znajdujący się w obwodzie źródła prądu stałego 6, oraz cewek prądowych 1 i 2. W obwodzie tym płynie prąd $J$, wytwarzając strumień magnetyczny $\Phi_1$. Równolegle do oporu 5 dołączamy cewki napięciowe omomierza 3 i 4. Pod wpływem spadku napięcia $E$ w mierzonym oporze płynie przez cewki napięciowe prąd „i", wytwarzając strumień magnetyczny $\Phi_E$. Strumień $\Phi_R$ przedstawia wypadkową tych strumieni zarówno co do wielkości, jak i kierunku. Jeżeli w środku układu pomiarowego umieścimy igłę magnetyczną (stały magnes), to skutkiem wzajemnego oddziaływania masy magnetycznej igły i każdego ze strumieni magnetycznych powstaną momenty skręcające, które możemy wyrazić wzorem:

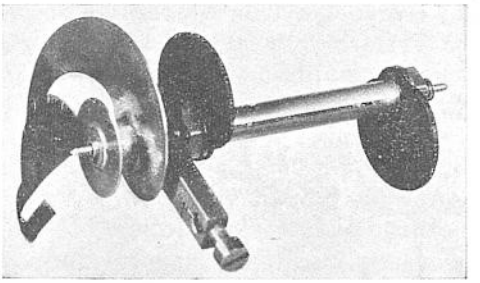
$$M_k = H \,.\, \boldsymbol{m} \,.\, l \,.\, \sin \alpha,$$

gdzie $H$ jest natężeniem pola magnetycznego, $\boldsymbol{m}$ jest masą magnetyczną, $l$ jest całkowitą długością igły magnetycznej, $\alpha$ jest kątem, pod jakim w danej chwili ustawiona jest strzałka w stosunku do kierunku pola magnetycznego. Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że zjawisko całe odbywa się w powietrzu tak, że przenikalność magnetyczna $\mu = 1$, to indukcja magnetyczna $B = H$, a strumień magnetyczny $\Phi = B \,.\, s$, gdzie $s$ jest powierzchnią czoła cewki. Skutkiem oddziaływania strumienia prądowego $\Phi_J$ mo-

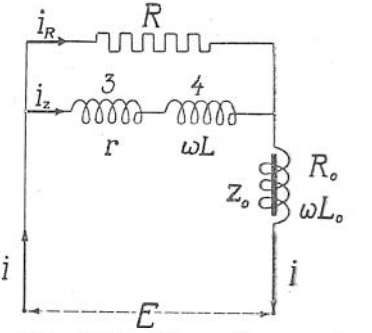
ment skręcający igły magnetycznej wyniesie po uwzględnieniu wyżej podanych zależności:

$$M_{kJ} = \frac{\Phi_J}{s_J} \cdot \boldsymbol{m} \cdot l \cdot \sin \alpha .$$

Stąd wynika, że $M_{kJ} = 0$ wówczas, gdy $\sphericalangle \alpha = 0^0$, t. j. że swobodna igła magnetyczna stara się zająć położenie równoległe do kierunku natężenia pola magnetycznego.



Rys. 172. Układ ruchomy organu pomiarowego z przekaźnika BBC.




Rys. 173. Układ Hummel'a z cewkami napięciowemi organu pomiarowego urojono-opornościowego BBC.

Biorąc pod uwagę, że $\Phi_E \perp \Phi_J$, moment skręcający igły magnetycznej, pochodzący z oddziaływania strumienia napięciowego $\Phi_E$ wynosi:

$$M_{kE} = \frac{\Phi_E}{s_E} \cdot \boldsymbol{m} \cdot l \cdot \sin (90 - \alpha) = \frac{\Phi_E}{s_E} \cdot \boldsymbol{m} \cdot l \cdot \cos \alpha ;$$

Igła magnetyczna ustawi się wzdłuż wypadkowego strumienia magnetycznego $\Phi_R$ i — co za tem idzie — będzie w równowadze wówczas, gdy $M_{kJ} = M_{kE}$, czyli gdy:

$$\frac{\Phi_J}{s_J} \cdot \boldsymbol{m} \cdot l \cdot \sin \alpha = \frac{\Phi_E}{s_E} \cdot \boldsymbol{m} \cdot l \cdot \cos \alpha$$

A ponieważ $\Phi_E$ jest proporcjonalne do $E$, a $\Phi_J$ jest proporcjonalne do $J$, to ostatecznie możemy napisać:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{s_J}{s_E} \cdot \frac{\Phi_E}{\Phi_J} = k \cdot \frac{E}{J} = k \cdot Z$$

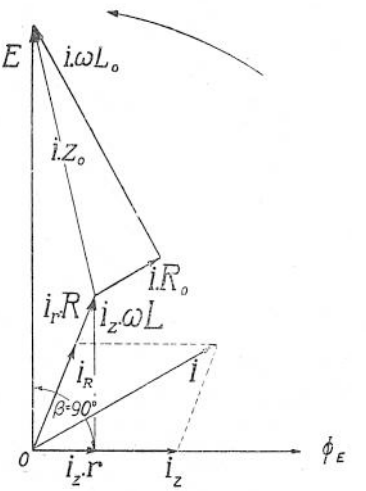
Tak więc kąt $\alpha$ wychylenia igiełki jest miarą oporności pozornej.

Jeżeli przy niezmienionym oporze 5 zwiększymy prąd $J$, wówczas proporcjonalnie wzrośnie prąd „i", płynący przez cewki 3 i 4, a temsamem i strumienie wzrosną do wielkości $\Phi'_1$ i $\Phi'_E$. Wypadkowy strumień wzrośnie, zachowując ten sam kierunek, do wielkości $\Phi'_R$. Igła magnetyczna pozostanie na dotychczasowem miejscu.

Pragnąc przy pomiarze posiłkować się prądem zmiennym, wprowadzamy do przyrządu zamiast igły magnetycznej spolaryzowany rdzeń

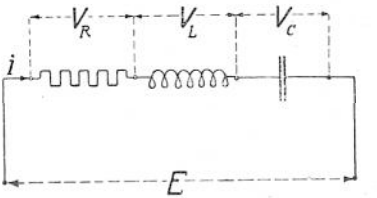
z miękkiego żelaza (rys. 172). Cewkę polaryzacyjną łączymy w szereg z cewkami prądowemi. W ten sposób skonstruowany przyrząd ten reaguje na kierunek przepływu energji, dzięki czemu odgrywa rolę jednocześnie i organu pomiarowego i organu ryglującego.

Z dotychczasowych rozważań wynika, że jeżeli do napięciowych cewek 3 i 4 doprowadzimy nie spadek napięcia $E$, lecz jego składową indukcyjną, a więc gdy napięcie, na które włączono cewki, będzie w fazie przesunięte o kąt $\beta = 90^0$ względem prądu „i", wówczas wskazania przyrządu będą proporcjonalne do $\frac{E \cdot \sin \varphi}{J} = Z \cdot \sin \varphi = X_n$, a więc do oporności urojonej. Skutkiem tego przeobrazilibyśmy przekaźnik pozorno-opornościowy na urojono-opornościowy. Przeobrażenie to, a więc przesunięcie w fazie prądu „i" o kąt $\beta$ względem $E$, osiągamy w t. zw. układzie Hummell'a, polegającym na równoległem dołączeniu do napięciowych cewek 3 i 4 oporu czynnego $R$ oraz szeregowem włączeniu dławika (rys. 173). Wykres wektorowy (rys. 174) najlepiej wyjaśnia sposób tego przesunięcia. Przy konstruowaniu tego wykresu wychodzimy z napięcia $E$ oraz, według założenia prostopadłego do niego prądu „$i_z$", płynącego przez cewki napięciowe 3 i 4. Jak widzimy, przy danym dławiku $R_0$, $\omega L_0$, opornością $R$ doregulować możemy $\sphericalangle \beta = 90^0$ z wielką łatwością i dokładnością.




Rys. 174. Wykres wektorowy układu Hummel'a z cewkami napięciowemi organu pomiarowego BBC.

Jeżeli teraz do układu napięciowego doprowadzimy składową czynną spadku napięcia, t. j. napięcie będące w fazie z prądem „i" ($\sphericalangle \beta = 0$), wówczas przyrząd będzie wskazywał $\frac{E \cdot \cos \varphi}{J} = Z \cdot \cos \varphi = R$, t. j. oporność czynną. Temsamem przekaźnik stałby się czynno-opornościowym. Dla otrzymania prądu „i", płynącego przez cewki napięciowe 3 i 4 w fazie z napięciem $E$, posiłkujemy się układem połączeń, wskazanym na rys. 175. W układzie tym płynący prąd




Rys. 175. Schemat układu napięciowego w organie pomiarowym czynno-opornościowym.

$$i = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Stąd $$\operatorname{tg} \beta = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

Osiągniemy $\sphericalangle \beta = 0$ wówczas, gdy $\operatorname{tg} \beta = 0$, a więc gdy

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0, \text{ a stąd } \omega L = \frac{1}{\omega C}$$

Mamy więc do czynienia z typowym przypadkiem resonansu napięć, czyli pojemność, jaką musimy w tym celu zastosować, wynosi: $C = \frac{1}{\omega^2 L}$. Rys. 176 przedstawia wykres wektorowy dla tego układu. Pozostaje jeszcze do określenia wielkość oporności czynnej $R$ i w tym celu zauważymy, że napięcie $V_L$ na zaciskach cewek 3 i 4 jest równe i wprost odwrotne napięciu $V_c$ na zaciskach kondensatora.

$$V_L = -V_c, \text{ a więc } i \cdot \omega L \text{ czyli } E \frac{\omega L}{R} = -E \frac{1}{R \cdot \omega C}.$$

Tak więc napięcia te mogą wielokrotnie przekraczać napięcie $E$, do którego przyłączono zaciski układu pomiarowego. Stosownie więc do zastosowanej izolacji i wymaganego stopnia bezpieczeństwa dobieramy odpowiednio dużą oporność czynną.

Jednakże rzadko się zdarza, żeby przekaźnik w zwykłem wykonaniu zaopatrzony był w organ pomiarowy mierzący samą oporność urojoną lub samą oporność czynną.

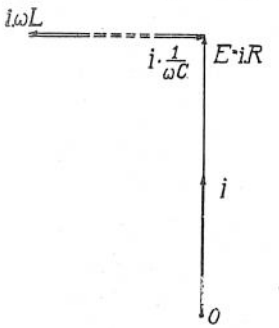
Zazwyczaj organy te reagują tylko w mniej lub więcej przeważającej mierze na oporność, stanowiącą charakter ich działania, toteż układ napięciowy organu pomiarowego różni się nieco od obu wyżej rozpatrzonych układów klasycznych tak, że skutkiem rozstrojenia tego $\sphericalangle \beta \neq 90^0$ albotеż $\sphericalangle \beta \neq 0^0$. Tego rodzaju rozstrojenie czynimy zarówno ze względów ogólnych, jak i właściwości indywidualnych danej konstrukcji przekaźnika. Np. w zwykłych przekaźnikach BBC o charakterze działania urojono-opornościowym $\sphericalangle \beta = 75^0$. Wiemy, że $\alpha$, t. j. kąt odchylenia magnesu organu pomiarowego, jest duży przy wielkich opornościach mierzonych, co wynika zresztą ze wzoru:

$$\operatorname{tg} \alpha = k \frac{E}{J} \cdot f(\varphi).$$

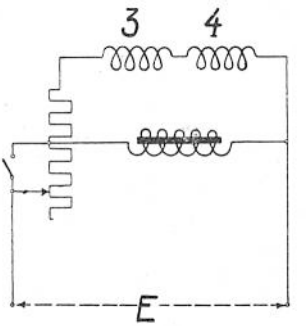
Ze względu na jednoczesne działanie ryglujące organu pomiarowego zależy nam dla pewności tego działania na możliwie dużem odchyleniu. Gdyby jednakże nastąpiło zwarcie łukowe, a więc przez mniejszą lub większą oporność czynną, wpobliżu przekaźnika urojono-opornościowego, to znikomo mała oporność urojona obwodu zwartego spowodowałaby bardzo małe odchylenie. Nastawienie więc obwodu napięciowego na kąt $\beta = 75^0$ pozwala na pewne uwzględnienie w pomiarze składowej czynnej, dzięki czemu odchylenie $\alpha$ jest znaczne.

W tych przypadkach, gdy zastosowanie przekaźnika czysto urojono-opornościowego jest mimo wszystko konieczne, rozstrojenie układu napięcio-

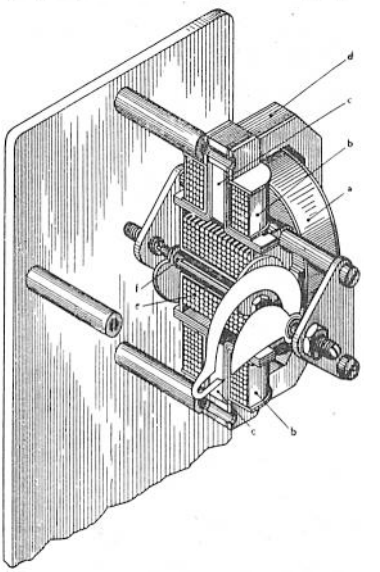
wego z $\sphericalangle \beta = 90^0$ dokonywamy zapomocą specjalnego kontaktu, który w chwili uruchamiania organu pomiarowego zwiera dławik $z_0$ (rys. 173). Rozstrojenie to trwa zaledwie drobny ułamek sekundy, t. j. taki przeciąg czasu, który jest konieczny dla dokonania ryglowania, t. j. odróżnienia kierunku przepływu energji, poczem natychmiast kontakt się rozwiera tak, że organ pomiarowy działa od tej chwili jako czysto urojono-opornościowy. W ten sposób działanie organu ryglującego uzależnia się nietylko od składowej czynnej, lecz także organ ten otrzymuje na zaciskach swych cewek napięciowych 3 i 4 pełne napięcie $E$ (rys. 173), tembardziej wzmagając swą zdolność ryglującą. W następnej chwili cewki napięciowe 3 i 4 organu tego, pracującego już jako organ pomiarowy, mają na swych zaciskach napięcie $i_R . R$, stanowiące tylko cząstkę pełnego napięcia $E$. Organ ryglujący przekaźników BBC działa niezawodnie, począwszy od napięcia na które włączone są zaciski cewek 3 i 4, a wynoszącego 0,3% napięcia znamionowego $E$ przy prądzie znamionowym




Rys. 176. Wykres wektorowy układu napięciowego w organie pomiarowym czynno-opornościowym




Rys. 177. Układ napięciowy organu pomiarowego przekaźnika L K firmy BBC.



Rys. 178. Przekrój pionowy organu pomiarowo - ryglującego firmy BBC.

Stąd już jasno wynika, że z łatwością można uzyskać opisany poprzednio przekaźnik kombinowany „LK" dzięki pośredniemu przesunięciu faz, skutkiem czego przekaźnik mierzyć będzie oporność czynną z mniejszym lub większym dodatkiem oporności urojonej. Na rys. 177 widzimy schemat obwodu napięciowego tego przekaźnika. Zmianę $\sphericalangle \psi$, a więc i zmianę zakresu pomiarowego przekaźnika uzyskujemy zmianą wielkości oporności czynnej szeregowo włączonej. Właśnie tę część oporności zwieramy w chwili rozruchu na krótką chwilę dla zwiększenia zdolności ryglującej przekaźnika.

Z dotychczasowych rozważań wiemy, że wskazania organu pomiarowego BBC zasadniczo są zależne od przesunięcia faz. Jeżeli więc założymy, że $E = \text{const.}$ i $J = \text{const.}$, to wmiarę zmiany $\sphericalangle \varphi$ zmieniać się będzie wielkość odchylenia omomierza. Tę wielkość kąta $\varphi$, która odpowiada największemu odchyleniu, obraliśmy za równą $\sphericalangle \psi$. Takie więc znaczenie ma $\sphericalangle \psi$ we wzorze na czas odłączania $t_n$, podanym w ustępie

dotyczących przekaźników kombinowanych czynno-opornościowych i częściowo urojono-opornościowych (rezystancyjno-cząstkowo-reaktancyjnych).

Rys. 178 przedstawia perspektywiczny widok organu pomiarowego, przekrojonego wzdłuż jego osi pionowej. Literą „b" oznaczono prądowe cewki 1 i 2, umieszczone na żelaznych biegunach „c", odchodzących od pierścieniowego rdzenia żelaznego „d". Przesunięta o 90° względem cewek prądowych jest para cewek napięciowych, z których jedną widzimy na rysunku oznaczoną literą „a". W środku układu pomiarowego umieszczono cewkę polaryzującą „e", która obejmuje sobą ruchomą oś z miękkiego żelaza „f" z dwoma żagielkami żelaznemi, nadającemi ośce kształt litery „Z". Na przodzie oski umocowano jako skazówkę segment, widoczny na rys. 172 i 178. W ten sposób kąt odchylenia tego segmentu od położenia zerowego jest miarą oporności, mierzonej od miejsca zwarcia do miejsca ustawienia przekaźnika. Wzdłuż łuku segmentu przebiega szczelina. W chwili, gdy organ rozruchowy uruchomił zegar, ramię przekaźnika rusza, a konik umieszczony w jego wierzchołku (rys. 170 z lewej strony) przesuwa się ze stałą prędkością wzdłuż prawie poziomo biegnącej szczeliny ku środkowi segmentu. Jak już zauważyliśmy, oś obrotu zamieszczona jest na dole. Organ rozruchowy jednocześnie z uruchomieniem zegara zamknął obwód napięciowy organu pomiarowego; skutkiem tego organ ten rusza i segment przy odpływie z szyn zbiorczych energji przesuwa się o pewien kąt wdół, odpowiadający mierzonej oporności. Dzięki temu konik przechodzi z podłużnej szczeliny ponad okienkiem do szczeliny łukowatej i ślizga się w niej aż do pewnego miejsca, określonego krzywizną segmentu wewnętrznego i kątem jego nachylenia. W miejscu tem konik dzięki lekkiemu nazębieniu opiera się pewnie o dolną krawędź szczeliny. Miejsce to od tej chwili przejmuje na siebie rolę środka obrotu dźwigni. Zegar przezwycięża naciąg sprężynki i tym razem dolna część ramienia porusza się, napotyka na swej drodze kontakty, które zwiera dociskiem, powodując tem zamknięcie obwodu magnesu zwalniającego, skutkiem czego wyłącznik wyskakuje. Jeżeliby natomiast energja dopływała do szyn zbiorczych (rys. 179), wówczas segment, zamiast pochylić się, podniósłby się do góry, konik wyszedłby przez okienko ze szczeliny i wędrowałby dalej ku środkowi pod cięciwą segmentu, nie napotykając nigdzie na punkt oparcia. Skutkiem tego ramię nie zmieniłoby dotychczasowego swego dolnego punktu obrotu, kontakty nie zostałyby zwarte i odłączenie nie nastąpiłoby. Na tem właśnie polega działanie ryglujące tego organu. Kąt nachylenia segmentu i jego krzywizna określają drogę proporcjonalną do oddalenia miejsca zwarcia, którą przebiec ma konik. Ponieważ konik biegnie z prędkością stałą, przeto w ten sposób ustala się czas odłączania proporcjonalny do odległości miejsca zwartego:

$$t_1 = k \cdot \frac{E_n}{J_n} \cdot f(\varphi_n).$$

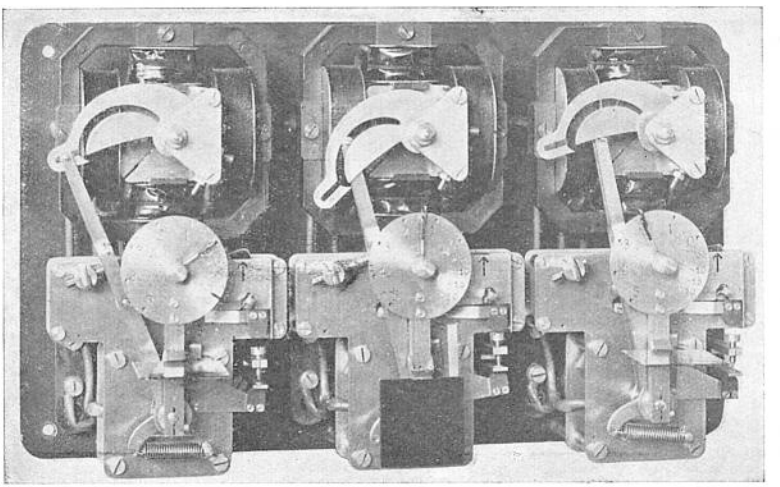
Jeżeli podczas działania przyrządu zwarcie nagle zniknie, wówczas zegar samoczynnie rygluje się, przerywa obwód napięciowy, segment wraca do położenia zerowego, a ramię zajmuje swe pierwotne położenie tak, że konik znajduje się znów w szczelinie podłużnej. Powrót przekaźnika do sta-

nu pierwotnego odbywa się tak prędko, że przekaźnik po upływie 0,1 sek. jest gotów do ponownej pracy. Wzdłuż podłużnej szczeliny konik może poruszać się bez względu na tendencję ruchu segmentu. Tak więc czas, potrzebny na przebiegnięcie konika aż do okienka włącznie, nie zależy od mierzonej oporności, lecz od głębokości zanurzenia się konika w szczelinie podłużnej. Głębokość ta, łącznie z drogą dolnego końca dźwigni od jej pierwotnej osi obrotu do zwarcia kontaktów, stanowi miarę czasu własnego zabezpieczenia „$t_0$". W ten sposób czas odłączania wynosi:

$$t_n = t_0 + t_1 = t_0 + k \cdot \frac{E_n}{J_n} \cdot f(\varphi_n),$$

gdzie dla przewodów napowietrznych $f(\varphi_n) = \sin \varphi_n$, a dla sieci kablowych $f(\varphi_n) = \cos \varphi_n$.

Głębokość zanurzenia się konika w szczelinie podłużnej, a więc i czas własny zabezpieczenia, regulujemy zapomocą śruby nastawczej, widocznej



Rys. 179. Różne stany pracy przekaźnika opornościowego BBC: (położenie: spoczynku, odłączania i ryglowania).

z lewej strony poziomej osi rys. 179. Czas ten możemy więc regulować dowolnie w granicach 0,5 do 2 sek.

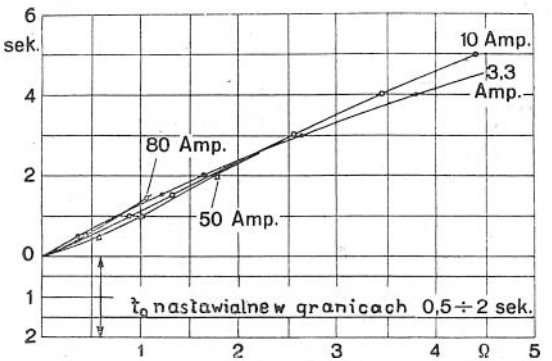
Pośrodku przekaźnika na rys. 179 widzimy tarczę zaopatrzoną w lewą podziałkę od 0 do 5 oraz w prawą podziałkę od 0 do 2. Prawa podziałka wskazuje nastawienie w sekundach czasu własnego zabezpieczenia $t_0$, a lewa — czas w sekundach $t_1$, zależny od odległości. Czas $t_1$ wskazuje specjalny jeździec, przesuwający się po skali dzięki stosownej przekładni połączonej z ramieniem obrotu.

Wielkie zalety organu pomiarowego wynikają z charakterystyki czasu odłączania przekaźników BBC. Charakterystykę tę widzimy na rys. 180 dla przypadku, gdy organ pomiarowy jest pozorno-opornościowy. Wykres

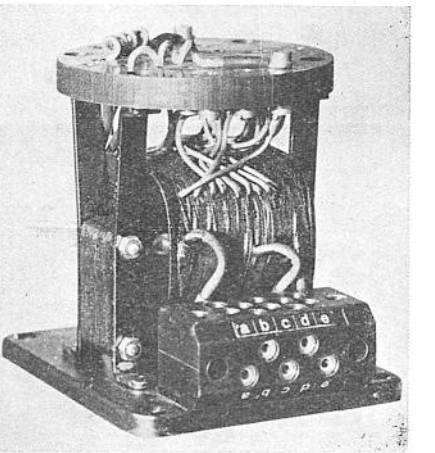
ten wskazuje: 1° że przebieg czasu $t_1$ jest linjowy, 2° że czas ten jest niezależny od wielkości prądu mierzonego i to w dużym zakresie.

Pod tarczą sekundową (rys. 179) znajduje się klapka, widoczna na rysunku w stanie podniesionym, która opada, skutkiem czego płaszczyzna jej zajmuje położenie pionowe, zakrywając sobą dolną część ramienia wraz ze sprężyną: w ten sposób zdaleka mamy widoczny znak działania przekaźnika. Niepodniesienie klapki nie przeszkadza ponownemu działaniu przekaźnika.

Dla dokładnego dostosowania przekaźnika do danych warunków pracy, a w szczególności dla dostosowania przekaźnika do przekładni transformatorów miernikowych prądowych i napięciowych oraz do różnych długości ochranianych odcinków sieci, stosuje się wieloprzekładniowy transfor-




Rys. 180. Charakterystyka czasu odłączania przekaźników pozorno-opornościowych BBC przy obciążeniu od 3,3 do 80 A.

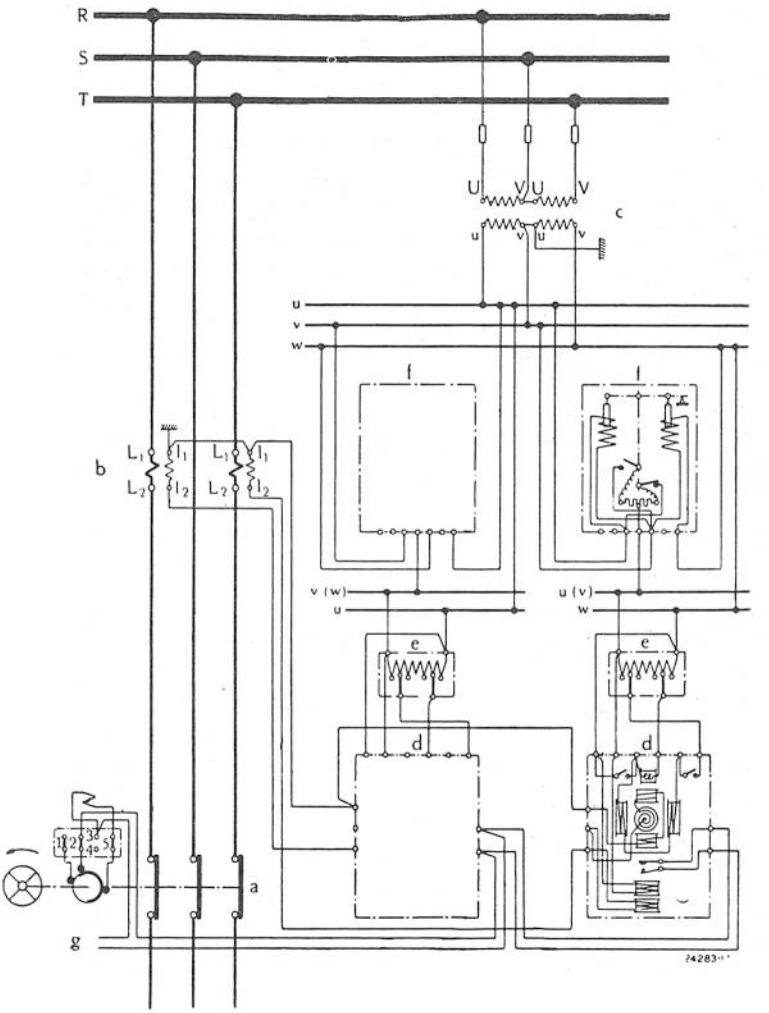



Rys. 181. Wieloprzekładniowy transformator miernikowy napięciowy typu H firmy BBC.

matorek napięciowy (rys. 181). Dzięki tym transformatorkom nastawiamy nachylenie charakterystyki odłączania na wymagany kąt $\alpha$. Zastosowanie tego transformatora umożliwia również masową produkcję przekaźników dokładnie jednakowych, doregulowywanych do warunków pracy na miejscu ich ustawienia tak, że temsamem przekaźniki te stają się wymienne.

W przypadku, gdy względy pewności pracy sieci ustępują względom finansowym, osiągamy 30%-wą oszczędność na kosztach inwestycyjnych przez zastosowanie ochrony dwuprzekaźnikowej (rys. 182). Wówczas przekaźniki „*d*" włączamy w fazy *R* i *T* zapomocą miernikowych transformatorów prądowych „*b*". Pozorno-opornościowe organy rozruchowe przekaźników oraz układy napięciowe organów pomiarowych otrzymują napięcie z dwóch transformatorów miernikowych napięciowych „*c*", połączonych w układzie *V*. Transformatory napięciowe połączone są z przekaźnikami poprzez wieloprzekładniowe transformatorki napięciowe „*e*" oraz samoczynne przełączniki „*f*" (rys. 183). Tak więc przekaźnik, transformatorek wieloprzekładniowy i przełącznik stanowią komplet zabezpieczenia. Rola wieloprzekładniowego transformatorka napięciowego jest nam już znana; co się ty-

czy poznania zadania, spełnianego przez samoczynne przekaźniki, to z wzoru na czas odłączenia $t_n$ zauważymy, że czas ten jest ustalony pomiarem napięcia między przewodami zwartemi. Jeżeli więc linję trójfazową mamy zabezpieczoną tylko dwoma przekaźnikami, to przy zwarciu dwufazowem

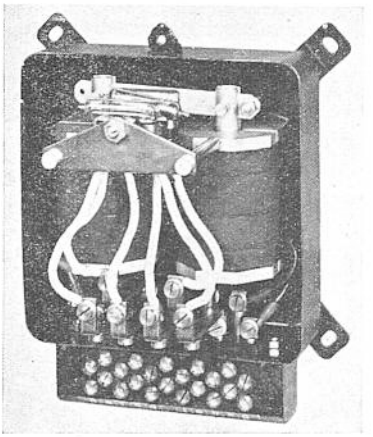



Rys. 182. Schemat połączeń ochrony dwuprzekaźnikowej sieci trójfazowej z izolowanym punktem zerowym.

jeden z przekaźników mógłby mierzyć napięcie nie pomiędzy temi dwoma przewodami zwartemi, lecz pomiędzy jednym z tych przewodów, a przewodem zdrowym. To samo dotyczy drugiego przekaźnika (rys. 136). Przekaźniki stałyby więc pod napięciem znacznie wyższem od napięcia zwarcia, nie byłyby więc sterowane przez właściwą danemu zwarciu oporność; opóźnienie wyłączania byłoby znaczne, a co za tem idzie, nie mogłoby być mowy

o jakiemkolwiek porządkowaniu wyłączania. Aby więc uniknąć fałszywego pomiaru, zastosowano samoczynne przełączniki *f*, które stale porównywują z sobą dwa napięcia międzyfazowe, jakie panują między fazą, w której założono przekaźnik, a dwiema fazami pozostałemi. W naszym więc przypadku przełącznik kompletu zabezpieczającego fazę *T* porównywuje napięcie międzyfazowe *wv* z *wu* (rys. 182). Układ napięciowy tego przekaźnika normalnie otrzymuje napięcie *wu*. Jeżeli dwufazowe zwarcie obejmie nie fazy *T R* lecz *T S*, wówczas napięcie $wv < wu$, równowaga przełącznika zostanie zachwiana, skutkiem czego nastąpi przełączenie transformatorka *e* z napięcia *wu* na napięcie *wv*, właściwe zwarciu faz *T S*.

Przełącznik kompletu, zabezpieczającego fazę *R*, porównywuje z sobą napięcie *wu* z *wv*. Przy zwarciu faz *TS* napięcie $wv < wu$ tak, że transformatorek „*e*" pozostanie w dalszym ciągu pod napięciem *uv*. A ponieważ w dodatku przez przekaźnik fazy *R* nie popłynie prąd zwarcia, przeto wyłącznik „*a*" odłączy tylko pod wpływem przekaźnika fazy „*T*", które zewrze obwód „*g*" pomocniczego źródła prądu i wyzwalacza.



Rys. 183. Samoczynny przełącznik BBC.

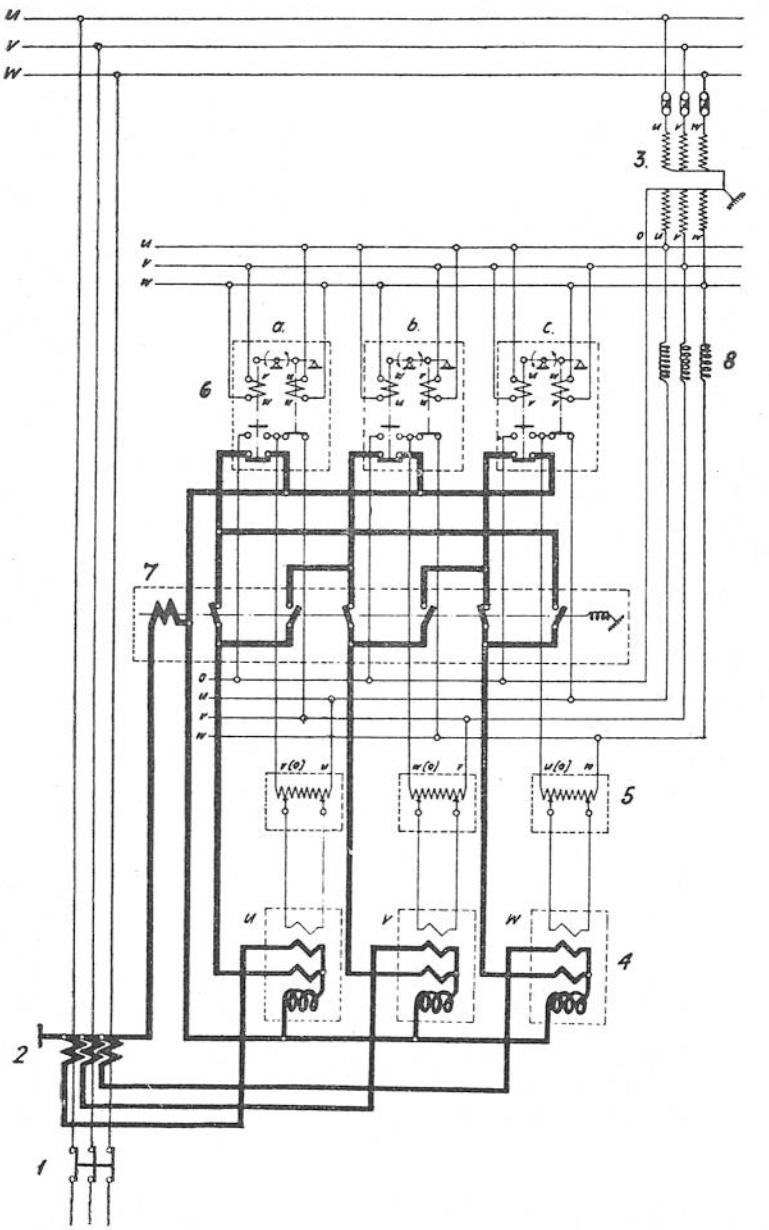
Przy zwarciu trójfazowem mogłyby, oczywiście przełączniki „*f*" nie istnieć.

Rozpatrzony przez nas układ dwuprzekaźnikowego zabezpieczenia może mieć zastosowanie jedynie w sieciach o punkcie zerowym izolowanym i w sieciach ochranianych dławikami gaszącemi. Natomiast w sieci z punktem zerowym uziemionym bezpośrednio lub przez małą oporność czynną każda faza musi być ochraniana osobnym przekaźnikiem i zastosowany być musi pomiar wszystkich trzech napięć fazowych. Lecz i w sieciach z izolowanym punktem zerowym dwuprzekaźnikowe zabezpieczenie nie wystarcza wówczas, gdy w sieci mamy jednocześnie uziemione dwie fazy, przyczem uziemienie jednej fazy jest bardzo odległe od uziemienia drugiej fazy, a przytem uziemienia te przedzielone są odcinkami zabezpieczonemi. Ponieważ z tego rodzaju uziemieniami spotykamy się stosunkowo rzadko, przeto ze względów finansowych decydujemy się czasami na dwuprzekaźnikowe zabezpieczenia. Jednakże sieci ważne muszą być ochraniane również i od tego rodzaju uziemień podwójnych. W tym przypadku zasadą jest selekcyjne odłączenie tylko jednego uziemienia, podczas gdy drugie uziemienie unieszkodliwiamy dławikami gaszącemi. W tym celu posiłkujemy się trójprzekaźnikowem zabezpieczeniem (rys. 184), przyczem przypadający na każdą fazę komplet składa się z przekaźnika opornościowego „4", transformatorka wieloprzekładniowego „5" i przełącznika „6"; oprócz tego mamy wspólny dla trzech faz przełącznik zerowy „7", t. j. działający pod wpływem sumy prądów płynących w tych fazach.

Z rys. 184 widzimy, że w normalnych warunkach transformatorki „5" są pod napięciem fazowem, przyczem transformatorek, odpowiadający fa-

zie np. *w*, stoi pod napięciem *wu*, analogicznie w *v* pod napięciem *vw* i w *u* pod napięciem *uv* (rys. 184).

Rozpatrzymy działanie zabezpieczenia tego w trzech przypadkach za-



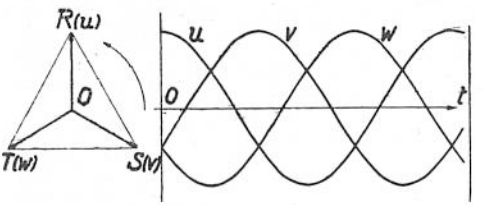

Rys. 184. Zasadniczy schemat połączeń ochrony trójprzekaźnikowej sieci trójfazowej o izolowanym punkcie zerowym:

1 — Wyłącznik. 2 — Miernikowe transformatory prądowe. 3 — Miernikowy transformator napięciowy 5-o rdzeniowy. 4 — Przekaźniki opornościowe. 5 — Wieloprzekładniowe transformatory miernikowe. 6 — Samoczynne przełączniki. 7 — Przełącznik zerowy. 8 — Dławiki.

kłóceń ruchu, a mianowicie przy a) zwarciu dwufazowem, b) zwarciu trójfazowem i c) uziemieniu jednoczesnem w dwóch fazach.

a) Zwarcia dwufazowe. Przedewszystkiem zauważymy, że przy wszelkich zwarciach zarówno dwufazowych jak i trójfazowych suma prądów, płynących we wszystkich trzech fazach, jest w każdej chwili równa zeru, wobec czego przełącznik zerowy nie działa. Pozatem rozważania nasze dotyczą również zwarć bezpośrednich, t. j. metalicznych, jak i łukowych. Niech będą zwarte fazy $R$—$S$ ($u$—$v$), wówczas na rys. 184 zauważymy, że działać będzie tylko przełącznik $b$, który podda przekaźnik fazy $v$ pod napięcie fazowe $v$—$o$, lecz jednocześnie przerwie obwód prądowy organu pomiarowego, nie dopuszczając temsamem do działania tego przekaźnika.

Natomiast przekaźnik fazy $u$ będzie pod wpływem zarówno napięcia, panującego między fazami zwartemi $u$—$v$, jak i prądu zwarcia płynącego w fazie $u$. Przekaźnik spowoduje więc odłączenie zwarcia po upływie czasu odpowiadającego wielkości zmierzonej oporności. Trzeci przekaźnik, t. j. fazy $w$, nie będąc pod wpływem prądu zwarcia, działać nie będzie.



Rys. 185. Wykres napięć.

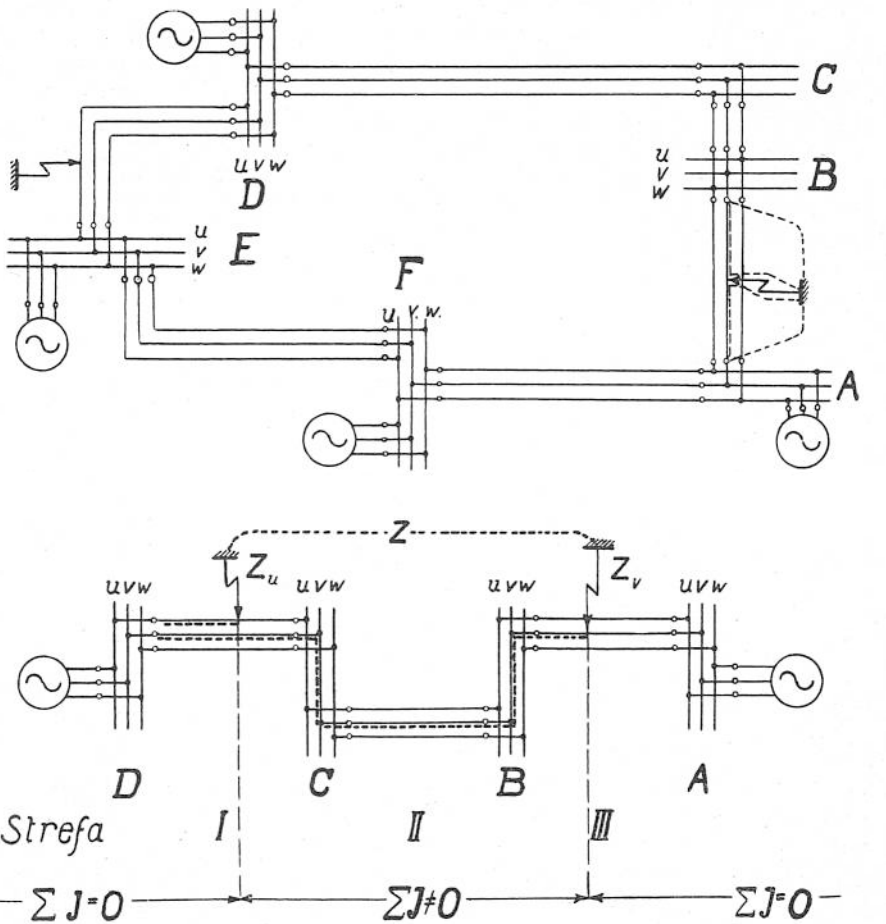
W zupełnie analogiczny sposób dojdziemy do wniosku, że przy zwarciu faz $S$ - $T$ ($v$—$w$) odłączenie spowoduje przekaźnik fazy $v$, a przy zwarciu faz $T$—$R$ ($w$—$u$) odłączenie przeprowadzi przekaźnik fazy $w$. Jeżeli podczas tych rozważań zwrócilibyśmy uwagę na rys. 185, to zauważylibyśmy, że przy możliwych trzech kombinacjach zwarć dwufazowych odłączenie przeprowadza ten z przekaźników, który leży w zwartej fazie wyprzedzającej. Przyjmując taką właśnie zasadę wyznaczania przekaźnika do przeprowadzania odłączeń zwarcia dwufazowego, osiągamy najkrótszy czas $t_1$, jakto wynikało z rozważań naszych nad zwarciami dwufazowemi, przeprowadzonych przy rozpatrywaniu kompletu zabezpieczającego, urojono-opornościowego firmy Oerlikon (rys. 160).

b) Zwarcia trójfazowe. Przy zwarciu tem oczywiście nie działa przełącznik zerowy. Nie działają również przełączniki napięciowe. W ten sposób każdy z przekaźników otrzymuje załamane napięcie międzyfazowe, a mianowicie przekaźnik fazy $u$ jest pod napięciem $u$—$v$, fazy $v$ pod $v$—$w$ i fazy $w$ pod napieciem $w$—$u$.

I tutaj zauważymy kolejność kołową, polegającą na tem, że przekaźnik danej fazy otrzymuje napięcie, istniejące między tą fazą i fazą opóźnioną. Każdy z przekaźników powoduje odłączenie po upływie czasu, odpowiadającego wielkości zmierzonej oporności obwodu. Obwód ten stanowią przewody obu zwartych faz od miejsca ustawienia przekaźników aż do miejsca zwarcia tych faz.

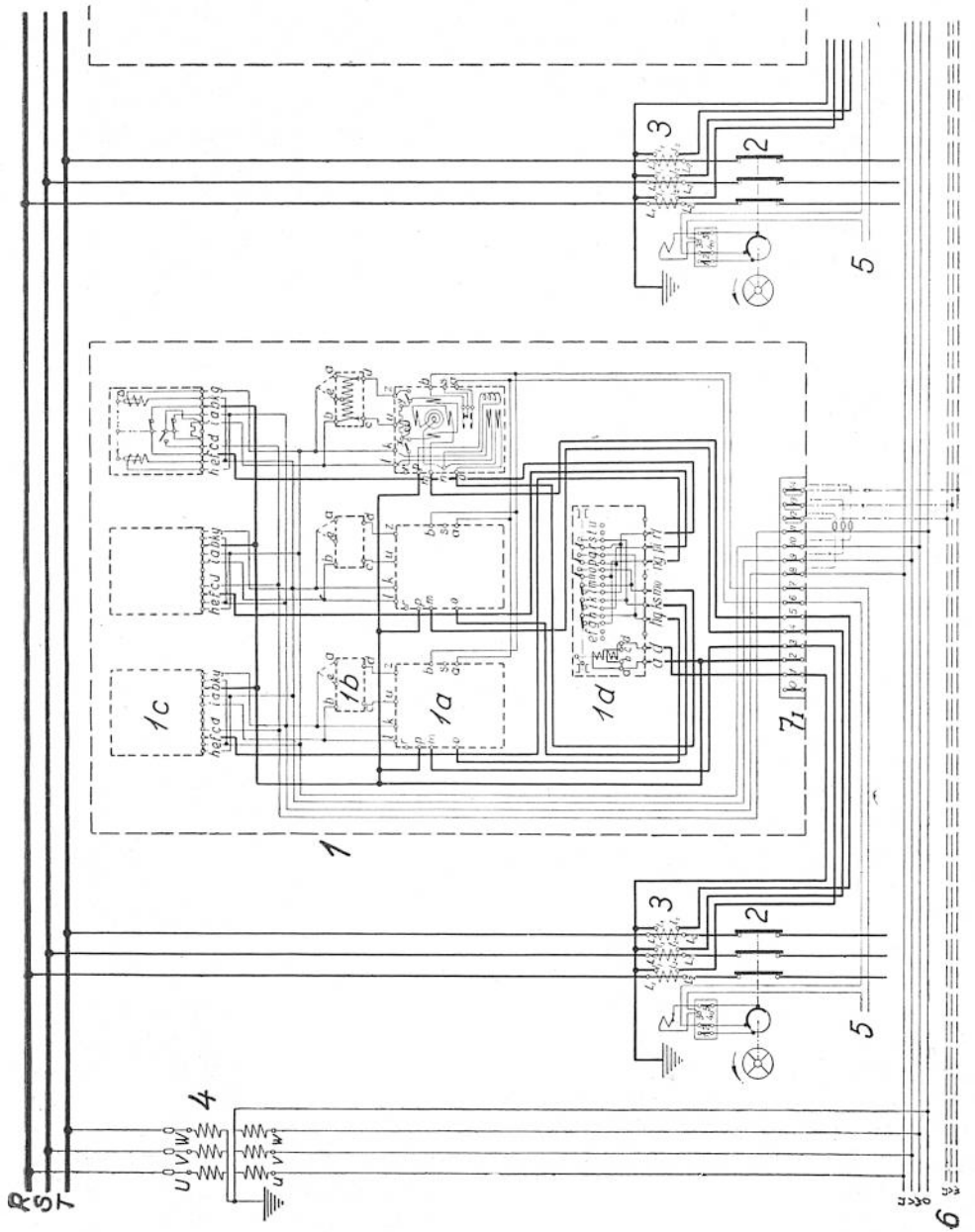
c) Uziemienia jednoczesne w dwóch fazach. Jeżeli uziemienia takie występują w stosunkowo niewielkich od siebie odległościach, a w każdym razie obydwa znajdują się w odcinku sieci ochranianym przekaźnikami tylko na

swych krańcach, wówczas przekaźniki zachowują się zupełnie taksamo jak przy zwarciach dwufazowych. Zagadnienie nasze zupełnie się jednak zmienia, gdy uziemienia występują w różnych odcinkach, a więc gdy są przedzielone zabezpieczeniami selekcyjnemi. Przypadek ten przedstawia rys. 186, na którym widzimy, że cały ciąg linji możemy podzielić na trzy strefy. W strefie I i III suma prądów płynących we wszystkich trzech fazach nadal pozo-




Rys. 186. Sieć zamknięta oraz sieć obustronnie zasilana z uziemieniami jednoczesnemi w dwóch fazach.

staje równa zeru tak, że w strefach tych przełącznik zerowy nie będzie działał. Natomiast w strefie II suma prądów, płynących we wszystkich trzech fazach nie równa się 0 tak, że znajdujące się w tym obszarze przełączniki zerowe będą działały. W obszarze I i III zabezpieczenia będą działały zupełnie taksamo, jakgdyby nastąpiło zwarcie między przewodami uziemionemi, a więc dwufazowe. A ponieważ rozpatrujemy przypadek uziemienia faz *u* i *v*, przeto działać będą przekaźniki fazy *u*, jakkolwiek procesu swego




Rys. 187. Schemat połączeń ochrony trójprzekaźnikowej sieci trójfazowej o izolowanym punkcie zerowym.

1a. Przekaźnik oporności owy.
1b. Wieloprzekładniowy transformator miernikowy napięciowy.
1c. Samoczynny przełącznik.
1d. Przełącznik zerowy.
2. Wyłącznik olejowy.
3. Miernikowe transformatory prądowe.
4. Miernikowe transformatory napięciowe.
5. Źródło prądu pomocniczego.
6. Źródło prądu pomocniczego trójfazowego.
7. Zaciski.
8. Bezpieczniki.

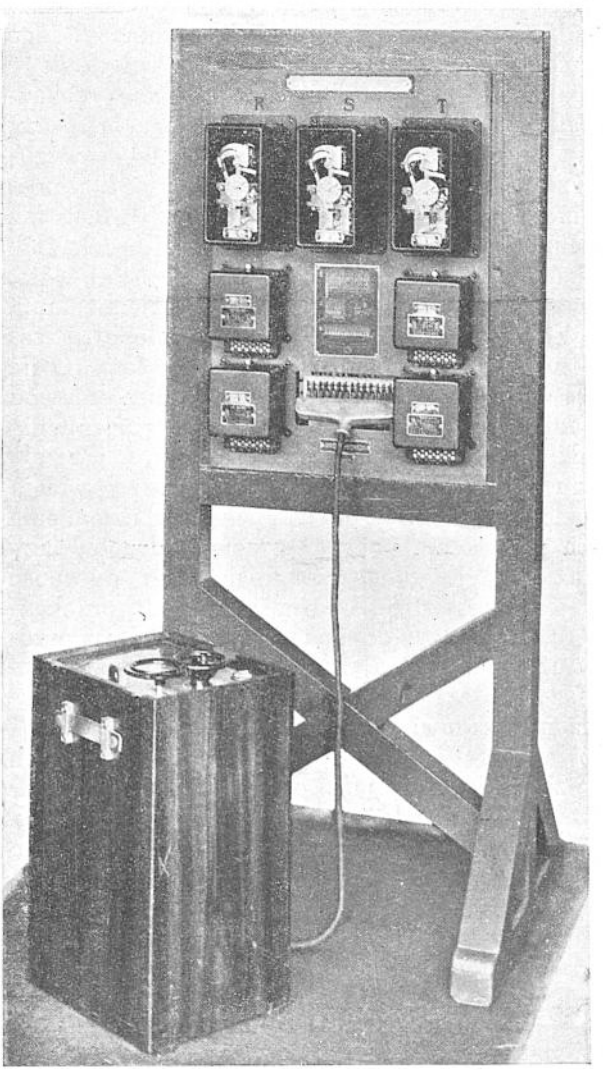
nie dokończą i nie spowodują odłączenia, o czem przekonamy się w dalszym ciągu.

Skolei rozpatrzymy zachowanie się przekaźników w strefie II. Zupełnie taksamo jak i przy zwarciu dwufazowem działać będzie tylko przełącznik *b*, który podda przekaźnik opornościowy *v* pod napięcie fazowe *vo*. Przekaźnik *u* nie będzie działał, gdyż przełącznik zerowy „7" przełączył jego obwód prądowy z przełącznika *a* na przełącznik *b*, a przełącznik *b* działając, przerwał ten obwód prądowy. Działać będzie tylko przekaźnik opornościowy *v*, który, stojąc pod właściwem napięciem fazowem, ma obwód prądowy zamknięty przez spoczywający przełącznik *c*. Oczywiście przekaźnik *w* nie bierze udziału w całym przebiegu odłączania. W pozostałych dwóch kombinacjach jednoczesnych uziemień dwóch faz zauważymy, że przy uziemieniu faz *v* i *w* działać będzie przekaźnik *w*, a przy uziemieniu faz *w* i *u* działać będzie przekaźnik *u*. Stąd wniosek, że w strefie II, t. j. znajdującej się między dwoma uziemieniami, będzie działał ten przekaźnik, który znajduje się w fazie opóźnionej. Przekaźnik ten znajduje się przytem pod działaniem napięcia swej fazy. O ile więc działające przekaźniki II strefy mierzą oporność obwodu: przewód swej fazy od miejsca ustawienia przekaźnika do miejsca jej uziemienia i spowrotem przez ziemię, to działające przekaźniki zewnętrzne, t. j. strefy I i III, mierzą oporność obwodu: przewód swej fazy od miejsca ustawienia przekaźnika do miejsca jej uziemienia, dalej przez ziemię do uziemienia drugiej fazy i od tego miejsca spowrotem poprzez przewód drugiej fazy do miejsca ustawienia przekaźnika. Nie ulega wątpliwości, że oporność obwodu przekaźnika strefy II jest większa od oporności obwodu przekaźnika strefy I czyteż III. Dlategoteż prędzej dokona rozłączenia linji przekaźnik, znajdujący się między uziemieniami, a więc w strefie II, niż w naszym przykładzie przekaźnik fazy *v*. Jeżeli rozpatrywana linja jest wprawdzie obustronnie zasilana, lecz nie stanowi pierścienia zamkniętego, wówczas przekaźniki fazy *u* zarówno strefy I jak i III powrócą do swych pierwotnych położeń, a łuki uziemiające zgasną pod wpływem dławików gaszących ustawionych w strefie I i III. Jeżeli natomiast rozpatrywana przez nas sieć stanowiłaby pierścień zamknięty, wówczas mielibyśmy do czynienia tylko ze strefą II tak, że zostałby wyłączony z pracy przekaźnikami fazy *v* ten odcinek sieci, który zawierałby uziemienie, jak w naszym przykładzie w fazie *v*. Uziemienie drugiej fazy unieszkodliwione byłoby dławikiem gaszącym. Tak więc i w tym przypadku przekaźniki fazy *u* nie zdążą spowodować odłączenia. Likwidacja więc jednoczesnych uziemień dwóch faz należy do zadań przekaźników strefy II, t. j. wewnętrznej.

Rys. 187 przedstawia pełny schemat zabezpieczenia dopieroco rozpatrzonego.

Na zakończenie rozważań, dotyczących przekaźników BBC, zauważyć musimy, że wszelkie urządzenia mogą pracować sprawnie tylko wówczas, gdy są należycie kontrolowane i utrzymywane. Na rys. 188 widzimy przyrząd zbudowany dla przeprowadzania kontroli przekaźników opornościowych BBC. Przyrząd ten zapomocą specjalnej wtyczki włącza się w po-

szczególne obwody kompletu zabezpieczającego. Wtyczka ta zwiera sieciowe transformatory miernikowe prądowe, odłącza tablicę z przekaźnikami od transformatorów miernikowych napięciowych i od pomocniczych źródeł prądu i wreszcie łączy obwody tablicy z przyrządem kontrolnym, który dołączamy do miejscowej sieci niskiego napięcia 120, 220 lub 380 woltów. Przyrząd kontrolny przystosowujemy do jednego z tych napięć odpowiedniem nastawieniem specjalnego przełącznika. Przełącznikiem, uruchamianym kółkiem ręcznem, widocznem na rysunku, stwarzamy kolejno wszelkie warunki pracy przekaźnika, a więc: 1-o normalne — przy pełnem obciążeniu i napięciu znamionowem, 2-o zwarcie trójfazowe, 3-o dwufazowe zwarcia w kolejności kołowej, 4-o jednoczesne uziemienia dwóch faz, również w kolejności kołowej — i wreszcie 5-o w sieciach o uziemionym punkcie zerowym jednofazowe zwarcia, także w kolejności kołowej.

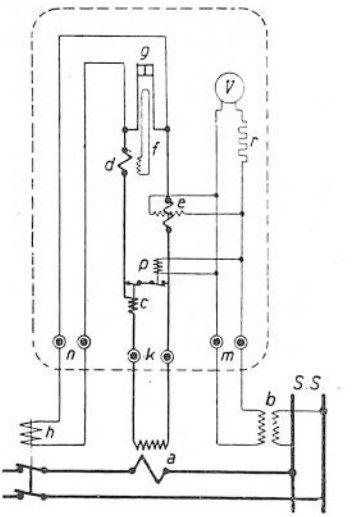



Rys. 188. Przyrząd do sprawdzania przekaźników opornościowych.

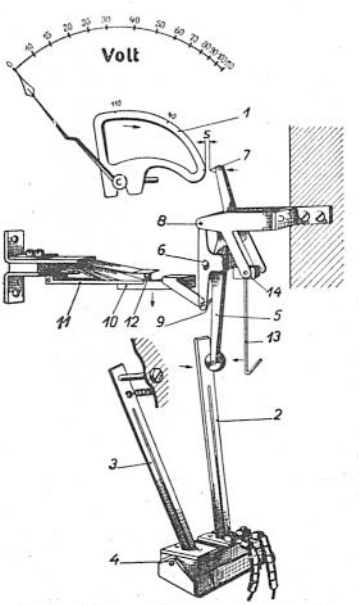
Prób tych dokonywujemy, nie przerywając pracy sieci. W bardzo ważnych sieciach przekaźniki poddajemy takim próbom okresowo raz na tydzień, w mniej ważnych — rzadziej, a zresztą zależnie od miejsca pracy przekaźników. Kontrolę wyłącznika i obwodu wyzwalającego go dokonywujemy wmiarę możliwości stwarzanych pracą sieci. Kontrolę przewodów doprowadzających, transformatorów miernikowych oraz pomocniczych źródeł prądu przeprowadzamy łącznie z kontolą przekaźników — drogą przeglądu. W tym celu poszczególne obwody muszą być zmontowane przejrzyście i muszą być dostępne w każdej chwili.

5. Charakterystyka najważniejszych konstrukcyj niektórych nowszych przekaźników opornościowych.

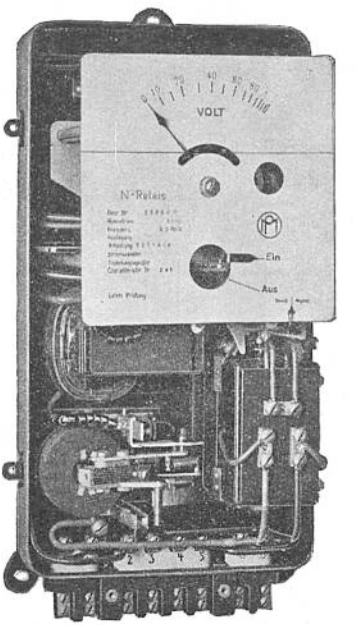
*a. Dr. Paul Meyer (AEG):* w t. zw. N (Netzschutz-Relais) przekaźnikach pozorno-opornościowych (rys. 189 z oznaczeniami literowemi, rys. 190 z oznaczeniami cyfrowemi oraz rys. 191) ustalenie czasu odbywa się przez zginającą się pętlę *f* czyteż „2" pod wpływem różnego rozszerzania się dwu jej gałęzi, zrobionych z materjału o różnych spółczynnikach rozszerzalności cieplnej, jaka występuje przy przepływie prądu przez pętlę. Aby jednakże ilość powstałego ciepła, a więc i wygięcie było proporcjonalne nie do kwadratu, lecz do pierwszej potęgi prądu, zastosowano miernikowe transformatory prądowe *a* o odpowiednio wielkiem nasyceniu i rozproszeniu. Wpływ temperatury zewnętrznej został skompensowany dodatkową pętlą „3". W ten sposób drążek „5" wprawia się w ruch z prędkością proporcjonalną do prądu na drodze *s*, ustalonej dzięki odpowiedniej formie segmentu „1", poruszanego woltomierzem. Po przejściu drogi *s* punkt „7" drążka „5" opiera się o odpowiadający wielkości odchylenia wolto-




Rys. 189. Schemat N-przekaźnika pozorno-opornościowego firmy Dr. Paul Meyer (obecnie AEG).

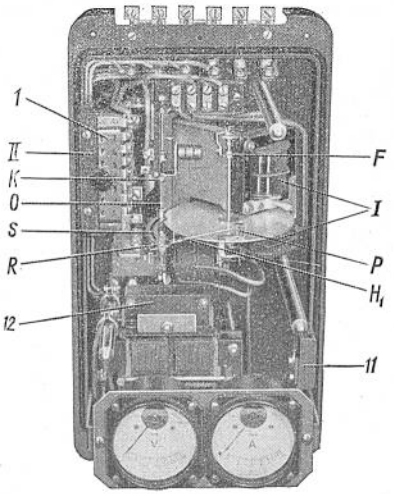



Rys. 190. Kinematyka przekaźnika N firmy Dr. Paul Meyer.




Rys. 191. Przekaźnik pozorno-opornościowy N firmy Dr. Paul Meyer.

mierza punkt segmentu „1" tak, że zależnie od układu obwodu wyłączającego następuje rozwarcie kontaktów „10—11—12" lub też zwarcie ich



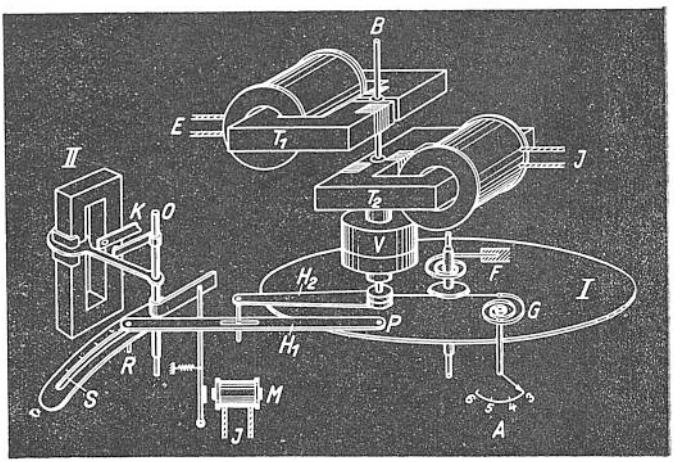

Rys 192. Przekaźnik opornościowy AEG.

g—dzięki następującemu od tej chwili obrotowi dźwigni „9" dookoła osi „8"

Czas odłączania $t_n \simeq t_0 + k\frac{E_n}{J_n}$, gdzie

nienastawiane $t_0 = 0{,}5 \div 2{,}25$ sek. jest funkcją $J_n$. Człon ryglujący $e$, zbudowany na zasadzie elektrodynamometrycznej, umieszczony jest wewnątrz przekaźnika — i, ciągnąc za dźwignię „13", unieruchamia drążek „5" dociskiem do jego pleców młoteczka „14". Organem rozruchowym są tu przekaźniki: nadmiarowy „c" i napięciowo-opadowy „p".

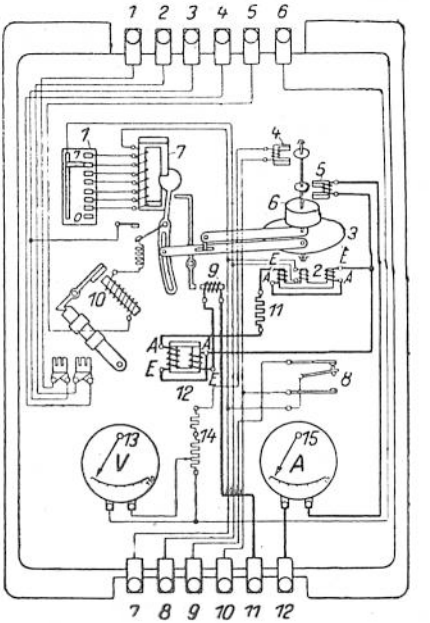
*b. AEG* (rys. 192, 193 i 194): W nowszych przekaźnikach opornościowych o działaniu kombinowanem organem rozruchowym są dwa silniczki synchroniczne, zmontowane na wspólnej osi *B*. W jednym z nich, t. zw. silniczku napięciowym $T_1$ (4), uzwojenie stojana stanowi cewka napięciowa, a w drugim, t. zw. silniczku prądowym $T_2$ (5), uzwojeniem stojana jest cewka prądowa. Cewki te są w ten sposób dobrane, że przy normalnej pracy sieci moment obrotowy silniczka prądowego równoważy się




Rys. 193. Schematyczny układ przekaźnika opornościowego firmy AEG.

z przeciwnie działającym momentem obrotowym silniczka napięciowego tak, że wówczas silniczki nie ruszają z miejsca. Jeżeli w sieci prąd wzrośnie ponad pewną wielkość lub napięcie spadnie, albotеż nastąpi i jedno i drugie, wówczas silniczek prądowy rusza asynchronicznie, bardzo szybko

osiąga synchronizm i wykonyw awówczas 3000 obr./min. Na osi wspólnej dla obu silniczków poprzez stosowną przekładnię $V$ (6), zmniejszającą obroty do około 1 obr./min., osadzony jest drążek $H_2$, który, obracając się, nastawia dźwignię $H_1$ na corazto dłuższe ramię $S$ obrotu. W ten sposób długość $a$ ramienia obrotu, która liczy się od p. $R$ do osi obrotu $O$, jest proporcjonalna do czasu obracania się silniczków, t. j. $a = c_1 . t_1$. A ponieważ ramię to zaopatrzone jest z drugiej strony swej osi obrotu $O$ w krążek Ferraris'a w kształcie rakietki umieszczonej w zmiennem polu magnetycznem magnesu II z cewką napięciową tak, że moment skręcający tej rakietki jest proporcjonalny do $E^2_n$, to na końcu ramienia $a$ w p. $R$ działa na dźwignię $H_1$ siła o kierunku $RP$ i wielkości $P_1 = c_2 \frac{E^2_n}{a} = c_2 . \frac{E^2_n}{c_1 . t_1}$. Drugi koniec tej dźwigni umocowany jest korbowo w p. $P$ na obwodzie krążka Ferraris'a układu watomierzowego, którego moment skręcający, odwrotnie skierowany do momentu skręcającego rakietki, jest, dzięki odpowiedniemu ustosunkowaniu trójrdzeniowego magnesu, proporcjonalny do $J_n . E_n . \cos(\varphi_n - \psi)$, gdzie $\varphi_n$ jest przesunięciem fazy prądu względem napięcia, a $\psi$ przesunięciem fazy między strumieniem magnetycznym prądowym i napięciowym. W ten sposób krążek Ferraris'a wywiera na drążek $H_1$ w punkcie $P$ siłę $P_2 = c_3 . J_n . E_n . \cos(\varphi_n - \psi)$ o kierunku $PR$. Drążek ten znajdować się będzie w stanie spoczynku, gdy siły działające na jego krańce $P$ i $R$ będą sobie równe, t. j. gdy $P_1 = P_2$, czyli $c_2 . \frac{E^2_n}{a} = c_3 . J_n . E_n . \cos(\varphi_n - \psi)$. Jeżeli natomiast w tej chwili silniczek prądowy zwiększyłby nieco ramię obrotu $a$, wówczas byłby moment skręcający siły $P_2 > P_1$, skutkiem czego drążek przepchnąłby się naprzód, obracając przytem oskę $O$ ramienia obrotu $S$. Jednak oska ta zaopatrzona jest w sprężynkę kontaktową $K$ tak umocowaną, że mały obrót oski, a więc w znikomo krótkim czasie powoduje zwarcie kontaktów obwodu wyłączającego. W ten sposób możemy przyjąć, że czas obrotu silniczka prądowego, potrzebny do nastawienia ramienia obrotu praktycznie na długość $a$, jest czasem $t_1$, po którego upływie następuje odłączenie chromego odcinka sieci.




Rys. 194. Układ wewnętrznych połączeń przekaźnika opornościowego firmy AEG. (8 — przełącznik, 10 — magnes klapki sygnalizacyjnej, 11—opornik układu watomierzowego. 12—dławik do regulacji zależności od przesunięcia faz, 13 — woltomierz, 14 — opornik silniczka napięciowego, 15 — amperomierz).

Z równania wyżej wyprowadzonego wynika, że czas ten wynosi $t_n = t_0 + t_1$, gdzie:

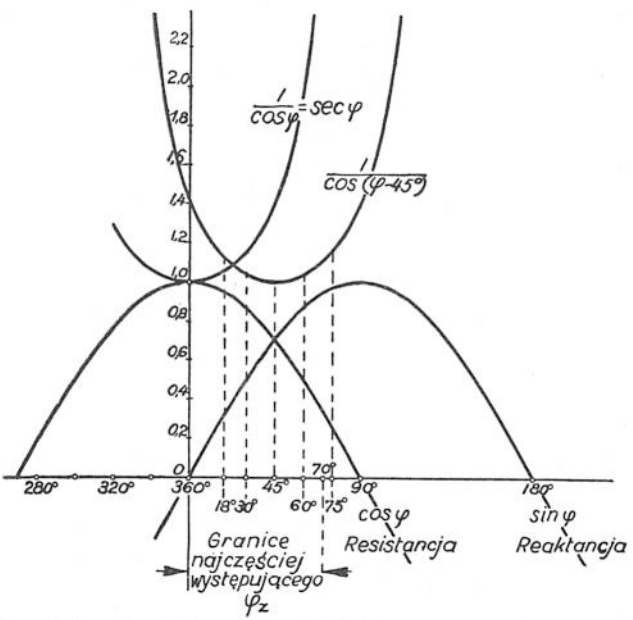
$$t_1 = k . \frac{E_n}{J_n} . \frac{1}{\cos(\varphi_n - \psi)} = k . Z_n . \frac{1}{\cos(\varphi_n - \psi)};$$

jeżeli kąt $\psi$ nastawiony jest na 45°, wówczas przy kątach oporności pozornych, występujących najczęściej przy zwarciu, przekaźnik ten zachowuje siu w przybliżeniu (rys. 195): jak czynno-opornościowy gdy $\varphi_n \simeq 18^0 \div 30^0$ wówczas bowiem w tym przedziale przebieg krzywej cosinusowej jest podobny do charakterystyki przekaźnika; jak pozorno-opornościowy w granicach $\varphi_n \simeq 30^0 \div 60^0$, gdyż charakterystyka w tym przedziale prawie nie różni się od linji poziomej, a więc prawie nie zależy od $f(\psi)$; wreszcie jak urojono-opornościowy w granicach $\varphi_n \simeq 60^0 \div 75^0$, co również wynika z porównania charakterystyki z sinusoidą w tym przedziale.

$$\text{Gdy } \sphericalangle \psi = 0, \text{ wówczas } t_1 = k \,.\, Z_n \,.\, \frac{1}{\cos \varphi_n} = k \,.\, Z_n \,.\, \frac{1}{\frac{R_n}{Z_n}} = k \,.\, \frac{Z_n^2}{R_n}.$$

A więc przekaźnik przy małych opornościach urojonych działałby z małem opóźnieniem, które rosłoby wraz ze wzrastającą opornością urojoną coraz to gwałtowniej (rys. 195).

Jeżeli kierunek płynącego prądu zmieni się, to krążek układu watomierzowego $I$ obraca się w odwrotnym kierunku tak, że wówczas współdziała z rakietką w odciągnięciu dźwigni $H_1$, dzięki czemu kontakty obwodu odłączającego rozwierają się. W ten sposób następuje ryglowanie. Dla pewnego działania organu ryglującego wystarcza po wtórnej stronie transformatorów miernikowych 0,5 wolta przy 10 A.

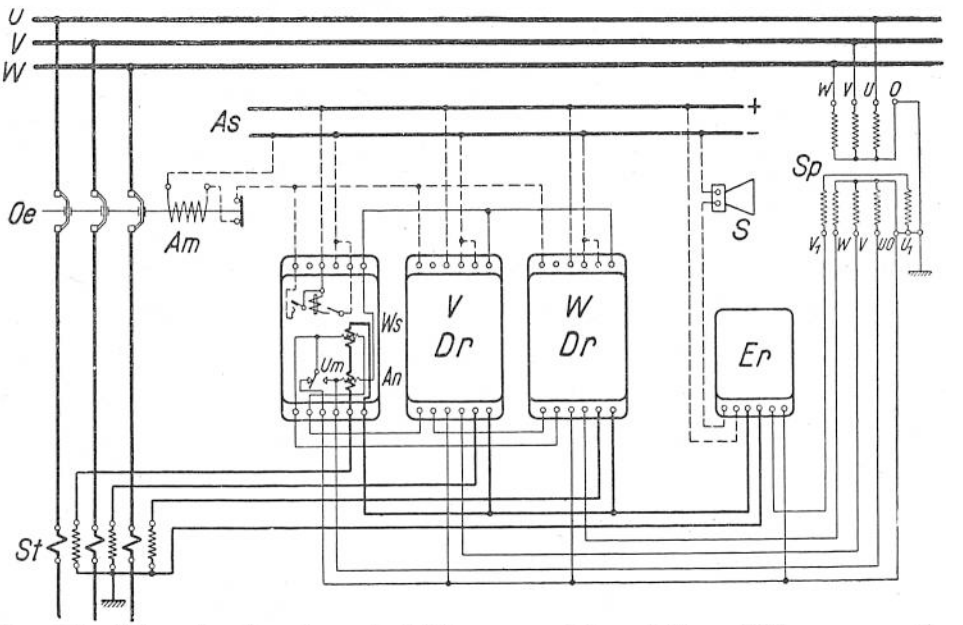



Rys. 195. Charakterystyka działania organu pomiarowego przekaźnika AEG.

Jeżeli jednak wpobliżu przekaźnika wystąpi zwarcie metaliczne tak, że $E_n$ stanie się równe zeru, to wówczas krążek watomierzowy nie działa. Aby temu zapobiec, oska krążka zaopatrzona jest w sprężynkę spiralną $F$, zapewniającą krążkowi w takim przypadku odpowiednio duży moment skręcający. O ile moment obrotowy silniczka napięciowego przeważa moment obrotowy silniczka prądowego, wówczas przekładnia obraca się w kierunku odwrotnym i drążki, dźwignie i ramiona wracają do swych początkowych miejsc. Ażeby znów, np. przy przepaleniu się bezpiecznika napięciowego, przekaźnik nie spowodował odłączenia, to w tym celu na oskę silniczków wywieramy sprężynką spiralną $G$ dodatkowy moment skrę-

cający, zgodny w działaniu z silniczkiem napięciowym tak, że silniczek prądowy nie będzie działał i to zależnie od naciągnięcia sprężynki do 3, 4, 5 lub 6 A.

W dopieroco rozpatrzonym przekaźniku organ rozruchowy składa się z obu silniczków $T_1$ (4) i $T_2$ (5), przekładni $V$ (6), niewidocznego na rysunkach pierścienia sekundowego jako wskaźnika odległości zwarcia,




Rys. 196. Schemat połączeń przekaźników opornościowych firmy AEG w przypadku połączenia uzwojeń napięciowych układu watomierzowego przekaźnika, w trójkąt, a uzwojeń prądowych tego układu w gwiazdę.

(Dr — przekaźniki opornościowe, Ws — układ watomierzowy, An — układ rozruchowy, Um — przełącznik, Er — przekaźnik zerowy (uziemienia), St — transformator miernikowy prądowy, Sp — transformator miernikowy napięciowy Oe — wyłącznik, S — brzęczyk sygnalizacyjny, As — źródło prądu wyzwalającego, Am — magnes wyzwalający)

umieszczonego na osi pod przekładnią, oraz ze sprężyny $G$, służącej do nastawiania prądu rozruchowego, działającej zgodnie z silniczkiem napięciowym. W ten sposób organ rozruchowy tego przekaźnika pracuje według prostolinijnej charakterystyki rozruchowej pozorno-opornościowej, ograniczonej wielkością prądu nastawianego sprężynką $G$ na 3, 4, 5 i 6 A, to jest $(0{,}6 — 0{,}8 — 1{,}0 — 1{,}2) \cdot J_n$. Ponieważ przekaźnik musi być dostosowany do zabezpieczania linij dwutorowych, przeto wrazie wyłączenia z pracy jednego toru, drugi przejmuje na siebie obciążenie całkowite. Dlategoteż przecięcie charakterystyki roboczej z charakterystyką rozruchową regulujemy w granicach $(2{,}0 — 2{,}6) \cdot J_n$. Wrazie więc takiego przeciążenia sieci przekaźnik spowoduje odłączenie jej nawet przy pełnem znamionowem napięciu.

Organ pomiarowy, który jest jednocześnie organem ryglującym, składa się z układu watomierzowego I (2-3) oraz układu napięciowego II (7). Jak

z dotychczasowych rozważań wynika, organ pomiarowy spełnia jeszcze rolę organu zegarowego.

Rys. 196 przedstawia schemat połączeń przekaźników opornościowych AEG dla przypadku, gdy w systemie watomierzowym przekaźnika uzwojenie napięciowe połączone jest w trójkąt, a prądowe w gwiazdę. Schemat ten umożliwia jednoczesne dołączenie przekaźników zerowych „Er" (uziemienia).

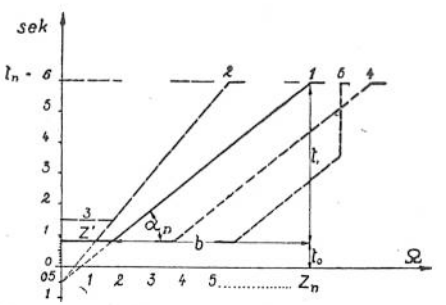
Czasem wymagamy, aby urządzenia były odłączone jaknajprędzej, a więc już po upływie czasu własnego zabezpieczenia $t_0$ sek., bez względu na odległość, w jakiej nastąpi zwarcie na pewnej określonej przez nas długości sieci od przekaźnika. Charakterystyka czasu odłączania takiego przekaźnika przedstawiona jest na rys. 197, gdzie jest oznaczona cyfrą 1, i odpowiada wzorowi:

$$t_n = t_0 + t_1 = t_0 + b \,.\, \operatorname{tg} \alpha_n$$

$$b = Z_n - Z' = Z_n - 0{,}5 \,.\, \operatorname{ctg} \alpha_n - t_0 \,.\, \operatorname{ctg} \alpha_n = Z_n - (0{,}5 + t_0) \,.\, \operatorname{ctg} \alpha_n$$

$$t_n = t_0 + \operatorname{tg} \alpha_n \,.\, [Z_n - (t_0 + 0{,}5) \operatorname{ctg} \alpha_n] = \operatorname{tg} \alpha_n \,.\, Z_n - 0{,}5.$$

Wymagana długość sieci reprezentowana jest wielkością $Z'$. Jeżeli oporność pozorna $Z_n$ jest bardzo duża, to odłączenie następuje bez względu na jej wielkość, gdy dźwignia $H_1$ osiągnie największe ramię, t. j. po upływie granicznego czasu 6 sek., co jest uwidocznione na rys. 197.




Rys. 197. Charakterystyka zabezpieczeń sieci obustronnie ograniczona oraz jej przekształcenia.

Nachylenia charakterystyki odłączania czyli zmiany $\sphericalangle \alpha$, a więc zmiany stałej $k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{t_1 \text{ sek}}{1\ \Omega}$, mamy możność dokonywać w granicach 0,5 sek/1 Ω ÷ 4 sek/1 Ω. Osiągamy to, dając różne napięcia układowi napięciowemu II (7) i posiłkując się w tym celu siedmioma zaczepami, umieszczonemi na tabliczce 1. Jeżeli charakterystykę odłączania 1 uzyskaliśmy, posługując się zaczepem np. 2-im, odpowiadającym $k = 0{,}75$ sek/1 Ω, to charakterystykę, oznaczoną cyfrą 2, otrzymamy na zaczepie np. 4-ym, i wówczas $k = 1{,}5$ sek/1 Ω.

Czas własny zabezpieczenia $t_0$ regulujemy w ten sposób, że sprzęgło może zacząć przesuwać zapomocą specjalnego wodzika drążek $H_2$, swobodnie nałożony na oś sprzęgła, dopiero po obróceniu się osi o pewien kąt. Kąt ten możemy regulować dowolnie, a skutkiem tego ulega zmianie $t_0 \geqslant 0{,}5$ sek.

W ten więc sposób poziomy odcinek $Z'$ charakterystyki przesuwamy równolegle wyżej, np. $3 \parallel Z'$, lub niżej.

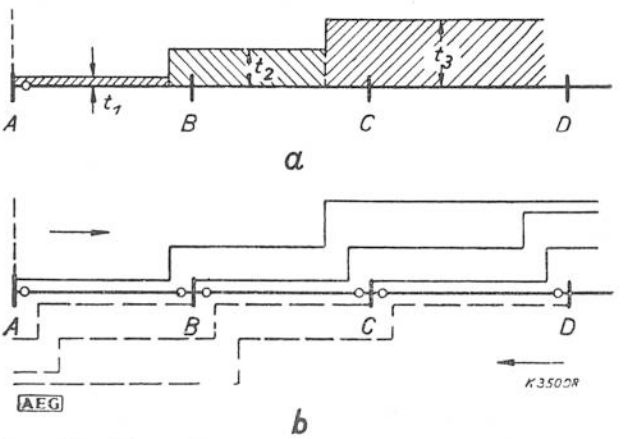
Skracania lub wydłużania odcinka $Z'$ dokonywujemy, przesuwając wzdłuż siebie dźwignię $H_1$ naprzód lub wtył w stosunku do normalnego jej położenia w przekaźniku, będącym w spoczynku. Skutkiem tego zabie-

gu możemy dowolnie przesuwać równolegle do siebie skośną część charakterystyki, np. 4 || 1.

Wreszcie przekaźnik ten umożliwia osiągnięcie schodkowanej charakterystyki 5 przez odpowiednie blokowanie dźwigni $H_1$ zapomocą młoteczka magnesu *M*. (9).

Ograniczenie charakterystyki w jej górnej części do 6 sek., a więc i czasu działania przekaźnika, dokonane jest na drodze mechanicznej, dzięki umieszczeniu stosownej sprężynki na osi *B* silniczków. Granicę tę wrazie potrzeby możemy obniżać.

Oczywiście wszystkie te przekształcenia charakterystyki odłączania możemy z sobą kombinować, t. j. jednocześnie je nachylać i przesuwać wbok lub do góry i t. d. Dzięki temu przekaźniki możemy dostosować do najrozmaitszych warunków pracy sieci i jej konfiguracji.



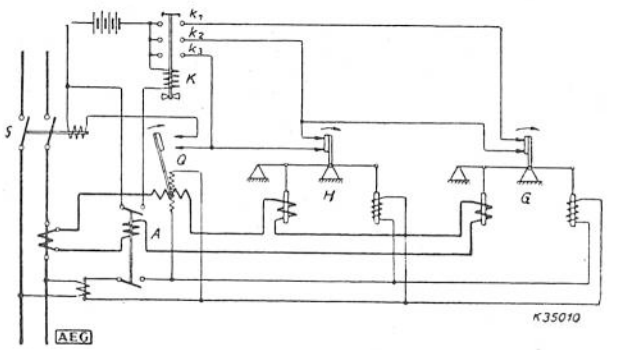

Rys. 198. Plan zabezpieczenia sieci przekaźnikami opornościowemi o charakterystyce odłączań schodkowej.

Wreszcie należy zaznaczyć, że normalnie przekaźnik jest stale zablokowany wyżej wspomnianym młoteczkiem, który opiera się o przedramię obrotu *S-R*. Dzięki temu nie płynie bezużytecznie prąd przez kontakty *k* wówczas, gdy np. ochraniana część sieci jest odłączona. Dopiero nakrótko przed uruchomieniem się organu rozruchowego magnes „*M*-9" odciąga młoteczek od przedramienia. Przekaźnik ten również posiada pierścień sekundowy dla przybliżonego ocenienia odległości zwarcia — oraz klapkę, która opadając umożliwia prędkie odszukanie przekaźnika powodującego odłączenie.

Gotowość do pracy i prawidłowość działania przekaźnika sprawdzamy podobnie, jakto poprzednio opisaliśmy, nie przerywając normalnej pracy sieci.

Dla uzyskania pośpiesznego odłączania chromych odcinków sieci AEG posługuje się charakterystyką odłączań schodkową. Na rys. 198 widzimy plan zabezpieczenia trzech odcinków sieci przekaźnikami, działającemi pośpiesznie. Literą *a* oznaczona jest charakterystyka schodkowa jednego kompletu zabezpieczeń, a mianowicie linji odchodzącej od szyn zbiorczych stacji *A*. Każdy przekaźnik nastawia się na trzy strefy. Zwarcia, występujące w każdej z tych stref, odłączane są zapomocą przekaźników stacji *A* z opóźnieniem odpowiednio równem $t_1$, $t_2$ oraz $t_3$ sek. Przekaźnik odłączy po upływie $t_1$ sek., o ile zwarcie występuje w pierwszej strefie, t. j. w odległości od stacji *A*, odpowiadającej do 80% oporności odcinka *AB*. Druga stre-

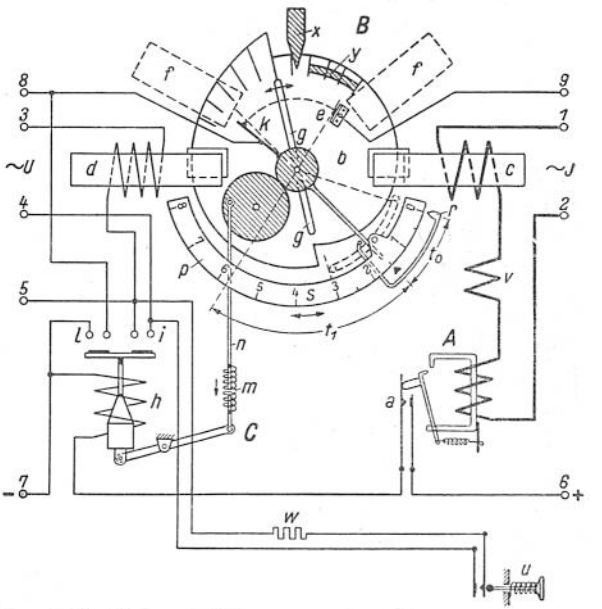
fa sięga do 60% oporności odcinka $BC$, poczem następuje ostatnia, t. j. trzecia strefa. Na rysunku, oznaczonym literą „b", widzimy całkowity plan zabezpieczenia sieci, przyczem charakterystyki, narysowane pełną linją (górne), dotyczą przekaźników linij odchodzących z szyn zbiorczych stacyj $A$, $B$ i $C$ (nieparzystych), t. j. reagujących na przepływ prądu w kierunku od $A$ do $D$. Natomiast charakterystyki kreskowane (dolne) dotyczą przekaźników parzystych, a więc reagujących na kierunek prądu, płynącego od $D$ do $A$. Czas $t_2$ dotyczy więc tylko tych zwarć, które wystąpią między końcem strefy I, a najbliższym przekaźnikiem tego samego kierunku działania. Przy jeszcze dalszych zwarciach przekaźnik stacji $A$ odłączyłby po upływie czasu $t_2$ lub nawet $t_3$ tylko w tym przypadku, gdyby zaciął się przekaźnik lub wyłącznik stacji $B$ lub również i dalszych stacyj.




Rys. 199. Idea zabezpieczenia sieci przekaźnikami pośpiesznego działania firmy AEG.

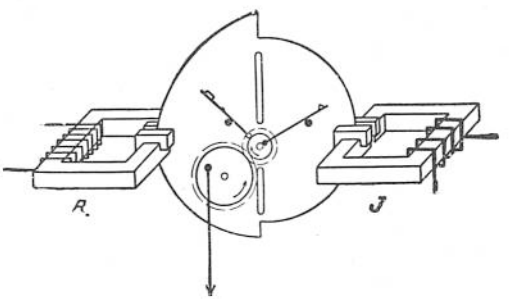
Drogę, jaką AEG dochodzi do takiego właśnie działania przekaźnika, wyjaśnimy na rys. 199, sporządzonym dla większej jasności jednofazowo. Ponieważ AEG jest zdania (F. Fröhlich i G. Stark), że łuk elektryczny wywiera istotnie znaczny wpływ na pomiar oporności pozornej sieci dopiero po upływie 0,2 sek., przeto organy pomiarowe w tych przekaźnikach mierzą oporność pozorną obwodu zwartego w czasie krótszym od 20 półokresów. Jeżeli nie liczyć czasu, spotrzebowanego przez organ rozruchowy $A$, który zastosowano o działaniu nadmiarowem, to obydwa organy pomiarowe $H$ i $G$ działają już najwyżej po upływie 5 półokresów. W przekaźniku tym uzyskuje się charakterystykę schodkową dzięki zastosowaniu dwóch organów pomiarowych i jednego przekaźnika $K$ czasowego trójschodkowego. Wrazie wzrostu natężenia prądu w linji ponad pewną normę działa więc organ rozruchowy $A$, zamykający pomocniczy obwód prądu stałego przekaźnika $K$. Jednocześnie organ rozruchowy zamyka obwody napięciowe organu ryglującego $Q$ oraz organów pomiarowych $H$ i $G$. Jeżeli dla danego przekaźnika kierunek przepływu prądu jest właściwy, to organ ryglujący zwiera kontakty, widoczne na rys. 199. Organ pomiarowy $G$ jest nastawiony na pełną wielkość oporności pozornej strefy I tak, że działa on dopiero wówczas, gdy zwarcie występuje w II strefie. Natomiast organ pomiarowy $H$ działa dopiero wtedy, gdy zwarcie występuje w strefie III. Przypuśćmy, że zwarcie wystąpiło w I strefie. Wówczas oporność pozorna obwodu zwartego nie przekracza granicznych wielkości żadnego z organów pomiarowych tak, że one nie działają. Jak ze schematu wynika, odłączenie nastąpi wówczas, gdy przekaźnik czasowy $K$ zewrze kontakty $k_1$. Gdyby zwarcie nastąpiło w strefie II, to kontakty $G$ rozchyliłyby się zanim kon-

takty $k_1$ byłyby zwarte tak, że odłączenie nastąpiłoby z chwilą zwarcia kontaktów $k_2$. Wreszcie przy zwarciu w III strefie rozchyliłyby się zarówno kontakty $H$ jak i $G$ i wyłączenie nastąpiłoby dopiero po zwarciu kontaktów $k_3$. Czas zwierania kontaktów $k_1$, $k_2$ oraz $k_3$, t. j. $t_1$, $t_2$ i $t_3$, można nastawić niezależnie od siebie w granicach 0,2 — 1 s, 0,5 2 s oraz 2—6 s.




Rys. 200. Schemat ideowy przekaźnika pozorno-opornościowego Siemens'a, typu R Ω 2.

*c. Siemens:* Ustrój przekaźnika pozorno-opornościowego typu $R\,\Omega\,2$ przedstawia rys. 200. Literą A oznaczony jest organ rozruchowy, który, jak wynika z rysunku, wykonany jest jako nadmiarowy. W sieciach, w których prąd zwarcia bywa mniejszy od prądu znamionowego obciążenia, organ nadmiarowy zamieniany jest na organ rozruchowy pozorno-opornościowy. Organ rozruchowy powoduje zwarcie się kontaktów $a$ obwodu akumulatora, który dołączamy do zacisków 6 i 7. Dzięki temu elektromagnes $h$ organu zegarowego wciąga kotwiczkę. Skutkiem tego z jednej strony kotwiczka zwiera kontakty $i$ układu napięciowego $d$ organu pomiarowego, a z drugiej strony ramieniem $c$ naciąga sprężynę $m$ organu zegarowego tak, że dzięki drążkowi $n$ i przekładni zębatej kontakt $k$ zaczyna się poruszać ze stałą prędkością w kierunku zgodnym z ruchem skazówek zegara. Kontakt ten, dzięki działaniu kotwiczki zwierającej zaciski $l$, ma połączenie z minusem akumulatora. Zaciski 3 i 4 przyłączone są do wtórnego uzwojenia miernikowych transformatorów napięciowych. Dzięki zwarciu kontaktów $i$ uruchomiony zostaje organ pomiarowy (rys. 201), składający się z krążka ferrarisowskiego $b$, z układu napięciowego $d$ ($R$) oraz z układu prądowego $c$ ($J$). Literami $f$ oznaczone są magnesy trwałe, uspakajające ruch krążka. Obydwa te układy powo-

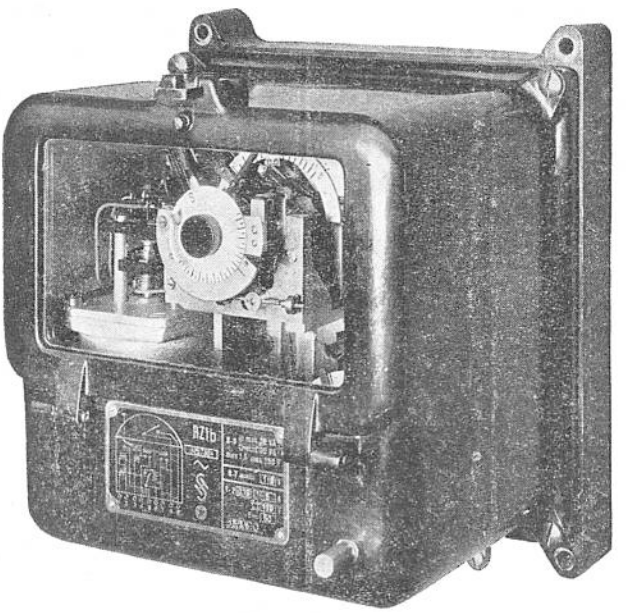



Rys. 201. Organ pomiarowy przekaźnika pozorno-opornościowego Siemens'a typu R Ω 2.

R — układ napięciowy; J — układ prądowy (strzałka wskazuje połączenie z organem zegarowym).

dują powstanie w krążku dwóch momentów obrotowych, o przeciwnych kierunkach.

Momenty te powstają dzięki stworzeniu asymetrji strumieni magnetycznych zarówno w rdzeniu *d* jak i *c* skutkiem częściowego zasłonięcia bieguna rdzenia płytką miedzianą od strony wymaganego kierunku ruchu krążka. Dzięki nadaniu specjalnego kształtu krążkowi zanurzy się on więcej lub mniej w magnetycznem polu prądowem, a skutkiem tego przy tym samym prądzie moment obrotowy układu prądowego staje się odpowiednio większym lub mniejszym. Pod wpływem różnicy obu momentów krążek wychyla się o kąt $\alpha$ proporcjonalny do wielkości oporności pozornej, występującej przy zwarciu, jak to zresztą wynika z niżej podanego rozważania:




Rys. 202. Przekaźnik RZIb pozorno-opornościowy z kontaktami przyśpieszonego odłączania S & H. Widok zewnętrzny.

$$M_{kJ} = c_1 J^2 = f_1(\alpha) J^2 = = k_1 . \alpha . J^2$$

$$M_{kU} = c_2 U^2 = f_2(\alpha) U^2 = = k_2 . \frac{1}{\alpha} . U^2$$

gdzie $k_1$, $k_2$, a w dalszym ciągu $k'$ i $k$ są wielkościami stałemi. W chwili zrównoważenia, t. j. w chwili, w której krążek do tego stopnia wynurzy się z magnesu prądowego *c*, że moment obrotowy układu prądowego tak zmaleje, iż stanie się równym momentowi obrotowemu układu napięciowego: $M_{kJ} = M_{kU}$ czyli $f_1(\alpha) . J^2 = f_2(\alpha) . U^2$, a stąd:

$$\frac{U^2}{J^2} = \frac{f_1(\alpha)}{f_2(\alpha)} = k' . \frac{\alpha}{1/\alpha}$$

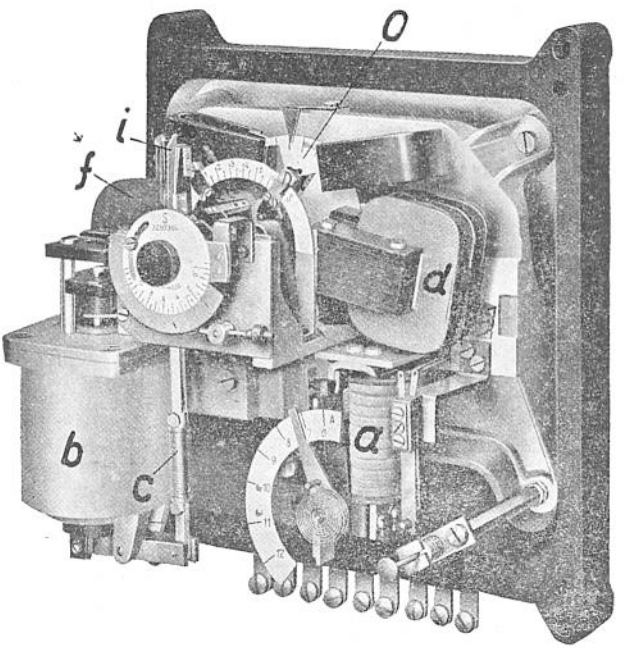
$$Z = \frac{U}{J} = \sqrt{\frac{f_1(\alpha)}{f_2(\alpha)}} = F(\alpha) = k . \alpha ,$$

przyczem, dla uniknięcia wzajemnego oddziaływania prądów wirowych jednego układu z polem magnetycznem drugiego układu, prądy wirowe, płynące w krążku, są oddzielone od siebie z dostateczną dokładnością szczeliną *g*. W ten sposób organ rozruchowy nie ulega wpływom wielkości cos $\varphi$. Zależnie więc od wielkości mierzonej oporności pozornej krążek *b* uzyskuje równowagę przy mniejszem lub większem odchyleniu. A ponieważ na krążku umocowany jest kontakt *e* obwodu wyzwalającego wy-

łącznik, to w ten sposób krążek odmierza drogę $k$—$e$, jaką przebiec ma ze stałą prędkością kontakt $k$. Skutkiem tego określony jest czas $t_1$, zależny od wielkości zmierzonej oporności pozornej. Jeżeli kontakt zegarowy $k$ wysuniemy nieco w odwrotnym kierunku do ruchu skazówek zegara, to temsamem zwiększymy drogę $k$—$e$, a odpowiednio do powiększenia odległości między temi kontaktami przedłuża się czas zwarcia się ich o $t_0$ sekund.

Tak więc czas własny zabezpieczenia $t_0$ ustalamy na skali $p$ śrubką uwidocznioną jako czarny trójkącik. Śrubkę tę widzimy w szczelinie z lewej strony okrągłej tarczy skalowej na rys. 202 i 203. Czas $t_0$ możemy regulować w granicach od 1 do 3 sek.

W obwodzie układu prądowego oprócz organu rozruchowego oraz solenoidu $v$, służącego do uniezależnienia działania organu pomiarowego od nasycenia magnetycznego rdzenia $c$, a więc do uniezależnienia od wielkości prądu zwarcia — oraz oprócz organu pomiarowego mamy oczywiście wtórne uzwojenie miernikowego transformatora prądowego oraz organ ryglujący, który działa na zasadzie dynamometrycznej. Całość organu tego zwiększona jest w ten sposób, że ruchoma jego część tylko zwiera lub rozwiera obwody pomocniczego prądu stałego, do której to czynności wystarcza bardzo mała nawet energja. Natomiast samo ryglowanie dokonywane jest przez pomocnicze obwody prądu stałego. Oprócz tego systemy ruchome wszystkich trzech faz umocowane są na wspólnej osi, dzięki czemu momenty obrotowe wszystkich trzech systemów dodają się tak, że naprzykład przy trójfazowem zwarciu wystarcza 0,25% mocy znamionowej do niezawodnego działania organu ryglującego. Wrazie działania tylko jednego układu przyrząd działa niezawodnie przy 0,75% mocy znamionowej. Czułość jego jest więc niezwykle wysoka. Organ ryglujący jest osobnym przyrządem, obsługującym wszystkie trzy przekaźniki danego kompletu zabezpieczającego (rys. 204).



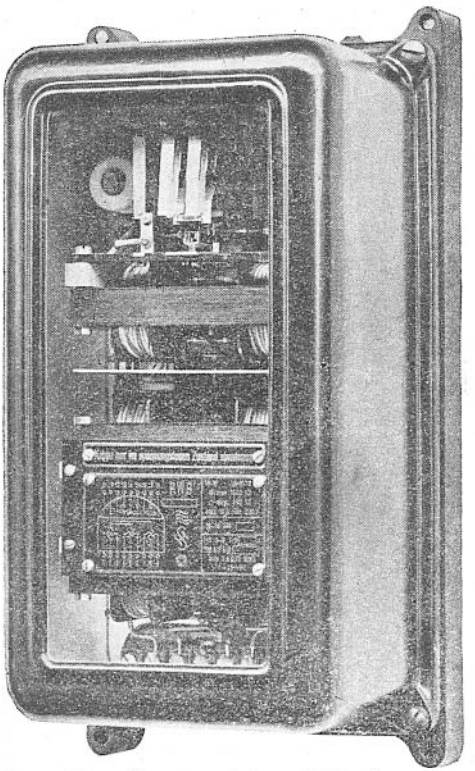

Rys. 203. Przekaźnik RZIb pozorno-opornościowy z kontaktami przyśpieszonego odłączania S & H. Widok wewnętrzny.

Przekaźnik ten działa według równania:

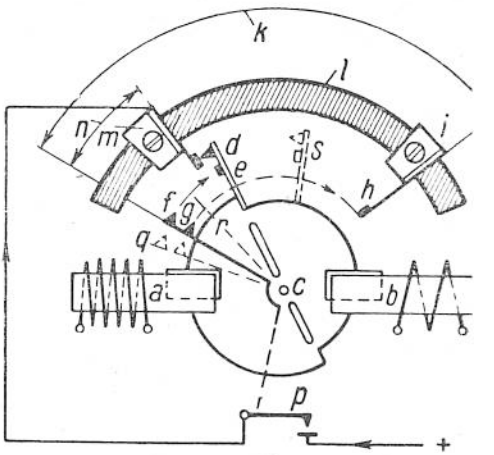
$$t_n = t_0 + t_1 \simeq t_0 + k \,.\, Z_n,$$

a charakterystyka odłączania jest podobna do charakterystyki przedstawionej na rys. 137 z tem, że w swym przebiegu początkowym, dolnym jest lekko wklęsła.

Przekaźniki typu *R* Ω 2 posiadają wskaźnik czasu, zależnego od oporności pozornej obwodu zwartego. Wskaźnik ten wleczony jest po skali *p*. Wreszcie, naciskając przycisk *u*, uruchamiamy przekaźnik dla okresowego sprawdzania go. Podczas normalnej pracy sieci kontakty *i* są rozwarte tak, że krążek, znajdując się tylko pod wpływem układu prądowego, porusza się w kierunku odwrotnym do ruchu skazówek zegara. Skutkiem tego ruchu i krzywizny krążka corazto mniejsza powierzchnia jego podlega działaniu magnesu *c* tak, że moment obrotowy maleje i wreszcie krążek



Rys. 204. Organ ryglujący RW6 dynamometryczny trójfazowy S & H.

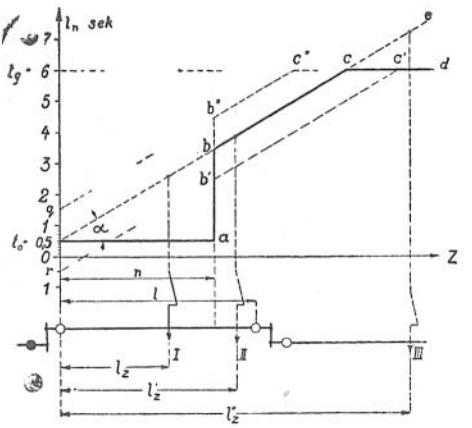



Rys. 205. Schemat ideowy organu pomiarowego przekaźnika f-my Siemens typu RZlb z kontaktami przyśpieszonego odłączania.

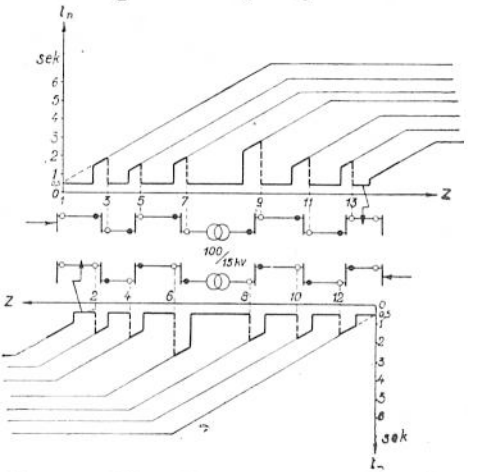
staje. Wówczas czerwony pasek *y* krążka znajduje się pod skazówką *x*. To położenie krążka odpowiada oporności pozornej równej zeru. Jeżeli teraz przyłączylibyśmy napięcie *U*, to krążek zacznie się poruszać zgodnie z ruchem skazówek zegara. Do osiągnięcia położenia równowagi krążek musi odchylić się tem więcej, im wyższe jest napięcie *U* i im mniejszy jest prąd *J*. Celem sprawdzenia przekaźnika podczas normalnej pracy sieci przyłączamy napięcie do układu *d* przyciskiem *u*. Wielkość oporu *w* jest tak dobrana, że obwód napięciowy, zamknięty w chwili nominalnego obciążenia sieci i przy znamionowem napięciu, spowoduje ruch krążka zgodny z ruchem skazówek zegara aż do zejścia czerwonego paska spod strzałki *x*. Z takiego zachowania się przekaźnika możemy wnioskować o jego gotowości do prawidłowej pracy.

Dążenie do przeprowadzania selekcji chromych części sieci w czasie możliwie najkrótszym spowodowało skonstruowanie specjalnego typu przekaźników, zaopatrzonych w t. zw. kontakty przyspieszonego odłączania. W celu bliższego zaznajomienia się z tego rodzaju przekaźnikami rozpatrzymy konstrukcję przekaźnika opornościowego typu *RZ1b* Siemensa. Typ ten jest ulepszeniem przekaźnika *RΩ2*. Zasada działania nowego przekaźnika pozostała ta sama, jedynie został on zaopatrzony w dodatkowe kontakty, widoczne na rys. 205. Krążek Ferraris'a *c* w początkowem położeniu nie znajduje się w miejscu odpowiadającem wartości oporności pozornej $Z_n = 0$, lecz oporności $Z_n'$. W tem miejscu pod wpływem układu prądowego *b* krążek ma oczywiście tendencję do ruchu w kierunku odwrotnym do ruchu skazówek zegara celem zajęcia położenia zerowego. Aby ruchowi temu przeszkodzić, ustawiono powyżej krążka łukowatą skalę *l*, wzdłuż której możemy przesuwać kontakt *m*, o który opiera się kontakt *d*, wstrzymując w ten sposób krążek *c*, do którego jest on na stałe przymocowany. Odległość kontaktu *m* od zerowego położenia, licząc wzdłuż łuku skali, jest dowolnie regulowana i wynosi *n* omów. W pewnej skali odległość ta przedstawia długość odcinka sieci, odpowiadającego tej oporności, albo czas, w jakim krążek doszedłby do tego miejsca z położenia zerowego. Toteż skala *l* ma podziałkę sekundową. W rozpatrywanym przez nas przekaźniku organ zegarowy otrzymał jeszcze dodatkowe zadanie polegające na tem, że licząc od chwili uruchomienia zegara po upływie regulowanego przez nas czasu w granicach $t_0 = 0{,}3 — 0{,}5$ sek. zegar zwiera t. zw. kontakt przyśpieszenia *p*, który jest w szereg połączony z kontaktami *m — d*. O ile więc zwarcie wystąpi w obwodzie o oporności pozornej $l_z$ mniejszej niż odpowiadającej nastawieniu *n*, wówczas krążek nie rusza z miejsca, kontakty *d — m* pozostają zwarte, a po upływie określonego przez nas czasu $t_0$ odłączenie zwarcia spowodowane zostaje kontaktem *p*. Z zasady czas $n < t_0$. Jeżeli natomiast zwarcie wystąpiłoby tak, że $l_z' > n$, wówczas wprawdzie po upływie czasu $t_0$ zewrze się kontakt *p*, lecz przedtem jeszcze rozewrą się kontakty *d — m* tak, że jeszcze nie następuje odłączenie, lecz krążek *c* wędruje w stronę układu prądowego i zatrzymuje się w miejscu *s*, odpowiadającem oporności pozornej $l_z'$. Odłączenie więc spowoduje zupełnie taksamo jak w przekaźniku *RΩ2* kontakt zegarowy *f* z kontaktem krążkowym *e*. Jeżeliby zwarcie wystąpiło w odległości $l_z''$ tak znacznej, że czas odłączenia $t_n$ byłby większy od czasu granicznego $t_g$, wówczas krążek odsunąłby tak daleko swój kontakt *e*, że jeszcze przed zetknięciem się jego z kontaktem *f* nastąpiłoby zwarcie kontaktów *g* i *h*. Skutkiem tego nastąpiłoby odłączenie w czasie granicznym $t_g$, odpowiadającym czasowi *k* skali łukowatej, na której odpowiednio nastawiliśmy kontakt czasu granicznego *i*. Charakterystyka odłączania przekaźników opornościowych z kontaktami przyśpieszenia przedstawiona jest linją pełną 0,5-*a-b-c-d* na rys. 206; nazwiemy ją charakterystyką odłączania skokami. Jeżeli linja 0,5-*b-c-e* jest charakterystyką odłączania zwykłych pozorno-opornościowych przekaźników, to zauważymy, że w rozpatrywanym dopieroco I zwarciu odłączenie nastąpiło w czasie 0,5 sek. zamiast 2,5 sek. W II przypadku zwarcia różni-

cy w czasie odłączania nie mamy, gdyż obie charakterystyki mają tu wspólny przebieg. Wreszcie w III przypadku przekaźnik *RZ1b* odłącza znów szybciej. Czynimy tu jednak zastrzeżenie, że między zwarciem a rozpatrywanym przekaźnikiem niema żadnych zabezpieczeń działających. Jak już wiemy, charakterystykę odłączania skokami możemy przekształcać dzięki poszczególnej lub jednoczesnej zmianie wielkości $t_0$ oraz $n$. Pomijając również znaną nam zmianę nachylenia $\alpha$ charakterystyki, uskutecznianą zmianą napięcia $U$ układu napięciowego, zauważymy, że ustalając nowe początkowe położenie ramienia zegarowego kontaktowego przez przesunięcie go z położenia *f* do położenia *q*, powiększamy skok z wielkości czasu *ab* do *ab''*. W ten sposób nową charakterystyką jest linja łamana: 0,5-*a*-*b''*-*c''*-*c*. Przesunęlibyśmy więc równolegle skośną część charakte-




Rys. 206. Charakterystyka zabezpieczeń sieci skokami oraz jej przekształcenia.




Rys. 207. Plan zabezpieczenia sieci przekaźnikami o charakterystyce odłączań skokowej.

rystyki *bc* do nowego położenia *b'' c''*. Jeżeli natomiast wychylilibyśmy ramię zegarowe z położenia *f* do nowego położenia początkowego *r*, to skok *ab* zmniejszyłby się do czasu *ab'*, zmieniając w ten sposób charakterystykę na: 0,5-*a*-*b'*-*c'*-*d*. Zauważymy przytem, że skośne części charakterystyk *b''*-*c''* oraz *b'*-*c'* przecinają oś czasu w punktach *q* i *r*, odpowiadających położeniom ramienia zegarowego, oznaczonym temi samemi literami na rys. 205.

Na specjalne podkreślenie zasługuje możność bardzo łatwej regulacji czasu granicznego $t_g$, którą przeprowadzamy przesuwaniem kontaktu *i* wzdłuż skali *l*.

Ta regulacja jest z tego względu dla nas ważna, że gdyby wszystkie przekaźniki nastawione były na jednakowo wielki czas $t_g$, to w przypadku zacięcia się najbliższego zwarciu wyłącznika mogłyby mieć jednakowe szanse jednoczesnego odłączenia zwarcia wszystkie dalsze wyłączniki danego szeregu zabezpieczającego. Tego rodzaju przypadek zajdzie wówczas, gdy zwarcie wystąpiło poza skośną częścią charakterystyki skokowej przekaźnika, sterującego drugim skolei wyłącznikiem olejowym, licząc od miej-

sca zwarcia. Nastawiając więc przekaźniki na różny czas graniczny $t_g$ z tem, że leżące bliżej źródła prądu przekaźniki czas ten będą miały większy, a leżące dalej corazto mniejszy, utrzymany selekcją zwarć nawet w przypadku zacięcia się wyłącznika. Dla zapewnienia możliwie wysokiego stopnia ciągłości pracy, poza stopniowaniem czasu $t_g$, wymagamy, aby charakterystyka danego przekaźnika przechodziła przez niemniej niż 2, a lepiej jeszcze przez 3 lub więcej zabezpieczonych odcinków sieci. Żądaniu temu możemy z łatwością zadość uczynić dzięki znanym nam już możliwościom przekształceń charakterystyki, a w szczególności dzięki regulacji $\sphericalangle \alpha$ oraz wielkości $n$. Kąt $\alpha$ dobieramy w ten sposób, aby zwarcie krańca odcinka o oporności największej z całego uszeregowania zabezpieczającego było odłączone w czasie $t_n \leqslant 3$ sek. Wielkość $n$ dobieramy osobno dla każdego odcinka zabezpieczonego w ten sposób, że $n = (0{,}65 \div 0{,}80) \, . \, l$.

Opierając się na dotychczasowych rozważaniach, kreślimy plan zabezpieczenia sieci przekaźnikami o charakterystyce odłączeń skokowej, podobnie jakto poprzednio uczyniliśmy dla charakterystyki odłączań łamanej (rys. 159) oraz schodkowej (rys. 198). Plan taki widzimy na rys. 207. W przypuszczeniu, że ustawione w tej części sieci wyłączniki są nowszej konstrukcji, przyjęliśmy czas $t_0 = 0{,}5$ sek. Górna część planu wykreślona jest dla przepływu energji powodującego zablokowanie przekaźników parzystych; dolna część obowiązuje znów dla odwrotnego kierunku przepływu energji, blokującego przekaźniki nieparzyste. Zablokowane przekaźniki są w każdym z obu przypadków oznaczone czarnemi punktami.

Z powyższych rozważań widzimy, że dla każdej sieci i dla każdych warunków pracy sieci rozporządzamy odpowiedniemi selekcyjnie działającemi przekaźnikami opornościowemi. Kilkoletnia już praktyka wskazuje, że przekaźniki te działają nienagannie, a możność zaopatrywania ich w organy rozruchowe, reagujące bądźto na przetężenie, bądźto na zanik napięcia lub też zwarcie, znacznie rozszerza zakres ich stosowalności. Toteż dziś przekaźnikami opornościowemi chętnie posługujemy się nawet do zabezpieczenia maszyn elektrycznych, jak np. transformatorów, zamiast stosowanego do tej pory zabezpieczenia różnicowego, które wymaga, jak wiadomo, albo nazbyt wielkiego znieczulenia go, albo doregulowywania zabezpieczenia do każdej zmiany zaczepów, t. j. przekładni transformatora.

W ten sposób przekaźniki opornościowe stały się najważniejszem zabezpieczeniem urządzeń elektrycznych mimo, że występującemu przy współpracy elektrowni zjawisku kołysania nie zapobiegają przez planowy rozdział jednostek wytwórczych oraz nie stwarzają sposobu, który pozwoliłby na wyznaczenie do spełnienia tego zadania pewnego bliżej określonego przekaźnika.

Ta niedoskonałość przekaźników opornościowych uwydatnia się jednakże tylko w szczególnych i bardzo rzadkich przypadkach. W najgorszym przypadku, gdy zwarcie występuje tuż w pobliżu wytwórni prądu, czas odłączania powinien wynosić , jak wskazują teoretyczne rozważania, około $t_n = 0{,}1$ sek., gdyż po upływie tego czasu amplituda odchyleń wirnika osiągnie wielkość, nie pozwalającą na opanowanie tego zakłócenia. W nowoczesnych wyłącznikach czas trwania samego procesu gaszenia łuku osiąga

coprawda już swą najmniejszą wielkość, ograniczoną pierwszem przejściem prądu przez zero, t. j. $t_{gw} < 0{,}01$ sek, lecz pozostają jeszcze do przezwyciężenia opóźnienia, spowodowane bezwładnością wyłącznika i przekaźników. Jeżeli więc przyjmiemy najniższe obecnie osiągalne opóźnienia, więc:

opóźnienie spowodowane przez wyłącznik $t_w = 0{,}10 - 0{,}15$ sek
„ „ „ bezwładn. przekaźnika $t_{wp} = 0{,}05 - 0{,}10$ „
„ umyślne dla zapewnienia selekcyjności $t_{up} = 0{,}15 - 0{,}20$ „

to odłączenie nastąpi po upływie czasu $t_n = 0{,}30 - 0{,}45$ sek

przyczem założyliśmy, że opóźnienie, zależne od oporności obwodu zwartego $t_{ip} = 0$ sek., ponieważ rozpatrujemy zwarcie, występujące tuż przy przekaźnikach.

Stąd wynika, że osiągalny czas odłączenia $t_n = 0{,}3 - 0{,}45$ sek. jest znacznie większy od czasu, wymaganego teoretycznie mimo, że zgodziliśmy się na odłączenie przy znacznym jeszcze prądzie udarowym. W tym przypadku nie możemy oczywiście mieć żadnej wątpliwości co do wytrzymałości wyłącznika, gdyż nie możemy osiągać wymaganej selekcji kosztem zmniejszenia bezpieczeństwa i pewności pracy.

Jeżeli jednakże weźmiemy pod uwagę, że w obszarze najbardziej niebezpiecznych dla wytwórni zwarć urządzenia są specjalnie starannie dobrane, zmontowane, celowo zbudowane, jak również najlepiej utrzymywane i nadzorowane, to wobec nadzwyczaj rzadko występujących w tym obszarze zwarć możemy śmiało zrezygnować z lokalizowania ich w granicach tak ostro nakreślonych, jakto ma miejsce przy zwarciach bardziej odległych od źródła prądu. Zresztą tak ostre nakreślenie tych granic w przypadku wystąpienia zwarcia przy samem źródle prądu niezawsze jest potrzebne. Możemy więc twierdzić, że w przeważającej ilości przypadków pracy w warunkach najcięższych przekaźniki opornościowe o działaniu przyspieszonem zadanie swe spełnią zadowalająco.

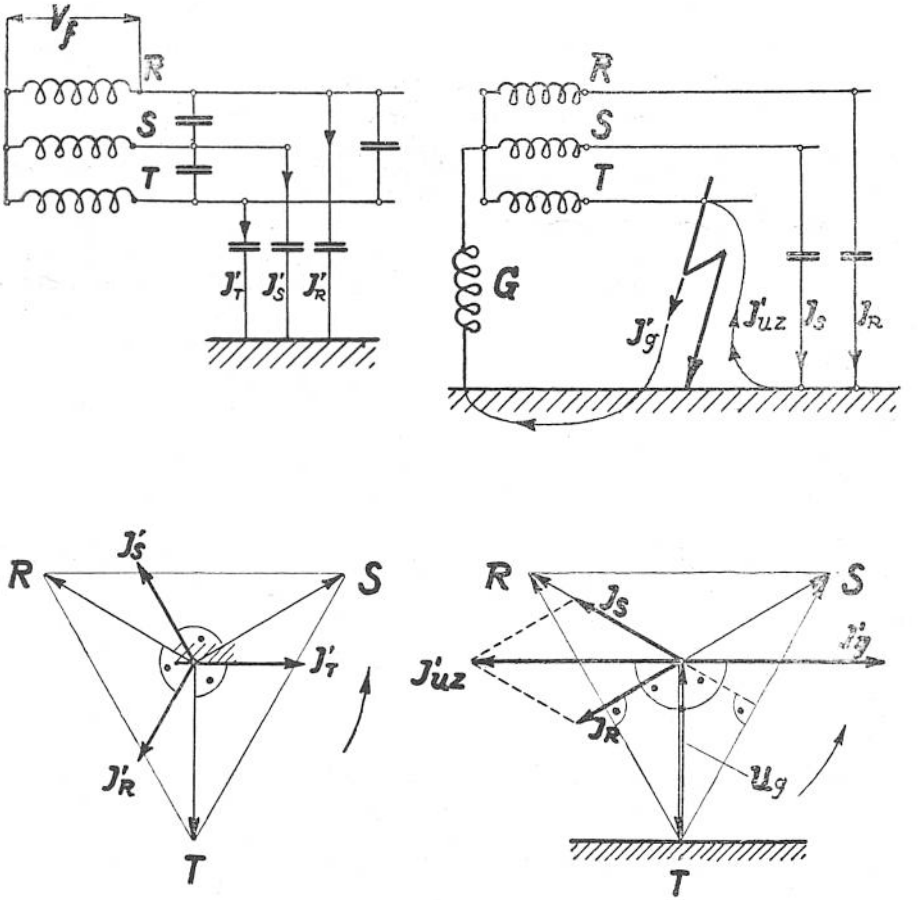
## H. Uziemienia.

Przedewszystkiem musimy zauważyć, że w sieciach, o uziemionym punkcie zerowym, uziemienie jakiejkolwiek fazy powoduje jej zwarcie. Ochronę przed uziemieniem, występującem w takich sieciach, jako nie różniącą się niczem od ochrony przeciwzwarciowej, rozpatrzyliśmy już poprzednio; mówiąc więc obecnie o uziemieniach, będziemy mieli na myśli wyłącznie sieci z nieuziemionym bezpośrednio punktem zerowym generatorów czyteż transformatorów.

Wielkie pojemności sieci elektrycznych, jako skutek nadzwyczajnego rozrostu tych sieci, są przyczyną, że uziemienia należą do najczęstszych i najprzykrzejszych zakłóceń ruchu elektrycznego i to w skutkach swych tem przykrzejszych, im większa jest pojemność sieci.

W sieciach niewielkich, w których dzięki małej ich pojemności mamy do czynienia tylko z małemi prądami uziemienia, niebezpieczeństwa te nie istnieją. Wówczas przy uziemieniach jednej fazy mamy tylko izolację po-

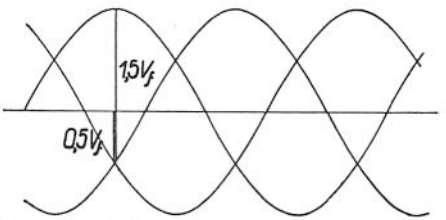
zostałych faz obciążoną silniej (rys. 208), a mianowicie przy prądzie trójfazowym 1,73-krotnie, na co zresztą dobrze wykonane urządzenia powinny być przygotowane, gdyż według VDE muszą wytrzymać conajmniej $(2{,}2 \cdot V + 20)$kV, gdzie $V$ jest roboczem napięciem międzyprzewodowem w kV, a odłączniki — nawet $(3{,}3 \cdot V + 20)$kV. W tym przypadku uziemienie nie stanowi przeszkody w utrzymaniu w ruchu wszystkich urządzeń.




Rys. 208. Wykres prądów i napięć dla sieci zdrowej i dla sieci z uziemioną fazą T.

Nie twierdzimy jednakże, że uziemienie to nie przedstawia żadnych niebezpieczeństw. Otóż w chwili uziemienia jednej fazy powstają nagle prądy pojemnościowe w obu zdrowych fazach; a ponieważ w obwodzie tego prądu mamy pojemność faz zdrowych względem ziemi, a w fazie uziemionej uzwojenia transformatora lub generatora i w fazach zdrowych indukcyjność, przeto mamy obwód drgający tak, że ładowanie to odbywa się w sposób drgający. Jeżeli złożyłoby się tak nieszczęśliwie, że uziemienie fazy powstałoby w chwili, gdy napięcie w niej przechodziłoby przez swe

maximum (rys. 209), to w zdrowych fazach napięcie podniosłoby się z $0{,}5 \cdot V_f$ do $1{,}5 \cdot V_f$, a skutkiem drgań ładowania przepięcie w zdrowych fazach mogłoby osiągnąć max. $2{,}5 \cdot V_f$; przepięcie takie nazywa się przepięciem zapłonu (n. Zündüberspannung). Izolacja dobrze utrzymanego urządzenia powinna to wytrzymać. Inaczej dzieje się jednakże, gdy prąd ten przekroczy 3 do 5 A.: wówczas prawie nieodłącznym towarzyszem uziemienia jest łuk elektryczny, który już nie gaśnie, a przez swoją ruchliwość i rozciągalność powoduje przejście uziemienia w zwarcie i to najczęściej dwufazowe. Uziemienie jest najniebezpieczniejsze dla urządzeń wówczas, gdy powstaje łuk gasnący i zapalający się w takt zmian prądu, a więc 100 razy na sekundę przy 50 okresach; łuk powoduje wtedy powstanie fal wędrownych o stromem czole i o napięciu do 4,5-krotnie większem od napięcia fazowego. Materjały izolacyjne oczywiście niezawsze mogą wytrzymać tak wysokie przepięcia, skutkiem czego następują przebicia i zwarcia cewek, zwojów, izolatorów i t. d. Takie znów przebicie, naprzykład izolatora w fazie nieuziemionej, powoduje powstanie drugiego uziemienia. Mamy wówczas do czynienia z uziemieniem jednoczesnem w dwóch fazach, podwójnem, lub t. zw. z niemiecka „towarzyskiem". Łączy ono w sobie wszystkie niebezpieczeństwa uziemienia i jednocześnie dwufazowego zwarcia. Oczywiście wszelkie uszkodzenia izolacji są dla nas tem niebezpieczniejsze, im większa jest sieć, a więc im większy jest prąd uziemienia.



Rys. 209. Ustosunkowanie się napięć w przypadku uziemienia jednej fazy, dokonanego w chwili, gdy $\alpha = \omega$, $t = 90^0$.

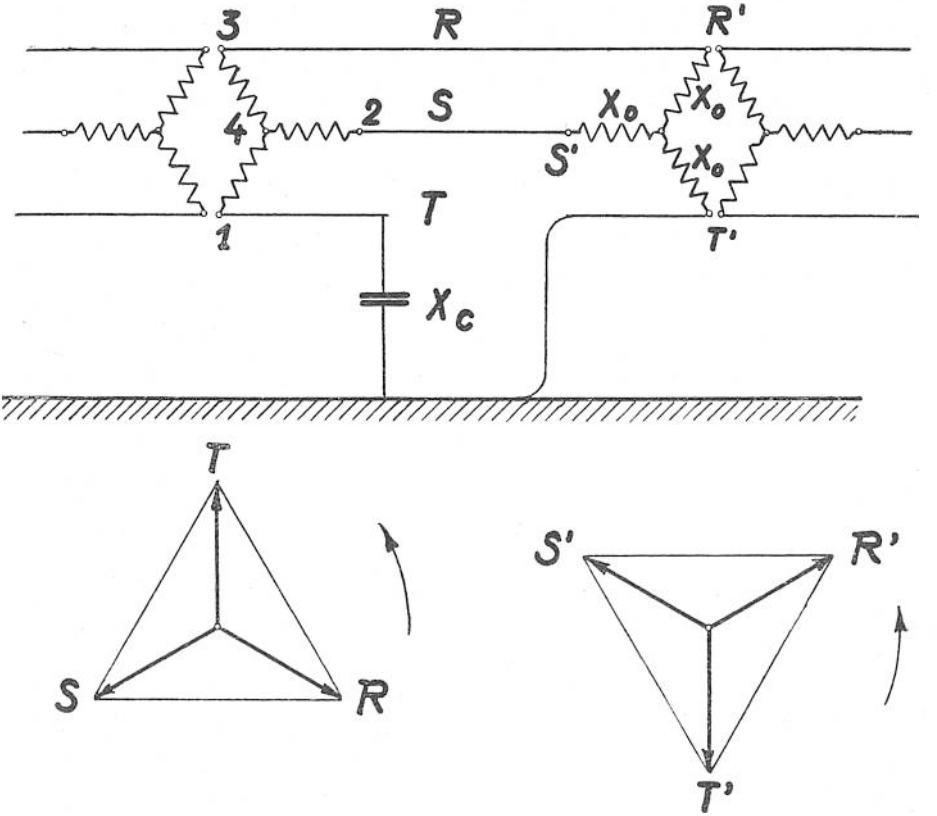
Skutkiem efektu cieplnego łuku elektrycznego może nastąpić stopienie przewodów, popękanie izolatorów i t. p. Natomiast zwarcia, spowodowane łukiem elektrycznym, wraz z ich następstwami są nam znane z poprzednich rozważań.

Uziemienie powoduje jednofazowe obciążenie, które jest bardzo szkodliwe, szczególnie w generatorach ze względu na wzrost temperatury w bandażach oraz zniekształcenie krzywej napięcia skutkiem tego, że zachodzi tu nałożenie jednofazowego prądu na prąd trójfazowy.

Zwrócimy jeszcze uwagę na pewien szczególny przypadek niesymetrycznego obciążenia, wywołanego uziemieniem. Otóż jeżeli zerwie się i uziemi jedna z faz, naprzykład $T$ linji trójfazowej $R$-$S$-$T$ wysokiego napięcia, pracującej na transformator słabo lub zupełnie nieobciążony, wówczas zacisk $T'$ transformatora ma połączenie z dalszą częścią zerwanej fazy jedynie przez kondensator, którego okładzinami są: ziemia — faza nieuziemiona. Skutkiem takiego pojemnościowego połączenia zacisk $T'$ transformatora otrzymuje prąd prawie o $180^0$ przesunięty w stosunku do prądu jałowego, płynącego tą fazą przed zerwaniem przewodu. W ten sposób trójkąt napięć na transformatorze odwraca się o $180^0$ naokoło boku „zdrowego" $S'$ — $R'$. Tak więc ostatecznym skutkiem takiego uziemienia jest zmiana kierunku wirowania silników. Oczywiście pociąga to za sobą wszel-

kie dalsze niepożądane skutki, związane z nieoczekiwaną zmianą kierunku wirowania, szczególnie niebezpieczne przy wyciągach elektrycznych.

Oprócz tego jednakże grozi nam jeszcze jedno niebezpieczeństwo, a mianowicie możliwość powstania przepięć. Korzystając z oznaczeń poda-




Rys. 210. Przypadek odwrócenia trójkąta napięć w sieci słabo obciążonej.

nych na rys. 210, możemy napisać według prof. Dr. Adolfa Thomälen'a („Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik", Berlin 1929, strona 176, że:

$$V_{11} = \frac{(V_{12} - V_{13}) \cdot (X_0 + X_c)}{3X_0 + 2X_c}$$

Jeżeli oporność pojemnościowa $X_c$ będzie się równała $(-1{,}5\ X_0)$ oporności indukcyjnej jednej fazy jałowo pracującego transformatora, wówczas:

$$V_{11} = \infty$$

Mamy więc do czynienia z tak bardzo niebezpiecznym rezonansem, w którego pobliżu już mogą wystąpić wielkie przepięcia.

Najczęściej uziemienia występują w urządzeniach pod gołem niebem, rzadziej w pomieszczeniach zamkniętych. Miejscem uziemień najczęściej jest linja napowietrzna, izolatory przejściowe, napowietrzne końcówki ka-

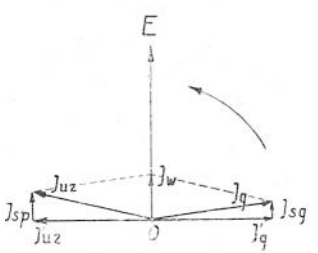
blowe i t. d. Przyczynami uziemień są: złośliwe lub przypadkowe uziemienia metaliczne, przepięcia, manipulacje w urządzeniach, które powodują niesymetrję napięć w stosunku do ziemi, ptaki, gałęzie, siano, rysy na izolatorach, silna rosa, opylenie izolatorów, atmosferyczne wyładowania i t. d.

Prądy uziemień są najczęściej znacznie mniejsze od prądów zwarcia. Jedynie w bardzo wielkich sieciach napowietrznych czyteż kablowych prąd uziemienia może osiągnąć wielkość prądu zwarcia. Dlategoteż prądy uziemiające naogół nie powodują odłączania linij z uziemieniem dzięki przekaźnikom nadmiarowym. Gdyby to się stało, byłoby to dowodem, że uziemienie przeszło w zwarcie. Dlategoteż sprawa ochrony przed uziemieniami musi być traktowana zupełnie niezależnie od sprawy ochrony przeciwprzetężeniowej czyteż przeciwzwarciowej, tembardziej, że — jak już zaznaczyliśmy — rozpatrujemy sieci o nieuziemionym punkcie zerowym; w europejskich urządzeniach elektrycznych nie stosuje się na wysokich napięciach bezpośredniego uziemienia punktu zerowego tak, że nie każde uziemienie powoduje zwarcie. Zagadnienie ochrony przeciw uziemieniom idzie w trzech kierunkach, a mianowicie: I) skompensowania prądów uziemienia, II) odłączenia uziemionego odcinka, III) podziału sieci.

## *I. Kompensacja prądów uziemienia.*

### 1) W linjach jedno- i wielotorowych, połączonych z sobą metalicznie. (Idea prof. Petersena).

Osiągnięcie głównego celu, t. j. utrzymania w ruchu urządzeń pomimo uziemienia, bez narażania tych urządzeń na jakiekolwiek uszkodzenia, można osiągnąć przez skompensowanie prądów uziemienia. Kompensacja prądów uziemienia została zastosowana poraz pierwszy w elektrowni wodnej Altwürttemberg pod Stuttgartem przez profesora Petersena i oparta jest na spostrzeżeniu, że płynące podczas uziemienia prądy $J_S$ i $J_R$ (zakładamy, że faza $T$ jest uziemiona, rys. 211) są prądami czysto pojemnościowemi, a więc, że wyprzedzają napięcia o 90°. Prąd wypadkowy z geometrycznej sumy tych prądów $\hat{J}_{uz} = \hat{J}_S + \hat{J}_R$, tzw. prąd uziemienia będzie skompensowany wówczas, gdy jego drogą przepuścimy prąd równy mu co do wielkości, lecz odwrotnie skierowany, a więc o 90° opóźniony w stosunku do napięcia fazy uziemionej, t. j. prąd indukcyjny $J'_g$. Pomijamy przytem pojemności międzyprzewodowe oraz płynące skutkiem tego prądy jako nie biorące udziału w rozpatrywanem przez nas zjawisku.

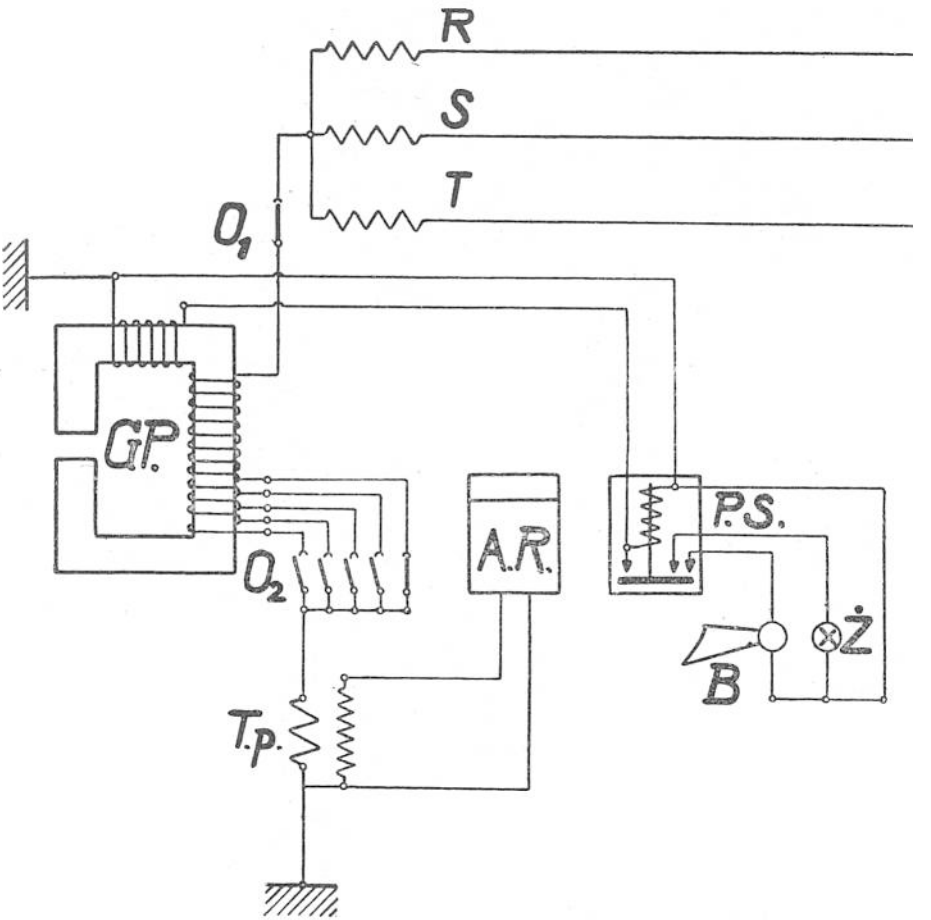


Rys. 211. Wykres kompensacji prądów.

*a) Dławik gaszący Petersen'a.* Do badań swych prof. Petersen użył jednobiegunowego dławika z żelazem *G.P.*, włączonego pomiędzy punkt gwiazdowy transformatora i ziemię (rys. 212). Kompensacja prądu uziemienia będzie zupełna, gdy dławik tak dostroimy, że przy częstotliwości roboczej osiągniemy rezonans pomiędzy indukcyjnością dławika, a wypadkową pojemnością sieci. Stanie się to wówczas, gdy:

$$\omega L = \frac{1}{3\omega C}, \text{ t. j. gdy } 3LC = \frac{1}{\omega^2},$$

gdzie $\omega = 2\pi f$ dla prądu 50-okresowego = 314. Jednakże wzór ten jednocześnie wyraża warunek rezonansu napięć, którego osiągnięcie wprowadziłoby do urządzeń nowe niebezpieczeństwo. Toteż Petersen w dławikach swych unika rezonansu napięć przez bardzo silne magnetyczne nasy-

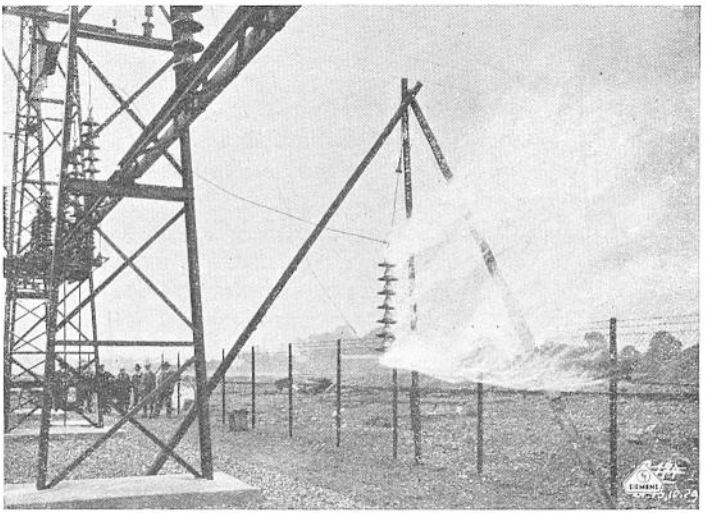



Rys. 212. Schemat dławika gaszącego Petersen'a.

cenie żelaza. W chwili zgaśnięcia łuku elektrycznego zaczyna działać obwód drgający, złożony z pojemności sieci względem ziemi oraz z dostrojonej do tej pojemności indukcyjności dławika. Skutkiem tego powstaną drgania o częstotliwości prądu roboczego, t. j. 50 okresów/sek., które powoli zostaną stłumione oporami obwodu drgającego. Skutkiem tego napięcie na dławiku powoli spada do zera i jednocześnie również powoli rośnie napięcie fazowe uziemionej fazy. Sieć więc wraca do tego samego stanu pracy, w jakim znajdowała się przed wystąpieniem uziemienia pomimo, że

uziemienie istnieje nadal. Nazewnątrz działanie dławika ujawnia się przez zgaszenie łuku elektrycznego (rys. 213 i 214), dlatego też służące do tego celu dławiki nazywamy dławikami gaszącemi (f. le bobine d'extinction lub de compensation, n. Löschspule lub Erdschlusspule).

Dla uproszczenia rozważań uważaliśmy do tej pory kompensację prądów za zupełną. Jednakże tak nie jest, gdyż z jednej strony mamy straty

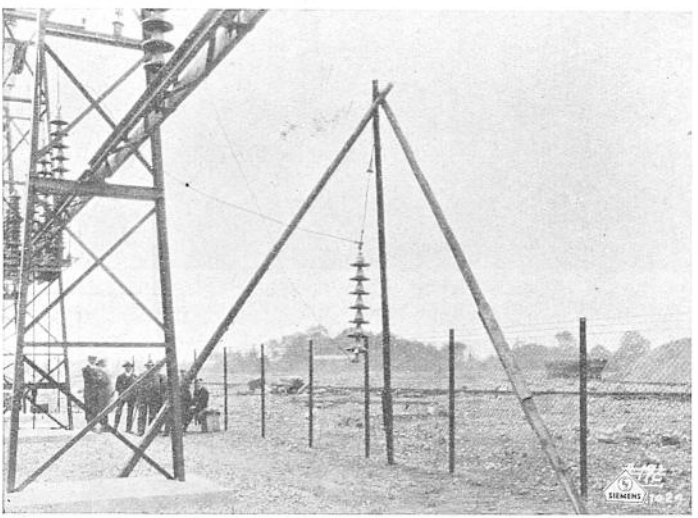


Rys. 213. Łuk o prądzie uziemienia 60 A, powstały w sieci 100 kV, niezaopatrzonej w dławiki gaszące.

watowe $J_{sp}$ (rys. 211) w przewodach, w izolacji i w ziemi, a z drugiej strony $J_{sg}$ w dławiku, wobec czego prądy $J_g$ płynące przez dławik gaszący nie znoszą całkowicie prądu uziemienia $J_{uz}$. Pozostaje nieskompensowana pewna reszta prądu $J_w$, będącego oczywiście w fazie z napięciem. Reszta ta nie przekracza zresztą 6% do 10% całkowitego prądu uziemienia w sieciach napowietrznych, a w sieciach kablowych jest ona jeszcze mniejsza. Ta reszta prądu zależy oczywiście od izolacji, a więc od zanieczyszczeń, pogody i t. d. i może się z tej racji powiększyć o 30%. Składa się ona z upływu na izolatorach, z prądów na straty dielektryczne w kablach, z ulotu na koronę; a pozatem przez dławik gaszący mogą płynąć pewne prądy wyprzedzające lub opóźniające, zależnie od dostrojenia dławika, t. j. od tego, czy prąd pojemnościowy uziemienia przewyższa prąd indukcyjny dławika gaszącego czyteż jest od niego mniejszy. Wówczas oczywiście reszta prądowa nie jest prądem mocnym, lecz zależnie od swych składowych prądem więcej lub mniej opóźnionym lub wyprzedzającym.

Dla orjentacji podamy, że w Berlinie w sieci kablowej 30 kV, o łącznej długości 1100 km, prąd uziemienia wynosi 2800 A. Reszta prądowa jest równa 130 A, a jej składowa mocna wynosi 100 A. Linja napowietrzna Berlin—Golpa, o napięciu 110 kV i długości 132 km, posiada prąd uziemienia wynoszący 42,5 A, w czem reszta prądowa wynosi 1,71 A.

Jednakże ta reszta prądu tylko do pewnych granic jest nieszkodliwa. Jak praktyka wskazuje, dla zabezpieczenia urządzeń przed skutkami uziemienia kompensacja zupełna nie jest konieczna i dławiki gaszące spełniają zadowalająco swą rolę przy dostrojeniu ich, różniącem się od prądu uziemienia danej sieci nawet o plus minus 25%. Ta właściwość dławików gaszących jest oczywiście korzystna, gdyż poszczególne fazy danego toru przeważnie mają niejednakową pojemność w stosunku do ziemi i różnice te mogą dochodzić do 10%; korzystną jest również ta okoliczność, że dołączanie lub odłączanie pewnych odcinków sieci, a więc, mówiąc ogólnie, zmiana pojemności sieci, nie wymaga ciągłej regulacji indukcyjności dławika. Stosując do istniejącej już sieci dławik gaszący przestrojony o plus 25%, mamy możność powiększania sieci do minus 25%, a więc do 50% jej stanu pojemnościowego od chwili ustawienia dławika gaszącego. Jestto jednakże ograniczone tem, że wraz z rosnącą resztą prądową rośnie długość łuku i tem częściej uziemienie przechodzi w zwarcie. Granica gaszenia łuku przez dławiki jest ustalona resztą prądu, wynoszącą ok. 35 A, bez względu na to, w jakich częściach składa się ona z prądu mocnego, prądu powstałego z niedostrojenia dławika do rezonansu prądu lub z prądu wyższych harmonicznych. Przytem jest rzeczą obojętną, czy reszta prądowa jest pojemnościowa czy indukcyjna. Również łuk gaśnie tem wolniej, im większa jest reszta, a więc im większe jest rozstrojenie. Zresztą o ile w sieci całkowicie

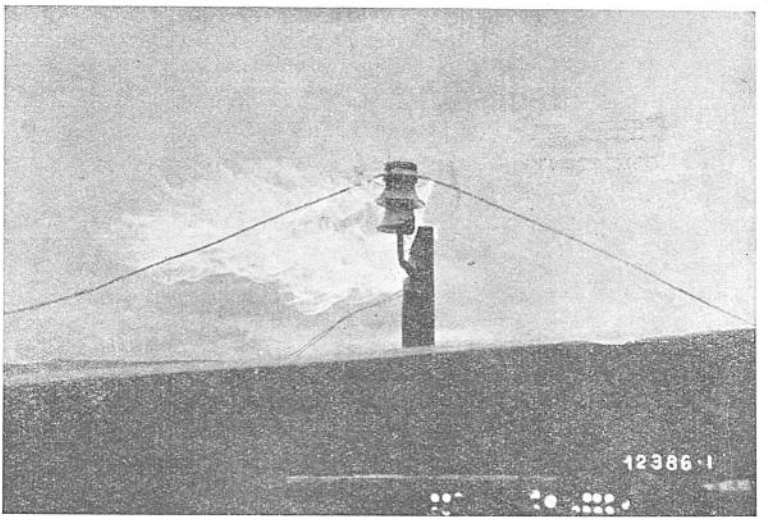


Rys. 214. Łuk o reszcie prądowej 7 A ind., powstały w sieci 100 kV, zaopatrzonej w dławiki gaszące.

skompensowanej łuk gaśnie po upływie 2½ okresów, t. j. po 0,05 sek., to przy dławikach, pracujących z rozstrojeniem, wynoszącem np. 30 A, łuk i tak gaśnie, lecz dopiero po upływie 3 sek. lub później, zależnie od prędkości, z jaką w danej chwili wiatr wieje. Jednak przy większej reszcie, od 40 A, nawet dość silne wiatry mogą już łuku nie zgasić. W każdym razie, zachowując rozstrojenie nie osiągające może 35 A, lecz dla pewności

pracy tylko 20 A, możemy być pewni, że łuk zgaśnie, nawet gdyby dławik był nastrojony na prąd wobec tej reszty stosunkowo mały. Stąd wynika, że nie potrzeba zbyt dokładnie dostrajać dławików gaszących do każdoczesnego stanu roboczego sieci.

Jednakże zadowalająca kompensacja będzie naruszona z chwilą, gdy odłączymy lub dołączymy odcinki sieci o takiej pojemności, że przekroczymy dopuszczalne różnice w dostrojeniu zupełnem (rys. 215). Aby tego uniknąć i z prowadzenia ruchu elektrycznego wykluczyć czynnik krępujący w dokonywaniu zmian ruchowych sieci, dławiki gaszące zaopatrzone są w zaczepy, dozwalające skokami dostosowywać dostrojenie ich do każdoczesnego stanu sieci. Dostrojenie to może się odbywać zarówno ręcznie jak i zapomocą silnika sterowanego zdala bądźto sposobem bezpośrednim druto-




Rys. 215. Niezgaszony łuk w przypadku nazbyt wielkiego niedostrojenia dławika gaszącego.

wym, bądźteż przy zastosowaniu wysokiej częstotliwości, t. j. wzdłużprzewodowo. Zarówno przy wielkich sieciach, większych sieciach okręgowych, jak i w przewidywaniu programowej lub przygodnej odosobnionej pracy pewnych części zespołu koniecznem jest stosowanie wielu dławików gaszących dla umożliwienia celowego podziału sieci. Z tego względu miejsca ustawienia dławików gaszących powinny być celowo wybrane, a odległość między niemi nie powinna być zbyt wielka. Zależy ona zresztą od wysokości napięcia roboczego sieci: naprzykład przy 50 okr./sek. i 220 kV odległość ta nie powinna przekraczać ok. 300 km.

W związku z dostrajaniem dławików gaszących ciekawem byłoby zdanie sobie sprawy z rozmiaru zmian długości sieci, które powodują przekroczenie granicznej wielkości reszty prądowej, ustalonej przez nas poprzednio w wysokości 20 A. Jak wiemy, prąd uziemienia możemy określić w przybliżeniu według wzoru:

$$J_{uz} = \left( \frac{J_{wł}}{10 \,.\, 100} \,.\, E \,.\, l \right) \text{ amp.},$$

gdzie $J_{wł}$ jest natężeniem tzw. właściwego prądu ładowania, t. j. odniesionego do sieci o napięciu 10 kV i długości 100 km; „E" jest napięciem międzyprzewodowem w kV, a „$l$" długością sieci w km. Nie będziemy się tu zastanawiali nad wielkością właściwego prądu ładowania dla poszczególnych sieci, a więc kablowych i napowietrznych, dla różnych napięć, przekrojów, odległości międzyprzewodowych, układu przewodów na słupie, rozmieszczenia linek ochronnych uziemionych, wysokości zawieszenia i zwisów. Bliżej zainteresowanych tą sprawą odsyłamy do stosownej literatury, podanej na końcu niniejszej pracy. Dla naszych celów wystarczy założenie, że dla pewnego określonego sposobu budowy sieci obowiązuje wzór:

$$J_{uz} = (0{,}003 \,.\, E \,.\, l) \text{ amp.}$$

Zgodnie z naszem założeniem $J_{uz} \leqslant 20$ A. Wobec tego:

$$E \,.\, l = \frac{20}{0{,}003} = \text{okr. } 6\,660,$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| stąd np. dla | 30 kV | $l =$ | 222 km |
| „ | 60 „ | $l =$ | 111 „ |
| „ | 100 „ | $l =$ | 67 „ |
| „ | 220 „ | $l =$ | 30 „ |

Z powyższego widzimy, że szczególną uwagę zwrócić musimy na dostrajanie dławików do zmian w sieciach najwyższych napięć, powodowanych dołączaniem lub odłączaniem poszczególnych linij. Z tego jednak nie wynika, że należy posługiwać się dławikiem o wielkim zakresie regulacji z odpowiednio wielką ilością zaczepów; musimy bowiem uzgodnić względy handlowe ze względami technicznemi, mianowicie przekrój przewodów dławika gaszącego musi być dostosowany do największego prądu uziemienia, a ilość jego zwojów do najmniejszego prądu uziemienia. Zamiast więc ustawiać jeden dławik, zastosujemy, ze względu na gospodarność, dwa dławiki o mniejszych zakresach regulacji aniżeli jeden wielki. Będzie nas to spewnością mniej kosztowało tembardziej, że takie ograniczenie w dławiku prądu kompensującego pozwala na zastosowanie słabszej izolacji dławika regulującego kompensację.

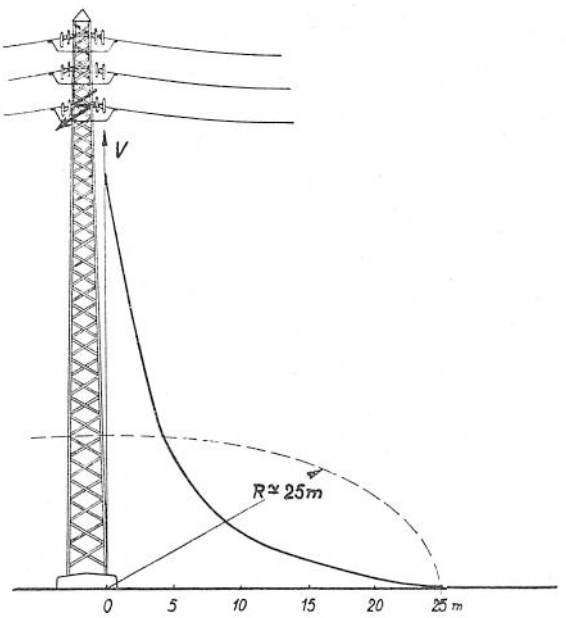
Dla umożliwienia dobrego działania dławików gaszących przy wyższych napięciach konieczne jest wyrównanie pojemności poszczególnych faz. W tym celu wskazany jest częsty przeplot faz; celową rzeczą jest często również umieszczanie przewodu uziemionego nietylko ponad przewodami roboczemi, lecz nawet i w środku między niemi.

Rozumie się, że zmiany w dostrojeniu dławików gaszących mogą być dokonywane jedynie wmiarę zmian ruchowych, zachodzących w sieci, a więc jedynie z polecenia C. B. R. O.

Dzięki zastosowaniu kompensacji prądów uziemienia możemy ruch sieci prowadzić dalej pomimo istniejącego uziemienia. Mamy więc czas na od-

szukanie uziemienia i, w celu usunięcia go, na odłączenie tylko tego odcinka sieci, w którym uziemienie wystąpiło, oraz na przystosowanie się do tej zmiany ruchowej.

Dławik gaszący właściwie stale znajduje się w gotowości do pracy, a pracuje tylko w czasie istnienia uziemienia. Może on być budowany na różną długość trwania pracy, nie wykluczając i pracy ciągłej. Przy doborze dławików gaszących musimy więc zwrócić uwagę na to, że jeżeli w poszczególnych częściach sieci zainstalujemy dławiki takie o różnotrwałej zdolności pracy, krańcowo mówiąc, w jednej części sieci ustawimy dławik krótkoczasowy, a w drugiej dławik o pracy ciągłej, to w przypadku wystąpienia uziemienia po upływie krótkiego czasu dławik gaszący pierwszej części sieci będziemy musieli odłączyć, przez co kompensacja może stracić na wartości.




Rys. 216. Rozkład potencjału dookoła żelaznego słupa z przebitym izolatorem.

W miejscu uziemienia oczywiście ziemia przyjmuje potencjał przewodu uziemionego. Potencjał ten wmiarę oddalania się od tego miejsca spada początkowo raptownie (rys. 216), później łagodnie, aż wreszcie w promieniu około 25 m ziemia ma znów potencjał równy zeru. O ile w strefę uziemienia, a więc w obręb koła, zakreślonego promieniem 25 m naokoło miejsca uziemienia, wejdzie człowiek lub jakakolwiek inna istota żyjąca, to może się zdarzyć, że różnica potencjałów w odległości 1 kroku, t. j. około 75 cm, może być tak wielka, bo wynosząca np. $V_{kr} = 200$ woltów, że zagrażać to będzie życiu danej istoty. Dławik gaszący, zmniejszając prąd płynący przez uziemienie zaledwie do paru procent (w tym samym stosunku zmniejsza się napięcie krokowe), zmniejsza niebezpieczeństwo to bardzo wydatnie, o ile zupełnie go nie usuwa.

Podobne niebezpieczeństwo grozić będzie wówczas, gdy ulegnie uziemieniu jedna faza kabla podziemnego. Najczęściej dzieje się to w mufach kablowych źle zalanych masą kablową, lub w mufach nieszczelnych, uszkodzonych. Wówczas po deszczu wilgoć dostaje się przez szczeliny do jednej z faz, powodując jej uziemienie. Następuje wtedy bryłowy rozkład potencjału, podobny do przedstawionego na rys. 216. Uziemienia takie są powrotne, t. j. po ustaleniu się pogody, wyparowaniu wody z najbliższego otoczenia uszkodzonej mufy i wyschnięciu ziemi uziemienie niknie, a wznawia się przy ponownem zawilgoceniu ziemi i wówczas powierzchnia

ziemi, ograniczona kołem o promieniu 25 m, zatoczonem z punktu uziemionego (mufy), staje się niebezpieczna dla istot żyjących wobec dużej różnicy potencjałów, panującej w odstępach jednokrokowych.

Tak więc dławiki gaszące znoszą całkowicie lub ograniczają prądy uziemienia do wielkości obranej przez nas, nie dopuszczają do powstania łuku, gaszą go, wykluczają powstanie wszystkich tych przepięć oraz tych oddziaływań na sąsiednie przewody, które mają swe źródło w uziemieniach. Dzięki zastosowaniu dławików gaszących ilość przerw ruchu elektrycznego redukuje się znakomicie. Według Rüdenberga całkowita ilość zakłóceń ruchu elektrycznego dzieli się następująco:

| | |
|---|---|
| w generatorach . . . . . | 0,3% |
| w transformatorach . . . . . | 2,1% |
| w urządzeniach rozdzielczych . . | 15,5% |
| w przewodach napowietrznych . . | 79,2% |
| w kablach . . . . . | 2,9% |
| Razem: . . | 100,0% |

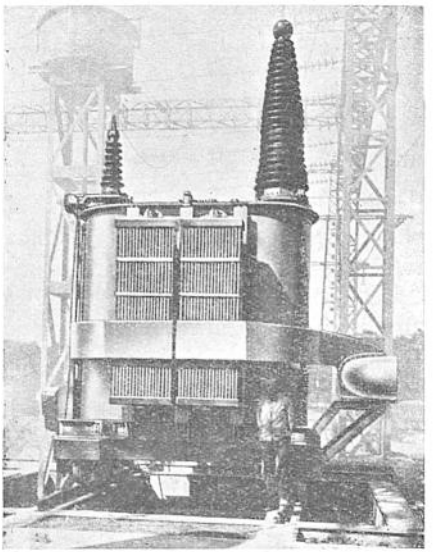
Według Electrical Engineering oraz Bulletin SEV uziemienia stanowią 80% wszystkich zakłóceń sieci napowietrznych, przyczem 96% tej ilości nie wyrządza szkód, o ile zastosowano dławik gaszący. Dzięki takiemu zastosowaniu pozbywamy się: $0{,}80 \times 0{,}96 = 0{,}768$, t. j. 76,8% zaburzeń sieci, czyli w samych sieciach napowietrznych zmniejszamy ogólną ilość zakłóceń o: $0{,}792 \times 0{,}768 \simeq 0{,}61$, t. j. 61%.

Szczególnie ważną i bezwzględnie konieczną rolę odgrywają dławiki gaszące w sieciach kablowych, w których każde uziemienie bez takiego dławika prowadzi do zwarcia. Należy przytem zwrócić uwagę i na tę okoliczność, że prąd uziemienia przeważnie będzie płynął przez płaszcz metalowy kabli; dlategoteż płaszcze poszczególnych odcinków kablowych powinny być nadzwyczaj starannie na mufach kablowych łączone z sobą przewodem o przekroju wystarczającym dla przewidywanego największego prądu uziemienia. W przeciwnym razie nastąpią iskrzenia i związane z tem dalsze uszkodzenia sieci.

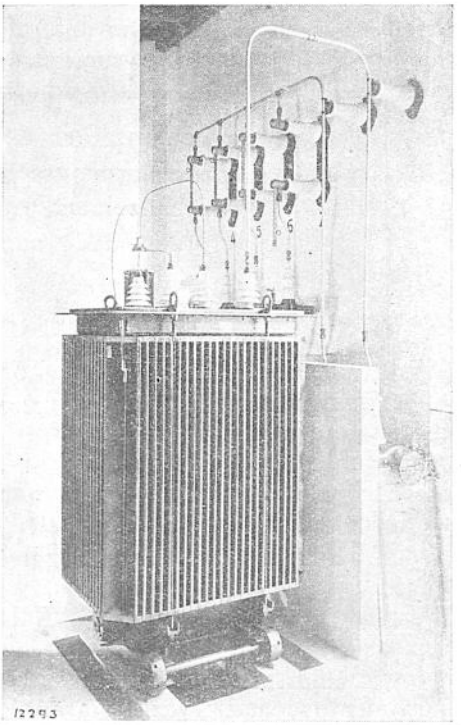
Wreszcie łatwo można zauważyć, że dławiki gaszące odgrywają jednocześnie rolę dławików uziemiających, odprowadzających ładunki statyczne.

Dławiki gaszące oczywiście nie są bez wad, zresztą bardzo nielicznych. Do wad tych należy możliwość dostrojenia dławików tylko do określonej częstotliwości. Tymczasem w transformatorach o wysokiem magnetycznem nasyceniu mamy zniekształcenie krzywej napięcia. Wyższe harmoniczne tego zniekształcenia powodują znaczny wzrost reszty prądu uziemienia. Harmoniczne te nie mogą być skompensowane, gdyż dławiki gaszące mamy dostrojone tylko do 50-okresowej fali. Pozatem wyższe harmoniczne wywołują znaczny wzrost prądu magnesującego. Jednakże wobec możności usunięcia tej wady przez stosowanie transformatorów o małych prądach biegu jałowego, możemy nad tą wadą dławików gaszących, jak i innemi mniej ważnemi ich wadami przejść do porządku dziennego.

Na rys. 212 widzimy schemat połączeń wyżej omawianego dławika gaszącego Petersen'a G. P., który jest przyłączony do punktu gwiazdowego transformatora zapomocą zwykłego odłącznika $O_1$. Dławik ten dostrajamy zapomocą odłączników $O_2$, przyczem transformator miernikowy prądowy *T. p.* umożliwia dołączenie amperomierza rejestrującego *A. R.* Natomiast dodatkowe uzwojenie napięciowe, nawinięte na rdzeniu dławika, daje napięcie równe około 110 woltom na przekaźnik sygnalizacyjny *PS*; dzięki czemu uziemienie samoczynnie melduje się optycznie żarówką *Ż* i akustycznie brzęczykiem *B*.



Rys. 217. Dławik gaszący Petersen'a dla sieci napowietrznej o napięciu 220 kV.



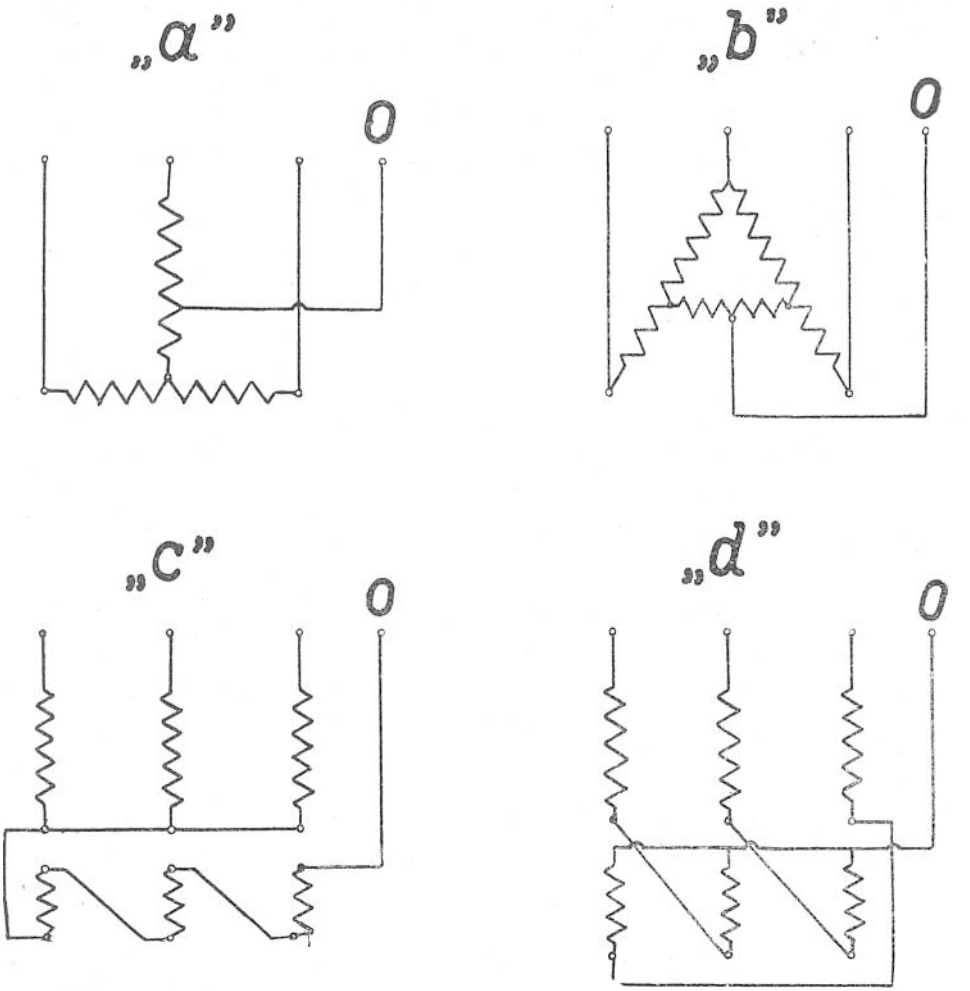
Rys. 218. Dławik gaszący dysonansowy BBC, 905 kVA, dla ochrony sieci o napięciu 55 kV.

Na rys. 217 widzimy fotografję dławika gaszącego Petersen'a dla sieci napowietrznej o napięciu 220 kV.

Przejdziemy teraz do krótkiego przeglądu innych pochodnych rozwiązań konstrukcyjnych. Przedtem jednak zaznaczyć musimy, iż dławiki gaszące Petersen'a zamawiać należy z uzwojeniem wtórnem, które jest potrzebne dla wskaźników uziemień, przekaźników, przyrządów rejestrujących i t. p.

*b) Dławik gaszący dysonansowy.* Klasyczne dławiki gaszące petersenowskie buduje firma AEG, natomiast firma BBC dostarcza je pod nazwą dysonansowych, z zasady nie zbliżając dławika do zupełnego dostrojenia tak, że różnica wynosi ± 15%. O ile więc Petersen zabezpiecza się przed rezonansem napięć wysokiem nasyceniem żelaza, o tyle firma BBC osiąga takie zabezpieczenie przez niedostrojenie. Stąd też pochodzi nazwa

tego dławika. Na rys. 218 widzimy dławik gaszący dysonansowy firmy BBC dla mocy gaszenia: 28 A × 32,3 kV = 905 kVA, ochraniający sieć o napięciu roboczem ok. 55 kV. Punkty zerowe transformatorów doprowadzono do odłączników, umieszczonych na ścianie komory transformatoro-




Rys. 219. Układy połączeń dławików zerowych.

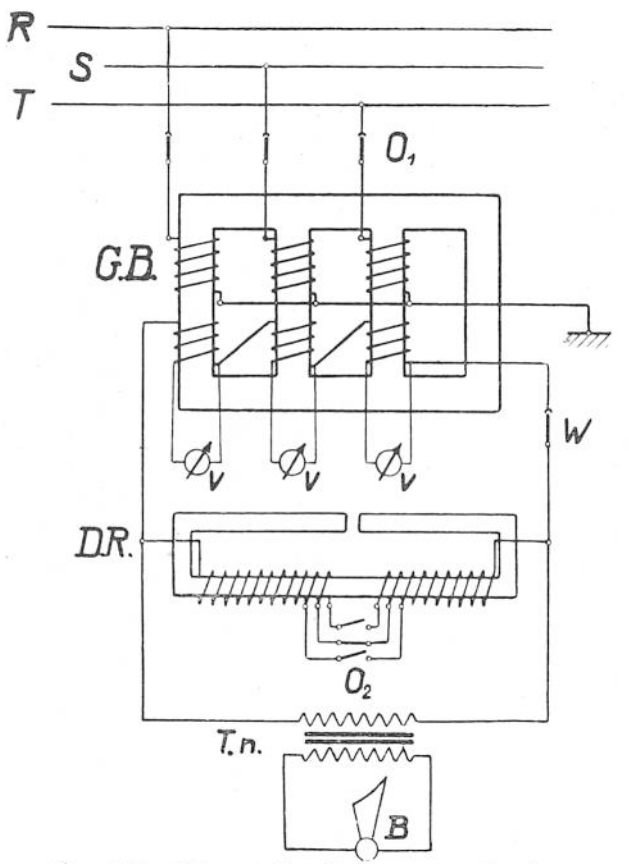
wej. Odłączniki te połączone są z wyłącznikiem olejowym, widocznym na rysunku. Zapomocą tego wyłącznika odbywa się włączanie i odłączanie dławika gaszącego.

Do wielkich zalet dławików gaszących: petersenowskiego oraz dysonansowego zaliczyć należy nadzwyczajną ich prostotę, nieosiągalną przy innych rozwiązaniach, zupełną zbyteczność stosowania dla nich specjalnych wyłączników olejowych i niepowodowanie strat energji gdy nie występują uziemienia. Natomiast przy zastosowaniu transformatorów po-

łączonych w trójkąt dla wyzyskania korzyści, wynikających z tego połączenia, natrafiamy na trudności w przyłączeniu każdego z tych dławików gaszących. Możemy być również skrępowani w wyborze miejsca ich ustawienia, gdyż miejsce to jest zawsze związane z punktem zerowym transformatora czyteż generatora. Pozatem, ze względu na dopuszczalne nagrzewanie się transformatora, moc dławików nie może przekroczyć niżej podanej części mocy transformatorów, do których zostały przyłączone, a mianowicie: przy układzie połączeń transformatorów $\lambda/\lambda = 10\%$

a „ „ „ „ $\Delta/\lambda = 20\%$

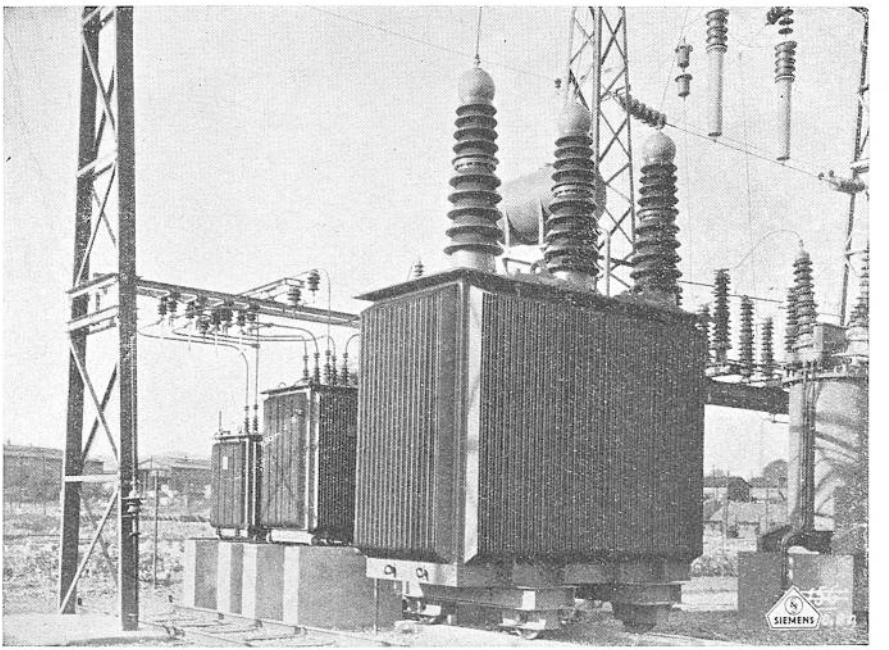
i to w założeniu, że praca dławika ograniczona jest do $2^h$. Celem uniknięcia tych niedogodności tworzymy w dowolnym punkcie sieci sztuczny punkt zerowy, do którego dołączamy dławik gaszący, przyczem posiłkujemy się specjalnemi dławikami t. zw. zerowemi (Nullpunkttransformator), które wykonywane są w ukadzie: a) Scotta, b) w układzie *A*, c) w układzie gwiazdowym z uzwojeniem kompensującem dławiące działanie prądu uziemienia, d) w układzie zygzakowym (rys. 219). Dławik taki nie może być oczywiście słabszy pod względem czasu pracy oraz pod względem mocy aniżeli dławik gaszący.



Rys. 220. Schemat dławika gaszącego Bauch'a.

*c) Dławik gaszący R. Baucha.* Firma Siemens & Schuckert buduje dławiki gaszące według systemu R. Baucha. Jestto transformator trójfazowy *G.B.* (rys. 220), którego uzwojenie pierwotne połączone jest w gwiazdę, a punkt zerowy tej gwiazdy uziemia się. Uzwojenie wtórne, zaopatrzone w woltomierz *V*, jest połączone szeregowo; do uzwojenia tego dołącza się dławik jednofazowy *D. R.* z zaczepami dla regulacji prądu indukcyjnego oraz miernikowy transformator napięciowy *T. n.* dla pomiaru napięcia gwiazdowego, dla celów sygnalizacyjnych i t. p. Reszta prądowa w tym dławiku gaszącym jest większa niż w dławiku petersenowskim, gdyż dochodzą

tu jeszcze straty w żelazie, w obwodzie wtórnym i t. d. Dławik gaszący dołącza się do sieci i odłącza zapomocą zwykłych odłączników $O_1$, lecz przedtem musi być rozwarty obwód regulujący zapomocą wyłącznika olejowego $W$ (bez przekaźników). Dławikiem $D.R.$ regulujemy indukcyjność zapomocą zaczepów, zmienianych odłącznikami $O_2$. Prąd płynie przez dławik oczywiście tylko podczas uziemienia i wówczas dławik gaszący wraz z dławikiem stanowi indukcyjne obciążenie, przyłączone między punktem zerowym a ziemią. Normalnie więc przez dławik płynie tylko stosunkowo niewielki prąd magnesujący. Ze względu na ograniczenie kosztów dławik

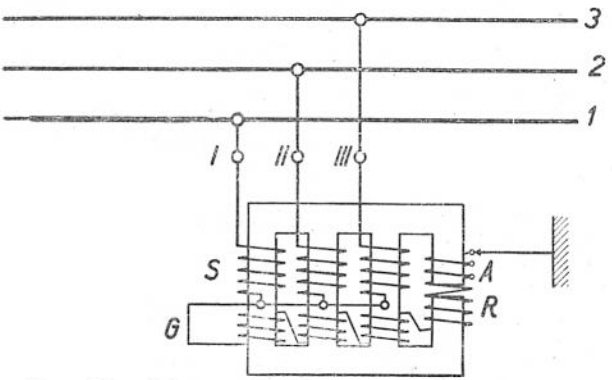



Rys. 221. Dławik gaszący Bauch'a o mocy gaszenia 7 000 kVA, ustawiony na stacji rozdzielczej napowietrznej dla sieci 100 kV.

gaszący najczęściej buduje się dla kompensacji krótkotrwałej, normalnie dwugodzinnej. Po upływie tego czasu dławik gaszący musi być odłączony od sieci. Na rys. 221 widzimy dławik gaszący Baucha, ustawiony w rozdzielni napowietrznej. Dławik ten zbudowany jest dla mocy kompensacyjnej 7 000 kVA i pracuje w sieci o napięciu 100 kV. Za dławikiem gaszącym widzimy dławik regulujący, a jeszcze dalej transformator miernikowy napięciowy pod odłącznikami zaczepów dławika regulującego.

*d) Dławik gaszący Reithoffera.* Firma Elin dostarcza dławiki gaszące zbudowane według Reithoffera. Dławik ten składa się jakgdyby z czterech dławików jednobiegunowych magnetycznie sprzężonych (rys. 222), z których trzy połączone są w gwiazdę; na każdym z tych trzech rdzeni nawinięte są dodatkowe dławiki o kierunku przeciwnym do dławików głównych. Dodatkowe dławiki połączone są z sobą szeregowo, przyczem jeden

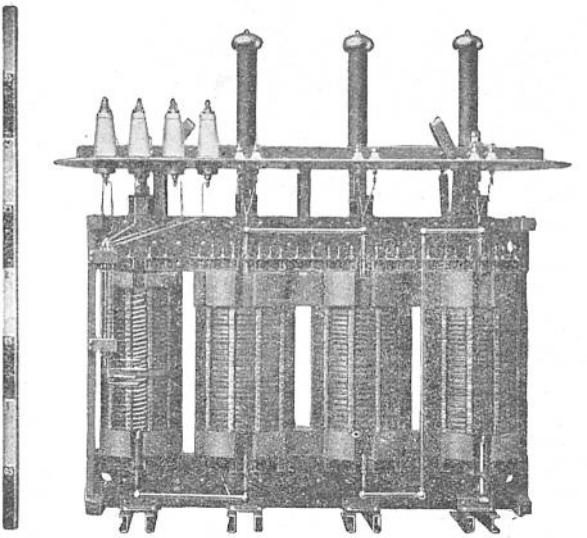
koniec tego szeregu łączy się z punktem zerowym dławika głównego, a drugi uziemia się zapomocą czwartego dławika regulującego z zaczepami, nawiniętego na czwartym rdzeniu ze szczeliną powietrzną. Uzwojenia wtórne, niewidoczne na rysunku, służą do przyłączenia wskaźników uziemienia optycznych, akustycznych i t. d. Dzięki wielkiej indukcyjności międzyfazowej dławika gaszącego, a małej indukcyjności między fazą a ziemią, dławik ten pracuje bardzo dobrze i ma małe zużycie prądu przy biegu jałowym. Rysunki 223 i 224 ilustrują dławik gaszący wyjęty z oleju i dławik zmontowany.



Rys. 222. Schemat dławika gaszącego Reithoffer'a.

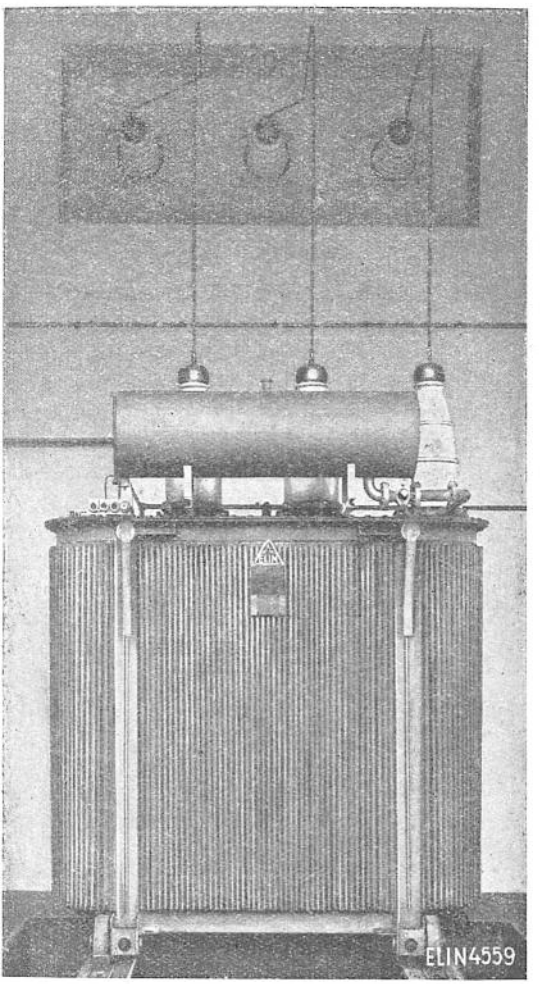
Należy jeszcze zauważyć, że dla przyłączenia dławika gaszącego Baucha i dławika Reithoffera zbyteczna jest dostępność punktu zerowego. Dzięki temu: 1° fale wędrowne nie atakują całą swą energją pierwszych zwojów transformatora, gdyż część tej energji wiąże z sobą dławik gaszący, 2° elektrostatyczne ładunki przepływają tylko przez sam dławik, a nie przez transformator i dzięki temu nie narażają transformatora na uszkodzenie.

2) W linjach dwutorowych, nie połączonych z sobą metalicznie lub nie zsynchronizowanych.

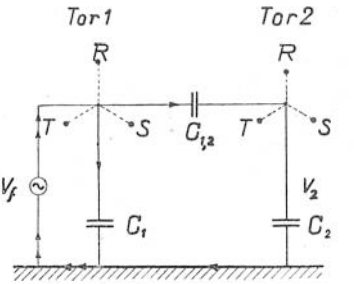

Rys. 223. Dławik gaszący Reithoffer'a wyjęty ze skrzyni olejowej.

Przy dzisiejszym wielkim rozwoju elektryfikacji coraz częściej zdarzają się przypadki prowadzenia na jednych i tych samych słupach dwóch torów linij elektrycznych o napięciach niezależnych od siebie. Możemy spotkać się tu z dwoma przypadkami, a mianowicie: 1° że linje te wprawdzie nie są połączone z sobą metalicznie, lecz jako zasilane z jednego źródła prądu, są z sobą w synchroniźmie — i 2° każdy z torów jest zasilany z innego źródła prądu, a więc tory nie są zsynchronizowane. W obu przy-

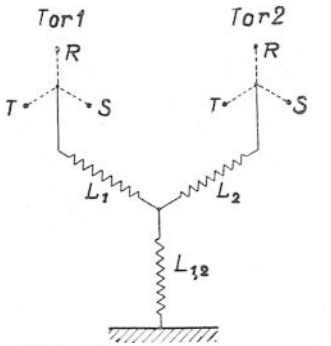
padkach pojemność torów względem siebie $C_{1,2}$ (rys. 225) jest tak duża, że uziemienie fazy jednego toru powoduje asymetrję napięć w stosunku do ziemi toru drugiego. Każdy z torów ma oczywiście pewną pojemność względem ziemi $C_1$ i $C_2$. Wrazie więc uziemienia jednej z faz, naprzykład toru 1, układ kondensatorów otrzymuje napięcie fazowe $V_f$ tego toru. Ponieważ chodzi nam o wyznaczenie napięcia, jakie wów-




Rys. 224. Dławik gaszący Reithoffer'a pracujący w sieci o napięciu 60 kV i o prądzie uziemienia 5 A.




Rys. 225. Oddziaływanie uziemienia jednej fazy toru 1 na elektrycznie niezależny tor 2, poprowadzony na słupach wspólnych dla obu torów.




Rys. 226. Kompensacja przesunięcia punktu zerowego w jednym torze, spowodowanego uziemieniem fazy toru drugiego.

czas otrzyma punkt zerowy toru 2, a więc napięcia, panującego na kondensatorze $C_2$, zajmiemy się tylko połączonemi w szereg kondensatorami $C_{1,2}$ i $C_2$. Jeżeli $Q$ oznaczać będzie ładunek, utrzymywany na tych kondensatorach, to możemy napisać:

$$V_f = Q \cdot \left( \frac{1}{C_{1,2}} + \frac{1}{C_2} \right)$$

lecz

$$Q = V_2 \cdot C_2$$

podstawiając więc otrzymamy:

$$V_f = V_2 \cdot C_2 \left(\frac{1}{C_{1,2}} + \frac{1}{C_2}\right) = V_2 \left(\frac{C_2 + C_{1,2}}{C_{1,2}}\right)$$

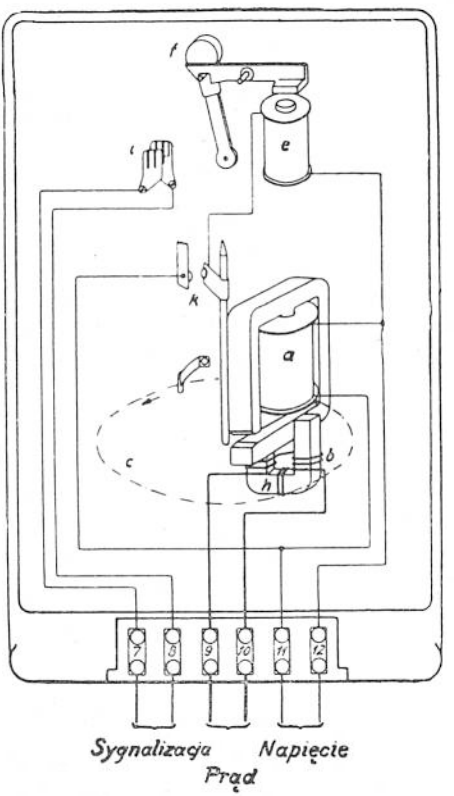
a stąd:

$$V_2 = V_f \frac{C_{1,2}}{C_2 + C_{1,2}}$$

Jeżeli więc: $C_2 = 3\,C_{1,2}$ to: $V_2 = 0{,}25\ V_f$

Takiej więc zmianie ulegnie punkt zerowy toru 2 wrazie wystąpienia uziemienia w torze 1.

Ze względu na corazto większą aktualność tej sprawy referowali ją na międzynarodowym kongresie elektrycznym w Paryżu w 1932 r. (CIE 1932, V. VI., str. 392) Schleicher i Huldschiner i omówili kilka sposobów skompensowania takiego wpływu. Sposoby te, w zasadzie nie różniące się między sobą, dadzą się sprowadzić do jednego z nich, a mianowicie do przedstawionego na rys. 226. Zostały więc zastosowane dwa dławiki gaszące $L_1$ i $L_2$, które łączą się z ziemią zapomocą wspólnego dławika $L_{1,2}$. Francuzi nazywają ten dławik „bobine (transformateur) de drainage", podczas gdy $L_1$ i $L_2$ noszą nazwę „bobines d'extinction". Wobec omówienia już poprzednio procesu kompensacji prądu uziemienia zasada działania rozważanego obecnie układu wynika bezpośrednio z rysunku i nie wymaga bliższych objaśnień.




Rys. 227. Przekaźnik uziemieniowy firmy AEG, model RE/w:
a — cewka napięcia zerowego układu watomierzowego, b — cewka prądu zerowego układu watomierzowego, c — krążek Ferraris'a, h — uzwojenie zwarte regulacyjne, e — magnes zapadki sygnalizacyjnej, f — zapadka sygnalizacyjna, i — kontakty obwodu sygnalizacyjnego, k — kontakt srebrny przekaźnika.

*II. Selekcja uziemionego odcinka.*

Odłączenie uziemionego odcinka jest najstarszą metodą walki z uziemieniami. Metodą tą posiłkujemy się obecnie powszechnie jedynie w przypadku jednoczesnego uziemienia dwóch faz, a to celem selekcyjnego odłączenia jednego tylko uziemienia w sposób, omówiony przez nas bliżej w rozdziale, dotyczącym lokalizowania zwarć. Natomiast drugie uziemienie traktujemy tak jak zwykłe uziemienie jednofazowe, t. j. unieszkodliwiamy je

dławikami gaszącemi. W ten sposób manipulacji odłączania uziemień nie sterujemy automatycznie prądami uziemienia, lecz sami wybieramy stosowną chwilę, wynikającą z warunków ruchu elektrycznego i odłączamy jedynie chromy odcinek dla przygotowanego usunięcia odszukanego już poprzednio miejsca uziemienia, o ile oczywiście uziemienie nie zostało już całkowicie zlikwidowane przez dławik gaszący.

Przekaźniki uziemieniowe służą nie tyle dla selekcyjnego odłączania uziemień, ile raczej dla sygnalizowania uziemienia, a działanie ich oparte jest na zasadzie watomierzowej (rys. 227), przyczem w sieciach z dławikami gaszącemi posługujemy się do tego celu czynną resztą prądu, mierzoną dzięki wtórnemu uzwojeniu dławików gaszących, podczas gdy w sieciach bez kompensacji wyzyskujemy niesymetrję rozkładu obciążeń, a mianowicie największy bezmocny prąd mamy na miejscu uziemienia, a najmniejszy na krańcach. W tym przypadku przekaźnik otrzymuje połączenie na prądy bezmocne (sin $\varphi$).

### *III. Podział sieci.*

Przy sieciach bardzo wielkich i przy obecnie stosowanych wielkich napięciach prądy uziemienia mogą osiągać wielkości bardzo duże, które w dodatku zwiększają się odpowiednio o około 10 — 20 — 30% w zależności od tego, czy zastosowano jedną, dwie lub trzy uziemione linki ochronne. W tych przypadkach korzystny jest podział sieci na zupełnie niezależne od siebie odcinki zapomocą specjalnych transformatorów, t. zw. izolujących, o przekładni 1 : 1. Twierdzenie to poprzemy następującym przykładem:

Jak wiemy, skutkiem uziemienia w sieciach mieszanych kablowo-napowietrznych najczęściej mogą powstać przepięcia rezonansowe, przekraczające 4,5-krotne napięcie robocze. Zdarzy się to wówczas, gdy częstotliwość drgań własnych obwodu, złożonego z wielkiej pojemności sieci kablowej i dużej indukcyjności sieci napowietrznej, będzie zbliżona do częstotliwości prądu roboczego. Prof. R. Rüdenberg w swem dziele p. t. „Elektrische Schaltvorgänge", Berlin 1933, na stronie 185 podaje przykład takiego przepięcia, powstałego w sieci trójfazowej $E = 10$ kV, $f = 50$ okr/sek. W sieci tej, w której sieć kablowa ma długość 250 km, prąd uziemienia wynosi:

$J_{uz} = 3\,\omega\,CE_f = \sqrt{3}\,.\,\omega\,CE = 180$ A, gdzie $E_f$ jest napięciem fazowem, a więc w naszym przykładzie $E_f = 10\,000 : \sqrt{3} = 5\,760$ woltów, $\omega = 2\,\pi f = 314$, stąd:

$$3\,C = \frac{180\,.\,10^6}{314\,.\,5\,760} = 100\ \mu F$$

Jeżeli teraz w linji napowietrznej, dołączonej bezpośrednio do sieci kablowej, powstanie uziemienie w odległości ok. 30 km od niej tak, że samoindukcja chromego przewodu wyniesie około $L = 75$ mH, to obwód uziemiony stanowić będzie obwód drgający o częstotliwości drgań własnych, wynoszącej około:

$$f_{uz} = \frac{1}{2\,\pi\,.\,\sqrt{L\,.\,C}} = \frac{1}{2\,\pi\,.\,\sqrt{75\,.\,10^{-3}\,.\,100\,.\,10^{-6}}} = 58\ \text{okr./sek.}$$

Skutkiem tak bliskiego sąsiedztwa z częstotliwością prądu roboczego powstaje przepięcie, wynoszące:

$$E_c' = \frac{E}{\sqrt{3}\left[1-\left(\frac{f}{f_{uz}}\right)^2\right]} = \frac{10\,000}{\sqrt{3}\left[1-\left(\frac{50}{58}\right)^2\right]} = 22\,600 \text{ woltów.}$$

Przejściowo w chwili łączenia przepięcie to osiągnie wysokość, wynoszącą prawie 22 600 × 2 = ok. 45 000 woltów, co oczywiście musi prowadzić do poważnych przebić. Rozumie się, że skutkiem rezonansu także prąd uziemienia wzrośnie do wielkości:

$$J'_{uz} = \frac{J_{uz}}{1-\left(\frac{f}{f_{uz}}\right)^2} = \frac{180}{1-\left(\frac{50}{58}\right)^2} = 705 \text{ A.}$$

Celem uniknięcia tego rodzaju niebezpieczeństw należy w podobnych przypadkach (np. sieć wielkomiejska kablowa, pracująca z siecią okręgową napowietrzną) sieć kablową odgraniczać elektrycznie od sieci napowietrznej transformatorami o przekładni choćby właśnie 1 : 1. Aby jednakże podział taki był skuteczny i aby skutki uziemienia jednego miejsca nie odbijały się ujemnie na całej sieci, pojemność uzwojenia pierwotnego w stosunku do wtórnego musi być możliwie jaknajmniejsza, w każdym razie nie przekraczająca setnych części mikrofarada.

## J. Przepięcia.

Terminem „przepięcia" będziemy określali wszelkie przejściowe zmiany potencjału jakiegokolwiek miejsca w urządzeniach lub sieciach elektrycznych, niespowodowane ustalonym stanem pracy tych urządzeń. Przepięcia te powodują nagły podskok napięcia między przewodami lub między przewodem a ziemią, narażając na uszkodzenie izolację, która jest obciążona natężeniem pola elektrycznego. Wymiary materji izolującej dobieramy z uwzględnieniem pewnego stopnia bezpieczeństwa stosownie do wytrzymałości elektrycznej użytego materjału oraz stosownie do różnicy potencjałów między częściami odizolowanemi od siebie. Między dwoma punktami odizolowanemi od siebie odpowiednio do napięcia znamionowego panującego między niemi, praktycznie żaden prąd nie płynie. Jeżeli jednak napięcie to wzrośnie, to, począwszy od pewnej jego wielkości granicznej, między temi punktami nastąpi najpierw wyładowanie świetlące, które przy dalszym wzroście napięcia przejdzie w wyładowanie w postaci słabych iskierek miejscowych, t. j. w t. zw. wyładowanie snopiące, któremu towarzyszą charakterystyczne trzaski, słyszane tak często w urządzeniach elektrycznych. Przy jeszcze wyższem napięciu następuje przeskok lub przebicie iskrowe i wówczas, o ile do elektrod dopływa stale przekraczająca pewne minimum energja, wyładowanie iskrowe przechodzi w wyładowanie łukowe. O ile pierwsze dwa wyładowania nie czynią żadnych szkód w izolacji lub uszkadzają ją w sposób powolny, o tyle wyładowanie iskrowe uszkadza izolację mechanicznie (przebicie) i chemicznie (rozkład np. oleju lub zwią-

zanie np. ozon). Wyładowanie łukowe natomiast powoduje uszkodzenie materjału izolacyjnego na drodze procesu cieplnego oraz chemicznego. Najstarszem przepięciem, z jakiem spotkała się ludzkość, są bezwątpienia znane w pełni swej grozy wyładowania atmosferyczne. Oczywiście z wszystkich innych rodzajów przepięć one pierwsze zaczęły zagrażać sieciom elektrycznym. Jeżeli rok 1891 będziemy uważali za rok narodzin techniki elektryfikacyjnej, a to z tego względu, że Oskar von Miller właśnie wówczas spowodował przeniesienie mocy 100 KM z elektrowni wodnej Lauffen na Nekarze do odległej od niej o 175 km wystawy we Frankfurcie nad Menem przy pomocy linji trójfazowej o napięciu roboczem 25 kV, to rok ten musimy uważać również za rok narodzin techniki przeciwprzepięciowej. Bezsilność człowieka wobec piorunów, nieuchwytność badawcza przebiegu wyładowań atmosferycznych spowodowała z konieczności chwilowe zrezygnowanie z obrony przeciwko tym zjawiskom; toteż przedewszystkiem wytężono siły nad badaniami, dotyczącemi zjawisk dostępniejszych, które mają swe źródło albo w organiźmie technicznym albotеż w obsłudze tego organizmu. Dotychczas jednak i te zjawiska oraz sposoby walki z niemi nie są jeszcze należycie zbadane i ustalone i pod tym względem poglądy poszczególnych badaczy różnią się między sobą. Jednakże wyniki prac Campos'a, Giles'a, Petersen'a, Steinmetz'a, Thomas'a, K. W. Wagner'a i innych oraz ulepszone metody badań, udoskonalone przyrządy, wynalazek klydonografu i oscylografu katodowego pozwalają na pomiar przepięcia oraz badanie jego przebiegu w czasie oraz wogóle na dokładniejsze badania. Dzięki pracom Dr. Norinder'a, prof. Rogowskiego, Toepler'a, Haralda Müllera, W. W. Lewis'a, G. C. Simpson'a, Matthias'a, F. W. Peek'a jr., C. L. Fortescu'a, D. Müller-Hillebrand'a i innych zdołano poznać przepięcia o tyle, że obecnie możemy już dość skutecznie bronić się przed niemi. A ponieważ już w roku 1930 w laboratorjum w Pittsfield F. W. Peek jr. dysponował urządzeniem, pozwalającem na wyładowania o napięciu 10 miljonów woltów, bardzo zbliżone swym charakterem do wyładowań atmosferycznych, przeto bezbronność człowieka przed piorunami, jakkolwiek nie zostały one jeszcze opanowane, znacznie zmalała dzięki bliższemu ich poznaniu.

## *I. Rodzaje przepięć.*

Przepięcia elektryczne mogą powstawać skutkiem zmian stanu roboczego sieci wobec samoindukcji i pojemności urządzeń. Tego rodzaju przepięcia zaliczamy do kategorji przepięć wewnętrznych; są one niejako prowokowane przez obsługę urządzeń elektrycznych lub przez odbiorców energji elektrycznej skutkiem nagłego przerwania dopływu prądu lub nagłego włączenia, skutkiem nagłego zmniejszenia się obciążenia lub jego zwiększenia. Przepięcia tej kategorji mogą być spowodowane także organicznemi właściwościami urządzeń.

Drugi rodzaj przepięć stanowią t. zw. przepięcia zewnętrzne, które są powodowane oddziaływaniem na urządzenia ładunków elektryczności atmosferycznej i to bez względu na to, czy mamy do czynienia ze zjawiskami atmosferycznemi o przebiegu spokojnym czyteż z wyładowaniami w postaci błyskawicy lub pioruna.

Siedliskiem energji przepięć jest z jednej strony pole elektryczne urządzeń, a więc pojemność przewodów względem siebie lub względem ziemi, rozporządzająca energją elektryczną $W_c = {}^1/_2 CU^2$, gdzie $U$ jest napięciem na kondensatorze. Z drugiej strony siedliskiem energji przepięć jest pole magnetyczne, a więc indukcyjność urządzeń, magazynująca w sobie energję magnetyczną $W_L = {}^1/_2 LJ^2$, gdzie $J$ jest prądem, płynącym w obwodzie. Całkowita suma energji elektromagnetycznej wynosi więc $W = {}^1/_2 (CU^2 + LJ^2)$. Energja ta wmiarę upływu czasu niknie skutkiem przemiany na ciepło w oporności czynnej i skutkiem upływu poprzez izolację.

Forma przepięcia zależy z jednej strony od przyczyn, jakie ją powodują, a z drugiej strony od wielkości i rozmieszczenia stałych obwodu, przedewszystkiem od $C$, $L$ i $R$. W najprostszym przypadku, gdy dane te są skupione, mamy do czynienia z obwodem podobnym do obwodu drgającego Thomson'a, w którym indukcyjność mamy w generatorze, a oporność czynną w przewodach, łączących generator z pojemnością, t. j. z siecią kablową, narazie otwartą. Jak wiemy, częstotliwość drgań własnych takiego obwodu wynosi:

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2},$$

a ponieważ $\frac{R}{2L}$ jako bardzo małe możemy pominąć, przeto:

$$f_s = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

W obwodzie tym drgania mogą powstać tylko wówczas, gdy $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ i ulegają większemu lub mniejszemu tłumieniu. Powstające w ten sposób napięcie ma kształt ciągu fal drgających (rys. 228 „a").

Jeżeli natomiast $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$, wówczas obwód jest aperjodyczny i żadne drgania w nim nie powstaną.

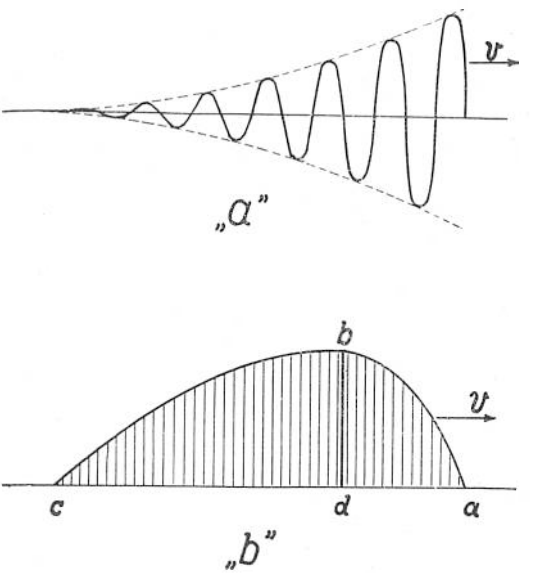
W przypadku gdy mamy obwód, w którym stałe $R$, $L$ oraz $C$ są mniejwięcej równomiernie rozłożone, przepięcia mają zupełnie inny przebieg, a mianowicie odbywają się w postaci dwóch fal biegnących wzdłuż przewodów w przeciwnych kierunkach z prędkością $v$, jak wiemy równą $\frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}}$ lub $v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, gdzie $\varepsilon = 1{,}0006$ jest stałą dielektryczną środowiska, t. j. dla przewodów napowietrznych powietrza okalającego przewód; dla kabli $\varepsilon = 4$ (papieru); $\mu$ jest przenikalnością magnetyczną środowiska, w naszych przypadkach mało różniącą się od 1; $c_0 \simeq 300\,000$ km/sek. jest prędkością rozchodzenia się światła.

Jeżeli zauważymy, że przewody napowietrzne posiadają stałe o średniej wielkości: $L = 1{,}67$ μ H/km, a $C = 0{,}0067$ μ F/km; kable natomiast: $L = 0{,}33$ μH /km oraz $C = 0{,}133$ μ F/km, to podstawiając te stałe do wzoru wyżej podanego przekonamy się, że fale wędrowne rozchodzą się wzdłuż

przewodów napowietrznych z prędkością prawie równą prędkości rozchodzenia się światła, t. j. $v \simeq 300\,000$ km/sek., a z połową tej prędkości, t. j. $v \simeq 150\,000$ km/sek., wzdłuż kabli.

Fala skutkiem swego ruchu postępowego nazywa się falą wędrowną.

Ze względu na dalsze rozważania ustalimy obecnie pewne terminy, któremi nadal będziemy się posiłkowali. Kształt fali wędrownej odbiega znacznie od kształtu sinusoidy, jak to jest zresztą widoczne na rys. 228 „b", przedstawiającym falę wędrowną. Linje pionowe wskazują wielkość napięcia (lub też prądu) fali wzdłuż przewodu. Największą z tych wielkości nazywać będziemy amplitudą napięcia fali „*bd*", natomiast „*ba*" nazywamy czołem fali; „*ad*" jest długością czoła fali. Jeżeli „*bd*" jest duże, a „*da*" małe, to mówiwy, że czoło fali jest strome, a falę taką nazywamy falą uskokową. Jeżeli natomiast „*da*" jest stosunkowo wielkie w porównaniu do „*bd*", wówczas mówimy o łagodnem czole fali. Pozostałą część „*bc*" fali nazywamy grzbietem fali, a „*dc*" długością grzbietu fali. Grzbiet fali może być oczywiście wypukły, wklęsły, prosty, a zależnie od długości „*dc*" krótki lub długi. Natomiast odpowiednio do wielkości „*ac*" dzielimy fale na długie i krótkie. W krańcowym przypadku mówimy o nieskończenie długiej fali i wówczas wyobrażamy sobie, że grzbiet fali biegnie prostolinijnie, równolegle do przewodu. Jeżeli przytem „*ad*" byłoby równe, a raczej prawie równe zeru (zazwyczaj „*ad*" $= 0{,}5\ \mu s$), to falę taką nazwalibyśmy falą o czole prostokątnem lub krótko falą prostokątną. Taki kształt czoła fala mogłaby utrzymać jedynie w środowisku bezoporowem, natomiast w środowisku, przeciwstawiającem ruchowi fali pewien opór, czoło fali i jej grzbiet ulegają, oczywiście bez względu na kształt, stopniowemu corazto silniejszemu złagodzeniu.



Rys. 228. „a" — ciąg fal drgających, „b" — fala wędrowna.

Fale elektryczne, napotykając na oporność czynną, zatracają się w niej przez zamianę na ciepło proporcjonalnie do wielkości tej oporności i kwadratu prądu fali, t. j. $W_c = R \cdot J^2$; zatracają się one także skutkiem upływu przez izolację w stosunku prostym do przewodności $G$ dielektryka i kwadratu napięcia fali, t. j. $W_u = G \cdot U^2$ tak, że energja, stracona przez falę, wynosi: $W_s = R.J^2 + G.U^2$. W ten sposób fala może całkowicie zniknąć.

Stromość czoła fali stanowi istotne niebezpieczeństwo dla urządzeń starszych, niepróbowanych falami uskokowemi, gdyż fala, uderzając naprzykład o uzwojenia takiego transformatora, może poddać najbliższe są-

siadujące z sobą lub z ziemią zwoje pod działanie zbyt wielkiej różnicy potencjałów, skutkiem czego izolacja ich może ulec przebiciu tembardziej, że fala wędrowna, tak jak i inne fale, np. głosowe, ulega odbiciu, co powoduje prawie że zdwojenie wysokości jej czoła.

Skutkiem ruchu fala wędrowna posiada zarówno energję elektryczną jak i magnetyczną.

$$W = W_c + W_L = {}^1/_2 . (CU^2 + LJ^2)$$

gdzie:

$$U = J . \sqrt{\frac{L}{C}} = J . Z$$

dlatego, że w każdym punkcie linji stosunek napięcia do prądu jakiejkolwiek fali jest stały i równy:

$$\frac{U}{J} = \sqrt[4]{\frac{R^2 + \omega^2 L^2}{G^2 + \omega^2 C^2}},$$

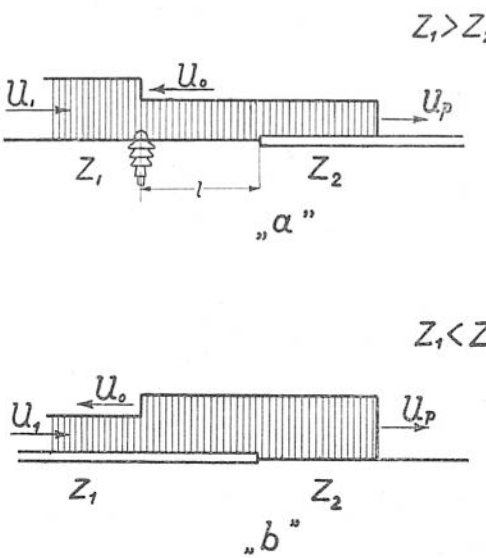
gdzie $R^2$ i $G^2$ są tak małe wobec $\omega^2 L^2$ i $\omega^2 C^2$, że możemy je pominąć.

Jak wiemy, stosunek $\sqrt{\frac{L}{C}}$ nazywa się opornością falową. Oporność falowa jest różna dla poszczególnych urządzeń i wynosi omów ($L$ w henrach na 1 km. linji i jeden przewód, $C$ w faradach na 1 km. długości linji i jeden przewód):

dla przewodów napowietrznych

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = 300 \div 600\ \Omega,$$

dla kabli oporność falowa $= 50 \div 150\ \Omega$.




Rys. 229. Odbicie fal w miejscu zmiany oporności falowej.

Fale wędrowne, napotykając na swej drodze na zmianę oporności falowej (rys. 229), ulegają w miejscu tej zmiany odbiciu tak, że następuje spiętrzenie, podskok napięcia; częściowo fale przechodzą dalej.

Przez $Z_1$ oznaczymy oporność falową tego przewodu, po którym biegnie fala o napięciu $U_1$, a przez $Z_2$ oporność falową napotkaną, do której wbiega fala o napięciu $U_p$. Posiłkując się temi oznaczeniami zauważymy, że z obu stron punktu odbicia muszą być równe zarówno napięcia jak i prądy, a więc:

$$U_1 + U_0 = U_p \text{ oraz } i = i_2,$$

gdzie litera „$i$" oznacza wypadkowy prąd, płynący z lewej strony punktu odbicia, a „$i_2$" z prawej strony. Jeżeli teraz, stosownie do składowych fal

napięcia, rozłożymy prąd „$i$" na jego składowe „$i_1$" oraz „$i_0$", to możemy napisać, że: $i_1 - i_0 = i_2$. Równanie to napiszemy w postaci:

$$\frac{U_1}{Z_1} - \frac{U_0}{Z_1} = \frac{U_p}{Z_2};$$

mnożąc obie strony tego równania przez $Z_1$, otrzymamy:

$$U_1 - U_0 = U_p \cdot \frac{Z_1}{Z_2}$$

Dodając do tego równania otrzymane poprzednio równanie dla równości napięć z obu stron punktu odbicia znajdziemy, że napięcie fali przepuszczonej

$$U_p = 2U_1 \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2},$$

a pamiętając, że $U_p = U_1 + U_0$ znajdziemy, że napięcie fali odbitej: $U_0 = U_1 \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$. Stąd znajdujemy dwa stosunki:

$$\frac{\text{napięcie fali przepuszczonej}}{\text{napięcie fali nadbiegającej}} = \frac{U_p}{U_1} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad \text{oraz:}$$

$$\frac{\text{napięcie fali odbitej}}{\text{napięcie fali nadbiegającej}} = \frac{U_0}{U_1} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

Jeżeli $Z_1 > Z_2$, to napięcie fali odbitej $U_0$ jest ujemne (rys. 229 „a") tak, że następuje obniżenie czoła fali po obu stronach miejsca odbicia. Gdyby natomiast $Z_1 < Z_2$, to napięcie fali odbitej byłoby dodatnie (rys. 229 „b") tak, że po obu stronach miejsca odbicia nastąpiłby podskok napięcia fali. Fali biegnącej wzdłuż przewodów odpowiada druga fala znaku odwrotnego, lecz o tym samym kształcie, biegnąca w tym samym kierunku w ziemi. Ma ona więc tam swe lustrzane odbicie tak, że ładunek przewodowy ma swe zrównoważenie w ładunku ziemi odwrotnego znaku. Obydwa te ładunki związane są z sobą polem elektrycznem i ulegają jednoczesnym i jednakowym zmianom. Wobec identyczności obu fal zajmiemy się tylko jedną falą, biegnącą wzdłuż przewodów, mając jednak przytem na myśli także i falę ziemną.

Należy tutaj podkreślić, że rzeczą charakterystyczną dla przejścia fali z przewodów o oporności $Z_1$ do przewodów o oporności $Z_2$ jest to, że fale po przejściu przez punkt ich złączenia nie zmieniają swego kształtu.

### *II. Przenoszenie się przepięć przez transformatory.*

Przepięcia, napotykając na swej drodze transformatory, częściowo się odbijają, a częściowo przenoszą się na drugą stronę transformatora. Zjawisko to tłomaczymy sobie w ten sposób, że przenoszenie odbywa się ra-

czej na drodze elektrostatycznej niż indukcyjnej. Posiłkując się oznaczeniami, podanemi na rys. 230, przepięcia te obliczymy, jak następuje:

$$U_p = U_1 + U_2, \text{ a ponieważ: } \frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1},$$

przeto:

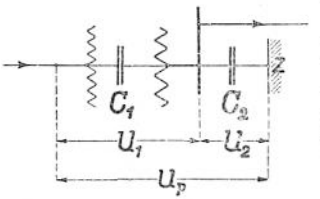
$$U_1 = U_p \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} \text{ oraz: } U_2 = U_p \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

Przepięcie $U_2$ nakłada się na napięcie robocze łącznie z przepięciem, powstałem po wtórnej stronie transformatora skutkiem indukcji elektromagnetycznej.

A. Przepięcia wewnętrzne.

1. Przepięcia rezonansowe.

Jak z dotychczasowych rozważań wynika, urządzenia elektryczne w pewnych przypadkach skupienia $L$ i $C$ zachowują się podobnie do obwodu drgającego Thomson'a. Jeżeli okres drgań własnych takiego urządzenia byłby równy lub choćby zbliżony do okresu drgań prądu roboczego, t. zn. gdyby $f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} =$ = lub $\simeq 50$ okr./sek., to nastąpiłby rezonans napięć między drganiami swobodnemi obwodu drgającego a wymuszonemi prądu roboczego. Jeżeli w dodatku będzie $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$, to powstaje stopniowy wzrost napięcia i to tem większy, im mniejsze jest w obwodzie $R$. Wówczas oporność indukcyjna zrównywa się z opornością pojemnościową, t. j. $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ tak, że skutkiem tego następuje przetężenie, gdyż prąd osiąga swe natężenie najwyższe tak, jak przy prądzie stałym, określone równaniem:



Rys. 230. Przepływ przepięcia przez transformator.

$$J_{max} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{U}{R}$$

Napięcia na oporności indukcyjnej i pojemnościowej podskakują do:

$$J_{max} \cdot \omega L = J_{max} \cdot \frac{1}{\omega C} = J_{max} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$$

W ten sposób doprowadzona ze źródła prądu energja, przelewająca się między pojemnością a samoindukcją, jest bardzo duża.

Jak widzimy, przepięcie takie powstaje skutkiem specjalnego ustosunkowania się wielkości stałych urządzenia. Przyczyna przepięcia leży w samem urządzeniu, jestto więc przepięcie wewnętrzne. Oczywiście, że tego rodzaju chorobliwego urządzenia nie będzie można utrzymać w ruchu ze

względu na występujące przy rezonansie napięć przetężenia i ich skutki. W zwykłych warunkach nie grożą nam przypadki rezonansu napięć, który powstaje najczęściej tam, gdzie sieci posiadają bardzo wielką pojemność. Będzie się to więc działo raczej w kablach niż w przewodach napowietrznych i częściej przy napięciach wyższych aniżeli przy niższych, a najczęściej tam, gdzie w urządzeniach płynie prąd o krzywej napięcia zniekształconej, a więc z wyższemi harmonicznemi. Wówczas może nastąpić rezonans pomiędzy jedną z harmonicznych, a drganiami własnemi urządzenia. Ze względu na istniejące zazwyczaj w urządzeniach dość duże oporności czynne przepięcia rezonansowe występują w wysokości 2—4,5-krotnego napięcia roboczego, podczas gdy w obwodzie prawie bezoporowym mogą osiągnąć wielkość kilkadziesiątkrotną.

Celem zapobieżenia powstaniu przepięć rezonansowych, które ze względu na wysokość powstającego napięcia mogą być w skutkach swych fatalne, należy zwrócić baczną uwagę na ustosunkowanie się stałych sieci we wszystkich możliwych okolicznościach roboczych, t. j. w warunkach pracy sieci jako całości lub też jej pracy jako poszczególnych części. Należy uczynić oczywiście wszystko możliwe, aby maszyny nie wytwarzały lub nie powodowały powstawania wyższych harmonicznych.

Przepięcia rezonansowe mogą powstać oczywiście nietylko skutkiem specjalnego ustosunkowania się $L$ i $C$ w całem urządzeniu, lecz także i w jego części. Najczęściej zdarza się to wówczas, gdy utworzy się obwód drgający, złożony z indukcyjności transformatorów miernikowych prądowych i z pojemności szyn zbiorczych. Drgania własne takiego obwodu są zwykle bardzo duże tak, że przy normalnej pracy przepięcie może nie występować. Gdyby jednak w taki obwód uderzyła fala wędrowna o tej samej częstotliwości, to w obwodzie wzbudzi się przepięcie rezonansowe, prowadzące tak często do przebicia transformatorów miernikowych, które na pierwszy rzut oka wydaje się niewytłomaczalne.

Przepięcia rezonansowe powstają bardzo często w urządzeniach, w których generator i transformator stanowią jedną całość. Zdarza się to wówczas, gdy przy pełnem obciążeniu wypadnie wyłącznik po stronie wyższego napięcia transformatora. Wtenczas generator, mając pełne wzbudzenie, pracuje na bieg jałowy transformatora. Skutkiem tego nasycenie magnetyczne transformatora ogromnie rośnie tak, że następuje zdeformowanie krzywej napięcia przez powstanie wyższych harmonicznych. Wówczas jedna z tych wyższych harmonicznych może wzbudzić drgania rezonansowe w obwodach, złożonych z samoindukcji poszczególnych zwojów i ich własnej pojemności. Powstające wtedy wielkie przepięcia spowodować mogą przebicia izolacji, jakkolwiek przebicia te mogą być spowodowane i bez udziału rezonansowego przepięcia, a to bardzo ostrym przebiegiem krzywej napięcia, zniekształconej przez nałożenie się na sinusoidę napięcia wyższych harmonicznych.

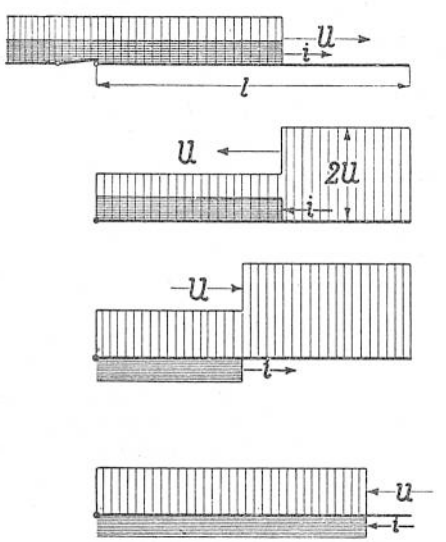
Przepięcia rezonansowe powstają też skutkiem przepalenia się jednego bezpiecznika przy transformatorze mocowym lub nawet napięciowym, z racji wyłączania długiej linji sieci zapomocą jednofazowych odłączników i t. d. Należy więc z tej przyczyny unikać bezpieczników w dławikach uzie-

miających, a transformatory napięciowe powinny być odłączane jednocześnie na wszystkich biegunach.

Przepięcia rezonansowe mogą wreszcie powstać przy zerwaniu się jednego z przewodów oraz skutkiem stromego grzbietu fali uskokowej, o czem będzie mowa w dalszym ciągu tej pracy.

2. Przepięcia łączeniowe.

*a. Przepięcia przy włączaniu obwodu otwartego.* Dalszem przepięciem wewnętrznem jest przepięcie powstające przy włączaniu sieci otwartej, a powodem jego powstania jest ta okoliczność, że w pierwszej chwili po włączeniu biegnie przez linję ku jej końcowi fala napięcia $U$ o stromem czole oraz fala prądu „$i$" ładowania (rys. 231). W chwili ukończenia ładowania sieci aż do jej końca niknie prąd ładowania, co powoduje indukowanie się na końcu linji napięcia — wobec istnienia w sieci oporów czynnych — nieco niższego od roboczego, na które się ono nakłada. Wynika to zresztą z wzoru dla fali napięciowej odbitej, gdyż możemy przyjąć, że w końcu sieci otwartej dołączony jest dalszy ciąg linji, lecz o oporności falowej $Z_2$, bardzo wielkiej w porównaniu z $Z_1$. Wówczas oporność falową $Z_1$ jako bardzo małą możemy pominąć tak, że napięcie przepuszczone wyniesie:




Rys. 231. Drgania fali wędrownej między dwoma krańcami dołączonego odcinka linji.

$$U_p = 2U_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = 2U_1$$

Zresztą to samo wynika z wzoru na napięcie odbite; musimy jednak pamiętać o tem, że napięcie odbite $U_0$ dodaje się do napięcia już istniejącego $U_1$ tak, że:

$$U_1 + U_0 = U_1 + U_1 \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} = 2\,U_1$$

Interesującym jest jeszcze dalszy przebieg fali odbitej: otóż za niknącem czołem fali prądowej biegnie zdwojone czoło fali napięciowej. W ten sposób w chwili, gdy fala osiągnie początek linji, cała linja stoi pod napięciem podwójnem, a prąd nie istnieje. W tej chwili rozpoczyna się trzecia faza zjawiska, polegająca na tem, że przewód wyładowywuje się do źródła prądu. Skutkiem tego powstaje fala prądu biegnąca ku końcowi przewodu, powodując tem powstanie pola magnetycznego odwrotnego znaku niż poprzednio tak, że fala napięciowa zniża się do połowy, przyczem czoło fali zniżonej biegnie razem z czołem fali prądu wyładowania. W ten spo-

sób, gdy czoła te dotrą do końca, przewód znajduje się pod prądem odwrotnego znaku i pod napięciem. Teraz więc następuje wyrównanie, t. j. czwarta faza, polegająca na tem, że niknie prąd i niknie napięcie tak, że gdy czoła niknących fal powrócą do początku, przewód znajduje się znów w stanie początkowym, t. j. zarówno prąd jak i napięcie są równe zeru; zjawisko rozpoczyna się więc nanowo i trwa tak długo, dopóki energja fali nie zatraci się w opornościach linji i w upływie przez jej izolację.

Zjawisko to ma zatem charakter drgający. Mówimy wówczas, że te cztery fazy stanowią okres drgania i że fala wędrowna ma długość równą czterokrotnej długości odcinka linji, między którego końcami następują dopieroco opisane odbicia, t. j. $\lambda = 4\,l$. Należy jednak zaznaczyć, że mówiąc w dalszym ciągu o długości fali wędrownej, będziemy mieli na myśli tę długość linji, którą pokrywa ładunek fali wędrownej.

Z powyższych rozważań wynika, że przy włączaniu odcinka linji otwartej powstaje przepięcie, nie przekraczające nigdy podwójnego napięcia roboczego.

Przepięcie to nie jest groźne ze względu na samą wysokość fali, lecz może być groźne ze względu na bardzo strome czoło tej fali, co może prowadzić do przebicia izolacji międzyuzwojeniowej. Przepięcie to jest tem groźniejsze, im $Z_2 > Z_1$, co ma miejsce najczęściej wówczas, gdy do sieci kablowej dołączamy odcinek sieci napowietrznej, o czem będzie mowa poniżej.

Pozatem przepięcie to byłoby groźne wtedy, gdyby fala wędrowna natrafiła na obwód drgający, złożony np. z indukcyjności miernikowych transformatorów prądowych lub uzwojeń przekaźników oraz z pojemności szyn zbiorczych wraz z pojemnością izolatorów przepustowych, którego okres drgań własnych byłby bliski okresowi drgań fali wędrownej (długość fali własnej byłaby równa lub prawie równa poczwórnej długości odcinka linji); wówczas w obwodzie tym mogłoby powstać bardzo poważne przepięcie rezonansowe, jak to już poprzednio wspominaliśmy.

*b. Przepięcia przy przyłączaniu obwodu zwartego na końcu.* Przepięcie, powstające w przypadku włączania obwodu zwartego na końcu, obliczymy z wzoru na napięcie odbite $U_0$; wówczas zwarta część sieci przedstawia oporność falową $Z_2$ bardzo małą w stosunku do $Z_1$ tak, że możemy ją pominąć. A więc w miejscu zwarcia:

$$U_1 + U_0 = U_1 + U_1 \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} = U_1 - U_1 = 0$$

*c. Przepięcia przy przyłączaniu otwartych przewodów napowietrznych do sieci kablowej.* Sieć kablowa jest więc pod napięciem. Jej oporność falowa $Z_1 = (50 \div 150)\,\Omega$, a oporność falowa przyłączanych przewodów napowietrznych jest $Z_2 = (500 \div 600)\,\Omega$. Wówczas napięcie przepuszczone na początku przewodu napowietrznego:

$$U_p = U_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = (0{,}77 \div 0{,}9225)\,U_1$$

Na końcu tego przewodu fala zdwoi swe czoło.

*d. Przepięcie przy przyłączaniu otwartych przewodów kablowych do sieci napowietrznej.* Tym razem pod napięciem jest sieć napowietrzna i do niej dołączamy kabel. Obecnie więc $Z_1 = (500 \div 600)\,\Omega$, a $Z_2 = (50 \div 150)\,\Omega$. Wobec tego na początku kabla:

$$U_p = U_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = (0{,}077 \div 0{,}231)\,U_1$$

Fala odbita wynosi więc:

$$U_0 = U_1 \frac{-Z_1}{Z_1 + Z_2} = -(0{,}993 \div 0{,}769)\,U_1$$

3. Przepięcia wyłączeniowe.

Wewnętrznem ruchowem przepięciem jest również przepięcie, powstające przy przerywaniu prądu. Tego rodzaju przepięcia mają charakter przepięć drgających, powstających przy zanikaniu prądu w obwodzie ze skupioną samoindukcją i skupioną pojemnością, lub przepięć falowych, gdy stałe te są rozłożone. Przy sieciach niezbyt rozległych i napięciach średnich przepięcia te nie są groźne dla urządzeń. Celem zdania sobie sprawy z występujących tu zjawisk rozpatrzymy małą cząstkę sieci, stanowiącą obwód zamknięty, złożony z cząstkowej samoindukcji, cząstkowej pojemności i cząstkowego oporu czynnego. Z rozważań teoretycznych, których powtarzać tu nie będziemy, wynika, że przepięcie będzie tem mniejsze, im większa jest pojemność. A więc przepięcia te w sieciach wielkich i przy napięciach wyższych są mniej groźne, niż w sieciach małych i napięciach niższych. Jeżeli zważymy, że oporność krytyczna dla takiego obwodu wynosi $R^2 = \frac{4L}{C}$, to dojdziemy do wniosku, że jeżeli kwadrat oporności czynnej linji będzie $R^2 > \frac{4L}{C}$, to przepięcie drgające wogóle nie powstanie. Odłączenie więc takiej sieci na początku odbędzie się bez żadnych następstw. Sieć taka pod względem przepięć jest więc najbezpieczniejsza. Tego rodzaju przepięcia mogą oczywiście powstać też skutkiem nagłej zmiany obciążenia.

Jeżeli jakąkolwiek linję obciążoną odłączymy, to skutkiem znikania prądu otrzymamy przepięcie:

$$U_1 = J\sqrt{\frac{L}{C}}$$

Jeżeli przytem obwód ten nie był prawie wcale obciążony czynnie, lecz tylko indukcyjnie lub pojemnościowo tak, że $\sphericalangle \varphi \simeq \pm 90^0$, to wówczas następuje wprawdzie przerwanie prądu, gdy przechodzi on przez zero, lecz równocześnie napięcie osiąga właśnie wtedy swą najwyższą wartość tak, że na rozchylających się kontaktach wyłącznika od strony odłączonej istnieje dotychczasowy największy ładunek, podczas gdy na kontaktach od strony generatora napięcie maleje, skutkiem czego po upływie pół-okresu mię-

dzy kontaktami wyłącznika panuje podwójne napięcie max. Jestto powodem przebicia przerwy międzykontaktowej, poczem następuje powrotne włączenie łukowe, a skutkiem tego fala wędrowna o podwójnem czole biegnie ku końcowi przewodu tak, że przepięcie może tu osiągnąć wielkość $U_1 \leq 4U$.

Przepięcie to będzie tem niebezpieczniejsze, im wolniej oddalają się kontakty wyłącznika, gdyż wówczas przebicia te mogą nastąpić wielokrotnie.

4. Przepięcia zwarciowe.

Podczas zwarcia — podobnie jak i podczas odłączania — energja magnetyczna $W_m = {}^1/_2 LJ^2_{ud}$, gdzie $J_{ud}$ jest prądem udarowym zwarcia zamienia się na energję elektryczną $W_e = {}^1/_2 CU^2_p$. Ponieważ $W_m = W_e$, przeto znajdujemy, że przepięcie:

$$U_1 = J_{ud} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Wrazie zwarcia dwufazowego, spowodowanego w linji zasilanej z transformatora, połączonego obustronnie w gwiazdę, powstaje przepięcie między fazą zdrową a fazami zwartemi. Jeżeli zwarcie zostało dokonane w tak nieszczęśliwej chwili, że napięcie międzyfazowe przewodów zwartych przechodziło przez swe maximum, wówczas przepięcie to jest największe i posiada około dwu- do trzykrotną wielkość napięcia roboczego międzyfazowego, a to skutkiem powstania o znacznej wysokości napięć 3-iej i 5-ej harmonicznej. Przepięcie to przypada tylko na uzwojenie rdzenia zdrowego i skutkiem tego podczas całego zwarcia izolacja uzwojeń jest prawie czterokrotnie przeciążona natężeniem pola elektrycznego. Oczywiście, że skutkiem takiego wzrostu wyższych harmonicznych, a w szczególności 3-ciej i 5-ej, wzrasta niebezpieczeństwo powstania w sieci rezonansu z niemi.

Jeżeli natomiast nastąpiło zwarcie dwóch faz po stronie gwiazdowego układu transformatora, zasilanego zapomocą jego uzwojenia wtórnego, połączonego w trójkąt, wówczas w uzwojeniu trójkątowem powstaje prąd wyrównawczy, który powoduje, że tylko w pierwszym pół-okresie napięcie wzrasta o około 40%, poczem wraca do swej pierwotnej wysokości po upływie już około 2 okresów.

Z tego powodu należy stosować maszyny elektryczne, w których przynajmniej z jednej strony uzwojenia połączone są w trójkąt.

5. Przepięcia uziemienia.

Jeżeli jedna z faz zostanie metalicznie uziemiona, to wysokość przepięcia równa się $U_1 = J_{uz} \sqrt{\frac{L}{C}}$, gdzie $J_{uz}$ jest prądem, płynącym w obwodzie uziemionym. Jeżeli natomiast nastąpiłoby uziemienie łukowe, to łuk zamyka obwód, złożony z indukcyjności i pojemności uziemionej fazy. Przez łuk płynie prąd uziemienia sieci, bezmocny, wyprzedzający napięcie o 90°. Łuk gaśnie w chwili przechodzenia prądu przez zero, a wówczas tak jak i na kontaktach wyłącznika (Przepięcia wyłączeniowe) po upływie pół-okresu powstaje na uziemieniu podwójna amplituda napięcia fazowego, skutkiem

czego łuk ponownie zapala się. To zapalanie się i gaśnięcie odbywa się w takt zmian prądu roboczego, przyczem przy każdem ponownem zapaleniu się przepięcie rośnie. Jednakże dzięki różnym stratom przepięcie to nie przekracza naogół $U_1 \leqq 3 . U . \sqrt{2}$, gdzie $U$ jest skutecznem napięciem międzyprzewodowem. Powstające przy każdem zapaleniu się łuku fale wędrowne uderzają co pół-okresu w uzwojenia maszyn. Zwykle łuk uziemienia obejmuje drugą najbliższą fazę, tworząc zwarcie, powodujące odłączenie linji. Przepięcia te są groźne wówczas, gdy prąd uziemienia przekracza 5 A i gdy sieć nie jest chroniona dławikami gaszącemi.

Byłoby jeszcze gorzej, gdyby łuk był intensywnie chłodzony, gdyż wtenczas obwód uziemiony przez łuk ładowałby się i wyładowywał poprzez łuk w takt częstotliwości drgań własnych tego obwodu. Łuk, skutkiem swej opadającej charakterystyki, stałby się wówczas generatorem drgań niegasnących, gdyż straty wewnętrzne obwodu drgającego byłyby uzupełniane przez źródło prądu. W praktyce należy liczyć się z tego rodzaju przepięciami w wysokości 5,5—7,5-krotnej amplitudy napięcia roboczego.

O przepięciach, spowodowanych uziemieniem w sieciach mieszanych kablowo-napowietrznych, wspominaliśmy już w rozdziale o uziemieniach.

6. Przepięcia z przyczyn skombinowanych.

Dla uzyskania większej przejrzystości ograniczymy rozważania nasze jedynie do podania wielkości przepięć, występujących w poszczególnych najczęściej spotykanych przypadkach.

*a. Przepięcia wywołane przepaleniem się jednego bezpiecznika.* Jeżeli przez $U$ oznaczymy napięcie robocze, to przepięcie

$$U_1 = (2{,}75 \div 3{,}05)\, U$$

Przepięcie w tej samej wysokości otrzymamy w przypadku, gdy chcąc odłączyć linję elektryczną jednofazowemi odłącznikami, wyciągnęlibyśmy jeden z nich z kontaktu.

Z tej racji tylko małe transformatory oraz miernikowe transformatory napięciowe możemy ochraniać bezpiecznikami i to tylko do napięcia 20 kV; również tylko takie transformatory będziemy odłączali odłącznikami, jednak w każdym razie trójfazowemi. W urządzeniach od 30 kV wzwyż nigdzie bezpieczników stosować nie wolno.

*b. Przepięcia wywołane jednoczesnem przepaleniem się dwóch bezpieczników.* Przepięcie występujące wówczas wynosi:

$$U_1 = (3{,}25 \div 3{,}55)\, U$$

Przepięcia, wymienione pod *a.* i *b.* występują jednakże najczęściej wówczas, gdy odłączamy linję trójfazową wyłącznikami stacyjnemi lub słupowemi, niesprawdzonemi, nie odłączającemi jednocześnie wszystkich trzech faz.

*c. Przepięcia wywołane jednoczesnem zerwaniem się i uziemieniem jednego z przewodów.* Tego rodzaju przypadki, dość częste, powodują powstanie przepięć poważnych, bo wynoszących: $U_1 = (3{,}00 \div 4{,}00)\, U$.

Jak już wspominaliśmy w rozdziale o uziemieniach, wypadki zerwania się jednej fazy i uziemienia powodować mogą odwrócenie się trójkąta napięć; w ten sposób wszystkie silniki, przyłączone do tej linji, zmienią kierunek obrotów, a skutkiem przepięcia przepalą się żarówki.

*d. Przepięcia wywołane zerwaniem się jednego przewodu i jego opadnięciem na ziemię z jednoczesnem przepaleniem się bezpiecznika w drugiej fazie.* W tym przypadku przepięcie osiąga wartość wynoszącą aż:

$$U_1 = (4{,}73 \div 5{,}13)\, U.$$

B. Przepięcia zewnętrzne.

W zwykłych warunkach ziemia ma ładunek ujemny, a otaczająca ją atmosfera dodatni. Prawdopodobnie pod wpływem ciał promieniotwórczych, znajdujących się wpobliżu lub na powierzchni ziemi, przyziemne warstwy atmosfery są zjonizowane, są więc przewodzące. Górne warstwy atmosfery, to znaczy powyżej około 750 m, są zjonizowane prawdopodobnie skutkiem światła słonecznego lub, jak twierdzi M. Swann, skutkiem elektronów, wyrzucanych z rozpalonego słońca. Pod wpływem ziemskiego pola elektrycznego, skierowanego pionowo ku ziemi, płynie stale do ziemi prąd jonów, neutralizujących ujemny ładunek ziemski, a do góry płynie prąd elektronów, neutralizujących dodatni ładunek chmur. Należy podkreślić, że przewodność atmosfery jest tem lepsza, im czystsze i suchsze jest powietrze. Właściwość ta tłomaczy się przedewszystkiem przyczepianiem się elektronów do kropelek mgły, deszczu lub kurzu, skutkiem czego tracą one swą ruchliwość, stają się niemrawe. Większa zdolność elektronów niż jonów do przyczepiania się do kropelek wody sprawia, że podczas deszczu bezwietrznego, deszcz znosi ładunki ujemne na powierzchnię ziemi, a ładunki dodatnie pozostają w górze. Sprawa ta przedstawia się jednak zupełnie inaczej, gdy zacznie wiać wiatr wstępujący, t. j. dmący w kierunku od ziemi ku chmurom: wówczas kropelki mgły lub deszczu są rozbijane na pył, wiatr porywa z sobą do góry elektrony, przyczem pył deszczowy zyskuje ładunek dodatni, spływający stopniowo na ziemię. Należy jednak zauważyć, że dla wytworzenia tego zjawiska wiatr musi wiać z szybkością nie mniejszą od 8 m/sek. Pod taką więc chmurą deszczową ładunek odpowiedniej powierzchni ziemi neutralizuje się, poczem elektryzuje się dodatnio. Mamy wówczas do czynienia jakgdyby z kondensatorem, którego jedną okładzinę stanowią chmury z ładunkiem ujemnym, a drugą ziemia z ładunkiem dodatnim. Wrazie zupełnego uciszenia się wiatru elektrony spłyną z deszczem na powierzchnię ziemi tak, że ładunek okładziny atmosferycznej stanie się znów dodatni, a ziemi ujemny.

O popieroco opisane zjawisko tworzenia się ładunków przestrzennych, które od jego odkrywcy nazwiemy zjawiskiem Lenard'a, opierają się różne teorje, dotyczące koncentrowania się ładunków w atmosferze. Z najstarszych (1909 r.) najpoważniejszą jest teorja Simpson'a, według której z jednej strony chmury, przedzielonej pionową płaszczyzną, zbierają się ładunki ujemne, a z drugiej dodatnie. Teorja ta przetrwała bez zmian do 1916 r., t. j. aż do chwili, gdy Wilson, a później (1926 r.) i Toepler zmienili ją w ten sposób, że różnoimienne ładunki w chmurach zdaniem ich odgraniczone są

od siebie powierzchnią poziomą. O ile jednakże Wilson twierdził, że w większości przypadków dolna warstwa chmury naładowana jest ujemnie, a górna dodatnio, o tyle Toepler był zdania wprost odwrotnego. Obecnie naskutek wyników badań i pomiarów, przeprowadzonych w 1930 — 1932 r. przez Banerji, pogląd na koncentrację ładunków w chmurach zdaje się skłaniać jednakże raczej do teorji Simpson'a niż do teorji Wilson'a lub Toepler'a. Według Banerji wnętrze chmury oraz środkowa część jej płaszczyzny, zwróconej do ziemi, są naładowane dodatnio. Tego rodzaju bryła, naładowana dodatnio, otoczona jest z przodu, z boków i z tyłu oraz z góry ładunkami ujemnemi.

1. Wyładowania statyczne powolne.

Chmury naładowane elektrycznością bądźto dodatnią bądźteż ujemną wywołują skutkiem indukcji elektrostatycznej na powierzchni ziemi plamę, naładowaną elektrycznością odmiennego znaku, o konturach odpowiadających rzutowi chmury na ziemię. Jeżeli w wędrówce swej w przestworza chmura, naładowana naprzykład dodatnio (rys. 232), napłynie ponad przewody elektryczne, wówczas indukuje w nich ładunek ujemny, podczas gdy uwolnione tym ładunkiem na przewodach ładunki dodatnie, odpychane ładunkami chmury tego samego znaku, mkną po przewodach z obu stron rzutu chmury ku końcowi przewodów z prędkością rozchodzenia się światła, t. j. 300 000 km/sek. To samo dzieje się w ziemi, jednakże z tą różnicą, że uwolnione dodatnie ładunki w ziemi rozlatują się odśrodkowo od plamy we wszystkich kierunkach pod wpływem odpychającego działania dodatniego ładunku chmury; dlategoteż w większych odległościach od plamy ziemia nie wykazuje żadnego ładunku. Mówimy, że potencjał jej jest równy zeru. Wracając do dodatnich ładunków na przewodach, stwierdzamy, że ładunki te mogą być zepchnięte jedynie do końców przewodu, gdzie następuje spiętrzenie ładunku, podczas gdy w ziemi ten dodatni ładunek indukuje pod sobą ładunki ujemne. W ten sposób tworzy się kondensator o jednej okładzinie z przewodów, naładowanej dodatnio, oraz okładzinie drugiej z ziemi, naładowanej ujemnie. Zależnie więc od wielkości ładunku przewodów $Q$ oraz pojemności $C$ tej części przewodów w stosunku do ziemi, która jest pokryta ładunkiem, powstaje różnica potencjałów $U$ pomiędzy przewodami a ziemią. Różnica ta, jak wiemy, jest równa:

$$U = \left( \frac{Q.\text{Coul}}{C.\mu F} \cdot 10^6 \right) \text{woltów}$$

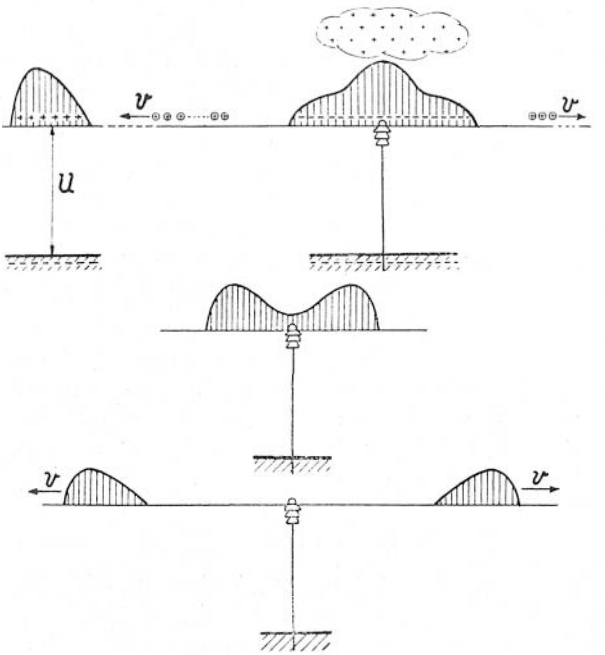
Jeżeli ładunków przybywa to i $U$ rośnie. Ten wzrost napięcia jest ograniczony wytrzymałością na przeskok lub przebicie materjałów izolacyjnych, użytych dla ochrony właśnie tej części urządzeń, w której przepięcie powstaje.

Należy jeszcze zauważyć, że zwiększenie ładunku na przewodach może być spowodowane oddawaniem przewodom ładunku przez krople deszczu, płatki śniegu, pył lub ziarenka piasku, niesionego wiatrem, jak również może powstać skutkiem znajdowania się przewodów w różnych powierzchniach ekwipotencjalnych. Największe zagęszczenie powierzchni ekwipoten-

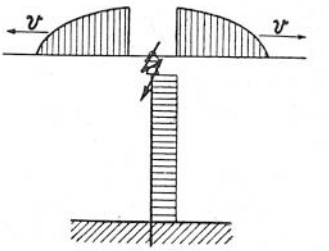
cjalnych występuje na wzgórzach, toteż najczęściej w linjach górskich zdarza się, że różne odcinki sieci znajdują się pod wpływem różnych potencjałów, co powoduje spływanie ładunków elektrycznych z miejsc o potencjale wyższym do miejsc o potencjale niższym. W ten sposób w dolinowych przebiegach linij mogą się zbierać znaczne ładunki, wywołujące przepięcia statyczne nawet pomimo panującej pogody.

2. Wyładowania statyczne nagłe.

Z przeprowadzonych dopieroco rozważań wynika, że chmura naładowana naprzykład dodatnio trzyma swem polem elektrycznem na przewodach i na ziemi indukowany przez siebie ładunek odmiennego znaku, to jest ujemny, tworząc w tem sposób t. zw. falę stojącą (rys. 232). Jeżeli chmura ta z jakichkolwiek powodów, naprzykład skutkiem wyładowania z sąsiednią chmurą w postaci błyskawicy, straci swój ładunek, wówczas ginie w ziemi ładunek ujemny i jednocześnie zjawia się ładunek dodatni, indukowany pod przewodami przez ich ładunek ujemny. Wtedy na kondensatorze przewody — ziemia powstaje przepięcie o znanej nam już wysokości, zależnej od ładunku i pojemności. Jeżeli izolacja przewodów w danem miejscu przepięcie to wytrzyma, to ładunek przewodów rozdziela się pośrodku na dwie części tak, że w ten sposób powstają dwie fale wędrowne mknące w przeciwnych kierunkach po przewodach tak, że zjawisko to ostatecznie nie różni się od zawiska poprzednio rozpatrywanego.




Rys. 232. Fala stojąca i przejście jej w falę wędrowną skutkiem zniknięcia ładunku chmury.




Rys. 233. Powstanie fali wędrownej z fali stojącej, spowodowane przebiciem izolatora.

Ładunek przewodów w wędrówce swej po przewodach w każdej chwili ma swój odpowiednik w ziemi, skutkiek czego, wzdłuż całej drogi ładunku, wytrzymałość izolacji w urządzeniach elektrycznych jest niejako sprawdzona wysokością przepięcia, które wprawdzie może mieć wielką amplitudę,

lecz, mając czoło dość spłaszczone, stosunkowo nie jest groźne. Jednakże niebezpieczeństwo, szczególnie dla uzwojeń, wzrosłoby wówczas, gdyby w wędrówce swej jedna z połówek fali lub też cała fala w chwili zwolnienia jej przez błyskawicę spowodowała przebicie lub przeskok np. na izolatorze (rys. 233). Wtedy część ładunku spływa do ziemi, a ponadto przewód jest na chwilę uziemiony tak, że powstaje przepięcie falowe o bardzo stromym grzbiecie i o wysokości czoła mało co niższej od wysokości napięcia, które spowodowało przebicie czyteż przeskok. Fale te rozlatują się w obu kierunkach linji, licząc od miejsca przebicia.

Strome grzbiety fal łagodnieją, zamieniając stopniowo energję na ciepło w napotykanych oporach, ulegają jednak odbiciu, zwiększając niebezpieczeństwo dla całości izolacji. Jeżeli przebicie izolatora nastąpi wpobliżu stacji, wówczas fala wędrowna o stromym grzbiecie może wzbudzić drgania rezonansowe w obwodzie złożonym ze skupionych indukcyjności stacji oraz pojemności utworzonych głównie przez izolatory przepustowe. Jakkolwiek więc fala wędrowna, wpadając do stacji, sama w niej bezpośrednio może nie spowodować żadnych wyładowań, to jednak wzbudzone nią przepięcie może być przyczyną uszkodzeń.

3. Bezpośrednie uderzenie pioruna w urządzenia elektryczne.

Podobnie jak w poprzednich rozważaniach tak i tutaj chmurę i ziemię możemy uważać jako kondensator płaski, w którym warstwy dielektryka, t. j. powietrza, przechodzą równolegle i jednocześnie prostopadle do kierunku natężenia pola elektrycznego (rys. 234). Jeżeli potencjał chmury wynosi $V_1$, a potencjał ziemi $V_2$, to napięcie panujące na tym kondensatorze, wynosi $U = V_1 - V_2$. Jeżeli odległość między chmurą i ziemią jest $a$, to naprężenie dielektryka, które wobec jednostajnego pola elektrycznego jest w każdym punkcie przestrzeni jednakowe, wynosi:

$$K = \frac{F}{Q} = \frac{U}{a} \text{ kV/m},$$

gdzie $F$ jest siłą przyciągania lub odpychania, działającą na ładunek elektryczny $Q$. Jeżeli $Q = 1$, to $K = F$, czyli natężenie pola elektrycznego (naprężenie dielektryka) jest równe sile działającej na jednostkę ładunku. Kierunek tej siły, działającej na ładunek dodatni, jest jednocześnie kierunkiem pola elektrycznego. Oznaczając przez $\varepsilon$ stałą dielektryczną (t. j. przenikalność elektryczną bezwzględną w odniesieniu do przenikalności próżni), znajdziemy, że indukcja elektryczna

$$D = \varepsilon . K = \varepsilon . \frac{U}{a}$$

Jeżeli powierzchnia chmury jest $s$, to ładunek chmury wynosi:

$$Q = U . \frac{\varepsilon . s}{a} = \frac{U . \varepsilon}{a} . s = D . s$$

Jak wiemy, pojemność płaskiego kondensatora wynosi:

$$C = \varepsilon . \frac{s}{4 \pi a},$$

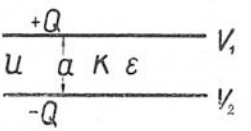
a napięcie, panujące między jego okładzinami,

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{Q \cdot 4\pi a}{\varepsilon \cdot s}$$

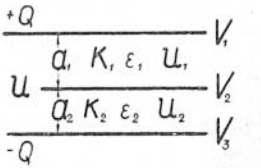
Stąd naprężenie dielektryka:

$$K = \frac{U}{a} = \frac{Q \cdot 4\pi}{\varepsilon \cdot s}$$

Pragnąc wyjaśnić zjawisko nagłego wyładowania się chmury, zastanowimy się nieco nad rozkładem napięć i zmianą naprężeń ośrodka, w którym ładunkiem chmury zostało stworzone pole elektryczne. W tym celu przy-




Rys. 234. Kondensator jednowarstwowy.




Rys. 235. Kondensator dwuwarstwowy.

puśćmy, że rozpatrywany przez nas kondensator składa się nie z jednej, lecz z dwóch warstw (rys. 235). Możemy wówczas uważać, że mamy do czynienia z dwoma kondensatorami, połączonemi w szereg. Tak więc:

$$U = U_1 + U_2$$

oraz:

$$K_1 = \frac{U_1}{a_1} = \frac{1}{\varepsilon_1} \cdot D_1$$

$$K_2 = \frac{U_2}{a_2} = \frac{1}{\varepsilon_2} \cdot D_2$$

A ponieważ tutaj oba kondensatory mają jeden i ten sam ładunek, przeto indukcje są jednakowe: $D_1 = D_2 = D$, tak, że uwzględniając to i dzieląc przez siebie oba wyżej podane równania, otrzymamy, że:

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

Naprężenia są tu więc odwrotnie proporcjonalne do stałych dielektrycznych. Jeżeli zatem przenikalność jednego materjału izolacyjnego będzie lub stanie się mniejsza w stosunku do przenikalności drugiego materjału, wówczas, mając mniejszą wytrzymałość, a podlegając większemu naprężeniu,materjał ten zostanie przebity. Jeśli przebicie nastąpiło w dolnym kondensatorze, to środkowa płaszczyzna przyjęła potencjał $V_3$ tak, że teraz dielektryk o grubości $a_1$ będzie naprężony do wysokości:

$$K_1 = \frac{U}{a_1}$$

Naprężenia tego dielektryk może nie znieść i wówczas nastąpi także przebicie górnej warstwy izolacji.

Wyobraźmy sobie, że kondensator składa się z trzech warstw (rys. 236). Tak jak poprzednio, mamy tu ładunek $Q = D \cdot s = \varepsilon \cdot K \cdot s$, a więc we wszystkich trzech kondensatorach mamy jednakową indukcję.

$$D = \frac{U_1 \cdot \varepsilon_1}{a_1} = \frac{U_2 \cdot \varepsilon_2}{a_2} = \frac{U_3 \cdot \varepsilon_3}{a_3}$$

a stąd:

$$U_1 = D \cdot \frac{a_1}{\varepsilon_1}$$

$$U_2 = D \cdot \frac{a_2}{\varepsilon_2}$$

$$U_3 = D \cdot \frac{a_3}{\varepsilon_3}$$

Dodając otrzymamy: $U = U_1 + U_2 + U_3 = D\left[\frac{a_1}{\varepsilon_1} + \frac{a_2}{\varepsilon_2} + \frac{a_3}{\varepsilon_3}\right]$

Tak więc:

$$D = \frac{U}{\left(\frac{a_1}{\varepsilon_1} + \frac{a_2}{\varepsilon_2} + \frac{a_3}{\varepsilon_3}\right)}$$

Przez podstawienie otrzymamy, że:

$$U_1 = \frac{a_1}{\varepsilon_1} \cdot \frac{U}{\left(\frac{a_1}{\varepsilon_1} + \frac{a_2}{\varepsilon_2} + \frac{a_3}{\varepsilon_3}\right)}$$

$$U_2 = \frac{a_2}{\varepsilon_2} \cdot \frac{U}{\left(\frac{a_1}{\varepsilon_1} + \frac{a_2}{\varepsilon_2} + \frac{a_3}{\varepsilon_3}\right)}$$

$$U_3 = \frac{a_3}{\varepsilon_3} \cdot \frac{U}{\left(\frac{a_1}{\varepsilon_1} + \frac{a_2}{\varepsilon_2} + \frac{a_3}{\varepsilon_3}\right)}$$

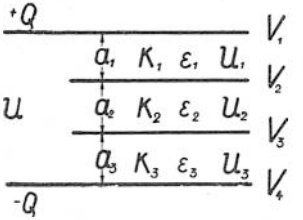
Stąd z łatwością znajdziemy, że naprężenia dielektryków poszczególnych warstw wynoszą:

$$K_1 = \frac{1}{\varepsilon_1} \cdot \frac{U}{\left(\frac{a_1}{\varepsilon_1} + \frac{a_2}{\varepsilon_2} + \frac{a_3}{\varepsilon_3}\right)}$$

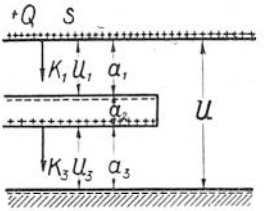
$$K_2 = \frac{1}{\varepsilon_2} \cdot \frac{U}{\left(\frac{a_1}{\varepsilon_1} + \frac{a_2}{\varepsilon_2} + \frac{a_3}{\varepsilon_3}\right)}$$

$$K_3 = \frac{1}{\varepsilon_3} \cdot \frac{U}{\left(\frac{a_1}{\varepsilon_1} + \frac{a_2}{\varepsilon_2} + \frac{a_3}{\varepsilon_3}\right)}$$

Jeżeli więc wyładowanie chmury miałoby nastąpić w okolicznościach podobnych, jak to się dzieje w kondensatorze o materjale izolacyjnym stałym, to jedna ze stałych dielektrycznych, np. $\varepsilon_2$, powinnaby stać się bardzo mała w porównaniu do $\varepsilon_1$ i $\varepsilon_3$. Wówczas warstwa środkowa zostałaby przebita, co pociągnęłoby za sobą przebicie dwóch pozostałych warstw, a więc całkowite wyładowanie. Jednakże ośrodkiem zjawiska rozpatrywanego jest powietrze, a jak wiemy, stała dielektryczna powietrza przy ciśnieniu 1 atm. wynosi $\varepsilon = 1{,}00059$. Jeżeli przypuścilibyśmy nawet, że między chmurą i ziemią zjawi się nagle próżnia, która zdarza się zresztą w pewnej mierze dość często i bywa obserwowana przez lotników, i utworzy tę warstwę środkową, to stała dielektryczna obniży się wówczas tylko nieznacznie tembardziej, że dla próżni $\varepsilon = 1{,}00$, a tutaj może być mowa jedynie o stosunkowo niewielkiem rozrzedzeniu. Tak więc zmiany stałej dielektrycznej w poszczególnych warstwach powietrza nie zapoczątkowują wyładowania atmosferycznego przez przebicie jednej z tych warstw. Zapoczątkowanie takiego wyładowania będzie miało miejsce nie przez prze-




Rys. 236. Kondensator trójwarstwowy.




Rys. 237. Wpływanie środkowej chmury obojętnej.

bicie takiej właśnie „dziury" powietrznej, lecz z innego powodu, a mianowicie: jeżeli chodzi o powietrze, to jego wytrzymałość elektryczna, podobnie zresztą jak wytrzymałość innych gazów, zależy od jego ciśnienia i temperatury, innemi słowy: wytrzymałość powietrza zależy od jego gęstości; im gęstość ta jest większa, tem oporniejsza jest jonizacja, a więc i wytrzymałość elektryczna większa. Jeżeli $\delta$ będzie względną gęstością powietrza, $b$ ciśnieniem barometrycznem w cm słupka rtęci, $t$ temperaturą w stopniach Celsjusza oraz $U_n$ napięciem krytycznem w kV dla warstwy powietrza o grubości 1 cm przy 76 cm i 25° C, to wytrzymałość elektryczna powietrza przy gęstości $\delta$ będzie wynosiła:

$$U_\delta = U_n \cdot \delta = U_n \cdot \frac{b}{76} \cdot \frac{273+25}{273+t} = U_n \cdot \frac{3{,}92 \cdot b}{273+t} \text{ kV/cm.}$$

Wytrzymałość elektryczna powietrza zależy także od kształtu elektrod, a więc od reljefu chmury i znajdującej się pod nią ziemi. Jeżeli w reljefie tym byłyby ostrza, to wytrzymałość mogłaby się zmniejszyć do około

$$U_0 = U_n \cdot (0{,}65 \div 0{,}40).$$

Rozważymy teraz zjawiska, jakie występują, gdy między chmurę i ziemię wpłynie dodatkowa chmura, która może być albo obojętna, albo naładowana ładunkiem $+ Q_2$ lub też ładunkiem $-Q_2$. Mamy więc trzy przypadki.

Przypadek I. Dodatkowa chmura jest obojętna, o grubości $a_2$ i powierzchni $s$ (rys. 237). Ponieważ zjawiska rozpatrywane zachodzą w powietrzu, przeto $\varepsilon = 1$. Ładunek górnej chmury wynosi: $Q = C \cdot U = U \frac{s}{4\pi a}$. Zanim więc dodatkowa chmura wejdzie w środek, napięcie, panujące między nią a ziemią, będzie:

$$U = \frac{Q \cdot 4\pi \cdot a}{s},$$

a naprężenie dielektryka, zawartego między górną chmurą, a ziemią:

$$K = \frac{U}{a} = \frac{Q \cdot 4\pi}{s}.$$

W analogiczny sposób znajdziemy, że między chmurami, t. j. w górnej warstwie:

$$U_1 = \frac{Q \cdot 4\pi a_1}{s_1} \text{ oraz } K_1 = \frac{Q \cdot 4\pi}{s_1},$$

a w dolnej warstwie:

$$U_3 = \frac{Q \cdot 4\pi a_3}{s_1} \text{ oraz } K_3 = \frac{Q \cdot 4\pi}{s_1}.$$

Porównywując teraz z sobą $K$, $K_1$ oraz $K_3$, zobaczymy, że naprężenia poszczególnych warstw zwiększą się wówczas, gdy powierzchnia chmury środkowej będzie mniejsza od powierzchni chmury górnej. Możemy to wyrazić stosunkiem:

$$K : K_{1,3} = \frac{Q \cdot 4\pi}{s} : \frac{Q \cdot 4\pi}{s_1}$$

czyli:

$$K_{1,3} = K \frac{s}{s_1}$$

Ponieważ $K_1 = K_3$, to przy nisko nadbiegających małych chmurach może nastąpić jednoczesne przebicie obu warstw, a raz stworzona droga iskrowa między chmurą górną i ziemią spowoduje gwałtowne lecz zarazem stopniowe sprowadzenie ładunku $Q$ do ziemi w całości lub też w znacznej części. W ten sposób utworzyłby się piorun. Na górnej chmurze pozostają zazwyczaj pewne cząstki ładunku.

Przypadek II. Środkowa chmura ma ładunek dodatni $+ Q_2$ i jednostronną powierzchnię $s_2$ (rys. 238).

$$K = \frac{Q \cdot 4\pi}{s}$$

$$K_3 = \frac{Q_2 \cdot 2\pi}{s_2}$$

Stąd naprężenia wypadkowe:

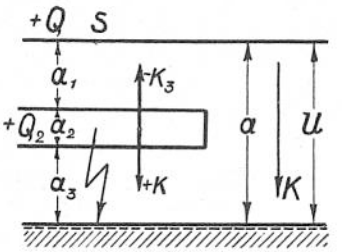
a) w dolnej warstwie:

$$K + K_3 = 2\pi \left[ \frac{2Q \cdot s_2 + Q_2 \cdot s}{s \cdot s_2} \right]$$

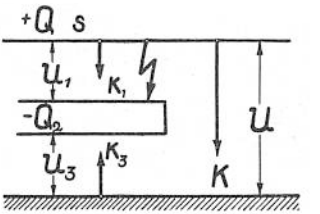
b) w górnej warstwie:

$$K - K_3 = 2\pi\left[\frac{2\,Q\,.\,s_2 - Q_2\,.\,s}{s\,.\,s_2}\right]$$

Naprężenie dolnej warstwy wzrośnie więc znacznie tak, że może nastąpić jej przebicie. Wówczas jednak ładunek $+Q_2$ spłynie do ziemi, skutkiem czego naprężenie $-K_3$ zniknie. W ten sposób w górnej warstwie wzrośnie




Rys. 238. Wpływanie środkowej chmury dodatnio naładowanej.




Rys. 239. Wpływanie środkowej chmury ujemnie naładowanej.

naprężenie powietrza do wielkości $K$, co wobec mniejszej gęstości $\delta$ powietrza w górnej warstwie może być powodem do przebicia również i warstwy górnej. Gdyby to nie nastąpiło, to wobec zneutralizowania ładunku $Q_2$ przypadek ten zredukowałby się do przypadku poprzednio rozpatrzonego.

Przypadek III. Środkowa chmura ma ładunek ujemny $-Q_2$ i jednostronną powierzchnię $s_2$ (rys. 239).

$$K_1 = \frac{U_1}{a_1}$$

$$-K_3 = -\frac{U_3}{a_3}$$

$$K = \frac{U}{a}$$

Naprężenie dolnej warstwy zmaleje więc do:

$$K_x = K - K_3 = \frac{U}{a} - \frac{U_3}{a_3},$$

a naprężenie górnej warstwy wzrośnie do:

$$K + K_1 = \frac{U}{a} + \frac{U_1}{a_1}$$

Ten wzrost naprężenia powietrza górnej warstwy, wobec zmniejszenia gęstości powietrza tej warstwy, może być powodem przebicia górnej warstwy, skutkiem czego na chmurze środkowej po częściowem zneutralizowaniu powstanie różnica ładunków $(Q—Q_2)$ tak, że naprężenie w dolnej warstwie pozostanie w dotychczasowej wysokości, t. j.

$$K_x = \frac{(Q - Q_2)\,.\,4\pi}{s_2}$$

Wobec tego dalsze przebicie, t. j. dolnej warstwy, jest mało prawdopodobne tak, że zjawisko to ogranicza się do wyładowania międzychmurowego, co zwykle nazywamy błyskawicą.

W dopieroco rozpatrzonych wszystkich trzech przypadkach wzajemnego ustosunkowania się chmur liczyliśmy się z jednostajnem polem elektrycznem. Pod tym względem mieliśmy rację o tyle, że wchodzą tu w grę bardzo wielkie powierzchnie tak, że w środkowych warstwach, wspólnych dla obu okładzin, możemy istotnie pole elektryczne uważać za jednostajne. Przy rozpatrywaniu zjawisk atmosferycznych możemy takie założenie zrobić wówczas, gdy chmury stoją, tembardziej, że obliczenia nasze mogą nam dać jedynie przybliżone lub prawdopodobne wyniki. Z obliczeń tych wywnioskowaliśmy o niepośledniej roli wielkości płaszczyzn poszczególnych chmur. Jednakże w przypadku, gdy chmury są w ruchu, decydującą rolę odgrywają przedewszystkiem wyładowania krawędziowe, gdzie wytrzymałość dielektryka jest znacznie mniejsza. Dla porównania zauważymy, że w przestrzeni środkowej, między chmurą a ziemią, napięcie krytyczne wynosi:

$$U_s = K \, . \, a,$$

gdzie $a$ jest grubością warstwy dielektryka; wówczas, według prof. Ignacego Mościckiego, na krańcach elektrody:

$$U_{kr} = K \, . \sqrt{a}$$

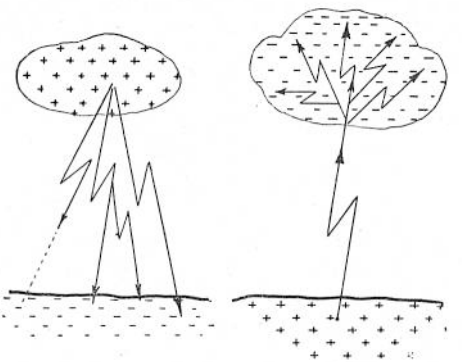
W ten sposób wyładowanie atmosferyczne podczas wiatru będzie się rozpoczynało najprawdopodobniej na krawędziach chmur. Jednakże, jak już widzieliśmy, wpływ na zapoczątkowanie pioruna mają bąble powietrza o zmniejszonej gęstości oraz reljefy zarówno chmur jak i ziemi. Pozatem musimy zauważyć, że spadający na ziemię deszcz bardzo silnie osłabia jonizację tak, że piorun uderza najczęściej wówczas, gdy deszcz chwilowo przestanie padać lub znacznie zmaleje. Elektrony mają jednak własność skraplania par tak, że po wyładowaniu znajdujące się w przestrzeni w znacznej ilości elektrony powodują wzmożenie się ulewności deszczu. Oczywiście, że podczas deszczu w dolnej warstwie, w warstwach górnych mogą się odbywać wyładowania w postaci błyskawic lub piorunów, bijących w wierzchołki gór, wystających ponad warstwę deszczową.

Jakkolwiek według teorji Simpson'a należałoby oczekiwać, że pioruny sprowadzają ładunki dodatnie chmur do ziemi, to jednak praktyka wykazuje zjawisko odwrotne, a mianowicie, że częściej mamy do czynienia z piorunami, wywołanemi ujemnym ładunkiem chmur i dodatnim ładunkiem ziemi, rzadziej natomiast obserwujemy pioruny, bijące w ziemię z dodatnio naładowanej chmury.

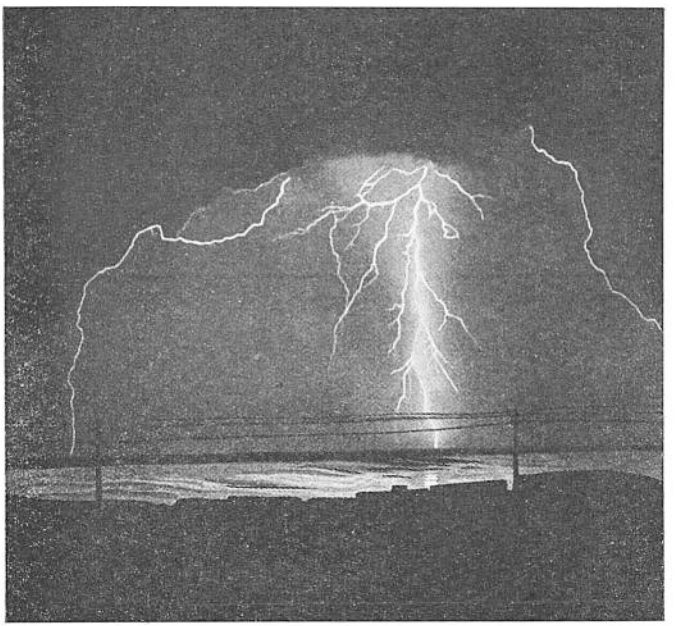
Jak możnaby sądzić z naszych rozważań, dotyczących wytłomaczenia sobie przyczyn powstawania ładunków przestrzennych, pioruny biją od ziemi ku chmurom, gdy burza jest z wiatrem, natomiast przy burzach bezwietrznych pioruny biją raczej od chmur ku ziemi. W związku z tym ostatnim przypadkiem musimy zauważyć, że doświadczenia wskazują, że drobnokroplowy deszcz niesie z sobą do ziemi ładunki ujemne, natomiast deszcz wielkokroplowy sprowadza na ziemię ładunki dodatnie.

W każdym z tych dwóch przypadków kierunek wyładowania jest odwrotny (rys. 240). Na rys. 241 widzimy fotografję pioruna, bijącego z dodatnio naładowanej chmury do ziemi.

W przypadku, gdy mamy do czynienia z burzami suchemi, bezdeszczowemi, ładunki ujemne wypełniają pewną przestrzeń, z którą graniczy druga przestrzeń, wypełniona ładunkami dodatniemi. W przestrzeni, rozgraniczającej te dwa zbiorowiska ładunków, istnieją największe natężenia pola elektrycznego. Jeżeli skutkiem nagromadzenia się w sąsiedztwie tej przestrzeni większej ilości ładunków albotеż skutkiem zagęszczenia linij sił pola elektrycznego w kroplach wody (Toepler) natężenie pola przekroczy wytrzymałość powietrza, wówczas następuje przebicie powietrza, rozszerzające się w obu kierunkach wgłąb przestrzeni, naładowanych dodatnio



Rys. 240. Kształt piorunów zależnie od znaku ładunku chmury.



Rys. 241. Piorun bijący z dodatnio naładowanej chmury do ziemi.

i ujemnie. Jeżeli te naładowane przestrzenie są od ziemi zupełnie odizolowane, wówczas mamy do czynienia z błyskawicą; jeżeli natomiast jedna z tych przestrzeni przylega do ziemi, wówczas zjawisko to przybiera for-

mę pioruna. Jeżeli ładunki w przestrzeni ułożą się dość równomiernie i gdy płaszczyzna, rozgraniczająca je, traci na ostrości, to wtedy wyładowanie następuje w sposób łagodny, odrazu na dużej przestrzeni, powodując błyskawice tlejące, pokrywające odrazu znaczniejszą część nieba, widoczną z ziemi jako płaszczyzna, świecąca blado-ceglastym kolorem. Zjawisko to, widoczne tylko w nocy lub o zmroku, odbywa się — w przeciwieństwie do zjawiska poprzednio opisanego — bez efektu akustycznego.

Zgodnie więc z teorją Lenard'a powstawaniu ładunków w przestrzeni towarzyszy obecność wiatru. Zależnie od przyczyn powstawania tego wiatru dzielimy burze na (inż. J. S. Stjekolnikow i inż. W. W. Jaworskij): 1) letnie, t. j. spowodowane miejscowem bardzo silnem nagrzaniem atmosfery. Obfitują one w liczne wyładowania, o natężeniu prądu wyładowania wahającym się od najmniejszego do największego; 2) zimne, t. j. spowodowane znacznem miejscowem oziębieniem. Burze takie dają jedno lub najwyżej parę wyładowań, jednak przeważnie o wielkiem natężeniu; 3) napływowe, które powstają podczas zmiany pogody na czole fali zimnego powietrza, napływającej na miejsce powietrza gorącego. Najczęściej mamy do czynienia z burzami letniemi, a najrzadziej z zimnemi.

Celem zdania sobie sprawy z poszczególnych wielkości, występujących podczas wyładowania atmosferycznego podajemy, że według obliczeń Wilson'a „średnio wielki" piorun prowadzi ładunek elektryczny, wynoszący około 10-50 C. Przypuśćmy, że mamy do czynienia z wyładowaniem ładunku 20 C; ciekawą rzeczą byłoby zdanie sobie sprawy z objętości chmury, która ulega takiemu wyładowaniu. Otóż w 1 $m^3$ chmury znajduje się 4 gr. pyłu wodnego, który zawiera około 140 jednostek elektrostatycznych; objętość wyładowania musi wówczas wynosić:

$$(20 \,.\, C \times 3 \,.\, 10^9)\ \text{cgs}_e : 140\ \text{cgs}_e/1\ \text{m}^3 = 430\ \text{milj. m}^3$$

Przebicie przestrzeni chmura — ziemia, a więc i wyładowanie atmosferyczne w postaci pioruna nastąpi wtedy, gdy gradient napięcia osiągnie, według Peek'a, wielkość 328 kV/1m. Jeżeli do obliczenia przyjmiemy, że rozpatrywane wyładowanie odbywa się z wysokości, wynoszącej średnio $a = 460$ m, to napięcie panujące między chmurą a ziemią w chwili przeskoku osiąga wielkość $U = 328$ kV/1m $\times$ 460 m $= 150\,000\,000$ woltów. Z założenia, że chmura i ziemia stanowią kondensator płaski o pojemności $C$, a przytem chmura ma powierzchnię $s$ znajdziemy, że:

$$Q = C \,.\, U = \frac{\varepsilon \,.\, s}{4\,\pi\, a} \cdot \frac{U}{3 \,.\, 10^2} \cdot \frac{1}{3 \,.\, 10^9}\ \text{kulombów}$$

Dla powietrza $\varepsilon = 1$, a więc:

$$s = \frac{Q \,.\, 4 \,.\, \pi \,.\, a \,.\, 9 \,.\, 10^{11}}{U} = \frac{20 \,.\, 4 \,.\, \pi \,.\, 46\,000 \,.\, 9 \,.\, 10^{11}}{15 \,.\, 10^7}\ \text{cm}^2 = 6{,}92 \,.\, 10^{10}\ \text{cm}^2 =$$

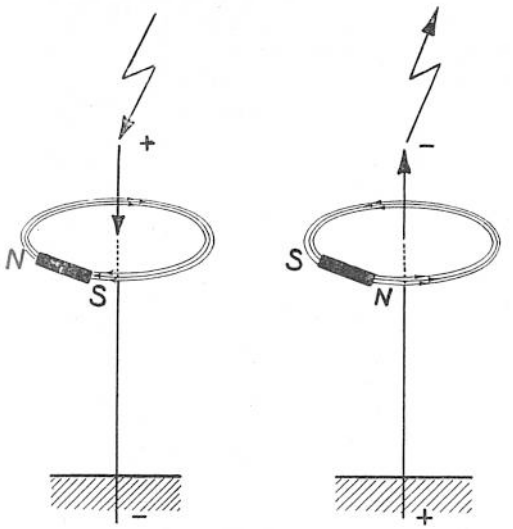
$$= 6{,}92\ \text{km}^2 .$$

Jestto jednocześnie powierzchnia ziemi, naładowana przez influencję znakiem odmiennym od znaku ładunku chmury, czyli tak zw. plama elektryczna chmury. Powierzchnia ta stanowi więc pole, zagrożone uderzeniem pioruna.

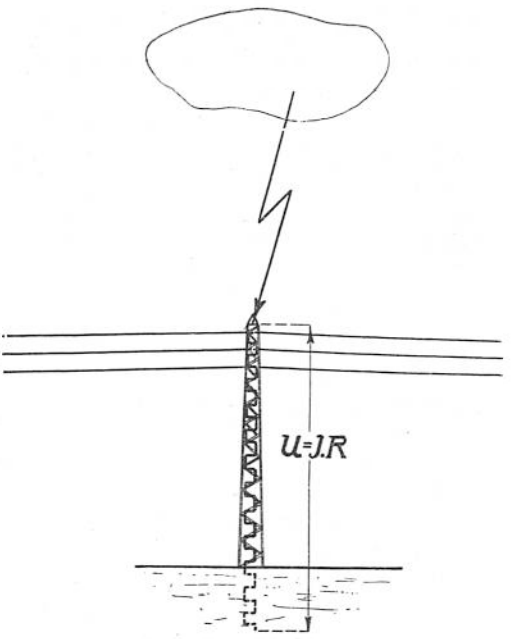
Gdyby rozpatrywana przez nas chmura miała kształt sześcianu, to wysokość jej wynosiłaby:

$$430 \cdot 10^6\ m^3 : 6{,}92 \cdot 10^6\ m^2 = 62\ m.$$

Oczywiście, że wyładowanie całej objętości chmury nie odbywa się w jednej chwili, lecz stopniowo. Rozpoczyna się ono stosunkowo małem natężeniem prądu, a dopiero po upływie czasu, wynoszącego ok. 0,000005 ÷ 0,000020 sek., t. j. po upływie 5 do 20 $\mu$sek., natężenie prądu osiąga swą największą wielkość, poczem maleje. Całkowite wyładowanie trwa około 0,00003 do 0,01 sek. Jeżeli w rozpatrywanym przykładzie wyładowanie trwało 0,00133 sek., to średni prąd wyładowania był $J = 20\ C : 0{,}00133$ sek. = 15 000 A. Obserwowane do tej pory największe średnie natężenia wahały się w granicach 20 000 do 50 000 A. Chwilowe natężenia prądu




Rys. 242. Stwierdzenie kierunku uderzenia pioruna i pomiar natężenia jego prądu.

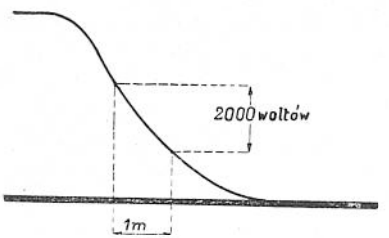



Rys. 243. Bezpośrednie uderzenie pioruna w słup.

wynosiły 100 000 A do 175 000 A, a nawet jak podaje Peek, 500 000 A, przyczem energja pioruna waha się w granicach 3 — 100 kWh, napięcie rzędu 100 milj. woltów, chwilowa moc $7{,}5 \cdot 10^{11}$ kW.

O wielkości prądu piorunowego wnioskujemy z pomiaru magnetyzmu szczątkowego, wzbudzonego nim w wiązce drutów ze stali chromowej, umieszczonej wpobliżu piorunochronu (rys. 242) w ściśle, rzecz prosta, ustalonej odległości od niego. Ponieważ sztabka magnetyzuje się zależnie od kierunku przepływu prądu, przeto z jej biegunowości możemy sądzić o kierunku uderzenia pioruna. W r. 1933 w Niemczech zainstalowała Studiengesellschaft für Höchstpannungsanlagen około 10 000 sztuk takich wiązek, natomiast w r. 1934 założono ich 24 000, a w 1935 r. już 36 000.

Jeżeli piorun o średniem natężeniu wyładowania, wynoszącem 15 000 A, uderzy w żelazny słup toru elektrycznego, a przytem oporność uziemienia tego słupa wynosi np. $R = 50$ omów, wówczas wierzchołek jego stanie nagle pod napięciem względem ziemi, wynoszącem $15\,000 \times 50 = 750\,000$ V (rys. 243). Może to spowodować przebicie izolatora od słupa do przewodu. Przy silniejszych wyładowaniach przepięcie to może osiągnąć wysokość, dochodzącą nawet do 5 000 000 V. W naszym przypadku wrazie przebicia izolatora przewód może stanąć pod napięciem, wynoszącem w stosunku do ziemi: $\left[\frac{U \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}} + 750\,000\right]$ V, gdzie $U$ jest napięciem roboczem międzyfazowem danej linji. Skutkiem tego na linji z przebitym izolatorem powstaje fala wędrowna o stromem czole, którego wysokość ograniczona jest wysokością napięcia przebicia izolatorów (albotеż przeskoku). Wysokość grzbietu fali ograniczona jest wielkością oporu uziemienia i natężeniem prądu pioruna, a długość grzbietu — czasem trwania wyładowania piorunowego. Fala wędrowna w miejscu przebicia rozdzieli się na dwie części, biegnące w przeciwnych kierunkach wzdłuż linji z prędkością 300 000 km/sek. Fala ta natrali na swej drodze na opór falowy, który może wynosić np. 600 omów tak, że natężenie prądu falowego wyniesie: $\frac{750\,000 \cdot 2}{600} = 2\,500$ A. Będzie to odpowiadało mocy fali: $750\,000 \times 2\,500 = 187\,500$ kW. Naogół w sieciach możemy mieć do czynienia z prądem falowym, dochodzącym do 10 000 A. Jednakże tak wielkie natężenie prądu fali wędrownej, dzięki swemu krótkotrwałemu działaniu, linji nie uszkodzi.



Rys. 244. Stromość czoła fali.

Gdyby wzrost prądu wynosił np. 20 000 A/$\mu$sek., to wzrost napięcia osiągnąłby: $\frac{20\,000 \times 600}{2} = 600\,000$ V/$\mu$sek., a wobec rozchodzenia się fali z prędkością $v = 300\,000$ km/sek., stromość czoła fali wyniesie (rys. 244):

$$\frac{600\,000 \text{ V/}\mu\text{sek}}{300\,000\,000 \cdot 10^{-6} \text{ m/}\mu\text{ sek.}} = 2\,000 \text{ V/1 m},$$

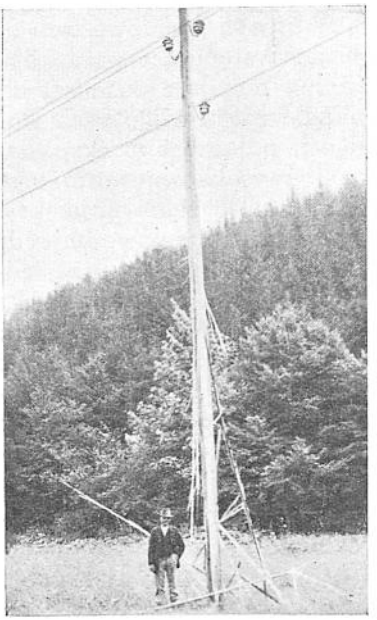
a obserwowana była do wysokości 15 000 V/1 m. Jeżeli fala ta biegnąc, będzie przelatywała nad słupami drewnianemi, to izolacja w szereg połączona: izolator-słup o wytrzymałości wynoszącej około 300—700 kV/m, nie zostanie uszkodzona, gdyż przepięcie fali nie wystarczy do jej przebicia. Izolator, na który przypada stosownie do jego pojemności tak drobna tylko cząstka przepięcia, że nie wystarcza ona na jego przebicie, pozostanie cały tembardziej, że skutkiem wielkiej oporności słupa wzrost napięcia na izolatorze w stosunku do całego zjawiska jest powolny. Sprawa ta będzie się przedstawiała zupełnie inaczej, gdy fala nadleci nad słupy żelazne: wówczas udarowo obciąży tylko sam izolator, który musi ulec przebiciu. Linja o słupach drewnianych wytrzymuje więc wyższe przepięcia niż linja

o słupach żelaznych, skutkiem czego przepięcia w linjach, zbudowanych na słupach drewnianych, mogą być wyższe. Przebicie występujące przy kilku miljonach woltów, powoduje wówczas większe lub mniejsze rozmietlenie słupa, gdyż prąd, płynąc blisko powierzchni słupa wzdłuż wilgotnych słoi, powoduje w nich gwałtowne odparowanie wilgoci, połączone z eksplozją słoi. Stąd pochodzą widoczne na słupach drzazgi. Wysoka oporność słupa drewnianego jest przyczyną, że mimo przebicia słupa do ziemi prąd, płynący przez słup, jest tak mały, że nieznaczny tylko ładunek spłynie do ziemi w czasie, gdy reszta ładunku znajdować się już będzie nad sąsiedniemi słupami. Skutkiem tego przepięcie nie może wydatnie zniżyć się na przewodach tak, że znajdują się one jeszcze pod tak wysokiem napięciem, że i dalsze słupy mogą być uszkodzone. Taka serja uszkodzeń obejmuje zwykle do 5 słupów z każdej strony uderzenia pioruna. Jednakże uszkodzenia takie są bardzo rzadkie, gdyż jak wskazują badania niemieckie (Dr. Müller — Hillebrand, E. T. Z. H. 10/1934), zaledwie 0,1 — 0,6 słupów rozmietlonych rocznie przypada na każde 100 km linji.

Na rys. 245 widzimy fotografję 7 słupów wyjątkowo silnie uszkodzonych skutkiem uderzenia bezpośredniego dwóch piorunów w 2,5-kilometrowy odcinek linji Tringenstein-Wallenfels Elektrowni Okręgowej Hessen-Nassau, o przekroju $3 \times 16$ mm$^2$ Cu, poprowadzonej po mokradłowej łące. Tak silne uszkodzenie słupów należy do niezmiernie rzadkich wypadków i zostało spowodowane burzą o nadzwyczajnie wielkiem nasileniu. Ogółem uszkodzonych było 12 słupów. Linki były zawieszone na izolatorach stojących delta typu wzmocnionego (Hescho-Typ Js 387); cała linja na słupach drewnianych 10 m wysok. ponad ziemią i 2 m głęboko wkopanych. Wszystkie izolatory pozostały całe i po wymianie słupów pracowały nadal.

Jak już wspomnieliśmy, izolatory na słupach żelaznych są bardziej narażone na przebicie, niż na słupach drewnianych oraz betonowych, które zachowują się pod tym względem podobnie do drewnianych. Dlatego też w przypadku bezpośredniego uderzenia pioruna w linję, zbudowaną na słupach żelaznych, ulegają przebiciu izolatory na kilku najbliższych słupach, podczas gdy w takim samym przypadku izolatory w linji, zbudowanej na słupach drewnianych, pozostają całe, a tylko kilka słupów ulega mniejszemu lub większemu uszkodzeniu. Uszkodzenia te mają jednak przeważnie taki charakter, że ruch linji możemy utrzymać przynajmniej aż do czasu programowego wykonania naprawy. Natomiast uszkodzone izolatory na słupach żelaznych powodują natychmiastową dłuższą przerwę w pracy linji i wymagają bezzwłocznej wymiany, a więc dokonanej w czasie, który ze względu na dostawę prądu może być najmniej wygodny.

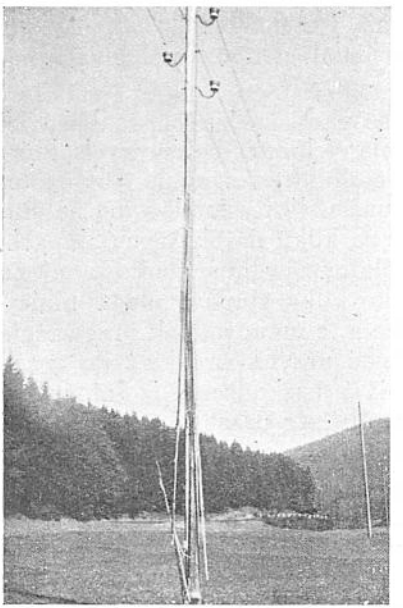
Z drugiej strony jednak przez słupy drewniane spływa znacznie mniejsza ilość ładunku do ziemi niż przez słupy żelazne. Dlatego też w linjach, zbudowanych na słupach drewnianych, skutki uderzenia pioruna objawiają się w odległościach często znacznych od miejsca uderzenia, a to albo na słupach żelaznych, o ile zastosowaliśmy je naprzykład jako odporowe lub na skrzyżowaniach z koleją, albo też w stacjach lub transformatorniach. Przepalone przewody, spotykane często w miejscach uderzenia pioruna, są



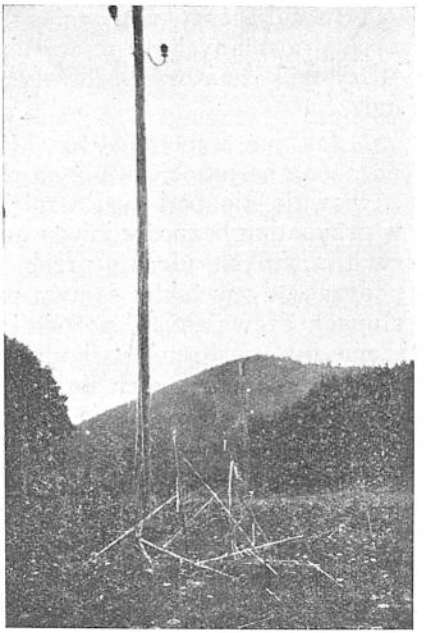
a

skutkiem zapalenia się łuku między przewodami (rys. 246), zasilającego prądem roboczym i spowodowanego wyładowaniem atmosferycznem. Są to najczęstsze przyczyny odłączania poszczególnych odcinków sieci podczas burzy.

Przypuśćmy, że piorun uderzył nie w słup, lecz w linję o oporności falowej $Z$. Gromadzący się w tem miejscu ładunek rozdziela się na dwie części i mknie w przeciwnych kierunkach. Jeżeli oznaczymy przez $J$ prąd pioruna, a przez $U_u$ amplitudę napięcia przeskoku izolatora, to możemy napisać, że $\frac{J \cdot Z}{2} = U_u$. Stąd możemy znaleźć ten prąd pioruna, przy którym nastąpi wyładowanie wzdłuż zastosowanego na linji typu izolatora, umocowanego na najbliższym punktu uziemienia żelaznym słupie: $J = \frac{2 \cdot U_u}{Z}$.

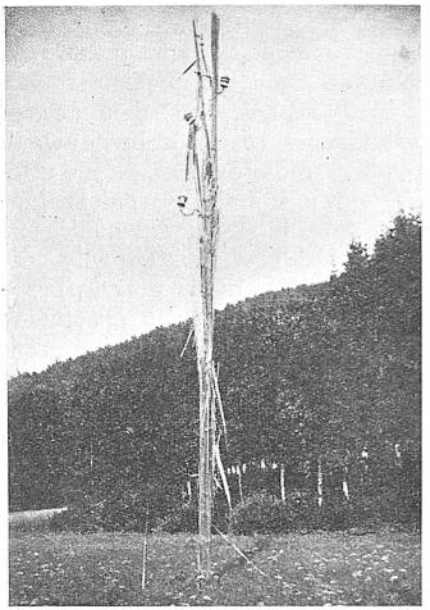


b

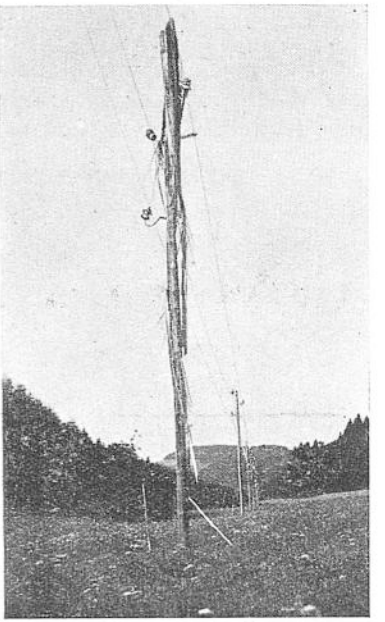


c

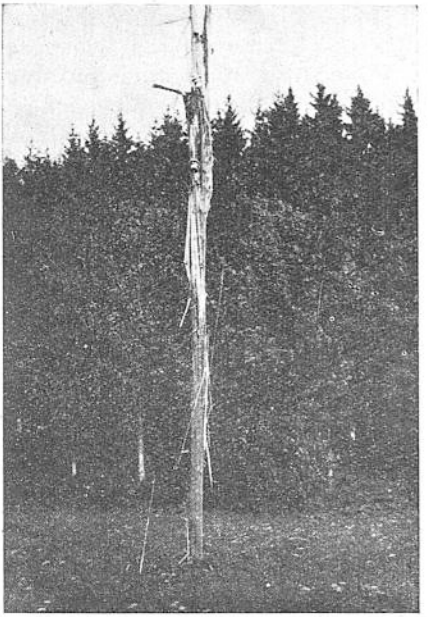
Rys. 245 a, b, c, d, e, f, g. Siedem słupów, uszkodzonych bezpośredniem uderzeniem pioruna w linję 22 kV.



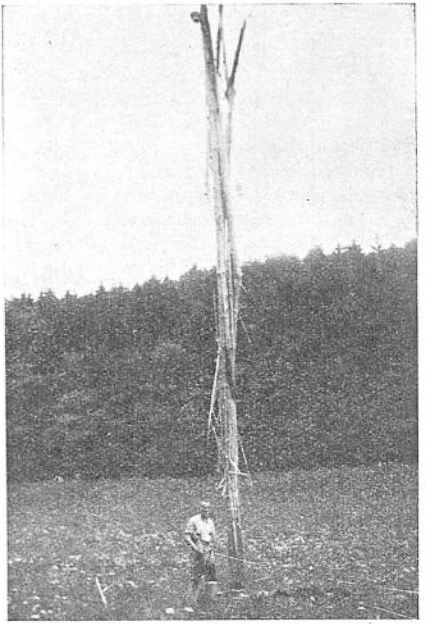
d



e



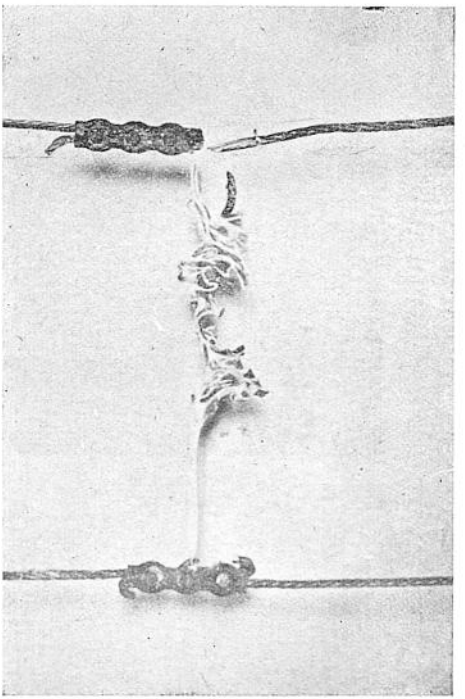
f



g

4. Przepięcia indukowane.

Przepięcia te wywołane są uderzeniem pioruna nie w same przewody, lecz w ich pobliżu. W praktyce badanie skutków tych przepięć nastręcza duże trudności ze względu na to, że rzadko kiedy można stwierdzić, że dane uszkodzenie zostało spowodowane przepięciem indukowanem, a nie uderzeniem jakiejś bocznej gałęzi pioruna w przewody. Doniedawna jeszcze przepięcia indukowane stanowiły granicę możliwości ochrony przeciwprzepięciowej. Wysokość tego przepięcia zależy oczywiście od odległości przewodów od miejsca uderzenia pioruna: jeżeli odległość ta wynosi około 2 km, to wysokość przepięcia rzadko kiedy przekracza 5 kV. Przepięcie takie nie stanowi istotnego niebezpieczeństwa dla urządzeń wysokiego napięcia, jednakże przenosząc się drogą elektrostatyczną i częściowo indukcyjną przez transformator do urządzeń niskiego napięcia, może tam stać się ono niebezpieczne i jest tam najczęściej przyczyną spalenia cewek napięciowych w licznikach i t. p. Wysokość przepięć indukowanych zależy również od geologicznych własności ziemi w miejscu uderzenia pioruna. Uderzenie pioruna w ziemię suchą o wielkim oporze powoduje powstanie w pobliskich przewodach przepięć niskich; jeśli natomiast ziemia jest bagnista o oporze małym, wówczas powstają przepięcia bardzo groźne.



Rys. 246. Odtworzenie łuku międzyprzewodowego, zasilanego prądem roboczym, spowodowanego bezpośredniem uderzeniem pioruna.

Dla określenia wysokości przepięcia indukowanego w przypadku uderzenia pioruna w pobliżu przewodów F. W. Peek podaje następujący wzór:

$$U_i = g \,.\, h \,.\, \alpha$$

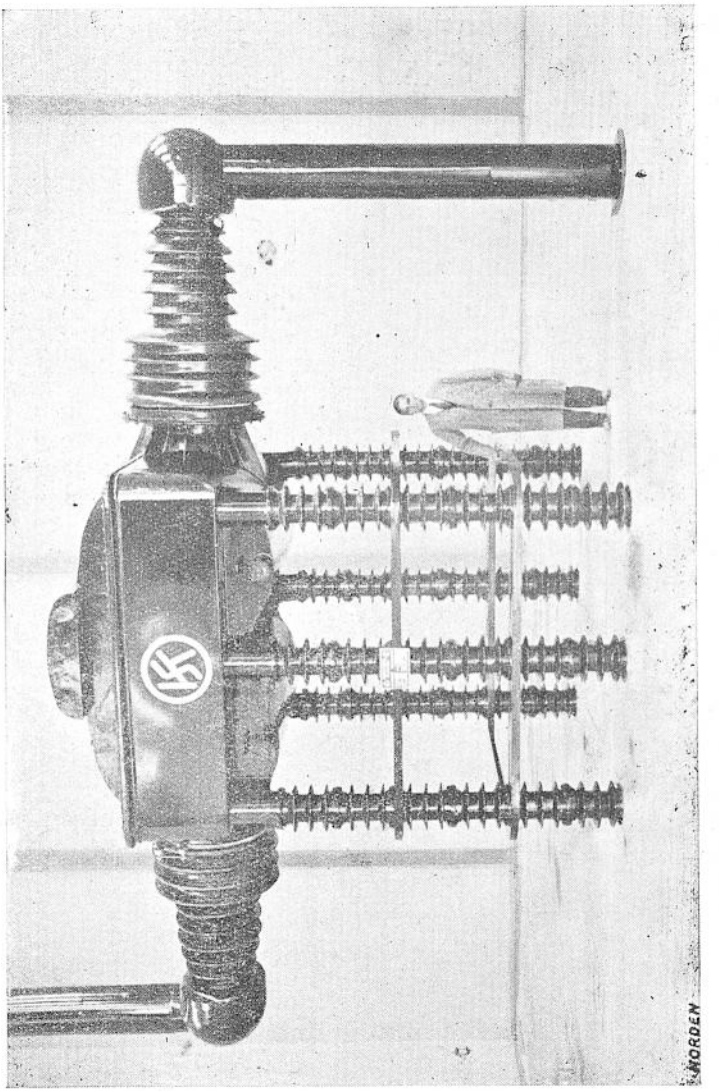
gdzie $g = 328$ kV/m, $h =$ średnia wysokość w metrach zawieszenia przewodów ponad ziemią, a $\alpha \leqq 1$ jest spółczynnikiem, zależnym od natężenia prądu wyładowania atmosferycznego oraz od wysokości chmury ponad ziemią. Jeżeli dla przykładu przyjmiemy, że $h = 15{,}25$ m i że prąd pioruna wynosi $J = 600\,000$ A, to napięcie indukowane na przewodach wyniesie:

$$U_i = 328 \,.\, 15{,}25 \,.\, 0{,}4 = 2\,000 \text{ kV},$$

gdzie spółczynnik $\alpha = \dfrac{0{,}6 \,.\, J}{3\,280 \,.\, H} = \dfrac{0{,}6 \,.\, 600000}{3\,280 \,.\, 275} = 0{,}4,$

przyczem założyliśmy, że chmura znajdowała się na wysokości $H = 275$ m. Czas trwania wyładowania obliczymy tu w przybliżeniu:

$$T = \frac{H}{300} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha^2} - 1} = \frac{275}{300} \cdot \sqrt{\frac{1}{0{,}4^2} - 1} = 1{,}84\ \mu s$$




Rys. 247. Transformator probierczy na $^3/_4$ milj. woltów, 450 kVA.
(Porcelain Fabriken Norden A/S, Köbenhavn).

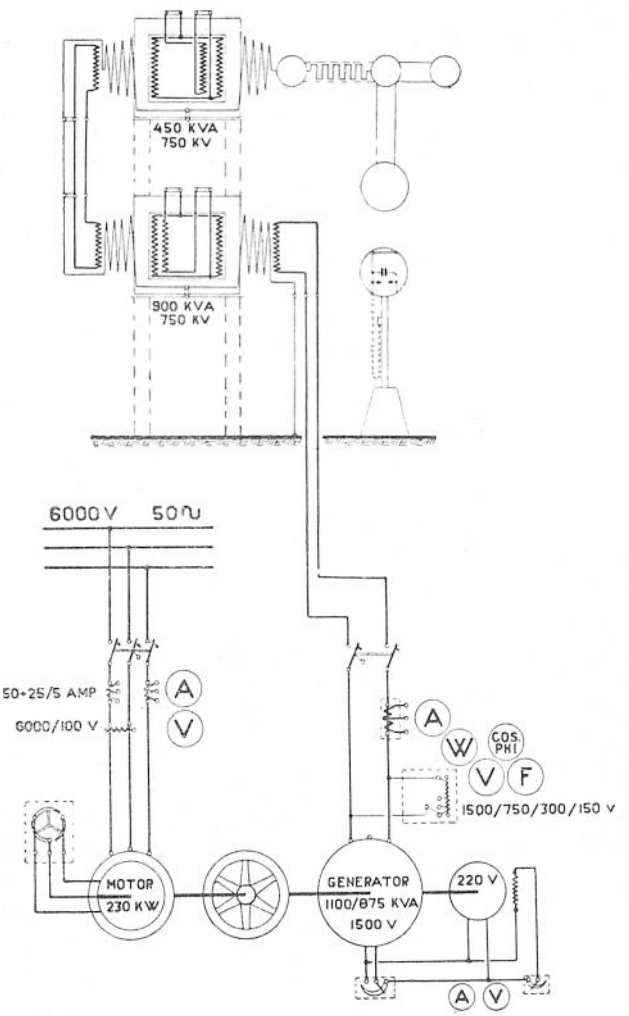
Jestto wyjątkowo groźny przypadek, w praktyce nadzwyczaj rzadko spotykany; bezpośrednio mogłyby mu stawić czoło sieci zbudowane na napięcie robocze 230 kV o 16 ogniwach w łańcuchu.

Naogół jednakże przepięcia indukowane stanowią istotne niebezpieczeństwo dla urządzeń o napięciu roboczem tylko do 30 kV.

Z powyżej podanego obliczenia widzimy, że im wyższe są słupy na których zbudowaliśmy sieć, z tem wyższemi przepięciami indukowanemi w linjach będziemy mieli do czynienia.

5. Fale uskokowe.

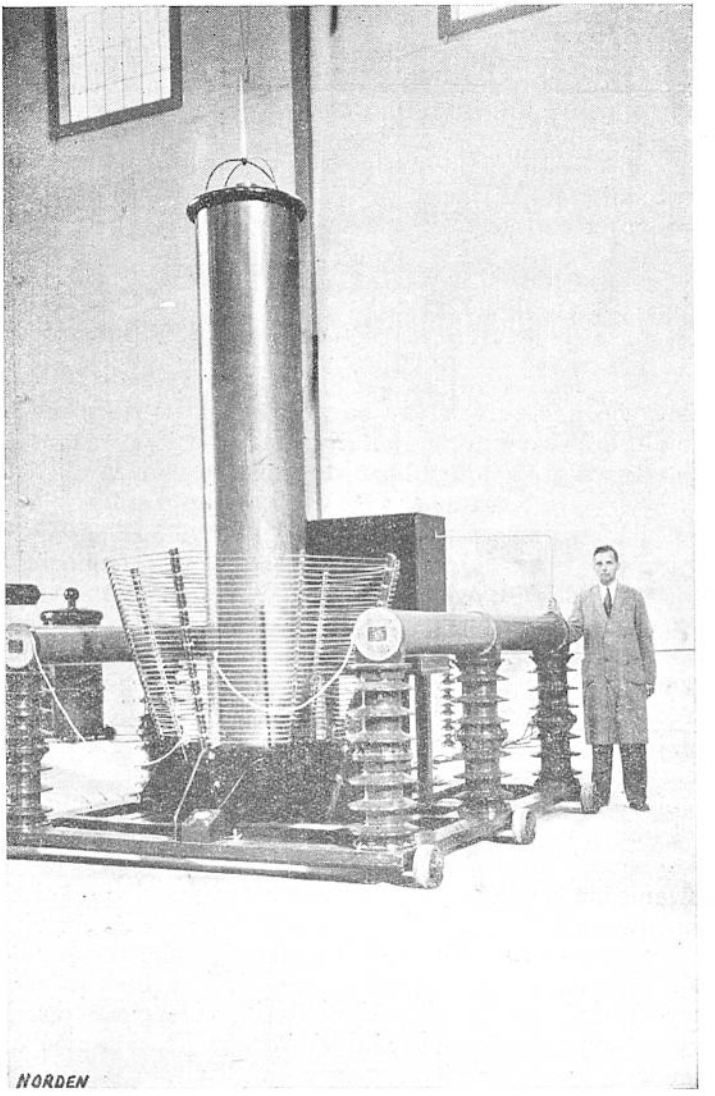
Dopiero przed kilku laty stwierdzono, że pod wpływem fal uskokowych izolacja zachowuje się zupełnie inaczej niż pod wpływem napięcia o normalnej częstotliwości lub nawet częstotliwości wysokiej. Toteż jeszcze do niedawna jedynem kryterjum dla doboru izolatorów w linjach elektrycznych i stacjach, bądźto transformatorowych bądźteż rozdzielczych, była próba izolatora: a) na przeskok na mokro, t. j przy sztucznym deszczu o opadzie 3 mm/min. i oporności użytej do tego celu wody równej 10 000 omów na 1 $cm^3$ (przewodność właściwa 100 $\mu$ S . $cm^{-1}$); w dodorze takiej właśnie wody zrobiono tu obostrzenie, polegające na tem, że zwykła woda deszczowa ma oporność znacznie większą, bo wynoszącą 50 000 omów na 1 $cm^3$ (przewodność właściwa 20 $\mu$ S . $cm^{-1}$. Zmniejszając przewodność tak znacznie, uwzględniono pierwszy moment padania deszczu na pokryte jeszcze pyłem izolatory; pył, spływając z wodą, osłabia jej oporność; oraz b) na przeskok na sucho.




Rys. 248. Schemat połączeń urządzenia do przeprowadzania prób napięciem do 3/4 milj. woltów o częstotliwości roboczej (Norden A/S).

Obie te próby, jak również i próba na przebicie, robione są prądem o częstotliwości roboczej (rys. 247 i 248). Jak już wiemy, musimy się jednakże liczyć także z przepięciami natury

drgającej, których powstanie powodowane jest tego rodzaju przyczynami, jak naprzykład uziemienie. Mamy więc tutaj do czynienia z przepięciami wysokiej częstotliwości, przy której wyładowania na izolatorach, szczegól-




Rys. 249. Transformator Tesli do badania izolatorów napięciem wysokiej częstotliwości 60 000 do 80 000 okr/sek i amplitudzie napięcia do 1 miljona woltów (Norden A/S).

nie o gładkiej powierzchni, występują przy niższem napięciu aniżeli wynosi napięcie o częstotliwości roboczej (rys. 249). Okoliczność tę uwzględniamy w doborze odpowiedniego kształtu izolatora.

Dla ilustracji przytoczymy wyniki badania izolatora wsporczego o długości przeskoku 75 cm, dokonanego w laboratorjum firmy Hescho:

| Wykonanie izolatora wsporczego | Amplituda min. nap. przeskoku przy częst. robocz. | Amplituda nap. przesk. wys. częstotliwości przy próbie transform. Tesli o słabem sprzężeniu | Obniżenie wytrzymałości izolatora o |
|---|---|---|---|
| O powierzchni gładkiej . . | 395 $kV_{max}$ | 230 $kV_{max}$ | 42% |
| O powierzchni gładkiej, lecz z krezą porcel. u góry . | 400 „ | 290 „ | 25% |
| Z krezą u góry i o powierzchni zaopatrzonej w daszki okapowe . . . . . | 400 „ | 335 „ | 16% |

Widzimy więc, że ze względu na przepięcia drgające nie powinno się używać izolatorów stacyjnych gładkich. Stąd jest rzeczą zrozumiałą, że z racji swego kształtu izolatory linjowe, zarówno stojące jak i tembardziej wiszące, nie wykazują obniżenia swej wytrzymałości izolacyjnej pod obciążeniem napięcia wysokiej częstotliwości.

Jeżeli przykładamy do danego iskiernika pewne napięcie, które stopniowo podnosimy, to po osiągnięciu pewnego odpowiednio wysokiego napięcia, t. zw. najniższego napięcia przebicia, następuje w iskierniku wyładowanie. Skoro teraz przyłożymy do tego samego iskiernika, nie zmieniając jego rozchylenia, napięcie gwałtownie rosnące, to przebicie nie nastąpi w chwili osiągnięcia dopieroco wspomnianego najniższego napięcia przebicia, lecz nieco później, t. j. po upływie pewnego czasu opóźnienia, a więc przy znacznie wyższem napięciu.

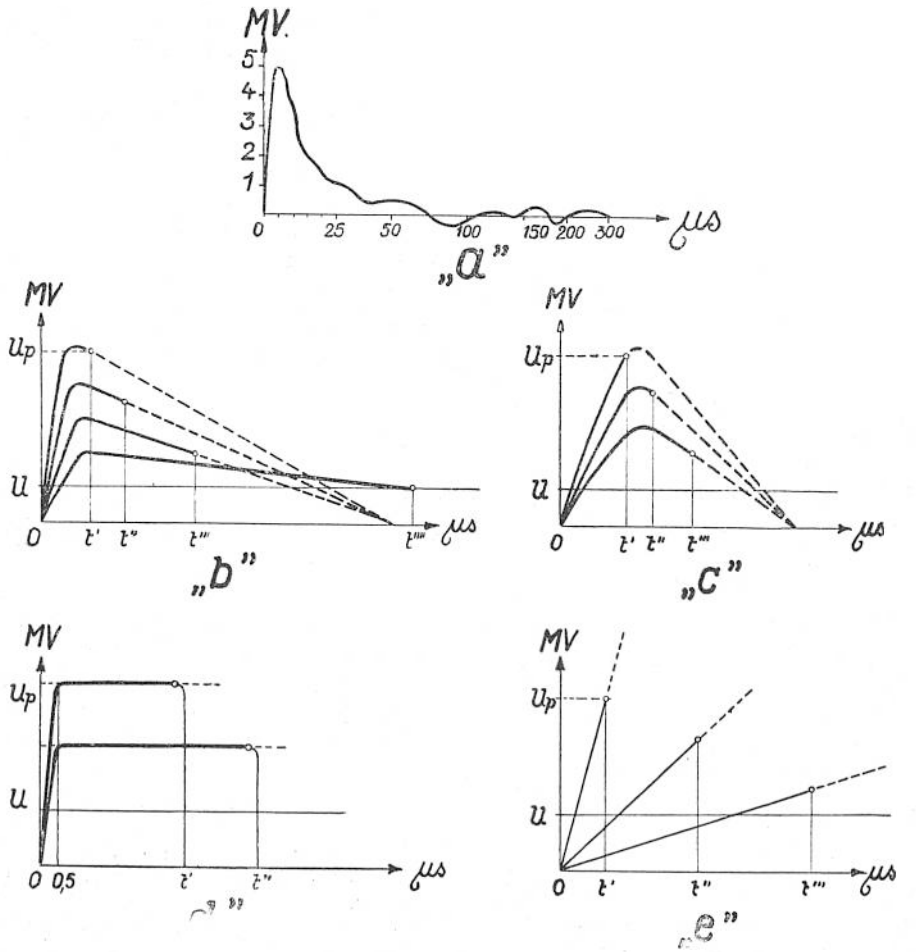
Dlategoteż przy falach uskokowych izolator wytrzymuje — zarówno na przeskok jak i na przebicie — znacznie wyższe napięcie niż przy częstotliwości roboczej, a więc 50-okresowej.

Zachowanie się izolatorów oraz przyrządów przeciwprzepięciowych wobec fal uskokowych odgrywa tak wielką rolę w ochronie przeciwprzepięciowej, że nad sprawą tą musimy bliżej się zastanowić.

Jak już wiemy z rozważań nad zjawiskami, zachodzącemi w przerwie łukowej, wyrównanie potencjałów dwóch ciał uzależnione jest od jonizacji tej przerwy, a jonizacja natomiast zależy od wysokości napięcia panującego między krańcami jonizowanej przestrzeni, od kształtu tych krańców (elektrod), od stanu fizycznego gazu jonizowanego i t. d. Zatem wyładowanie w przestrzeni międzyelektrodowej nie następuje w chwili powstania odpowiednio wysokiego napięcia, lecz, licząc od tej chwili powstawania, po upływie pewnego czasu, t. zw. czasu opóźnienia wyładowania, koniecznego do odpowiedniego zjonizowania przestrzeni, w której wyładowanie ma nastąpić, jak np. zawartej między przewodem a uziemioną konstrukcją. To opóźnienie wyładowania natomiast, wobec konieczności wydatkowania pewnej

energji na przeprowadzenie jonizacji, zależy nietylko od wysokości napięcia, lecz również i od kształtu krzywej przebiegu tego napięcia. Wyładowanie jest więc jednocześnie funkcją czasu i napięcia.

Tak więc napięcie wyładowania i opóźnienie wyładowania są wielkościami, charakteryzującemi zachowanie się materjału izolacyjnego pod wpływem przepięć.




Rys. 250. Charakterystyczne przebiegi fal uskokowych oraz zależne od tych przebiegów opóźnienia przeskoku:
„a" fala uskokowa, zaobserwowana w Ogemaw w Arkansas w 1930 r., „b" fale uskokowe długie, „c" fale uskokowe krótkie, „d" fale uskokowe prostokątne, „e" fale uskokowe o równomiernym wzroście napięcia.

Z rozważań tych bezpośrednio wynika, że napięcie wyładowania będzie najniższe wówczas, gdy opóźnienie wyładowania będzie największe, oraz że napięcie wyładowania będzie największe, gdy opóźnienie wyładowania będzie najmniejsze, to jest teoretycznie równe zeru, co jest nieosiągalne; a więc praktycznie: gdy opóźnienie to będzie bardzo bliskie zera.

Dzięki zdjęciom oscylograficznym, dokonanym przeważnie w Ameryce, znany jest nam w przybliżeniu kształt fali uskokowej. Najbardziej charakterystyczną krzywą fali uskokowej jest fala zaobserwowana w Ogemow (Arkansas) w 1930 r., podana na rys. 250 „a".

Teraz skolei poddajemy iskiernik działaniu serji napięć o przebiegach, oznaczonych literami „*b*", „*c*", „*d*" i „*e*" i jeżeli na tych krzywych oznaczymy punktami napięcie i czas wyładowania, to z doświadczeń tych możemy wysnuć cenne wnioski. Tak naprzykład czas opóźnienia wyładowania jest tem mniejszy, im wyższa jest amplituda napięcia czyli $t' < t'' < t'''$ (rys. 250 „b").

Przy niższych amplitudach (rys. 250 „c") napięcia wyładowania następują na grzbiecie fali, a tylko przy bardzo wysokich, stromo rosnących amplitudach wyładowanie następuje na czole fali. Krzywa „*d*", charakteryzująca się bardzo stromo rosnącem czołem i poziomo przebiegającym grzbietem, wyobraża przebieg fali t. zw. prostokątnej. Fala prostokątna jest granicznem pojęciem stromości czoła fali, pojęciem czysto wyobrażalnem; jest ona w praktyce nieosiągalna i teoretycznie niemożliwa, gdyż w iskrze, będącej przyczyną napięcia uskokowego, musiałaby dla wytworzenia fali kwadratowej oporność zmaleć w jednej chwili z wielkości nieskończenie wielkiej do zera, co oczywiście jest niemożliwe. Dlategoteż fala uskokowa, którą nazwaliśmy falą prostokątną, ma wprawdzie czoło bardzo strome, niemniej jednak nieco skośne.

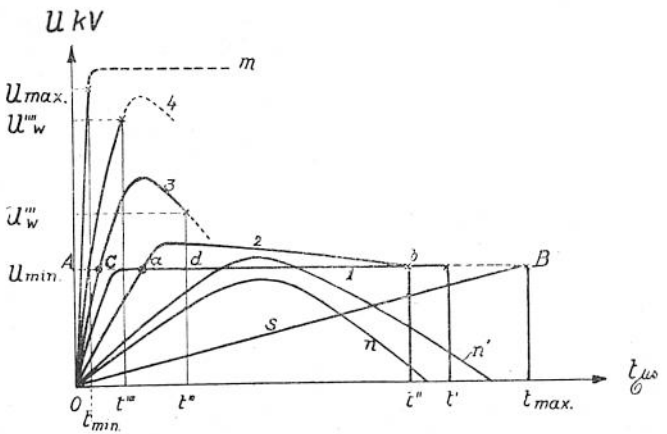
Przy wyładowaniach, występujących na grzbiecie fali, napięcie wyładowania będzie tem wyższe, a czas wyładowania tem krótszy, im bardziej stromo będzie opadał grzbiet fali. Napięcie najniższe, przy którem występuje jeszcze wyładowanie, nazywamy napięciem wyładowania najniższem. Wyładowanie następuje przy najniższem napięciu wyładowania wówczas, gdy napięcie będziemy podnosili tak powoli, że w każdej chwili będziemy mogli uważać, że zjawisko odbywa się w stanie ustalonym. Wobec bardzo krótkiego czasu opóźnienia wyładowania, próbę tę możemy dokonywać zarówno prądem stałym jak i zmiennym 50-okresowym.

Przypuśćmy, że zjawiska te rozpatrujemy w linji elektrycznej, zawieszonej na izolatorach. Jeżeli w rysunkach naszych wkreślimy prostą, odpowiadającą amplitudzie najniższego napięcia przeskoku $U$ izolatorów, ustaloną prądem o częstotliwości roboczej lub prądem stałym, to zauważymy, że przy falach uskokowych wyładowanie następuje powyżej tego napięcia, lecz wrazie długiej fali (rys. 250 „b") przy opóźnieniu, wynoszącem ok. 1 000 $\mu s$, $U_p = U$ i tylko przy odpowiedniej jonizacji, spowodowanej specjalnemi środkami zewnętrznemi, wyładowanie może nastąpić i przy napięciu niższem od najniższego napięcia wyładowania przy częstotliwości roboczej.

Opóźnienie wyładowania jest tem większe, im łagodniej wzrasta czoło fali (rys. 250 „e"); przytem na łagodniejszem czole przeskok następuje przy niższem napięciu, niż przy fali o stromem czole.

Zależność opóźnienia wyładowania od wielkości napięcia zestawiamy na rys. 251, na którym widzimy, że w przypadku bardzo powolnego wzrostu napięcia według krzywej „*s*" otrzymujemy $t_{max}$ i $U_{min.}$ Wszystkie napięcia, które przebiegają według krzywych, leżących poniżej linji $AB$, odpowiadającej temu najniższemu napięciu wyładowania, np. „*n*", nie spo-

wodują wyładowania. Również nie nastąpi wyładowanie wogóle, o ile napięcie ($n'$) przekroczy wprawdzie prostą $AB$, lecz nie spowodowawszy wyładowania, opadnie poniżej tej prostej. W tym przypadku jednak nie są wykluczone wyładowania wzdłuż jakiejś cząstki całkowitej drogi wyładowania. Stosunkowo najdłuższy czas wyładowania $t'$ wykazuje fala o przebiegu napięcia, wyobrażonym krzywą 1, t. j. fala prostokątna, której grzbiet poziomy biegnie wzdłuż prostej $AB$. Nieco krótszy czas wyładowania $t''$ wykazuje fala o przebiegu 2, niewiele tylko wyskakująca ponad $AB$, lecz posiadająca długi, łagodnie opadający grzbiet. O ile więc wyładowanie przy wyżej wymienionych przebiegach występowało przy $U_{min}$, o tyle przy fali o przebiegu 3 wyładowanie następuje przy $U_w''' > U_{min}$ i po upływie $t''' < t'' < t' < t_{max}$. Czas tego wyładowania będzie jeszcze krótszy, t. j. $t'''' < t'''$, gdy wyładowanie nastąpi na czole fali (krzywa 4) i wówczas napięcie wyładowania $U''''_w > U'''_w$. Wreszcie opóźnienie będzie najmniejsze, t. j. teoretycznie $t_{min} = 0$, a praktycznie $t_{min} = 0{,}1 \div 0{,}5\,\mu s$, gdy wyładowanie nastąpi na czole fali prostokątnej $m$. Wówczas napięcie wyładowania będzie największe $U_{max}$.



Rys. 251. Wpływ kształtu fali uskokowej na wyładowanie

Korzystając z rozpatrywanego rysunku zauważymy, że każda z krzywych przebiegu napięcia fal uskokowych przecina linję $AB$, t. j. linję najniższego napięcia przeskoku, raz na swem czole, np. krzywa 2 w p. „$a$", natomiast krzywa 3 w p. „$c$", a drugi raz po wyładowaniu opadającem swym grzbietem, a więc krzywa 2 w p. „$b$", a krzywa 3 w p. „$c$". Punkty te odcinają więc na poziomie najniższego napięcia wyładowania pewne czasy, które niektórzy autorowie, jak np. Dr. Ing. Harald Müller, nazywają: (krzywa 2) czas odpowiadający długości $ab$ (dla krzywej 3 — $cd$) absolutnem opóźnieniem wyładowania (n. absoluter Zeitverzug), natomiast stosunek $ab : Aa$ dla krzywej 2 oraz $cd : Ac$ dla krzywej 3 — względnem opóźnieniem wyładowania (n. relativer Zeitverzug). Zauważymy z łatwością, że absolutne opóźnienie wyładowania jest tem większe, im łagodniejszy przebieg ma grzbiet fali, a względne opóźnienie wyładowania jest tem większe, im bardziej strome jest czoło fali. Te dwie wielkości charakteryzują do pewnego stopnia kształt fali.

Opóźnienie wyładowania zależy od stosunku napięcia $U_w$, przy którem następuje wyładowanie, do amplitudy napięcia $U$ początku wyładowa-

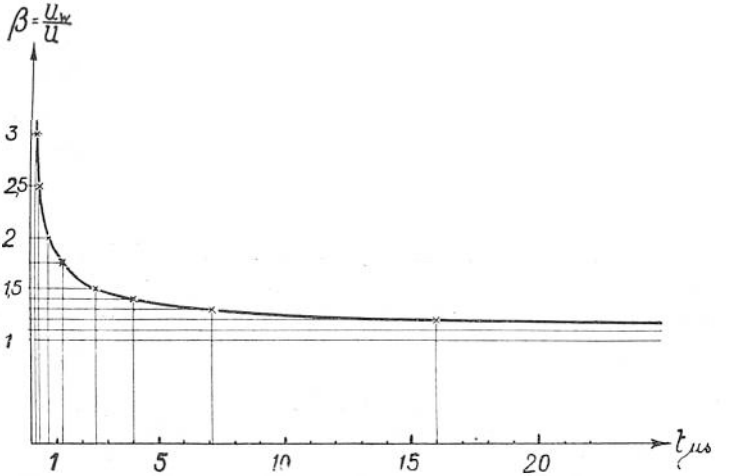
nia przy częstotliwości roboczej. Im większy jest ten stosunek, tem mniejsze jest opóźnienie.

Wszystkie te zależności zbadał Peek i dla fali prostokątnej wyraził wzorem:

$$\beta = \left(1 + \frac{a}{\sqrt{t}}\right),$$

gdzie spółczynnik impulsu fali uskokowej, t. zw. przez Peek'a „impulse ratio", $\beta = \frac{U_w}{U}$; „$a$" jest stałą dla przerwy, w której odbywa się wyładowanie, zależną przedewszystkiem od długości drogi wyładowania, oczywiście poza kształtem i materjałem elektrod, między któremi wyładowanie się odbywa.

Dla wyładowań na izolatorach . . . . . $a_i = 0{,}8 \div 1{,}2$
dla wyładowań na iskierniku ostrzowym (na rożkach) $a_r = 1{,}2 \div 2{,}2$,
gdzie niższe wartości dotyczą fal dodatnich, a wyższe fal ujemnych. Przyj-




Rys. 252. Zależność opóźnienia wyładowania od wielkości impulsu fali uskokowej według wzoru F. W. Peek'a jr. przy $a = 0{,}8$.

mując więc $a = 0{,}8$, na rys. 252 przedstawiamy graficznie zależność opóźnienia wyładowania od wielkości impulsu fali uskokowej, obliczonej według wyżej podanego wzoru Peek'a.

Z tego wzoru znajdziemy, że opóźnienie wyładowania:

$$t = \left(\frac{a}{\beta - 1}\right)^2$$

Niestety wzór ten daje tylko orjentacyjne wielkości czasu $t$, gdyż nie zawiera całego szeregu czynników, zresztą matematycznie jeszcze ściśle nie ujętych, które mają wpływ na wielkość opóźnienia wyładowania. Szczególnie dotyczy to krótszych długości przeskoku, a więc wysokich napięć, niższych i średnich, dla których badane izolatory wykazują znaczne rozproszenie otrzymanych rezultatów. Dlategoteż, opierając się na doświadcze-

niach zarówno amerykańskich (Westinghouse Electric Co. — P. H. Mc Auley i F. D. Fielder), jak i niemieckich (Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren-Gesellschaft — Dr. Ing. Harald Müller), nie możemy przedstawić graficznie zależności $U_w$ od $t$. Z tego względu narazie jedynie miarodajnemi wykresami są te, które przedstawiają zależności $U_w$ lub też $\beta$ (na osi rzędnych $y$) od wielkości $T$, t. j. tzw. czasu stałego grzbietu fali, lub też $t_p$, t. zw. czasu trwania tej części amplitudy napięcia fali, która jest większa od połowy swej wielkości max. (na odciętych $x$); czasy te będą zdefiniowane poniżej.

Z wyżej podanego wzoru Peek'a na opóźnienie wyładowania znajdujemy, że wysokość napięcia wyładowania jest równa:

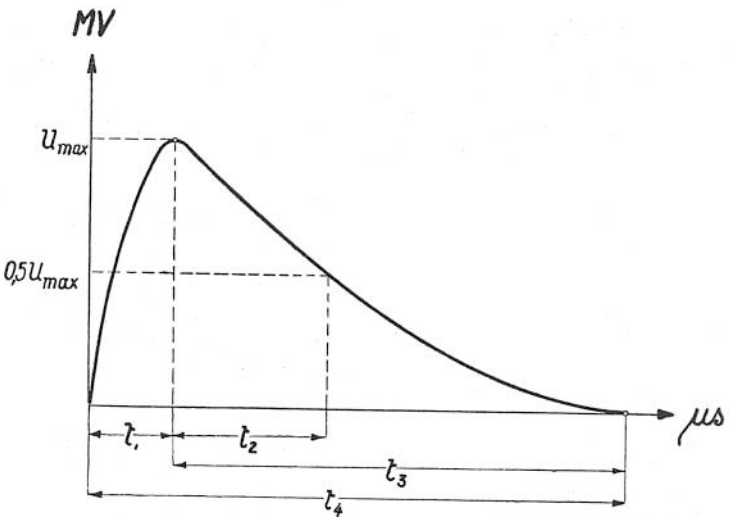
$$U_w = U\left(1 + \frac{a}{\sqrt{t}}\right).$$

Spółczynnik fali uskokowej $\beta$ charakteryzuje do pewnego stopnia tę falę, toteż Peek, przyjmując długość czoła fali, odpowiadającą 1 $\mu s$, wprowadza pojęcie fali stromej, umiarkowanej i łagodnej. Pod falą stromą rozumie on taką falę, w której spółczynnik $\beta = 1{,}5 \div 2{,}2$; falę umiarkowaną charakteryzuje stosunek ten zawarty w granicach $1{,}2 \div 1{,}5$ i wreszcie fala łagodna, gdy $\beta \leqslant 1{,}2$.

Jednakże taki podział fal wprowadzałby pewną różnorodność w wynikach badań laboratoryjnych, dokonywanych nad poszczególnemi częściami składowemi urządzeń elektrycznych. Stąd też wyniki poszczególnych badaczy mówiłyby nam niewiele bez szczegółowego omówienia, a w każdym razie nie mogłyby być bezpośrednio porównywane z sobą. Dlategoteż czynione są próby znormalizowania kształtu fal uskokowych, wytwarzanych w laboratorjach dla celów badawczych i probierczych, przyczem dąży się do tego, aby ustalić je w możliwie daleko idącem podobieństwie do fal uskokowych, najczęściej pojawiających się w naturze. Liczne zdjęcia oscylograficzne wskazują, że kształt ten zbliżony jest do kształtu krzywej, otrzymanej w Ogemow (rys. 250 „a") z tem, że falę tę odczyszczamy ze zniekształcającej ją nieco, nałożonej na nią, fali oscylacyjnej, która najlepiej daje znać o sobie w końcowym przebiegu grzbietu fali uskokowej. Kształt takiej charakterystycznej fali uskokowej przedstawiony jest na rys. 250 „a". W poniższej tabeli zebrane są dane, dotyczące poszczególnych długości tej krzywej, stwierdzone oscylograficznie:

| | Ogólnie | Najczęściej | |
|---|---|---|---|
| Czoło $t_1$ = | 0,5 ÷ 100 | 1 ÷ 10 | $\mu s$ |
| $t_2$ = | 1 ÷ 100 | 5 ÷ 50 | „ |
| grzbiet $t_3$ = | 3 ÷ 300 | 15 ÷ 85 | „ |
| całkowita dług. fali $t_4$ = | 5 ÷ 500 | 16 ÷ 75 | „ |
| | | (rzadko dłużej nad 100 $\mu s$) | |

Biorąc pod uwagę, że prędkość rozchodzenia się fal wzdłuż przewodów napowietrznych wynosi około 300 m/$\mu s$ widzimy, że fala rzadko kiedy zajmuje dłuższy odcinek sieci od 100 $\mu s$ . 300 m/$\mu s$ = 30 km. Dla określenia takich fal wprowadzono pojęcie długości tej części grzbietu fali wędrownej (rys. 253), pod którą rozumie się wielkość proporcjonalną do czasu $t_2$ $\mu s$, który upływa od chwili osiągnięcia maximum napięcia czoła fali do chwili, w której napięcie fali zniży się do połowy tego max. napięcia czoła fali. Fale takie postanowiono oznaczać w postaci ułamka, w którym licznik wskazuje długość czoła fali, a mianownik długość tej właśnie części grzbietu fali; za ułamkiem w nawiasie stawia się znak + lub —, wskazujący biegunowość fali (elektrody nieuziemionej). Należy tutaj nadmienić, że napięcia wyładowania fal ujemnych są wyższe. Normalizacja tych fal w dniu dzi-




Rys. 253. Czasy charakterystyczne fali uskokowej.

siejszym nie jest jeszcze ustalona; istnieje natomiast propozycja stosowania fal 0,5/5 $\mu s$ lub też 1/5 $\mu s$, 1/10 $\mu s$ oraz 1/40 $\mu s$ lub też 1,5/40 $\mu s$, które dobrano stosownie do spostrzeżeń oscylograficznych, osiągniętych w praktyce. Próby, dokonywane z falą 0,5/5 $\mu s$, uważa się za próby ostre, natomiast próby z falami 1/10 czyteż 1/40 należą do prób łagodniejszych.

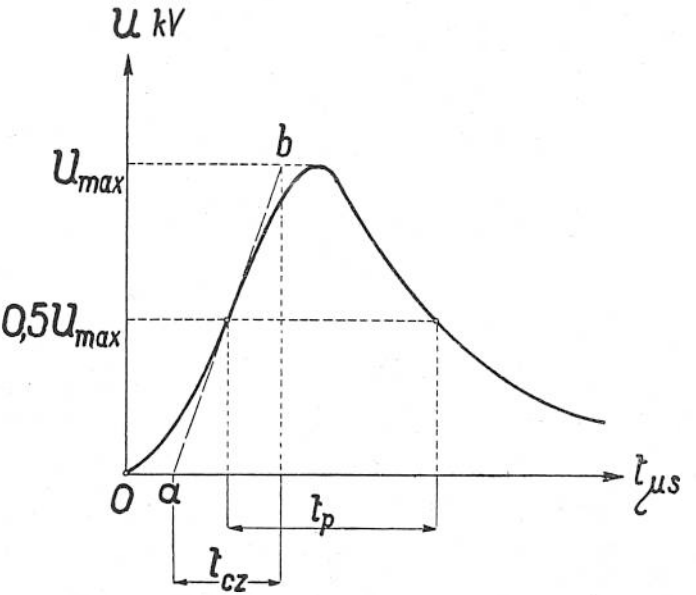
Niektóre fabryki, naprzykład Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi, wytwarzają jeszcze krótsze fale specjalnie dla „ostrego" badania izolatorów, a mianowicie 0,5/3,5 $\mu s$, oraz falę ze stromem czołem i łagodnym grzbietem 0,5/50 $\mu s$. Natomiast dla prób na falę uskokową maszyn uzwojonych nie używa się fal krótkich, gdyż uzwojenia wykazują bardzo znaczne opóźnienie wyładowania. Dlategoteż dla uzwojeń niebezpieczniejsze od fal krótkich są fale długie, a więc np. 1,5/40 $\mu s$. Próby wykonywa się zazwyczaj na modelu uzwojenia danej maszyny, wykonanym z zachowaniem odpowiadającego danej maszynie kształtu uzwojenia, krzywizny, materjału przewodowego i izolacji. Najczęściej są to więc dwa pręty miedziane izolowane, imi-

tujące dwa najbliższe siebie zwoje. Transformatory gotowe poddaje się tylko łagodnym próbom na fale uskokowe.

VDE w przepisach swych, które weszły w życie 1.I.1935, wprowadziło nieco inne definicje charakterystyczne czasów fali uskokowej (ETZ H. 21/1934, str. 525 „Leitsätze für die Prüfung mit Spannungsstössen"), a mianowicie (rys. 254):

czas trwania czoła fali jest $t_{cz} = \frac{\text{największa amplituda napięcia fali}}{\text{stromość czoła fali}}$

gdzie przez stromość czoła fali wyraża się wzrost napięcia w kV na 1 $\mu s$ przy połowie największej amplitudy napięcia fali (rys. 254). W ten sposób




Rys. 254. Wielkości charakterystyczne fali uskokowej według VDE 1935.

jako czas trwania czoła fali rozumie się czas trwania czoła zastępczego t. zw. klinowatego $a - b$ (t. j. o stałym wzroście napięcia $\frac{du}{dt} = \text{const.}$), które ma tę samą stromość co czoło fali rozpatrywanej przy amplitudzie napięcia $0{,}5 \cdot U_{max}$. W ten sposób stromość czoła $= \frac{U_{max}}{t_{cz}}$ $kV_{max}/\mu s$. W praktyce możemy się spotkać ze stromością czoła większą od 1 000 $kV_{max}/\mu s$.

Jak widzimy, czas trwania czoła fali, określony przez VDE, różni się od definicji tego czasu, podawanej naprzykład przez Amerykan. $t_{cz}$ według VDE może wynosić około połowy czasu, jaki upływa od początku powstania fali uskokowej do osiągnięcia najwyższej amplitudy napięcia.

Wreszcie VDE wprowadza pojęcie czasu trwania $t_p$ tej części fali uskokowej, której amplituda jest większa od połowy amplitury największej.

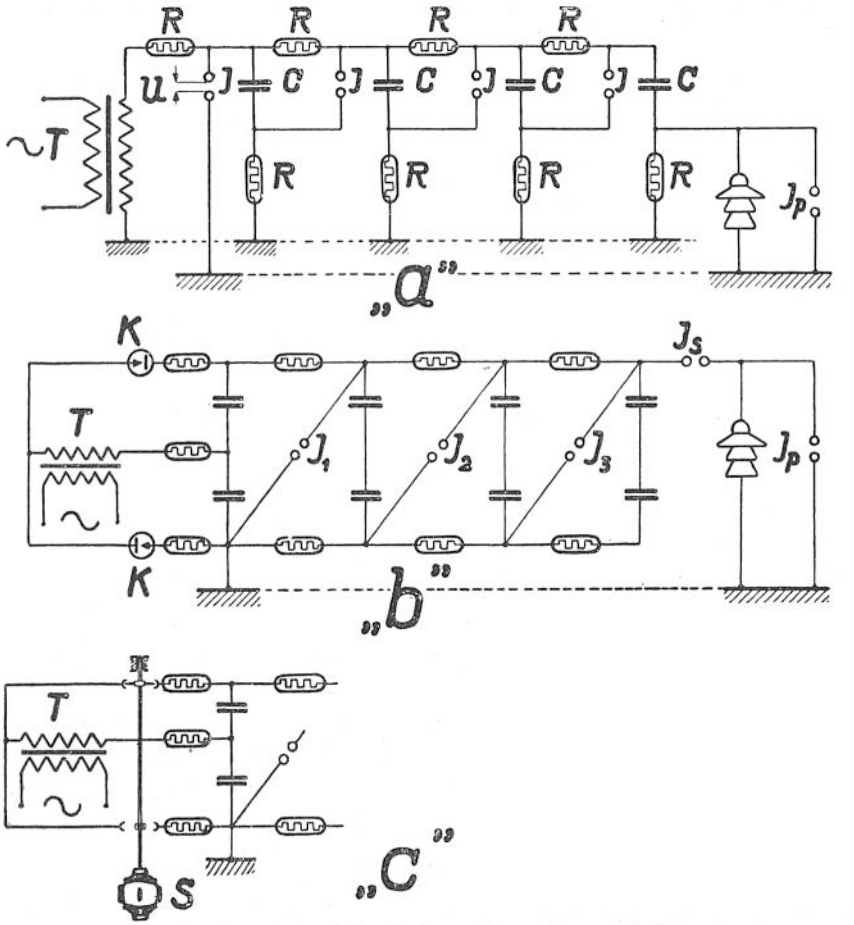
VDE zaleca stosowanie fal o następującej charakterystyce:

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_{cz}$ | | | | 0,5 | 1 | 2 | 5 |
| $t_p$ | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 |

μs

Mimochodem zauważymy, że tutaj stosunek $t_p : t_{cz} = 100$.

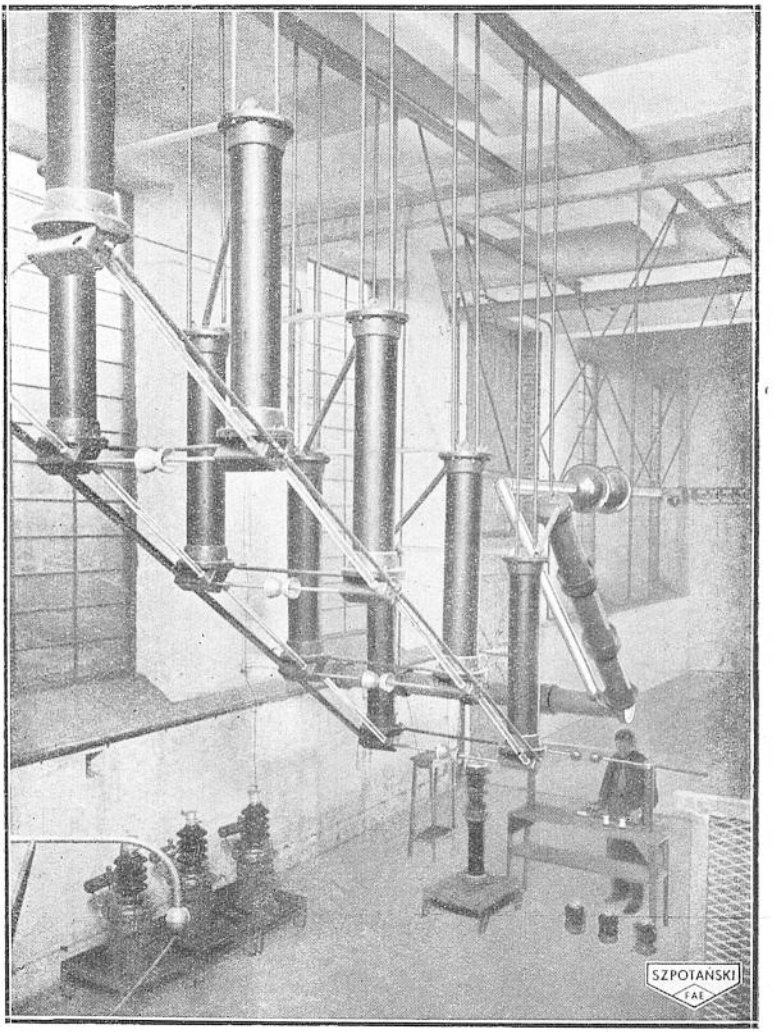
VDE zaleca specjalnie stosować falę 0,5/50, która — według obserwacyj niemieckich — jest najczęściej spotykana w przyrodzie.




Rys. 255. Generator fal uskokowych według prof. Marx'a:
„a"—F. W. Peek'a o zasilaniu prądem zmiennym, „b"—z prostownikiem kenotronowym, „c"—z prostownikiem mechanicznym wirującym.

Dla utworzenia fal uskokowych o dowolnym kształcie i dowolnej — do pewnych granic — amplitudzie, posiłkujemy się t. zw. generatorem fal uskokowych, którego ideę podał prof. Marx. Rozpatrzone poniżej generatory są rozwinięciem i ulepszeniem tej właśnie idei.

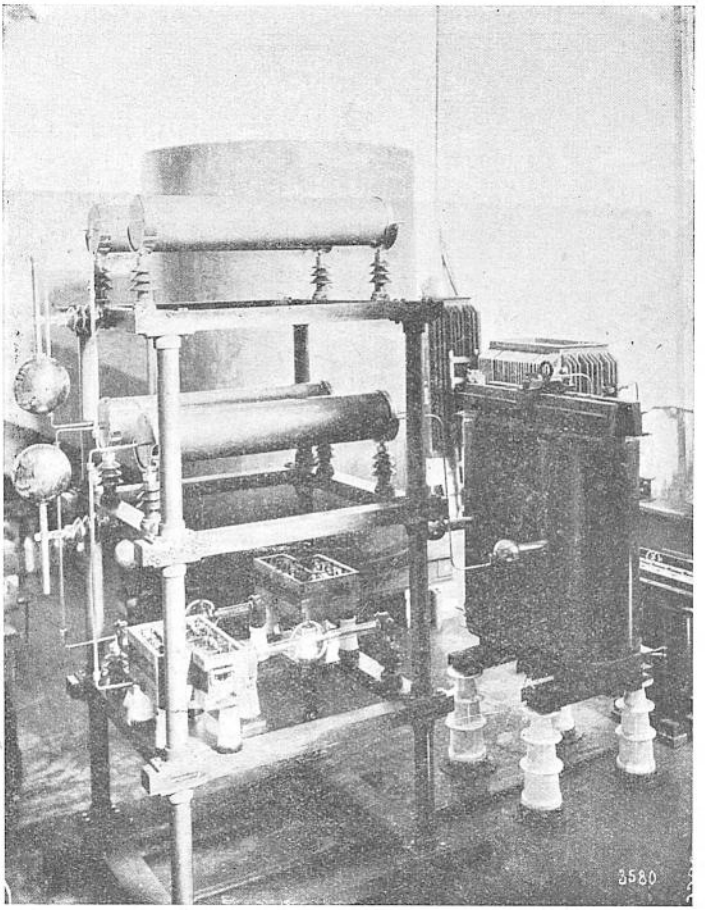
Rys. 255 przedstawia schematy generatorów fal uskokowych, a między innemi generatora, zapomocą którego F. W. Peek uzyskał napięcie, wynoszące 5 000 kV, a ostatnio nawet 10 000 kV. Generator jest zasilany z wtórnego uzwojenia transformatora *T*. Jak widać ze schematu, kondensatory *C*




Rys. 255 „d". Generator fal uskokowych firmy K. Szpotański i Sp., Fabr. Ap. Elektr. w Warszawie.

są połączone równolegle poprzez oporności czynne *R*. Oporności te są zbudowane na kształt rurek wypełnionych wodą i mają tę właściwość, że nie stanowią oporu dla prądów niskiej częstotliwości. Inaczej jednak zachowują się one przy nagłych wyładowaniach: wówczas skutkiem bardzo małej w nich ruchliwości jonów przedstawiają one praktycznie opór nieskończe-

nie wielki. Toteż w chwili, gdy napięcie, podnoszone stopniowo na transformatorze, osiągnie $U$ kV, przeskakują iskry między odpowiednio do tego napięcia nastawionemi kulami iskierników $J$. W tej chwili oporności $R$ stają się nieskończenie wielkie tak, że wszystkie kondensatory zostają poprzez przerwy iskrowe połączone w szereg, a w iskierniku $I_5$ — wobec czterech konden-

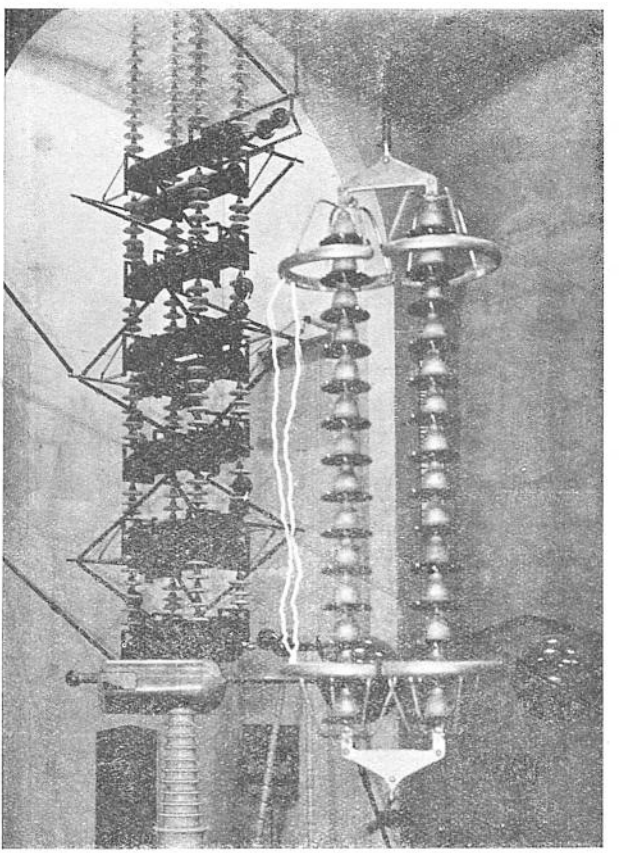



Rys. 256. Generator fal uskokowych firmy „Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi" (Belgja).

satorów $C$ połączonych w szereg — otrzymujemy napięcie $4 \times U$, co w generatorze Peek'a stanowi $4 \times 1\,250 = 5\,000$ kV.

Przez zmianę w generatorze tym stałych $R$, $L$ i $C$, możemy dowolnie zmieniać przebieg fali uskokowej. Dla informacji podajemy, że Peek używał kondensatorów $C$, każdy o pojemności nie mniejszej niż 300 cm, oraz że największa energja wytworzonej przez niego fali wynosiła 14 kWsek. (Ostatnio f-ma Siemens pobudowała generator fal uskokowych o $U_{max} = 3\,000$ $kV_m$ oraz 42 kWsek. ETZ H.38—1935).

Rysunek 255 „b" przedstawia ten sam generator, zasilany również z wtórnego uzwojenia transformatora, lecz zapośrednictwem katodowych lamp prostowniczych, t. zw. kenotronów, dzięki czemu możemy tu zastosować transformator $T$ o niższem napięciu wtórnem i o mocy mniejszej, niż w układzie poprzednio rozpatrzonym. Zamiast prostowników katodowych możemy również użyć tańszych od nich prostowników mechanicznych (rys. 255 „c"). Pomorska Elektrownia Krajowa „Gródek" posiada generator fal uskokowych podobny do wyżej opisanego i osiąga nim fale dochodzące do 600 kV. W generatorach tych włącza się badany objekt w szereg z iskiernikiem $J_s$, przyczem $J_p$ jest iskiernikiem pomiarowym.



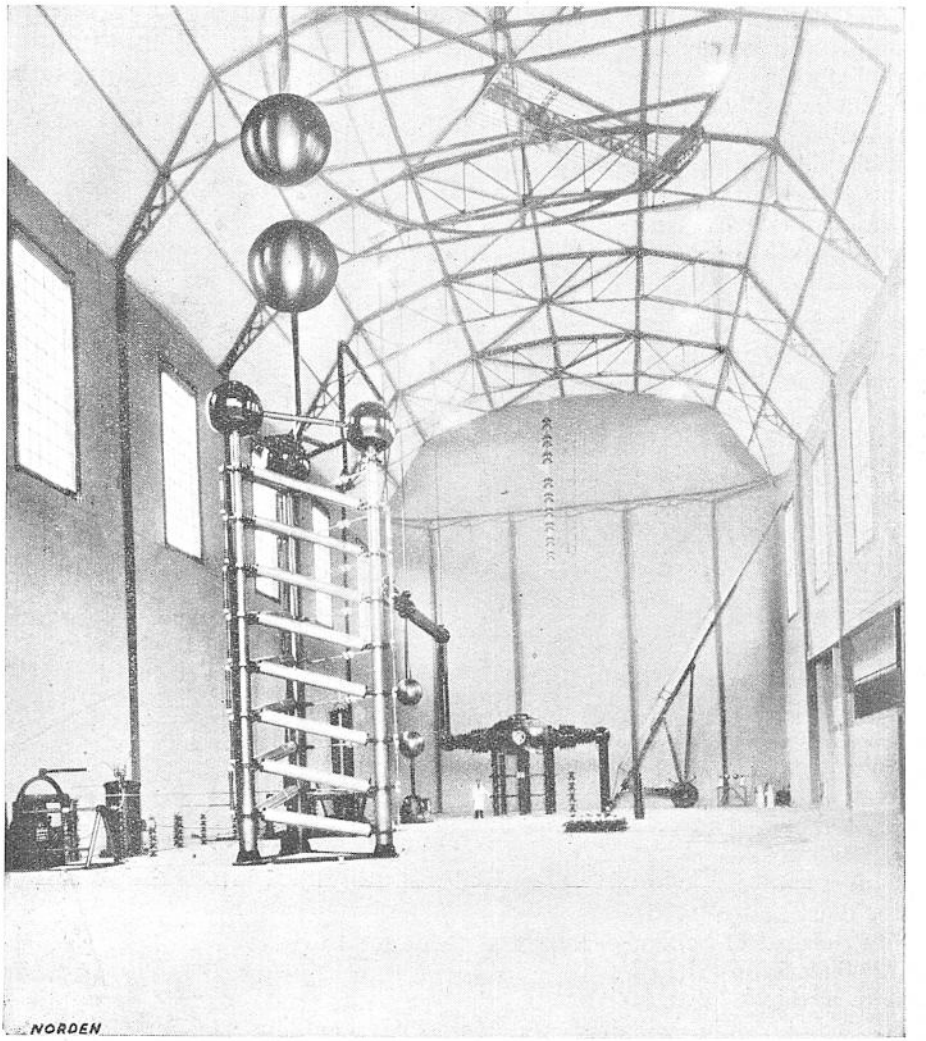
Rys. 257. Genarator fal uskokowych firmy Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren Gesellschaft.

Na rys. 255 „d" natomiast widzimy fotografję generatora fal uskokowych z wirującym prostownikiem mechanicznym dla fal, dochodzących do miljona woltów Fabryki Aparatów Elektrycznych K. Szpotański i S-ka w Warszawie.

Na rys. 256 widzimy fotografję generatora fal uskokowych firmy Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi dla najwyższego napięcia fali uskokowej $U_{max}$=450 $kV_m$, natomiast rys. 257 przedstawia taki generator dla $U_{max}$=2 500 kV firmy Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren-Gesellschaft. Halę do prób falami uskokowemi widzimy na rys. 258. Znajduje się w niej generator fal uskokowych dla 2,25 milj. woltów. Na rys. 259 jest fotografja tego generatora w widoku z góry. Generator ten posiada 16 kondensatorów cylindrycznych, połączonych w szereg, o wypadkowej pojemności równej 1320 cm (0,001465 $\mu$F). Siedem iskierników, łączących te kondensatory szeregowo, jest zrobionych z kul o średnicy 150 mm $\varnothing$, jak to widzimy na schemacie połączeń całej tej instalacji probierczej (rys. 260).

Rys. 261 natomiast przedstawia generator fal uskokowych, zalecanych przez VDE (1. I. 1935). Generator ten zasilany jest ze źródła prądu stałego

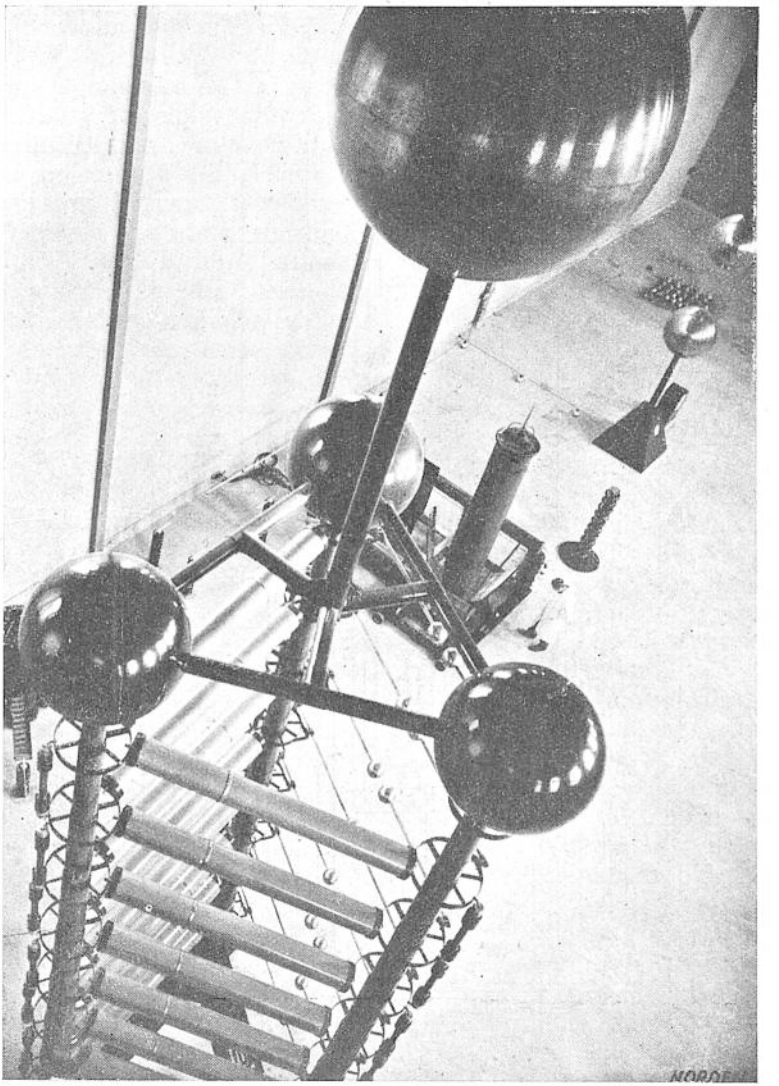
przez bardzo duże oporności rzeczywiste $R$. Gdy ładunek kondensatora $C_u$ dojdzie do takiej wysokości, że powstające skutkiem tego na kondensatorze napięcie $U = \frac{Q}{C_u}$ przekroczy wysokość napięcia przebijającego, to wówczas następuje przebicie przerwy iskrowej $J$. Skutkiem tego przebicia przedmiot




Rys. 258. Hala do prób falami uskokowemi (Norden S/A.).

próbowany zostaje nagle poddany pod napięcie $U_p$. Obecnie ładunek $Q$ kondensatora $C_u$ rozkłada się na pojemność przedmiotu badanego $C_i$, na ewentualnie dołączoną pojemność bocznikową $C_b$ oraz na pojemność własną w stosunku do ziemi, oporności przewodów doprowadzających, przyrządów pomiarowych i t. d., których sumę oznaczymy $C_w$. Ponieważ wszystkie te

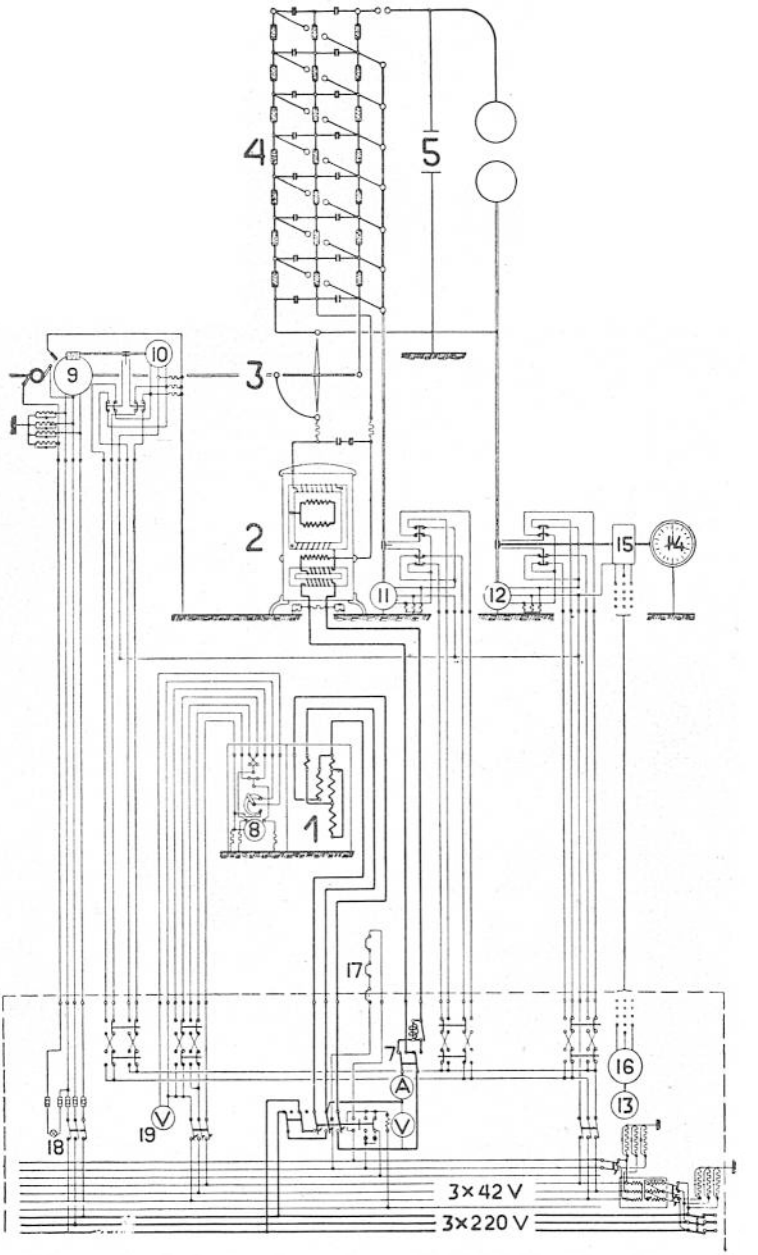
pojemności są połączone równolegle, oznaczymy je przez $C_p = C_i + C_b + C_w$. Przed przebiciem przerwy iskrowej mieliśmy $Q = U \cdot C_u$, a po prze-



Rys. 259. Widok zgóry generatora fal uskokowych dla 2,25 milj. woltów (Norden S/A.).

biciu $Q = U_p (C_u + C_p) = U_p \cdot C$. Stąd znajdziemy, że napięcie na przedmiocie próbowanym będzie wynosiło $U_p = U \cdot \frac{C_u}{C_u + C_p}$.

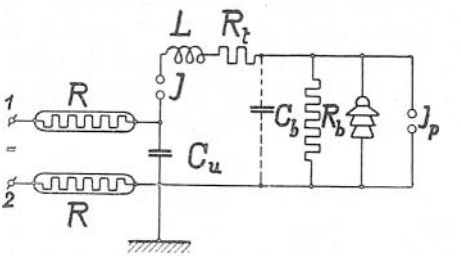
Z równania tego wynika, że aby napięcie probiercze $U_p$ było jaknajwyższe, $C_u$ musi być bardzo wielkie w stosunku do $C_p$. Jednakże ze względ-




Rys. 260. Schemat połączeń generatora fal uskokowych (Norden S/A.):

1 — transformator regulacyjny 220/0 — 440 woltów, 30 kVA, 2 — transformator 440/110 000 woltów, 30 kVA, 3 — prostownik mechaniczny wirujący, 4 — generator fal, 5 — miejsce do włączania przedmiotu badanego, 6 — iskiernik pomiarowy kulisty o średnicy kul 1,5 m, 7 — zmiennik biegunów, 9, 10, 11, 12 — silniki manewrowe, 9 — silnik synchroniczny do napędu prostownika, 13 i 14 — zegary do odczytywania nastawienia iskiernika pomiarowego, 15 — nastawnica kontaktowa (nadajnik), 16 — nastawnica kontaktowa (odbiornik), 17 — kontakty sygnalizacyjne drzwiowe, 18 — lampa neonowa, wskazująca biegunowość fali uskokowej, 19 — wskaźnik położenia uzwojenia ruchomego w transformatorze.

du na znaczne trudności techniczne w wykonaniu kondensatorów o dużej pojemności na wielkie napięcia, VDE zadowala się żądaniem, aby dla najwyższych napięć $C_u = 5 . C_p$ i tylko przy niższych napięciach $C_u$ powinno być możliwie wielokrotnością tej wielkości, t. j. $C_u = n . 5 . C_p$. W każdym razie $C_u$ powinno wynosić conajmniej 900 cm. W przypadku, gdy objekt badany np. izolator ma pojemność własną znikomo małą, dołączamy równolegle do niego znaną nam dokładnie niewielką pojemność $C_b$, dzięki czemu generator pracuje wówczas w przewidzianych dla niego warunkach najdogodniejszych i nam znanych.

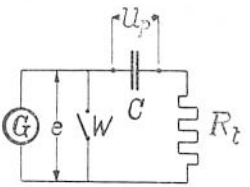



Rys. 261. Generator fal uskokowych według VDE 1935.

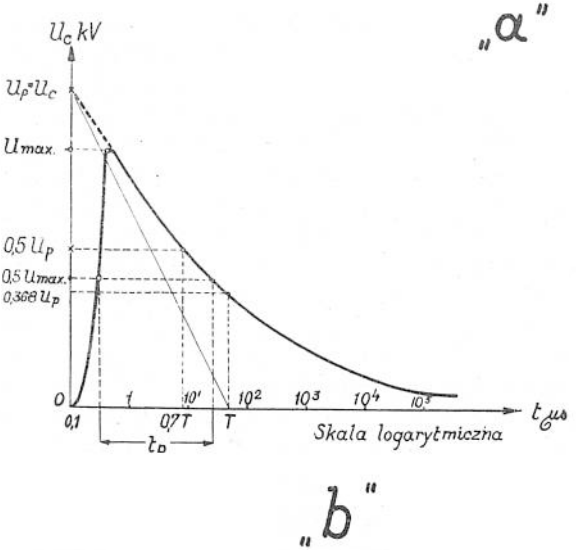
Oczywiście, że dla osiągnięcia większych amplitud napięcia fali uskokowej generator ten może posiadać większą ilość kondensatorów udarowych $C_u$ ładowanych równolegle, a wyładowywanych szeregowo tak, jak to już poprzednio opisywaliśmy. Zmianę biegunowości fal uzyskujemy przez zmianę biegunów zewnętrznego źródła prądu stałego na zaciskach 1 i 2. Największą amplitudę napięcia fali nastawiamy iskiernikiem $J$ i możemy ją zmierzyć albotež sprawdzić iskiernikiem pomiarowym $J_p$. Jeżeli okazałoby się, że otrzymaliśmy na iskierniku $J_p$ napięcie wyższe od oczekiwanego, to byłoby to dowodem, że celem istnienia indukcyjności i pojemności w generatorze powstają drgania, nakładające się na falę uskokową. Celem zapobieżenia temu dobieramy opór tłumiący w ten sposób, aby

$$R_t > 2\sqrt{\frac{L}{C_p}}.$$

Charakterystyczną wielkością dla danej fali uskokowej jest t. zw. czas stały grzbietu fali (n. die Zeitkonstante des Rückens).




„a"




„b"

Rys. 262. „a" — obwód zastępczy generatora fal uskokowych, „b" — wykład iczy przebieg grzbietu fali uskokowej.

W celu bliższego zapoznania się z tą wielkością charakterystyczną przeprowadzimy następujące rozumowanie.

Pomijając znikomo małą indukcyjność $L$ obwodu generatora fal uskokowych oraz biorąc pod uwagę wypadkową pojemność $C = C_u + C_p$, naładowaną w pierwszej chwili rozładowania, t. j. przy $t = 0$, ładunkiem $Q$, odpowiadającym wysokości napięcia $U_c = U_p$, i uwzględniając oporność rzeczywistą $R_t$ zauważymy, że obwód ten możemy przedstawić sobie w formie uproszczonej jak na rys. 262 „a". Gdy obwód ten zewrzemy, wówczas popłynie w nim prąd „i", którego natężenie znajdziemy z równania:

$$Q = \int i \, . \, dt = C \, . \, U_c$$

Różniczkując to otrzymamy:

$$i = C \frac{dU_c}{dt}$$

Zauważymy teraz, że podczas wyładowania kondensatora wyłącznik $W$ zwiera zewnętrzne źródło prądu tak, że $e = 0$, wobec czego:

$$R_t \, . \, i + U_c = e = 0,$$

a podstawiając zamiast $U_p$ oraz $i$ ich wartość z wyżej podanych równań, otrzymamy, że:

$$R_t \, i + \frac{1}{C} \int i \, dt = 0$$

$$R_t C \frac{dU_c}{dt} + U_c = 0$$

lub:

$$\frac{dU_c}{U_c} + \frac{1}{R_t C} \, . \, dt = 0$$

Całkując, znajdziemy:

$$\int \frac{dU_c}{U_c} + \frac{1}{R_t C} \int dt = 0,$$

a po wykonaniu całkowania:

$$ln \, . \, U_c + \frac{1}{R_t C} \, . \, t = A = ln U_p,$$

gdyż dla $t = 0 \quad U_c = U_p$,

tak, że $\quad ln \, . \frac{U_c}{U_p} = - \frac{1}{R_t C} \, . \, t,$

a stąd przebieg napięcia w czasie $t$ określony jest równaniem

$$U_c = U_p \, . \, e^{- \frac{1}{R_t C} \, . \, t}$$

gdzie $e$ jest podstawą logarytmów naturalnych. Oznaczając $R_t C = T$, znajdziemy, że:

$$U_c = U_p \, . \, e^{- \frac{t}{T}}$$

lub: $$\frac{U_c}{U_p} = e^{-\frac{t}{T}}$$

a stąd: $$-\frac{t}{T} = ln\frac{U_c}{U_p}, \text{ lub wreszcie: } t = T \,.\, ln\frac{U_p}{U_c}$$

Iloczyn $R_t C$ ma wymiar cm. sek$^{-1} \times$ cm$^{-1}$. sek$^2$ = sek, a więc wymiar czasu; dlategoteż $T$ nazywamy „czasem stałym" grzbietu fali.

Dyskutując ostatnio podany wzór, otrzymamy (rys. 262 „b"),

że gdy: $t = 0$, $T \neq 0$ tak, że $ln\frac{U_p}{U_c} = 0$ czyli $U_p = U_c$

„ „ $t = \infty$, $T \neq \infty$ tak, że $ln\frac{U_p}{U_c} = \infty$, to musi być $\frac{U_p}{U_c} = \infty$ czyli $U_c = 0$

„ „ $t = T$, to $ln\frac{U_p}{U_c} = 1$ czyli $\frac{U_p}{U_c} = e = 2{,}718$

a stąd $U_c = \frac{1}{2{,}718} \,.\, U_p = 0{,}368 \,.\, U_p$

„ „ $t = 0{,}7 \,.\, T$, to $ln\frac{U_p}{U_c} = 0{,}7$ czyli $\frac{U_p}{U_c} = e^{0{,}7} = 2{,}01$,

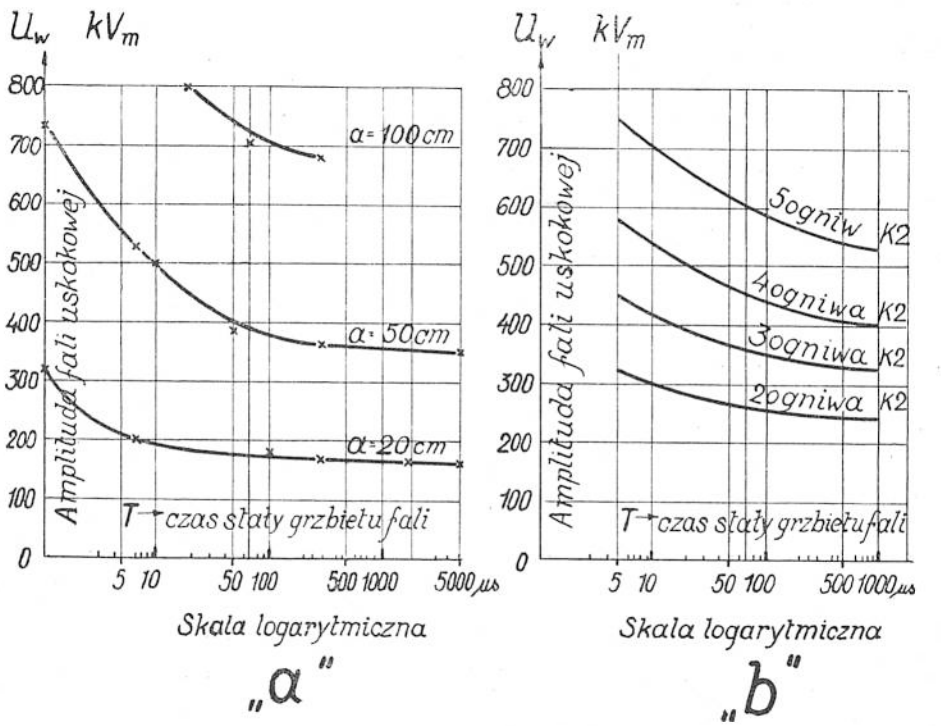
a stąd $U_c = 0{,}5 \,.\, U_p$

W ten sposób funkcja wykładnicza $\frac{U_c}{U_p} = e^{-\frac{t}{T}}$ określa przebieg grzbietu fali uskokowej, otrzymywanej w generatorze fal uskokowych. Im krótszy jest czas stały grzbietu fali $T$, tem bardziej stromo grzbiet ten opada. Wyniki badań laboratoryjnych możemy porównać z sobą tylko o tyle, o ile dotyczą one fal uskokowych o jednej i tej samej wielkości $T$. Niestety do dnia dzisiejszego nie udało się jeszcze stwierdzić bezspornie, czy korzystniej jest używać do prób fal o stosunkowo stromo opadającym grzbiecie ($T$ niewielkie), jak proponuje F. W. Peek jr., czyteż lepiej dokonywać prób z falami o łagodnie opadającym grzbiecie ($T$ wielkie) według propozycyj Fortescue'a, Norinder'a i innych. Jak wskazują pomiary Dr.-Inż. Haralda Müller'a, zwolennika teorji o stosowaniu fal o wielkim $T$, przeprowadzone w laboratorjum firmy Hescho (patrz rys. 263, na którym wyniki tych pomiarów są częściowo przedstawione w postaci krzywych), napięcie wyładowania zależy tembardziej od wielkości T, im większa jest długość przeskoku, przyczem, począwszy od pewnej wielkości, wynoszącej $T \simeq 100\,\mu s$ dla krótszych długości przeskoku, a $T \simeq 500\,\mu s$ dla długości większych, wzrost czasu stałego grzbietu fali praktycznie nie powoduje dalszego zniżenia napięcia wyładowania $U_w$.

W laboratorjach przy wykonywaniu prób stosowane są następujące wielkości czasu stałego grzbietu fali:

| | |
|---|---|
| General Electric Company . . . . . | $T = 7 \div 28\,\mu s$ |
| Westinghouse Electric and Manufacturing Company . . | $T = 75$ „ |
| Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren — G. m. b. H. . . . . | $T = 2000$ „ |

Fal o czasie stałym $T < 7\,\mu s$ nie stosuje się, gdyż prędko opadający grzbiet fali wzbudza fale drgające w obwodzie generatora fal uskokowych, zawierającego przecież obok pojemności także pewną — jakkolwiek bardzo małą — indukcyjność. Fale te, nakładając się na fale uskokowe, powodują wyładowania przy napięciu znacznie niższem od napięcia wynikającego z funkcji wykładniczej. Przy stromem czole fali oraz łagodnym grzbiecie $0{,}7 \cdot T \cong t_p$. Jestto dla nas ważne dlatego, że fale, przy których ta równość




Rys. 263. Wpływ czasu stałego T grzbietu fali na wyładowanie:

„a" — w iskierniku ostrzowym o odległości elektrod $a$, „b" — wzdłuż wisiora złożonego z ogniw K 2.

nie zachodzi, t. j. fale o łagodnie wznoszącem się czole i o stromym grzbiecie, mniej nas interesują.

Wobec tego, że indukcyjność $L$ jest bardzo mała, możemy napisać, że $t_{cz} = 2\,R_t \cdot C_p$. Wzór ten wynika zarówno z przebiegu wyładowania według funkcji wykładniczej, jak i z samego określenia czasu czoła fali. We wzorze tym $t_{cz}$ jest wyrażone w $\mu s$, $R_t$ w omach, $C_p$ w $\mu F$ oraz $L$ w $\mu H$, przyczem musi być $t_{cz} \geqslant 0{,}2\,\mu s$, gdyż w przeciwnym razie byłoby nieuniknione nakładanie się fal drgających oraz obliczenie czasu $t_{cz}$ według wyżej podanego wzoru dawałoby zbyt duże błędy.

W ten sposób można regulować czoło fali.

Jeżeli porównamy czas stały grzbietu fali:

$$T = R_t \,.\, C = R_t\,(C_u + C_p) = R_t\,(n\,.\,5\,C_p + C_p) = R_t\,.\,C_p\,(5\,n + 1)$$

z czasem czoła fali:

$$t_{cz} = 2\,R_t\,.\,C_p\,,$$

to zauważymy, że:

$$\frac{t_{cz}}{T} = \frac{2\,R_t\,.\,C_p}{R_t\,.\,C_p\,(5\,n+1)} = \frac{2}{5\,n+1}\,,$$

a stąd:

$$t_{cz} = T\,\frac{2}{5\,n+1}$$

Widzimy więc, że gdy czas stały grzbietu fali rośnie, to jednocześnie rośnie i czas trwania czoła $t_{cz}$, wprawdzie znacznie wolniej od T, niemniej jednak czoło fali w tym przypadku ulega spłaszczeniu.

Czas $t_p$ regulujemy zapomocą bocznikowego oporu $R_b$. W tym celu dobieramy $R_b$ z dostateczną dokładnością według wzoru

$$R_b = \frac{t_p}{(C_u + C_p)\,.\,ln\,2}\,,$$

przyczem musi być spełniona nierówność $R_b \geqslant 10\,.\,R_t$, a to dlatego, aby nie otrzymać wyników z błędem, przekraczającym $10\%$. W powyższym wzorze $R_b$ otrzymamy w omach, gdy $t_p$ jest wyrażone w $\mu s$, a $C_u$ i $C_p$ w $\mu F$.

Musimy jednakże podkreślić, że $R_b = x\,.\,R_t$; aby nie otrzymać rezultatu z błędem, przekraczającym $10\%$, musi być $x \geqslant 10$. Aby prowadzić doświadczenie w warunkach możliwie zbliżonych do rzeczywistości, ustalamy wielkość oporności $R_t$ równą oporności falowej w sieci, w której ma pracować przedmiot badany na falę uskokową, a więc zwykle $R_t = 600$ omów. Z powyższego wzoru wynika, że:

$$t_p = R_b\,(C_u + C_p)\,ln\,2 = x\,.\,R_t\,.\,C_p\,(5\,n+1)\,.\,0{,}693\,,$$

a dzieląc to przez $t_{cz}$, otrzymamy:

$$\frac{t_p}{t_{cz}} = \frac{x\,.\,R_t\,.\,C_p\,(5\,n+1)\,.\,0{,}693}{2\,.\,R_t\,.\,C_p}$$

a stąd:

$$t_p = t_{cz}\,.\,\frac{x\,.\,0{,}693}{2}\,.\,(5\,n+1)\,,\ \text{a ponieważ}\ x \geqslant 10,\ \text{przeto;}$$

$$t_p \geqslant 3{,}465\,.\,(5\,n+1)\,.\,t_{cz}$$

A więc przy bardzo dużych amplitudach napięcia fal uskokowych, t. j. gdy $n = 1$, czas $t_p \geqslant 20{,}79\,.\,t_{cz}$. Przy amplitudach niższych czas $t_p$ jest znacznie dłuższy. Według przepisów VDE 1935 wynosi on, jak to widzieliśmy, $t_p = 100\,.\,t_{cz}$.

Co się tyczy sposobu dokonywania prób na fale uskokowe, to najpierw sprawdzamy napięcie uskokowe, t. j. przy odpowiednio nastawionej przerwie iskrowej $J$ podnosimy napięcie do tej wysokości, przy której połowa fal uskokowych, wytwarzanych w odstępach nie mniejszych od 0,5 sek., prowadzi do wyładowania na próbowanym izolatorze, przyczem nie następują przeskoki w przerwie iskrowej pomiarowej $J_p$. Następnie zmniejszamy przerwę iskrową $J_p$ tak, aby następowały jednakowo często przeskoki na izolatorze jak i w przerwie pomiarowej. Napięcie przeskoku, odpowiadające temu właśnie nastawieniu pomiarowej przerwy iskrowej, nazywa się najniższem napięciem uskokowem wyładowania danego izolatora. Oczywiście, że wysokość tego napięcia bardzo zależy od przebiegu fali uskokowej.

Przepisy VDE 0,111/1932 (Leitsätze für den elektrischen Sicherheitsgrad von Starkstromanlagen mit Betriebsspannungen von 1000 V und darüber L. S. G.) przewidują dwa stopnie bezpieczeństwa przy izolowaniu urządzeń, a mianowicie:

I. Zniżony stopień bezpieczeństwa; napięcie przeskoku przy 50 okr./sek. powinno wynosić:

a) dla przyrządów przewidzianych dla pomieszczeń pod dachem i przy napięciach roboczych od $1 \div 10$ kV:

$$U_s = 1{,}1 \,.\, (3 \,.\, U_n + 2) \text{ kV}$$

b) dla izolatorów linjowych:

$$U_s = 1{,}1 \,.\, (2 \,.\, U_n + 10) \text{ kV}$$

II. Pełny stopień bezpieczeństwa:

a) dla napięć od 1 do 2,5 kV $\quad U_s = 1{,}1 \,(10 \,.\, U_n)$ kV

b) „ „ ponad 2,5 kV $\quad U_s = 1{,}1 \,(2{,}2 \,.\, U_n + 20)$ kV

Przy pełnym stopniu bezpieczeństwa długość przeskoku w milimetrach powinna wynosić około $a = 3 \,.\, U_s$. Długość ta dla izolatorów linjowych nie jest jednak ustalona.

W powyższych wzorach wszystkie napięcia są napięciami skutecznemi, wyrażonemi w kV, przyczem napięcie $U_n$ jest napięciem roboczem międzyfazowem lub nominalnem (rozpatrywanego rzędu), o ile napięcie nominalne jest wyższe od napięcia roboczego międzyfazowego.

Jeżeli natomiast punkt zerowy układu jest uziemiony, wówczas napięcie na izolatorach nigdy nie może osiągnąć napięcia roboczego skojarzonego, lecz tylko fazowe. Jednak mimoto aż do 100 kV stosuje się taką izolację, jakgdyby punkt zerowy układu był izolowany. Natomiast w układach o uziemionym punkcie zerowym o napięciu roboczem powyżej 100 kV napięcie przeskoku można stosować, przyjmując do obliczeń $0{,}75 \, U_n$, a więc naprzykład:

$$U_s = 1{,}1 \,(2{,}2 \,.\, 0{,}75 \,.\, U_n + 20) \text{ kV} = 1{,}1 \,(1{,}65 \,.\, U_n + 20) \text{ kV}.$$

Należy tu zauważyć, że pod stopniem bezpieczeństwa izolacji rozumiemy stosunek:

$$\text{stopień bezpieczeństwa} = \frac{\text{minimalne napięcie przeskoku } U_s}{\text{napięcie robocze } U_n}$$

Poniższa tabela podaje według VDE wysokość napięcia próbnego i napięcia przeskoku oraz długość przeskoku dla izolatorów dla poszczególnych napięć nominalnych lub też większych od nich o 15%:

| Napięcie nomin. $U_n$ kV | Napięcie próbne $U_{pr}$ kV skuteczne | Napięcie przeskoku $U_s$ kV skuteczne | Długość przeskoku dla wewn. pomiesz. w mm |
|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 11 | 40 |
| 3 | 26 | 29 | 75 |
| 6 | 33 | 36 | 100 |
| 10 | 42 | 46 | 125 |
| 15 | 53 | 58 | — |
| 20 | 64 | 70 | 180 |
| 30 | 86 | 95 | 260 |
| 45 | 119 | 131 | 360 |
| 60 | 152 | 167 | 470 |
| 80 | 196 | 216 | 580 |
| 100 | 240 | 264 | 720 |
| 150 | 350 | 385 | — |
| 200 | 460 | 506 | — |
| 300 | 680 | 748 | — |
| 400 | 900 | 990 | — |

Przepisy IEC natomiast przewidują napięcie przeskoku w wysokości tylko:

$$U_s = 1{,}05\,(2 \cdot U_n + 10)\ \text{kV}$$

Korzystając z któregokolwiek z wyżej podanych wzorów, należy jednakże pamiętać, że napięcie wyładowania zależy zarówno od temperatury jak i ciśnienia barometrycznego (a więc i od wysokości ponad poziom morza). Napięcie wyładowania jest podane dla temperatury 20° C i ciśnienia 760 mm słupka rtęci. Przy innej temperaturze $t$ w stopniach Celsjusza i innem ciśnieniu $b$ w mm napięcie to wyniesie:

$$U'_s = U_s \frac{(273 + t)}{(273 + 20)} \cdot \frac{760}{b} = 2{,}59 \cdot U_s \cdot \frac{273 + t}{b}$$

Napięcie przeskoku izolatorów linij, zbudowanych na wysokości 500 m ponad poziom morza, jest niższe o 10%, a na wysokości 3500 m niższe o 30% aniżeli w linji zbudowanej na wysokości powierzchni morza.

Wyżej przytoczone wzory, określające wysokość $U_s$, dają napięcie przeskoku na sucho dla izolatorów wnętrzowych, oraz wysokość tego napięcia na mokro dla izolatorów napowietrznych. A ponieważ średnio:

$$\frac{\text{napięcie przeskoku na mokro (deszcz)}}{\text{napięcie przeskoku na sucho}} = \frac{U_{sd}}{U_{ss}} \simeq 0{,}7$$

a stąd:

$$U_{ss} = \frac{1}{0{,}7} \cdot U_{sd} = 1{,}43 \cdot U_{sd},$$

przeto przy pogodzie i częstotliwości roboczej izolacja napowietrzna jest około 1,43-krotnie silniejsza od izolacji wnętrzowej.

To samo dotyczy także wytrzymałości izolacji na fale uskokowe, gdyż według badań J. J. Torok'a wpływ deszczu na wyładowania wzdłuż izolatorów, spowodowane falami uskokowemi, jest tak niewielki na wysokość amplitudy napięcia fali, że możemy uważać, iż napięcie przeskoku fali udarowej jest niezależne zarówno od stanu pogody jak i miernego zanieczyszczenia izolatora.

W ten sposób najniższe napięcie wyładowania (przeskok) fali uskokowej wynosi:
dla izolatorów wnętrzowych:

$$U_{ww} = \beta_s \cdot U_{ssw} = \beta_s \cdot 1{,}1 \cdot (2{,}2 \cdot U_n + 20)\,\mathrm{kV_{max}},$$

a dla izolatorów napowietrznych:

$$U_{wn} = \beta_d \cdot U_{sdn} = \beta_s \cdot U_{ssn}$$

gdzie znaczki oznaczają, że dana wielkość: $w$ — dotyczy izolatorów wnętrzowych, $n$ — izolatorów napowietrznych, $s$ — napięcia przeskoku na sucho albotеż impulsu odnoszącego się do tego napięcia, $d$ — jak wyżej, lecz na mokro (deszcz).

Ponieważ napięcie przeskoku na sucho izolatorów napowietrznych $U_{ssn}$ jest równe $1{,}43 \times U_{ssw}$ (napięcie przeskoku na sucho izolatorów wnętrzowych), przeto:

$$U_{wn} = \beta^s \cdot \frac{U_{ssn}}{U_{ssw}} \cdot U_{ssw} \simeq \beta_s \cdot 1{,}43 \cdot U_{ssw} \simeq 1{,}43 \cdot \beta_s \cdot 1{,}1\,(2{,}2 \cdot U_n + 20)\,\mathrm{kV_{max}},$$

przyczem założyliśmy, że $\beta_{sw} = \beta_{sn} = \beta_s$,

a stąd: $\frac{U_{wn}}{U_{ww}} \simeq 1{,}43.$

O ile przy częstotliwości roboczej przeskok odbywa się na drodze najkrótszej, a więc z ominięciem pewnych środkowych części izolatora, o tyle pod wpływem fali uskokowej przeskok odbywa się jakgdyby „lepiąc"

się wzdłuż powierzchni izolatora. To „lepienie" się wyładowania jest tem wydatniejsze, im raptowniej opada grzbiet fali uskokowej.

Toteż fala uskokowa może uszkodzić pewne mniej wytrzymałe części składowe izolatora. Oprócz tego wysokość napięcia przeskoku fali zależy oczywiście od kształtu izolatora, jakto jest zresztą widoczne z poniższych danych, przytoczonych według Mitteilungen Hermsdorf-Schomburg 1930, H. 53/54, i 1931, H. 57/58, dla stosowanych obecnie izolatorów:

Izolatory linjowe stojące

| Rodzaj | Typ w/g VDE | Napięcie przeskoku w/g VDE w $kV_{max}$ 50 ~ | | $U_w$ w $kV_{max}$ $T = 1500\ \mu s$ przew. +; trzon uziem. | β | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | deszcz | sucho | | deszcz | sucho |
| Delta . . . . | HD 6 | 70 | 95 | 125 | 1,8 | 1,3 |
| „ . . . . | „ 10 | 80 | 115 | 145 | 1,8 | 1,3 |
| „ . . . . | „ 15 | 90 | 125 | 165 | 1,8 | 1,3 |
| „ . . . . | „ 20 | 110 | 145 | 190 | 1,7 | 1,3 |
| „ . . . . | „ 25 | 135 | 160 | 225 | 1,7 | 1,4 |
| „ . . . . | „ 35 | 165 | 190 | 280 | 1,7 | 1,5 |
| szerokokloszowe | HW 6 | 45 | 85 | 105 | 2,3 | 1,2 |
| „ . . . . | „ 10 | 65 | 95 | 120 | 1,9 | 1,3 |
| „ . . . . | „ 15 | 85 | 120 | 160 | 1,9 | 1,3 |
| „ . . . . | „ 20 | 100 | 130 | 175 | 1,8 | 1,4 |
| „ . . . . | „ 25 | 120 | 160 | 200 | 1,7 | 1,3 |
| „ . . . . | „ 35 | 170 | 205 | 265 | 1,6 | 1,3 |

Izolatory linjowe wiszące

($T = 2\,000\ \mu s$, przewód +, trzon uziemiony)

| Ilość ogniw w łańcuchu | Małe $K$ 1—170 mm ∅ | | | Średnie $K$ 3—280 mm ∅ | | | Dwukołpakowe $MK$ 2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $U_w$ $kV_{max}$ | β | | $U_w$ $kV_{max}$ | β | | $U_w$ $kV_{max}$ | β | |
| | | deszcz | sucho | | deszcz | sucho | | deszcz | sucho |
| 1 | 125 | — | — | 150 | — | — | 160 | 2,2 | 1,1 |
| 2 | 225 | 2,4 | 1,4 | 275 | 2,2 | 1,4 | 320 | 2,6 | 1,3 |
| 3 | 300 | 2,4 | 1,4 | 400 | 2,0 | 1,4 | 475 | 2,5 | 1,3 |
| 4 | 385 | 2,3 | 1,3 | 520 | 1,9 | 1,3 | 630 | — | — |
| 5 | — | — | — | 630 | 1,8 | 1,3 | 785 | — | — |
| 6 | — | — | — | — | 1,7 | 1,3 | — | — | — |

Izolatory wsporcze, stacyjne, wnętrzowe

($T = 2\,000\,\mu s$, przewód +, stopa uziemiona).

| Dawniejszy typ VDE | Długość przeskoku $a$ mm | Napięcie przeskoku na sucho 50 ~ $kV_{max}$ 50 ~ | $U_w$ w $kV_{max}$ | $\beta$ |
|---|---|---|---|---|
| S 2 . . . . . | 110 | 75 | 95 | 1,3 |
| S 3 . . . . . | 135 | 90 | 105 | 1,2 |
| S 4 . . . . . | 195 | 110 | 145 | 1,3 |
| S 5 . . . . . | 255 | 150 | 175 | 1,2 |
| Nowy typ VDE . | | | | |
| S A 10 . . . . | 130 | 85 | 110 | 1,3 |
| S B 10 . . . . | 125 | 85 | 110 | 1,3 |
| S C 10 . . . . | 130 | 85 | 115 | 1,4 |
| S B 20 . . . . | 185 | 120 | 160 | 1,3 |
| S C 20 . . . . | 185 | 120 | 155 | 1,3 |
| S B 30 . . . . | 265 | 155 | 195 | 1,3 |
| S B 45 . . . . | 370 | 200 | 255 | 1,3 |

Izolatory wsporcze stacyjne napowietrzne

($T = 2\,000\,\mu s$, przewód +, stopa uziemiona).

| Typ | Ilość ogniw w stosie | Dług. przeskoku $a$ mm | napięcie przesk. w/g VDE 50 ~ | | $U_w$ w $kV_{max}$ | $\beta$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | deszcz | sucho | | deszcz | sucho |
| St. 640 | 1 | 345 | 110 | 185 | 255 | 2,3 | 1,4 |
| | 2 | 715 | 225 | 350 | 505 | 2,2 | 1,4 |
| | 3 | 1085 | 340 | 500 | 730 | 2,1 | 1,5 |
| St. 761 | 1 | 485 | 160 | 240 | 355 | 2,2 | 1,5 |
| | 2 | 940 | 375 | 440 | 615 | 1,6 | 1,4 |
| St. 615a | 3 | 560 | 205 | 255 | 390 | 1,9 | 1,5 |
| | 5 | 850 | 310 | 375 | 570 | 1,8 | 1,5 |
| | 7 | 110 | 395 | 480 | 790 | 2,0 | 1,6 |
| St. 670 | 1 | 270 | 90 | 155 | 220 | 2,4 | 1,4 |
| | 2 | 490 | 190 | 260 | 385 | 2,0 | 1,5 |
| | 3 | 755 | 290 | 360 | 535 | 1,9 | 1,5 |
| St. 714 | 2 | 530 | 220 | 270 | 340 | 1,5 | 1,3 |
| | 3 | 780 | 325 | 405 | 480 | 1,5 | 1,2 |
| | 4 | 1010 | 410 | 530 | 640 | 1,6 | 1,2 |

Izolatory przepustowe wnętrzowe

($T = 2\,000$ μs, przewód +, kołnierz uziemiony).

| Typ | Długość przeskoku $a$ mm | Napięcie przeskoku na sucho 50 ~ $kV_{max}$ 50 ~ | $U_w$ w $kV_{max}$ | β |
|---|---|---|---|---|
| Dawniejszy typ VDE | | | | |
| D 2 | 110 | 70 | 110 | 1,6 |
| D 3 | 140 | 80 | 115 | 1,4 |
| D 4 | 210 | 105 | 155 | 1,5 |
| D 5 | 270 | 130 | 230 | 1,8 |
| Nowy typ VDE | | | | |
| DB 10 | 140 | 85 | 125 | 1,5 |
| DB 20 | 190 | 110 | 150 | 1,4 |
| DB 30 | 310 | 180 | 245 | 1,4 |
| DB 45 | 390 | 220 | 350 | 1,6 |

Izolatory przepustowe w wykonaniu firmy Hescho, kondensatorowe, dla ścian i przyrządów, wnętrzowe, napowietrzne i dla oleju

($T = 2\,000$ μs, sworzeń +, kołnierz uziemiony)

| Typ | Zastosowanie | Długość przeskoku $a$ mm | Napięcie przesk. w $kV_{max}$ | | $U_w$ w $kV_{max}$ | β | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | deszcz | sucho | | deszcz | sucho |
| Dfai 3045 | napowietrzno-wnętrzowe | 510 | 185 | 185 | 300 | 1,6 | 1,6 |
| Dfao 3045 | napowietrzno-olejowe | 530 | 275 | 290 | 350 | 1,3 | 1,2 |
| Dfai 3060 | napowietrzno-wnętrzowe | 670 | 240 | 240 | 420 | 1,8 | 1,8 |
| Dfao 3060 | napowietrzno-olejowe | 670 | 310 | 325 | 460 | 1,5 | 1,4 |
| Dfai 3100 | napowietrzno-wnętrzowe | 990 | 380 | 380 | 710 | 1,9 | 1,9 |
| Dfao 3100 | napowietrzno-olejowe | 900 | 390 | 380 | 740 | 1,9 | 1,9 |

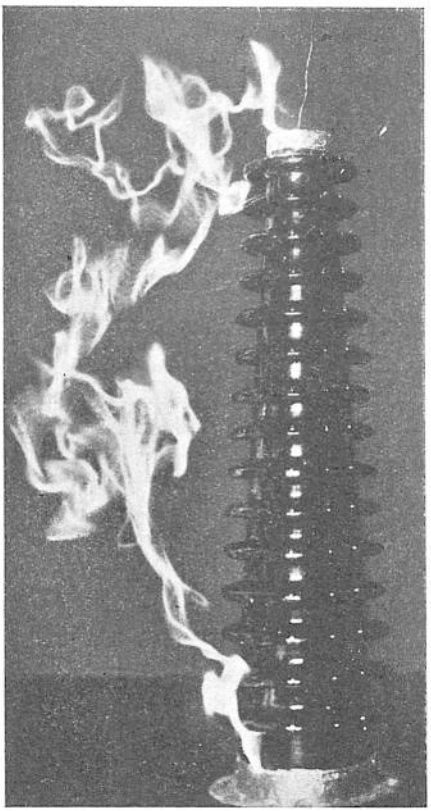
Przy izolatorach wsporczych $U_w$ zależy od biegunowości fali tak, że jeżeliby na przewodzie była fala o biegunowości ujemnej, to $U_w$ byłoby większe od wielkości wyżej podanych o 20% — 30%, podczas gdy dla izo-

latorów przepustowych biegunowość fali nie odgrywa prawie żadnej roli, t. j. niema różnicy, czy na sworzniu będzie fala (+) czyteż (—).

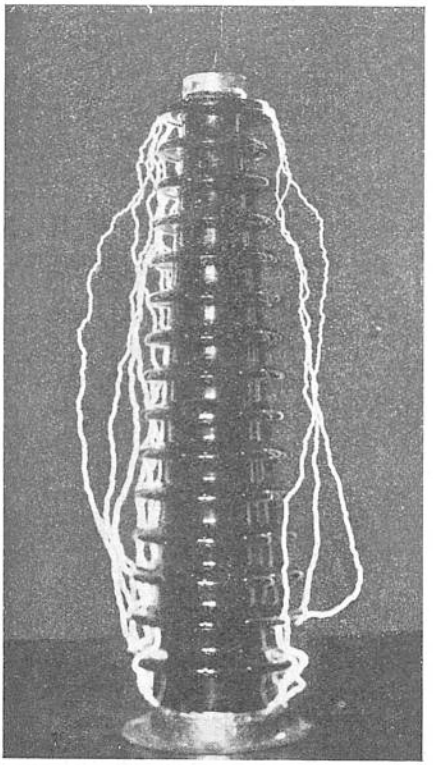
Z wyżej podanych zestawień wynika, że

| gdy fala jest na przewodzie albotеż na sworzniu | izolator będzie raczej | |
|---|---|---|
| | wsporczy | przepustowy |
| + | przebity | nieprzebity |
| — | nieprzebity | przebity |
| krótka + | nieprzebity | przebity |

Wyładowanie elekryczne pod wpływem fal uskokowych jest widoczne na fotografjach, zdjętych w laboratorjum firmy Hescho (rys. 265, 266

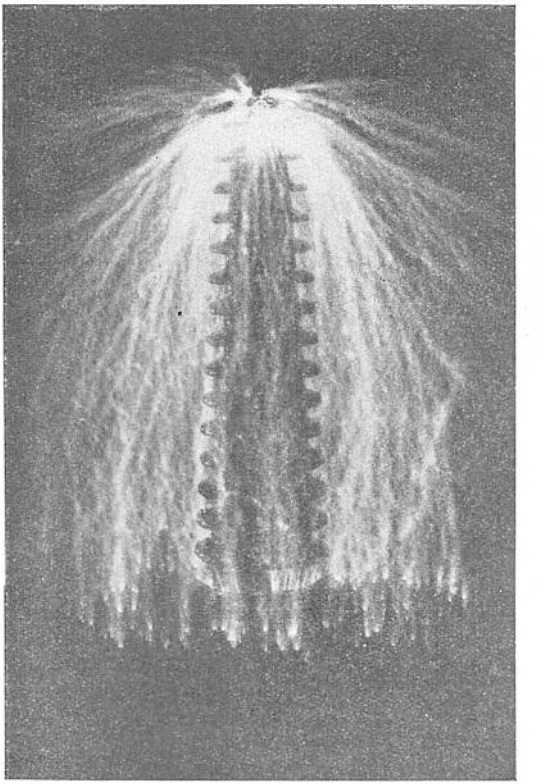


Rys. 264. Przeskok na sucho wzdłuż izola tora wsporczego VH 6 873 ustawionego na uziemionej płycie żelaznej, spowodowany prądem o częstotliwości roboczej i napięciem skutecznem 380 kV.



Rys. 265. Przeskok na sucho wzdłuż izolatora wsporczego VH 6 873, ustawionego na uziemionej płycie żelaznej, spowodowany dodatnią falą uskokową o amplitudzie 870 $kV_{max}$.

i 267). Różni się ono od wyładowania, spowodowanego napięciem o częstotliwości roboczej (rys. 264). Na fotografji przedstawionej na rys. 246, widzimy natomiast łuk, zasilany prądem roboczym, jaki przerzucił się między przewodami pod wpływem wyładowania fali uskokowej. Jak widzimy, łuk ten spowodował przepalenie się jednego z przewodów i niewątpliwie odłączanie danego odcinka sieci.

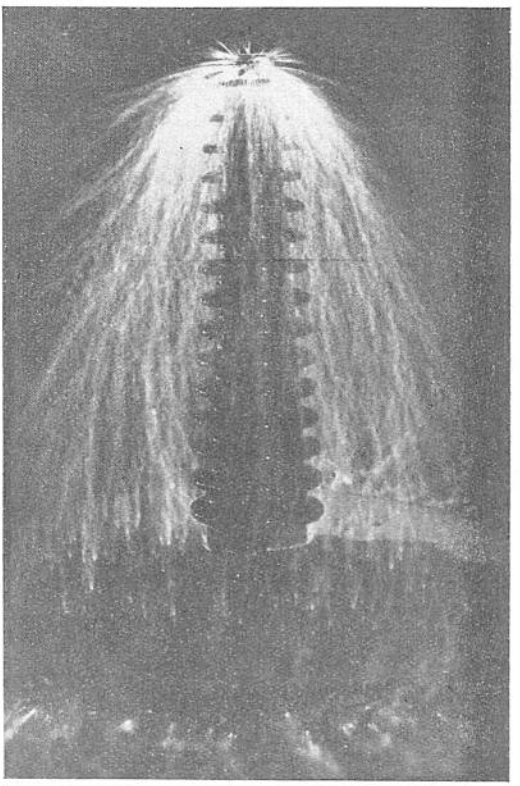


Rys. 266. Pole elektryczne wzdłuż izolatora wsporczego, wytworzone ładunkiem fali uskokowej, tuż przed przeskokiem, przyczem izolator wsporczy ustawiono na izolowanej płycie żelaznej, połączonej z biegunem ujemnym, natomiast do głowicy izolatora doprowadzono ładunek dodatni.

Przebicia izolatorów, spowodowane falami uskokowemi, wyglądają jak kanały lekko zeszklone, z cienką warstewką wtopionego metalu przewodowego (miedzi) (rys. 268). Wyładowanie falą uskokową może przejść w wyładowanie łukowe prądem o roboczej częstotliwości i wówczas tego rodzaju uszkodzenia przybierają znaczne rozmiary, obfitują w dużą ilość szkliwa i roztopionego metalu (rys. 269 i 270). Co do bezpieczników, to palą się one pod wpływem zwarć po stronie zabezpieczonej, a pod wpływem przepięć rozpylają się skutkiem występującego wówczas silnie zjawiska korony.

Z dotychczasowych rozważań widzimy, że zachowanie się izolacji urządzeń pod działaniem napięć o nominalnej roboczej częstotliwości różni się bardzo od zachowania się jej pod wpływem fal uskokowych. Zauważyliśmy, że istotne niebezpieczeństwo grozi raczej od przepięć, wywołanych piorunami, niż niepomiernie od nich niższych przepięć wewnętrznych, a w dodatku jak wykazują statystyki z praktyki amerykańskiej, 75% wszelkich uszkodzeń ma swe źródło w przepięciach piorunowych. Stąd można wyciągnąć wniosek bezpośredni, że przy doborze stopnia izolacji poszczególnych części urządzeń elektrycznych należy kierować się dla danej izolacji wielkością impulsu fal uskokowych albotež wysokością napięcia wyładowania oraz czasem opóźnienia wyładowania, o ile można praktycznie osiągnąć stopniowanie tego opóźnienia.

Narazie jednak nie będziemy zastanawiali się nad stopniem bezpieczeństwa izolacji poszczególnych urządzeń, lecz zadowolimy się zaznaczeniem,



Rys. 267. Pole elektryczne wzdłuż izolatora wsporczego, wytworzone ładunkiem fali uskokowej, tuż przed przeskokiem, przyczem izolator wsporczy ustawiono na izolowanej płycie żelaznej, połączonej z biegunem dodatnim, natomiast do głowicy izolatora doprowadzono ładunek ujemny.

że wielkość napięcia wyładowania $U_w$ dla danej izolacji ogranicza przepięcie do wysokości, od której począwszy staje się ono niebezpieczne dla urządzenia.

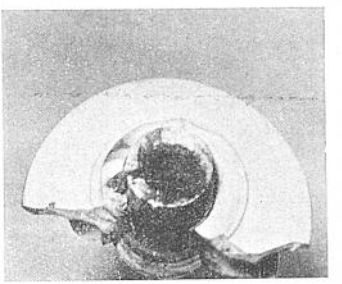
Dalszem zadaniem naszem do którego obecnie przechodzimy, jest ustalenie sposobów zarówno ochrony urządzeń przed takiemi przepięciami jak i obniżenie tego przepięcia do nieszkodliwej już wysokości, skoro mimo wysiłków nie będziemy mogli wogóle uniknąć przepięcia o niebezpiecznej wysokości.

### *III. Ochrona przeciwprzepięciowa.*

Jak z dotychczasowych rozważań wynika, przepięcia, spowodowane przyczynami wewnętrznemi, osiągają w praktyce naogół wysokość $U_1 \leqslant 3 . U$, gdzie U jest napięciem roboczem międzyfazowem. Natomiast przepięcia, spowodowane wyładowaniami atmosferycznemi, osiągają skutkiem dużej wytrzymałości izolacji linji wielkość naogół równą $U_1 \leqslant 10 . U$, chociaż mogą one również osiągnąć wyjątkową wysokość nawet 5 000 ÷ 10 000 kV. Z tego



a



b



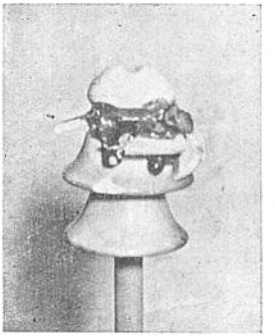
c

Rys. 268. Izolatory przebite falami uskokowemi:

„a" — izolator H 35 (trzon uziemiony),
„b" — izolator H 35 (trzon uziemiony),
„c" — izolator H 10 (trzon izolowany).

względu należy zwrócić większą uwagę na ochronę przed tą ostatnią kategorją przepięć, t. j. przed przepięciami atmosferycznemi. Jak widzieliśmy, w akcji ochrony przeciwprzepięciowej są miarodajne: 1) najniższe napięcie wyładowania (przeskoku), 2) opóźnienie przeskoku.

a



b



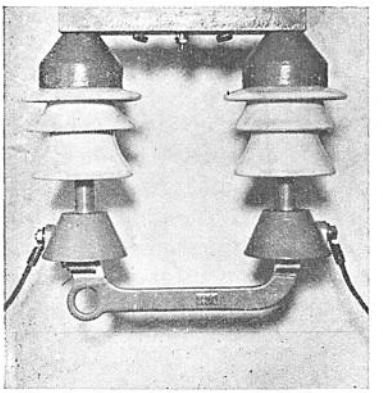
Rys. 269. Uszkodzenia.

„a" — izolator H 10 przebity falą uskokową i „wykończony" roboczym prądem zwarcia przez łuk, przerzucony rozpryskiem pioruna z sąsiedniej fazy. „b" — przewód przetopiony bezpośredniem uderzeniem pioruna i, pod wpływem p. ądu uziemienia, wtopiony w zeszklone otynkowanie wapienne parapetu okiennego, na który przewód opadł po zerwaniu.

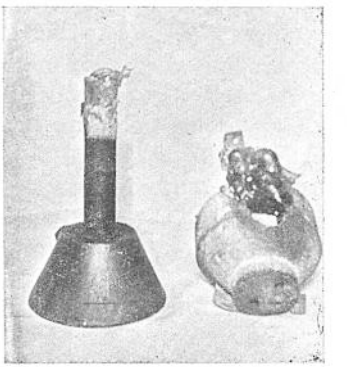
*Metody walki z przepięciami.*

W walce z przepięciami elektrycznemi musimy zastosować następujące metody: 1) zapobiegawczą, 2) łagodzącą, 3) niszczącą. Pierwsza z nich polega na wykluczaniu niewłaściwych manipulacyj, dzięki czemu zabezpie-

a



b



Rys. 270. Uszkodzenia falami uskokowemi:

„a" — odłącznik napowietrzny wiszący na izolatorach H 15 przed uszkodzeniem, „b" — po przebiciu izolatora H 15 falą uskokową, roboczy prąd zwarcia przez łuk, przerzucony rozpryskiem pioruna z sąsiedniej fazy, wytopił w żeliwnym kołpaku izolatora dziurę.

czamy się przed t. zw. przepięciami roboczemi, t. j. temi, których powstanie zostało wywołane — niejako sprowokowane — przez nas samych.

Jakkolwiek dzięki stosowaniu metody zapobiegawczej ograniczamy powstawanie przepięć do minimum, to jednak przy dzisiejszym stanie techniki

całkowicie ich wykluczyć nie możemy. Skoro więc pomimo najlepszych zabezpieczeń do naszych urządzeń mogą wtargnąć przepięcia robocze, a przedewszystkiem przepięcia zewnętrzne, musimy być przygotowani z jednej strony na unieszkodliwienie ich przez stosowną budowę sieci, przez zaopatrzenie jej w takie organy, które przepięcie możliwie obniżałyby lub spłaszczały czoło jakteż grzbiet fali przepięciowej, t. j. łagodziłyby przepięcie; a z drugiej strony musimy mieć możność zniszczenia przepięcia możliwie najmniejszym kosztem czyteż najmniejszą stratą i to w miejscu przez nas samych obranem oraz przy przebiegu zgóry określonym.

Ponieważ dużo zabiegów ochronnych i przyrządów przeciwprzepięciowych nie zawsze czyni zadość wymaganiom tylko jednej z wyżej wymienionych metod, lecz najczęściej spełnia zadania, wynikające z kombinacji tych trzech metod, przeto ograniczymy się jedynie do zaznaczenia dróg, któremi urzeczywistniamy ideę ochrony przeciwprzepięciowej. W dalszym ciągu tej pracy będziemy więc rozpatrywali zabiegi i przyrządy w porządku, nie odpowiadającym ściśle podziałowi metod walki z przepięciami.

## 1. Izolacja urządzeń.

Przepięcia elektryczne atakują izolacje urządzeń, dlategoteż przedewszystkiem ta izolacja powinna być dostateczną, aby wytrzymywała zwiększone przepięciami naprężenia elektryczne. Nie możemy jednakże dowolnie mocno izolować urządzeń pomimo, że byłoby to rozwiązaniem problemu obrony przeciwprzepięciowej, gdyż izolacja musi być uzgodniona zarówno z szeregiem czynników natury elektrycznej i magnetycznej jak i z kwestją kosztów. Takie kompromisowe załatwienie sprawy wytrzymałości izolacyjnej nie może rozwiązać zagadnienia ochrony przed przepięciami. Musimy więc uciekać się do różnych środków, dzięki którym, jeżeli niezupełnie uchronimy się od skutków przepięć, to przynajmniej silnie je złagodzimy.

Teoretycznie wszystkie urządzenia, pracujące w jednakowych warunkach, powinny być jednakowo wytrzymałe na przepięcia. W praktyce jednak musimy odstąpić od tej zasady. Gdybyśmy ściśle trzymali się teorji, to jednakie byłyby szanse uszkodzenia naprzykład jakiegoś bardzo drogiego transformatora, trudnego do naprawy lub wymiany i niezmiernie ważnego ze względu na ciągłość dostawy prądu dalszym częściom urządzeń do niego przyłączonych, jak i izolatora linji napowietrznej, którego koszt i wpływ na dostawę prądu jest stosunkowo znikomo mały. Niektóre urządzenia, specjalnie narażone na przepięcia, muszą być wykonane według odpowiednio wyższego stopnia bezpieczeństwa. Zgodnie więc z zasadami zwykłej zapobiegliwości powinniśmy maszyny i urządzenia drogie, np. ważne transformatory, szyny zbiorcze oraz części trudno dostępne, izolować silniej niż resztę urządzeń. Oczywiście że nawet wówczas nie będziemy mieli zupełnej gwarancji, że uszkodzeniu ulegną właśnie słabiej izolowane urządzenia, a nie ważniejsze dla nas silnie izolowane. Obciążenia elektryczne izolacji, spowodowane przepięciami, są rachunkowo albo wcale nieuchwytne albotеż uchwytne w sposób, który co do swej ścisłości nie jest w żadnym stosunku do obliczeń obciążeń np. mechanicznych. Jednakże przy urządzeniach, wykonanych i utrzymywanych w ruchu z gradacją stopnia bezpieczeństwa ma-

my wielkie prawdopodobieństwo, że uszkodzone będą raczej urządzenia o gorszej izolacji niż o lepszej. Zasadę tę stosujemy również i do mniej odpowiedzialnych urządzeń, jak np. linji elektrycznej, której pewne odcinki wykonywamy ze stopniem bezpieczeństwa wyższym od reszty linji bądźto ze względów bezpieczeństwa publicznego (skrzyżowania, osiedla i t. d.), bądźteż ze względu na trudny dostęp do danych odcinków lub wreszcie ze względu na miejsca specjalnie ważne z punktu widzenia obrony przeciwprzepięciowej.

Działanie przyrządów, niszczących energję przepięcia, polega właśnie na sztucznem stwarzaniu najsłabszych miejsc pod względem wytrzymałości izolacji. Wówczas przebicie następuje w obranem przez nas miejscu, a zjawisko, towarzyszące temu przebiciu, ma przebieg taki, jaki przewidziany jest charakterem działania przyrządu przeciwprzepięciowego, w którego odpowiedniej części przebicie nastąpiło.

Jak wiemy z rozważań o uziemieniu, izolacja urządzeń wrazie uziemienia jednej z faz jest narażona na obciążenie napięciem międzyprzewodowem, a więc 1,73-krotnie większem niż przy normalnym ruchu bez tego uziemienia; a w dodatku z istniejącem uziemieniem prowadzimy ruch elektryczny w dalszym ciągu nieraz przez wiele godzin. Widzimy więc, że izolacja urządzeń ze względu na zachowanie pewnego stopnia bezpieczeństwa, koniecznego dla pewności i bezpieczeństwa pracy, musi być liczona na napięcie wyższe niż międzyfazowe $\times \sqrt{2}$. Jak spostrzegliśmy w rozdziale o falach uskokowych, przepisy niemieckie uwzględniają to we wzorach, podanych na wysokość skutecznego napięcia przeskoku przy częstotliwości roboczej:

VDE przy pełnym stopniu bezpieczeństwa: $U_s = 1{,}1\ (2{,}2\ U_n + 20)$ kV
„ „ zniżonym „ „ $U_s = 1{,}1\ \ (2\ U_n + 10)$ kV
jak również i przepisy IEC $U_s = 1{,}05\ (2\ U_n + 10)$ kV.

Stąd wniosek, że przy ochronie urządzeń elektrycznych od przepięć należy starać się, aby przepięcia nie przekroczyły wysokości $U_1 \leqslant 2 \cdot U_s$ oraz aby przyrządy ochronne istotnie stanowiły najsłabsze punkty izolacji urządzenia, t. j. aby działały już przy napięciu niższem od $\sqrt{2} \cdot U_s$ tak, aby wyładowanie nastąpiło w przyrządzie a nie wzdłuż izolatora.

Zazwyczaj przyrządy ochronne przeciwprzepięciowe nastawiamy na $(1{,}5 \div 2)$-krotne napięcie robocze międzyfazowe, t. j. na amplitudę napięcia równą $(1{,}5 \div 2)\ U_n \cdot \sqrt{2} \simeq 2{,}12 \cdot U_n \div 2{,}83\ U_n$.

W tem miejscu musimy zauważyć, że rozważania nasze opieramy na napięciu przeskoku, a nie na napięciu przebicia, które według przepisów VDE powinno być o 40% wyższe od napięcia przeskoku na sucho, t. j. powinno być równe $1{,}4 \cdot U_s$. Dla izolatorów wiszących kołpakowych napięcie przebicia powinno być nie mniejsze, niż:

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| dla izolatorów wiszących o średnicy kołpaka | | | | | | 170 | mm ∅ | . . . | 90 | kV |
| „ | „ | „ | „ | „ | „ | 280 | „ | . . . | 130 | „ |
| „ | „ | „ | „ | „ | „ | 350 | „ | . . . | 145 | „ |

Przeskok powinien więc nastąpić przed przebiciem, o ile rozkład napięcia wzdłuż wisiora jest równomierny.

Jak już poprzednio zauważyliśmy, napięcie uskokowe wyładowania jest wyższe dla izolatorów linjowych niż dla izolatorów stacyjnych. Dlatego też większe jest prawdopodobieństwo przeskoku w stacji niż na linji; i jest ona w ten sposób przeizolowana. Tymczasem musimy dążyć do tego, aby w przypadku przepięć przeskok nastąpił raczej na linji elektrycznej niż w stacji. Stacje powinniśmy więc izolować według najwyższego stopnia bezpieczeństwa, a linje napowietrzne według najniższego stopnia bezpieczeństwa. Przy ustalaniu stopni izolacji poszczególnych stacyj należy brać pod uwagę podskok przepięcia skutkiem odbicia. Niebezpieczeństwo to zagraża wprawdzie głównie stacjom krańcowym, trzeba jednak pamiętać o tem, że większość stacyj przelotowych może stać się krańcowemi skutkiem manipulacyj programowych lub przygodnych.

Broniąc się przed przepięciami, nie możemy dopuszczać do ich wywoływania i w tym celu: 1) zasadniczo nie będziemy odłączali nieobciążonych jałowo pracujących sieci i transformatorów wogóle, a w szczególności nie będziemy ich odłączali jednobiegunowemi odłącznikami; 2) będziemy unikali wszelkich bezpieczników w przewodach, zastępując je stosownemi wyłącznikami i zwracając przytem uwagę na to, aby odłączanie linji rzeczywiście następowało jednocześnie na wszystkich trzech fazach; 3) miernikowych transformatorów napięciowych przy wyższych napięciach nie ochraniamy bezpiecznikami, a przy wysokich napięciach średnich i niższych przed bezpiecznikami powinny być włączone opory tłumiące.

Dalej z urządzeń musimy wykluczać wszystkie najsłabsze miejsca, najczęściej nie wytrzymujące obciążeń, spowodowanych przez przepięcia, a więc wszystkie te przyrządy, które nie są bezwarunkowo i koniecznie potrzebne. Musimy więc dążyć do najprostszego ukształtowania urządzeń.

## 2. Uzbrojenie ochronne.

Z rozważań nad falami uskokowemi wynika, że opóźnienie wyładowania w iskierniku wynosi według wzoru Peek'a:

$$t_r = \frac{\alpha^2_r}{(\beta_r - 1)^2},$$

a wyładowanie wzdłuż izolatorów odbywa się z opóźnieniem:

$$t_i = \frac{\alpha^2_i}{(\beta_i - 1)^2}$$

Jeżeli wyładowanie spowodujemy w jednakowych warunkach zarówno w iskierniku ostrzowym jak i wzdłuż izolatorów to przekonamy się, że opóźnienie wyładowania w iskierniku ostrzowym jest $n'$-krotnie dłuższe niż opóźnienie wyładowania wzdłuż izolatorów, t. j. $t_r = n' t_i$, gdzie zwykle $n' \leqslant 3$. Stąd wniosek, że jeżeli izolator zbocznikujemy iskiernikiem ostrzowym, to pierwej nastąpi wyładowanie po porcelanie izolatora, niż w iskierniku. Ażeby iskiernik wykazywał takie same opóźnienie jak izolator, należy go nastawić na napięcie przebicia $n$-krotnie mniejsze od napięcia przeskoku izolatora, czyli musi być:

$$\beta_r = \frac{\beta_i}{n},$$

co podstawiając, otrzymamy:

$$t_r = \frac{\alpha_r^2}{\left(\frac{\beta_i}{n} - 1\right)^2}$$

Jeżeli więc ma być $t_i = t_r$, to:

$$\frac{\alpha_i^2}{(\beta_i - 1)^2} = \frac{\alpha_r^2}{\left(\frac{\beta}{n} - 1\right)^2}$$

a stąd:

$$n = \frac{\alpha_i \cdot \beta_i}{\alpha_i + \alpha_r (\beta_i - 1)}$$

Gdy dla izolatorów $\beta_i = 1{,}3$ i jeżeli $\alpha_i = 1{,}2$, a $\alpha_r = 2{,}2$, to:

$$n = \frac{1{,}2 \cdot 1{,}3}{1{,}2 + 2{,}2\,(1{,}3 - 1)} = 0{,}84$$

Jeżeli więc napięcie przeskoku izolatorów wynosi np. dla 100 kV $U_s = 1{,}1\,(2{,}2 \cdot 100 + 20) \cdot \sqrt{2} = 373$ kV, to iskiernik powinien być nastawiony na napięcie $U_{sr} = n \cdot U_{si}$, jak w danym przypadku $= 0{,}84 \cdot 373 = 313$ kV. Przy tak nastawionym iskierniku byłyby jednakowe szanse przeskoku zarówno w iskierniku jak i wzdłuż izolatorów. Pragnąc zatem uniknąć narażania izolatorów na działanie wyładowania, iskiernik należy nastawić na napięcie niższe od 313 kV, czyli powinno być: $U_{sr} < n \cdot U_{si}$. Zwykle iskiernik nastawiamy w ten sposób, że napięcie przebicia iskiernika nie jest większe od napięcia przeskoku na deszczu wzdłuż izolatora tak, że: $U_{sr} \leqslant U_{sd} \leqslant 0{,}7 \cdot U_{ss}$ (napięcia przeskoku na sucho). W ten sposób iskierniki te utrzymują izolację linji w jednakowej wysokości bez względu na deszcz lub pogodę.

Iskierniki bocznikujące izolatory wykonywa się zwykle w kształcie pierścieni lub rożków albotež w kształcie pierścienia założonego na przewodzie i rożków założonych na ramienniku.

Pierścienie ochronne (a. grading shields, f. anneaux de garde, n. Schutzringe) zostały poraz pierwszy zastosowane w Ameryce przez Nicholson'a na linji Niagara, Lockport and Ontario Power Co. Idea ta została rozwinięta przez W. W. Peeck'a oraz Petersena. Pierścienie te wykonywa się z rur o średnicy $d = 2r$, bardzo małej w porównaniu z drogą wyładowania $a$ (rys. 271), dlategoteż założone na wisiorach zachowują się podobnie do iskierników rożkowych. Podobieństwo to istnieje jednak tylko o tyle, o ile $a \geqslant 50$ cm; jeżeli natomiast $a < 50$ cm, wówczas iskiernik, złożony z dwóch pierścieni ochronnych, możemy przyrównać do iskiernika z równoległemi płaszczyznami o brzegach zaokrąglonych promieniem $r$.

Drogę wyładowania $a$ cm, czyli odległość elektrod między sobą, znajdziemy z wzoru empirycznego dla iskiernika, którego jedna z dwu elektrod jest uziemiona, przyczem $a$ jest większe od 10 cm:

$$U_{sr} = (30{,}8 + a \cdot 3{,}6)\ \mathrm{kV_{max}},$$

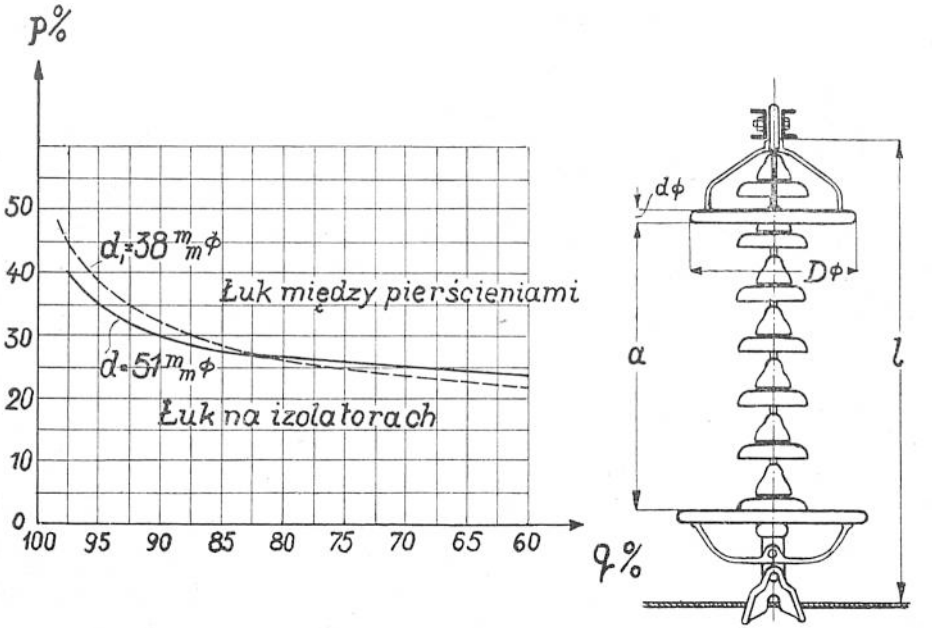
a stąd:

$$a = \frac{U_{sr} - 30{,}8}{3{,}6}$$

a więc w naszym przykładzie:

$$a = \frac{313 - 30{,}8}{3{,}6} = 78{,}5 \text{ cm}$$

Nastawiając więc iskiernik na $a = 78{,}5$ cm, mielibyśmy jednakowe szanse, że wyładowanie nastąpi — podczas deszczu — zarówno na iskierniku jak i na izolatorze. Aby więc wyładowanie nastąpiło bezwzględnie na




Rys. 271. Zależność drogi wyładowania od ustosunkowania wymiarów pierścienia do długości wisiora.

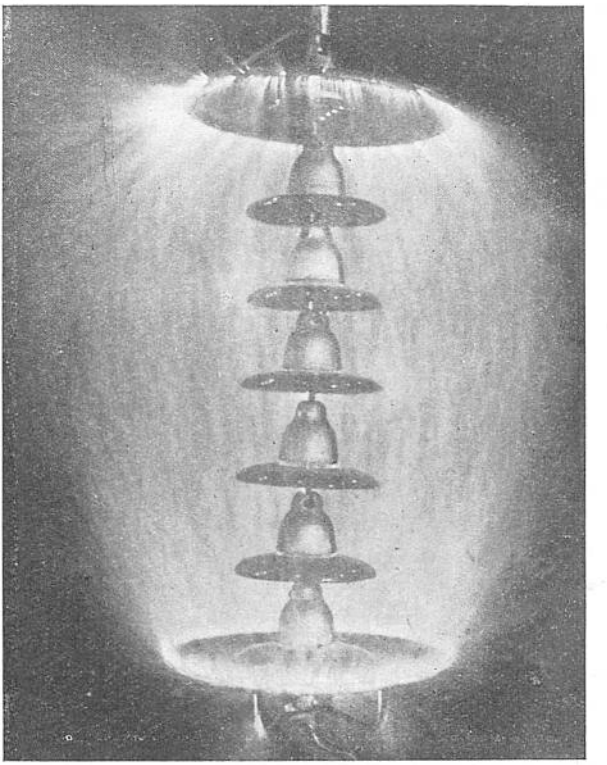
iskierniku, musi on być nastawiony na $a < 78{,}5$ cm. W tym celu obniżymy napięcie $U_{sr}$ o $10\%$, co uwzględnimy, wprowadzając spółczynnik $\gamma = 0{,}90$, a więc obniżymy do wysokości $313 \cdot 0{,}90 = 282$ kV. Skutkiem tego zmniejszymy rozstawienie uzbrojenia ochronnego do:

$$a = \frac{282 - 30{,}8}{3{,}6} = \text{okr. } 70 \text{ cm.}$$

Jednakże nawet przy zastosowaniu należytej odległości $a$ cm nie mamy jeszcze pewności, czy wyładowanie nie obejmie izolatorów. Pewność taką będziemy mieli dopiero wówczas, gdy izolatory nie będą się znajdowały w polu elektrycznem, zawartem między obu elektrodami iskiernika, a więc np. między obu pierścieniami.

Z badań J. J. Torok'a wynika, że przy wisiorze o danej długości $l$ cm i danej średnicy pierścienia $D$ cm $\emptyset$ oraz $d$ cm $\emptyset$, zależnie od wzajemnej odległości pierścieni od siebie, łuk będzie obejmował izolatory, a po zmniejszeniu tej długości wyładowania występować będą jedynie między pierścieniami, nie dotykając izolatorów.

Pole elektryczne, ukształtowane między dwoma pierścieniami, widoczne jest na rys. 272, przedstawiającym fotografję pola elektrycznego, wykonaną przez firmę Hescho (Hescho - Mitteilungen, H. 66 — 67/1933). Pole to ma kształt beczki, która będzie pełna linij sił, gdy średnica pierścieni będzie mała, izolatory będą więc utopione w polu elektrycznem; jeżeli natomiast średnica pierścieni będzie dostatecznie duża, wówczas pole elektryczne przybierze kształt rozdętego pośrodku cylindra. Środek tego cylindra nie będzie wypełniony linjami sił tak, że przeskok nastąpi z ominięciem izolatorów, jak widzimy na rys. 273 (Hescho-Mitteilungen, H. 53—54/1930), przedstawiający wisior chroniony iskiernikiem złożonym z pierścieni na przewodzie i rożków na ramienniku.



Rys. 272 Fotografja pola elektrycznego między pierścieniami ochronnemi wisiora, powstałego skutkiem fali uskokowej o bardzo stromo opadającym grzbiecie, tuż przed przeskokiem.

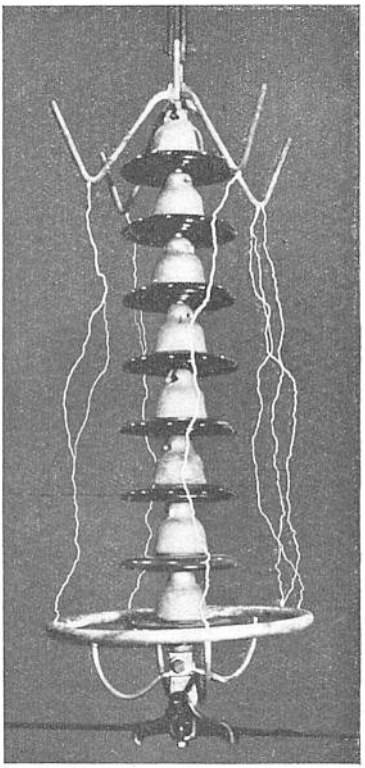
Wyniki badań Torok'a przedstawione są na rys. 271, wykonanym dla pierścienia o stosowanym przeważnie zakresie średnicy rury, z której pierścień jest zrobiony, t. j. $d = 1^1/_2 - 2''$. Na rysunku średnica pierścienia $D$ cm $\emptyset$ wyrażona jest w procentach $p^0/_0$ długości $l$ cm wisiora tak, że:

$$p^0/_0 = \frac{D}{l} \times 100$$

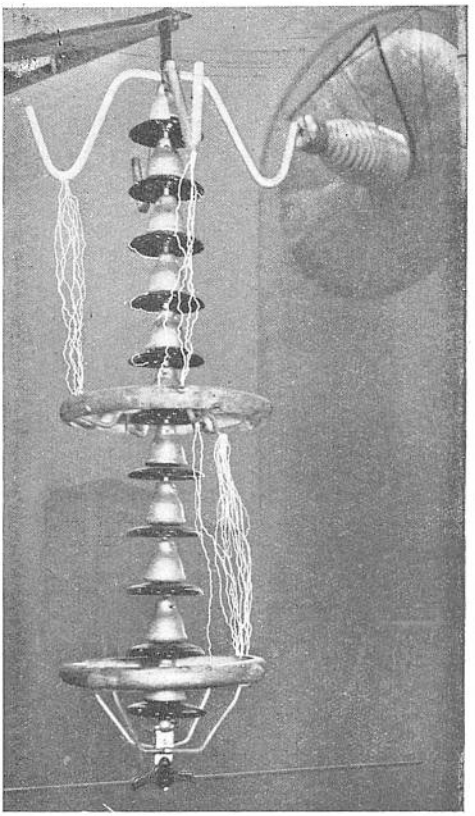
Odległość między pierścieniami $a$ cm (długość wyładowania) wyrażona jest w procentach $q\%$ długości $l$ cm wisiora, czyli:

$$q^0/_0 = \frac{a}{l} \times 100$$

Jeżeli naprzykład: $l = 131$ cm (6 członów 250 mm $\emptyset$ × 185 mm), a $D = 35$ cm $\emptyset$ przy $d = 5{,}1$ cm $\emptyset$, wówczas $p = \frac{35}{131} \times 100 =$ okr. $26{,}7\%$. Z rysunku widzimy, że jeżeli odległość między pierścieniami $a$ będzie większa od $q = 80\%$ długości wisiora, to łuk obejmie izolatory. Tak więc musi być: $a < 0{,}01 \cdot q \cdot l = 0{,}01 \cdot 80 \cdot 131 = 105$ cm. Widzimy więc, że poprzednio otrzymana wielkość dla $a = 78{,}5 < 105$ cm. Możemy zatem być pewni,



Rys. 273 Przeskok fali uskokowej wzdłuż ośmioczłonowego wisiora z izolatorów kołpakowych, ochranianego na przewodzie pierścieniem, a na ramieniku rożkami.



Rys. 274. Przeskok fali uskokowej wzdłuż jedenastoczłonowego wisiora z izolatorów kołpakowych, ochranianego na przewodzie pierścieniem, z kołem pośredniem i rożkami na ramienniku.

że łuk nie obejmie izolatorów. Aby jednak w czasie palenia się łuk — skutkiem swej wydłużalności i ruchliwości — nie objął izolatorów, należy dać elektrodzie górnej nieco mniejszą średnicę $D$ niż elektrodzie dolnej. Dzięki temu łuk będzie pędem rozgrzewanego powietrza wydmuchiwany nazewnątrz beczki pola elektrycznego. Aby łuk możliwie szybko się wydłużał, górną elektrodę przyramienną należy dać albo w kształcie koła

z rożkowato wygiętemi ramionami albo lepiej w postaci czterech krzyżowo ustawionych rożków (rys. 274). W tym samym celu, za przykładem amerykan, nadaje się dolnemu pierścieniowi kształt elipsy o dłuższej osi, równoległej do przewodu, przyczem elipsę nad przewodami wygina się ku górze tak, że cały pierścień przyjmuje kształt siodła.

Należy również zwracać uwagę na to, aby pojemność cieplna każdej z elektrod była dostatecznie duża, aby nie parował metal, z którego wykonano elektrody, gdyż poprzez pary metalu mogłoby nastąpić uziemienie albotеż zwarcie z prądem o znamionowej częstotliwości, które poza innemi skutkami mogłoby uniemożliwić zgaszenie się łuku. Z tych samych względów zaokrąglamy elektrody, aby ostre ich krańce nie parowały, jakkolwiek z innych względów dla $a > 60$ cm kształt przekroju elektrody jest obojętny.

Jednakże przy bardzo długich wisiorach (bardzo wysokich napięciach), mimo zachowania wszystkich wyżej podanych zasad ochrony pierścieniami ochronnemi, środkowa najruchliwsza część łuku może wtargnąć w izolatory. Aby się to nie stało, w pośrodku długich wisiorów wstawiamy tak zwane koło pośrednie z ramionami rożkowato wygiętemi dla spędzenia łuku z wisiorów na koło. Urządzenie takie widzimy na fotografji firmy Hescho, przedstawionej na rys. 274. Z dwunastu wyładowań fali uskokowej tylko jedno lepi się jeszcze do izolatorów górnej połowy. Należy przypuszczać, że zwiększeniem średnicy $D$ koła pośredniego możnaby uniknąć tego lepiącego się wyładowania.

W związku z zachowaniem się uzbrojenia ochronnego w poszczególnych przypadkach, zastanowimy się nad znaczeniem fali odbitej $U_0$ (rys. 229 „a"). Fala ta będzie ujemna, gdy $Z_1 > Z_2$; będzie wówczas zmniejszała nadlatujące przepięcie, sama poruszając się z prędkością 300 m/$\mu$s. Przypuśćmy, że w odległości $l$ m od miejsca odbicia fali znajduje się izolator podtrzymujący linję. Jeżeli od chwili, gdy czoło nadbiegającej fali znajdzie się na izolatorze, do chwili, gdy dobiegnie ono do punktu odbicia, upłynie $t$ $\mu$s, to po upływie następnych $t$ $\mu$s fala odbita $U_0$ dosięgnie izolatora i zniży na nim przepięcie do $(U_1 - U_0)$ woltów. Jeżeli opóźnienie przebicia $t_1$ $\mu$s rozpatrywanego izolatora jest większe od $2t$ $\mu$s, wówczas przy odpowiednio wielkiem zniżeniu amplitudy fali przebicie już nie nastąpi. Dla wyzyskania tej okoliczności, tak bardzo sprzyjającej ochronie przeciwprzepięciowej, staramy się zastosować izolatory o możliwie dużem opóźnieniu przebicia. Osiągamy to właśnie dzięki zastosowaniu uzbrojenia ochronnego, gdyż, jak już poprzednio zaznaczyliśmy, iskiernik bocznikowy, bez względu na to, czy składa się on tylko z pierścieni lub tylko z rożków albotеż z jednego pierścienia i rożków, przy odległości $a > 50$ cm zachowuje się tak samo jak iskiernik ostrzony i wykazuje znaczne opóźnienie wyładowania. Natomiast przy długościach wyładowania krótszych, czas ten jest tem mniejszy, im bardziej upodabnia się działanie pierścienia do działania iskiernika płytkowego czyteż kulowego.

3. Linka ochronna uziemiona (odgromowa).

Działanie linki ochronnej uziemionej rozciąga się na:

1) ochronę przed przepięciami statycznemi,

2) ochronę przed przepięciami indukowanemi,
3) ochronę przed bezpośredniemi uderzeniami pioruna.

Działanie ochronne linki uziemionej przed przepięciami statycznemi polega na tem, że zmniejsza ona ładunki elektryczne przewodów ochranianych, znajdujących się w ziemskiem polu elektrycznem; pozatem zwiększa ona pojemność przewodów elektrycznych w stosunku do ziemi tak, że zmniejszony ładunek przypada na zwiększoną pojemność. W ten sposób napięcie, powstające na przewodach w stosunku do ziemi, jest niższe na przewodach elektrycznych ochranianych linką uziemioną, niż na przewodach bez tej linki.

Przepięcia w linjach elektrycznych bez linek ochronnych uziemionych są proporcjonalne do średniej wysokości zawieszenia przewodu nad ziemią. Stąd bezpośrednio wynikają duże korzyści w związku z budowaniem sieci na możliwie najmniejszej odległości od ziemi, a więc wszystkie fazy w płaszczyźnie poziomej, co też praktyka amerykańska w zupełności potwierdza. Z drugiej strony przepięcie w linjach elektrycznych, zaopatrzonych w linkę ochronną, zależy również od średniej wysokości zawieszenia tej linki ponad ziemią. Stosunek

$$\Delta U_1 = \frac{\text{przepięcie z linką ochronną}}{\text{przepięcie bez linki ochronnej}}$$

nazywa się spółczynnikiem ochrony przewodów. W formie najogólniejszej można napisać (Rechnungsgrössen für Hochspannungsanlagen. Mitteilung der Technischen Beratungsstelle der AEG. K — BS/1009 a. Nov. 29)

$$\Delta U_1 = 100 \cdot \frac{h_s}{h} \cdot a_s \,{}^0/_0 ,$$

gdzie dla ogólnego przypadku, gdy stosujemy ochronę na jednym słupie,

dla obwodu I z przewodami 1 — 2 — 3 oraz
„ „ II „ „ 1' — 2' — 3'

zawieszonemi ponad ziemią na średniej geometrycznej wysokości
$h = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3}$ cm, przyczem średnia geometryczna odległość w cm między przewodami wynosi:

dla I obwodu $d = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}}$

„ II „ $d' = \sqrt[3]{d_{12'} \cdot d_{23'} \cdot d_{31'}}$

między obwodami $d'' = \sqrt[3]{d_{11'} \cdot d_{22'} \cdot d_{33'}}$,

przyczem zawiesiliśmy $z$ sztuk linek ochronnych, które nazwiemy: $p$, $q$, $s$, ....., każda o średnicy $2 \cdot r_s$ cm $\emptyset$.

Opierając się na tych oznaczeniach, możemy napisać wzór na wyżej wymienioną wielkość:

$$a_s = z \cdot \frac{(a_{is})^2}{a_{ss} + (z-1) \cdot a_{ps}} ;$$

gdzie:

$$a_{1s} = ln \,.\, \left[\frac{2h \,.\, 2h_s}{(d_s')^2} + 1\right] \times 9 \,.\, 10^{11}$$

$$a_{ps} = ln \,.\, \left[\left(\frac{2h^s}{d_s}\right)^2 + 1\right] \times 9 \,.\, 10^{11}$$

$$a_{ss} = 2 \,.\, ln \,.\, \left[\frac{2h_s}{r_s}\right] \times 9 \,.\, 10^{11};$$

| $z =$ | $h_s =$ | $d_s =$ | $d_s' =$ |
|---|---|---|---|
| 1 | $h_s$ | — | $\sqrt[3]{d_{s1} \,.\, d_{s2} \,.\, d_{s3}}$ |
| 2 | $\sqrt[2]{h_p \,.\, h_q}$ | $d_{pq}$ | $\sqrt[2]{\sqrt[3]{d_{p1} \,.\, d_{p2} \,.\, d_{p3}} \,.\, \sqrt[3]{d_{q1} \,.\, d_{q2} \,.\, d_{q3}}}$ |
| 3 | $\sqrt[3]{h_p \,.\, h_q \,.\, h_s}$ | $\sqrt[3]{d_{ps} \,.\, d_{sq} \,.\, d_{qp}}$ | $\sqrt[3]{\sqrt[3]{d_{p1} \,.\, d_{p2} \,.\, d_{p3}} \,.\, \sqrt[3]{d_{s1} \,.\, d_{s2} \,.\, d_{s3}} \,.\, \sqrt[3]{d_{q1} \,.\, d_{q2} \,.\, d_{q3}}}$ |

Jak z dyskusji wzorów tych wynika, możemy powiedzieć z dostateczną dla praktyki dokładnością, że spółczynnik ochrony przewodów nie zależy od średnicy linki ochronnej ani od jej materjału, toteż przy wyborze średnicy kierowaliśmy się względami wytrzymałości mechanicznej linki. Zwykle stosuje się linkę ochronną ze stali ocynkowanej o przekroju:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| przy | rozpiętości | do | 200 | m | 35 | mm² |
| „ | „ | od | 200 | do 250 m | 50 | „ |
| „ | „ | „ | 250 | „ 300 „ | 70 | „ |

Jednakże ze względu na konieczność możliwie szybkiego odprowadzenia ładunków, zebranych na lince ochronnej, do ziemi, należy raczej używać w tym celu materjałów lepiej przewodzących od stali, jak np. miedzi albo aluminjum z żyłą stalową lub wreszcie stali miedziowanej.

Wrazie zbyt powolnego odprowadzania ładunku mogłoby napięcie między linką ochronną a np. przewodem roboczym opadać zbyt wolno tak, że przy odpowiednio wysokiem napięciu i odpowiednio krótkim czasie opóźnienia przebicia — mógłby nastąpić albo bezpośredni przeskok z linki ochronnej na linkę roboczą lub też przebicie najbliższego punktu izolacyjnego, jak np. izolatora od konstrukcji połączonej z linką ochronną do przewodu roboczego.

Aby to się nie zdarzało, dajemy często na słupach żelaznych ramienniki drewniane. W Ameryce z tych samych względów izoluje się linkę ochronną od słupa żelaznego przez umieszczanie na nich słupów drewnianych, do których przymocowuje się linkę. Uziemia się ją natomiast zapomocą odciągaczy, nie stykających się ze słupem żelaznym, i prowadzi się je w po-

wietrzu do ziemi lub wzdłuż specjalnych słupów skośnych, wzmacniających całą tę konstrukcję.

Jak wskazuje praktyka amerykańska, jest również bardzo korzystne stosowanie — wrazie użycia dwóch lub więcej linek ochronnych łączenia ich z sobą, pośrodku przęsła, oczywiście z zachowaniem wzajemnej ich odległości.

Dalej spółczynnik ochronny jest tem korzystniejszy, im bliżej przewodów ochranianych jest zawieszona linka ochronna. Tę okoliczność jednakże możemy wyzyskać jedynie kompromisowo, a to ze względu na ochronę przeciwgromową, o czem będzie mowa poniżej.

Naogół możemy liczyć się z następującemi wielkościami spółczynnika ochrony:

$\Delta U_1$ przy

| ilości linek ochronnych $z$ | średniej wielkości międzyprzewodowej $d$ wzgl. $d'$ wzgl. $d''$ | |
|---|---|---|
| | 250 cm | 1000 cm |
| 0 (bez linki ochr) | 1,00 | 1,00 |
| 1 | 0,70 | 0,80 |
| 2 | 0,55 | 0,65 |
| 3 | 0,45 | 0,55 |

Co do oddziaływania linki ochronnej na przepięcia indukowane zauważymy, że linka, jako uziemiona, ma potencjał ziemi, dzięki czemu przeciwstawia ładunkowi przewodów roboczych swój ładunek znaku odwrotnego tak, że skutkiem zastosowania linki ochronnej zniża się również wysokość napięcia indukowanego w przewodach roboczych do wysokości:

$$U_1 = g \,.\, h \,.\, \alpha \,.\, \Delta U_1 .$$

Przy układzie przewodów roboczych w kilku poziomach przeciwstawienie ładunków linki ochronnej jest najmniejsze w stosunku do przewodów najniższego poziomu. Skutkiem tego największe napięcie panuje właśnie między najniższemi przewodami a słupem. Dlategoteż najczęściej ulegają wyładowaniom izolatory najniższych przewodów. Z tego względu linkę ochronną umieszcza się również i pod przewodami.

Jak przekonaliśmy się z przykładu, rozpatrzonego w rozdziale o przepięciach indukcyjnych, przepięcie indukowane w linji bez linki ochronnej wynosiło 2000 kV. W rzeczywistości może ono być jeszcze wyższe, np. 5000 kV, lecz tego rodzaju przypadki są tak bardzo rzadkie, że ze względu na gospodarność urządzeń elektrycznych liczyć musimy się z tem przepięciem dochodzącem do impulsu o wysokości tylko ok. 1500 kV. Przepięciu temu odpowiada napięcie przeskoku wisiora, złożonego z około 11 ogniw $K$ 6 (140 mm × 280 mm ∅), jaki stosujemy dla napięcia roboczego wynoszącego ok. 170 kV. Z tej racji niema uzasadnienia handlowego stosowania linek ochronnych dla zniżenia przepięć indukowanych w linjach elektrycz-

nych dla napięć roboczych, począwszy od 170 kV wzwyż. Celem możności pracy z tym samym stopniem bezpieczeństwa przy napięciach roboczych niższych od 170 kV, stosujemy linki ochronne w ilości tem większej, im niższe jest napięcie robocze. Oczywiście, że dla każdego przypadku osobno, należy obliczyć spółczynnik ochrony. Jeżeli dla przykładu liczyć się będziemy ze spółczynnikami ochrony, podanemi powyżej, to możemy powiedzieć, że przy jednej lince ochronnej otrzymujemy przepięcie wynoszące 1 500 kV $\times$ (0,70 $\div$ 0,80) = okr. 1120 kV. Odpowiada to napięciu przeskoku wisiora, złożonego z 8 izolatorów K 6, stosowanego dla napięcia roboczego 120 kV. Poniżej tego napięcia stosujemy dwie linki ochronne, wówczas: 1 500 kV $\times$ (0,55 $\div$ 0,65) = 900 kV, co odpowiada 6 izolatorom K 6, stosowanym dla napięcia roboczego 100 kV. Poniżej tego napięcia należałoby stosować trzy linki; mielibyśmy wówczas: 1 500 kV $\times$ (0,45 $\div$ 0,55) = = 750 kV, co odpowiada 5 izolatorom K 6 dla napięcia roboczego 80 kV. Dalszemu zwiększaniu liczby linek ochronnych stoją zwykle na przeszkodzie względy gospodarności urządzeń.

Rozumie się, że otrzymany powyżej zakres celowości stosowania linek ochronnych może przy poszczególnych obliczeniach ulec pewnemu, drobnemu zresztą, rozszerzeniu tembardziej, że i inne względy odgrywają tu rolę. Pierwszy z nich to zmniejszenie oddziaływania przewodów wysokiego napięcia na sąsiadujące z niemi przewody telefoniczne, gdyż wrazie uziemienia jednej fazy, pomimo właściwego kołowego w należytych odstępach zastosowanego przeplotu faz, w przewodach telefonicznych indukuje się napięcie: (Dr. Ing. Kurt Draeger — Hochspannungs-Freileitungen. Berlin 1930).

$$U_{tel} = 0{,}26 \cdot U \cdot \frac{b \cdot c}{a^2 + b^2 + c^2} (1 - m) \text{ woltów,}$$

gdzie $U$ — jest napięciem roboczem (skutecznem) w woltach,

$a$ — poziomą odległością przewodów roboczych od przewodów telefonicznych,

$b$ — średnią wysokością zawieszenia przewodów roboczych,

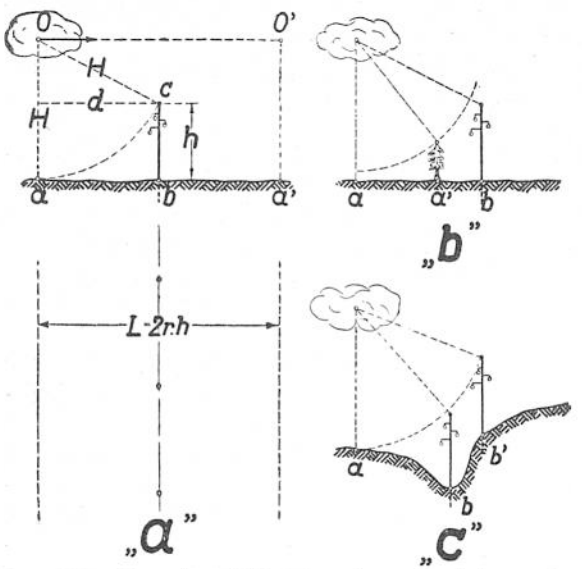
$c$ — „ „ „ „ telefonicznych,

$m$ — spółczynnikiem zależnym od osłonnego działania otoczenia przy lince ochronnej = 0,25.

W ten sposób linka ochronna zmniejsza o około 25% oddziaływanie prądów roboczych wysokiego napięcia na przewody telefoniczne.

Następnym i to może najważniejszym względem, skłaniającym nas do stosowania linek ochronnych, jest wzgląd na ochronę przewodów roboczych przed bezpośredniem uderzeniem w nie pioruna. Osłonną rolę linki ochronnej poznamy z następującego rozumowania: zauważono mianowicie, że piorun uderza w przedmiot najbardziej zbliżający się do naładowanej chmury, stanowiącej przyczynę pioruna. Stąd wniosek konieczności budowania linji elektrycznej możliwie nisko ponad ziemią w płaskim układzie przewodów, unikając wzgórz i wyniosłości terenu tak, aby linja przebiegała możliwie blisko wyniosłych przedmiotów, np. wzdłuż lasu lub wzdłuż wycinki leśnej, wąwozem i t. p., gdyż jak wskazuje praktyka, jednakowe szanse

uderzenia ma słup żelazny jak i np. drzewo tej samej wysokości. Opierając się na tych spostrzeżeniach, F. W. Peek wprowadza pojęcie pasa zagrożonego bezpośredniem uderzeniem pioruna oraz pojęcie spółczynnika prawdopodobieństwa bezpośredniego uderzenia pioruna, a to na zasadzie rozumowania, że jeżeli środek O (rys. 275 „a") naładowanej chmury zbliża się do linji elektrycznej tak, że będzie od niej jednakowo odległy wierzchołek „c" słupa jak i inny punkt „a" na powierzchni ziemi, to wówczas istnieje jednakowa możliwość uderzenia pioruna w ten punkt ziemi jak i w wierzchołek słupa. Wmiarę zbliżania się środka chmury O do linji elektrycznej będzie rosło prawdopodobieństwo uderzenia pioruna właśnie w wierzchołek słupa, a nie w inny punkt ziemi. Największe niebezpieczeństwo dla linji będzie wtedy, gdy środek chmury będzie się znajdował w pionie ponad linją, poczem przy dalszem przesuwaniu się chmury niebezpieczeństwo będzie stopniowo malało, aż po przekroczeniu punktu O′ zniknie zupełnie. Właśnie pas biegnący wzdłuż linji o szerokości *aa′* nazwał Peek pasem zagrożonym bezpośredniem uderzeniem pioruna. Posiłkując się oznaczeniami, wskazanemi na rysunku, możemy napisać:




Rys. 275. Prawdopodobieństwo bezpośredniego uderzenia pioruna w linję:
„a" — pas zagrożony bezpośredniem uderzeniem pioruna, „b" — zwężenie pasa dzięki wyniosłości terenu, „c" — dobór terenu pod budowę sieci: b — właściwy, b′ — fałszywy.

$$d^2 = H^2 - (H - h)^2 = 2Hh - h^2,$$

a stąd:

$$\frac{d^2}{h^2} = 2 \cdot \frac{H}{h} - 1$$

Peek oznaczył stosunek $\frac{d}{h} = r$ i nazwał go spółczynnikiem prawdopodostwa bezpośredniego uderzenia pioruna. Wprowadzając go do ostatnio otrzymanego równania, otrzymamy:

$$r^2 = 2\frac{H}{h} - 1 \quad \text{lub:} \quad r = \sqrt{2\frac{H}{h} - 1}$$

Stąd dla każdego stosunku wysokości chmury ponad ziemią do wysokości słupa znaleźć możemy wielkość spółczynnika *r*, naprzykład dla

$\frac{H}{h} = \frac{600\ \text{m}}{15\ \text{m}} = 40$ $r =$ okr. 8,8, a wówczas szerokość $L$ pasa zagrożonego będzie wynosiła: $L = 2 . d = 2 . r . h.$

W obliczeniu tem, zresztą przybliżonem, założyliśmy milcząco, że chmura jest naładowana ujemnie. Przy dodatnim ładunku chmury szerokość pasa jest nieco mniejsza. Rzecz oczywista, że szerokość pasa będzie rosła wraz z wysokością słupa. Peek jest jednak zdania, że na terenie płaskim prawdopodobieństwo bezpośredniego uderzenia w słup istnieje tylko wówczas gdy $r \leqslant (4 \div 10)$. W każdym razie zastrzeżenie to nie dotyczy terenów sfalowanych.

Jeżeli w naszym przykładzie zbudowaliśmy sieć na słupach o wysokości $h = 15$ m, to szerokość pasa zagrożonego będzie wynosiła:

$$L = 2 . 8{,}8 . 15 = 264 \text{ m.}$$

Rozumie się, że im węższy jest ten pas, tem mniej szans ma piorun do uderzenia w linję elektryczną. Pojęcia te są więc dla nas ważne ze względu na odpowiedni dobór terenu pod sieć. Na rys. 275 „b" Peek wykazuje, jak przy zbudowaniu sieci wpobliżu ściany lasu zmniejsza się szerokość pasa o „$a$—$a_1$"; na rys. 275 „c" natomiast widzimy fałszywie wybrane miejsce dla sieci $b'$ oraz miejsce obrane prawidłowo $b$. Nie możemy tu jednak pominąć milczeniem tej okoliczności, że piorun, uderzając w jakiś objekt o stosunkowo małej przewodności, naprzykład drzewo, „rozpryskuje się" i że takim rozpryskiem może być objęta linja elektryczna, zbliżona zbytnio do takiego objektu. Rozprysk taki następuje wówczas, gdy do objektu w danej chwili więcej ładunków dopływa niż odpływa. W każdym razie główny pień pioruna spłynie po drzewie tak, że nawet mimo zbytniego zbliżenia linja wyjdzie na tego rodzaju bliskiem sąsiedztwie lepiej, niż gdyby stała w terenie samopas i skutkiem tego została bezpośrednio uderzona piorunem.

Przy rozważaniach tych milcząco przyjęliśmy, że przewodność ziemi jest jednakowa, zarówno w punkcie $b'$ jaki i w punkcie $b$. Gdyby się jednakże okazało, że przewodność ta w punkcie $b'$ jest znacznie mniejsza niż w punkcie $b$, to wówczas, jak wskazuje praktyka i doświadczenia, mogłaby być uderzona raczej linja, zbudowana w miejscu $b$, to jest w miejscu o większej przewodności ziemi (wilgoć), niż w punkcie $b'$.

Należy jeszcze zaznaczyć, że przy wyborze terenu pod sieć trzeba w większej mierze kierować się jego budową geologiczną niż reljefem. Najniebezpieczniejszy pod tym względem jest teren, bogaty w skały pochodzenia wulkanicznego, a przedewszystkiem granit; natomiast teren, obfitujący w wapień, zdaje się być znacznie bezpieczniejszym. Bezwarunkowo jednak trzeba unikać prowadzenia linji wzdłuż miejsca rozgraniczającego dwa tereny o różnej budowie geologicznej. Należy również o ile możności unikać terenów ze źródłami, szczególnie, gdy woda z nich ma pewne własności radjoaktywne, co oczywiście sprzyja jonizacji.

Skoro jednak mimo właściwego doboru terenu pod budowę linji nie możemy uniknąć bezpośredniego uderzenia w nią pioruna, starać się będziemy, aby nie uderzył on w przewody robocze. W tym celu posiłkujemy się linką uziemioną, rozpatrywaną już powyżej i nazwaną linką ochronną

od głównego jej zadania, t. j. ochrony przed bezpośredniemi uderzeniami pioruna w przewody.

Z rys. 276 wynika wprost, że o ile ma być uderzona linka ochronna a nie przewód roboczy, to przy określonej wysokości zawieszenia przewodu roboczego $h$ na ramienniku o długości $x$, wysokość zawieszenia linki ochronnej musi być większa od $y$. Korzystając z oznaczeń, podanych na rysunku, możemy napisać, że:

$$d_1 = \sqrt{H^2 - (H-y)^2}$$

$$d_2 = \sqrt{H^2 - (H-h)^2}$$

$$x = d_1 - d_2 = \sqrt{H^2 - (H-y)^2} - \sqrt{H^2 - (H-h)^2} = \sqrt{2Hy - y^2} - \sqrt{2Hh - h^2} =$$

$$= \sqrt{\frac{2H^2y}{H} - \frac{H^2y^2}{H^2}} - \sqrt{\frac{2H^2h}{H} - \frac{H^2h^2}{H^2}} =$$

$$= H\sqrt{2\left(\frac{y}{H}\right) - \left(\frac{y}{H}\right)^2} - H\sqrt{2\left(\frac{h}{H}\right) - \left(\frac{h}{H}\right)^2},$$

a stąd:

$$\frac{x}{H} = \sqrt{2\left(\frac{y}{H}\right) - \left(\frac{y}{H}\right)^2} - \sqrt{2\left(\frac{h}{H}\right) - \left(\frac{h}{H}\right)^2}$$

Z tego równania otrzymamy wysokość $y$ zawieszenia linki ochronnej

$$y_{1,2} = H \pm \sqrt{H^2 - x^2 - 2Hh + h^2 - 2.x\sqrt{2Hh - h^2}}.$$

Otrzymujemy więc dwa rozwiązania, gdyż wierzchołek słupa przedłużeniem swem przecina obwód koła, zatoczonego promieniem $H$ ze środka chmury w dwóch miejscach, z których interesuje nas tylko punkt niżej położony. Uwzględniając to, jak również i zdanie Peek'a, że znalezioną w ten sposób wysokość $y$ zawieszenia linki ponad ziemią należy powiększyć o 10%, otrzymujemy:

$$y = 1{,}1\left[H - \sqrt{H^2 - x^2 - 2Hh + h^2 - 2.x.\sqrt{2Hh - h^2}}\right]$$

Przypuśćmy, że $H = 300$ m oraz że często spotykane w linji na 100 kV $h = 20$ m oraz $x = 4$, znajdujemy, że:

$$y = 1{,}1\left[300 - \sqrt{300^2 - 4^2 - 2.300.20 + 20^2 - 2.4.\sqrt{2.300.20 - 20^2}}\right] =$$

$$= 1{,}1\,[300 - 278{,}5] = \text{okr. } 23{,}65 \text{ m.}$$

Według W. W. Lewis'a należy jeszcze sprawdzić, czy przewody robocze znajdować się będą wewnątrz stożka, którego wierzchołek będzie stanowiła na słupie linka ochronna, a promień podstawy odcinek odmierzony na ziemi o długości z każdej strony linji $(1 \div 1{,}5)$-krotną wysokość zawieszenia linki ochronnej ponad ziemią. W tym celu oznaczymy przez $\alpha$ kąt

zawarty między tworzącą stożka a osią słupa, a więc u jego wierzchołka; wówczas

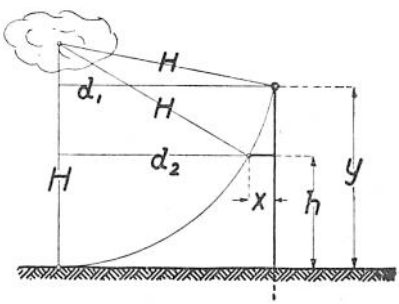
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y\,(1 \div 1{,}5)}{y} = 1 \div 1{,}5$$

Jeżeli $\alpha$ będzie kątem u wierzchołka słupa, zawartym w trójkącie o przyprostokątnych $x$ oraz $(y—h)$, to

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{x}{y-h} = \frac{4}{23{,}65 - 20} = 1{,}095$$

W ten sposób możemy uznać, że wysokość zawieszenia linki ochronnej naogół czyni zadość wymaganiom W. W. Lewis'a.

Z dotychczasowych rozważań wnioskować możemy, że umieszczanie linki ochronnej w jednej płaszczyźnie z przewodami roboczemi jest błędne. Błąd taki czasami spotykamy w tych przypadkach, gdy przewody robocze linji są poprowadzone w jednej płaszczyźnie poziomej. Ponadto z rys. 275 „c" bezpośrednio wynika, że przy większych długościach poprzeczników jedna linka nie wystarcza, że w tych przypadkach ze względu na ochronę przewodów przed bezpośredniemi uderzeniami pioruna należy stosować conajmniej dwie linki ochronne. To samo dotyczy linij elektrycznych, zbudowanych na słupach portalowych, i wogóle tych linij, których przewody rozmieszczono w jednej płaszczyźnie poziomej.



Rys. 276. Wyznaczanie osłonnej wysokości podwieszenia linki ochronnej.

Jednakże mimo określenia wysokości zawieszenia linki ochronnej od ziemi w sposób wyżej podany, nie będziemy jeszcze mieli pewności, czy wówczas, gdy piorun uderzy nie w sam słup, lecz w linkę ochronną w pewnej od słupa odległości, któraś z gałęzi rozprysku piorunowego nie obejmie przewodów roboczych. Niebezpieczeństwo to częściowo zostaje usunięte wysoką przewodnością linki ochronnej. Aby zdać sobie sprawę z koniecznej w tym celu wysokości zawieszenia zauważymy, że w chwili, gdy piorun uderzy w słup, przewody robocze, a więc i izolatory znajdują się pod napięciem w stosunku do uziemionej konstrukcji lub linki ochronnej, wynoszącem:

$$U_p = K \,.\, J \,.\, R,$$

gdzie $K$ jest stałą, zależną od konstrukcji słupa i linki ochronnej, przyczem dla obliczeń orjentacyjnych możemy ją przyjąć w wartości średniej $K = 0{,}8$; $J$ jest prądem, płynącym przez słup, oraz $R$ jest opornością słupa i uziemienia. Tego rodzaju przepięcia mogą być bardzo wielkie, gdyż według Peek'a mogą wynosić w szczególnie niekorzystnych przypadkach nawet 10 000 000 woltów.

Skutkiem występujących tu tak wysokich napięć należy ustalić odległość linki ochronnej od przewodu roboczego tak dużą, aby ładunek zdążył spłynąć z linki ochronnej do ziemi poprzez słup. Warunek ten prowadzi do umieszczenia linki ochronnej w odległości 9 do 15 m ponad przewodami roboczemi niezależnie od tego, że izolatory muszą wykazywać duże opóźnienie przeskoku.

Należy tu jednak zauważyć, że w przewodach roboczych, znajdujących się znacznie bliżej linki ochronnej niż ziemi, indukuje się znaczne napięcie tego samego znaku co i w lince ochronnej. Dlategoteż różnica napięć między linką a przewodem jest mniejsza niż między przewodem roboczym a ziemią.

W praktyce stosuje się odległość między linką a przewodem znacznie mniejszą niż wyżej podana, bo wynoszącą 3 do 6 m, a jedynie pośrodku przęsła odległość tę zwiększa się, aby zapobiec przeskokowi między linką ochronną a przewodem roboczym, godząc w tak kompromisowy sposób wzgląd na możliwość bezpośredniego uderzenia pioruna i na przepięcia indukowane ze względami gospodarczemi. W tym przypadku jednak musimy zwrócić tem większą uwagę zarówno na dobrą przewodność linki ochronnej i słupa, jak i na oporność uziemienia słupów. Uziemienie musi być tem lepsze, im niższe jest napięcie robocze, przy którem linja pracuje. Ponieważ należy się liczyć z chwilową wielkością prądu piorunowego, wynoszącą $J = 200\,000$ A, przeto z wzoru $U_p = 0{,}8 \,.\, 200\,000 \,.\, R$ obliczymy oporność, mając dla każdego napięcia roboczego danej linji znane napięcie przeskoku. Naprzykład $U_p = 900$ kV dla 6 izolatorów $K$ 6 linji o napięciu roboczem 100 kV. Znajdujemy, że oporność uziemienia, licząc od czubka słupa, powinna wynosić:

$$R \leqslant 900\,000 : 0{,}8 \,.\, 200\,000 \leqslant 5{,}6\ \Omega$$

Ponieważ jednak utrzymanie oporności setek lub nawet tysięcy uziemień w sieci o tak małej wysokości jest trudne lub wręcz niemożliwe, przeto, opierając się na danych statystycznych, do obliczenia tej oporności przyjmujemy natężenie prądu piorunowego, wynoszące 30 000 A, a conajwyżej 50 000 A. W ten sposób świadomie zwiększamy ryzyko, lecz jest ono stosunkowo niewielkie, szczególnie jeśli chodzi o 50 000 A, gdyż większe natężenia prądu — jakkolwiek się zdarzają — są jednak wyjątkowo rzadkie.

Staramy się więc oporność utrzymać w granicach niżej podanych w sieciach o napięciu roboczem:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | kV | przy | $U_p = 350$ | kV | w granicach | $R \leqslant 9 \div 15\ \Omega$ |
| 60 | „ | „ | $U_p = 650$ | „ | „ | $R \leqslant 16 \div 27$ „ |
| 100 | „ | „ | $U_p = 900$ | „ | „ | $R \leqslant 22 \div 38$ „ |

Jeżeli, mimo wszystkie wysiłki, warunki terenowe nie pozwoliłyby na osiągnięcie tak niskiej oporności uziemienia, to należałoby wzdłuż linji elektrycznej w odległości od niej, nie przekraczającej 4 $r$, zbudować z każdej jej strony równoległe linje ochronne. Słupy tych linij powinny być tak wysokie, aby zawieszona na nich linka ochronna stanowiła najwyższy punkt.

Przy obliczaniu tej wysokości przyjmuje się zazwyczaj średnią wysokość obłoku ponad ziemią $h = 300$ m. W tym przypadku oczywiście linje ochronne, złożone tylko ze słupów żelaznych uziemionych i linki ochronnej, nie poniosą żadnego uszczerbku skutkiem niemożności uzyskania lepszego uziemienia.

Linje niechronione linką ochronną, a więc o napięciu roboczem nieprzekraczającem zazwyczaj 60 kV, bronimy przed bezpośredniemi uderzeniami pioruna specjalnie zbudowanemi piorunochronami. W tym celu posiłkujemy się zwykle słupami drewnianemi, na których jest umocowany metalowy zwód. Ostrze zwodu wznosi się ponad wysokość podwieszenia linji o t. zw. wysokość górowania zwodu. Piorunochrony te ustawiamy wzdłuż najczęściej uderzanego odcinka linji w odstępach około 300 m. Zwód musi być w danem miejscu wyższy od ochranianej linji o $h$ m. Piorunochron ustawiamy wpobliżu najwyższych punktów sieci i w odległości od niej $a$ m. Według przepisów VDE należy zachować następujące odległości:

boczna odległość od linji $a = 5$ m, wysokość górowania zwodu $h = 8$ m
" " " " $a = 7$ " " " " " $h = 10$ "
" " " " $a = 10$ " " " " " $h = 15$ "

Należałoby obecnie zastanowić się nad przebiegami elektrycznemi, jakie zachodzą w lince ochronnej po uderzeniu pioruna. Uderzenie pioruna w linkę ochronną pośrodku przęsła wywołuje największe naprężenia powietrza, zawartego między przewodami roboczemi a linką ochronną: liczymy się z tem przez zwiększenie wzajemnej odległości przewodów roboczych i linki ochronnej w środku przęsła, t. j. stosujemy zwis linki ochronnej mniejszy od zwisu przewodów roboczych. Natomiast ładunek, spływający do ziemi po każdym słupie przęsła uderzonego jest mniejszy, niż gdyby piorun uderzył bezpośrednio w słup. O ile w pierwszym przypadku wynosi on na każdym słupie po około 35% ładunku pioruna, to w drugim przypadku spływa go od 60% do 80%. Tak więc wrazie uderzenia pioruna bezpośrednio w słup uziemiony, znaczna część ładunku spływa do ziemi, lecz jednocześnie w obie strony słupa mkną fale z prędkością, wynoszącą 300 m/1 $\mu s$, każda niosąc z sobą po około 20% ładunku pioruna. Jeżeli sąsiednie przęsła mają po 150 m długości, to fala biegnie do następnego słupa, również uziemionego, po 0,5 $\mu s$. Na tym słupie część ładunku (do około 10% ładunku pioruna) spłynie do ziemi, a część (około 5%) przeleci ponad nim i popłynie dalej, reszta natomiast odbije się i powróci do słupa uderzonego. Fala, wracając po upływie następnej 0,5 $\mu s$, zniża więc przepięcie tak, że o ile izolatory wykazują dostatecznie duże opóźnienie przeskoku, przeskok ten już najprawdopodobniej nie nastąpi. Te części fali, które ponad najbliższemi słupami przeszły dalej, wykazują przebieg zupełnie podobny do rozpatrzonego.

Z rozważań tych bezpośrednio wynika, że na boki słupa uderzonego po linice ochronnej rozbiegną się ładunki tem większe, im większa będzie oporność $R$ słupa i jego uziemienia. Wielkie ładunki, odpływające na boki, obniżą oczywiście napięcie, panujące między wierzchołkiem słupa a ziemią. W ten sposób linka ochronna działa do pewnego stopnia wyrównywująco.

Przy obliczaniu uziemień tej linki, a więc i uziemienia każdego bez wyjątku słupa, zaopatrzonego w linkę ochronną, liczymy się z bezpośredniem uderzeniem pioruna w słup, jako z przypadkiem groźniejszym od uderzenia pioruna w linkę ochronną pośrodku przęsła.

Przy dobrem więc uziemieniu linki ochronnej, t. j. i słupów, przepięcie ulega tak prędkiemu tłumieniu, że bezpośrednie uderzenie pioruna unieszkodliwia się w odległości dwóch do trzech przęseł z każdej strony słupa uderzonego. Wzgląd ten przemawia za stosowaniem rozpiętości stosunkowo krótkich, a więc słupów niskich, oraz poziomego (płaskiego) układu przewodów roboczych.

Zestawiając wszystko wyżej powiedziane, dochodzimy do wniosku, że:

1) przy napięciach roboczych 80 ÷ 170 kV wszystkie względy przemawiają za stosowaniem linki ochronnej;

2) przy napięciach roboczych od 170 kV wzwyż przemawia za stosowaniem linki ochronnej wzgląd na ochronę przed bezpośredniemi uderzeniami pioruna, które uważa się za przyczynę wszelkich przeskoków i przebić, występujących w urządzeniach o tych napięciach;

3) przy napięciach roboczych poniżej 60 kV przemawia za stosowaniem linki ochronnej również tylko wzgląd na bezpośrednie uderzenia pioruna. Przeciwstawia się temu jednakże wzgląd na rentowność linji.

Linki ochronne zyskają oczywiście bardzo na znaczeniu nawet i w sieciach o napięciu niższem od 60 kV, o ile jednocześnie będą służyły i dla innych celów elektrotechnicznych. W tym właśnie kierunku idą wysiłki firmy Siemens, która dla celów telefonicznych i mierniczych zaczęła wprowadzać kable napowietrzne o pancerzu stalowym, wytrzymałym na bardzo znaczne naciągi. Kable te, bez linek nośnych, zawieszone są bezpośrednio na słupach nawet przy największych rozpiętościach zamiast linki ochronnej, którą zastępują swym uziemionym pancerzem.

Rozumie się, że linkami ochronnemi ochraniać możemy nietylko sieci, lecz także napowietrzne stacje transformatorowe i rozdzielcze. Wówczas głównem zadaniem tych linek jest ochrona stacyj przed bezpośredniemi uderzeniami w nie pioruna. W tym celu tworzymy nad stacją z linek ochronnych dostatecznie wysoko zawieszoną siatkę o wielkich okach. Ze względu na koszty wykonania i utrzymywania takich siatek niezawsze opłaca się je stosować, a szczególnie, jak wykazuje praktyka amerykańska, przy napięciach roboczych stacyj rzędu kilkunastu kV, o ile nie przemawiają za takiemi siatkami inne specjalne względy na bezpieczeństwo urządzeń i pewność ruchu danego punktu węzłowego.

### 4. Zjawisko korony czyli ulot elektryczny i tłumienie fal.

Podnosząc stopniowo napięcie na przewodach zauważymy, że począwszy od pewnej jego wysokości, od t. zw. napięcia krytycznego, przewód zaczyna świecić barwą blado-niebieską z odcieniem fioletowym. Powstaje wyładowanie ciche, tlejące, z towarzyszeniem charakterystycznego trzasku. Powietrze, otaczające przewód, staje się przewodzące dzięki jonizacji. Na zjawisko to musi być oczywiście wydatkowana pewna ilość energji, co powoduje wzrost strat w przewodach: energja ta „ulata". Skutkiem tego sieć, pra-

cująca pod napięciem, bliskiem napięcia krytycznego $U_{kr}$, ochrania się sama ulotem elekrycznym przed przepięciami. Ta samoochrona ma więc tem większe znacznie, im wyższe jest napięcie robocze, przy którem sieć pracuje. Pod wpływem wyładowań tlejących powstaje naokoło przewodu ozon ($O_3$), a tlen powietrza łączy się z azotem, tworząc tlenek azotu (NO), który chciwie łączy się z tlenem i tworzy dwutlenek azotu ($NO_2$). W chwili, gdy przewód jest pod napięciem ujemnem, tworzą się na nim świecące ceglasto wypukliny, podczas gdy przewód dodatni świeci niebieskawo. Ulot następuje zarówno pod wpływem prądu stałego jak i zmiennego.

Napięcie krytyczne $U_{kr}$ zależy przedewszystkiem od średnicy przewodu „$r$" w cm oraz od wzajemnej średniej geometrycznej odległości przewodów „$a$" w cm, jak również od stanu powierzchni przewodu, od stanu pogody, od temperatury $t^0 C$ powietrza, otaczającego przewód, i wreszcie od ciśnienia barometrycznego „$b$" cm słupka rtęci. Według F. W. Peek'a napięcie krytyczne ulotu obliczamy według wzoru empirycznego:

$$U_{kr} = 21{,}1 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot r \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0{,}301}{\sqrt{r \cdot \delta}}\right) ln \cdot \frac{a}{r} \text{ kV}_{max},$$

gdzie spółczynnik stanu powierzchni:

$m_1 = 1$ dla drutu gładkiego nowego,

$m_1 = 0{,}88$ — $0{,}89$ dla drutu starszego, brudnego, nieco zaśniedziałego (utlenionego),

$m_1 = 0{,}72$ — $0{,}89$ dla linek starszych.

Spółczynnik stanu pogody:

$m_2 = 1$ przy suchej ładnej pogodzie,

$m_2 = 0{,}8$ przy mgle, deszczu i śniegu.

Gęstość powietrza:

$$\delta = \frac{3{,}92 \cdot b}{273 + t}$$

Dla orjentacji podamy, że przy najczęściej spotykanych konstrukcjach sieci elektrycznych napięcie krytyczne ulotu wynosi dla sieci o napięciu roboczem skojarzonem:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 60 | kV | $U_{kr} = 150$ | $\text{kV}_{max}$ |
| 100 | „ | $U_{kr} = 200$ | „ |
| 200 | „ | $U_{kr} = 300$ | „ |

Natomiast straty na koronę $N_k$ kW/1 km długości każdej fazy Peek wyraża wzorem:

$$N_k = \frac{244}{\delta} \cdot (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{a}} \cdot (U_f - U_{kr})^2 \cdot 10^{-5} \text{ kW/km i fazę},$$

gdzie $U$ jest napięciem przewodu względem ziemi,
a więc:

$$U_f = \frac{U}{2} \text{ przy prądzie jednofazowym}$$

oraz:

$$U_f = \frac{U}{\sqrt{3}} \text{ przy prądzie trójfazowym,}$$

a $f$ jest częstotliwością prądu roboczego.
Z powyższego wzoru znajdujemy, że prąd ulotu wynosi:

$$J_k = \frac{N_k}{U_0} \text{ A/km i fazę.}$$

Przy najwyższych napięciach straty na koronę mogą osiągnąć bardzo znaczne wielkości, które możemy zmniejszyć z jednej strony zwiększeniem średnicy przewodu, a z drugiej strony zwiększeniem odległości między przewodami $a$. Toteż biorąc pod uwagę, że na początku sieci mamy napięcie o około 10% wyższe niż na jej końcu, staramy się dobrać taki przekrój przewodu, aby sieć pracowała pod napięciem około 25% niższem od napięcia krytycznego. Opierając się na tem założeniu, zaleca Siemens (prof. R. Rüdenberg, inż. Burger) stosowanie przewodów o średnicach, wynoszących dla normalnych warunków najmniej:

| Przy napięciu skojarzonem | Średnica przewodu | Odległość między przewodami |
|---|---|---|
| 60 kV | 7,5 mm | 2,5 m |
| 100 „ | 12,5 „ | 3,0 — 3,5 m |
| 150 „ | 17,5 „ | 3,8 m |
| 200 „ | 26,3 „ | 4,5 — 5,0 m |
| 300 „ | 37,2 „ | 6,3 m |
| 400 „ | 42,0 — 50,0 mm | 8,0 m |

Rozumie się, że przy znacznych wysokościach terenu przekroje przewodów muszą być większe i tak naprzykład według Peek'a dla 100 kV stosuje się 95 mm² dla terenów położonych ponad poziom morza od 0 — 300 m, a ponad tę wysokość do 1000 m stosuje się już przekrój — 120 mm².

Dla celów orjentacyjnych z łatwością można obliczyć z dużą dokładnością napięcie krytyczne ulotu dla każdego przekroju przewodów pod warunkiem zachowania odległości międzyprzewodowych dla danego napięcia krytycznego, podanych wyżej, i to dla terenu o wzniesieniu nieprzekraczającem 300 — 400 m ponad poziom morza, posiłkując się wzorem Faust'a: krytyczne napięcie międzyprzewodowe skuteczne $U_{kr}$ = (9 × średnica przeprzewodu w mm) kV. Naprzykład przewód o przekroju 95 mm², t. j. o średnicy 12,5 mm, można stosować w linjach o napięciu międzyprzewodowem

$$12{,}5 \times 9 = 112{,}5 \text{ kV.}$$

O ile zwiększenie średnicy przewodu obraca się w dość szczupłych granicach mimo stosowania przewodów rurowych, o tyle więcej swobody mamy w doborze odpowiednio wielkiego odstępu $a$, chociaż tutaj względy go-

spodarcze każą nam często pogodzić się z dość znacznemi stratami pracy elektrycznej na ulot.

Linja pracuje pod napięciem roboczem międzyprzewodowem 60 kV; odstęp między przewodami $a = 250$ cm, przekrój nominalny $s = 50\,mm^2$ Cu, a faktyczny $48{,}5\,mm^2$, promień linki $r = 0.45$ cm. W tych warunkach ulot nie następuje, gdyż:

$$U_{kr} = 21{,}1 \,.\, 0{,}72 \,.\, 0{,}8 \,.\, 0{,}45 \,.\, 1{,}005 \,.\, \left(1 + \frac{0{,}301}{\sqrt{0{,}45 \,.\, 1{,}005}}\right) \,.\, ln\,\frac{250}{0{,}45} =$$

$$= 5{,}455 \,.\, 1{,}448 \,.\, 6{,}32 = 50{,}3 \text{ kV}$$

$$60 \text{ kV} < 50{,}3 \times 1{,}73 = 87 \text{ kV}$$

gdzie $b = 74$ cm i $t = 15^0$C $\delta = 1{,}005$.

Jeżeli więc przeszlibyśmy na tej linji na napięcie znamionowe 100 kV, to wówczas nastąpiłby ulot. Wobec tego, że napięcie robocze wynosi przy wytwórni 110kV, ulot w tem miejscu będzie największy i będzie się zmniejszał wzdłuż linji wmiarę spadku napięcia. Straty, jakie wówczas ponieślibyśmy wynosiłyby:

$$N_k = \frac{244}{1{,}005} \,.\, (50 + 25) \,.\, \sqrt{\frac{0{,}45}{255}} \,.\, \left(\frac{110}{\sqrt{3}} - 50{,}3\right) \,.\, 10^{-5} = 0{,}1012 \text{ kW/1 km i 1 fazę.}$$

Czyli w trzech fazach ponosilibyśmy stałą stratę na koronę w wysokości

$$0{,}1012 \times 3 = \text{okr. } 0{,}3036 \text{ kW/1 km toru,}$$

co odpowiada rocznemu wydatkowi pracy elektrycznej w ilości:

$$8\,760 \text{ h} \times 0{,}3036 = 2\,655 \text{ kWh/1 km}$$

Na zakończenie rozważań o ulocie musimy zaznaczyć, że straty na koronę wcale nie zależą od kształtu fali napięciowej, lecz tylko od jej amplitudy. Skutkiem zjawiska korony fale uskokowe ulegają bardzo silnemu tłumieniu, jednakże wpływ strat ulotowych na kształty fali jest trudny do ujęcia liczbowego ze względu na zależność strat korony od deszczu, zanieczyszczeń i t. p.

Mogłoby nas jeszcze zainteresować zachowanie się cienkich przewodów podczas ulotu. Otóż jeśli chodzi o przewody bardzo cienkie, np. bezpiecznikowe, to zostają one pod wpływem korony rozpylone, a przewody o grubości np. 1 mm $\emptyset$ — zostają wprawione w drgania, przyczem wahania są dość znaczne, powolne, bo o okresie wahań 1—3 sek.

Z przeprowadzonych dopieroco rozumowań wynika, że sama sieć elektryczna jest bardzo dobrym przyrządem ochronnym przed wielkiemi przepięciami, a to zarówno dzięki rozpraszaniu fali w punktach węzłowych, jak i dzięki tłumiącym oporom linji. O ile tłumienie to przy niższych przepięciach jest stosunkowo słabe, to fale, których czoło ma napięcie wyższe od napięcia krytycznego korony, są tłumione bardzo silnie. W urządzeniach, pracujących pod napięciem roboczem począwszy od 45 kV wzwyż, graniczne napięcia korony leżą znacznie niżej od napięcia przeskoku izolatorów

linjowych, dlategoteż fale przepięciowe są w nich specjalnie silnie tłumione.

W przypadku, gdy linja zaopatrzona jest w linkę ochronną, fale wędrowne, biegnąc po przewodach roboczych, indukują w tej lince prąd, skutkiem czego fale te ulegają tłumieniu. To działanie tłumiące linki ochronnej nie jest jednak zbyt wielkie.

Tak więc przepięcie zmienia swą amplitudę i swój kształt skutkiem strat na koronę, prądy wirowe, opory w ziemi jak i dzięki pojemności izolatorów tak, że po przebiegnięciu kilku kilometrów fala nie uszkodzi nawet słabiej izolowanych punktów, np. w stacjach. O wielkości tego zniżenia sądzić możemy z obliczenia, dokonanego według podanego przez Amerykan wzoru:

$$U_x = \frac{U}{k \,.\, x \,.\, U + 1},$$

gdzie $U_x$ jest przepięciem w kV w odległości (po przebiegnięciu przez falę) $x$ km od rozważanego miejsca, w którem początkowe przepięcie wynosiło $U_1$ kV. A więc zniżenie napięcia na 1 km wynosi:

$$A = -\frac{dU_x}{dx} = -\frac{k \,.\, U^2}{(k \,.\, x \,.\, U + 1)^2} = -k \,.\, U^2{}_x$$

Z tego wzoru wynika, że im wyższe jest przepięcie, tem szybciej opada. Zniżenie to jest spowodowane stratami na wyładowania tlejące.

Tłumienie jest więc proporcjonalne do kwadratu napięcia, panującego w danym punkcie linji. Spółczynnik proporcjonalności $k$ zależy od konfiguracji przewodów na słupie i linki ochronnej. Oprócz tego $k$ zależy od stanu pogody, od średnicy przewodu roboczego oraz od odległości tego przewodu od linki ochronnej. Według W. W. Lewis'a $k = 0{,}00008$ do $0{,}0006$. Dla wielkich średnic i dużych odległości od linki ochronnej $k = 0{,}00008 \div 0{,}000125$, a przy małych średnicach i niewielkich odległościach $k = 0{,}00031 \div 0{,}00044$, przy mglistej pogodzie $k = 0{,}0006$, przy pogodzie jasnej $k = 0{,}0004$.

Zauważyć przytem należy, że fale krótkie i dodatnie tłumią się szybciej, niż fale długie i ujemne. Jeżeli napięcie $U$ kV wyrazimy w $p$ procentach napięcia pierwotnego $U_1$, czyli gdy:

$$U_x = 0{,}01 \,.\, p \,.\, U,$$

to:

$$0{,}01 \,.\, p \,.\, U = \frac{U}{k \,.\, x \,.\, U + 1}$$

a stąd:

$$x = \frac{1 - 0{,}01 \,.\, p}{0{,}01 \,.\, p \,.\, k \,.\, U}$$

Jeżeli:

$$U = 2\,000 \text{ kV}, \; k = 0{,}000125,$$

to:

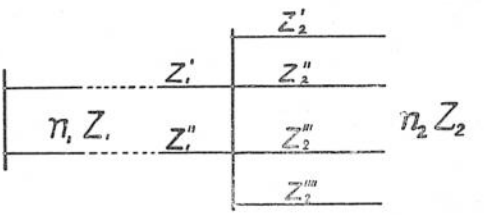
$U_x = 1000$ kV czyli $p = 50\%$ gdy $x = 4{,}0$ km
$U_x = 500$ „ „ $p = 25\%$ „ $x = 12{,}0$ „
$U_x = 200$ „ „ $p = 10\%$ „ $x = 36{,}0$ „

Powyższe obliczenie daje najlepszy obraz spadku przepięcia wzdłuż linji.

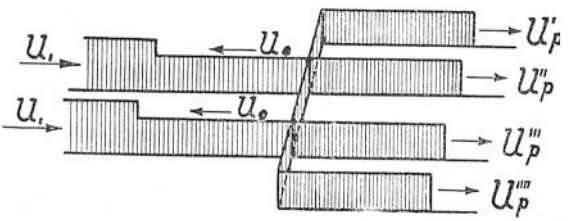
5. Rozpraszanie fal w punktach węzłowych.

Przypuśćmy, że fala o przepięciu $U_1$ (rys. 277) nadbiega $n_1$ torami (np. dwoma torami, zawieszonemi na wspólnych słupach) do punktu węzłowego sieci, t. j. do szyn zbiorczych stacji rozdzielczej, z które odchodzi $n_2$ torów. Przypuśćmy, że $n_1 < n_2$ oraz że oporności falowe są równe tak, że:

$$Z_1' = Z_1'' = Z_2' = Z_2'' = Z_2''' = Z_2''''$$




Wobec tego możemy uważać, że mamy do czynienia z jedną linją (rys. 229) o oporności falowej wypadkowej $Z_1 = \frac{Z'_1}{n_1}$, którą nadbiega fala, oraz z drugą linją o oporności falowej $Z_2 = \frac{Z'_2}{n_2}$, do której fala przedostaje się. Wobec takich założeń oporność $Z_1 > Z_2$.




Rys. 277. Przejście fal przez punkt węzłowy.

Korzystając z poprzednio podanego wzoru na napięcie fali przepuszczonej $U_p$ możemy napisać:

$$U_p = U_1 \frac{2 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} = U_1 \frac{2 \cdot \frac{Z'_2}{n_2}}{\frac{Z'_1}{n_1} + \frac{Z'_2}{n_2}} = U_1 \cdot \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$$

Jeżeli więc $n_1 = 1$, a $n_2 = 2$, to:

$$U_p = \frac{2}{3} U_1$$

Natomiast fala odbita będzie wynosiła:

$$U_0 = U_1 - \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} = U_1 \frac{\frac{Z'_2}{n_2} - \frac{Z'_1}{n_1}}{\frac{Z'_1}{n_1} + \frac{Z'_2}{n_2}} = U_1 \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2},$$

co przy $n_1 = 1$ i $n_2 = 2$ daje:

$$U_0 = -\frac{1}{3} U_1$$

Z równowagi napięć na szynach zbiorczych wypada, że:

$$U_p = U_1 + U_0 = U'_p = U_p'' = U_p''' = U_p'''' = U_1 \frac{2n_1}{n_1 + n_2} = m \cdot U_1$$

Gdy naprzykład fala nadbiega do punktu węzłowego jedną linją, t. j. gdy $n_1 = 1$, a linij odchodzących z punktu węzłowego jest 4, t. j. $n_2 = 4$, i przepięcie nadbiegające wynosiło $U_1 = 750\,000$ V, to przepięcie na szynach zbiorczych i linjach odpływowych zniża się do:

$$U_p = 750\,000 \cdot \frac{2 \cdot 1}{1 + 4} = 300\,000 \text{ V}$$

a przy $n_1 = 1$ i $n_2 = 2$

$$U_p = 750\,000 \cdot \frac{2}{3} = 500.000 \text{ V}$$

Jak praktyka amerykańska wskazuje, w stacji, z której poza jedną linją, którą nadbiega przepięcie, odchodzą cztery linje, ilość uszkodzeń jest o 70% mniejsza niż w takiej samej stacji, lecz tylko o jednej linji odchodzącej.

Stąd wniosek, że linje elektryczne odłączamy od szyn zbiorczych tylko wrazie konieczności dokonywania ich napraw i tylko na niezbędny ku temu okres czasu. Pozatem wszystkie linje, bez względu na to czy pracują czyteż nie, powinny być bezwarunkowo przyłączone do szyn zbiorczych.

To samo dotyczy transformatorów. Aby się o tem przekonać, oznaczymy przez $n_2$ ilość transformatorów, przyłączonych do jednych i tych samych szyn zbiorczych. Jeżeli do szyn tych doprowadzono tylko jedną linję, którą nadbiega przepięcie tak, że $n_1 = 1$, to przepięcie, dochodzące do zwojów każdego transformatora, będzie wynosiło:

$$U_p = U_1 \frac{2}{1 + n_2}$$

Na transformatorze nastąpi odbicie fali, skutkiem czego wysokość fali prawie że się zdwoi, t. j. wynosić będzie $2U_p$. To zdwojone czoło fali będzie się równało wysokości fali nadbiegającej $U_1$ wówczas, gdy $U_p = {}^1/_2 U_1$. Podstawiając to we wzór wyżej podany znajdziemy, że

$${}^1/_2 U_1 = U_1 \frac{2}{1 + n_2}$$

t. j. gdy ilość transformatorów przyłączonych do szyn zbiorczych jest równa $n_2 = 3$; wówczas przepięcie, spiętrzone na transformatorze, jest równe przepięciu nadbiegającemu do szyn zbiorczych, a więc o połowę mniejsze niż przy jednym tylko transformatorze, przyłączonym do szyn zbiorczych. Tak więc z punktu widzenia przepięć im więcej transformatorów jest przyłączonych, tem mniejsze jest niebezpieczeństwo ich przebicia.

Byłoby zatem błędem wyłączanie transformatorów lub poszczególnych linij z obawy przed przepięciami.

Pod względem przepięciowym stacje krańcowe pracują w najgorszych warunkach. Dla stacji krańcowej $n_2 = 0$, a wówczas przepięcie:

$$U_p = U_1 \frac{2 n_1}{n_1 + n_2} = 2 U_1$$

oraz:

$$U_1 + U_0 = U_1 + U_1 \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} = 2 U_1$$

Tak więc stacja krańcowa nietylko że sama znieść musi wielkie przepięcia, jak w naszym przykładzie

$$U_p = 2 \cdot 750\,000 = 1\,500\,000 \text{ V},$$

lecz pogarsza również warunki pracy sieci przez zdwojenie czoła fali (rys. 231). Dlategoteż wmiarę możności należy dążyć do zamykania pierścieni sieciowych.

6. Działanie ochronne kabli.

Powracając do wzoru na napięcie przepuszczone $U_p = U_1 \frac{2 Z_2}{Z_1 + Z_2}$ oraz odbite $U_0 = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$, (rys. 229) zauważymy, że kabel przyłączony przed stacją o słabej izolacji, ochroni ją od uszkodzeń, spowodowanych przepięciami, przepuszczonemi przez ten kabel dzięki temu, że oporność falowa kabla jest mała $Z_1 > Z_2$ wobec oporności falowej linji napowietrznej.

Jeżeli w wyżej wymienione wzory podstawimy: $Z_1 = 500$ omów i $Z_2 = 50$ omów, t. j. gdy przepięcie wbiega z przewodów napowietrznych w kabel, wówczas:

$$U_p = U_1 \frac{2 \cdot 50}{500 + 50} = 0{,}182 \cdot U_1$$

$$U_0 = U_1 \frac{50 - 500}{500 + 50} = -0{,}82 \cdot U_1$$

Skoro więc po przewodach biegnie fala wędrowna o napięciu wynoszącem np. $U_1 = 250\,000$ V, to do kabla przedostaje się fala przepięciowa o wysokości zaledwie:

$$U_p = 0{,}182 \cdot 250\,000 = 45\,500 \text{ V}.$$

Widzimy więc, że kabel jest bardzo dobrym przyrządem ochronnym głównie dzięki swej pojemności, przypadającej na jednostkę długości, wielkiej, wobec jego indukcyjnoci, odnoszącej się do tej samej długości. Kabel z powodzeniem zastępuje dławiki ochronne.

Toteż z ochronnej właściwości kabli korzystamy zawsze wówczas, gdy z siecią napowietrzną połączone są maszyny elektryczne w szczególności

wirujące, które, skutkiem braku miejsca w żłobkach na obfitszą izolację, są bardziej wrażliwe na uderzenia fal uskokowych niż inne urządzenia. W tych też przypadkach uskutecznia się doprowadzenie prądu do maszyn kablem o możliwie niskiej oporności falowej i o długości 10—50 m, a o ile możności nie krótszej niż 20 m.

W przypadku, gdy do szyn zbiorczych jest dołączona sieć kablowa, a pragniemy ochraniać maszyny elektryczne, dołączone do tych samych szyn zbiorczych, przed przepięciami nadbiegającemi z sieci kablowej, doprowadzenie do maszyn musi być dokonane zapomocą kabli o większej jednostkowej pojemności niż pojemność kabli sieciowych, lub też zapomocą kilku kabli równolegle z sobą połączonych.

Miejsce przejścia przewodów napowietrznych w kable ochraniamy przyrządami przeciwprzepięciowemi tylko wówczas, gdy długość kabli nie przekracza 300÷600 m, zależnie od ich oporności falowej. Jeżeli natomiast długość kabla przekracza te granice, to przejścia przewodów napowietrznych w kable nie ochrania się niczem lub conajwyżej iskiernikami ochronnemi.

Ze względu na ochronę przeciwprzepięciową należy oddzielnie budować stacje rozdzielcze i oddzielnie szyny zbiorcze wytwórni, które z rozdzielnią łączymy zawsze kablami. Pożądana do tego celu długość kabla wynosi ok. 900÷1000 m. Należy tutaj podkreślić, że kable ochronne powinny posiadać końcówki kablowe dla podwójnego napięcia roboczego.

O wielkiej skuteczności takiego zabezpieczenia świadczyć będzie najlepiej rachunek porównawczy, przeprowadzony dla fali przepuszczonej w stacji z jednym kablem oraz w stacji z $n_2$ linjami odchodzącemi, przyjmując, że przepięcie nadbiega do stacji jedną linją, czyli, że $n_1 = 1$. Poprzednio znaleźliśmy, że:

$$\text{dla kabla} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad U_p = 0{,}182 \, . \, U_1$$

$$\text{„ „ punktu węzłowego} \quad U_p = U_1 \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$$

Ażeby te dwie fale przepuszczone były sobie równe, musi być:

$$0{,}182 \, . \, U_1 = U_1 \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$$

lub:

$$0{,}182 = \frac{2}{1 + n_2} \, ,$$

a stąd:

$$n_2 = \frac{2 - 0{,}182}{0{,}182} = \text{okr. } 10$$

Widzimy więc, że jeden kabel ochrania rozdzielnię tak jak dziesięć linij odchodzących.

Gdybyśmy natomiast mieli przypadek odwrotny, t. j. gdyby doprowadzenie do maszyn z szyn zbiorczych zasilanych kablem, zostało wykonane sposobem napowietrznym, to wówczas:

$$Z_1 = 50 \text{ omów}, \quad Z_2 = 500 \text{ omów},$$

tak że:

$$U_p = U_1 \frac{2 \cdot 500}{500 + 50} = 1{,}82\, U_1$$

oraz:

$$U_0 = U_1 \frac{500 - 50}{500 + 50} = + 0{,}82\, U_1$$

W tym więc przypadku fala, nadbiegająca z kabla, wzrosłaby znacznie i to niezależnie od dalszego wzrostu, t. j. prawie zdwojenia czoła przy odbiciu od zwojów maszyny.

### 7. Dławiki gaszące.

Stosowanie dławików gaszących do unieszkodliwiania uziemień, a więc, co za tem idzie, także powstałych stąd przepięć omówiliśmy w rozdziale o uziemieniach.

### 8. Uziemianie punktu zerowego.

Uziemianie punktu gwiazdowego transformatorów lub generatorów stosujemy w sieciach nieskompensowanych dławikami gaszącemi. Oporność, włączoną między punkt gwiazdowy a ziemię, dobieramy w ten sposób, aby uzyskać przesunięcie prądu uziemienia o 45° w stosunku do stosowanego napięcia, dzięki czemu utrudniamy zapalenie się łuku. Pojemność cieplna tej oporności powinna umożliwić pracę przy uziemieniu w ciągu conajmniej pół godziny.

### 9. Dławiki uziemiające.

Dławiki z rdzeniem żelaznym połączone w gwiazdę i z punktem gwiazdowym bezpośrednio uziemionym stosowane są dla odprowadzania ładunków statycznych w sieciach nieskompensowanych dławikami gaszącemi i o nieuziemionym (izolowanym) punkcie zerowym.

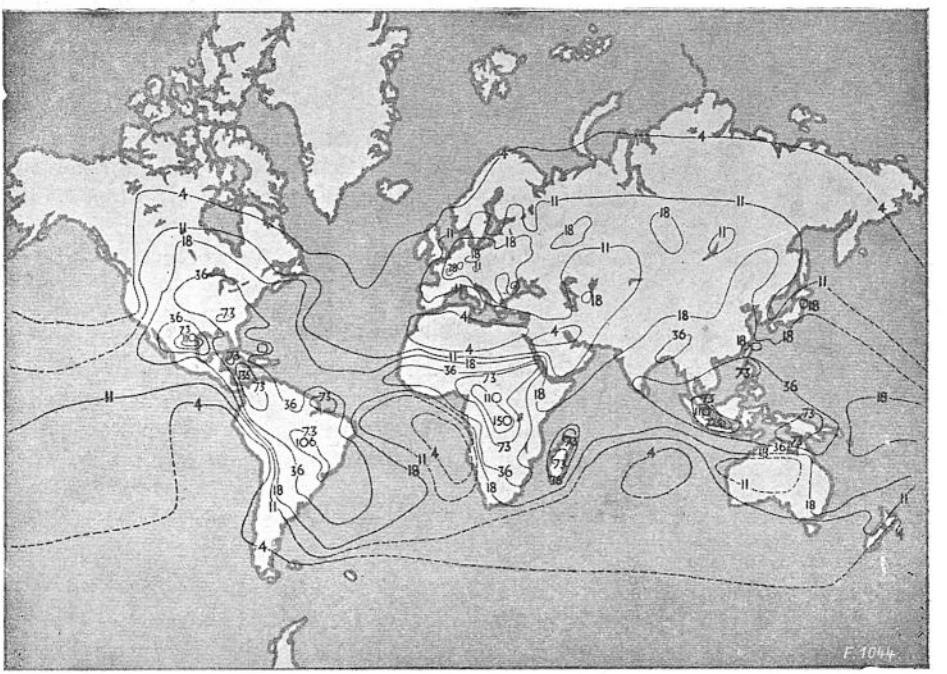
### 10. Obszar niebezpieczny.
### (n. Gefahrenzone).

Jak z dotychczasowych rozważań wynika, ochrona urządzeń od przepięć elektrycznych jest ściśle związana z właściwym doborem terenu, należytą konstrukcją, odpowiednią izolacją, celowym doborem przyrządów ochronnych, najkorzystniejszem ich rozmieszczeniem oraz z fachową obsługą urządzeń elektrycznych. Wiemy, że mimo największych wysiłków z naszej strony nie możemy jednak uniknąć największego z niebezpieczeństw, jakiem dla ruchu elektrycznego są bezpośrednie uderzenia pioruna w urządzenia. Jak wynika z rys. 278, musimy liczyć się średnio rocznie z 18-ma dniami burzliwemi. Zjawiska te przedstawiają tak olbrzymie zasoby mocy, że — jak już wspominaliśmy — o zupełnem ich opanowaniu przynajmniej narazie mowy być nie może i to bez względu na to, czy urządzenie zostało objęte głównym pniem pioruna czyteż najmniejszą z jego gałęzi. Mimo wchodzącej tu w grę olbrzymiej energji działanie całego zjawiska nie ogranicza się do krótkiej przestrzeni, w której następują większe lub mniejsze zniszczenia: po przewodach rozbiegają się fale uskokowe i o ile odległość źródła tych fal od miejsca ustawienia np. transformatora jest zbyt mała,

aby mogła unieszkodliwić falę dzięki ulotowi, upływowi i oporom sieci, to także transformator może ulec uszkodzeniu.

Obszar, w którym uderzenie pioruna powoduje uszkodzenia w siłowniach, punktach węzłowych, transformatorach i t. p., nazywa się obszarem niebezpiecznym. Poniżej postaramy się wyznaczyć długość $x_0$ odcinka sieci, przebiegającego przez obszar niebezpieczny. Końce odcinków $x_0$, wyznaczonych oddzielnie dla każdej linji danego punktu węzłowego, połączone z sobą obejmują nazwany tak przez nas obszar niebezpieczny danego punktu węzłowego lub danej stacji.

Odcinek ten będziemy rozpatrywali przedewszystkiem jako składający się z dwóch części: $x_0 = y + x_n$, przyczem przez odcinek $y$ oznaczymy

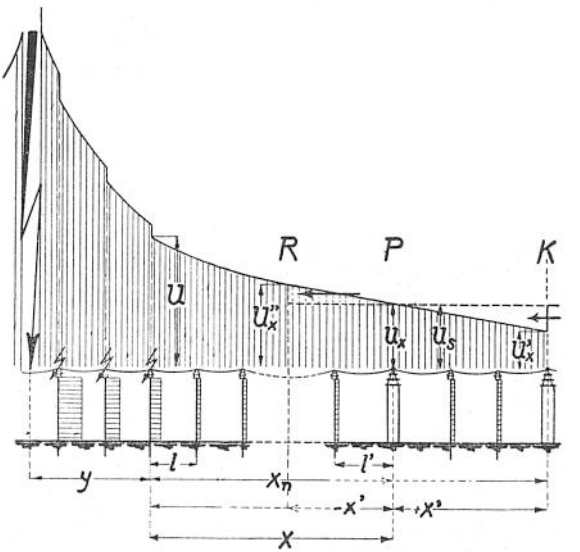


Rys. 278. Mapa średniej rocznej ilości dni burzliwych w poszczególnych krajach świata („Concordia", Stuttgart).

odległość uderzenia pioruna od t. zw. źródła przepięcia, a odcinek $x_n$ będzie oznaczał odległość tego źródła od stacji rozpatrywanego obszaru niebezpiecznego (rys. 279).

Obecnie postaramy się bliżej określić użyty tu przez nas termin „źródło przepięcia". Istotnem źródłem przepięcia jest wyładowanie atmosferyczne; chodzi nam jednak raczej o miejsce niż o pochodzenie wyładowania. Jak wiemy, piorun, uderzając w linję, powoduje wyładowanie na linji. Przebicia izolatorów czyteż przeskoki odbywają się tak daleko od faktycznego miejsca uderzenia pioruna, aż przepięcie nie spadnie nieco poniżej napięcia przeskoku izolatora spotkanego przez falę. Zakładamy przytem,

że prąd roboczy w tem zjawisku nie bierze żadnego udziału. Ostatni izolator, wzdłuż którego nastąpił przeskok, a więc izolator, odgrywający rolę samoczynnego zaworu, gdyż odgranicza amplitudę dalej biegnącej fali wędrownej do wysokości amplitudy swego napięcia przeskoku (na sucho), będziemy uważali za tak zwane przez nas „źródło przepięcia". Jak wiemy, wyładowanie na izolatorach linji, zbudowanej na słupach żelaznych, następuje na najbliższych uderzeniu pioruna 2 — 3 słupach z każdej strony. Jeżeli więc średnia rozpiętość danego odcinka linji wynosi $l$ km, to dla linji, zbudowanej na słupach żelaznych, możemy ocenić szerokość pasa obszaru niebezpiecznego na $y = (2{,}5 \,.\, l)$ km. Natomiast co do szerokości $x_w$ wewnętrznego pasa obszaru niebezpiecznego, to w rozdziale, dotyczącym ulotu i tłumienia, znajdziemy wzór, określający wysokość zniżonego przepięcia w odległości $x$ od źródła przepięcia.




Rys. 279. Rozkład napięć w obszarze niebezpiecznym. K — stacja krańcowa, P — stacja przelotowa, R — stacja rozdzielcza.

$$U_x = \frac{U}{k \,.\, x \,.\, U + 1}$$

$U_x$ jest więc napięciem, dochodzącem do szyn zbiorczych, na których nie ulega odbiciu. W rozdziale, dotyczącym rozpraszania fal w punktach węzłowych, z których rozchodzą się linje o jednakowych opornościach falowych stwierdziliśmy, że przepięcie, dochodzące do szyn zbiorczych $U_1$ ulega odbiciu, poczem wynosi:

$$U_p = U_1 \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$$

W danym przypadku

$$U_1 = U_x \text{ tak, że } U_p = U_x \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$$

Odbicie nie nastąpi, gdy $2n_1 = n_1 + n_2$, czyli gdy $n_1 = n_2$, a więc w stacji przelotowej. $U_x$ albotеż $U_p$ będzie groźne dla urządzeń wówczas, gdy osiągnie wysokość amplitudy napięcia przeskoku fali uskokowej $U_s$ najsłabszej części zagrożonego urządzenia. W tym przypadku otrzymamy równanie:

$$U_s = \frac{U}{k \,.\, x \,.\, U + 1}$$

Stąd znajdziemy, że gdy przepięcie o wysokości $U$ kV zjawi się w odległości równej lub mniejszej od $x$ km, wówczas urządzeniom będzie groziło nie-

bezpieczeństwo. Tak więc punkt linji w odległości $x$ km od stacji będzie się znajdował na granicy wewnętrznego pasa obszaru niebezpiecznego. Z powyższego równania określimy wielkość tej odległości dla stacji przelotowej:

$$x = \frac{1}{k \cdot U}\left(\frac{U}{U_s} - 1\right)$$

Litery $x$ nie zaopatrujemy tutaj w znaczek $n$, gdyż dopieroco otrzymany wzór daje rozwiązanie szczególne, a nie ogólne, jak się o tem zresztą poniżej przekonamy.

W początkowym punkcie odcinka sieci przepięcie $U$ jest ograniczone izolacją linji, nie może być więc większe od uskokowego napięcia przeskoku na sucho izolatorów linjowych. W ten sposób stosunek $\frac{U}{U_s}$ oznacza stosunek izolacji linji na sucho do izolacji stacji.

Jeżeli natomiast fala po przebiegnięciu $x$ km ulegnie odbiciu, to wówczas napięcie odbite będzie groźne, gdy stanie się równe napięciu przeskoku, t. j. gdy $U_p = U_s$, a więc gdy:

$$U_s = U_x \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$$

Aby więc po odbiciu $U_x$ nie było groźne, musimy stację z odległości $x$ km od źródła przepięć jakgdyby przenieść o dalsze $x'$ km, t. j. o taką odległość, aby $U_x$ mogło ulec odpowiedniej zmianie. Jeżeli więc przyjmiemy, że teraz początkowem napięciem jest $U_s$ (zamiast poprzedniego $U$), a napięc em końcowem $U'_x$, które po odbiciu ma być równe $U_s$ czyli że:

$$U_p = U_s = U'_x \frac{2n_1}{n_1 + n_2},$$

a stąd:

$$U'_x = U_s \frac{n_1 + n_2}{2n_1}$$

Podstawiając te wartości na napięcie początkowe i napięcie końcowe we wzór na $U_x$ znajdziemy, że:

$$U'_x = U_s \frac{n_1 + n_2}{2n_1} = \frac{U_s}{k \cdot x' \cdot U_s + 1}$$

oraz:

$$x' = \frac{1}{k \cdot U_s}\left[\frac{U_s}{U_s} \cdot \frac{2n_1}{n_1 + n_2} - 1\right] = \frac{1}{k \cdot U_s}\left[\frac{2n_1}{n_1 + n_2} - 1\right]$$

W ten sposób dla punktu węzłowego z linjami o jednakowych opornościach falowych otrzymamy ogólny wzór na długość odcinka linji, znajdującego się w wewnętrznym pasie obszaru niebezpiecznego:

$$x_n = x + x' = \frac{1}{k \cdot U}\left(\frac{U}{U_s} - 1\right) + \frac{1}{k \cdot U_s}\left(\frac{2n_1}{n_1 + n_2} - 1\right)$$

Z wzoru tego wynika, że długość odcinka linji, znajdującego się w wewnętrznym pasie obszaru niebezpiecznego, który nazwiemy promieniem obszaru niebezpiecznego $x_n$, chociaż obszar ten bynajmniej nie jest zawarty w kole, opisanem tym promieniem, zależy:

a) ze względu na $k$ — przedewszystkiem od ulotu, upływu i oporności linji oraz od pogody, przekroju przewodów roboczych, konfiguracji przewodów na słupie, linki ochronnej uziemionej, a więc pośrednio od wysokości napięcia roboczego; przy pogodzie promień ten jest większy niż przy niepogodzie, dlategoteż deszcz jest dla ochrony przeciwprzepięciowej zjawiskiem korzystnem; przy niższych napięciach roboczych promień $x_n$ jest większy niż przy napięciach wyższych;

b) ze względu na $U$ oraz na $U_s$ — promień obszaru niebezpiecznego jest tem większy, im niższe napięcie robocze zastosowano w linji; toteż ruch na sieci z punktu widzenia przepięć jest tem pewniejszy, im wyższe napięcie robocze zostało zastosowane;

c) ze względu na stosunek $\frac{U}{U_s}$ — im mocniej izolowana jest linja w stosunku do izolacji stacji, tem większy jest obszar niebezpieczny;

d) ze względu na $n_1$ i $n_2$, t. j. ze względu na ilość torów, któremi przepięcie nadbiega i ilość torów, któremi przepięcie ze stacji odbiega. Z równania na $x_n$ widzimy, że $x_n = \max$, gdy będzie $x' = \max$, a więc gdy $n_2 = 0$, czyli stacje krańcowe będą miały największy promień obszaru niebezpiecznego, $x_n$ będzie stawało się corazto mniejsze, gdy promień $x'$ będzie ujemny i corazto większy. Będzie to miało miejsce wówczas, gdy

$$\left(\frac{2n_1}{n_1 + n_2} - 1\right) < 0, \text{ a więc gdy } n_2 > n_1.$$

Dotyczy to zatem stacyj rozgałęźnych. Dla porządku powtórzymy, że $x' = 0$, gdy $n_1 = n_2$, t. j. dla stacji przelotowej.

Wreszcie stacja będzie pracowała w warunkach najbezpieczniejszych wówczas, gdy promień obszaru niebezpiecznego będzie najmniejszy, t. j. $x_n = \min$, a więc krańcowo, gdy: $x_n = 0$, czyli gdy dla $x = -x'$. Wówczas musi być:

$$\frac{1}{k \,.\, U}\left(\frac{U}{U_s} - 1\right) = -\frac{1}{k \,.\, U_s}\left(\frac{2n_1}{n_1 + n_2} - 1\right)$$

Skracając przez $\frac{1}{k}$ oraz mnożąc obie strony równania przez $U_s$, otrzymamy:

$$\frac{U_s}{U}\left(\frac{U}{U_s} - 1\right) = 1 - \frac{2n_1}{n_1 + n_2},$$

a stąd:

$$1 - \frac{U_s}{U} = 1 - \frac{2n_1}{n_1 + n_2},$$

Ostatecznie więc stąd stanie się $x_n = 0$, gdy:

$$\frac{U_s}{U} = \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$$

Jeżeli ponadto izolowaliśmy linję o 50% mocniej niż stację, jak to zwykle bywa przy budowie linji, to:

$$\frac{U_s}{1{,}5\,.\,U_s} = \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$$

a stąd:

$$n_1 + n_2 = 3\,n_1$$

Gdy do stacji dochodzą linje z różnych kierunków jednotorowo i jeżeli linje te w dalszym swym ciągu nie przechodzą zbyt blisko siebie, to przepięcie nigdy nie nadbiegnie jednocześnie więcej jak jednym torem. W tym przypadku $n_1 = 1$ tak, że $n_2 = 2$. Widzimy więc, że przy stosunku $U : U_s = 1{,}5$ stacji rozgałęźnej, skupiającej w sobie trzy tory, nie grozi nic nawet wówczas, gdy źródło przepięcia znajduje się na najbliższym jej słupie, a więc gdy piorun uderzy w odległości $(y + l')$ km od stacji, gdzie $l'$ jest długością w km przęsła przystacyjnego, t. j. zawartego między stacją a najbliższym jej słupem rozpatrywanej linji. Jeżeli przęsło to jest tej samej długości co i inne przęsła na tej linji, wówczas $y + l' = 2{,}5\,.\,l + l' = 3{,}5\,.\,l$ km. W ten sposób nawet na izolatorach odciągowych stacji nie nastąpi wyładowanie.

Sprawa ta przedstawia się gorzej w linji, zbudowanej na słupach drewnianych. Wówczas $U$ izolatorów linjowych jest małe w stosunku do $U^{st}$ które, jak wiemy, dla słupów drewnianych wynosi od $300 \div 700$ kV/1 m. Jeżeli przyjmiemy, że wyższa wielkość napięcia przeskoku dotyczy słupa najbliższego miejsca uderzenia pioruna, a niższa wielkość odnosi się do ostatniego słupa z serji słupów rozmietlonych, to przepięcie na przewodach na tym słupie nie będzie wynosiło $U$ tak jak na słupach żelaznych, lecz:

$$U' = U + U_{st} = (U + 300\,.\,h) \text{ kV},$$

gdzie $h$ jest wysokością słupa od ramiennika rozpatrywanego przewodu do ziemi, mierzoną w metrach. Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że ilość rozmietlonych słupów z każdej strony pioruna wynosi pięć, to szerokość zewnętrznego pasa obszaru niebezpiecznego będzie ok. $y = 5{,}5\ l_1$ km, gdzie $l_1$ jest przęsłem w kilometrach linji zbudowanej na słupach drewnianych. W ten sposób ogromnie wzrośnie stosunek izolacji linji do izolacji stacji, a mianowicie z $\frac{U}{U_s}$ do:

$$\frac{U'}{U_s} = \frac{U + 300\,.\,h}{U_s},$$

co oczywiście pociągnie za sobą ogromny wzrost długości odcinka $x$, gdy tymczasem $x'$ pozostanie w dotychczasowej długości tak, że ilość linij odchodzących musi być w danym przypadku znacznie większa t. j. $n_2 > 2$, aby $x$ zostało skompensowane przez $x'$, o czem się zaraz przekonamy. Obecnie promień obszaru niebezpiecznego wynosi:

$$x_n = x + x' = \frac{1}{k\,(U + 300\,h)}\left[\frac{U + 300\,.\,h}{U_s} - 1\right] + \frac{1}{k\,U_s}\left[\frac{2\,n_1}{n_1 + n_2} - 1\right]$$

Ażeby $x + x' = 0$, musi być:

$$\frac{1}{k\,(U + 300\,h)}\left[\frac{U + 300\,.\,h}{U_s} - 1\right] = -\frac{1}{k\,.\,U_s}\left[\frac{2\,n_1}{n_1 + n_2} - 1\right].$$

Jeżeli i tutaj ustosunkowaliśmy izolatory linjowe do izolatorów stacyjnych jak 1:1,5, to znaczy, że $U = 1{,}5 \cdot U_s$, otrzymamy:

$$\frac{U_s}{1{,}5 \cdot U_s + 300 \cdot h} = \frac{2 n_1}{n_1 + n_2} - 1$$

Jeżeli rozpatrujemy stację na napięcie robocze naprzykład 100 kV, izolowaną na amplitudę udarowego napięcia przeskoku $U_s = 530$ kV, i jeżeli linję zbudowaliśmy na słupach o wysokości $h = 13{,}25$ m, a $n_1 = 1$, to:

$$n_2 = n_1 \left[ \frac{2\,(1{,}5 \cdot U_s + 300 \cdot h)}{U_s} - 1 \right] = n_1 \frac{2\,(U_s + 300 \cdot h)}{U_s} =$$

$$= \frac{2\,(530 + 300 \cdot 13{,}25)}{530} = \frac{9\,010}{530} = 17$$

Oczywiście, że stacja rozdzielcza o zbiegających się w niej aż $n_1 + n_2 = 18$ torach na 100 kV jest wyjątkiem. A więc w przypadku budowy sieci na 100 kV na drewnianych słupach będziemy mieli do czynienia z $x + x' \neq 0$.

Sprawa ta poprawi się znacznie, gdy damy drewniane ramienniki, a górą wzdłuż słupów pociągniemy linkę ochronną, uziemioną na każdym słupie. Linka ta, idąc wzdłuż słupa, upodabnia go w naszym przypadku do słupa żelaznego, jednak z ramiennikami drewnianemi o długości ramienia od słupa do umocowania wisiora np. 2 m. Wówczas:

$$n_2 = \frac{2 \cdot (530 + 300 \cdot 2)}{530} = 4$$

a więc przypadek często spotykany.

Częściej jednakże postępujemy w ten sposób, że na słupach drewnianych zakładamy ramienniki metalowe nieuziemione, a posiłkując się linką ochronną, założoną na nich, umocowywujemy ją do słupów tak, aby metalowe konstrukcje, podtrzymujące tę linkę, nie zbliżały się do metalowych części ramienników bardziej niż na najmniejszą odległość poziomą przewodu roboczego od słupa. W każdym razie odległość ta nie może być mniejszą od odległości $a$, t. j. od nastawienia uzbrojenia ochronnego, ani też równą tej odległości.

Uziemienia linki ochronnej na słupach drewnianych dokonywamy w ten sposób, że z każdej strony słupa łączymy linkę ochronną z osobnym przewodem uziemiającym w równych odległościach od niego. Te dwie linki uziemiające doprowadzamy do dwudzielnego pierścienia, obciskającego słup w odległości $\geqslant a$ poniżej konstrukcyj, podpierających najniższy ramiennik. Na pierścieniu tym obie linki łączy się z sobą i sprowadza po słupie do ziemi. Oddalenie miejsca połączenia linek ochronnych z przewodami uziemiającemi dobieramy tak, aby linki te nigdzie nie zbliżały się do konstrukcyj metalowych ramienników mniej niż o $a$. W ten sposób przewody uziemiające tworzą z linką ochronną trójkąt równoramienny, którego podstawa leży na lince, a wierzchołek, skierowany ku ziemi, leży na osi słupa. Oczywiście, że przewody uziemiające zakładamy na sztywno tak, aby wiatr

nie mógł ich zbliżać do przewodów roboczych. W związku z tem częstokroć, dążąc do zmniejszenia podstawy wyżej wymienionego trójkąta, musimy pierścień zaopatrzyć w wysięgniki, aby uzyskać należytą odległość przewodów uziemiających od poprzeczników, a przytem nie oddalać zbytnio miejsc połączeń przewodów uziemiających z linką ochronną od słupa. Wówczas przewody uziemiające i linka ochronna tworzą trapez równoramienny, którego dłuższą podstawę, zwróconą do góry, stanowi linka ochronna, a krótszą — wysięgniki pierścienia.

W Ameryce naprzykład w linjach 100 kV, zbudowanych na słupach drewnianych, przewód uziemiający przyłącza się do linki ochronnej w odległości około 3 m od słupa.

Jeżeli natomiast w linji napowietrznej, zbudowanej na słupach drewnianych, uziemimy ramienniki żelazne, linja ta pod względem przepięć będzie się zachowywała taksamo, jak linja zbudowana na słupach żelaznych.

Jednakże z dotychczasowych rozważań wynika, że przez uziemienie poprzeczników zmniejszamy pewność pracy elektrycznej oraz zwiększamy niebezpieczeństwo publiczne. Dlategoteż metalowych poprzeczek nie powinniśmy uziemiać przedewszystkiem na tych słupach drewnianych, które stoją w osiedlach lub wpobliżu dróg o wielkim ruchu, na słupach przęseł skrzyżowania z torami kolejowemi i wogóle wszędzie tam, gdzie stosujemy obostrzające przepisy techniczne na budowę linij elektrycznych prądu silnego. Pod tym względem wnioski nasze są zupełnie zgodne z przepisami VDE 0210/1934 V. S. F. (Vorschriften für den Bau von Starkstrom-Freileitungen. § 31 b), a niezupełnie zgodne z postanowieniami ustępu II p. 28 § 25 przepisów budowy i ruchu urządzeń elektrycznych prądu silnego PNE/10 — 1932 oraz niezupełnie zgodne z dopiskami do § 47 (słupy drewniane) do przepisów technicznych na napowietrzne linje elektryczne prądu silnego (rozp. Min. Rob. Publ. z 26.IV.1932 r.). Nadmieniamy przytem, że przez nieuziemianie na stałe poprzeczników bynajmniej nie zwiększamy niebezpieczeństwa dla życia obsługi linji, gdyż w tych rzadkich przypadkach, gdy obsługa ta ma wykonać jakieś prace na poprzeczkach linji, będącej pod napięciem, można poprzeczki potraktować tak jak samą linję, a więc przed przystąpieniem do pracy i na czas tej pracy poprzeczki uziemić i ewentualnie zewrzeć z sobą.

Jeżeli oznaczymy stosunek izolacji linji do izolacji stacji przez $m = \frac{U}{U_s}$ i podstawimy w wyżej podane równanie, otrzymamy wzór szczególnie dogodny do obliczenia obszaru niebezpiecznego linij, budowanych na słupach żelaznych lub na słupach drewnianych z żelaznemi ramionami uziemionemi:

$$x_n = \frac{1}{k \cdot U_s} \cdot \left[ \frac{2n_1}{n_1 + n_2} - \frac{1}{m} \right]$$

Dla zobrazowania powyższych rozważań obliczymy odległości niebezpieczne dla linij, zbudowanych na słupach żelaznych, dla napięć roboczych 30, 60, 100 i 150 kV, przyczem założymy, że mamy do czynienia tylko z linjami jednotorowemi tak, że $n_1 = 1$. Napięcie przeskoku dla wnętrzowych izolatorów stacyjnych obliczymy z wzoru:

$$U_s = 1{,}1\ (2{,}2\ .\ U_n + 20)\ .\ \sqrt{2}\ .\ \beta = 2{,}21\ (2{,}2\ .\ U_n + 20),$$

gdzie przyjęto spółczynnik impulsu $\beta = 1{,}42$.

| $U_n$ | 30 | 60 | 100 | 150 | kV |
|---|---|---|---|---|---|
| $U_s$ okr. | 190 | 340 | 530 | 775 | $kV_{max}$ |
| niech $k$ = | 0,000125 | 0,000125 | 0,00018 | 0,00008 | |

wówczas dla $m = 1{,}5$

| Rodzaj stacji | | $n_2$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | |
| | | krańcowa | przelotowa | rozgałęźne | | |
| Dla 30 kV | $x_n$ = | 56,20 | 14,18 | 0 | — | km |
| „ 60 „ | $x_n$ = | 31,30 | 7,85 | 0 | — | „ |
| „ 100 „ | $x_n$ = | 25,25 | 6,29 | 0 | — | „ |
| „ 150 „ | $x_n$ = | 21,50 | 5,38 | 0 | — | „ |

A dla $m = 2$

| Rodzaj stacji | | $n_2$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| | | krańcowa | przelotowa | rozgałęźne | | | |
| Dla 30 kV | $x_n$ = | 62,20 | 21,10 | 7,04 | 0 | — | km |
| „ 60 „ | $x_n$ = | 35,30 | 11,75 | 3,925 | 0 | — | „ |
| „ 100 „ | $x_n$ = | 28,30 | 9,45 | 3,15 | 0 | — | „ |
| „ 150 „ | $x_n$ = | 24,20 | 8,08 | 2,70 | 0 | — | „ |

Chcąc znaleźć dla poszczególnych przypadków dla stacji niebezpieczną odległość od niej miejsca uderzenia pioruna, należy dodać do powyższych wielkości $y = 2{,}5\ .\ l$ tak, że $x_0 = y + x_n = 2{,}5\ .\ l + x_n$, a dla przypadku, gdy $x_n = 0$, $y = 3{,}5\ .\ l$

Dla celów porównawczych poddamy podobnemu obliczeniu linję zbudowaną dla 100 kV na słupach drewnianych z drewnianemi ramiennikami, z linką ochronną. Przypuśćmy, że długość ramiennika od izolatora do linki uziemiającej wynosi: $h = 3{,}25$ m, $U_s = 530$ kV, $k = 0{,}00008$, $n_1 = 1$. Będziemy posiłkowali się wzorem:

$$x_n = \frac{1}{k\,(U + 300\ .\ h)}\left[\frac{U + 300\ .\ h}{U_s} - 1\right] + \frac{1}{k\ .\ U_s}\left[\frac{2n_1}{n_1 + n_2} - 1\right];$$

$$x_n = \frac{1}{k\,(m\,.\,U_s + 300\,.\,h)}\left[\frac{m\,.\,U_s + 300\,.\,h}{U_s} - 1\right] + \frac{1}{k\,.\,U_s}\left[\frac{2n_1}{n_1 + n_2} - 1\right];$$

dla $m = 1{,}5$:

$$x_n = 16{,}55 + 23{,}6\left(\frac{2}{1 + n_2} - 1\right),$$

a dla $m = 2$:

$$x_n = 17{,}45 + 23{,}6\left(\frac{2}{1 + n_2} - 1\right)$$

| 100 kV | $n_2$ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| Rodzaj stacji | krańcowa | przelot. | r o z g a ł ę ź n e | | | | | | |
| dla $m = 1{,}5$ $x_n =$ | 40,15 | 16,55 | 8,69 | 4,75 | 2,40 | 0,80 | 0 | — | km |
| „ $m = 2$ $x_n =$ | 41,05 | 17,45 | 9,59 | 6,45 | 3,30 | 1,70 | 0,60 | 0 | „ |

W danym przypadku $y = 5{,}5\,.\,l_1$ tak, że:

$$x_0 = y + x_n = 5{,}5\,.\,l_1 + x_n,$$

a dla przypadku, gdy $x_n = 0$ $y = 6{,}5\,.\,l_1$

Widzimy więc, jak bardzo zwiększamy niebezpieczeństwo dla stacji, gdy doprowadzimy do niej linję na słupach drewnianych z nieuziemionemi ramionami.

Z powyższych rozważań wyciągniemy następujące wnioski:

1) Ponieważ nawet w najbezpieczniejszych wielkich stacjach rozgałęźnych istnieje zawsze choćby tylko zewnętrzny pas obszaru niebezpiecznego, przeto wszystkie urządzenia elektryczne należy ochraniać przed bezpośredniemi uderzeniami pioruna tak, aby uderzenia te nie nastąpiły zbyt blisko stacji. Teoretycznie więc ochronę tę należałoby rozciągnąć na całą przestrzeń, określoną równaniem $x_0 = y + x_n$, a więc w bardzo wielu przypadkach na przestrzeń dziesiątków kilometrów. Niestety ochrona taka byłaby zbyt kosztowna i dlatego ogranicza się ją do t. zw. przestrzeni zabezpieczonej $(y + l')$ km. Przestrzeń ta byłaby więc większa dla linji o słupach drewnianych niż dla linji o słupach żelaznych. W praktyce nie robi się tej różnicy, lecz długość tę uzależnia się od wysokości napięcia w stacji, do jakiej pragnęłoby się zniżyć nadbiegające przepięcie. Amerykanie przyjęli tę długość jako równą: $(y + l') = 0.800$ km. Zdaniem naszem dobór odcinka a priori o tej długości nie prowadzi do celu: zgadzamy się z opinją naszych sąsiadów Niemców, według których ta właśnie długość jest stanowczo za mała. Zdaniem naszem długość ta nie powinna być mniejsza od $2 \div 3$ km.

Każdą linję wysokiego napięcia, odchodzącą ze stacji, zaopatruje się na omawianej długości w linki ochronne w ilości o 2 do 3 większej niż na reszcie linji i bez względu na to, czy dalszy ciąg linji posiada linki czyteż nie.

2) Na zabezpieczonej długości linji nie daje się ramienników drewnianych lecz tylko żelazne, a co do izolatorów linjowych, to ich napięcie przeskoku podczas deszczu ma być równe napięciu przeskoku izolatorów stacyjnych napowietrznych na mokro oraz na sucho dla stacyj wnętrzowych.

3) Na zabezpieczonej długości linji, zbudowanej na słupach drewnianych, uziemiamy wszystkie ramienniki, z uwzględnieniem jednakże zastrzeżeń podanych już przez nas w tej mierze.

4) Przynajmniej na zabezpieczonej części każdej linji należy zaopatrzyć izolatory w uzbrojenie ochronne, złożone naprzykład z pierścienia na przewodzie i rożków na ramienniku. W ten sposób nastąpi wyrównanie izolacji między linją i stacją tak, że będzie $m = 1$, a wówczas wewnętrzny pas obszaru niebezpiecznego ulegnie znacznemu zmniejszeniu.

Dzięki powyższemu będziemy mieli pewność, że izolacja linji wpobliżu stacji nie będzie większa niż izolacja w samej stacji; jestto konieczne z tego względu, że izolacja linji określa wysokość przepięcia, dochodzącego do stacji.

Gdybyśmy jednak z jakiejkolwiekbądź przyczyny woleli na odcinku zabezpieczonym uzbrojenia ochronnego nie zakładać, to należałoby zastosować wisiory nieco krótsze, t. j. o udarowem napięciu przeskoku nieco niższem niż na reszcie linji.

5) Na fale przepięciowe, jak już wielokrotnie podkreślaliśmy, oddziaływa tłumiąco oporność rzeczywista przewodów i (odbicie lustrzane fal) ziemi. Łączna oporność takiej pary: przewód-ziemia waha się zwykle w granicach $r = (5 \div 18)$ omów/1 km linji. Aby więc nie zmniejszać tłumienia fal wędrownych, nie będziemy prowadzili podziemnych drutów, tasiem i t. p. przewodów uziemniających na obszarze niebezpiecznym wzdłuż linij elektrycznych, t. j. w ziemi równolegle do nich, lecz poprowadzimy je prostopadle.

## 11. Ochronniki łagodzące czoło fali.

a. Wyłączniki ochronne.

Dla zniżenia przepięć włączeniowych lub wyłączeniowych używane są czasem t. zw. wyłączniki ochronne, polegające na tem, że w pierwszym okresie wymienionych czynności istnieje jeszcze połączenie obu stron rozłączonych zapomocą oporności; w drugim okresie natomiast połączenie to odbywa się już bez bezpośredniego udziału tej oporności. W niżej podanem rozważaniu postaramy się wyjaśnić działanie wyłączników ochronnych.

Przypuśćmy, że przewód o oporności falowej $Z_1$ (rys. 280 „a") znajduje się pod napięciem $U_1$; jest on więc naładowany. Dzięki temu po włączeniu wyłącznika powstają dwie fale $U_0$ i $U_p$, biegnące w przeciwnym kierunku po obu stronach wyłącznika. Jeżeli zauważymy, że prąd, płynący w chwili włączenia, jest z każdej strony wyłącznika jednakowy i że $U_0 + U_p +$ spadek napięcia $U$ w oporności $R$, to bez trudu otrzymamy wzory zarówno na wielkość fali odbitej jak i na wielkość fali przepuszczonej:

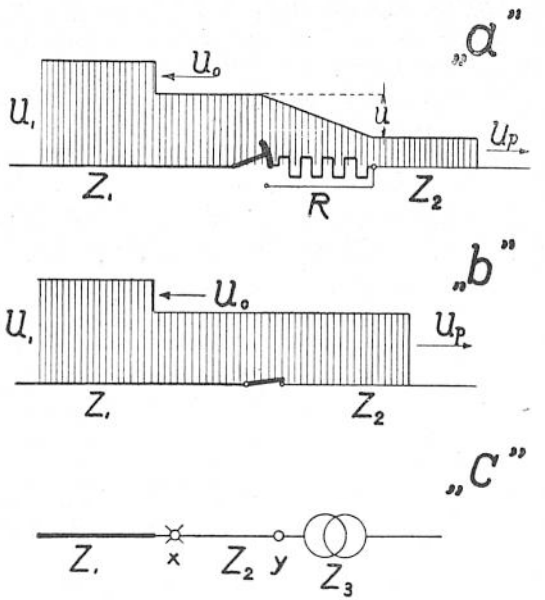
$$U_0 = U_1 \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2 + R} \text{ oraz } U_p = U_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2 + R}$$

Zauważymy, że fale te są o połowę niższe niż w przypadku, gdy fala wę-

drowna uderza w $R$ i gdy potem przechodzi w przewód o oporności falowej $Z_2$. Dzieląc obydwa równania przez siebie zauważymy, że:

$$\frac{U_0}{U_p} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

A więc wzajemny stosunek fali odbitej do fali przepuszczonej zależy jedynie od wielkości łączonych z sobą oporności falowych $Z_1$ i $Z_2$, nie zależy natomiast od tego, czy łączenie to odbywa się zapośrednictwem oporności $R$, t. j. wyłącznikiem ochronnym, czyteż bez tej oporności t. j. wyłącznikiem zwykłym.




Rys. 280. Przepięcia łączeniowe i wyłączeniowe: „a"—przepięcie, gdy łączymy wyłącznikiem ochronnym, „b"—przepięcie, gdy łączymy wyłącznikiem zwykłym, „c"—właściwy dobór miejsca ustawienia wyłącznika.

Jeżeli rozpatrzone dopiero co włączanie linji odbyłoby się zapomocą zwykłego wyłącznika (rys. 280 „b"), to $R = 0$ tak, że poszczególne fale będą:

$$U_0' = U_1 \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

oraz

$$U'_p = U_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Przez porównanie wielkości fal, otrzymanych teraz z wielkościami fal, otrzymanemi poprzednio, dojdziemy do wniosku, że wyłączniki ochronne zniżają przepięcie tem więcej, im większa jest oporność $R$. Jak już zaznaczyliśmy, działanie wyłącznika ochronnego jest jednak podzielone na dwa stadja tak, że przy włączaniu naprzykład w pierwszem stadjum następuje połączenie poprzez oporność $R$, czyli powstaje przepięcie $U_0$ i $U_p$, a w drugiem stadjum oporność ta jest zwarta, a więc powstaje przepięcie $U'_0$ i $U'_p$ oczywiście tem większe im większa jest oporność $R$. Aby wobec tego nie otrzymać w drugiem stadjum włączenia zbyt wielkich przepięć, dobieramy oporność $R$ w ten sposób, aby $U_0 = U_0'$ oraz $U_p = U'_p$.

Rüdenberg, wychodząc z tego założenia, podaje następujący wzór dla dobrania najkorzystniejszej wielkości oporności $R$:

$$R = \sqrt{\frac{U_1}{J}(Z_1 + Z_2)} \text{ omów},$$

gdzie $U_1$ jest napięciem fazowem roboczem w woltach; $J$ prądem w amperach ładowania przewodu przyłączanego albotеż prądem magnesowania w przypadku przyłączania transformatora lub silnika; $Z_1$ jest opornością falową

w omach przewodu, do którego dołącza się drugi przewód (wzgl. transformator, silnik) o oporności $R$.

Według zaleceń VDE wyłączniki ochronne należałoby stosować:

a) dla transformatorów trójfazowych o mocy większej od 2000 kVA przy 50 okresach, oraz 250 kVA dla transformatorów jednofazowych przy 15 okresach,

b) dla sieci napowietrznych, począwszy od 50 kV,

c) dla sieci kablowych, począwszy od 20 kV,

d) dla silników asynchronicznych o napięciu roboczem powyżej 3 kV, gdy ich moc w kW jest mniejsza od $10 . U^2$ przy trójfazowych i $6 . U^2$ przy silnikach jednofazowych, gdzie $U$ jest ich znamionowem napięciem w kV. Dla przypadku „a" oporność wstępna powinna wynosić na każdą fazę:

$$R = 10 . \frac{U_f}{J_n} \Omega$$

gdzie $U_f$ = napięcie fazowe, a $J_n$ jest nominalnym prądem transformatora. Dla przykładu „b" i „c" na jedną fazę:

$$R = \frac{U_f}{J_c} \Omega$$

gdzie $J_c$ jest prądem ładowania przyłączonego lub odłączonego odcinka sieci. Wreszcie dla przypadku „d" na jedną fazę:

$$R = 4 \frac{U_f}{J_n} \Omega$$

Jeżeli jestto silnik zwarty zsynchronizowany, to dla mocy jego powyżej 200 kW daje się oporność:

$$R = 0{,}2 . \frac{U_f}{J_n} \Omega$$

Dla przewodów zazwyczaj $R$ jest rzędu około tysiąca omów, a dla maszyn około kilkudziesięciu tysięcy omów.

Fale łączeniowe lub wyłączeniowe podlegają oczywiście tym samym prawom jak fale wędrowne, a więc tłumieniu, odbiciu i rozproszeniu.

Celem dojścia do ważnych wniosków rozpatrzymy następujące szczególne przypadki przyłączania linji zapomocą zwykłych wyłączników:

a) Linję przyłączamy w jej ciągu, t. j. $Z_1 = Z_2 = Z$, wówczas: $U_0' = {}^1/_2 U_1$; $U_p' = {}^1/_2 U_1$ tak, że $U_0' = U_p'$,

b) Do kabla pod napięciem dołączamy przewód napowietrzny tak, że $Z_1 = 50$ omów, a $Z_2 = 500$ omów. Wobec tego fala odbita, biegnąca w kablu, $U_0' = U_1 \frac{50}{50 + 500} = 0{,}091 . U_1$, a fala przepuszczona, biegnąca w przewodzie napowietrznym, $U_p' = U_1 \frac{500}{50 + 500} = 0{,}91 . U_1$. Mamy więc bardzo nieznaczne zniżenie fali w kablu i znaczną falę w przewodach napowietrznych.

c) Do przewodu napowietrznego pod napięciem dołączamy kabel tak, że $Z_1 = 500$ omów, a $Z_2 = 50$ omów. Wobec tego:

$$U_0' = U_1 \frac{500}{50 + 500} = 0{,}91\ U_1$$

$$U'_p = U_1 \frac{50}{50 + 500} = 0{,}091\ U_1$$

W tym przypadku fala, przenikająca w kabel, jest bardzo niewielka, natomiast dużą jest fala, odbita w przewodach napowietrznych.

Stąd wniosek, że gdy do przewodów napowietrznych o dużej oporności falowej $Z_1$ zostanie dołączony kabel, t. j. mała oporność $Z_2$, wówczas niema celu dokonywać tej czynności zapomocą wyłączników ochronnych. Gdy jednak od sieci kablowej (o małej oporności falowej), będącej pod napięciem, odprowadzamy jako odgałęzienie sieć napowietrzną (o dużej oporności falowej), to wtedy użycie wyłączników ochronnych może być celowem.

Z rozważań tych wynika bezpośrednio jeszcze jeden wniosek, a mianowicie: gdy przewód kablowy (mała oporność $Z_1$) (rys. 280 „c"), jak się to często dzieje w rozdzielniach, przechodzi w doprowadzenie napowietrzne do transformatora lub silnika, to doprowadzenie to, jako o znikomej pojemności, ma duży opór falowy. Jeżeli przyłączenia maszyny dokonamy zapomocą wyłącznika, ustawonego w p. $x$, wówczas na wejściowem uzwojeniu maszyny nastąpi odbicie fali, a więc prawie zdwojenie napięcia. Po szeregu takich przyłączeń wejściowe zwoje maszyny mogą ulec przebiciu. Jeżeli natomiast kabel jest bez napięcia i dołączony jest do generatora $Z_2$ czyteż do zasilanego transformatora wyłącznikiem umieszczonym również w p. $x$, wówczas występuje bardzo duża fala odbita $U_0$, wracająca do uzwojeń maszyny (w kablu fala $U_p$ będzie bardzo niska); odbija się ona od uzwojeń maszyny, przez które w tej wysokości przechodzi tak, że w punkcie gwiazdowym maszyny otrzymujemy przepięcie w stosunku do ziemi równe około dwukrotnemu napięciu roboczemu. W tym przypadku może więc nastąpić przebicie do korpusu w końcowych uzwojeniach maszyny. Unikniemy oczywiście obu wyżej wymienionych niebezpieczeństw, jeżeli wyłącznik umieścimy tuż przy maszynie, a więc w p. $y$. Jedynie w przypadku, gdy $Z_2 \leqslant 10$ m, niebezpieczeństwa te nie zagrażają i tylko wówczas jest rzeczą obojętną, czy wyłącznik zostanie umieszczony w p. $x$ czyteż w p. $y$.

Z powyższych rozważań wynika również konieczność specjalnie dobrego izolowania zwojów wchodzących i gwiazdowych maszyn elektrycznych.

Tak więc, dzięki zastosowaniu specjalnych wyłączników ochronnych z wstępnemi opornościami czynnemi, przepięcia łączeniowe lub wyłączeniowe mogą ulec znacznemu zniżeniu. Wyłączniki takie muszą być jednak pierwszorzędnie wykonane, aby w początkowej chwili łączenia oporność czynna wyłącznika włączona w szereg z siecią, w następnej chwili, t. j. nie dłużej niż po upływie dwóch sekund, była już zwarta głównemi kontaktami. Gdyby główny kontakt zadania tego nie spełnił, to prąd za-

pośrednictwem kontaktu wstępnego przechodziłby w dalszym ciągu przez tę oporność, która uległaby tak silnemu nagrzaniu, że byłoby to przyczyną eksplozji wyłącznika, a co za tem idzie, znacznie większych szkód, przewyższających zyski, otrzymane przez zastosowanie takiego wyłącznika. Aby wyłącznik taki rzeczywiście skutecznie zmniejszał przepięcia, oporność jego powinna być ściśle dobrana do oporności falowej obwodu przyłączanego. O ile więc teoretycznie sprawa zastosowania takiej oporności jest ściśle określona, o tyle w praktyce wyłącznik taki może mieć zastosowanie tylko w tych nielicznych przypadkach, w których w każdym roboczym stanie sieci jej oporność falowa dołączana jest wielkością stałą. Wiadomem jest jednak, że tym samym wyłącznikiem łączymy raz dłuższe, to znów krótsze odcinki sieci, raz bez linij kablowych, to znów z takiemi linjami, a w każdym z tych przypadków oporność falowa jest inna. Tymczasem wyłącznik ochronny przystosowany jest wyłącznie do jednej określonej oporności falowej. Z drugiej jednak strony nawet źle dobrana oporność w wyłącznikach nie może zaszkodzić, t. j. spowodować zwiększenia przepięcia, i właśnie skutkiem tego wyłączniki te mają zarówno zwolenników jak i przeciwników.

W Ameryce wyłączniki ochronne są zupełnie nieznane.Z obserwacji europejskich sieci elektrycznych wynikałoby, że ze względu na wielkie trudności konstrukcyjne w izolowaniu poszczególnych oporności, ich wytrzymałości cieplnej i mechanicznej na obciążenia dynamiczne podczas zwarć, ciężkie w swych skutkach eksplozje tych wyłączników zdają się przechylać szalę na ich niekorzyść. Nawet w wielu przypadkach są one zupełnie kasowane, jak to miało miejsce w Niemczech, np. w „Elektrowerke" tak, że już dziś dwutorowa linja Zschornewitz — Berlin o długości 130 km i napięciu 110 kV pracuje z wyłącznikami bez oporności wstępnych.

Zdarzają się oczywiście eksplozje także wyłączników bez oporności wstępnych; są one jednak spowodowane innemi przyczynami, mianowicie takiemi, które nie omijają również i wyłączników ochronnych.

Tak więc wyłączniki zwykłe podlegają mniejszej ilości czynników, mogących spowodować ich wybuch; są one więc pewniejsze w ruchu i nie ulega wątpliwości, że wrazie wybuchu dwóch wyłączników w jednakowych warunkach, cięższy w swych skutkach będzie wybuch wyłącznika olejowego ochronnego, a to ze względu na większą ilość zawartego w nim oleju. Należy jeszcze nadmienić, że wyłącznik ochronny jest znacznie droższy od zwykłego.

b. Dławiki.

Działanie ochronne dławików (bez rdzenia) ma polegać na tem, że dławiki, włączone w szereg z urządzeniem ochranianem, odbijają nadbiegającą falę. Fala odbita zdwaja wprawdzie swe czoło, lecz fala przepuszczona ma czoło złagodzone dzięki temu, że część energji fali została zamieniona w zwojach dławika na energję magnetyczną. Po przejściu fali przez dławik pole to niknie, skutkiem czego powstaje ekstra prąd, starający się podtrzymać zanikający prąd fali; skutek jest ten, że do nagle uciętego grzbietu fali przepuszczonej dorasta ogon, łagodzący znacznie przebieg grzbietu.

Jak wiadomo, najwyższe dopuszczalne przepięcie $U_p$ na zaciskach ochranianego urządzenia wynosi:

$$U_p = 2U_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}\left(1 - e^{-\frac{Z_1 + Z_2}{L} \cdot t}\right),$$

gdzie:

$U_1$ jest przepięciem nadbiegającem w woltach,

$U_p$ „ „ przepuszczonem przez dławik w woltach,

$Z_1 = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$ „ opornością falową przewodów w omach przed dławikiem, t. j. od strony fali nadbiegającej,

$Z_2 = \sqrt{\frac{L_2}{C_2}}$ „ opornością falową w omach urządzenia ochranianego (za dławikiem),

$e$ „ podstawą logarytmów naturalnych,

$L$ „ indukcyjnością dławika w henrach,

$t$ „ czasem w sekundach przebiegania fali przez dławik, t. j.

$$t = \frac{\lambda}{v} = \frac{\text{długość fali nadbiegającej w cm}}{\text{prędkość fali} \simeq 3 \cdot 10^{10} \text{ cm/sek.}}$$

Jeżeli dla uproszczenia oznaczymy literą $k$ stosunek $k = \frac{U_p}{U_1}$, to możemy napisać, że indukcyjność dławika powinna wynosić:

$$L = - \frac{(Z_1 + Z_2) \cdot t}{2{,}3 \cdot ln\left[1 - \frac{k}{2}\left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right)\right]}$$

Widzimy więc, że działanie dławika będzie tem wydatniejsze, im krótsza będzie fala nadbiegająca.

Przepisy VDE zalecają stosowanie następujących dławików:

| Prąd znamionowy w A | Znamionowe napięcie w kV | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 3 ÷ 15 | 35 | 60 | 100 |
| 2 | 15 μH | 20 μH | — | — |
| 4 | 10 „ | 15 „ | — | — |
| 6 | 10 „ | 15 „ | — | — |
| 10 | 10 „ | 15 „ | 20 μH | 30 μH |
| 25 | 5 „ | 5 „ | 10 „ | 15 „ |

Zwykle stosuje się więc dławiki ochronne o indukcyjności $5 \div 30\ \mu H$. Wystarczyłyby one do ochrony transformatorów o oporności falowej do około 2000 omów. Tymczasem jednak Milan Vidmar podaje, że oporność falowa transformatora o napięciu międzyprzewodowem $U$ woltów, o ilości zwojów $w$ oraz o mocy jednofazowej $P$ w kVA wynosi:

$$Z = (30 \div 40)\, w = (30 \div 40)\, \frac{1{,}42 \,.\, U}{\sqrt{P}} = \text{średnio } 50\, \frac{U}{\sqrt{P}}$$

Jeżeli zauważymy, że oporność falowa naprzykład transformatora o mocy jednofazowej $100 : \sqrt{3} = 58$ kVA na napięcie 6000 V wynosi:

$$Z = 50\, \frac{6\,000}{\sqrt{58}} = 39\,400 \text{ omów},$$

to musimy dojść do wniosku, że należałoby tutaj zastosować dławik o praktycznie niedopuszczalnie wielkiej indukcyjności, aby uzyskać oczekiwany efekt. Wobec tego nie należy stosować dławików w urządzeniach elektrycznych tembardziej, że są one nawet szkodliwe, jak to wynika z badań, przeprowadzonych przez D. Gabor'a w 1925 r. z ramienia Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen. Badania te przeprowadził Gabor zapomocą oscylografu katodowego w związku ze spostrzeżeniem, że specjalnie często następują przebicia do kadłuba (ziemi) z punktu gwiazdowego transformatorów oraz na izolatorach wpustowych transformatorów wówczas, gdy są one ochraniane od przepięć dławikami bez oporności bocznikujących. Okazało się, że między dławikami a zaciskami transformatora powstają drgania o częstotliwości ok. 340 000 okr./sek. (fala długości około 880 m). Stąd wynika, że transformator działa tu jako skupiona pojemność rzędu około 120 cm ($1{,}332 \,.\, 10^{-10}\ F.$), która wraz z indukcyjnością dławika 1,64 $\mu H$ tworzy obwód drgający Thomson'a, wzbudzony falą wędrowną. Jeżeli ten obwód drgający nie ma dostatecznego tłumienia, to powstaje tu rezonansowe przepięcie w wysokości około 3- do 4-krotnego napięcia roboczego i właśnie ono wraz z nakładającą się na nie przepuszczoną częściowo przez dławiki wędrowną falą bodźczą jest powodem przebić izolacji.

Drgania te można opanować dwiema drogami:

1) przez zwiększenie pojemności transformatora,
2) przez zbocznikowanie dławnika opornością czynną.

Pierwsza z tych dróg prowadzi do włączenia w punkcie, znajdującym się między dławikiem a zaciskami transformatora, kondensatora ochronnego równolegle do transformatora. Dla orjentacji podajemy, że zazwyczaj pojemność takiego kondensatora wynosi $0{,}01\ \mu F$. — Druga z tych dróg prowadzi do zastosowania t. zw. dławików Campos'a. Gabor po przyłączeniu oporności czynnej $R > {}^1/_2 \sqrt{\frac{L}{C}}$, bo równej 1 800 omom stwierdził, że drgania zgasły i przy dalszych doświadczeniach już nie powstawały. Zazwyczaj dławiki Campos'a są zbocznikowane opornością, wynoszącą 1 000—2 000 omów zrobioną w kształcie prętów z karborundu.

W ten sposób dławik został unieszkodliwiony, lecz i to nie przynosi

żadnych korzyści, gdyż nie uległa zmianie konieczność stosowania dławików o bardzo wielkiej indukcyjności. Toteż w ostatnich latach, zarówno w Ameryce jak i w Europie, zarzucono ochronę urządzeń elektrycznych dławikami.

Należy tu zauważyć, że miernikowe transformatory prądowe działają podobnie jak dławiki i skutkiem tego powinny być również bocznikowane opornością czynną.

Częściej stosujemy oporności z silitu niż z karborundu, gdyż silit ma tę właściwość, że opór jego wraz z rosnącem napięciem bardzo szybko spada.

Oporności bocznikowe wynoszą:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| dla prądu | pierwotnego | 5 | A | — | 500 | omów |
| „ | „ | 10 | „ | — | 120 | „ |
| „ | „ | 15 | „ | — | 50 | „ |
| „ | „ | 25 | „ | — | 20 | „ |
| „ | „ | 50 | „ | — | 5 | „ |

Przy podanych opornościach błąd wskazań prądowych transformatorów miernikowych nie przekracza 0,2%.

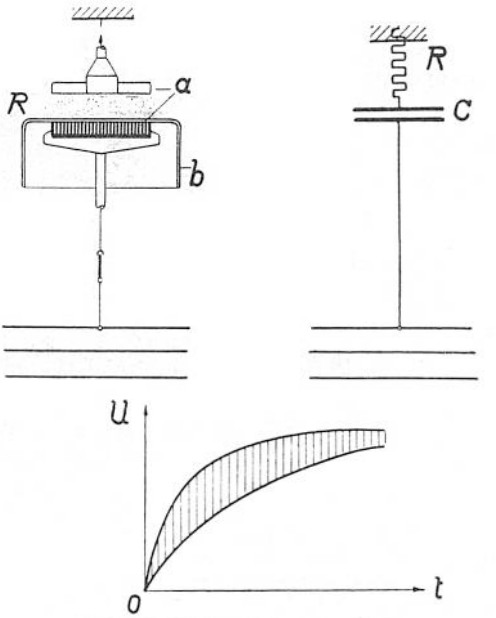
Skoro mówimy o drganiach rezonansowych transformatora zaznaczymy, że występują one również w jego punkcie gwiazdowym. Są one o częstotliwości mniejszej niż poprzednio rozpatrzone, gdyż wynoszą ok. 10 000 okr./sek. (fala długości ok. 30 000 m). Tłumienie tych fal jest większe niż poprzednio, a największe jest wówczas, gdy wtórne uzwojenie transformatora połączone jest w trójkąt. Drgania punktu gwiazdowego uważane są za skutek drgań własnych uzwojenia transformatora, którego rozłożona indukcyjność i pojemność tworzą obwód, zdolny do drgań. Obwód ten może być wzbudzony do drgań rezonansowych przez uziemienie, odległe nawet o kilka kilometrów. Zwykle w tym przypadku przepięcie występuje w wysokości 2- do 3-krotnie większej niż przepięcie, występujące na zaciskach transformatora.

Pewnem zabezpieczeniem punktu gwiazdowego jest przyłączenie do niego dławika gaszącego Petersenowskiego lub t. p. albotéż uziemienie przez opór lub bezpośrednie. W każdym razie zwoje punktu gwiazdowego transformatora powinny być trzykrotnie silniej izolowane niż zwoje wejściowe.

c. Tlejący przyrząd Dr. P. Meyer'a.
(n. Glimmschutz — Ge-Schutz).

Przyrząd Dra Paula Meyer'a (GUS) (rys. 281), działa jako kondensator, który po przekroczeniu pewnego napięcia wyładowuje się do ziemi w sposób tlejący. Oczywiście przyrząd ten reaguje na przepięcia drgające oraz na gradient napięcia, t. j. na zmianę napięcia w czasie. GUS działa tem lepiej, im wyższe jest napięcie robocze sieci, w której przyrząd ten pracuje. Stosować go można, począwszy od napięcia roboczego nie niższego od 6 kV.

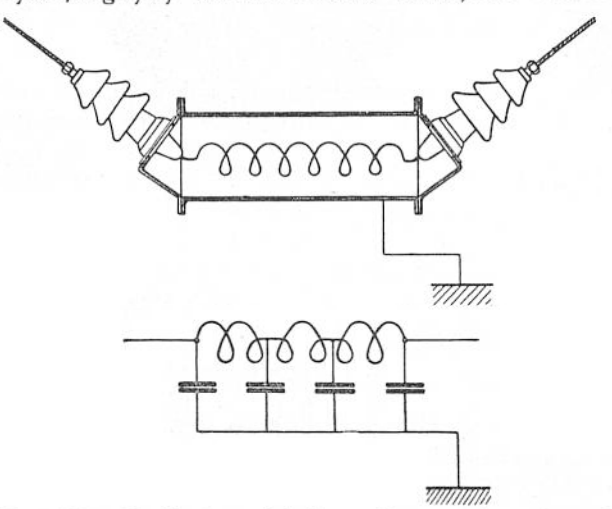
Dr. Paul Meyer, wypuszczając swój przyrząd przepięciowy GUS, zerwał z ustaloną zasadą ochrony przeciwprzepięciowej, polegającą na odprowadzeniu z przewodów do ziemi — a więc na zniszczeniu — jaknajwiększej energji, jak to się dzieje w przyrządzie Dra Bendmann'a. GUS powoduje ścięcie (zakreskowana część czoła) stromego czoła fali przepięciowej. Dla unieszkodliwionej w ten sposób fali ułatwia się rozchodzenie się po całej sieci, w której opornościach fala ta się stłumi.




Rys. 281. Tlejący przyrząd Dr. Paula Meyer'a: a — ruszty (zgrzebła) przestawione o 90° w stosunku do siebie, b—szklanica jako dielektryk kondensatora C; R—jonizowana przestrzeń powietrza stanowiąca oporność R.

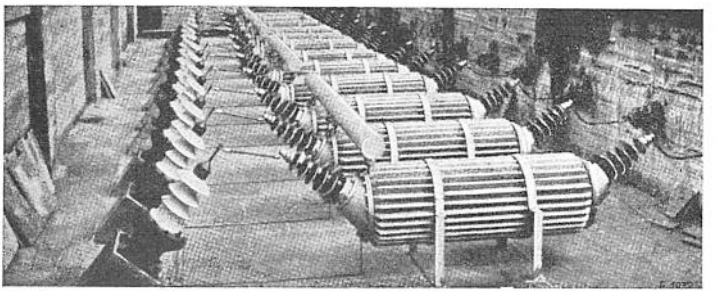
d. Pochłaniacz fal firmy Ferranti Incorporated, N. Y. City, U. S. A.
(n. Der Ferranti Stosswellenschlucker).

Amerykańska firma Ferranti buduje przyrządy przeciwprzepięciowe na zasadzie filtracyjnej. Przyrząd taki polega na tem, że w każdy przewód włącza się szeregowo dławik jako pierwotne uzwojenie transformatora, który jest otoczony izolowanym od siebie stalowym pancerzem uziemionym, stanowiącym jakgdyby wtórne zwarte uzwojenie transformatora. Mamy wówczas układ złożony z wielu indukcyjności, połączonych szeregowo i zbocznikowych pojemnościami między cewką a pancerzem (rys. 282 i 283). Układ ten stanowi filtr wysokiej częstotliwości. Skutkiem zwarcia wtórnego uzwojenia fala ulega bardzo silnemu tłumieniu, zupełnie tak samo jak w transformatorze z wtórnem uzwojeniem połączonem w trójkąt. Dzięki odpowiedniemu doborowi poszczególnych wielkości strata prądu roboczego, a więc 50-okresowego, jest zni-

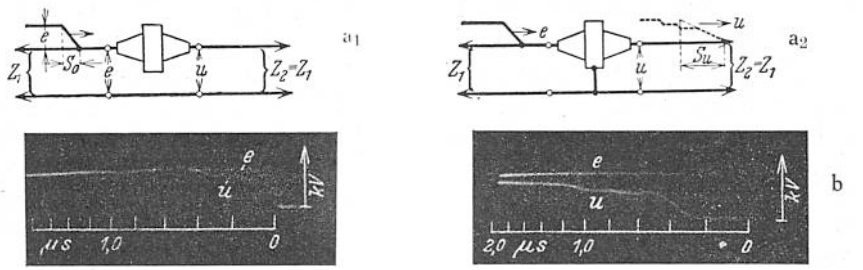


Rys. 282. Pochłaniacz fal firmy Ferranti Incorporated N. Y. City, U. S. A. (Hollinwood, Lancashire, England; Toronto, Ontario, Canada).

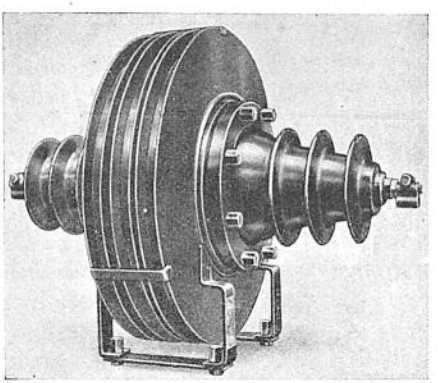
komo mała. Inaczej jednak sprawa ta wygląda przy częstotliwości począwszy od 20 000 okresów wzwyż, odpowiadającej przepięciom. Wówczas przyrząd ten silnie łagodzi strome czoła fal.



Rys. 283. Instalacja napowietrznych pochłaniaczy fal w stacji o napięciu roboczem 22 kV („Concordia", Stuttgart).




Pochłaniacz fal zastępuje dławik, jednak w przeciwieństwie do niego ochrania przedewszystkiem uzwojenia wszelkich maszyn elektrycznych dzięki bardzo znacznemu ścięciu czoła fali, co prowadzi do tem większego wydłużenia czoła, im krótsze było czoło fali nadbiegającej (rys. 284). Naprzykład pochłaniacz fal typu D, pokazany na rys. 285 spłaszcza czoło fal:



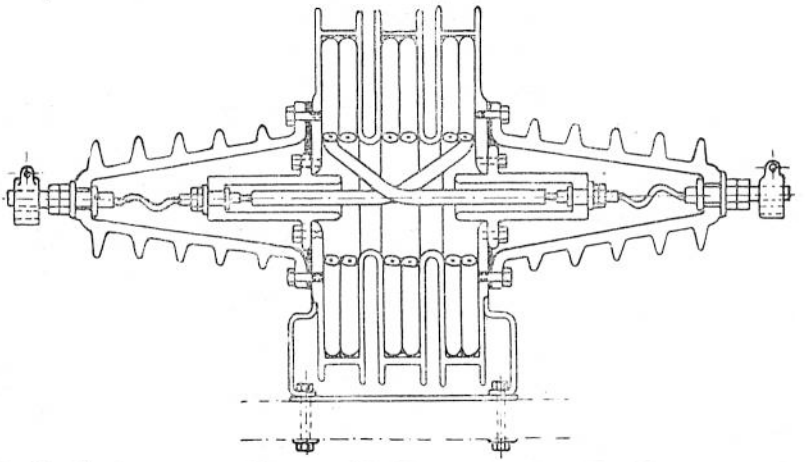
Rys. 285. Pochłaniacz fal Ferranti'ego typu D („Concordia", Stuttgart).

z 3 m długości do 115 m,
„ 10 „ „ „ 130 „
„ 350 „ „ „ 700 ... 1000 m.

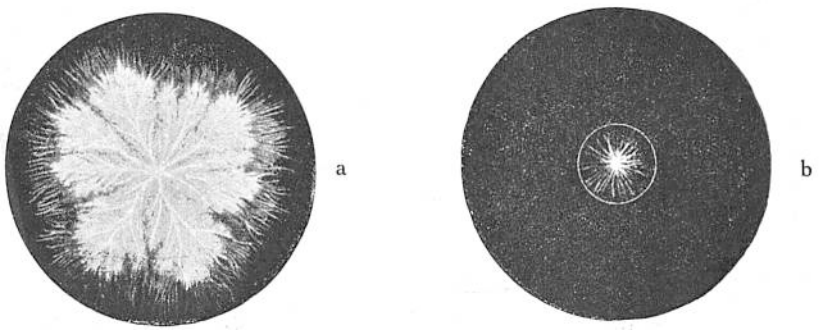
Praktycznie biorąc, fale o długości czoła począwszy od 1000 m wzwyż, nie zostają już spłaszczane przez pochłaniacz fal, lecz właśnie skutkiem wielkiej długości nie są już groźne dla urządzeń.

Na rys. 286 widzimy pochłaniacz fal w przekroju.

O skuteczności ochrony uzwojeń pochłaniaczami fal sądzić możemy z pokazanych na rys. 287 klydonogramów napięcia, panującego na pierwszych zwojach transformatora.



Rys. 286. Przekrój przez pochłaniacz fal Ferranti'ego typu D („Concordia", Stuttgart)




Rys. 287. Klidonogram napięcia na pierwszych zwojach transformatora, włączonego w linję napowietrzną:
„a" — niechronioną, „b" — ochranianą pochłaniaczami fal („Concordia", Stuttgart).

Pochłaniacz fal jest budowany na napięcia począwszy od niskiego do 230 kV włącznie.

## 12. Ochronniki niszczące energję fali.

a) Zabezpieczenie linji na jej końcu.

Przypuśćmy, że fala o napięciu $U_1$ (rys. 288 „a") pędzi przewodem o oporności falowej $Z_1$ i spotyka na swej drodze oporność czynną $R$, poza którą biegnie dalej linja o oporności falowej $Z_2$. Wówczas napięcie fali odbitej wyniesie:

$$U_0 = U_1 \frac{(R + Z_2) - Z_1}{Z_1 + (R + Z_2)}$$

tak, że spiętrzenie fali przed opornością wyniesie:

$$U_1 + U_0 = U_1 + U_1 \frac{R + Z_2 - Z_1}{Z_1 + R + Z_2} = 2\,U_1 \frac{R + Z_2}{Z_1 + R + Z_2}$$

Natomiast napięcie fali za opornością czynną, t. j. napięcie fali przepuszczonej, wyniesie:

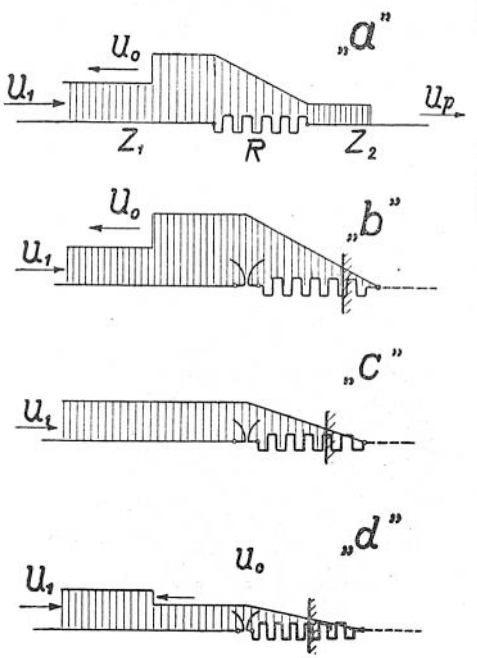
$$U_p = 2\,U_1 \frac{Z_2}{R + Z_1 + Z_2}$$

Fala zachowuje przytem nadal swój pierwotny kształt.

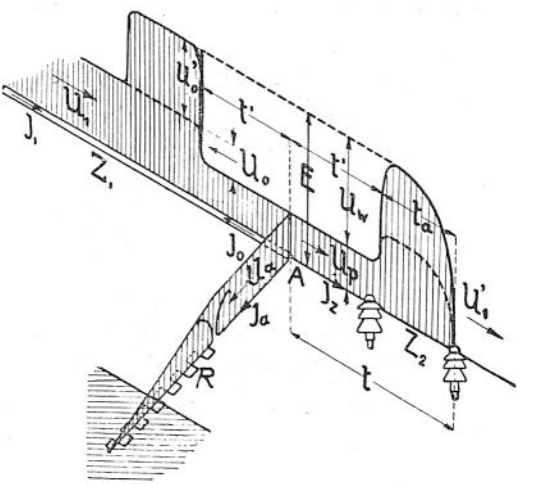
W przypadku, gdy oporność czynną uziemimy tak, że $Z_2 = 0$ (rys. 288 „b") napięcie fali odbitej wyniesie:

$$U_0 = U_1 \frac{R - Z_1}{Z_1 + R}$$

W tym przypadku jednak rozumiemy pod $R$ oporność przyłączoną + oporność uziemienia.




Rys. 288. Przejście i odbicie fali, gdy w linję włączono różne oporności:
„a" — oporność czynną i oporność falową $Z_2$,
„b" — gdy $R > Z_1$, natomiast $Z_2 = 0$,
„c" — „ $R = Z_1$, „ $Z_2 = 0$,
„d" — „ $R < Z_1$, „ $Z_2 = 0$.




Rys. 289. Działanie ochronne przyrządu przeciwprzepięciowego, włączonego w ciąg linji.

Oporność połączona w szereg z iskiernikiem, odpowiednio nastawionym, jest najprostszym przyrządem ochronnym przeciwprzepięciowym, niszczącym energję fali.

b. Zabezpieczenie linji w jej ciągu.

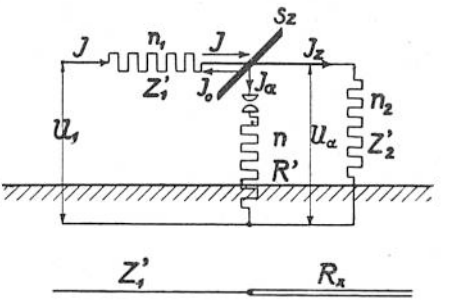
Należy jeszcze zastanowić się nad oddziaływaniem przyrządów ochronnych na przebieg przepięcia wówczas, gdy przyrządy te nie stanowią zakończenia linji, lecz są włączone w dowolnem jej miejscu. Niech to będzie punkt A (rys. 289 i 290) linji, przyczem fala nadbiega poprzez opor-

ność falową $Z_1$ do dalszej części linji o oporności falowej $Z_2$. W chwili gdy $t = 0$ w p. A nadbiegająca fala, wobec zmiany oporności falowej, ulega odbiciu. Wobec tego, że w rozpatrywanej chwili przyrząd ochronny jeszcze nie działa i że łączy go z p. A znikomo krótka linja, możemy napisać, że w p. A powstaje jakgdyby SEM-na:

$$E = U_1 + U_0' = U_1 + U_1 \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} = 2\,U_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Jeżeli założymy, że w iskierniku przyrządu ochronnego, dołączonego do p. A, następuje przeskok pod wpływem SEM $= E$ po upływie $t_a$ $\mu s$, to dopiero po upływie tego czasu przepięcie zniży się do wysokości $U_p$, podczas gdy czoło zapadłej się w ten sposób fali zdążyło wtargnąć wgłąb chronionej linji już na ($t_a$ $\mu s$ . $v$ m/$\mu$s) metrów (dla linij napowietrznych $v \simeq 300$ m/$\mu s$). Źródło SEM $= E$ ma wewnętrzną oporność $Z_1$, co jest przyczyną, że pod wpływem płynącego prądu $(J_a + J_z)$ powstaje wewnętrzny spadek napięcia $U_w = (J_a + J_z) \,.\, Z_1$; stąd mamy, że

$$U_p = E - U_w = 2\,U_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} - (J_a + J_z) \,.\, Z_1$$




Rys. 290. Ideowy schemat sieci elektrycznej, zabezpieczonej ochronnikiem przeciwprzepięciowym.
Sz — szyny zbiorcze stacji rozdzielczej.

A więc w chwili przeskoku iskry w przyrządzie ochronnym kończy się pierwsze stadjum przebiegu tego zjawiska i ustala się stadjum działania przyrządu ochronnego.

Celem zbadania działania tego przyrządu przypuśćmy, że rozpatrujemy zjawisko po upływie $t = (t' + \alpha t)$ $\mu s$ od chwili początkowej. Tę właśnie chwilę przedstawia rys. 289. Korzystając z oznaczeń, podanych na wymienionym rysunku, możemy napisać, że $U_p = U_a$, t. j. że napięcia w p. A każdego z rozgałęzień są sobie równe. Co do prądów, płynących w tym układzie, to $J_1 - J_0 = J_a + J_z$, ale $J_z = \frac{U_a}{Z_2}$; podstawiając to, otrzymamy:

$$J_1 - J_0 = J_a + \frac{U_a}{Z_2}$$

Pomnóżmy obie strony tego równania przez $Z_1$, wówczas:

$$J_1 \,.\, Z_1 - J_0 \,.\, Z_1 = J_a \,.\, Z_1 + U_a \frac{Z_1}{Z_2}$$

czyli:

$$U_1 - U_0 = J_a \,.\, Z_1 + U_a \frac{Z_1}{Z_2}$$

Z drugiej strony natomiast równowaga napięcia fal składowych wymaga, aby:

$$U_1 + U_0 = U_a$$

Dodając do siebie stronami oba powyższe równania, otrzymamy:

$$2\,U_1 = J_a \,.\, Z_1 + U_a\left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right)$$

Zauważymy, że prąd, płynący przez przyrząd ochronny $J_a = \frac{U_a}{R}$, gdzie $R$ jest opornością, zawartą w przyrządzie, plus oporność uziemienia. Przez podstawienie otrzymamy:

$$2\,U_1 = U_a\left(\frac{Z_1}{R} + 1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right)$$

lub:

$$2\,U_1 = U_a \,.\, Z_1\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}\right)$$

Stąd wzory ogólne: na napięcie fali przepuszczonej $U_p = U_a$ przez p. A

$$U_p = U_a = 2\,U_1 \frac{\frac{1}{Z_1}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}}$$

oraz na napięcie fali odbitej $U_0 = U_a - U_1$:

$$U_0 = U_1\left[\frac{2\frac{1}{Z_1}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}} - 1\right] = U_1 \frac{\frac{1}{Z_1} - \frac{1}{R} - \frac{1}{Z_2}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{R} + \frac{1}{Z_2}}$$

Jeżeli wreszcie dla uogólnienia naszych wniosków założymy, że $Z_2 = x \,.\, Z_1$, to podstawiając to we wzory ogólne, otrzymamy napięcie fali przepuszczonej:

$$U_p = 2\,U_1 \frac{\frac{1}{Z_1}}{\frac{1}{R} + \frac{x+1}{x \,.\, Z_1}} = 2U_1 \frac{R \,.\, x}{Z_1 x + Rx + R} = 2U_1 \frac{R \,.\, x}{x \,.\, (Z_1 + R) + R}$$

napięcie fali odbitej:

$$U_0 = U_1 \frac{\frac{x-1}{x \,.\, Z_1} - \frac{1}{R}}{\frac{x+1}{x \,.\, Z_1} + \frac{1}{R}} = U_1 \frac{R \,.\, x - R - x \,.\, Z_1}{R \,.\, x + R + x \,.\, Z_1} = U_1 \frac{x \,.\, (R - Z_1) - R}{x \,.\, (R + Z_1) + R}$$

Przyrząd ochronny będzie działał tem lepiej, im wyższa będzie ujemna fala odbita ($U_0$), a temsamem im niższa będzie fala przepuszczona ($U_p$.

Z dyskusji wzorów, wyprowadzonych dla przypadku, gdy $Z_2 = x . Z_1$ wynika, że będzie to miało miejsce wówczas, gdy $x$ będzie duże, a w każdym razie gdy $x > 1$. Jestto przyczyną specjalnie dużych korzyści z dołączenia przyrządu ochronnego w miejscu: a) przejścia linji kablowej w linję napowietrzną w przypadku, gdy spodziewane jest nadbiegnięcie fali przepięciowej z sieci kablowej do sieci napowietrznej, jak również b) przed transformatorem, gdy przepięcie nadbiega bądźto z sieci kablowej bądźteż napowietrznej lub mieszanej.

Jeżeli $x = 1$, a więc gdy ochraniamy linję w jej ciągu, t. j. gdy $Z_1 = Z_2 = Z$, wówczas napięcie fali przepuszczonej:

$$U_p = 2 U_1 \frac{R}{Z + 2R}$$

a napięcie fali odbitej:

$$U_0 = - U_1 \frac{Z}{Z + 2R}$$

Gdyby p. A stanowił koniec linji $Z_1$, do którego dołączono przyrząd ochronny, to wówczas $Z_2 = \infty$ tak, że obydwa wyżej wymienione wzory przyjmą postać:

$$U_p = 2 U_1 \frac{R}{Z_1 + R}$$

oraz:

$$U_0 = U_1 \frac{\frac{1}{Z_1} - \frac{1}{R}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{Z_1}} = \frac{R - Z_1}{R + Z_1}$$

a więc postać zupełnie taką samą, jak poprzednio otrzymane wzory dla zabezpieczenia linji na jej krańcach.

c. Wielkość prądu upustowego.

Wielkość prądu, który powinien odpłynąć przez ochronnik, aby część energji potencjalnej (elektrostatycznej) zamienić na energję magnetyczną, znajdziemy z wyżej wyprowadzonego wzoru:

$$2 U_1 = J_a . Z_1 + U_a \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right),$$

skąd:

$$J_a = \frac{2 U_1 - U_a \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right)}{Z_1}$$

W najgorszym więc przypadku, gdy ochronnik założony jest na krańcu linji, $Z_2 = \infty$ i wówczas:

$$J_a = \frac{2 U_1 - U_a}{Z_1}$$

Jeżeli $U_a$ jest stosunkowo małe w porównaniu do $U_1$, to możemy powiedzieć, że w tym przypadku prąd, płynący przez ochronnik, będzie prawie dwukrotnie większy od prądu falowego.

Resztkę przepięcia $U_a$ staramy się osiągnąć w wysokości, nie przekraczającej dwukrotnego napięcia roboczego międzyprzewodowego $U_n$ tak, że $U_a = 2 \,.\, U_n \,.\, \sqrt{2}$. Jeżeli wielkość ta jest osiągalna przez dany ochronnik, to:

$$J_a = 2\,\frac{U_1 - U_n \,.\, \sqrt{2}}{Z_1}$$

Jeżeli naprzykład w sieci o napięciu roboczem $U_n = 100$ kV do krańcowej stacji może dojść przepięcie o wysokości $U_1 = 700$ kV, a oporność falowa linji jest $Z_1 = 500$ omów, wówczas, aby resztka przepięcia $U_a = 2 \,.\, U \,.\, \sqrt{2} = 283$ kV, musi odpłynąć przez ochronnik prąd o natężeniu:

$$J_a = \frac{1400 - 283}{500} \,.\, 1000 = 2\,234 \text{ A}$$

W tym celu koniecznem jest, aby oporność ochronnika wynosiła:

d. Wielkość oporności upustowej.

Aby w dopieroco rozpatrzonym przykładzie rzeczywiście można było otrzymać resztkę przepięcia $U_a = 283$ kV, ochronnik musi mieć oporność, którą znajdziemy ze wzoru:

$$U_a = J_a \,.\, R,$$

a stąd:

$$R = \frac{U_a}{J_a} = \frac{283\,000}{2\,234} = \text{okr. } 127 \text{ omów.}$$

Jestto więc oporność przyrządu razem z włączoną z nią w szereg opornością uziemienia. Mając więc już gotowy ochronnik, musimy się starać, aby druga składowa, t. j. oporność uziemienia, była możliwie jaknajmniejsza, gdyż w przeciwnym razie ochronnik mógłby nie spełnić swego zadania tak, że $U_a$ mogłoby stać się większe od napięcia przeskoku, co musiałoby spowodować uszkodzenia izolatorów lub maszyn.

Postaramy się uogólnić obliczenie oporności upustowej, przyczem oprzemy się na oznaczeniach, podanych na rys. 290. W tym celu możemy skorzystać albo ze wzoru na falę przepuszczoną:

$$U_p = U_a = 2\,U_1 \frac{R_x}{Z_1' + R_x}, \text{ gdzie } R_x = \frac{R' \,.\, Z_2'}{R' + Z_2'}$$

albotеż z poprzednio otrzymanego wzoru na falę przepuszczoną:

$$U_a = 2\,U_1 \frac{\dfrac{1}{Z_1'}}{\dfrac{1}{R'} + \dfrac{1}{Z_1'} + \dfrac{1}{Z_2'}}$$

W obu przypadkach wynik jest ten sam.

Jeżeli przepięcie nadbiega $n_1$ torami, z których każdy ma oporność falową $Z_1$ omów, a linij odchodzących jest $n_2$, każda o oporności falowej $Z_2$ omów i, jeżeli urządzenie jest ochraniane $n$ przyrządami różkowemi, każdy o oporności upustowej $R$ omów, wówczas:

$$Z'_1 = \frac{Z_1}{n_1};\ Z_2' = \frac{Z_2}{n_2} \text{ oraz } R' = \frac{R}{n}$$

Podstawiając te wielkości w drugi z wyżej podanych wzorów, otrzymamy:

$$U_a = 2\,U_1 \frac{\frac{n_1}{Z_1}}{\frac{n}{R} + \frac{n_1}{Z_1} + \frac{n_2}{Z_2}} = 2\,U_1 \frac{n_1}{\frac{n_1 Z_1}{R} + n_1 + n_2 \frac{Z_1}{Z_2}}, \text{ a stąd:}$$

$$U_a \frac{n \cdot Z_1}{R} + U_a \cdot \left(n_1 + n_2 \frac{Z_1}{Z_2}\right) = 2\,U_1 n_1;$$

$$U_a \cdot \frac{n \cdot Z_1}{R} = 2\,U_1 n_1 - U_a \cdot \left(n_1 + n_2 \frac{Z_1}{Z_2}\right)$$

i wreszcie:

$$R = U_a \frac{n \cdot Z_1}{2\,U_1 n_1 - U_a \cdot \left(n_1 + n_2 \frac{Z_1}{Z_2}\right)} = \frac{n \cdot Z_1}{2 \cdot \frac{U_1}{U_a} \cdot n_1 - \left(n_1 + n_2 \frac{Z_1}{Z_2}\right)}$$

Jeżeli wzór ten chcielibyśmy użyć do przykładu poprzednio rozpatrzonego, t. j. do stacji krańcowej, dla której $n_2 = 0$, a $Z_2 = \infty$, z jednym torem, a więc $n_1 = 1$, oraz zabezpieczonej jednym kompletem ochronników, t. j. $n = 1$, wówczas:

$$R = \frac{Z_1}{2 \frac{U_1}{U_a} - 1} = \frac{500}{2 \frac{700}{283} - 1} = \text{okr. } 127 \text{ omów.}$$

Otrzymaliśmy więc wynik dokładnie taki sam jak poprzednio.

Wysokość przepięcia nadbiegającego jest ograniczona wysokością udarowego napięcia przeskoku $U$ izolatorów linjowych. A więc w skrajnym przypadku $U_1 = U$. Natomiast przepięcie w stacji w skrajnym przypadku może osiągnąć wielkość $U_s$, t. j. napięcie przeskoku izolatorów stacyjnych. W ten sposób wysokość przepięć normowana jest stosunkiem wielkości izolacji linji do wielkości izolacji stacji, którą oznaczymy:

$m = \frac{U_1}{U_a} = \frac{U}{U_s}$ i wówczas możemy napisać:

$$R \leqslant \frac{n \cdot Z_1}{2\,m \cdot n_1 - \left(n_1 + n_2 \frac{Z_1}{Z_2}\right)}$$

Zanim przystąpimy do wyciągnięcia wniosków z powyższego równania musimy zaznaczyć, że pod kompletem ochronników rozumiemy ilość ochron-

ników równą ilości faz, a więc w układach trójfazowych trzy jednofazowe ochronniki stanowią komplet. Przypadek taki, kiedy rzeczywiście $n = 1$ lub gdy wprawdzie $n \neq 1$, lecz mimo kilku równolegle włączonych kompletów uważamy, że $n = 1$, mamy wówczas, gdy ochronnikami są przyrządy rożkowe. Wielkie różnice w czasie opóźnienia wyładowania w poszczególnych rożkach powodują, że wrazie zagrania kompletu ochronników o najmniejszem opóźnieniu, drugi komplet o tyle bardziej się opóźnia, że przepięcie najczęściej spada już poniżej napięcia wyładowania, na które rożki są nastawione. Natomiast nie mamy tych zastrzeżeń: a) dla przyrządów, w których opóźnienia wyładowania są jednakowe lub też tak mało różnią się między sobą (części mikrosekundy), że mogą być uważane za jednakowe; b) dla tych przyrządów rożkowych, które, pracując w sieciach o wyższych napięciach roboczych, mają zbyt małą oporność upustową $R$ dla szybkiego odprowadzenia tak dużego ładunku, aby zniżenie przepięcia było wydatne i szybkie; wreszcie c) zastrzeżeń tych nie uczynimy również wtedy, gdy wprawdzie przyrząd rożkowy obniży dość prędko przepięcie do wysokości $U_p \geqslant 0{,}5\ U_s$, gdzie $U_s$ jest napięciem wyładowania na rożkach; wówczas $U_p$ odbić się może naprzykład o zwoje transformatora i, prawie zdwajające swe czoło, może spowodować wyładowanie na ochronniku rożkowym najbliższym miejsca odbicia.

Po takiem omówieniu przypuśćmy, że $n = 1$.

1) Oporność upustowa $R$ jest największa wówczas, gdy $n_2 = 0$, a $n_1 = 1$, t. j. w przypadku, gdy ochronnik ustawiono na stacji krańcowej o jednotorowej linji. Wówczas:

$$R \leqslant \frac{Z_1}{2\,m - 1}$$

Jeżeli więc $Z_1 = 500$ omów, a $m = 1{,}5$, to $R = 250$ omów. Gdyby natomiast do stacji krańcowej dochodził kabel o np. $Z_1 = 100$ omów, to wówczas oporność upustowa powinna wynosić tylko $R = 50$ omów.

2) Oporność upustowa jest najmniejsza wówczas, gdy ochronnik założono na stacji przelotowej. Gdy $n_1 = 1$, a $Z_1 = Z_2$, to wtedy:

$$R \leqslant \frac{Z_1}{2\,m - 1 - n_2}$$

Niema celu zakładanie ochronników wówczas, gdy $2\,m - 1 - n_2 = 0$, czyli przy $m = 1{,}5$, wówczas, gdy $n_2 = 2$, a więc w stacjach rozdzielczych, skupiających na swych szynach zbiorczych $n_1 + n_2 = 3$ linje elektryczne.

3) Oporność upustowa jest tem mniejsza, im mocniej izolowana jest sieć w porównaniu z izolacją stacji. Gdyby naprzykład w przykładzie, rozpatrzonym pod 1), $m = 2$, to wówczas $R =$ okr. 167 omów, zamiast 250 omów przy $m = 1{,}5$.

4) Jeżeli w stacji mogłoby nastąpić odbicie resztki fali przepięciowej, t. j. fali przepuszczonej $U_p$ naprzykład na transformatorze, wówczas należy oporność upustową $R$ dobrać tak, aby resztka fali $U'_a$ była równa tylko $^1/_2\ U_a$ t. j. równa połowie napięcia przeskoku izolatorów stacyjnych. Pod-

stawiając to we wzór pierwotnie otrzymany, oznaczymy wielkość oporności upustowej:

$$R \leqslant \frac{n \cdot Z_1}{2 \frac{U_1}{0{,}5 \cdot U_a} \cdot n_1 - \left(n_1 + n_2 \frac{Z_1}{Z_2}\right)} \leqslant \frac{n \cdot Z_1}{4 \cdot m \cdot n_1 - \left(n_1 + n_2 \cdot \frac{Z_1}{Z_2}\right)}$$

W ten sposób przy $n = 1$, $n_1 = 1$, $n_2 = 0$, $Z_1 = 500$ omów oraz $m = 1{,}5$; $R = 100$ omów wobec 250 omów, obliczonych w pierwszym przykładzie.

Natomiast w przypadku, gdy na stacji rozdzielczej ustawiono transformator, niema celu stosować ochronników wówczas, gdy:

$$4 \cdot m \cdot n_1 - n_1 + n_2 \frac{Z_1}{Z_2} = 0,$$

t. j. przy $m = 1{,}5$; $n_1 = 1$; $Z_1 = Z_2$, gdy $n_2 = 5$, a więc gdy stacja rozdzielcza skupia na swych szynach zbiorczych $n_1 + n_2 = 6$ linij wobec trzech linij, gdy w stacji rozdzielczej nie było miejsca odbicia się fali przepuszczonej (transformatorów i t. p.).

Jak z powyższych przykładów wynika, oporności upustowe są naogół stosunkowo małe wobec wysokości napięcia roboczego urządzeń, które mają ochraniać. W dalszym ciągu tego rozdziału przekonamy się, że pewne ochronniki muszą posiadać oporności te znacznie większe z tego względu, iż inaczej niezdolne byłyby do gaszenia łuku o wielkim prądzie.

e. Wartość ochronna przyrządów przeciwprzepięciowych.

Stosunek:

$$S = \frac{E - U_a}{E} \cdot 100\% = \frac{2U_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} - U_a}{2_1 U_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{2U_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} - 2U_1 \frac{\frac{1}{Z_1}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}}}{2U_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}} \cdot 100\% = \frac{Z_1}{Z_1 + R + R\frac{Z_1}{Z_2}} \cdot 100\%$$

nazywa się wartością ochronną danego przyrządu przeciwprzepięciowego. Jeżeli np. $S = 70\%$, to znaczy, że przepięcie zostało zniżone o 70% tak, że do ochranianego obszaru wtargnęło przepięcie o 30-tu procentach swej pierwotnej wysokości.

Należy tu zauważyć, że w przypadku, gdy wielkości $R$, $Z_1$ oraz $Z_2$ są w danem urządzeniu const., wartość ochronna przyrządów przeciwprzepięciowych jest również stałą, niezależną od wysokości przepięcia.

*A. Przyrządy przeciwprzepięciowe o wartości ochronnej stałej.*
Do kategorji tych przyrządów należy:

1. Ochronnik rożkowy.

Jeżeli iskiernik, połączony szeregowo z opornością, wykonany jest w kształcie rożków, wówczas stanowi on przyrząd przeciwprzepięciowy rożkowy. Biorąc pod uwagę wyżej wymienione wzory na napięcie fali przepuszczonej i odbitej, zauważymy, że spiętrzenie się fali przed rożkami wyniesie:

$$U_1 + U_0 = U_1 + U_1 \frac{R - Z_1}{Z_1 + R} = 2\,U_1 \frac{R}{Z_1 + R}$$

Natomiast napięcie fali przepuszczonej stanie się równe zeru, t. j. $U_p = 0$. Teraz zauważymy, że odbicia fali nie będzie, t. j. $U_0 = 0$, gdy $R = Z_1$ (rys. 288 „c").

Gdyby oporność czynna stała się $R < Z_1$, to otrzymalibyśmy ujemne odbicie fali (rys. 288 „d"), a gdy $R = Z_1$, wówczas $U_0 = 0$.

W przyrządach rożkowych jednak nie możemy oporności upustowej $R$ zbytnio zmniejszyć, gdyż wówczas powstaje łuk o bardzo małym spadku napięcia w stosunku do napięcia roboczego tak, że przez rożki popłynąłby bardzo znaczny prąd z generatorów. Pomijając już okoliczność, że po przekroczeniu pewnego natężenia prądu w łuku, łuk ten w rożkach nie da się zgasić, nie możemy dopuścić i mniejszego natężenia tego prądu, gdyż prąd ten, ulegając przerwaniu pod wpływem rozrywania łuku w rożkach, spowodowałby znaczne przepięcia, większe nawet od przepięcia, pod którego wpływem łuk się zapalił. Z tego względu w ochronnikach rożkowych dopuszczamy natężenie prądu, wahające się w granicach 3,5—5 A. Toteż

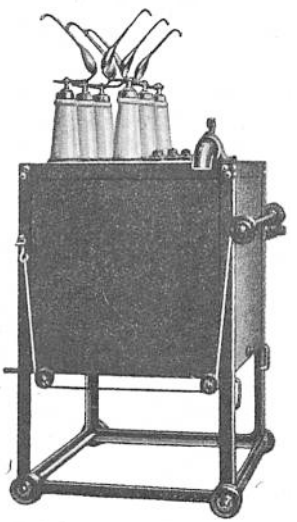
przy napięciu roboczem międzyprzewodowem 6 kV zwykle $R \geqslant$ 720 omom
„ „ „ „ 22 „ „ $R \geqslant 3\,800$ „
„ „ „ „ 35 „ „ $R \geqslant 6\,200$ „

Rzecz jasna, że w sieciach, pracujących pod bardzo wysokiem napięciem, rożków stosować wogóle nie można, gdyż w sieciach takich konieczną byłaby oporność czynna bardzo duża, np. dla 110 kV 32 000 omów, a więc wielokrotnie większa od oporności falowej, a to czyni rożki przyrządem zupełnie bezużytecznym tembardziej, że nie pozwala on na odprowadzanie znacznych prądów, co jest konieczne dla osiągnięcia skutecznej ochrony przeciwprzepięciowej.

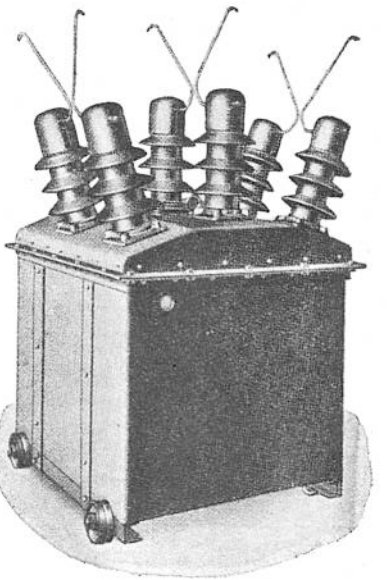
Zazwyczaj oporność $R$ zanurzona jest w kadzi z olejem celem zapewnienia jej szybkiego chłodzenia. Aby jednak temperatura oleju nie wzrosła do granic niedopuszczalnych tembardziej, że łuk gaśnie dopiero po upływie ok. 1 sek., to jest po upływie czasu większego aniżeli potrzeba do zniszczenia fali przepięciowej, przeto w szereg z opornością są włączone bezpieczniki topikowe cieplne, zanurzone w oleju, które przy temperaturze oleju 110°C przetopią się, odłączając temsamem cały przyrząd od ziemi.

Dalej zauważyć należy, że przeskok iskry między dwiema elektrodami następuje wówczas, gdy powietrze, zawarte w przerwie iskiernikowej, stanie się dzięki jonizacji dostatecznie przewodzące. Im nierównomierniejsze

jest pole elektryczne w powietrzu przerwy iskrowej, tem większa ilość powietrza musi być zjonizowana, a co za tem idzie, jonizacja nastąpi tem później. Najrównomierniejsze pole elektryczne występuje w środku między dwiema równoległemi płytami o dużej powierzchni. Niestety płyt takich jako iskierników używać nie można, gdyż niemożliwem byłoby wówczas zgaszenie łuku na drodze elektro-dynamicznej; w rożkach natomiast łuk gaśnie pod wpływem sił elektro-dynamicznych i skutkiem wydmuchiwania rozgrzanem przez łuk powietrzem. Rożki pod względem swego działania zbli-



Rys. 291. Przyrząd ochronny przeciwprzepięciowy Dr. Bendmann'a rzędu 20, wnętrzowy, (w wykonaniu firmy S. Kleiman i S-owie, Warszawa).



Rys. 292. Przyrząd ochronny przeciwprzepięciowy Dr. Bendmann'a rzędu 30, napowietrzny (w wykonaniu firmy S. Kleiman i S-owie, w Warszawie).

żają się bardzo do iskierników ostrzowych; w przerwie iskrowej istnieje bardzo nierównomierne pole, skutkiem czego rożki działają z bardzo dużem opóźnieniem, co jest powodem, że przebicie następuje często prędzej w jakiejś części urządzenia elektrycznego niż w rożkach.

Ze względu na pewność ruchu elektrycznego nie można nastawiać rożków na odległość mniejszą od ok. 3,5 mm. Przy takiem nastawieniu przebicie przerwy iskrowej następuje przy amplitudzie napięcia wynoszącej ok. 10 000 V. Zwykle nastawia się przerwę iskrową na 1,5-krotne napięcie robocze międzyprzewodowe (gdybyśmy ustawili rożki na 1,5-krotne napięcie fazowe, to wrazie uziemienia jednej fazy, dwa rożki stale „grałyby"); najniższe napięcie międzyprzewodowe, na jakie rożki można zastosować, jest:

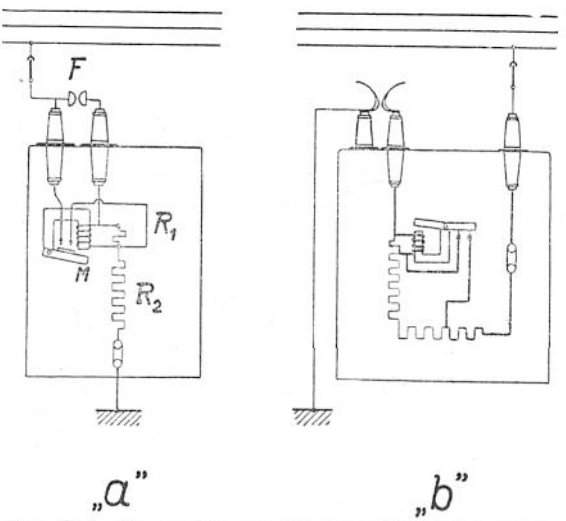
$$\frac{10\,000}{\sqrt{2}\,.\,1{,}5} = 4\,700 \text{ okr. } 5\,000 \text{ V.}$$

Rożki obecnie już należą do przestarzałych przyrządów przeciwprzepięciowych, które z urządzeń starszych się usuwa, a w urządzeniach nowych nie stosuje się wcale.

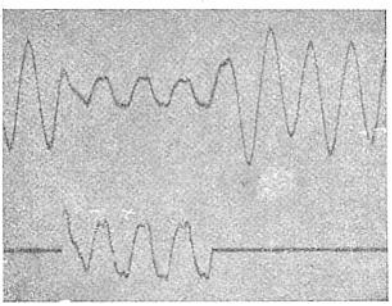
*B. Przyrządy przeciwprzepięciowe o wartości ochronnej zmiennej skokami.*

1. Ochronnik D-ra Bendmann'a.

Przyrząd przeciwprzepięciowy Dra Bendmann'a (rys. 291 i 292) jest pewnem ulepszeniem przyrządu rożkowego. Ulepszenie to polega na tem, że działanie przyrządu nie pozwala na zbyt długie palenie się łuku, bo w chwili, gdy iskra przeskoczy między elektrodami $F$ (rys. 293 „a"), do ziemi popłynie prąd poprzez oporność $(R_1 + R_2)$, dostosowaną do oporności falowej linji; prąd popłynie również przez cewkę magnesową $M$, przyczem boczникująca ją oporność $R_1$ ma za zadanie odprowadzenie drgających fal wysokiej częstotliwości.




Rys. 293. Przyrządy przeciwprzepięciowe o wartości ochronnej zmiennej skokami: „a" — przyrząd ochronny przeciwprzepięciowy Dr. Bendmann'a, „b" — przyrząd ochronny przeciwprzepięciowy dwustopniowy Siemens'a.

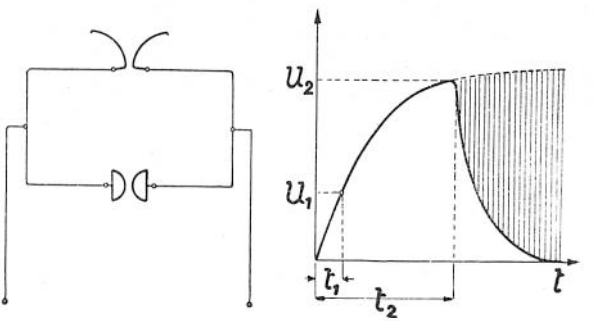


Rys. 294. Oscylogram przepięcia likwidowanego przyrządem ochronnym Dr. Bendmann'a.

Oczywiście, że zaraz po przeskoczeniu iskry między elektrodami $F$ popłynie także prąd roboczej częstotliwości z generatora. W ten sposób magnes $M$ zostanie wzbudzony i ściągnie kotwiczkę, zwierając temsamem przerwę iskrową $F$; skutkiem tego w przerwie tej łuk zgaśnie, a prąd popłynie poprzez kontakty i oporność $R_2$ do ziemi. Jednocześnie jednak zniknie wzbudzenie magnesu, przez który już żaden prąd nie płynie i skutkiem tego nie podtrzymywana nadal kotwiczka opadnie, rozwierając kontakty, na których prąd przerwie się w oleju. Jak wskazuje oscylogram na rys. 294, cały ten przebieg trwa już tylko 0,1 sek. wobec czasu 1 sek., zużywanego przez rożki. Dzięki tak szybkiemu przebiegowi w oporach tego przyrządu wydziela się znacznie mniej ciepła niż przy rożkach, dlatego można zastosować w nim oporność mniejszą $(R_1 + R_2)$ niż przy rożkach. W ten sposób przyrząd Dra Bendmann'a można stosować przy nieco wyższych napięciach niż rożki.

Dzięki zastosowaniu wyżej opisanego sposobu gaszenia łuku wprowa-

dzono do tego przyrządu drugie ulepszenie, polegające na spostrzeżeniu, że przy elektrodach kulistych pole elektryczne jest o wiele równomierniejsze, aniżeli przy elektrodach rożkowych. Toteż z dwóch iskierników, kulistego i rożkowego, połączonych równolegle i nastawionych na jednakową przerwę, działać będzie tylko jeden, mianowicie kulisty, jako mający opóźnienie $t_1$ (rys. 295) mniejsze od opóźnienia $t_2$ iskiernika rożkowego, przyczem zazwyczaj $t_2 > 10\ \mu s$, w którym to czasie fala przebiega drogę > 3 000 m. Kulisty iskiernik będzie więc działał również i przy niższem przepięciu $U_1$. Jak widzimy z rysunku, rożki niszczą coprawda zakreskowaną część fali, jednak pozostawiają jej jeszcze dość dużo.



Rys. 295. Porównanie iskiernika kulowego z rożkowym.

Ponieważ dla pewnego działania przekaźnika, umieszczonego w oleju, konieczny jest pewien dość duży prąd, bo wynoszący około 2,5 — 5 A, przeto w sieciach mniejszych, t. j. o tak małej pojemności, że prąd pojemnościowy nie przekracza wyżej wymienionego natężenia, nie należy oczekiwać tak od ochronnika Dra Bendmann'a jak i dwustopniowego ochronnika Siemens'a który za chwilę będziemy rozpatrywali, działania różniącego się od działania ochronnika zwykłego rożkowego czyteż rożkowego o iskierniku, kulistym lub łyżkowym.

2. Ochronnik dwustopniowy f-my Siemens.

Rozpatrzone powyżej zagadnienie rozwinęła firma Siemens w odmiennej formie. Otóż w chwili przeskakiwania iskry przez przerwę międzyrożkową (rys. 293 „b") prąd przechodzi przez stosunkowo niewielką oporność „pierwszego stopnia", zaznaczoną na rysunku grubą linją. Natychmiast jednak wzbudza się magnes tak, jak w przyrządzie Dra Bendmann'a i przyciąga kotwiczkę, rozwierając kontakty. Tak więc do oporności pierwszego stopnia dołącza się oporność, zwartą do tej pory kotwiczką na kontaktach (na rysunku nakreśloną cienką linją), tworząc w ten sposób oporność wypadkową t. zw. drugiego stopnia; dzięki wielkiemu obniżeniu natężenia prądu łuk jest utrzymany w granicach, umożliwiających szybkie zgaszenie. Krótki czas opóźnienia uzyskany jest tutaj zapomocą nasadek w kształcie łyżek, jakie rożki otrzymują w przerwie iskrowej. Rożki z takiem zabezpieczeniem dla linji trójfazowej są ustawione w formie pięcioramiennej gwiazdy, której trzy ramiona są półrożkami fazowemi, a pozostałe dwa ramiona, ustawione naprzemian, są rożkami połączonemi z ziemią.

Jednakże elektrody, zarówno kuliste jak i łyżkowe, mają tę wadę, że na deszczu (elektrody wilgotne) działanie ich staje się zupełnie podobne do działania elektrod ostrzowych, a więc działają z dużem opóźnieniem.

Zarówno przyrządy Dra Bendmann'a jak i przyrządy Siemens'a stosowano w sieciach o napięciach roboczych do 60 kV.

*C. Przyrządy przeciwprzepięciowe o wartości ochronnej zmiennej w sposób ciągły.*

Dla poszczególnych urządzeń $Z_1$ i $Z_2$ są const., jak również $R$ było stałe lub conajwyżej zmienne dwuskokowo; w ten sposób wysokość przepięcia przepuszczonego lub odbitego w danem urządzeniu była zależna jedynie od wysokości przepięcia nadbiegającego. Oczywiście, że przy odpowiednio dużem przepięciu nadbiegającem $U_1$ przepięcie przepuszczone $U_p$, mimo prawidłowego działania każdego z wyżej opisanych przyrządów ochronnych, mogło być znacznie wyższe od napięcia przeskoku lub przebicia izolacji urządzenia ochranianego i tak urządzenie to mogło być uszkodzone. Wszystkie opisane przyrządy ochronne mają tę wspólną wadę, że wobec stałej lub zmiennej skokami wartości ochronnej przyrządu nie ograniczają wysokości przepięcia. Z wzoru na wartość ochronną przyrządu przeciwprzepięciowego

$$S = \frac{Z_1}{Z_1 + R + R \cdot \frac{Z_1}{Z_2}} \cdot 100\%$$

wynika, że wartość ochronną można powiększyć tylko doborem odpowiednio małej oporności $R$. Stoi temu jednak na przeszkodzie obawa przed zbyt wielkiem natężeniem prądu roboczego w łuku, co może spowodować zarówno przeciążenie maszyn jak i trudność lub poprostu niemożność zgaszenia łuku i t. d. Stąd bezpośrednio wynika, że wobec konieczności stosowania corazto większej oporności $R$ przy wyższych napięciach roboczych wartość ochronna wyżej opisanych przyrządów przeciwprzepięciowych jest tem mniejsza, im wyższe jest napięcie robocze, dla którego są one przewidziane. Pozatem przyrządy działają ze zbyt długim czasem opóźnienia $t_a$ (rys. 289), skutkiem czego spiętrzone czoło fali wnika do przestrzeni ochranianej na znaczną głębokość. Nic więc dziwnego, że mimo prawidłowego działania tych przyrządów, przy odpowiednio wysokiej atakującej fali przepięciowej $U_1$ muszą następować uszkodzenia urządzeń. Najnowsze przyrządy, któremi zajmiemy się później, polegają na tem, że ich wartość ochronna nie jest stała, że rośnie wraz z przepięciem i to rośnie szybciej od niego. Przyrządy te, zależnie od zasady ich działania, można podzielić na dwie grupy. Pierwsza z nich, t. zw. przyrządy zmienno-oporowe (przelewowe), oparta jest o specjalne właściwości materjału oporowego, a druga, t. zw. przyrządy zaworowe, polega na stworzeniu takich warunków wyładowania łukowego, w których łuk wykazuje specjalnie korzystne właściwości, pozwalające się wyzyskać dla ochrony przeciwprzepięciowej.

1) Ochronniki zmienno-oporowe (przelewowe), t. j. o oporności zmieniającej się odwrotnie do zmian wysokości przepięcia.

Celem usunięcia wszystkich wyżej wymienionych wad przyrządów przeciwprzepięciowych o wartości ochronnej stałej lub zmiennej skokami starano się wynaleźć taki przyrząd, który działałby podobnie jak w urządzeniach wodnych działa przelew, dzięki któremu wysokość podnoszenia

się powierzchni wody jest ograniczona. Analogicznie do wysokości wody miano na myśli wysokość przepięcia. Przyrząd miałby więc rozpoczynać swe działanie wówczas, gdy wysokość napięcia w danym punkcie sieci przekroczy dopuszczalną dla danego urządzenia wysokość. Jako granicę tę ustanawia się zawsze napięcie niższe od napięcia przeskoku izolatorów stacyjnych przy 50 okr./sek. Najwyższą przy tem napięciu wartość oporności upustowej, zależnie od izolacji stacji, ilości linij elektrycznych, koncentrujących się w danej stacji i oporności falowej linji, którą fala nadbiega, określamy ze wzoru, znanego nam już z rozdziału o przyrządach rożkowych:

$$R_{max} \leqslant \frac{n \,.\, Z_1}{2\, m \,.\, n_1 - \left(n_1 + n_2 \frac{Z_1}{Z_2}\right)}$$

Oprócz tego przyrząd ten miałby odprowadzać z sieci tem większy prąd, im wyższe byłoby napięcie, przyczem opóźnienie jego działania powinno być jaknajkrótsze. Pierwszy z powyższych warunków możnaby ująć we wzór: $R \,.\, J_a = C$; został on zrealizowany w ten sposób, że wynaleziono specjalne materjały, nazywane rozmaicie, zależnie od firmy, która je wykonywa; pod wpływem napięcia, na które włącza się naprzykład pręcik, zrobiony z tego materjału, zmienia on swoją oporność według wzoru, bardzo zbliżonego do wyżej podanego: $R \,.\, J_a^x = C$, gdzie $x$ jest bliskie jedności. Oporność ta praktycznie jest nieskończenie wielka przy napięciach do dwukrotnie większych od napięcia roboczego, a począwszy od tej chwili spada ona gwałtownie. W powyższym wzorze $C$ jest pewną stałą dla danego przyrządu, odpowiadającą napięciu, przy którem odbywa się wyładowanie. Z wzoru tego znajdziemy, że oporność przyrządu wynosi $R = \frac{C}{J_a^x}$; podstawiając to we wzór na natężenie prądu, wynikające z prawa Ohm'a: $J_a = \frac{U}{R}$, otrzymamy, że natężenie prądu, płynącego przez przyrząd, wynosi:

$$J_a^{1-x} = \frac{U}{C}, \text{ a stąd: } J_a = \left(\frac{U}{C}\right)^{\frac{1}{1-x}}$$

Jeżeli więc $x = 0{,}72$, to $J_a = \left(\frac{U}{C}\right)^{3{,}57}$

A więc przy każdej 2-krotnej zmianie napięcia prąd rośnie około 12-krotnie. Cechą charakterystyczną tych przyrządów jest zatem użycie materjału, który do pewnej granicy napięcia jest prawie izolatorem, a powyżej tej granicy corazto lepszym przewodnikiem.

Oprócz tego materjały te wykazują tę wspólną właściwość, że stała $C$ zależy w nich tylko od wysokości słupka, zrobionego z tego materjału, a prawie zupełnie nie zależy od przekroju tego słupka. Mówimy „prawie" dlatego, że wykładnik potęgi $x$ różni się nieco od jedności. Celem wyjaśnienia wyżej powiedzianego rozpatrzymy przypadek, gdy $x = 1$, t. j. gdy $R \,.\, J = C$. Wyobraźmy sobie, że słupek składa się z wiązki pręcików o jednakowych przekrojach. Rozumie się, że dla każdego pręcika osobno obo-

wiązują zależności, wyrażone w powyższym wzorze. Jeżeli ilość pręcików w wiązce zdwoimy, to gęstość prądu, a więc jego natężenie, zmniejszy się w każdym pręciku do połowy, lecz jednocześnie, skutkiem znanej nam właściwości materjału, oporność każdego pręcika wzrośnie dwukrotnie tak, że iloczyn prądu przez oporność pozostanie w dotychczasowej wysokości.

Stąd ważny wniosek, że drugi przyrząd zmienno-oporowy (przelewowy) dołączony równolegle do istniejącego już przyrządu, powiększa bezpieczeństwo urządzeń tylko w bardzo niewielkiej mierze i tylko skutkiem tego, że $x \neq 1$ tak, że odgrywa on raczej rolę przyrządu zapasowego.

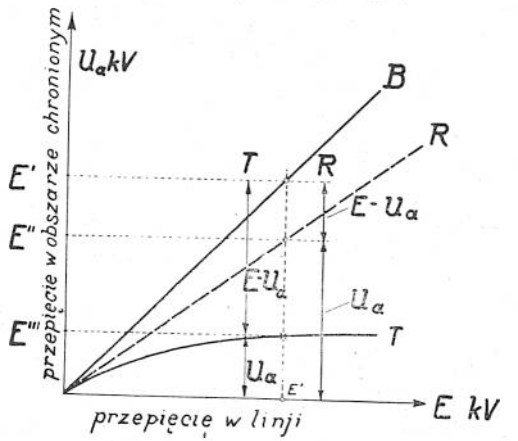
Oporności z tego materjału, zrobione więc w kształcie słupków lub krążków umieszcza się w rurach porcelanowych, a dla nastawienia przyrządu na stosowne napięcie, dołącza się przyrząd do sieci zapomocą kulistego iskiernika, regulowanego, umieszczonego również w tej samej rurze porcelanowej. Aby jednak uzyskać zgaszenie łuku już w pierwszym półokresie przy przejściu prądu przez zero, wykorzystano tę właściwość łuku, że gaśnie on łatwo wówczas, gdy pali się pod wpływem niskiego napięcia. Toteż w szereg z iskiernikiem kulowym łączymy odpowiednią ilość iskierników płytkowych o dużej pojemności cieplnej, w kształcie stosu. Przyrządy te wykazują bardzo małe opóźnienie, stanowiące część mikrosekundy.

Wartość ochronna przyrządów o oporności zmiennej wyraża się wzorem:

$$S = \frac{E - U_0}{E} \cdot 100\% = \frac{Z_1}{Z_1 + \frac{C}{J_a^x} + \frac{C}{J_a^x} \cdot \frac{Z_1}{Z_2}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{Z_1}{Z_1 + \frac{C^{3,57}}{U^{2,57}} + \frac{C^{3,57}}{U^{2,57}} \cdot \frac{Z_1}{Z_2}} \cdot 100\%$$

Widzimy więc, że wartość ochronna w tym przypadku jest zmienna i to tem bardziej, im wyższe przepięcie istnieje w miejscu przyłączenia przyrządu. Tę zmienność wartości ochronnej przyrządu ilustruje najlepiej rys. 296, przedstawiający według Dr. inż. G. Frühauf'a charakterystykę wartości ochronnej, z której wynika, że o ile przepięcie w linji wynosi $E'$ kV, to np. do transformatorni nieochranianej dostaje się ono również w wysokości $E'$ kV, natomiast przy ochronie rożkowej lub t. p. o wysokości $E''$ kV, a przy ochronie przyrządami o oporności zmiennej $E'''$ kV.




Rys. 296. Charakterystyki wartości ochronnej: B — dla obszaru nieochranianego, R — dla obszaru ochranianego przyrządami o S = const., T—dla obszaru ochranianego przyrządami zmienno-oporowemi (przelewowemi).

Należy jeszcze zauważyć, że dla stacji przelotowej skala $U_a$ jest równa skali $E$ tak, że $E' = U_a$ kV; natomiast w przypad-

ku odbicia się fali w stacji krańcowej skala $U_a$ jest dwukrotnie większa od skali $E$ tak, że wówczas w obszarze ochranianym $E' = 2\,U_a$ kV.

a) Ochronniki thyritowe firmy General Electric Company.

Przyrząd przeciwprzepięciowy, którego działanie oparte jest na zasadach wyżej wymienionych, pierwsza wypuściła na rynek po kilkuletnich próbach firma General Electric Company w roku 1930. Przyrządy te otrzymały nazwę thyritowych (thyrite lightning arrester) od nazwy materjału oporowego, stanowiącego tajemnicę firmy, a rozmieszczonego w porowatym ośrodku porcelanowym.

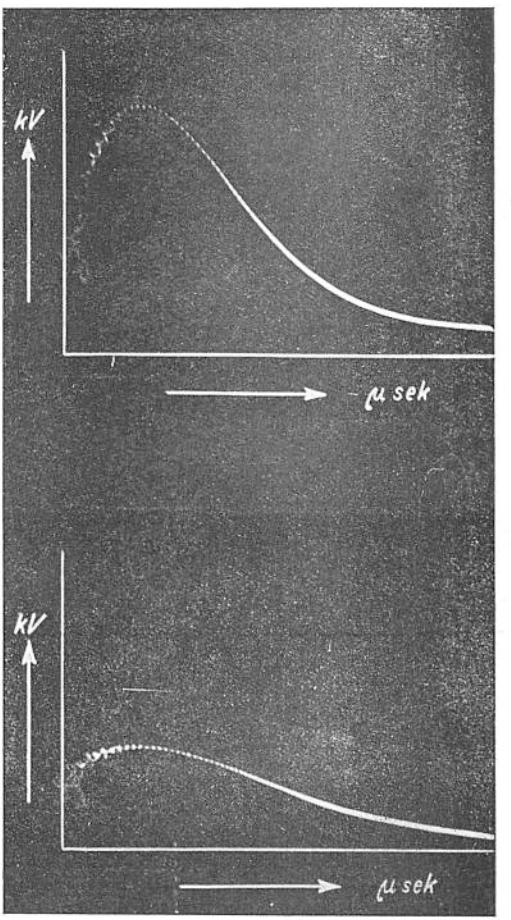
b) Ochronniki SAW firmy AEG.

Przyrząd oparty na tej samej zasadzie co powyższy, buduje od r. 1931/32 firma AEG pod nazwą SAW (Überspannungs-Ableiter mit Spannungsabhängigem Widerstand). AEG używa jako materjału oporowego ocelitu, dla napięć wyższych fulgaritu (krzemiany).

Przyrządy te budowane są na napięcie robocze do 150 kV. Działanie przyrządów SAW charakteryzuje się (Dr. Müller-Hillebrand) równaniem:

$$\frac{U_a}{U'_n} = \sqrt[n]{\frac{J_a}{J'_{an}}},$$

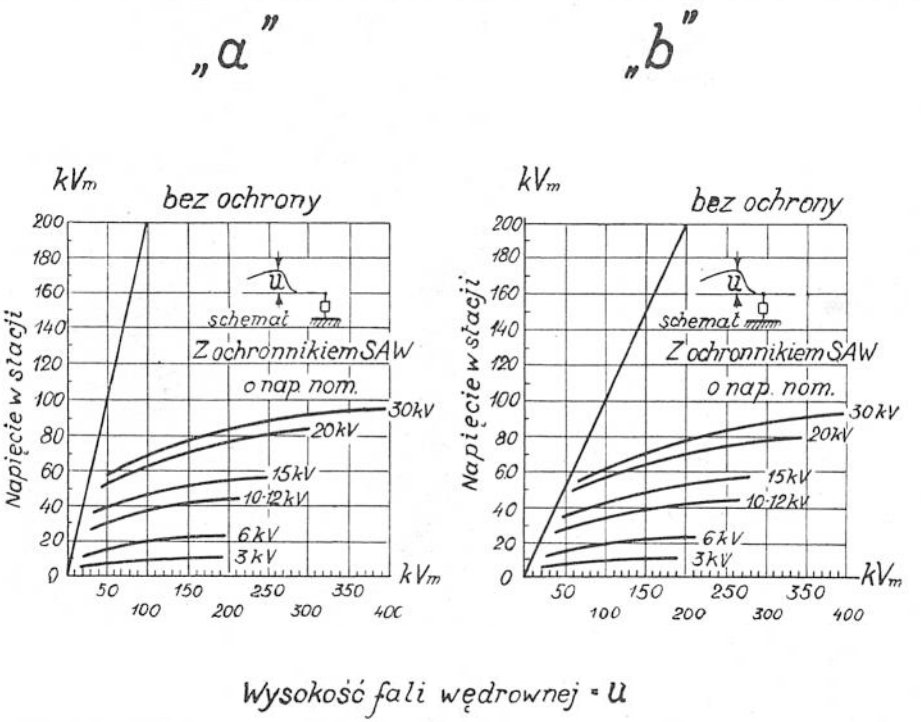
gdzie $U_a$ jest resztką przepięciową, $U'_n$ amplitudą najwyższego napięcia roboczego, panującego w danem urządzeniu, $J_a$ prądem fali, odpływającej przez ochronnik, $J'_{an}$ amplitudą prądu roboczego, płynącego wówczas również przez ochronnik. Liczba wykładnicza $n$ charakteryzuje więc materjał, użyty do zrobienia oporności upustowej. Im większe jest $n$, tem mniejszy jest stosunek $\frac{U_a}{U_n'}$, a więc tem mniejsza jest resztka przepięciowa. Taksamo im większy jest upustowy prąd roboczy, tem mniejszy jest ten stosunek. Amplituda prądu roboczego w ochronniku może wynosić w przyrzą-




Rys. 297. Oscylogram katodowy fali uskokowej w stacji krańcowej o napięciu roboczem 15 kV; u góry: stacja nieochraniana, u dołu: ta sama fala zniżona ochronnikiem SAW.

dach do 20 kV — 12 A, a powyżej tego napięcia 50 A. W przyrządach starszej konstrukcji $n = 3$, a w nowszych $n = 4{,}77$. Jeżeli wartości te wstawilibyśmy w powyższy wzór, to przy prądzie $J_a = 1500$ A okazałoby się, że $U_a = 2{,}6 \cdot U_n$ przy prądzie $J_{an} = 12$ A oraz $U_a = 2 \cdot U_n$ przy $J_a = 50$ A.

Na rys. 297 widzimy oscylogramy fali uskokowej w jej pierwotnym kształcie oraz po zniżeniu jej przyrządem SAW. Z tych oscylogramów wynika skuteczność ochrony temi przyrządami i jednoczesność ich działania wraz z pojawieniem się fali. Na rys. 298 widzimy charkterystyki wartości ochronnej, a rys. 299 pokazuje ochronnik ten w przekroju. Iskiernik



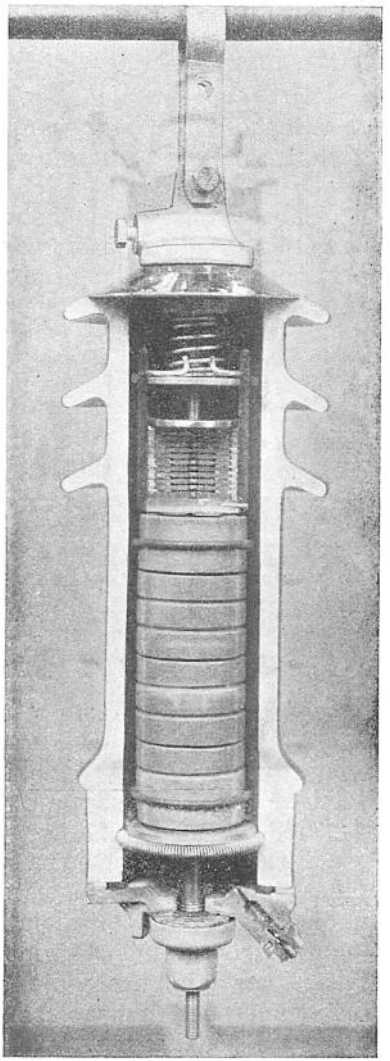

Rys. 298. Charakterystyki wartości ochronnej ochronników SAW przy oporności falowej $Z_1 = 500$ omów:
„a" — w stacji krańcowej, „b" — w stacji przelotowej.

i ochronnik umieszczone są w porcelanowej rurze uszczelnionej, aby wilgoć nie dostała się do środka przyrządu, a celem zupełnego wykluczenia „oddychania" przyrządu, rurę napełniono gazem obojętnym. Stos iskiernikowy w tym przyrządzie jest złożony z krążków Wien'a (rys. 300), podobnie jak w nadawczej stacji radjowej o falach gasnących. Na rys. 301 widzimy fotografję tego ochronnika. Przyrządy te rozpoczynają swą działalność od chwili zjawienia się napięcia dwukrotnie wyższego niż napięcie robocze, przy spółczynniku impulsu $\beta = 1{,}05$.

c) Ochronniki t. zw. resorbitowe firmy BBC.

Materjał z którego wykonany jest opornik i który posiada zresztą własności podobne do thyritu, ocelitu i fulgaritu, nazywa się resorbitem

i jego skład również stanowi sekret firmy. Na rys. 302 widzimy przyrząd ten w przekroju, na którym oznaczono przez *a* głowicę okapową rury porcelanowej *b*, w której wnętrzu ułożono płytki resorbitowe *f* oraz płytki iskiernikowe *e*, ułożone w stos dla szybkiego zgaszenia łuku i połączone w szereg z iskiernikiem kulistym o stałej elektrodzie *d*, łączącej się ze stosem, oraz o elektrodzie ruchomej nastawianej *c*. W przyrządzie tym opóźnienie działania wynosi zaledwie 0,2 μs i działa on już przy bardzo niewielkim spółczynniku impulsu falowego. Dzięki bardzo niewielkiemu napięciu $U_a$, jakie przy przyrządzie tym występuje, wykazuje on znaczną wartość ochronną, widoczną zresztą na oscylogramach, podanych na rys. 303. Firma BBC wykonywa te przyrządy dla napięć od 3,7 do 37 kV.



Rys. 299. Ochronnik SAW firmy AEG typu napowietrznego, w przekroju.

Zależnie od wysokości napięcia roboczego, dla którego przeznaczony jest dany przyrząd, zmienia się nastawienie iskiernika kulistego *c* oraz ilość iskierników płytkowych *e*, jak również ilość krążków resorbitowych *f* tak, że przy wyższych napięciach przyrząd ten jest wyższy, a przy napięciach niższych — niższy.

d) Ochronniki firmy K. Szpotański i S-ka, Fabryka Aparatów Elektrycznych w Warszawie.

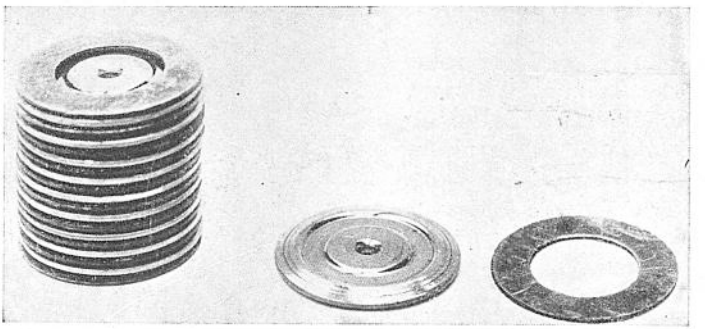
Ochronniki produkcji krajowej wypuściła ostatnio na rynek Fabryka Aparatów Elektrycznych K. Szpotański i S-ka w Warszawie. Ochronniki te działają również na zasadzie oporności, zmieniającej się odwrotnie do zmian wysokości przepięcia. Wymieniona fabryka, opierając produkcję tych ochronników na materjale krajowym i dzięki temu nie będąc skrępowana względami konkurencyjno-celnemi, zastosowała oryginalną własną konstrukcję bardzo silną, toteż ochronniki te są znacznie większe i cięższe od podobnych typów, importowanych z zagranicy. Ochronnik składa się również z iskiernika kulowego, stosu iskierników płytkowych oraz krążków oporowych, wykonanych z materjału, odpowiednio dobranego i badanego we własnych laboratorjach. Ochronniki napowietrzne mają obudowę porcelanową, a wnętrzowe bakelitową. Na rys. 303 „d" widzimy fotografję takiego ochronnika napowietrznego, a na

rys. 303 „c" charakterystyki wartości ochronnej ochronników K. Szpotańskiego przy oporności falowej $Z_1 = 500$ omów.

2. Ochronniki zaworowe inaczej katodowe firmy Westinghouse i firmy Siemens.

[a. Autovalve Lightning Arresters (Cathode-drop Arresters), f. Parafoudre à chute cathodique, n. Kathodenfallableiter].

Przyrząd przeciwprzepięciowy katodowy został zbudowany przez firmę Westinghouse w Ameryce i przez firmę Siemens w Europie na zupełnie innej zasadzie niż wyżej opisane. Jakkolwiek zasada działania tych przyrządów w obu wykonaniach jest jednakowa, to jednak przyrządy te różnią się między sobą. Firma Westinghouse buduje je w ten sposób, że oprócz prądu fazowego praktycznie nie przechodzi przez ochronnik żaden prąd roboczy, a $U_a = (2{,}5 \div 2{,}7)$. $U_n$; Siemens natomiast dopuszcza pewien stosunkowo nie



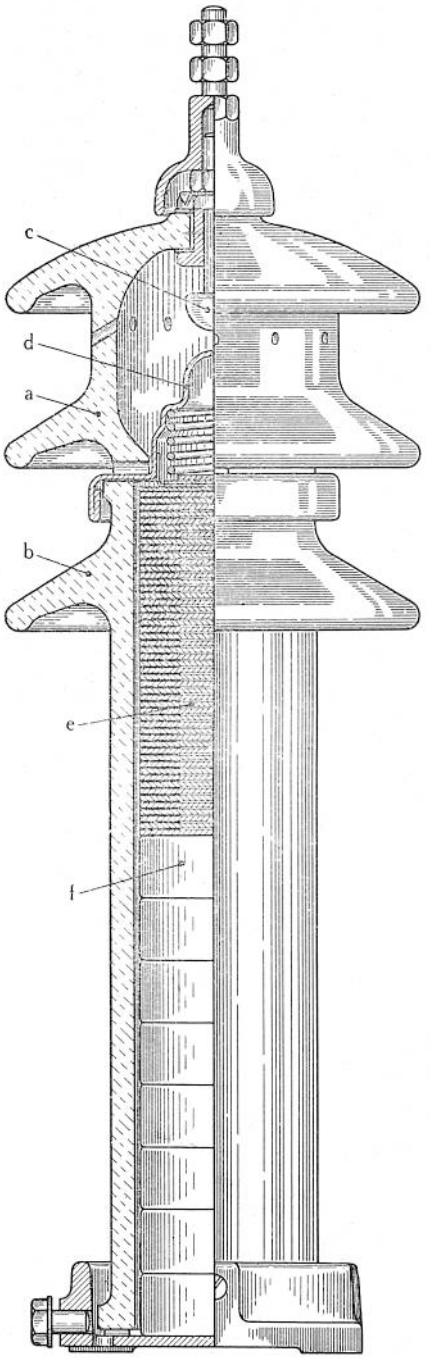
Rys. 300. Iskiernik Wien'a w ochronniku SAW f-my AEG.



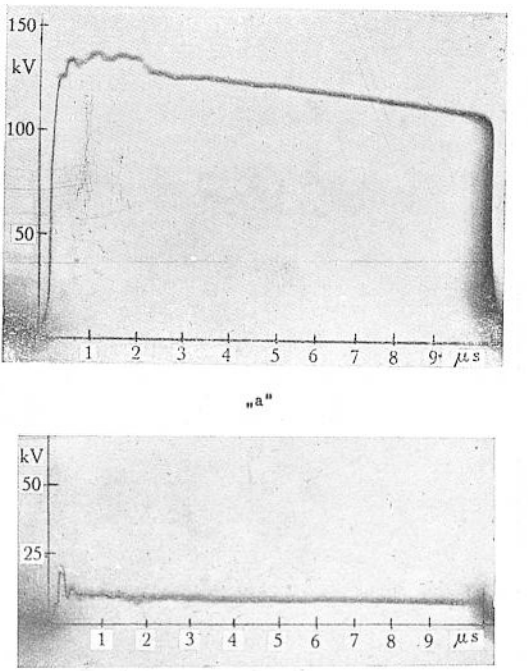

Rys. 301. Ochronnik SAW, 10 kV, w wykonaniu napowietrznem.

wielki prąd roboczy, dzięki czemu uzyskuje lepsze zniżenie przecięcia, a mianowicie wynoszące $U_a = (2 \pm 10\%)$. $U_n$ przy prądzie falowym $J_a = 1\,500$ A.

Zasada ta opiera się na spostrzeżeniu Dra Slepian'a i wyciągniętych stąd dalszych wnioskach, to jest: jeżeli mamy dwie płytki pod pewną różnicą napięć, następuje jonizacja przerwy, dzięki czemu zaczyna płynąć prąd: mamy wyładowanie niewidoczne. Wmiarę wzrostu różnicy napięć rośnie także jonizacja, następuje przebicie, a więc wyładowanie iskrowe. Gdy przy przeskoku jonizacja zwiększa się w dalszym ciągu, iskra utrzymuje się i przechodzi w łuk. Jeżeli podczas istnienia łuku jonizacja będzie wzrastała, to napięcie łuku spada wraz ze wzrostem jego prądu. Jest to t. zw. spadająca charakterystyka łuku, rozpatrzona przez nas w rozdziale o odłączaniu zwarć (rys. 103). Jeżeli natomiast łuk sztucznie wydłużymy i przepuścimy przez wązki kanalik w dielektryku, to skutkiem napotykanych oporności łuk będzie miał charakterystykę rosnącą, t. j. wraz ze wzrostem napięcia łuku rośnie jego prąd, dzięki czemu łuk w tych warunkach nie utrzymuje się i łatwo niknie. Jeżeli z nieprzewodzącego materjału drobnoziarnistego porowatego zrobimy płytki, którym nadamy taki kształt, aby od-

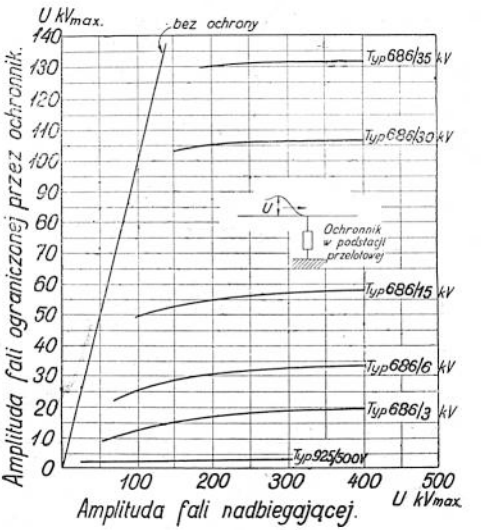



Rys. 302. Przekrój przez ochronnik resorbitowy.



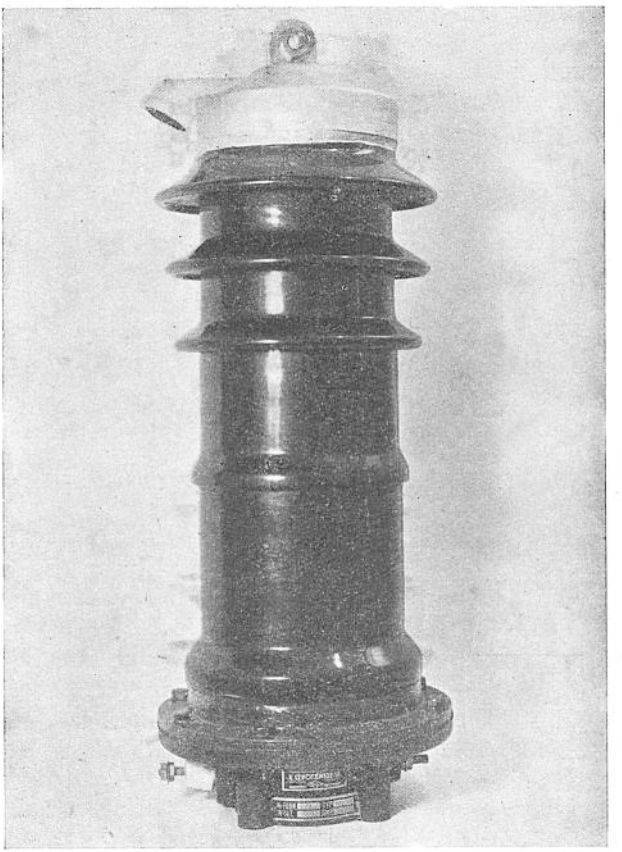

Rys. 303. Wpływ przyrządu ochronnego resorbitowego na falę uskokową:

„a" — oscylogram fali odbitej na końcu przewodu nieochranianego, „b" — oscylogram resztki fali zniszczonej przyrządem ochronnym resorbitowym firmy BBC.




Rys. 303 „c". — Charakterystyki wartości ochronnej ochronników firmy K. Szpotański i S-ka, Fabr. Ap. El. w Warszawie.

ległość między niemi na brzegach wynosiła setne części milimetra, lub przedzielimy je, ułożone jedna na drugiej, cienkiemi pierścieniami mikowemi, przyczem odległość między niemi wynosić ma dziesiąte części milimetra, to pod wpływem napięcia, na które włączymy końce takiego stosu (rys. 304), nie otrzymamy wyładowania łukowego, lecz wyładowanie tlejące (rys. 305), dzięki czemu oporność ochronnika silnie maleje wraz z rosnącym prądem. Wyładowanie to zniknie, gdy napięcie to spadnie poniżej 300 V na 0,01 mm przerwy iskrowej. Napięcie, wywołujące wyładowanie tlejące, możemy obniżyć przez wykonanie płytki porowatej półprzewodzącej, a więc z domieszką jakiegoś sproszkowanego metalu, np. aluminjum, niklu i t. p. Dzięki półprzewodzącemu materjałowi płytek oporność ich również bardzo silnie maleje wraz z rosnącym prądem wyładowania tak, że napięcie na ochronniku niewiele się zniża wraz z rosnącym prądem wyładowania (rys. 306 „a" i „b"). Pory w tych płytkach oporowych odrywają rolę kanalików, tłumiących łuk. W przyrządzie tym nastąpi więc wrazie przepięcia wyładowanie o gęstości prądu fali do 45 A/cm² powierzchni płytki i z chwilą, gdy amplituda przepięcia spadnie do wysokości amplitudy napięcia roboczego, wyładowanie przerywa się.

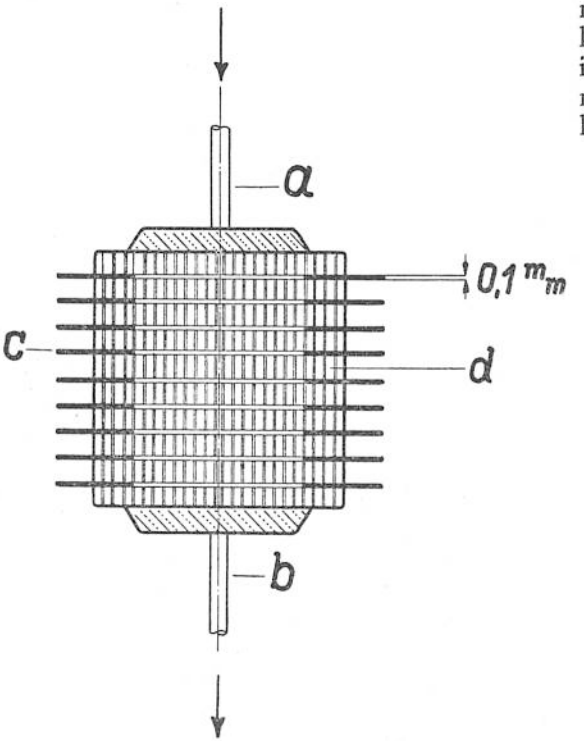


Rys. 303. „d" — Ochronnik napowietrzny dla 15 kV. firmy K. Szpotański i S-ka, Fabr. Ap. El. w Warszawie.

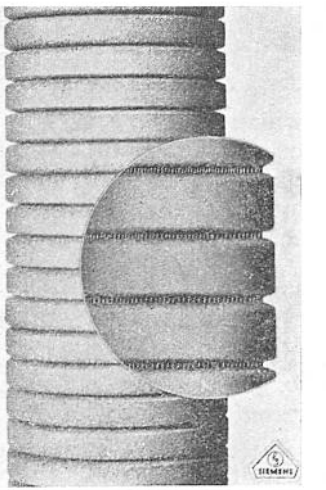
Działanie tego przyrządu jest więc zawo-rowe, a osiąga się je dzięki temu że w przerwie iskrowej, t. j. między-płytkowej tuż przy katodzie grupuje się przestrzenny ładunek dodatni, t. j. chmura jonów tak, że na krótkiej drodze przerwy iskrowej, tuż przy katodzie, mamy duży spadek napięcia, t. zw. spadek katodowy (rys. 105), rozpatrzony bliżej w rozdziale o odłączaniu zwarć. Tem właśnie zjawiskiem tłumaczy się niemiecka nazwa tego przyrządu w wykonaniu Siemens'a, a mianowicie „Kathodenfallableiter". Przyrządy te buduje się na

napięcia robocze od niskich począwszy do 132 kV, a SSW do 110 kV. Przyrząd ten, podobnie jak poprzednio opisany, łączy się między fazę i ziemię przez zwykłą przerwę iskrową. Cały przebieg wyładowania w tym przyrządzie rzadko kiedy przekracza 0,001 sek., a prąd roboczy, płynąc o natężeniu nie przekraczającem 5÷6 A, przerywa się po upływie 0,005 sek.

Na rys. 307 widzimy przyrządy przeciwprzepięciowe katodowe, zbudowane przez firmę Siemens, a na rys. 308 przekrój takiego przyrządu. Podobnie jak w przyrządach, należących do grupy opisanej poprzednio, widzimy tu regulowany iskiernik kulowy *c* oraz dodatkowy iskiernik płytkowy *d*, poniżej którego ułożono stos katodowy *e*.




Rys. 304. Schemat stosu katodowego:
„a" — elektroda dopływowa, „b" — elektroda odpływowa, „c" — pierścienie mikowe, „d" — płytki porowate.



Rys. 305. Wyładowania tlejące w stosie katodowym.

Znikome skutki jonizacji, występującej podczas wyładowania, unieszkodliwia się dzięki własnościom chłonnym specjalnego lakieru, którym pokrywa się wnętrze rury, zawierającej ochronnik.

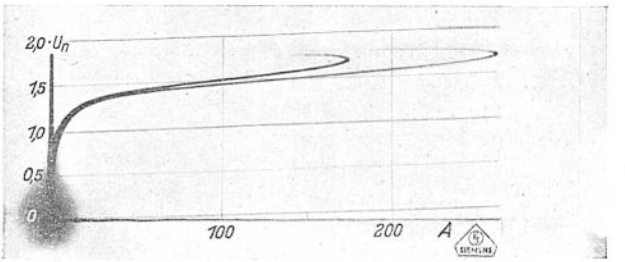
Przyrząd ten dołącza się do przewodu roboczego zapomocą śruby *b*, umieszczonej w głowicy żeliwnej *a*, nakrywającej rurę porcelanową. Ziemię dołącza się do zacisku *f*. Rys. 309 wskazuje, w jaki sposób wykonywa się takie przyłączenie na ochranianej stacji.

Jak widzimy, różnica konstrukcyjna między przyrządami katodowemi i zmienno-oporowemi, polega jedynie na tem, że w pierwszych z nich dolna wstawka jest stosem katodowym, a w drugich dolną wstawkę stanowią rurki oporowe albotеż, jeśli są one podzielone na mankiety, stos tych mankietów.

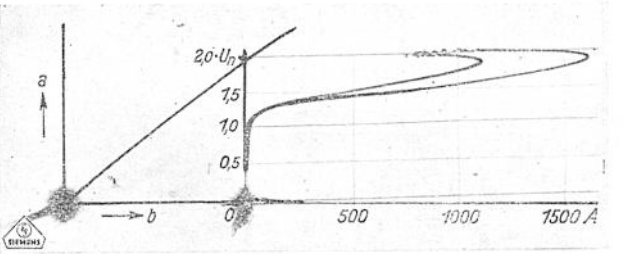
Działanie przyrządu katodowego najlepiej ilustrują oscylogramy, podane na rys. 310, 311 i 312.

Wszystkie wyżej wymienione przyrządy, zarówno grupy zmienno-oporowej jak i katodowej, mogą być zaopatrywane w liczydła wyładowań (rys. 313) dla każdej fazy oddzielnie, co ze względów ruchowych i statystycznych jest okolicznością ważną, godną podkreślenia.

Przyrządami temi możemy się również posiłkować dla bocznikowania dławików przeciwzwarciowych oraz szeregowo w sieć włączonych uzwojeń transformatorów, regulujących napięcie w sieci, a wreszcie dla uziemiania punktu zerowego transformatorów, dzięki czemu unikamy przepięć rezonansowych i, co za tem idzie, przebić z punktu gwiazdowego do ziemi, powstałych skutkiem nieparzystych wyższych harmonicznych w transformatorach połączonych obustronnie w gwiazdę, a w szczególności w specjalnie obfitujących w wyższe harmoniczne transformatorach płaszczowych cztero lub pięcio rdzeniowych; przedewszystkiem jednak uziemianie takie stosujemy przy układach, złożonych z trzech transformatorów jednofazowych, jakie czasami są używane przy najwyższych napięciach ze względu na obniżenie kapitału zainwestowanego w maszynach zapasowych.




„a"




„b"

Rys. 306. Katodowe oscylogramy przebiegu napięcia na ochronniku katodowym R = 478 w zależności od natężenia prądu wyładowania.

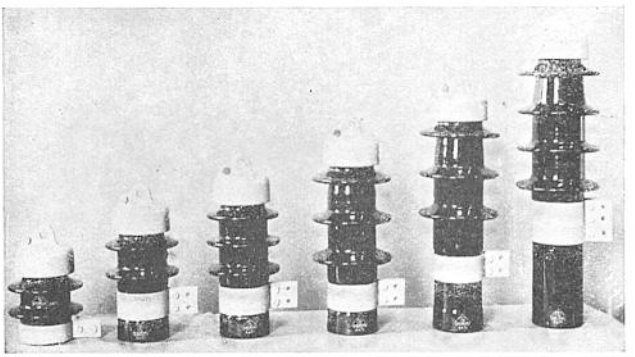
$U_n$ — najwyższe napięcie robocze, dopuszczalne dla danego ochronnika; „a" — przy małych prądach wyładowania, „b" — przy dużych prądach wyładowania, (dla porównania z lewej strony podano charakterystykę tę dla oporności o stałej wielkości równej 10,8).

Widzimy więc, że zasadniczą różnicę między przyrządami przeciwprzepięciowemi o wartości ochronnej stałej lub zmiennej skokami, a przyrządami takiemi o wartości ochronnej zmiennej w sposób ciągły jest okoliczność, że pierwsze z nich nie ograniczają wielkości przepięcia, lecz tylko zniżają je o pewien procent, drugie natomiast utrzymują napięcie w sieci w granicach, prawie zupełnie niezależnych od wysokości przepięcia.

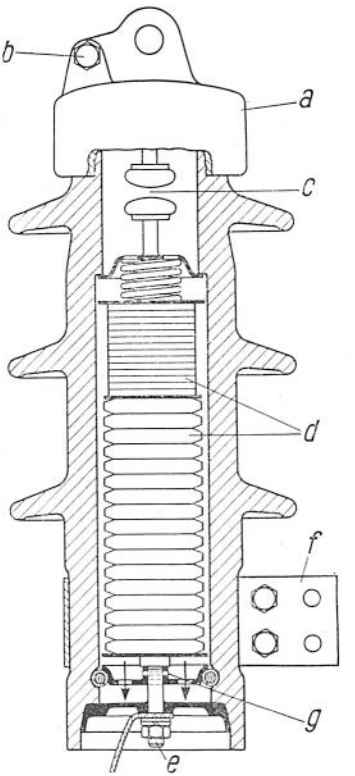
## 13. Koordynacja izolacji urządzeń.

Szczególnie niekorzystne warunki pracy pod względem przepięć mamy wówczas, gdy do sieci napowietrznych są przyłączone stacje wnętrzowe.

Charakter pracy linij napowietrznych wymaga bowiem wtedy zastosowania izolacji, któraby nie spadła poniżej wymaganego stopniem bezpieczeństwa minimum pomimo mgły, rosy, deszczu, kurzu, przeróżnych osadów, zarysowań porcelany i t. p. okoliczności, nie istniejących prawie zupełnie w stacjach wnętrzowych. Z tej racji izolacja linji podczas suchej burzy jest już o 43% silniejsza od izolacji stacyjnej. Jeżeli nawet zastosujemy dla linji zniżony stopień bezpieczeństwa, to i taka izolacja jej będzie silniejsza o 30%, a w pewnych przypadkach nieraz o 100%, od izolacji stacji. W ten sposób punkt bezwzględnie ważniejszy ruchowo i bardziej wartościowy od sieci, t. j. stacja, jest punktem izolacyjnie słabszym. Dla zdania sobie sprawy z wytrzymałości izolacji poszczególnych części urządzeń zestawimy napięcia przeskoku czyteż napięcia próbne dla tych części według obowiązujących przepisów:



Rys. 307. Przyrządy ochronne przeciwprzepięciowe katodowe w wykonaniu napowietrznem, typ T. Gr. R. 478 do napięć znamionowych. 1,5 i 3 kV, 6 kV, 8 i 10 kV, 12 i 15 kV, 20 kV, 25 i 30 kV.




Rys. 308. Przekrój przez przyrząd ochronny przeciwprzepięciowy katodowy.

*Izolatory wnętrzowe (stacyjne):*

VDE: pełny stopień bezpieczeństwa $U_s = 1{,}1 \cdot (2{,}2 \cdot U_n + 20) \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$

zniżony „ „ $U_s = 1{,}1 \cdot (2 \cdot U_n + 10) \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$

IEC oraz PNE — 8/1931 . . . . $U_s = 1{,}05 \cdot (2 \cdot U_n + 10) \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$

Spółczynnik impulsu średnio $\beta = 1{,}5$

*Izolatory napowietrzne (stacyjne i linjowe):*

Jak już poprzednio zauważyliśmy, napięcie przeskoku na mokro (deszcz) jest równe 0,7-krotnemu napięciu przeskoku na sucho tak, że według VDE przy pełnym stopniu bezpieczeństwa

$$U_s = 1{,}43 \cdot 1{,}1 \cdot (2{,}2 \cdot U_n + 20) \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$$

Spółczynnik impulsu średnio $\beta = 1{,}3$.

*Maszyny wirujące:*

VDE (REM — 1930): uzwojenia maszyn próbuje się napięciem

$$U_p = (2 \cdot U + 3) \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}},$$

gdzie $U$ jest napięciem skojarzonem najwyższem w kV.
IEC oraz PNE — 23/1932: maszyny o mocy $>$ 3 kW lub kVA

$$U_p = (2\,U + 1) \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$$

maszyny o mocy $\geqslant$ 10 000 kW lub kVA

przy najwyższem napięciu skojarzonem $U \leqslant 2$ kV $U_p = (2U + 1) \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$
„ „ „ „ $U \leqslant 6$ „ $U_p = 2{,}5\ U \cdot \sqrt{2}$ „
„ „ „ „ $U > 6$ „ $U_p = (2U + 3) \cdot \sqrt{2}$ „

*Transformatory:*

VDE (RET — 1930): uzwojenia transformatorów powinny być próbowane napięciem:

olejowe przy $U < 10$ kV $U_p = 3{,}25 \cdot U \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$, jednak nie mniej niż $2{,}5 \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$
„ „ $U > 10$ „ $U_p = (1{,}75 \cdot U + 15) \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$
„ „ $U > 60$ „ $U_p = 2 \cdot U \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$
suche „ $U < 10$ „ $U_p = 3{,}6 \cdot U \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$, jednak nie mniej niż $2{,}8 \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$
„ „ $U > 10$ „ $U_p = (2 \cdot U + 16) \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$,

przyczem wyładowania tlejące transformatorów suchych, próbowanych w stanie zimnym, rozpoczynają się od $0{,}8 \cdot U_p$.

AIEE:

$$U_p = (2 \cdot U + 1) \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}.$$

*Izolatory przepustowe:*

VDE (RET — 1930 i R. E. H. — 1932):

przy napięciu rzędu $U_r \leqslant 2{,}5$ kV $U_s = 11 \cdot U_r \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$, jednak nie mniej niż $2{,}75 \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$
„ „ „ $U_r > 2{,}5$ kV $U_s = 1{,}1\,(2{,}2 \cdot U_r + 20) \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$,

przyczem część zanurzona w oleju musi wytrzymać napięcie próbne o 15% wyższe od napięcia próbnego napowietrznej części izolatora przepustowego, a to w tym celu, aby wyładowanie nastąpiło zawsze w części napowietrznej, a nie w części zanurzonej w oleju.

Napięcie przebicia $U \geqslant 1{,}4 \cdot 1{,}1 \cdot (2{,}2 \cdot U_r + 20) \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$

AIEE: $U_p = (2{,}25 \cdot U + 2) \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$

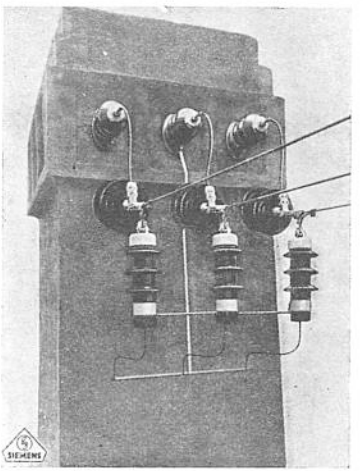
Dla zwykłych izolatorów przepustowych $\beta = 1{,}5$, a dla wykonanych kondensatorowo $\beta = 1{,}75$.

*Odłączniki:*

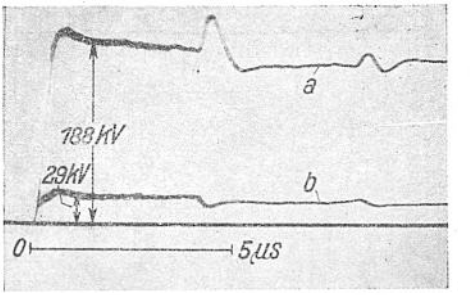
VDE (REH — 1929):

$$U_s = 1{,}1 \cdot (3{,}3 \cdot U_r + 20) \cdot \sqrt{2}\ \mathrm{kV_{max}}$$

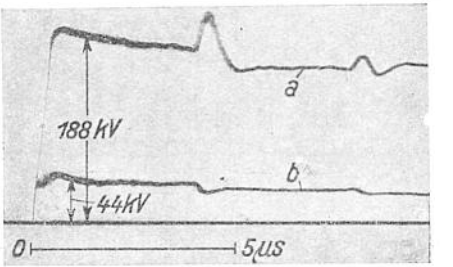
Z rozważań tych wynika, że na najcenniejszej części urządzenia, bo na transformatorze wyładowanie następuje przy najniższem napięciu, które przyjmując jako $U_w = 1$ i uwzględniając przytem średnie spółczynniki $\beta$ impulsu fali uskokowej dla poszczególnych części urządzeń znajdujemy, że napięcie wyładowania oraz opóźnienie wyładowania ustosunkowuje się mniejwięcej w sposób następujący:



Rys. 309. Przykład ustawienia u wejścia do transformatorni przyrządów ochronnych przeciwprzepięciowych typu K 478, katodowych, dla 1,5 ÷ 30 kV.




Rys. 310. Oscylogram przebiegu w czasie fali wędrownej w stacji krańcowej:
„a" — nieochranianej, „b" — ochranianej przyrządem przeciwprzepięciowym katodowym Siemens'a dla napięcia roboczego 10 kV.




Rys. 311. Oscylogram przebiegu w czasie fali wędrownej w stacji krańcowej:
„a" — nieochranianej, „b" — ochranianej przyrządem przeciwprzepięciowym katodowym Siemens'a dla napięcia roboczego 15 kV.

| | | |
|---|---|---|
| w maszynach uzwojonych | $U_w = 1$ | $t \leqslant 25$ µs |
| w transformatorach miernikowych | $U_w = 2$ | $t \leqslant 20$ „ |
| w izolatorach wnętrzowych | $U_w = 2{,}5$ | $t \leqslant 5{,}75$ „ |
| „ „ napowietrznych | $U_w = 3{,}6$ | $t \leqslant 16$ „ |
| „ „ przepustowych wnętrzowych | $U_w = 2{,}5$ | $t \leqslant 20$ „ |
| „ „ przepustowych napowietrznych | $U_w = 3{,}6$ | $t \leqslant 20$ „ |

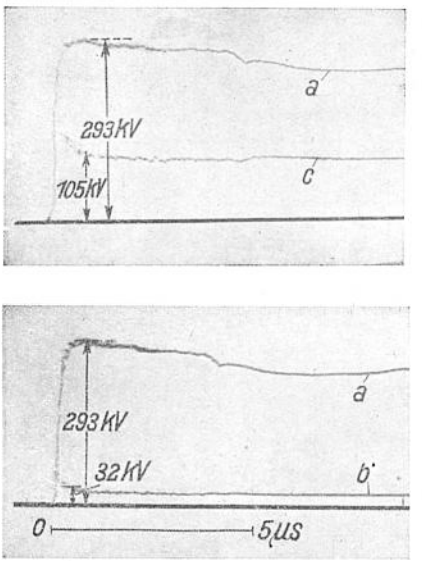
w przyrządzie przeciwprzepięciowym rożkowym, który zresztą podobnie jak i przyrząd o iskierniku kulowym nastawiony jest na 1,5-krotne napięcie robocze będziemy mieli:

$$U_w = 1{,}5 \cdot U \cdot \sqrt{2} \cdot \beta,$$

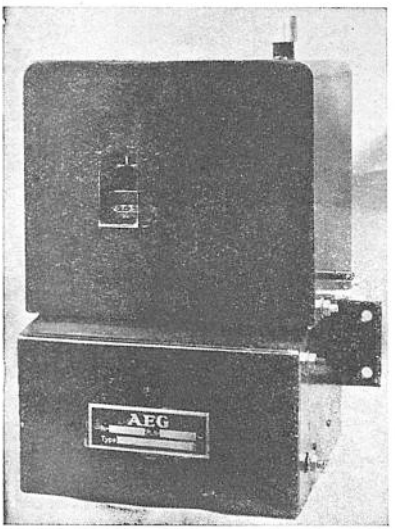
gdzie według Roth'a dla rożków $\beta = 2{,}25$, a dla iskierników kulowych $\beta = 1$

| | | | |
|---|---|---|---|
| w iskierniku | rożkowym | $U_w = 2{,}5$ | $t = 0{,}92 \div 3{,}1$ $\mu s$ |
| „ | „ | kulowym | $U_w = 1{,}1$ | $t \simeq 0$ $\mu s$. |

Z powyższych danych widzimy, że jeżeli transformator nie zostaje przebity, to tylko dzięki zachodzącemu w nim dużemu opóźnieniu wyładowania, przed którego upływem przepięcie zazwyczaj spada do wysokości niższej niż ta, która jest potrzebna do wyładowania. Z powyż-



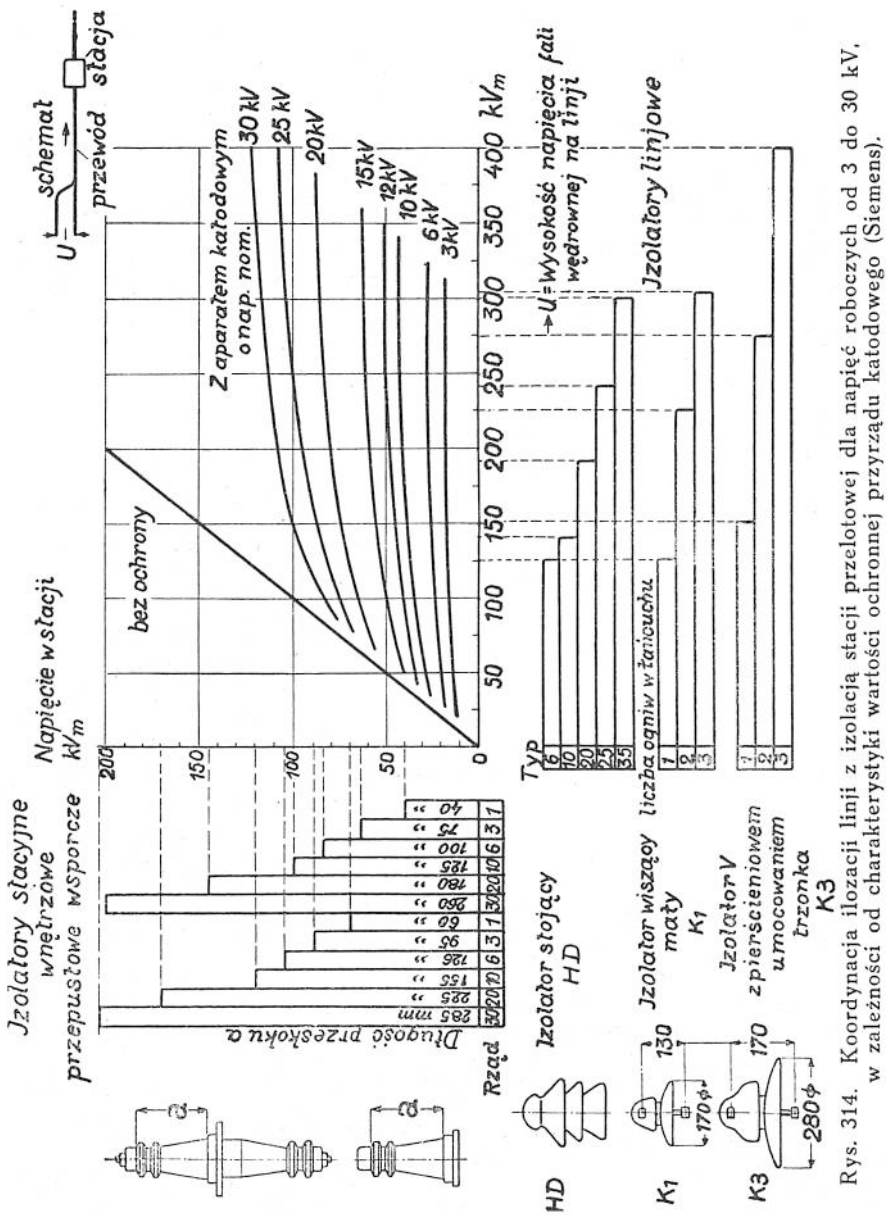

Rys. 312. Oscylogram przebiegu w czasie fali wędrownej w stacji krańcowej:
„a" — nieochranianej, „b" — ochranianej przyrządem przeciwprzepięciowym katodowym Siemens'a dla napięcia roboczego 10 kV, „c" — ochranianej aparatem przeciwprzepięciowym katodowym Siemens'a dla napięcia roboczego 40 kV.




Rys. 313. Licznik wyładowań w ochronniku SAW firmy AEG.

szego zestawienia wynika również, że tylko przy dobrze utrzymywanym i właściwie nastawionym ochronniku różkowym wyładowanie następuje zwykle w nim, a nie wzdłuż izolatorów wnętrzowych wsporczych i przepustowych. Oczywiście, że poszczególne opóźnienia wyładowania mogą ulec znacznemu skróceniu, o ile do poszczególnych urządzeń dojdzie przepięcie odpowiednio wyższe; w takim razie mogłoby już nie być mowy o uzyskaniu stopniowania tak, że mógłby być przebity transformator, a nie np. izolator. Ta okoliczność ogranicza swobodę w stosowaniu bardzo silnej izolacji linji, a tylko użycie przyrządów przeciwprzepięciowych o wartości ochronnej zmiennej w sposób ciągły daje nam do pewnego stopnia wolną rękę w tym

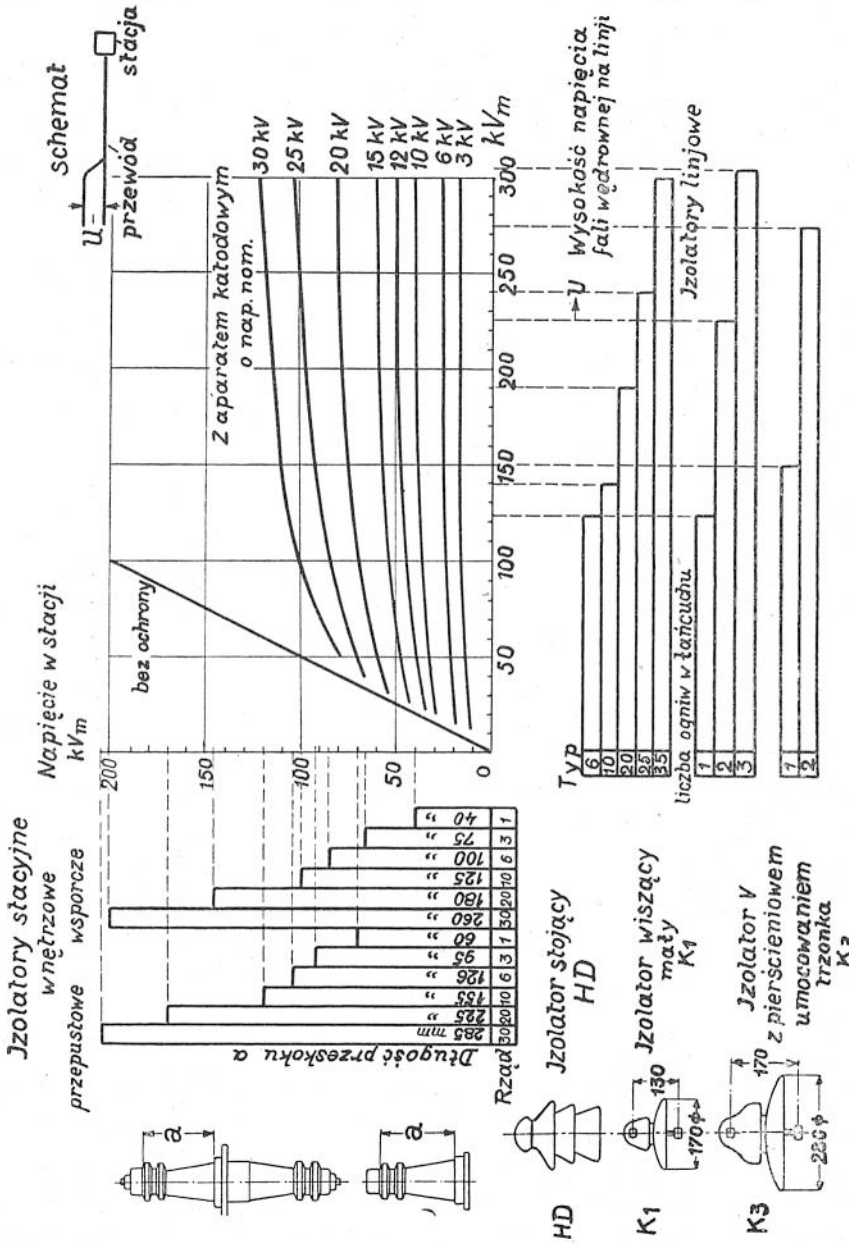
kierunku. Aby się o tem przekonać, wyrysujemy wzdłuż osi współrzędnych charakterystyki wartości ochronnej przyrządów przeciwprzepięcio-




Rys. 314. Koordynacja ilozacji linii z izolacją stacji przelotowej dla napięć roboczych od 3 do 30 kV, w zależności od charakterystyki wartości ochronnej przyrządu katodowego (Siemens).

wych, naprzykład katodowych (Dr. Müller-Hillebrand), napięcie przeskoku izolatorów stacyjnych i linjowych, w skali, w kształcie odpowiednio wysokich słupków. Krzywe te, wykonane dla napięć roboczych od 3 do 30 kV

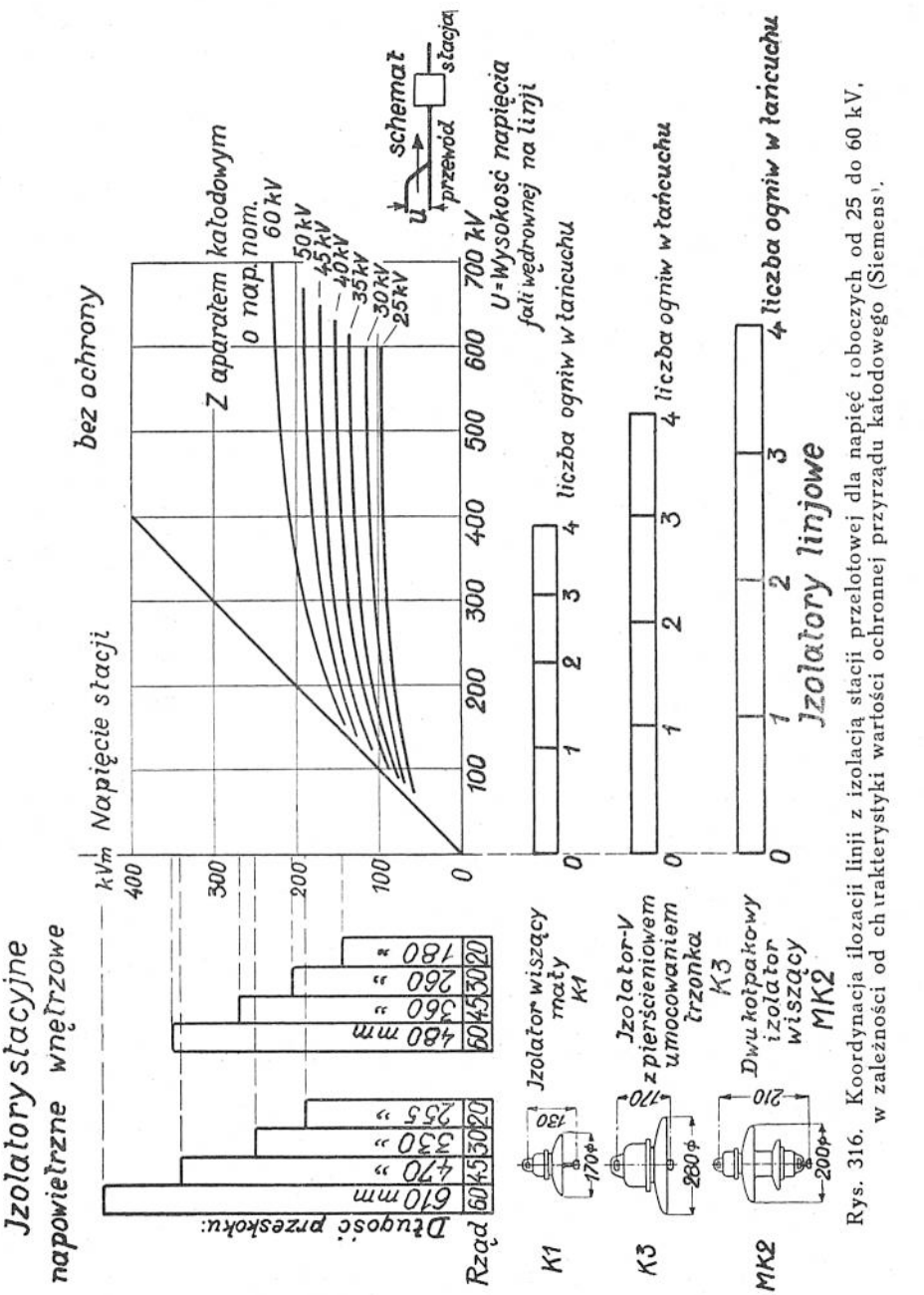
oraz od 25 do 60 kV w założeniu, że ochronniki są przyłączone do linji o oporności falowej $Z_1 = 500$ omów, widzimy na rys. 314, 315, 316 i 317, osobno dla stacyj przelotowych oraz końcowych. Przypuśćmy, że zbudowa-




Rys. 315. Koordynacja izolacji linji z izolacją stacji krańcowej dla napięć roboczych od 3 do 30 kV, w zależności od charakterystyki wartości ochronnej przyrządu katodowego (Siemens).

liśmy linję 20 kV z ramiennikami żelaznemi uziemionemi, stosując izolatory HD 20, których udarowe napięcie przeskoku wynosi $U = 180$ kV. Należy więc liczyć się z tem, że do stacji przelotowej o tej właśnie wysokości do-

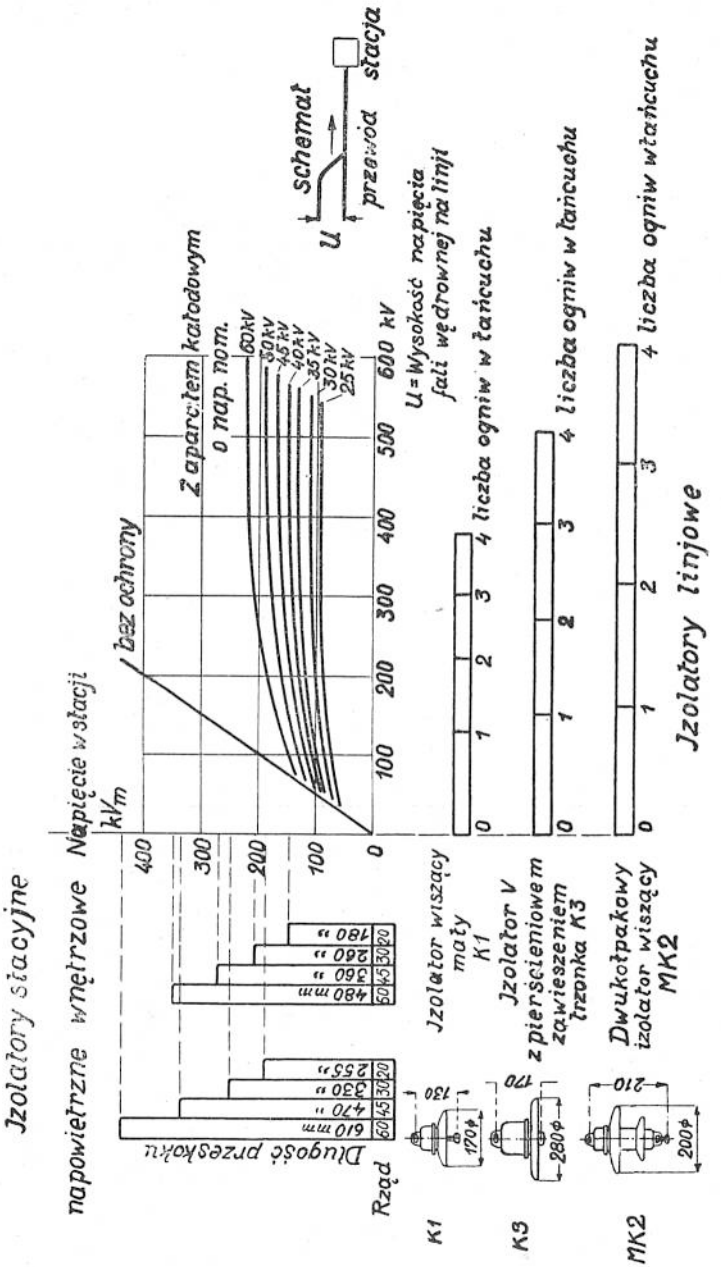
staje się fala wędrowna (rys. 314). Jeżeli w stacji użyte zostały izolatory wnętrzowe rzędu 20, to spewnością będą przebite raczej one, a nie izolatory




Rys. 316. Koordynacja ilozacji linji z izolacją stacji przelotowej dla napięć roboczych od 25 do 60 kV, w zależności od charakterystyki wartości ochronnej przyrządu katodowego (Siemens').

linjowe, gdyż posiadają napięcie przeskoku, wynoszące zaledwie 145 kV i dopiero przeprowadzona w stacji zamiana izolatorów rzędu 20 na izolatory

rzędu 30, o napięciu przeskoku 195 kV, ledwie nieco poprawi sytuację. Zabieg ten nie będzie jednak wystarczał wówczas, gdy w stacji odłączymy linję tak,




Rys. 317. Koordynacja izolacji linji z izolacją stacji krańcowej dla napięć roboczych od 25 do 60 kV, w zależności od charakterystyki wartości ochronnej przyrządu katodowego (Siemens).

że stacja z przelotowej stanie się krańcową. Wtedy przepięcie w stacji odbije się i zdwoi czoło tak, że wynosić będzie $2 \times 180 = 360$ kV. A więc dopiero użycie izolatorów wnętrzowych rzędu 60 i odpowiednie do tego

rzędu izolowanie transformatora i t. d. mogłoby zapobiec uszkodzeniom w stacji. Jeżeli przyłączymy w niej do szyn zbiorczych jeden komplet przyrządów ochronnych katodowych na 20 kV, to jak wynika z obu wyżej wymienionych rysunków, przepięcie wynoszące na linji 180 kV, w stacji zniża się do 75 kV tak, że obecnie wystarczy izolacja stacji nawet krańcowej, odpowiadająca nietylko rzędowi 20, lecz nawet rzędowi 6. Teraz więc nie stoi już nic na przeszkodzie, aby stosownie do poszczególnej potrzeby i bez szkody dla stacji izolować linję znacznie mocniej.

Dopieroco rozpatrzone zagadnienie jest szczególnie ważne w urządzeniach o napięciu roboczem do ok. 20 kV, gdzie zwykle sieć jest nazbyt dobrze izolowana, jak to się dzieje z zasady przy budowie linji na słupach drewnianych i betonowych z nieuziemionemi ramiennikami lub na słupach żelaznych z izolatorami wiszącemi. W dodatku w linjach tych tłumienie fal wędrownych jest bardzo nieznaczne, gdyż napięcie krytyczne ulotu leży znacznie powyżej napięcia przeskoku na sucho. Inaczej sprawa ta przedstawia się w sieciach o napięciu roboczem, począwszy już od 45 — 60 kV, a najlepiej przy napięciach najwyższych, i tak naprzykład:

W linji 100 kV długość przeskoku izolatorów wsporczych stacyjnych:

1) wnętrzowych: wynosi $a_w = 750$ mm; udarowe napięcie przeskoku $U_s = 530$ kV,

2) napowietrznych: $a_n = 1030$ mm $U_s = 640$ kV.

Linję izolujemy natomiast na izolatorach np. $6 \times K3$ o wysokości udarowego napięcia przeskoku = 730 kV; krytyczne napięcie ulotu $U_{kr} = 200$ kV.

A dla linji 200 kV:

$a_n = 2300$ mm $U_s = 1350$ kV
krytyczne napięcie ulotu $U_{kr} = 300$ kV.

W przypadku, gdy sieci zbudowane są na słupach drewnianych lub betonowych z nieuziemionemi konstrukcjami, może wtargnąć do stacji przepięcie o wysokości $U'_1$ tak znacznej, że jeden komplet ochronników katodowych nie wystarczy. Wówczas, stosownie do wysokości tego przepięcia $U_1$, ochraniamy stację $n$ ochronnikami katodowemi. Ilość ich znajdziemy ze wzoru ogólnego, wyprowadzonego przez nas w rozdziale o wielkości oporności upustowej:

$$U_a \cdot \frac{n \cdot Z_1}{R} + U_a \cdot \left( n_1 + n_2 \frac{Z_1}{Z_2} \right) = 2 \cdot U_1' \cdot n_1$$

Stąd wielkość przepięcia unieszkodliwionego $n$ ochronnikami:

$$U_1' = \frac{1}{n_1} \cdot \frac{U_a}{2} \cdot \left[ \frac{n \cdot Z_1}{R} + (n_1 + n_2) \frac{Z_1}{Z_2} \right]$$

Gdy mamy tylko jeden ochronnik założony, t. j. gdy $n = 1$, jesteśmy wów-

czas zabezpieczeni od przepięcia, nadbiegającego z linji $U_1$, które odczytujemy na osi odciętych (x-ów) na rys. 83, 84, 85 i 86 i które równa się:

$$U_1 = \frac{1}{n_1} \cdot \frac{U_a}{2} \left[ \frac{Z_1}{R} + (n_1 + n_2) \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \right]$$

Wyżej podany wzór na zwiększone przepięcie wyrazimy w wielkości przepięcia nadbiegającego $U_1$ przy jednym ochronniku i przepięcia przepuszczonego $U_a$:

$$U_1' = n \cdot \frac{1}{n_1} \cdot \frac{U_a}{2} \left[ \frac{Z_1}{R} + \frac{1}{n} (n_1 + n_2) \frac{Z_1}{Z_2} \right] =$$

$$= n \cdot \frac{1}{n_1} \cdot \frac{U_a}{2} \left[ \frac{Z_1}{R} + (n_1 + n_2) \frac{Z_1}{Z_2} + \frac{1-n}{n} (n_1 + n_2) \frac{Z_1}{Z_2} \right] =$$

$$= n \cdot \frac{1}{n_1} \cdot \frac{U_a}{2} \cdot \left[ \frac{Z_1}{R} + (n_1 + n_2) \frac{Z_1}{Z_2} \right] + n \cdot \frac{1}{n_1} \cdot \frac{U_a}{2} \cdot \frac{1-n}{n} (n_1 + n_2) \frac{Z_1}{Z_2} =$$

$$= n \cdot U_1 + \frac{U_a}{2} \cdot \frac{1-n}{n} \cdot (n_1 + n_2) \frac{Z_1}{Z_2}$$

Gdy do stacji dochodzą tylko linje jednotorowe tak, że $n_1 = 1$; gdy ilość linij skoncentrowanych na danych szynach zbiorczych stacji jest $n_1 + n_2 = a$ i gdy oporności falowe wszystkich linij są jednakowe tak, że $Z_1 = Z_2$, wówczas:

$$U_1' = n \cdot U_1 + \frac{U_a}{2} \cdot (1 - n) \cdot a$$

A stąd konieczna ilość ochronników do zniżenia przepięcia $U_1'$ do wysokości $U_a$:

$$n = \frac{2 \cdot U_1' - U_a \cdot a}{2 \cdot U_1 - U_a \cdot a}$$

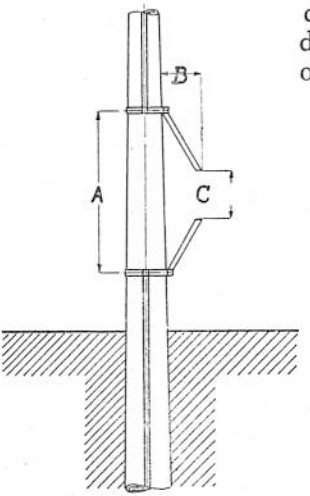
Ponieważ ochronniki katodowe pracują z bardzo małem opóźnieniem, przeto wrazie odbicia się resztki fali, t. j. fali przepuszczonej $U_a$, i skutkiem tego prawie że zdwojenia się jej czoła prędzej nastąpi wyładowanie w ochronniku niż w jakiejkolwiek innej części urządzenia. Gdyby jednak obawa wcześniejszego wyładowania nie w ochronniku, a właśnie w jakiejś części urządzenia była umotywowana specjalnemi warunkami miejscowemi, jak naprzykład dość znaczną odległością transformatora od ochronników, wówczas ustawia się w bezpośredniem sąsiedztwie tego transformatora jeden ochronnik. W innych podobnych przypadkach obniżamy falę przepuszczoną do wysokości $U_a' = {}^1/_2 U_a$ i wówczas należałoby przyłączyć do danych szyn zbiorczych:

$$n = \frac{4 \cdot U_1' - U_a \cdot a}{4 \cdot U_1 - U_a \cdot a} \text{ ochronników.}$$

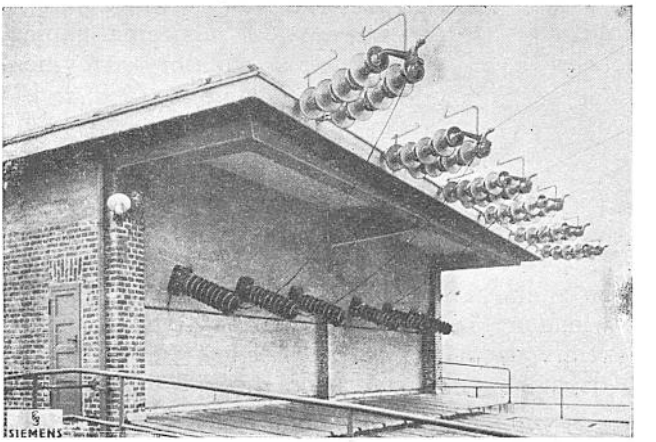
## 14. Iskierniki ochronne.

(f. Eclateurs de coordination. n. Überspannungs-Begrenzungsketten).

Aby uchronić przyrządy stacyjne oraz maszyny od uszkodzeń w przypadku, gdy przyrządy ochronne przeciwprzepięciowe zawiodą, w Ameryce ustawia się t. zw. iskiernik ochronny, który zostaje przebity pod wpływem fali uskokowej o charakterystyce niższej o 15% od wielkości, powodujących przebicie izolatorów czyteż transformatorów. Iskiernik taki zrobiony jest z dwóch wąsów metalowych o przekroju kwadratowym około 12,5 mm × 12,5 mm. Końce tych wąsów są rozcięte i tworzą cztery kwadratowe zakończenia, a to dla większego zbliżenia działania tego iskiernika do działania iskiernika ostrzowego. Iskierniki takie ustawia się dookoła ob-




Rys. 318. Iskiernik ochronny Peek'a dla ochrony słupów drewnianych.




Rys. 319. Iskiernik ochronny według A. Vaupel'a.

objektu ochranianego, np. transformatora, w promieniu przewodowym ok. 30 m. Ograniczają one wysokość przepięcia, jednak działanie ich powoduje przeważnie wyłączenie z pracy całego ochranianego urządzenia. Amerykanie są zdania, że taka przerwa w pracy jako krótkotrwała jest lepsza, niż przerwa o wiele dłuższa, jaka następuje skutkiem uszkodzenia jakiejś części urządzenia, gdy nie założono iskierników ochronnych. Zasadniczo iskiernik ten działa naprzykład w przypadku rozbicia przyrządu ochronnego przeciwprzepięciowego.

Na rys. 318 widzimy iskiernik ochronny proponowany przez Peek'a, specjalnie przystosowany do zakładania na słupach drewnianych celem ochrony słupa (n. Splitterschutz) przyczem Peek zaleca zachowanie następujących stosunków między poszczególnemi wymiarami: $A = 2\,C$, $B = \frac{1}{6} A$. Melwin natomiast proponuje stosować: $A = 2{,}86\,C$, $B = \frac{1{,}2}{6} A$. Według Peek'a np. $A = 183{,}0$ cm, $B = 30{,}5$ cm, $C = 91{,}5$ cm.

Na rys. 319 widzimy natomiast fotografję iskiernika ochronnego w wykonaniu dla urządzeń o napięciach począwszy od 60 kV wzwyż według A. Vaupel'a.

Iskierniki ochronne nastawia się podobnie jak i uzbrojenia ochronne według znanego nam już wzoru: $U_{sr} = n \cdot U_{si}$, gdzie $U_{si}$ jest napięciem przeskoku izolatora na sucho, $U_{sr}$ napięciem przeskoku rożków, a wreszcie

$$n = \frac{\alpha_i \cdot \beta_i}{\alpha_i + \alpha_r (\beta_i - 1)}$$

Przypuśćmy, że stację mamy izolowaną według przepisów VDE z pełnym stopniem bezpieczeństwa dla napięcia roboczego skutecznego międzyprzewodowego $U = 100$ kV:

$$U_{sz} = \gamma \cdot n \cdot 1{,}1 \cdot (2{,}2 \cdot U + 20) \cdot \sqrt{2},$$

gdzie $\gamma$ jest spółczynnikiem obniżenia napięcia przeskoku na iskierniku ochronnym, bocznikującym izolatory stacyjne. Jeżeli napięcie to obniżymy tak, jak czynią Amerykanie, o 15%, t. j. gdy $\gamma = 0{,}85$, to iskiernik ochronny nastawimy na napięcie:

$$U_{sz} = 0{,}85 \cdot 0{,}84 \cdot 1{,}1 \cdot (2{,}2 \cdot 100 + 20) \cdot \sqrt{2} = 268 \text{ kV}_{max}.$$

W ten sposób iskiernik ustawiony jest poniżej napięcia przeskoku izolatora $\gamma \cdot n = 0{,}85 \cdot 0{,}84 = 0{,}714$-krotnie, t. j. o 28,6%, co naogół jest zgodne ze zdaniem Dr. Müller-Hillebrand'a, że iskierniki te powinny być nastawione o 35% — 30% poniżej napięcia przeskoku izolatorów stacyjnych w urządzeniach o napięciu roboczem do 100 kV, a o 25% — 30% w urządzeniach o napięciu roboczem do 200 kV.

Odległość nastawienia iskierników znajdziemy ze znanego nam już wzoru:

$$a = \frac{U_{sr} - 30{,}8}{3{,}6} = \frac{268 - 30{,}8}{3{,}6} = \text{okr. } 66 \text{ cm.}$$

Gdyby stacja była nie wnętrzowa, lecz napowietrzna, to wówczas:

$$U_{sr}' = \frac{1}{0{,}7} \cdot U_{sr} = \frac{268}{0{,}7} = 383 \text{ kV}_{max},$$

tak też iskiernik nastawilibyśmy na:

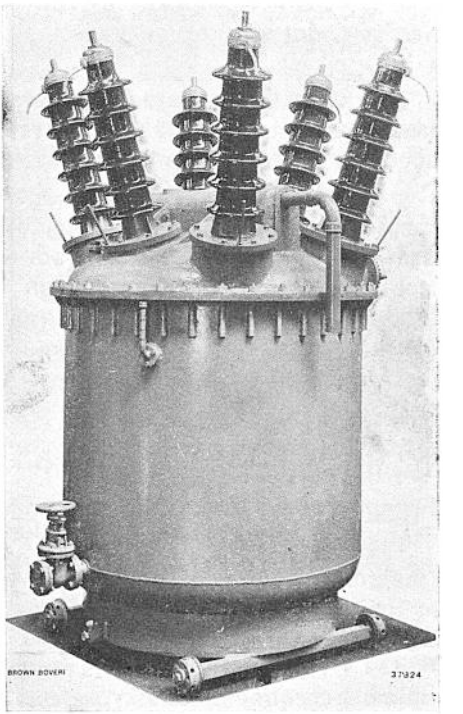
$$a' = \frac{383 - 30{,}8}{3{,}6} = \text{ok. } 98{,}0 \text{ cm.}$$

Ze względu na znaczne skrócenie opóźnienia wyładowania byłoby wskazane nałożenie na rożki kul: skutkiem tego uległoby skróceniu nastawienie iskiernika. Nie czynimy tego jednak ze względu na okoliczność, że iskiernik kulowy pod wpływem deszczu lub zanieczyszczenia powierzchni zachowuje się tak samo jak iskiernik ostrzowy (rożkowy).

Iskiernikami ochronnemi zabezpieczamy często poszczególne części urządzeń jak np. transformatory, wyłączniki (rys. 320) i t. p.

## 15. Zakończenie.

Z dotychczasowych rozważań wynika, że w walce z przepięciami główną uwagę należy skupić na ochronie przeciw przepięciom pochodzenia atmosferycznego i że nie trzeba przywiązywać zbyt wielkiej wagi do złagodzenia czoła fali oraz do ochrony przeciw przepięciom wewnętrznym. W szeregu rozdziałów rozpatrzyliśmy bliżej różne zabiegi, sposoby budowy sieci, działania przyrządów i t. p. środki ochronne. Należałoby jeszcze zastanowić się bliżej nad doborem miejsca ustawienia ochronników. Nie ulega wątpliwości, że zaopatrzenie poszczególnych faz w ochronnik na każdym słupie linji byłoby najskuteczniejszym zabiegiem ochronnym, jednak ochronnik taki musiałby posiadać zdolność chłonną nie mniejszą niż 10 — 20 kA, aby cel był osiągnięty. Budowa tego rodzaju ochronników nastręcza bardzo wielkie trudności techniczne, a pozatem urzeczywistnieniu tej idei stoją na przeszkodzie także względy handlowe, t. j. wysokie koszty produkcji takich przyrządów. Wobec tego ochronniki umieszczamy zazwyczaj tylko w stacjach. Najchętniej umieszczamy ochronniki tuż przed stacją, t. j. naprzykład przy stacjach wnętrzowych tuż przed izolatorami przepustowemi nazewnątrz budynku. Dzięki temu każda linja mimo odłączenia jej od szyn zbiorczych pozostaje nadal ochraniana. Jestto ważne dlatego, że przepięcia zewnętrzne powstają w sieci bez względu na to, czy sieć pracuje czyteż jest całkowicie wyłączona z pracy. W każdym razie ochronnik powinien być połączony z linją zapomocą jaknajkrótszego doprowadzenia, krótszego od 10—15 m, a w żadnym razie nie przekraczającego 20 m, aby w ten sposób niewprowadzać dodatkowego, a tak szkodliwego opóźnienia wyładowania.




Rys. 320. Trójbiegunowy wyłącznik olejowy, typ OVF 16 i 3, 64 kV, 400 A, 550 MVA, zaopatrzony w iskierniki ochronne.

Poprzednio doszliśmy również do wniosku, że przedewszystkiem stację należy bezwzględnie ochraniać od uszkodzeń, choćby kosztem zwiększenia uszkodzeń na sieci. W tym celu należy stosować stopniowanie izolacji, polegające na tem, że stację izolujemy najsilniej według conajmniej pełnego stopnia bezpieczeństwa. To samo dotyczy odcinka linji o długości 1 km, przebiegającego od stacji w nazwanej tak przez nas strefie zabezpieczonej, którą również izolujemy według pełnego stopnia bezpieczeństwa. Następny odcinek linji na przestrzeni kilku przęseł izolujemy najsłabiej

(z wyjątkiem słupów odporowych i narożnych), naprzykład według przepisów IEC (PNE-8/1931). Wreszcie dalszą część linji izolujemy dowolnie, naogół jednak nie słabiej od pełnego stopnia bezpieczeństwa; a o ile odcinek strefy zabezpieczonej posiada linki ochronne uziemione bez względu na wysokość napięcia roboczego, o tyle w dalszym biegu linji, stosownie do ochrony linkami uziemionemi linij elektrycznych, postąpimy w myśl rozważań naszych na ten temat, podanych już poprzednio. Jeżeli linję zbudowaliśmy na słupach drewnianych, wówczas, w odcinku o osłabionej izolacji, trzony i haki izolatorów (ewent. ramienniki metalowe) muszą być uziemione. Nie dotyczy to oczywiście dalszej części linji, izolowanej dowolnie silnie.

Przy ochronie urządzeń przed przepięciami staramy się wszystkie środki ochronne tak użyć i wyzyskać, aby w przypadku, gdy ochronnik zawiedzie, urządzenia mimoto pozostały nieuszkodzone.

Dla lepszej orjentacji rozpatrzymy przykład takiego zupełnego zabezpieczenia urządzeń o napięciu roboczem międzyprzewodowem skutecznem $U = 100$ kV. Linję, zbudowaną na słupach o dowolnym materjale, lecz z ramiennikami uziemionemi, izolujemy wisiorem, złożonym z 6 ogniw (280 mm $\varnothing$ × 185 mm) o długości 131 cm i o napięciu przeskoku na sucho 390 kV. Napięcie przeskoku tego wisiora na mokro wynosi 285 kV tak, że jest ono wyższe od wymaganego przez przepisy VDE dla pełnego stopnia bezpieczeństwa $1{,}1 \,.\, (2{,}2 \,.\, U + 20) = 264$ kV. Spółczynnik impulsu dla tego wisiora na sucho wynosi $\beta_s = 1{,}3$, a na mokro $\beta_w = \frac{390 \,.\, \sqrt{2} \,.\, 1{,}3}{285 \,.\, \sqrt{2}} =$

$= \frac{552 \,.\, 1{,}3}{403} = \frac{717}{403} = 1{,}775$. Wisiory zaopatrujemy w uzbrojenie ochronne (pierścień na przewodzie i rożki nad ogniwem przyramiennem), które, jak to już widzieliśmy, dla zrównoważenia go z napięciem przeskoku na mokro izolatorów powinno być nastawione na napięcie $U_{sr} = n \,.\, U_{si} = 0{,}84 \,.\, 403 =$ $= 339$ $kV_{max}$. Napięcie to dla uzyskania pewności przeskoku między uzbrojeniem ochronnem obniżymy o $10\%$, t. j. do $0{,}90 \,.\, 339 = 305$ $kV_{max}$ tak, że uzbrojenie nastawiliśmy na odległość $a = \frac{305 - 30{,}8}{3{,}6} = 76$ cm. Sam wisior, t. j. bez uzbrojenia ochronnego, wykazuje opóźnienie wyładowania:

$$t_w = \left(\frac{a}{\beta_s - 1}\right)^2 = \left(\frac{1{,}2}{1{,}3 - 1}\right)^2 = 16 \ \mu s.$$

Całą linję zaopatrzyliśmy w jedną linkę ochronną uziemioną. Oporność falowa linji wynosi $Z_1 = 600$ omów. Natomiast pewien odcinek tej linji o długości narazie bliżej nieokreślonej $x$ km, licząc od stacji, zaopatrzyliśmy w trzy linki ochronne. Skutkiem tego pojemność tego odcinka tak wzrosła, że jego oporność falowa wynosi $Z_2 = 500$ omów. Pozatem odcinek ten jest taksamo izolowany jak i reszta linji.

W stacji wnętrzowej izolatory wykazują napięcie przeskoku, oczywiście na sucho, równe 264 $kV_{skut.}$ czyli $264 \,.\, \sqrt{2} = 373$ $kV_{max}$. Spółczynnik

impulsu dla nich wynosi $\beta = 1{,}5$. Wewnątrz stacji wpobliżu izolatorów wpustowych wstawiono iskiernik ochronny na napięcie przeskoku, jak to już poprzednio obliczyliśmy: $U_{sz} = 268$ kV$_{max}$, t. j. na 66 cm.

Fala uskokowa, jaka biegnie po linji, może wynieść przy zastosowanej przez nas izolacji $U_1 = 717$ kV. Wisiory mogą wytrzymać tę falę wobec $\beta = 1{,}3$ jak już obliczyliśmy $t_w = 16\ \mu s$. Jednakże w pewnem miejscu najbliższem źródła przepięcia, nastąpi przeskok wzdłuż uzbrojenia ochronnego. Gdybyśmy uzbrojenie to nastawili na 339 kV$_{max}$, co odpowiada 403 kV$_{max}$ napięcia przeskoku wzdłuż izolatorów, to uzyskalibyśmy jednakowe opóźnienie przeskoku zarówno dla izolatorów jak i dla uzbrojenia. Możemy więc twierdzić, że i spółczynniki impulsów byłyby równe. Zamiast jednak nastawić uzbrojenie ochronne na 339 kV$_{max}$, nastawiliśmy je o 10% niżej, t. j. na 305 kV$_{max}$. W ten sposób przy przepięciu 403 kV na linji spółczynnik impulsu dla uzbrojenia wynosi $\beta_u = \frac{339}{305} \cdot 1{,}775 = 1{,}975$. Wobec tego przeskok na uzbrojeniu nastąpi po upływie czasu

$$t = \left(\frac{1{,}2}{1{,}975 - 1}\right)^2 = 1{,}515\ \mu s.$$

Od tego wisiora począwszy będzie biegł ku stacji ładunek zajmujący odcinek linji o długości $1{,}515 \cdot 300 = 455$ m. W ten sposób fala uległa jakgdyby obcięciu, t. j. ograniczeniu do tej właśnie długości odcinka. Ładunek ten nie będzie powodował dalszych wyładowań na napotykanych uzbrojeniach ochronnych wisiorów, gdyż w chwili upływu czasu opóźnienia wyładowania przepięcie zejdzie z wisiora. Przepięcie to w swej wędrówce napotyka na zmianę oporności falowej w miejscu, gdzie zakończyliśmy odcinek ochraniany trzema linkami ochronnemi, uziemionemi, prowadzonemi od stacji. W tem miejscu nastąpi odbicie fali tak, że w kierunku stacji powędruje fala przepuszczona o wysokości amplitudy

$$U_p = 2\,U_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = 2 \cdot 717 \cdot \frac{500}{600 + 500} = 652\ \text{kV}_{max}.$$

W przeciwnym kierunku natomiast popłynie fala odbita, zniżająca przepięcie do 717 — 65 = 652 kV. Okoliczność ta jest dla nas szczególnie ważna w tych przypadkach, gdy wpunkcie odbicia fali kończy się odcinek sieci o zniżonej izolacji przez zastosowanie np. mniejszego typu izolatorów stojących, gdyż wówczas, gdy długość tego odcinka będzie mniejsza niż $(300\ xt.\ \mu s)$ metrów, gdzie $t$ jest opóźnieniem przeskoku w $\mu s$ na mniejszym izolatorze, nim nastąpiłby przeskok, ujemna fala odbita zdążyłaby już dopłynąć do tego izolatora, a skutkiem tego zniżyłoby się na nim przepięcie i przeskok nie nastąpiłby; nie nastąpiłoby więc także i obcięcie fali, a zatem odcinek o zniżonej izolacji chybiłby celu.

Fala przepuszczona skutkiem swej dotychczasowej wędrówki może wprawdzie mieć czoło dość silnie spłaszczone, niemniej jednak grzbiet jej, dla maszyn daleko niebezpieczniejszy od czoła, skutkiem przeskoku jest bardzo stromy i, aby nie wywołał w maszynach przepięć rezonansowych, odcinek zabezpieczony musi mieć odpowiednią długość $l_z$, dostateczną dla

spłaszczenia się grzbietu. Długość tę normujemy jednak przedewszystkiem ze względu na uzyskanie stłumienia fali do wysokości, odpowiadającej warunkom izolacyjnym stacji w związku z odbiciem się w niej fali. Wymaganiom tym stanie się zadość, gdy opóźnienie wyładowania na iskierniku ochronnym będzie większe od 1,515 $\mu s$, a więc równe naprzykład 1,65 $\mu s$. Wówczas przepięcie nie wywoła wyładowania na iskierniku. Aby się to stało, spółczynnik impulsu nie może przekroczyć:

$$\beta = \left(1 + \frac{a}{\sqrt{t}}\right) = 1 + \frac{1{,}2}{\sqrt{1{,}65}} = 1{,}935.$$

Iskiernik ochronny, jak obliczyliśmy poprzednio, mamy nastawiony na 66 cm, t. j. na napięcie 268 $kV_{max}$ wobec napięcia przeskoku na izolatorach wsporczych, wynoszącego według pełnego stopnia bezpieczeństwa VDE $264 \cdot \sqrt{2} = 373$ $kV_{max}$. Udarowe napięcia przeskoku wynoszą natomiast dla izolatorów $373 \cdot 1{,}5 = 560$ $kV_{max}$, dla iskiernika $268 \cdot \frac{1{,}5}{0{,}84} = 528$ $kV_{max}$, co przy 560 $kV_{max}$ odpowiada dla iskiernika spółczynnikowi impulsu

$$\beta = \frac{560}{528} \cdot 1{,}5 = 1{,}59.$$

Gdyby więc przepięcie wynosiło 560 $kV_{max}$, to przeskok na iskierniku nastąpiłby po upływie $t = 4{,}15$ $\mu s$, a na izolatorach po 5,75 $\mu s$. W tych warunkach należy się starać, aby fala $U_x$, która wpadnie do stacji, była takiej wysokości, aby po $m$-krotnem odbiciu się wynosiła:

$$U_1 + U_0 = m \cdot U_x \leqslant \frac{528}{1{,}5} \cdot 1{,}935 = 682 \text{ } kV_{max},$$

gdzie, jak wiemy z rozdziału o rozpraszaniu fal, $m = \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$; a więc dla stacji np. krańcowej $m = 2$.

Z powyższego równania znajdziemy, że w krańcowym najniekorzystniejszym przypadku $U_x = \frac{1}{m} \cdot 682$ $kV_{max}$. W rozdziale o tłumieniu fal mieliśmy wzór: $U_x = \frac{U_1}{a \cdot x \cdot U_1 + 1}$. Stąd znajdziemy, że aby przepięcie o wysokości $U_1 = 652$ kV spadło do wysokości $U_x$ kV, musi ono przebiec drogę:

$$x = \frac{U_1 - U_x}{a \cdot U_1 \cdot U_x} = \frac{652 - \frac{1}{m} \cdot 682}{0{,}00008 \cdot 652 \cdot \frac{1}{m} \cdot 682} = \frac{m \cdot 652 - 682}{0{,}00008 \cdot 652 \cdot 682} =$$

$$= \frac{m \cdot 652 - 682}{35{,}5}$$

Widzimy więc, że zabezpieczony odcinek jest najdłuższy dla stacji krańcowej, gdyż wówczas wyniesie on $x = \frac{2 \cdot 652 - 682}{35{,}5} = 17{,}5$ km. Natomiast przy odbiciu naprzykład 30%-em odcinek ten wyniesie tylko:

$$x = \frac{1{,}3 \cdot 652 - 682}{35{,}5} = 4{,}625 \text{ km}$$

Gdybyśmy, tak jak chcą Amerykanie, zastosowali tylko $x = 0{,}8$ km, wówczas musiałoby być:

$$m = \frac{x \cdot 35{,}5 + 682}{652} = \frac{0{,}8 \cdot 35{,}5 + 682}{652} = 1{,}09,$$

a więc tylko przy 9%-em odbiciu fal. W ten sposób Amerykanie nie wyzyskują tłumiących właściwości odcinka zabezpieczonego.

Jeżeli więc ochronę przeciwprzepięciową przeprowadzimy według wyżej wymienionych zasad, będziemy mieli pewność, że w przypadku odłączenia ochronnika w ostatecznym razie conajwyżej stacja zostanie samoczynnie odłączona skutkiem tego, że na iskierniku ochronnym spowodu przeskoku fali przepięciowej może powstać łuk, zasilany prądem roboczym. Przerwa taka w każdym razie daje się natychmiast zlikwidować w przeciwieństwie do przerwy, jaka powstałaby przy braku iskiernika ochronnego skutkiem przeskoku wzdłuż izolatorów lub, co gorsza, w maszynie, powodując tem poważne straty oraz nie dające się szybko usunąć przerwy w dostawie prądu.

W rozpatrzonym powyżej przykładzie wyzyskaliśmy uzbrojenie ochronne dla osłabienia izolacji. Wrazie braku takiego uzbrojenia możemy osiągnąć tego rodzaju osłabienie izolacji albo przez zastosowanie izolatorów o napięciu przeskoku niższem od napięcia przeskoku dla izolatorów na pozostałych częściach linji, a więc przy izolatorach wiszących przez użycie wisiora o jedno ogniwo krótszego, lub też przy izolatorach stojących przez zastosowanie odpowiednio mniejszego typu izolatorów. W obu przypadkach jednak musielibyśmy się liczyć z uszkodzeniami izolatorów pod wpływem łuku lub częściowych przebić falami uskokowemi.

Najlepszem rozwiązaniem tego zagadnienia jest stworzenie na sieci izolacyjnie najsłabszego miejsca przez przyłączenie ochronników zmiennooporowych lub katodowych na słupie najbliższym odcinka zabezpieczonego. Oczywiście, że niezależnie od tego na stacji powinny również znajdować się takie ochronniki, a to ze względu na możliwość odbicia się zniżonej już fali. W tym przypadku wystarczy oczywiście tylko jeden komplet ochronników, przyłączony albo do szyn zbiorczych albotež tuż przed miejscem odbicia się fali, naprzykład tuż przy transformatorze.

## K. Zakłócenia pracy elektrycznej i ich likwidacja.

### I. *Przerwy pracy elektrycznej i zapobieganie im.*

Utrata równowagi pracy równoległej, zwarcia, uziemienia i przepięcia — oto najgłówniejsze przyczyny zakłóceń pracy elektrycznej.

Obowiązkiem C. B. R. O. jest czuwanie i niedopuszczanie do utraty równowagi pracy równoległej oraz jaknajszybsze likwidowanie powstałych zakłóceń. Ten dział pracy C. B. R. O. jest najbardziej odpowiedzialny,

najbardziej wymagający doświadczenia, zimnej krwi, szybkości orjentacji i decyzji.

Aby likwidacja zakłóceń odbywała sią sprawnie:

1) C. B. R. O. musi otrzymać bezzwłoczny i jasny meldunek. W tym celu każdy pracownik musi dokładnie znać swe obowiązki, dyscyplina w wykonywaniu otrzymywanych poleceń musi być ściśle przestrzegana i wreszcie personel musi być tak dobrany, aby w krytycznej chwili nie tracił głowy i nie stwarzał zamieszania. Osiągnięcie tego celu jest jednak trudne. Zazwyczaj w podobnych przypadkach udział w pewnych czynnościach biorą, oprócz osób powołanych także i osoby inne, które spieszą z niepowołaną pomocą, powodując się gorliwością i zainteresowaniem poprostu źle skierowanem. Wówczas zwykle różne czynności są w mniejszym lub większym stopniu zaniedbywane; dotyczy to przedewszystkiem łączności z C. B. R. O. Z tej więc przyczyny urządzenia samoczynne, samomeldujące i sterowane zdala mogą tu oddać nieocenione usługi.

2) Każde zakłócenie musi być bezwarunkowo zanalizowane; należy znaleźć przyczynę i wmiarę możności poznać przebieg zakłócenia; trzeba również zbadać jego skutki oraz zachowanie się właściwego personelu. Takie postępowanie jest konieczne dlatego, aby w przyszłości możliwie wykluczyć przyczyny zakłóceń i aby z wypadków wyciągnąć należyte wnioski, ulepszyć skoordynowanie poszczególnych wysiłków oraz odświeżać i powiększać doświadczenie personelu. Mierniki samopiszące ułatwiają w wielkiej mierze wyjaśnienie przebiegu zakłócenia.

Nie wszyscy zdają sobie sprawę z konieczności jaknajszybszej likwidacji przerw w dostawie prądu oraz ze skutków, stąd wynikających. Z drugiej jednak strony każdy dokładnie wie, jaką katastrofą dla kraju jest np. wstrzymanie ruchu kolejowego. Pragniemy podkreślić, iż między jednym a drugim bezruchem niema zasadniczej różnicy. Przerwa w dostawie prądu dotyka oczywiście przedewszystkiem elektrownie, które ponoszą z jednej strony straty materjalne jak: gorsze wykorzystanie kapitału zainwestowanego, ubytek wpływów, na które liczono, przypadające na bezruch koszty zmienne, kary konwencjonalne i t. d., a z drugiej strony straty moralne, gdyż traci się zaufanie, traci się to, co przez lata całe było zdobywane wielkiemi ofiarami, t. j. przeświadczenie odbiorcy o niezawodności elektryczności.

Bezwątpienia strata ta już jest wielka i warta zachodu, lecz nie znajduje się ona jeszcze w żadnym stosunku do tego, co ogół odbiorców, co całe społeczeństwo traci. Biorąc pod uwagę przemysł spostrzeżemy, że ponosi on skutkiem zakłóceń ruchu elektrycznego, podobnie jak i elektrownie, straty, złożone z kosztów stałych, kosztów zmiennych, konsekwencyj z niedotrzymanych terminów dostaw, zmniejszonej produkcji, a więc i wpływów. Często skutkiem wstrzymania jakiegoś obiegu przemysłowego wytwórca ponosi znaczną stratę na materjale, a często jest zagrożony w swej egzystencji. jak np. kopalnie. W ten sposób możnaby do nieskończoności szeregować straty przemysłu, do których dojść jeszcze musi ubytek zarobku tysiącznych rzesz robotników. Oczywiście, że strat tych elektrownie nie są wstanie pokryć, dlatego też ich odpowiedzialność materjalna za przerwy w ruchu

ogranicza się do kar konwencjonalnych, które wobec ogromu tych strat dla społeczeństwa nic nie znaczą, jakkolwiek dla samych elektrowni są bardzo dotkliwe.

O ile dawniej, przy ograniczonem stosowaniu energji elektrycznej, można było powiedzieć odbiorcy: „We własnym interesie panów dla zapewnienia ruchu fabryki leży stworzenie sobie poza przyłączeniem do sieci elektrycznej własnej rezerwy parowej", o tyle dziś rada taka byłaby nonsensem, a conajmniej anachronizmem. Dlategoteż elektrownie łączą się między sobą, wykonywa się wielostronne przyłączania odbiorców, tworzy się specjalne biura i posterunki, a to wszystko celem czuwania nad zapewnieniem niezawodności ruchu i ograniczenia przerw do minimum zarówno co do ich liczby jak i co do czasu ich trwania.

Z jednej więc strony trzeba być należycie zorganizowanym materjalnie i transportowo i przygotowanym wrazie zakłócenia do szybkiego przywrócenia normalnej dostawy prądu elektrycznego, a z drugiej strony należy ograniczać do minimum czas likwidacji zakłóceń oraz ich liczbę, gdyż w przeciwnym razie wszelkie wysiłki, zmierzające do usprawnienia produkcji i dostawy prądu elektrycznego, pójdą namarne i wówczas naprzykład stosowanie opalania pyłem węglowym, podnoszenie ciśnień i temperatury przegrzania pary i t. p. żadnego nie będzie miało celu. Odnosi się to oczywiście nietylko do całości urządzeń, lecz także proporcjonalnie i do ich części. Niejednokrotnie dłuższy ponad konieczną potrzebę bezruch jakiejś linji może zniweczyć wszystkie oszczędności np. na węglu, osiągnięte dzięki wielomiesięcznym mozolnym wysiłkom elektrowni. To samo dotyczy również i sieci miejscowych niskiego napięcia: nic nie będą znaczyły wysiłki akwizycyjne i propaganda stosowania elektryczności do celów grzejnych, gospodarstwa domowego i t. d., gdy pani domu nie będzie bezwzględnie pewna, że będzie mogła na czas przygotować posiłek, posługując się tak bardzo jej zachwalaną kuchnią elektryczną.

Dla sprawnej likwidacji zakłóceń C. B. R. O. ma oczywiście oddane do swej wyłącznej dyspozycji odpowiednie środki techniczne jak środki łączności, transformatory do regulacji napięć, generatory prądu bezmocnego, zabezpiecznia przeciwko zwarciom, uziemieniom, przepięciom, odpowiednią organizację personalną i t. d. Niezależnie od tego we dnie i w nocy znajdują się w pogotowiu specjalne brygady złożone z fachowców, odpowiednio wyposażone, gotowe do spełnienia każdego zlecenia i rozmieszczone we właściwych punktach.

Nie będziemy się zastanawiali nad głównemi przyczynami zakłóceń ruchu elektrycznego, gdyż rozpatrzyliśmy je już szczegółowo w poprzednich rozdziałach, lecz zwrócimy uwagę na:

1. Przerwy pracy powodowane przez izolatory.

Jak praktyka wskazuje, przygodnym przerwom w dostawie prądu elektrycznego ulegają najczęściej sieci elektryczne średniego napięcia, a więc okręgowe. Ze wszystkich przerw w sieciach elektrycznych przypada około 2% na sieci wielkie, natomiast około 98% na sieci okręgowe.

Przyczyną przerw w sieciach najwyższego napięcia są najczęściej przebicia izolatorów, a o wiele rzadziej zerwania przewodów. Trudno jest podać procentowe ustosunkowanie się przyczyn przerw w sieciach średniego napięcia tak, aby stanowiło ono pewną choćby przybliżoną miarę dla wszystkich sieci okręgowych. Przyczyny te zależne są w znacznym stopniu od budowy sieci i od warunków miejscowych, a więc od długości linij elektrycznych, od sposobu ich wykonania, użytego materjału jak np. drzewa, żelaza, miedzi, od ilości transformatorni wnętrzowych, napowietrznych, słupowych i t. d. W każdym razie można zauważyć, że ilość przebitych izolatorów na sieci średniego napięcia jest około 10-krotnie większa niż na sieciach najwyższego napięcia. A ponieważ w sieciach okręgowych można wyznaczyć odcinki, w których następuje przeważna liczba przepięć, przeto stąd prosty wniosek, że specjalnie narażone odcinki powinny być specjalnie ochraniane lub też specjalnie budowane w sposób, podany w rozdziale o przepięciach. Zwiększy to wprawdzie koszty inwestycyjne, lecz z drugiej strony znakomicie zmniejszy koszty ruchu i stworzy większą jego pewność, co ma pierwszorzędne znaczenie szczególnie w naszych warunkach t. j. przy sieciach przeważnie niezamkniętych i pracujących bez linij rezerwowych. W strefach specjalnie narażonych, przebicia następują zarówno skutkem przepięć zewnętrznych, a więc najczęściej atmosferycznych, t. j. wyładowań statycznych powolnych, nagłych, uderzeń piorunków bezpośrednich lub pośrednich, jak i skutkiem przepięć wewnętrznych. O ile strefy uszkodzeń pochodzenia atmosferycznego charakteryzują się pewnym większym obszarem lub pasem, uwarunkowanym specjalnemi właściwościami terenu, jak naprzykład wodą podskórną czyteż nawierzchnią, złożami rud, grzbietami falistości terenu tak, że można wyznaczyć pewien związek przyczynowy między uszkodzeniami a właściwościami terenu w poszczególnych okolicach obszaru zasilania, o tyle obszary uszkodzeń, spowodowanych przez przepięcia wewnętrzne, są prawie wyłącznie ograniczone oraz uzależnione od konfiguracji układu i konstrukcji urządzeń przesyłowych i związanych z niemi urządzeń wytwórczych czyteż przetwórczych. Strefy takie, a raczej miejsca, są jakgdyby wyspami, podobnie jak i strefy uszkodzeń, spowodowanych przez złą wolę.

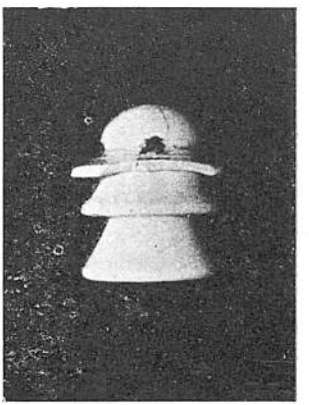
Uszkodzenia izolatorów powodują w linjach, zbudowanych na słupach żelaznych, uziemienia fazy, na której nastąpiło przebicie lub rozbicie izolatora. Zakłócenie to omówiliśmy już bliżej w poprzednich rozdziałach.

Co do uszkodzeń izolatorów, dokonanych na słupach drewnianych o nieuziemionych poprzecznikach, to są one powodem palenia się tych słupów. Zjawisko palenia się słupów nie jest dostatecznie wyjaśnione zwłaszcza, jeżeli weźmiemy pod uwagę, że oporność słupa drewnianego jest $\geqslant$ 100 000 omom tak, że w sieciach o niezbyt wysokich napięciach, skutkiem przebicia izolatora, płynie przez słup prąd o natężeniu dziesiątych części ampera lub nawet jeszcze mniejszy. Jak widzimy, natężenie tego prądu jest tak małe, że nie da się ono skompensować dławnikami gaszącemi, które skutkiem tego nie są wstanie ochraniać sieci przed paleniem się słupów. Jedyną radą na zabezpieczenie słupów przed paleniem się jest zastosowanie izolatorów o dostatecznej wytrzymałości na przebicie, gdyż, jak już

wiemy z rozdziału o przepięciach (obszar niebezpieczny), zrezygnowaliśmy z dość radykalnego zabezpieczenia słupów od pożaru, jakiem jest uziemienie poprzeczek. Zdaniem tak poważnych firm jak np. AEG nie są jeszcze znane środki, które w zupełności zabezpieczałyby słupy drewniane przed paleniem się lub też zapobiegały temu.

a. Wady fabrykacji izolatorów: rysy i pęknięcia.

Jeżeli zbadamy bliżej izolatory, które zostały przebite nie w strefie dla nich niebezpiecznej, lecz na odcinkach innych, to dojdziemy do wniosku, że przebicia te są zwykle spowodowane przez częściowe uszkodzenia izolatorów kamieniami oraz w mniejszym stopniu przez wady fabrykacji. Selekcja przyczyn uszkodzeń izolatorów i obserwacja zdają się potwierdzać hipotezę o terenowych strefach specjalnie narażonych na wyładowania atmosferyczne, a więc i przepięcia elektryczne, strefach, które w organizacji obsługi i utrzymania w ruchu sieci elektrycznych muszą być specjalnie brane pod uwagę i na które oko konserwatorów sieci musi być bacznie skierowane.

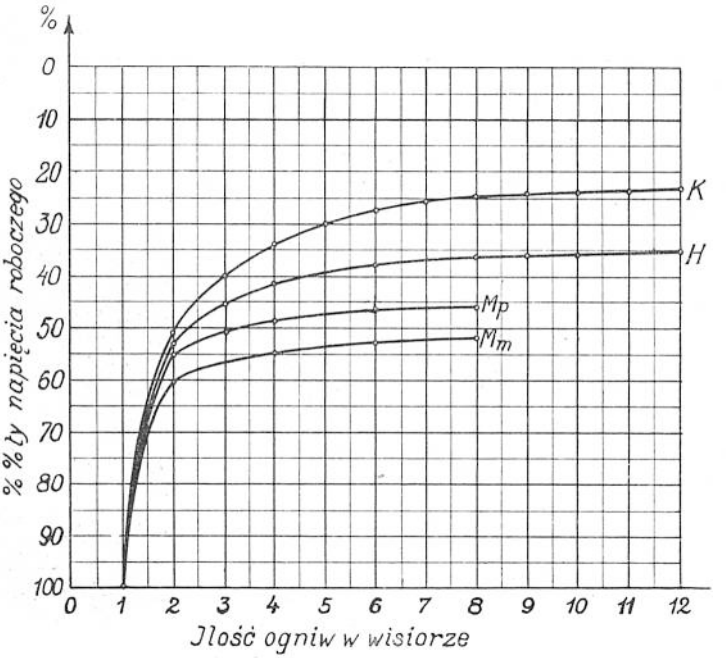


Rys. 321. Izolator zarysowany i w miejscu skrzyżowania się rys przebity falą uskokową.

Celem wyznaczania stref niebezpiecznych muszą być prowadzone bardzo staranne badania izolatorów, których znaczna liczba doznaje uszkodzeń przez powstanie z biegiem czasu pęknięć i rys, powiększających się stopniowo i napełniających się brudną wodą, skutkiem czego izolatory bywają przebijane pod przepięciem o wysokości niższej od napięcia przeskoku, a także pod przepięciem o wysokości często zupełnie nieszkodliwej dla izolatorów, nie posiadających rys i pęknięć (rys. 321). Przebicie takie jest więc zupełnie niezależne od miejsca pracy danego izolatora, a zatem i niezależne od przepięć, t. j. od napięć panujących w danem miejscu i w danej chwili. Rysy i pęknięcia powstają najczęściej w 3 — 5 lat po wypaleniu izolatora niezależnie od tego, czy izolator pracuje czyteż leży w magazynie, a są powodowane z jednej strony przez pewne naprężenia powstałe w porcelanie przy wypalaniu, a z drugiej strony przez ciągłe zmiany temperatury, na które izolatory są narażone i które powodują naprężenia powierzchniowe porcelany, a co najważniejsze, występuje wówczas działanie różnicy spółczynników rozszerzalności porcelany i kitu. Główną więc przyczynę rys i pęknięć należy przypisać fabrykacji i dużo jeszcze czasu upłynie, zanim fabryki, celujące w wytwarzaniu naczyń gospodarstwa domowego, będą taksamo celowały w produkcji trudnych i w fabrykacji swej złożonych izolatorów wysokiego napięcia.

Należy przytem zauważyć, że obarczone takim błędem fabrykacyjnym izolatory tego samego pochodzenia zachowują się pod tym względem tem gorzej im są większe. Nierzadko konserwator sieci, zdenerwowany nazbyt częstemi przerwami ruchu spowodowanemi przez pęknięcia izolatorów, stara się uzyskać większą pewność ruchu przez zastosowanie większego typu

izolatorów bez względu na konieczność zachowania pewnego stopnia izolacji linji i ku swojemu zdumieniu otrzymuje wyniki wręcz przeciwne. Chodzi tu mianowicie o to, że rysy i pęknięcia nie są spowodowane przyczynami elektrycznemi powstają one także i w linjach bez napięcia, jak również w izolatorach znajdujących się na składzie. Przyczyna rys i pęknięć leży więc w masie porcelany. Izolatory większe podlegają temu zjawisku w wyż-




Rys. 322. Wysokość napięcia roboczego w procentach, przypadająca na ogniwo przyprzewodowe w wisiorach o 1 — 12 ogniwach, złożonych z izolatorów: *K* — kołpakowych, *H* — Hewlett'a, *Mp* — motorowych z obu kołpakami porcelanowemi, *Mm* — motorowych z kołpakiem porcelanowym i daszkiem metalowym.

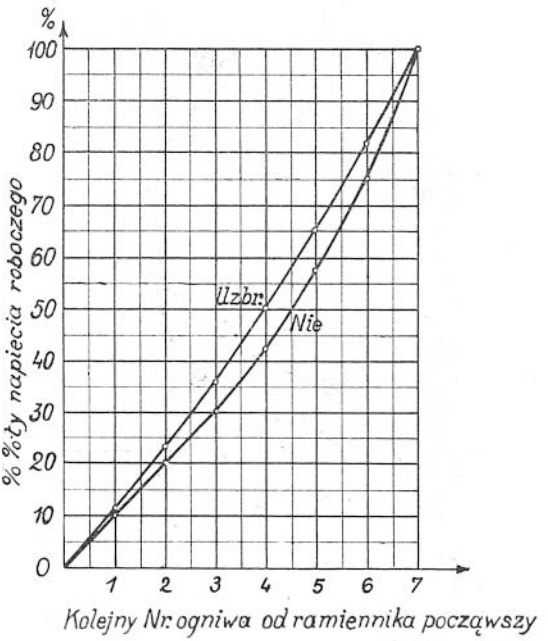
szym stopniu niż izolatory mniejsze, a przez zbyteczne zwiększanie stopnia izolacji linji zwiększamy niebezpieczeństwo przepięciowe w stacjach.

W tego rodzaju przypadkach przebić jedyną radą jest zastosowanie izolatorów tego samego typu, lecz pochodzących z fabryki o większem doświadczeniu, lub też przejście na droższe lecz o wiele pewniejsze izolatory wiszące, które w znacznie mniejszej mierze ulegają temu zjawisku, jako w kształcie swym daleko prostsze i daleko łatwiejsze do wykonania niż izolatory stojące.

b. Nierównomierny rozkład napięcia na poszczególne ogniwa wisiora.

Przebiciom w wisiorach ulegają najczęściej ogniwa dolne i środkowe; dolne z racji zastosowania w wisiorze nieodpowiednio dobranego do danego napięcia typu izolatora, skutkiem czego rozkład napięć na poszczególne ogniwa jest tak nierównomierny, że dolny izolator, znajdujący się

pod tym względem w najgorszych warunkach (rys. 322), pracuje ze zbyt małym stopniem bezpieczeństwa. Natomiast pękanie środkowych izolatorów powodowane jest przeważnie przez łuk, powstający pomiędzy przewodem a uziemioną poprzeczką; aby łuk ten ze względu na przeciwogniową ochronę łańcucha można było trzymać możliwe zdala od izolatorów, należy zastosować, jak już wiemy, na obu końcach wisiora specjalne półrożki lub pierścienie, przyczem rożki zachowują się lepiej niż pierścienie; z drugiej strony pierścienie znakomicie wyrównywują rozkład napięć na poszczególne ogniwa tak, że dzięki nim możemy uzyskać prawie równomierny rozkład napięcia (rys. 323). Dlategoteż dla wyzyskania korzyści, wynikających z zakładania zarówno półrożków jak i pierścieni, należy pierścienie zakładać pod pierwszem ogniwem łańcucha, a więc na przewodzie, a różki, zwrócone wdół, nad ogniwem ostatniem, t. j. na przymocowaniu łańcucha na konstrukcji ramienia. Jedynie w wisiorach, w których zastosowano izolatory dwukołpakowe (Motorisolatoren) wyrównanie to jest nieznaczne. Na rys. 324 i 325 widzimy fotografje wisiorów, ochranianych obustronnie pierścieniami.



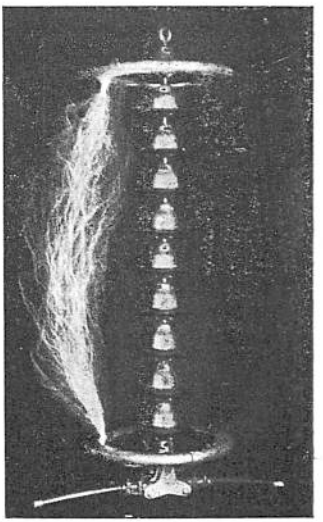

Rys. 323. Wpływ uzbrojenia ochronnego na rozkład napięcia wzdłuż pięcioogniwowego wisiora (koło na przewodzie, rożki pod ramiennikiem).

Należy jednak bliżej zastanowić się nad przyczynami przebić dolnych izolatorów wisiora. Jak już zaznaczyliśmy, powodem tego jest nierównomierny rozkład napięć na poszczególne ogniwa wisiora, wywołany nietylko własną pojemnością $C_w$ ogniwa, lecz także pojemnością jego $C_z$ w stosunku do konstrukcyj uziemionych przewodów sąsiednich i t. d. Na rys. 326 i 327 została przedstawiona pękiem wznoszących się pionowo krzywych wisiorowych procentowa wysokość napięcia, przypadającego na poszczególne ogniwa każdego z wisiorów, składających się z 2, 3 . . . 10 ogniw (albo par ogniw w wisiorach podwójnych). Łącząc z sobą punkty krzywych wisiorowych, odpowiadające jednakowym numerom w łańcuchach, otrzymujemy warstwowo ułożone krzywe ogniwowe, charakteryzujące zmianę napięcia, przypadającego na dany numer ogniwa, zależnie od zmiany ilości ogniw w łańcuchu. Szczególną uwagę zwrócimy na ogniwo przyprzewodowe, scharakteryzowane najwyżej położoną krzywą ogniwową.

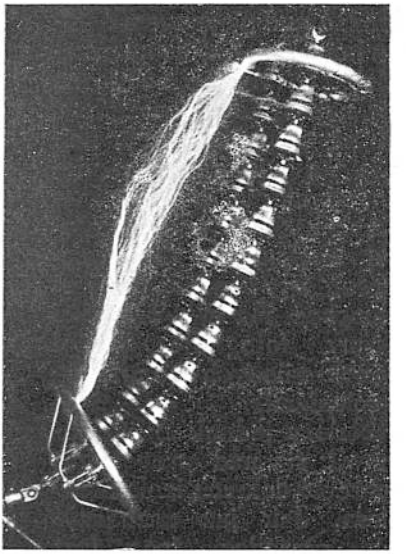
Jakkolwiek skutkiem zwiększenia ilości ogniw w wisiorze rośnie napię-

cie przeskoku wzdłuż wisiora, to z wyżej wymienionych rysunków widzimy, że stosunkowo niewiele zmienia się rozkład napięcia wzdłuż wisiora na poszczególne izolatory tak, że na izolator przyprzewodowy przypada małoco niższe napięcie. Wówczas występuje na ogniwach o najwyższem napięciu wyładowanie świetlące, skutkiem czego rośnie ich pojemność, a co zatem idzie, odbywa się wyrównywanie rozkładu napięć. Na tem właśnie polega zaworowe działanie izolatorów wrazie nadejścia fali o stromem czole.

Takie wyrównanie napięć następuje jednak już w chwili wyładowania tak, że wymieniona okoliczność nie rozwiązuje tego zagadnienia tembardziej, że z obciążeniem izolatorów nie posuwamy się aż do osiągnięcia gra-



Rys. 324. Wyładowanie wzdłuż nośnego wisiora pojedyńczego, złożonego z izolatorów V, dla nap. rob. 380 kV, zaopatrzonego obustronnie w pierścienie ochronne.



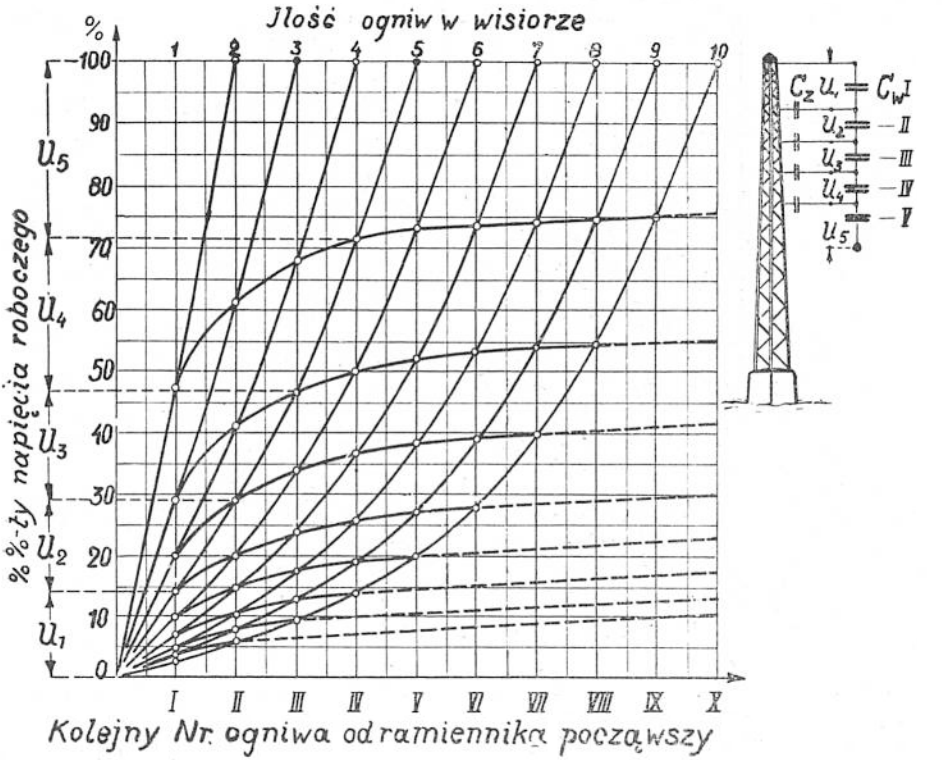
Rys. 325. Wyładowanie wzdłuż odciągowego wisiora podwójnego, złożonego z izolatorów V, dla nap. rob. 380 kV, zaopatrzonego obustronnie w pierścienie ochronne.

nicy wyładowań świetlących. Między innemi groziłoby to znacznemi stratami, które odczulibyśmy szczególnie dotkliwie przy napięciach roboczych większych od 100 kV.

Również dość znacznie wyrównywa rozkład napięcia występujący podczas deszczu mocny prąd upływu wzdłuż powierzchni izolatorów, gdyż jest on znacznie większy od prądu pojemnościowego. Jednak i ta okoliczność nie rozwiązuje zagadnienia, a jedynie wskazuje, że dla wisiorów niebezpieczniejsze są burze suche aniżeli deszczowe. Tak więc przy niekorzystnym rozkładzie napięć wzdłuż wisiora przy nadejściu pod wisior fali uskokowej może przypaść na izolator przyprzewodowy tak wielka wysokość amplitudy tej fali, że zostanie on przebity.

Przez zwiększenie pojemności własnej izolatora staramy się osiągnąć wyrównanie rozkładu napięć wzdłuż wisiora, które jest zależne od sto-

sunku $C_z : C_w$; teoretycznie należałoby więc umieścić przy przewodzie izolator o największej pojemności własnej $C_w$, t. j. największy, a dalej coraz to mniejsze; możnaby też zwiększyć pojemność izolatorów przez metalizację górnych kloszy porcelanowych albo nakładanie blaszanych nakryw, przez zwiększenie wzajemnej powierzchni armatury metalowej izolatora, lub też przez zmniejszenie grubości porcelany między kołpakiem metalowym a trzonkiem izolatora. Wszystkie te sposoby prowadziłyby jednak do utrzymywania zbyt dużego magazynu materjału zapasowego tak, że obecnie



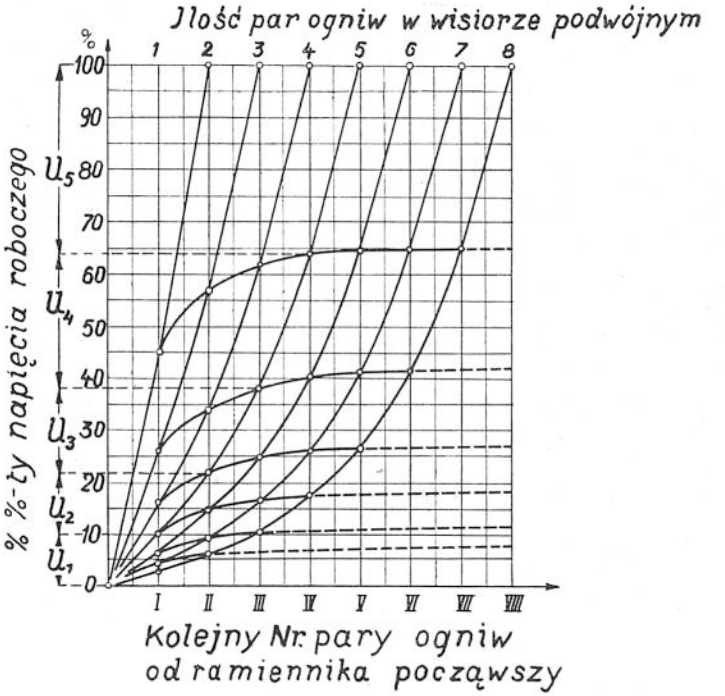

Rys. 326. Rozkład napięcia wzdłuż suchych wisiorów pojedyńczych, złożonych z izolatorów kołpakowych z mechanicznem stożkowem umocowaniem trzonka o $\frac{C_z}{C_w} = \frac{1}{10}$.

wyrównywanie napięć osiąga się przez zastosowanie pierścieni ochronnych i to najczęściej pierścieni na izolatorze przyprzewodowym, a rożków przy ramienniku, dzięki czemu wzdłuż izolatorów nakłada się dodatkowe pole elektryczne. W ten sposób na izolator przyprzewodowy przypada nie ok. 35%, lecz zaledwie ok. 10% napięcia.

Przy izolatorach wisiorowych zadowalamy się stopniem bezpieczeństwa na przeskok zazwyczaj wynoszącym:

$$\frac{\textit{napięcie przeskoku na mokro 1 ogniwa}}{\textit{napięcie przypadające na 1 ogniwo}} = 1{,}6 - 2{,}0$$

Oczywiście, że mimo zastosowania pierścieni ochronnych, spełniających także jeszcze inne zadania, jak to już poprzednio widzieliśmy, staramy się dobrać do danego napięcia właściwy typ izolatorów. Dla przeprowadzenia naprzykład takiego doboru dla linji o nieuziemionym punkcie zerowym układu elektrycznego zauważymy, że krzywe, podane na rys. 326 i 327, wkreślono dla izolatorów wiszących z mechanicznem stożkowem umo-




Rys. 327. Rozkład napięcia wzdłuż suchych wisiorów podwójnych, złożonych z izolatorów kołpakowych z mechanicznem stożkowem umocowaniem trzonka o $\frac{C_z}{C_w} = \frac{1}{5}$.

cowaniem trzonka, o średnicy 280 mm i o wysokości 185 mm, produkcji Sedleckich Zakładów Kaolinowych w Merklinie (nr. kat. 42 230).

| Liczba ogniw w wisiorze $n$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Przeskok na sucho kV . | 80 | 150 | 210 | 270 | 330 | 390 | 450 | 505 | 615 |
| Przeskok na mokro kV . | 55 | 105 | 155 | 200 | 245 | 285 | 325 | 370 | 455 |

Przypuśćmy, że mamy izolować linję 100 kV według wymagań przepisów IEC. Wówczas napięcie przeskoku na mokro ma wynosić:

$$U_{sd} = 1{,}05 \,.\, (2 \,.\, 100 + 10) \text{ kV} = 220{,}5 \text{ kV}.$$

Z tabeli wdzimy, że musimy użyć pięcio-ogniwowego wisiora o:

$$U_{sd} = 245 > 220{,}5 \text{ kV}.$$

Z rys. 326 widzimy, że przy 5 ogniwach napięcie przypadające na ogniwo międzyprzewodowe wynosi 28%, a więc:

$$100 . 0{,}28 = 28 \text{ kV}.$$

Ponieważ, jak widać z tablicy, dla jednego ogniwa $U_{sd} = 55$ kV, to stopień bezpieczeństwa wynosi:

$$55 : 28 = 1{,}965.$$

Na wisiorach podwójnych napięcie, przypadające na ogniwo przyprzewodowe, wynosi 36% (rys. 327), czyli:

$$100 . 0{,}36 = 36 \text{ kV}$$

tak, że stopień bezpieczeństwa wynosi tylko:

$$55 : 36 = 1{,}53 < 1{,}6.$$

Z tego względu musimy postarać się o korzystniejszy rozkład napięcia wzdłuż wisiora, gdyż przez dodanie 6-tej pary ogniw niewiele zyskamy. Zamierzony cel osiągamy, zaopatrując podwójne łańcuchy w pierścienie.

Z powyższych rozważań wynika, że przez dodanie jednego lub dwu ogniw niezawsze umożliwia się podniesienie napięcia roboczego linji.

Z krzywych, podanych na rys. 326 i 327 widzimy, że ze względu na płaski dolny ich przebieg przy większej liczbie ogniw przypada tak niewielkie napięcie na człony przyramienne, że dalsze zwiększanie tej liczby ogniw nie jest celowe. Ponieważ rozkład napięć na poszczególne ogniwa jest uwarunkowany stosunkiem: $\frac{C_z}{C_w} = \frac{1}{10} : \frac{1}{40}$, przeto ten stosunek pojemności jest do pewnego stopnia miarą użyteczności izolatorów wiszących.

Z krzywych, wykreślonych dla różnych izolatorów wiszących, wynika, że w zależności od wyżej wymienionego stosunku pojemności najkorzystniejsza, według Dr. Inż. A. Buch'a liczba $n$ ogniw w łańcuchu jest:

| $\frac{C_z}{C_w}$ | $\frac{1}{10}$ | $\frac{1}{20}$ | $\frac{1}{30}$ | $\frac{1}{40}$ |
|---|---|---|---|---|
| $n$ | 5 | 6 | 7 | 8 |

Dla orjentacji podajemy, że pojemność własna izolatorów wynosi naogół: Hewlett'a ok. 9 cm, kołpakowe 15—50 cm.

Praktyka amerykańska wskazuje, że, dzięki zastosowaniu ochrony izolatorów pierścieniami, uszkodzenia izolatorów i przewodów zmniejszyły się 15-krotnie (Consumers Power Co., Michigan).

c. Układ przewodów na słupie.

Z doświadczeń tego samego Towarzystwa wynika, że linje nawet bardzo wysokich napięć (140 kV) wykazują mniejszą podatność ulegania wpływom przepięć zewnętrznych wówczas, gdy są budowane na słupach drewnianych, a nie żelaznych. Niewątpliwie dominującą rolę odgrywa tu: poziomy układ wszystkich przewodów (słupy portalowe), stosunkowo niewielka wysokość ponad ziemią i naturalny tłumiący wpływ oporu słupa. W linjach dwutorowych o płaskim układzie przewodów najczęściej ulegają przebiciu izolatory faz zewnętrznych, jako o najbardziej nierównomiernym rozkładzie napięć na poszczególne ogniwa. Przy zastosowaniu odpowiednich typów izolatorów w wisiorach można zaradzić złu przez dowieszenie ogniw do skrajnych faz. W ten sposób w sieci New England P. C. 110 kV, 119 km zmniejszono roczną ilość przebitych 12—14 ogniw na fazę do 5,5 ogniw, a to przez zwiększenie liczby ogniw na skrajnych wisiorach z 8 na 10, a na wisiorach bezpośrednio z niemi sąsiadujących z 8 na 9.

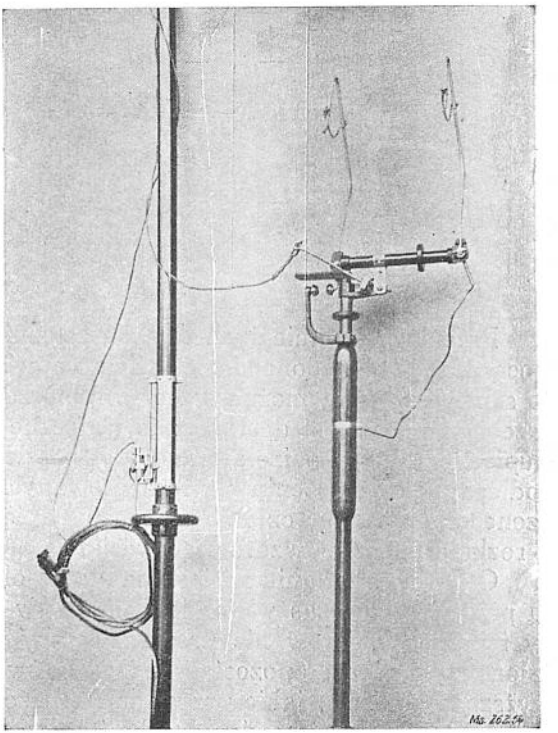
d. Zanieczyszczenie izolatorów.

Ważną rzeczą jest także utrzymywanie izolatorów w stanie zupełnie czystym, t. j. aby nie były zapylone, osmolone, popękane i t. d., co stanowi szczególne niebezpieczeństwo przy rosie i podczas mgieł. Czyszczenie izolatorów linji napowietrznej oczywiście łatwiej jest przewidzieć niż wykonać. O ile więc sprawę mycia izolatorów na linjach napowietrznych w znacznej większości przypadków musimy pozostawić przyrodzie, o tyle z całą skrupulatnością musimy przeprowadzać je w urządzeniach pod dachem. Jednakże nawet w urządzeniach napowietrznych czyszczenie takie w pewnych szczególnych przypadkach jest konieczne i rzeczywiście odbywa się np. w Ameryce, w Saksonji i wogóle w okręgach przemysłowych, w których izolatory łatwiej ulegają zanieczyszczeniu, a w szczególności wpobliżu fabryk nawozów sztucznych, kopalń, wybrzeży morskich i t. d. Zależnie od tego, czy tworzący się na izolatorze osad może być spłókany wodą deszczową lub wydmuchany wiatrem, czyteż wkleja się w powierzchnię izolatora, stosuje się izolatory o kształcie zewnętrznym, bądź możliwie otwartym, bądźteż o powierzchni gładkiej i kształtach zamkniętych.

e. Sprawdzanie izolatorów podczas pracy.

Jeżeli zatrzymujemy się nad temi zjawiskami nieco dłużej, to czynimy to jedynie dlatego, aby zwrócić uwagę na konieczność przeprowadzania częstych perjodycznych badań izolatorów czyto sposobem optycznym, czyteż wyszukiwaniem prądów uziemień wpobliżu słupów odnośnie do izolatorów stojących, czv wreszcie posługiwaniem się drążkiem pomiarowym dla izolatorów wiszący la przykładu podamy zasadę działania drążka pomiarowego Siemens'a (rys. 328) i sposób przeprowadzania nim pomiaru. Wewnątrz drążka, w jego zgrubieniu, znajduje się kondensator, którego jedna okładzina połączona jest z metalową macką, umocowaną na końcu drążka; druga okładzina natomiast jest połączona przez iskiernik kulowy z drugą macką metalową. Zależnie od wysokości napięcia, pod jakiem znaj-

duje się izolator, objęty mackami, następuje przebicie iskiernika kulowego przy dłuższej lub krótszej przerwie iskrowej; długość przerwy iskrowej stanowi miarę napięcia, przypadającego na badany izolator łańcucha. Badanie wisiora rozpoczyna się od objęcia mackami ogniwa zawieszonego na ramienniku, poczem pociąganiem sznura, impregnowanego specjalną masą izolacyjną, zbliża się kule iskiernika do siebe aż do chwili, gdy w sposób słuchowy i jednocześnie wzrokowy stwierdzimy moment osiągnięcia długości przerwy wystarczającej dla przebicia jej napięciem, przypadającem na badany izolator. Wpobliżu rękojeści drążka umieszczono skalę, wzdłuż której przesuwa się skazówka i pozwala na odczytanie nastawienia iskiernika wprost w kV. Napięcie to będzie oczywiście w tych samych warunkach największe wówczas, gdy macki obejmą izolator przyprzewodowy, a będzie malało wmiarę obejmowania dalszych izolatorów łańcucha zgodnie z rozkładem napięcia fazowego na poszczególne człony. Jeżeli przy objęciu któregoś z izolatorów przeskok nie nastąpi, będzie to dowodem, że izolator ten jest przebity. Pendzelkiem, umocowanym na końcu krążka, znaczymy przebity izolator odpowiednią farbą celem ułatwienia odnalezienia go przy wymianie. Pomiary takie można oczywiście robić jedynie podczas pogody, gdyż wilgoć czyto z deszczu, czyteż z mgły lub rosy osiada na drążku, jakkolwiek jest on wykonany z materjału izolacyjnego o dużej wartości i przed rękojeścią zaopatrzony jest w krążek z mankietem metalowym dla ochrony obsługi przed prądami upływowemi, przyczem mankiet uziemia się przez połączenie go ze słupem żelaznym zapomocą giętkiej linki. Pomiar wykonywany jest przez dwóch ludzi. Jeden z nich, siedząc na słupie po zabezpieczeniu się pasem ochronnym i uziemieniu mankieta drążka, obejmuje mackami drążka kolejno wszystkie izolatory wisiora, począwszy od ramienia i odczytuje wynik pomiaru; wynik ten komunikuje swemu towarzyszowi, znajdującemu się na ziemi i zapisującemu te dane do książki o specjalnych rubrykach, a mianowicie:



Rys. 328. Drążek pomiarowy firmy Siemens.

Linja..... kV; odcinek.....; słup Nr.....

| Uwagi | Tor I przewód 1 | 2 | 3 kilowolty | Nr. Nr. kolejne ogniwa | Tor II przewód 1 | 2 | 3 kilowolty | Uwagi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — | — | — | — | I. przyramienne | — | — | — | — |
| — | — | — | — | II. | — | — | — | — |
| | | | | . | | | | |
| | | | | . | | | | |
| | | | | . | | | | |
| — | — | — | — | X. przyprzewodowe | — | — | — | — |

Przez porównanie tych danych ze zmierzonym w laboratorjum zapomocą drążka uziemionego rozkładem napięć na poszczególne ogniwa takiego samego wisiora, można sobie wyrobić zdanie nietylko o dokonanem już przebiciu, które jest dostatecznie widoczne z pomiaru uskutecznionego na słupie, lecz także o izolatorach wprawdzie jeszcze nieprzebitych, ale już podlegających starzeniu się i zarysowanych, co osądzić można ze stwierdzonego na danym członie niższego napięcia lepiej, aniżeli wypadałoby z rozkładu napięć wzorowego wisiora.

O ile przy badaniu wisiora na słupie okazałoby się, że już dwa człony są przebite, wówczas wisior taki należy w całości przeznaczyć do wymiany i dalej pomiarów nie prowadzić, aby przez bocznikowanie zdrowych członów nie narażać pozostałych izolatorów na przebicie skutkiem i tak już wyższego napięcia, jakie przypada na każdy z nich, jakkolwiek kondensator, umieszczony w głowicy drążka i połączony w szereg z iskiernikiem, ma właśnie na celu zapobiegnięcie bocznikowaniu bezoporowemu badanego członа.

Ponieważ nastawienie iskiernika przenosi się zapomocą wyżej wspomnianego sznura impregnowanego na skalę odczytową, która dla wygody, niezależnie od obrócenia drążka, jest dwustronna, przeto dla uchronienia pomiaru od błędów, spowodowanych ewentualnem wyciąganiem się lub skracaniem sznura, należy przed pomiarem sznur ściągnąć aż do zwarcia się kul iskiernika. Skala jest przesuwalna, więc dzięki temu nastawia się ją na wyznaczone w ten sposób położenie zerowe. Rozumie się, że pomiar rozkładu napięć drążkiem pomiarowym nie może mieć pretensji do wielkiej dokładności, jednak wynik tego pomiaru w zupełności odpowiada swemu celowi. Drążek pomiarowy ma 3—5 m długości, jest składany i konstruowany dla linij o napięciu roboczem międzyfazowem do ok. 120 kV.

Po takiem badaniu w praktyce sieci okręgowych nie należy do rzadkości wymiana 2% całej liczby izolatorów, a w rocznym bilansie osiągnąć można nawet 8%. Jestto wskazówką, jak wielki wpływ odgrywają izolatory i ich rewizje na pewność ruchu, a więc i na dochodowość sieci okręgowych. Jednocześnie jestto przestrogą przed stosowaniem zbyt wielkiej liczby izolatorów, t. j. zbyt małych rozpiętości.

f. Przeciążenie mechaniczne izolatorów.

Należy także zauważyć, że przy znacznych przekrojach i dużych rozpiętościach występują przy sadzi obciążenia izolatorów bardzo znaczne, bo wynoszące kilka ton. Przy takich obciążeniach niektóre typy izolatorów wykazują bardzo znaczne zmniejszenie wytrzymałości elektrycznej na przebicie. Tę wadę należy wziąć pod uwagę, gdy podczas sadzi izolatory zaczną „strzelać" i gdy przystępuje się do badania przyczyny tych przebić. Wady tej nie posiadają np. izolatory typu Motor-Columbus oraz izolatory wyrabiane według patentu inż. Alfonsa Hoffmana.

2. Przerwy pracy powodowane przez obniżenie się wartości izolacyjnej urządzeń.

Wypada również zwrócić uwagę na to, aby raz ustalona wartość izolacyjna urządzeń nie zmniejszała się, gdyż w ten sposób najsłabszy izolacyjnie punkt urządzeń może się przenieść do miejsca nieznanego i nieprzewidzianego, a kto wie, czy nie do najnieodpowiedniejszego. Chodzi tu przedewszystkiem o sprawdzanie wartości izolacyjnej olejów w transformatorach i wyłącznikach, ich wymiany lub przywracania im pierwotnych własności izolacyjnych czyto zapomocą odwirowywania, czyteż przepuszczania przez prasę lub w ostateczności wygotowywania.

3. Przerwy pracy powodowane przez przewody.

a. Materjał przewodowy: miedź, aluminjum, stal-aluminjum, aldrey.

Zauważymy, że w sieciach o przewodach z czystego aluminjum zerwanie przewodów następuje około 12-krotnie częściej niż przy przewodach miedzianych. Najczęstszą przyczyną przerwania przewodów aluminjowych jest łuk elektryczny, o którym była mowa wyżej. Zastosowanie pierścieni i półrożków również i w tym przypadku uchronić może od wielu przerw. Stosowanie czystego aluminjum w sieciach elektrycznych nie znajduje uzasadnienia przemawiającego do przekonania czyto ze względów technicznych, czyteż inwestycyjnych. Dowodem tego jest okoliczność, że w Niemczech na znacznej ilości linij zastosowano aluminjum, zawieszone na słupach, liczonych zgóry na naciąg miedzi. Wymiana ta ma nastąpić z chwilą konieczności zwiększenia przełyku sieci, a sprzyja temu ta okoliczność, że zwisy miedzi, liczonej na naprężenie 16 kg/1 mm$^2$, i zwisy aluminjum przy 8 kg/1 mm$^2$ przy wielkich przekrojach i rozpiętościach są prawie równe. Przewody z czystego aluminjum przy rozpiętościach większych ponad 150 m nie dają gwarancji pewności ruchu przy sadzi oraz przy bardzo dużych mrozach, o czem szczególnie w Prusach Wschodnich przekonano się

w nazbyt niemiły sposób podczas zimy 1928 r. Aluminjum ma większą skłonność do korozji niż miedź i daje większy zwis, co powoduje konieczność stosowania wyższych słupów przy jednakowych z miedzią rozpiętościach.

Pozatem z biegem czasu aluminjum utlenia się i w ten sposób cały przewód otacza się cienką warstwą tlenku glinu, który jest nieprzewodnikiem tak, że na przebicie tej warstewki potrzeba 300 ÷ 320 woltów. Jeżeli dwa niezbyt dobrze oczyszczone przewody połączymy z sobą, to w miejscu tem, w oporze styku, wydzielać się będzie znaczna ilość ciepła, która jest często powodem zrywania się przewodów.

Nieco inaczej przedstawia się ta sprawa przy stosowaniu przewodów stalowo-aluminjowych, przy których duszę linki stanowią przewody aluminjowe wiodące prąd, a oplecenie zewnętrzne jest wykonane z drutów stalowych, mających za zadanie przejęcie na siebie obciążeń mechanicznych. Jednak linki stalowo-aluminjowe, jako złożone z dwóch metali, utrudniają montaż.

Korzystnem jest również stosowanie linek z t. zw. aldrey'u, t. j. stopu, składającego się, według firmy Felten & Guilleaume, Carlswerk A. G., Köln-Mühlheim, z ok. 98,7% czystego aluminjum, 0,2 ÷ 0,3% żelaza oraz 0,4 ÷ 0,7% krzemu i 0,3 ÷ 0,5% manganu.

Przewody takie wykazują 1,75-krotną wytrzymałość przewodów aluminjowych, jednak przewodność elektryczną mają niższą niż aluminjowe. Pod względem wytrzymałości mechanicznej dorównywują one przewodom stalowo-aluminjowym i są od nich lżejsze o 35% przy przekrojach na oporność równoznacznych. Aldrey nie ma skłonności do korozji i wykazuje ciekawą właściwość, polegającą na tem, że wraz ze spadkiem temperatury rośnie jego wytrzymałość mechaniczna i tak według M. Thomas'a przy zniżeniu się temperatury z + 20° C do —60° C wytrzymałość aldrey'u rośnie o 10%. Zniżenie się wytrzymałości mechanicznej aldrey'u wraz z wzrostem temperatury jest mniejsze niż miedzi.

O rozmiarach stosowania aluminjum w różnych jego postaciach w sieciach poszczególnych krajów wnioskować możemy z niżej wymienionych niektórych danych statystycznych:

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Anglja | zbudowała | 100% | długości | sieci | o nap. | 132 kV | ze stali-aluminjum |
| Niemcy | „ | 100% | „ | „ | „ | 220 „ | z miedzi |
| „ | „ | 58% | „ | „ | „ | 100 „ | „ „ |
| „ | „ | 42% | „ | „ | „ | 100 „ | ze stali-aluminjum |
| U. S. A. | „ | 87% | „ | „ | „ | 220 „ | „ „ |
| „ | „ | 13% | „ | „ | „ | 220 „ | z miedzi |
| Szwajcarja | „ | 24% | „ | „ | „ | 125 „ | i wyższem z aluminjum |
| „ | „ | 28% | „ | „ | „ | 125 kV | i wyższem ze stali-aluminjum |
| „ | „ | 37,2% | „ | „ | „ | 125 kV | i wyższem z aldrey'u |
| „ | „ | 10,8% | „ | „ | „ | 125 kV | i wyższem z miedzi. |

Linek aldreyowych używają najwięcej Włosi, a następnie Hiszpanie, Szwajcarzy, Niemcy i Francuzi i to nawet przy napięciach od 30 kV począwszy wzwyż, jakkolwiek materjał ten specjalnie dobrze nadaje się dla napięć najwyższych.

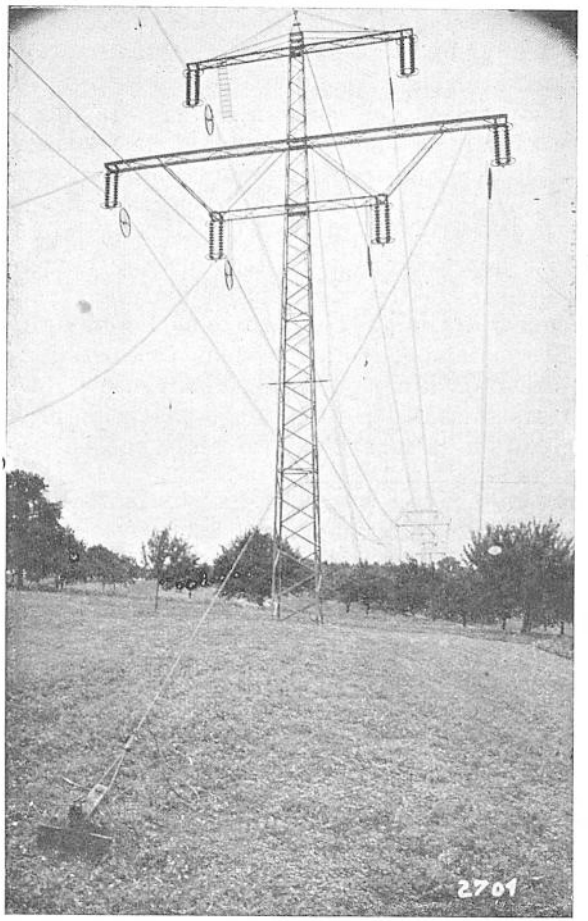
Przyczyna wielkiej stosowalności przewodów aluminjowych i ich odmian leży: 1) w chęci utrzymania pieniądza w kraju wobec konieczności sprowadzania miedzi z zagranicy, gdyż np. w Niemczech 93% kosztów produkcji aluminjum pozostaje w kraju, a tylko 7% przypada na bauksyt t. j. surowiec sprowadzany z zagranicy; 2) w celu popierania fabryk aluminjum ze względu na zwiększone zapotrzebowanie tego metalu na wypadek wojny i utrzymanie jego fabrykacji na odpowiednim stopniu zdolności produkcyjnej; 3) w tem, że fabryki aluminjowe są dobrymi odbiorcami prądu elektrycznego, gdyż zużywają około 25 000—30 000 kWh/1t aluminjum, co przedstawia wartość około 15% kosztów produkcji tego metalu; fabryki te muszą więc być przy budowie sieci elektrycznej szczególnie popierane; 4) w celu zwiększenia zatrudnienia w kraju, gdyż wytworzenie 1 tonny aluminjum wymaga pracy 250—420 robotnikogodzin; 5) w tem, że stosuje się linki stalowo-aluminjowe lub aldreyowe, które posiadają elektrycznie równoważny przekrój większy od przekroju miedzi, co ma duże znaczenie przy najwyższych napięciach ze względu na najtańszy i najprostszy sposób zniżenia strat ulotowych.

b. Drgania przewodów.

Największem niebezpieczeństwem przedewszystkiem dla przewodów aluminjowych i wogóle przewodów z metali lekkich są drgania przewodów, których przyczyna do dnia dzisiejszego nie jest jeszcze bezspornie ustalona. Powstają one zawsze między dwoma zaciskami odciągowemi (słupami odporowemi) prawdopodobnie skutkiem drgań powietrza. Drganiom tym podlegają też i zaciski nośne. Jeżeli zaciski te są założone w sposób niedozwalający im na te ruchy lub gdy są one tak ciężkie, że drganiom nie nadążają, wówczas przewody ulegają na nich ciągłym drobnym gięciom tak, że w przewodzie skutkiem przemęczenia materjału pęka najpierw jedna żyła, poczem zniszczenie szybko postępuje naprzód i wkońcu cały przewód pęka. Jak zaobserwował J. Nefzger, drgania przewodów odbywają się z częstotliwością 20 do 100 okr./sek. i o długości fali 16 do 1 m oraz amplitudzie wychylenia do 20 mm. Skutkiem drgań najbardziej cierpią przewody aluminjowe, przyczem podlegają im bardziej rozpiętości duże niż małe. Z badań Jr. C. van Staveren'a wynika, że przy obciążeniu linki stalowo-aluminjowej w 55—70% najwyższem dopuszczalnem naprężeniem żywot linki nie ulega zmianom, spowodowanym drganiami przewodów, a nawet przy silniej naciągniętej lince drgania ulegają zmniejszaniu się. Co do linek miedzianych, to naprzykład linki o przekroju 50 mm² mają najkrótszy żywot przy naprężeniu 12—15 kg/mm², a zniżenie lub zwiększenie tego naprężenia żywot linki przedłuża. Linki z aldrey'u wymagają na zaciskach nośnych obandażowania celem uchronienia ich od przerwania, spowodowanego zmęczeniem materjału. Obandażowanie takie polega na owinięciu linki wstęgą z czystego wyżarzonego aluminjum. Wstęga musi mieć szerokość równą 0,5—0,65 średnicy linki oraz grubość 1—2 mm.

c. Montaż przewodów.

Bardzo częstym powodem zrywania się przewodów jest niewłaściwe zakładanie ich i tak naprzykład wleczone po ziemi ulegają załamaniom, zdarciom i t. p. uszkodzeniom, a szczególnie przy nierównych sąsiednich rozpiętościach i falistości terenu naciągi nie są zrównoważone. Linki zakłada się w ten sposób, że, po zamocowaniu ich na izolatorach odciągowych jednego ze słupów odporowych, przeciąga się je przez lekkie rolki (z drzewa lub aluminjum), umieszczone na ramieniku każdego słupa przelotowego wpobliżu wszystkich wisiorów nośnych. Rolki te muszą mieć średnicę nie mniejszą niż 35 do 50 krotna średnica linki. Po wykonaniu tych czynności naciąga się linki na drugim słupie odporowym odpowiednio do dopuszczalnego dla nich w danych warunkach naprężenia, mocuje się je na wisiorze odciągowym, poczem wyrównywa się zwisy w poszczególnych przęsłach zawartych między temi dwoma słupami. Dopiero po takiem wyrównaniu przenosi się przewody z rolek na zaciski nośne poszczególnych wisiorów, lekko mocuje się je i następnie sprawdza, czy wisiory nośne wiszą w pionie a po właściwem wyrównaniu wykończa się zamocowywanie przewodów. Na rys. 329 oraz 330 widzimy wzorowy montaż przewodów, dokonywany na słupach przelotowych oraz na słupie narożnym.



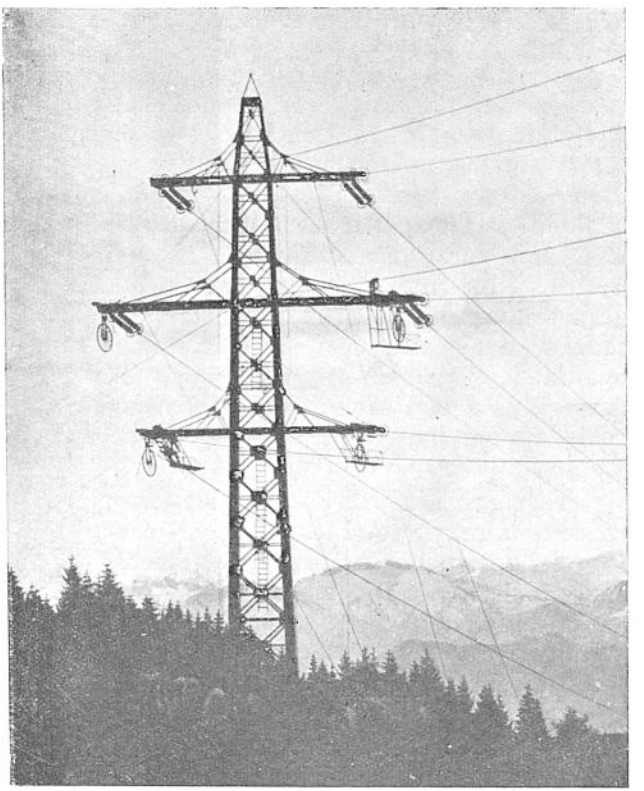

Rys. 329. Prawidłowe zakładanie przewodów.

d. Niebezpieczeństwo powodowane przez stosowanie przewodów o różnym materjale.

O ile w sieciach z przewodami jednomaterjałowemi można przy racjonalnej budowie, stosowaniu odpowiednio dużego przekroju, właściwych naciągów i t. d. prawie w całości uniknąć zerwań przewodów, o tyle w sieciach, w których zastosowano i miedź i aluminjum, nowe przyczyny przerw,

a mianowicie w miejscach łączenia przewodów miedzianych z aluminjowemi, powstają mimo nawet stosowania specjalnych zacisków, które jednak zadanie swe spełniają tylko częściowo.

Należy jeszcze wspomnieć o zastosowaniu w wielu sieciach spojówek mosiężnych (nitówek), które z czasem spowodować muszą taką ilość przerw, jaką ilość nitówek zastosowano. Mosiądz, pod wpływem przechodzącego przez niego prądu elektrycznego, zmienia swą strukturę w ten sposób, że zupełnie kruszeje i oczywiście nie może znieść tych obciążeń mechanicznych, na które jest narażony w sieciach elektrycznych. Sprawę tę można względnie łatwo i tanio naprawić, o ile dany odcinek można wyłączyć spod napięcia na czas konieczny do przeprowadzenia wymiany spojówek mosiężnych na właściwe. Gorzej jest jednak, jeżeli dany odcinek sieci jest przewodem otwartym i to w dodatku z dołączonymi do niego odbiorcami o różnych warunkach pracy. W tym przypadku uzyskanie zgody większości choćby tylko na wyłączenie prądu jest zwykle nieosiągalne i, biorąc rzecz życiowo, a nie według odnośnych formułek umów o dostawę prądu, wymianę taką, jak również szereg innych napraw można przeprowadzać nie planowo, lecz dorywczo, w miarę nadarzających się ku temu sposobności. Już ten przykład wskazuje, jak dalece elastyczną musi być organizacja obsługi i utrzymania w ruchu sieci okręgowej, aby mogła przystosować się wprost „automatycznie" do sieci, do zmian, zachodzących tak w jej stanie jak i rozciągłości.



Rys. 330. Mocowanie przewodów na słupie narożnym.

e. Sadź.

Sadź również często bywa przyczyną przerw w dostawie prądu; dotyczy to szczególnie okolic górzystych, zalesionych i obfitujących w wodę. Unoszące się w takich miejscowościach mgły i pary przy nagłem oziębieniu się powietrza do temperatury około — 5° C skraplają się na przewodach i za-

marzają. Powstałą w ten sposób sadź może zwiększyć jeszcze śnieg. W pewnych przypadkach sadź może się stać bardzo niebezpieczna dla sieci, gdyż przewody tak obrastają lodem, że średnica ich może dojść do 15 lub 20 cm a nawet więcej, jak np. 28 cm średnicy zaobserwowanej w Hiszpanji. Z jednej strony przewody otrzymują w ten sposób spowodu lodu dodatkowe obciążenie, które może osiągnąć 15 kg/1 m. b., a z drugiej strony cierpią one od ogromnego parcia wiatru wobec tak znacznie zwiększonej ich powierzchni. Obciążenia te powodują zerwanie przewodów, pogięcie lub połamanie słupów, pękanie fundamentów betonowych i pękanie izolatorów. Jeżeli natomiast sadź nagle odpadnie od przewodu, wówczas przewód, pozbawiony gwałtownie obciążenia, podskakuje do góry i może spowodować zwarcie, a poprzeczki skutkiem nagłego zniknięcia zrównoważenia naciągów obu sąsiednich przęseł również narażone są na pogięcie lub połamanie. Izolatory także ulegają nagłemu szarpnięciu i to jest wzgląd, dla którego przewód umocowuje się w szyjce izolatora, a nie w rowku jego główki. Oczywiście, że szarpnięcie takie łatwiej zniosą izolatory stojące, nakręcone na trzon przy użyciu konopi, niż zalane jakiemś mniej elastycznem spoiwem. Dla uchronienia się od zwarć, powodowanych nagłem odciążeniem jednego przewodu z obciążenia sadzi, obecnie już powszechnie zarzucono stosowanie na słupie układu przewodów umocowanych w jednej płaszczyźnie pionowej tak, że przy torze pojedyńczym każde z ramion słupa jest innej długości. Ramienniki ruchome mogą podczas sadzi w całej pełni wyzyskać swe wielkie zalety. Przewód, z którego sadź opadła, jest również groźny dla pewności pracy sieci wówczas, gdy inne przewody na tym samym słupie w dalszym ciągu są pokryte sadzią, gdyż posiadają one inny okres wahnięć i różne zwisy, co może spowodować zderzanie się przewodów, a więc i zwarcia.

Tego rodzaju przykre możliwości przerw w dostawie prądu oraz sezonowo najprzykrzejszych uszkodzeń sieci i to w miejscach zazwyczaj najtrudniej dostępnych, zmuszają nas albo do specjalnie silnej i niegospodarnej budowy sieci oraz zmniejszania rozpiętości do 60 m, a nawet do 35 m, albo też do usuwania sadzi.

*a.* Nagrzewanie przewodów. Doniedawna jeszcze próbowano sadź strącać uderzeniami drążków o przewody, lecz teraz już sposób ten zarzucono, gdyż popierwsze trudno jest o odpowiednio lekkie, mocne, długie i nieprzewodzące drążki, a powtóre czynność ta, niebezpieczna dla życia ludzkiego, jest niezawsze możliwa do wykonania i droga. Obecnie za przykładem Ameryki stosuje się w Europie stapianie lodów. Czyni się to zapomocą prądu elektrycznego o natężeniu odpowiedniem do materjału przewodów i ich przekroju. Do tego celu nie wystarcza oczywiście zwykły prąd roboczy, płynący przez przewody, lecz trzeba je wyłączyć z pracy, zewrzeć na jednym końcu, a drugi koniec linji przyłączyć do odpowiedniego transformatora lub generatora. Rozumie się, że wówczas powstaje przerwa w pracy linji, i nie stanowi to żadnego kłopotu, o ile rozporządzamy drugą linją; lecz nawet w przypadku, gdy konieczność takiego podgrzania spowoduje przerwę w dostawie prądu, można to uzasadnić tem, że bez podgrzania nastąpiłaby najprawdopodobniej również przerwa, wywołana uszkodzeniem

sieci sadzią, i tem dotkliwsza bo następująca bez uprzedzenia, a przytem może długotrwała, gdyż ciągnąca się przez wiele godzin a czasem nawet dni (w Prusach Wschodnich dwa dni w 1929 r.). Tyczasem grzanie przewodów powoduje przerwę w dostawie prądu w porze najdogodniejszej i tylko na przeciąg ½—1 godziny.

Ażeby jednak podgrzewanie takie było skuteczne, musi ono doprowadzić przewody do temperatury o 40° do 80° C wyższej od temperatury otoczenia, t. j. najczęściej od temperatury —5° C. Zależy to oczywiście od chęci skrócenia czasu podgrzewania, od temperatury zewnętrznej, wiatru i t. d. Podgrzewanie przewodów odbywa się najskuteczniej wówczas, gdy stosuje się je zaraz po utworzeniu się sądzi, a w każdym razie zanim temperatura otoczenia spadnie poniżej —10° C. W tym przypadku więc miarodajne są obserwacje służby meldunkowej sieci. Dr. Inż. K. Halbach podaje następujący wzór doświadczalny dla określenia natężenia prądu, koniecznego do stopienia sadzi:

$$J = 222 \sqrt{\frac{T}{r_w}} \cdot d^{1,2},$$

gdzie $T$ jest temperaturą ogrzanych przewodów ponad temperaturę otoczenia. Temperatura ta, ustalona doświadczalnie i konieczna do stopienia sadzi, wynosi, jak już wspomnieliśmy, 40° — 80°C; $r_w$ jest opornością właściwą przewodu w $\Omega/mm^2$ i 1 km długości przy 15°C.

Tak więc dla miedzi $r_w = 17{,}5\ \Omega/mm^2 \cdot 1$ km,
„ aluminjum $r_w = 30{,}4$ „ „

$d$ jest średnicą linki przewodu w cm, a wreszcie stała 222 zależna jest od stosunków meteorologicznych. Podstawiając te wartości w powyższy wzór znajdziemy:

a) dla przewodów miedzianych:

gdy $T = 40^0$ $J_{40} = 222 \cdot \sqrt{\frac{40}{17{,}5}} \cdot d^{1,2} = 336 \cdot d^{1,2}$

„ $T = 80^0$ $J_{80} = 222 \cdot \sqrt{\frac{80}{17{,}5}} \cdot d^{1,2} = 474 \cdot d^{1,2}$

b) dla przewodów aluminjowych:

gdy $T = 40^0$ $J_{40} = 222 \cdot \sqrt{\frac{40}{30{,}4}} \cdot d^{1,2} = 254 \cdot d^{1,2}$

„ $T = 80^0$ $J_{80} = 222 \cdot \sqrt{\frac{80}{30{,}4}} \cdot d^{1,2} = 360 \cdot d^{1,2}$

Jeżeli więc mamy ogrzać przewody o przekroju np. $s = 120$ mm², których linki mają średnicę: $d = 1{,}4$ cm tak, że $d^{1,2} = 1{,}498$, wówczas przewody miedziane obciążyć musimy prądem $J = 503 \div 710$ A, a aluminjowe $J = 380 \div 540$ A.

Jeżeli przyjmiemy, że oporność urojona przewodów wynosi średnio na fazę i 1 km $x = 0{,}41\ \Omega$, wówczas przy sieci miedzianej:

$$z = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{\left(\frac{r_w}{s}\right)^2 + x} = \sqrt{\left(\frac{17{,}5}{120}\right)^2 + 0{,}41^2} =$$

$$= \sqrt{0{,}146^2 + 0{,}41^2} = 0{,}435\ \Omega/1\ \text{km}$$

a dla aluminjum:

$$z = \sqrt{\left(\frac{30{,}4}{120}\right)^2 + 0{,}41^2} = \sqrt{0{,}254^2 + 0{,}41^2} = 0{,}482\ \Omega/1\ \text{km}.$$

Stąd napięcie międzyprzewodowe, jakie musimy zastosować na każdy 1 km linji miedzianej:

$$U = \sqrt{3} \,.\, J \,.\, Z = (379 \div 535)\ \text{woltów/1 km}$$

aluminjowej:

$$U = (317 \div 450)\ \text{woltów/1 km}.$$

Konieczna do tego celu moc pozorna wyniesie:

w linji miedzianej: $N = \sqrt{3} \,.\, U \,.\, J = (330 \div 656)$ kVA

„ „ aluminjowej: $N = (208 \div 421)$ kVA

Spółczynniki mocy wyniosą:

w lince miedzianej: $\operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{r} = \frac{0{,}41}{0{,}146} = 2{,}81$

stąd $\varphi = 70^0 20'$ tak, że $\cos \varphi = 0{,}336$

„ „ aluminjowej: $\operatorname{tg} \varphi = \frac{0{,}41}{0{,}254} = 1{,}615$

stąd $= 58^0 10'$ tak, że $\cos \varphi = 0{,}527$

Tak więc moc czynną pobierają przewody:

miedziane: $(330 \div 656) \,.\, 0{,}336 = (113 \div 221)$ kW/1 km

aluminjowe: $(208 \div 421) \,.\, 0{,}527 = (110 \div 217)$ „ „

Przy mniejszych przekrojach moce te będą mniejsze i tak naprzykład: przy $s = 50\ \text{mm}^2$, $T = 40^0$ C wynoszą:

dla miedzi: 96 kW, 28,4 kV, $\cos \varphi = 0{,}652$

„ aluminjum: 96 kW, 29,5 kV, $\cos \varphi = 0{,}827$

Bardzo dogodnym sposobem ogrzewania przewodów jest użycie jednego z generatorów o odpowiedniej mocy, połączonego bezpośrednio z transformatorem. W tym celu najchętniej używa się transformatorów starych, pracujących nieekonomicznie lub z innych przyczyn nie używanych do normalnej pracy. Zwierania przewodów na końcu dokonywa po obustronnem odłączeniu sieci zazwyczaj dozorca sieciowy mieszkający najbliżej obranego w tym celu miejsca sieci; czyni on to w sposób niezagrażają-

cy jego życiu, a więc zapomocą odpowiednio zmontowanego wyłącznika olejowego. Po dołączeniu zwartej linji do transformatora podnosi się napięcie na generatorze aż do uzyskania właściwego zwartemu odcinkowi napięcia. W praktyce zazwyczaj korzysta się z posiadanego napięcia niższego od napięcia roboczego danej linji. Naprzykład mamy w zakładzie wytwórczym 30 kV i 100 kV. Pragniemy nagrzać przewody linji 100 kV z miedzi 120 mm$^2$. Długość linji wynosi 65 km. Korzystając z poprzednich obliczeń, znajdziemy, że przy prądzie 503 A potrzeba 379 woltów/1 km linji. W danym przypadku trzebaby więc użyć: $379 \times 65 = 24\,600$ woltów. Mając do dyspozycji 15 kV, należałoby zwiększyć prąd do wysokości $503 . \frac{30}{24{,}6} = 615$ A, co jest dopuszczalne, gdyż jak obliczyliśmy, najwyższe obciążenie, dopuszczalne w tym celu dla tego przekroju, wynosi 710 A.

Moc pozorna wyniesie: $330 . 60 . \left(\frac{30}{24{,}6}\right)^2 = 29\,400$ kVA,

a moc czynna: $113 . 60 . \left(\frac{30}{24{,}6}\right)^2 = 10\,000$ kW.

W ten sposób stopienie sadzi na linji 65 km długiej, o przekroju $3 \times 120$ mm$^2$ Cu, wymaga wydatkowania pracy elektrycznej:

$$10\,000 \text{ kW} . (0{,}5 \div 1) \text{ h} = 5\,000 \div 10\,000 \text{ kWh}$$

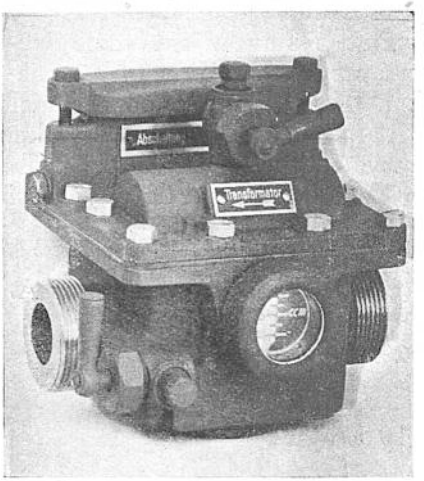
Jeżeli policzymy tutaj tylko koszty węglowe, to tego rodzaju pozbywanie się sadzi jest tanie i kalkuluje się korzystniej niż koszty każdego innego sposobu rozwiązania tego zagadnienia. Sprawa ta przedstawia się gorzej, jeśli chodzi o wielkość mocy, potrzebnej do tego celu, lecz Dr. Halbach zupełnie słusznie zaznacza, że ogrzewanie takie można przeprowadzić w czasie najmniejszego obciążenia Zakładu Wytwórczego.

Zwykle linje wygrzewa się napięciem równem około 30% napięcia roboczego danej linji, tak np. linję 15 kV wygrzewa się napięciem 6 kV, przyczem, przy przeważnie wchodzących tu w grę długościach i przekrojach, można się liczyć z zapotrzebowaniem mocy na ten cel w wysokości ok. 1 500 kW.

4. Przerwy pracy powodowane przez uszkodzenia transformatorów.

Dalszą przyczyną przerw są uszkodzenia transformatorów. Zasadniczo sprawa naprawy transformatorów nie powinna być brana pod uwagę w organizacji ruchu i obsługi sieci elektrycznej, jakoże naprawy transformatorów we własnym zakresie elektrowni lub sieci zupełnie się nie opłacają i nie dają takiej gwarancji dobrego ich wykonania, jaką mamy wówczas, gdy naprawę przeprowadzi fabryka maszyn elektrycznych. W niektórych tylko przypadkach naprawy takie muszą być przewidziane organizacyjnie, a mianowicie będzie to dotyczyło mniejszych sieci okręgowych, nie posiadających dostatecznej rezerwy transformatorowej i w dodatku bardzo oddalonych od fabryk, które naprawy takie powinny wykonywać. Większe sieci okręgowe zawsze muszą mieć na składzie i przeważnie mają, dosta-

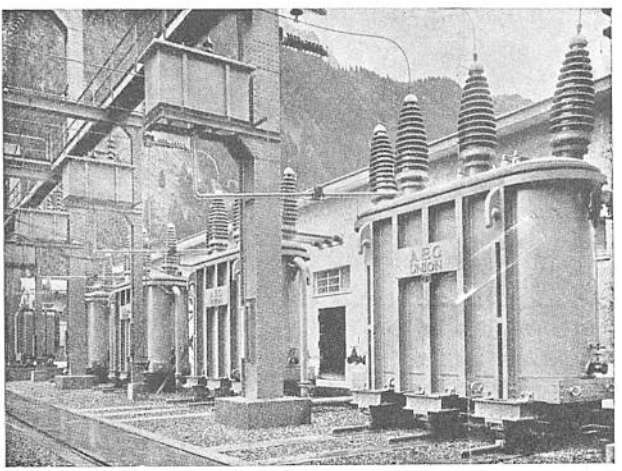
teczną rezerwę transformatorową tak, że dla nich odległość od fabryk nie ma tak wielkiego i decydującego znaczenia. Nie bierzemy tu pod uwagę napraw drobnych, powierzchniowych, które oczywiście muszą być wykonywane na miejscu przez personel sieciowy. Okoliczność ta może być jednak wzięta pod uwagę jedynie przy odpowiednim doborze personelu sieciowego i wyposażeniu go w narzędzia, przyrządy i materjały.




Rys. 331. Przekaźnik Buchholz'a w wykonaniu firmy SSW.

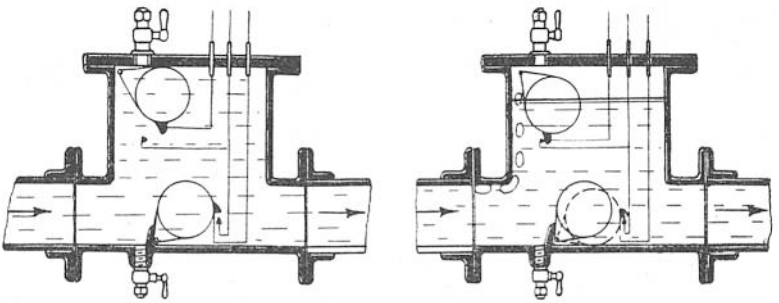
Nie bierzemy również pod uwagę napraw „specjalnych" transformatorów; naprawy takie czyto ze względu na gwarancję, czyto na wysokie napięcie, czyteż na swą wielkość muszą być wykonywane przez personel fabryki, która transformator dostarczyła; dzieje się to często na miejscu ze względu na znaczne trudności transportowe.

a. Zabezpieczenia Buchhol'za. Możemy uniknąć bardzo wielkich uszkodzeń transformatorów lub też w znacznym stopniu je ograniczyć dzięki zastosowaniu przekaźników Buchholz'a (rys. 331), których działanie oparte jest na prostem spostrzeżeniu, że wszelkie osłabienia izolacji czyto międzyzwojowej czyteż między zwojami a szkieletem lub też izolacji obwodu magnetycznego powodują miejscowe rozgrzania odpowiedniej części transformatora, skutkiem czego olej transformatorowy podlega rozkładowi powolnemu lub szybkiemu, zależnie od rozmiarów uszkodzenia. Skutkiem rozkładu oleju lub spowodu jego starzenia się powstają gazy, wędrujące pod pokrywę transformatora, a stamtąd do konserwatora. Na drodze tych gazów (rys. 332), w rurce łączącej skrzynię transformatorową z konserwatorem, wstawił Buchholz zbiorniczek (rys. 333), całkowicie wypełniony olejem transformatorowym, który zapomocą kraniku został pozbawiony powietrza. W zbiorniczku tym umieszczono ponad sobą dwa pływaki. W chwili, gdy gazy zaczną się



Rys. 332. 4 transformatory 6,5/130 kV po 30 000 kVA każdy, zabezpieczone przekaźnikami Buchholz'a (Vermuntwerk Parthenen der Vorarlberger Illwerke A. G.)

wydzielać z oleju i dojdą do zbiorniczka, zbierając się w nim pod pokrywą, górny pływak zacznie się opuszczać wmiarę obniżania się poziomu oleju w zbiorniczku i wreszcie opadnie na kontakt; w ten sposób daje znać odpowiednim sygnałem o rozwijającem się w danym transformatorze niebezpieczeństwie (rys. 334). Jeżeli wydzielanie się gazów będzie trwało nadal, to zacznie opadać drugi pływak i w odpowiedniej chwili zewrze drugi kontakt, i transformator zostanie obustronnie odłączony od sieci. Skonstruowany w ten sposób przekaźnik ma na boku szybkę przeskalowaną, na której można odczytać objętość wydzielonego gazu w $cm^3$. Dzięki kranikowi górnemu można wypuścić gaz już wydzielony, poczem zamknąwszy kranik, można z zegarkiem w ręku określić szybkość odbywającego się procesu rozkładu, która pozwala wnioskować o rozmiarach uszkodzenia i grożącego niebezpieczeństwa.




Rys. 333. Przekaźnik Buchholz'a.

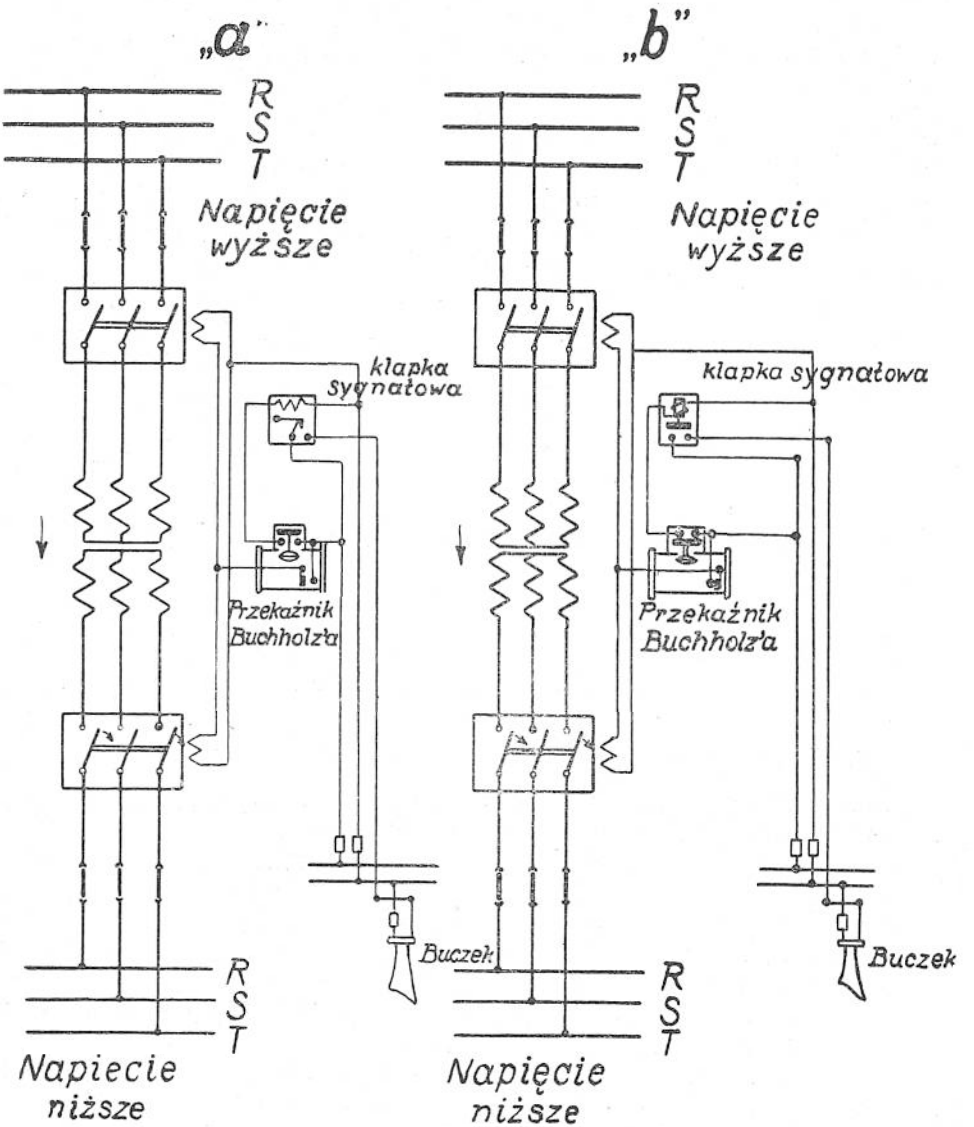
5. Przerwy pracy powodowane przez przyczyny żywiołowe.

Inne przerwy przygodne mają swe źródło w przyczynach żywiołowych, a więc w burzach, nagłych uderzeniach wiatrów lub wylewach rzek. Jako skutek działań żywiołów zdarzają się przerwy już wyżej opisane, a ponadto jeszcze rozmietlenie, poszarpanie, połamanie, pogięcie lub powywracanie słupów.

a. Zaciski ślizgowe. W celu uchronienia nieraz całego szeregu słupów przelotowych od wywrócenia się lub skręcenia wrazie pęknięcia jednego lub więcej przewodów, stosujemy specjalne zaciski ślizgowe, które pod działaniem naciągu jednostronnego odchylone pod pewnym kątem, zgóry określonym dla danego zacisku, samoczynnie zwalniają przewód spod nacisku do tego stopnia, że np. 25% normalnego pełnego naciągu już wystarcza, aby spowodować przesunięcie się przewodu; dzięki temu zwisy zwiększają się do tego stopnia, że odpowiadające im naciągi są swobodnie i bez złych następstw przejęte przez słupy. Skombinowane w ten sposób zaciski działają dobrze, o ile przewód nie jest obciążony sadzią: w tym bowiem przypadku zawodzą.

b. Słupy o poprzeczkach wahliwych. Wyżej opisanej wady nie posiada rozwiązanie firmy AEG, która zwiększenie się zwisu osiąga przez zasto-

sowanie na wszystkich słupach poprzeczek wahliwych, t. j. obracających się naokoło mniejwięcej pionowej osi słupa (rys. 335). Dzięki takiemu urządzeniu ramion słup nie potrzebuje być liczony na skręcenie; pozatem słupy



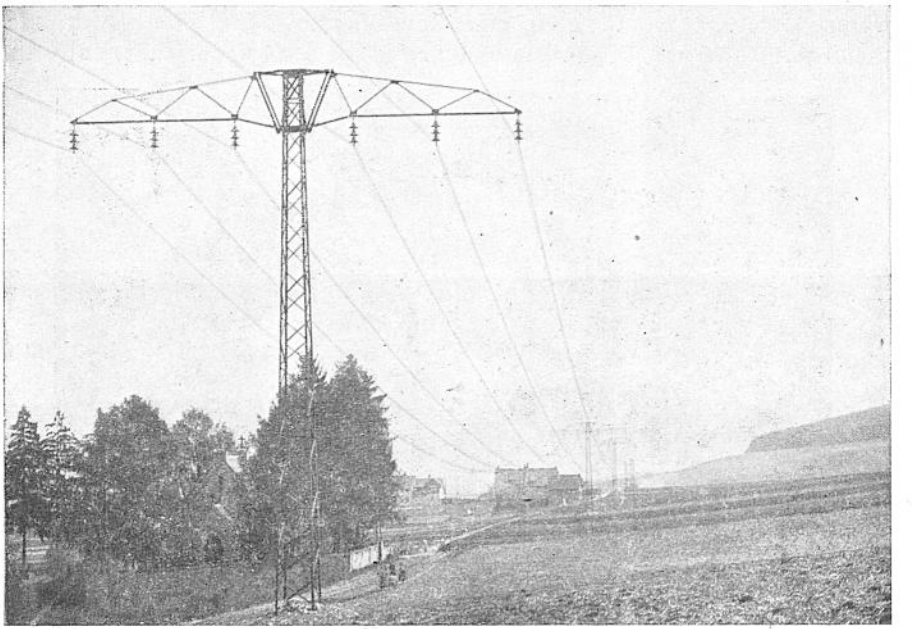

Rys. 334. Schemat zabezpieczenia transformatorów przekaźnikami Buchholz'a, (strzałka wskazuje kierunek przepływu energji):
„a" — zapomocą prądu roboczego, „b" — zapomocą prądu ciągłego.

z ramionami ruchomemi są znacznie lżejsze, a więc i tańsze, od słupów z ramionami stałemi. Przy sześcioprzewodowym układzie osiąga się w ten sposób oszczędność na wadze:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| przy | napięciu | 60 | kV | oszczędza | się | 7% — 15% |
| „ | „ | 100 | „ | „ | „ | 15% — 20% |
| „ | „ | 150 | „ | „ | „ | 20% — 25% |
| „ | „ | 220 | „ | „ | „ | 25% — 30% |

Słupy te także ze względu na poziomy układ przewodów są godne polecenia również przy niższych napięciach, jak np. 20 kV.

Ze względów historycznych należy wspomnieć, że jeszcze przed kilku laty stosowano w przewodach sprężyny, któremi pionowo wiszące wisiory łączą się w dolnych swych częściach (rys. 336). Sprężyny (spiralne) są w ten sposób dobrane, że przy normalnem obciążeniu są one prawie zupeł-



Rys. 335. Słup o poprzeczkach wahliwych, 60 kV (Südharz).

nie nie rozciągnięte, a w chwili osiągnięcia pewnego naciągu, np. skutkiem sadzi czyteż mrozu, wydłużają się i temsamem powodują zwiększenie się zwisów, a więc i zmniejszenie naciągu. Sprężyny takie z zasady stosowało się na słupach odporowych, krańcowych i narożnych, a wrazie dłuższych odcinków prostolinijnych także i na słupach przelotowych, mniejwięcej co kilometr. Tego rodzaju zabezpieczenia znajdują się jeszcze do tej pory np. w Bawarji i Austrji.

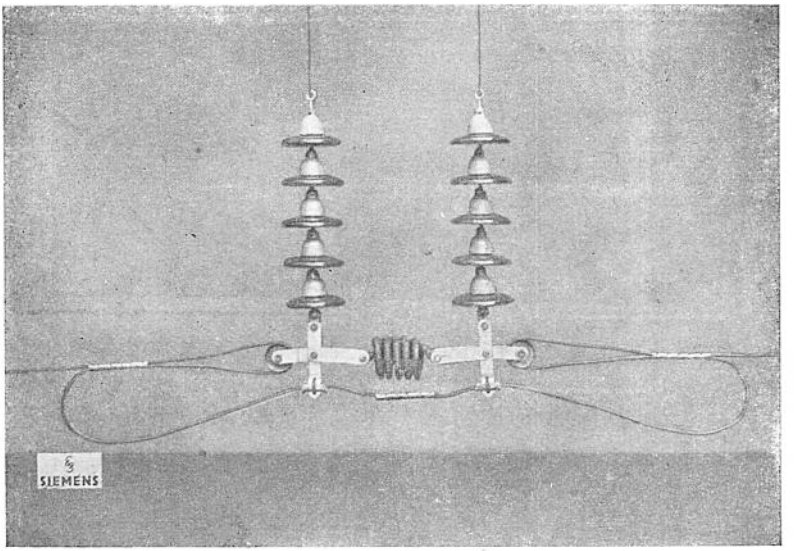
### 6. Przerwy pracy powodowane przez nieprawdopodobne skutki różnych zjawisk.

Często spotykamy się z teoretycznie nieprawdopodobnemi skutkami burz, jak to miało miejsce np. z połamaniem słupów jednej z państwowych linij telefonicznych w czasie burzy śnieżnej, co ilustrują trzy fotografje (rys. 337, 338 i 339). Rzecz jasna, że takie zniszczenie słupów niezależne

od napięcia roboczego, pod jakiem znajdowały się przewody na słupach tych rozpięte, może się zdarzyć także w sieci okręgowej.

7. Przerwy pracy powodowane przez złośliwość i urojenie.

Znacznej liczby przerw nie można zupełnie uzasadnić. Istnieją więc przerwy o przyczynie nieznanej lub złośliwej, a także o tle humorystycznem; i tak np. monter, wysłany na rewizję linji elektrycznej napowietrznej aluminjowej o napięciu 22 kV, doszedł do stacji transformatorowo- rozdzielczej. Tuż przy stacji spostrzegł w słońcu, jak ze lśniącego przewodu aluminjowego spomiędzy dwóch izolatorów słupa odporowego spada co chwilę srebrzysta kropla, a to — jak był święcie przekonany — roztopionego aluminjum. Ulegając pierwszemu impulsowi myślowemu, pobiegł do stacji transformatorowo- rozdzielczej i wyłączył spod napięcia całą linję, unie-

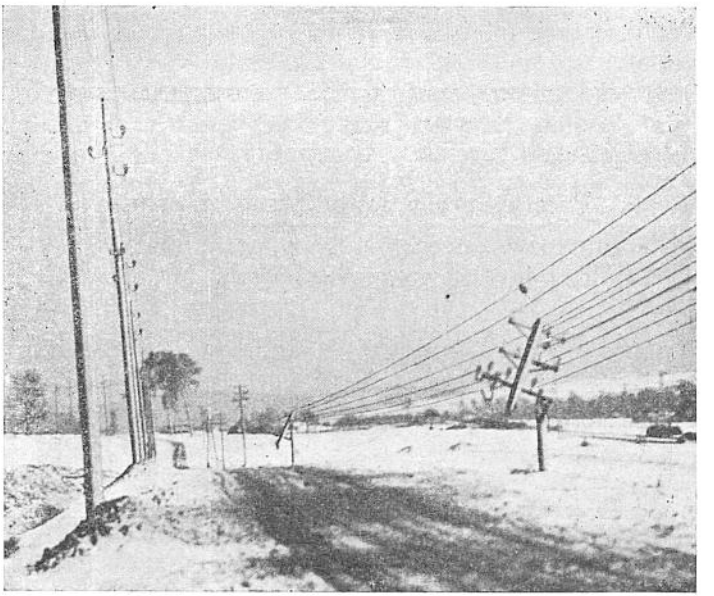



Rys. 336. Sprężyna wyrównywująca naciągi przewodów.

ruchamiając w ten sposób kopalnię węgla i szereg drobnych fabryk. Po wejściu na słup przekonał się jednak, że mniemane krople aluminjowe są kroplami zwykłej rosy, spadającej z przewodu od czasu do czasu wzdłuż nitek babiego lata, lśniąc przytem w słońcu.

8. Przerwy pracy powodowane przez wadliwą budowę sieci.

Wreszcie należy zauważyć, że w wielu sieciach zaburzenia powodują dłuższe przerwy i kosztowniejsze naprawy dlatego, że nieracjonalna budowa sieci ze zbyt wielkim stopniem bezpieczeństwa czyni najsłabszym punktem na przebicie w całem urządzeniu transformatory lub przyrządy stacyj transformatorowych i rozdzielczych. Należy więc wystrzegać się utrzymywania sieci napowietrznej w nadmiernie dobrej izolacji. Na tę okoliczność zwrócono już uwagę w r. 1927 na komisji międzynarodowej AIEE dla rozprowadzenia i rozdziału energji elektrycznej.



Rys. 337. Pierwszy wypadek ścięcia słupa przez burzę.

Przy braniu pod uwagę miejsc najbardziej podatnych na uszkodzenia nie można pominąć przejść linij kablowych w napowietrzne. Ze względu na surowe przepisy budowy i badania kabli, szczególnie Polskiego Komitetu Elektrotechnicznego, które są ostrzejsze od przepisów VDE, zbyteczne

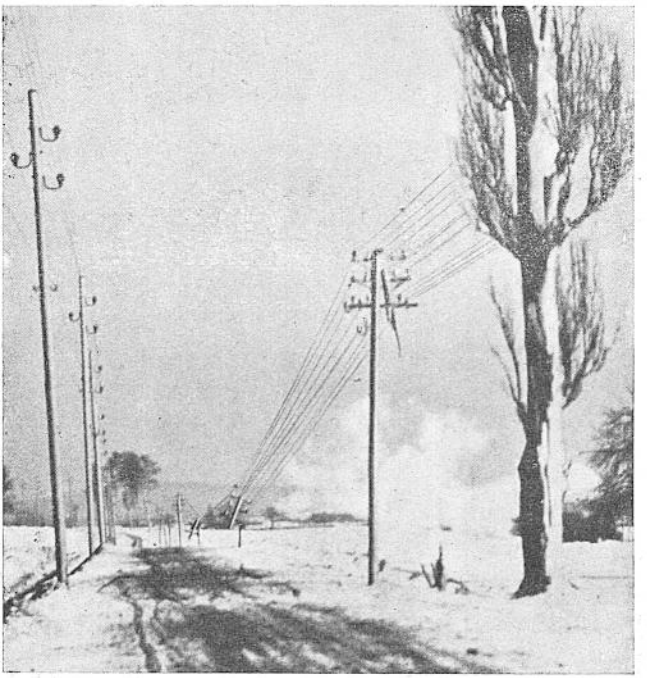


Rys. 338. Drugi wypadek ścięcia słupa przez burzę.

jest stosowanie w tych miejscach kabli, budowanych dla podwójnego napięcia roboczego; w zupełności wystarczą kable konstruowane na znamionowe napięcie robocze, zato mufy muszą być zakładane na napięcia robocze podwójne. Pozatem obowiązują tu zabezpieczenia, przewidziane w rozdziale o przepięciach.

9. Przerwy pracy powodowane przez pożary.

Na zakończenie rozważań o wypadkach, powodujących zakłócenia ruchu elektrycznego, należy jeszcze wymienić pożary, jakie powstają czasem w



Rys. 339. Trzeci wypadek ścięcia słupa przez burzę.

urządzeniach elektrycznych, a przedewszystkiem pożary oleju, transformatorów, generatorów i kabli. Sposób postępowania w podobnych wypadkach jest naogół podany we wskazówkach obchodzenia się z urządzeniami elektrycznemi wrazie pożaru $\frac{PNE}{26 - 1932}$. Wskazówki te pragnęlibyśmy uzupełnić niektóremi uwagami: otóż bardzo groźne rozmiary mogą przybrać pożary kabli, które wzdłuż zewnętrznej ich juty mogą wędrować poprzez stacje rozdzielcze, a jeszcze gorsze w następstwach są pożary w kanałach kablowych. Przenoszenia się ognia wzdłuż kabli unikamy przez zdarcie juty z pancerza, a pancerz sam należy pomalować farbą ochronną. Przed pożarami kabli w kanałach bronimy się przez zasypanie kabli na stałe cienką warstwą suchego piasku.

Najgorsze w skutkach są pożary oleju, spowodowane np. rozerwaniem się wyłącznika lub transformatora. Pożary te można opanować użyciem ręcznych gaśnic o tyle, o ile do akcji tej przystąpiłoby się bezzwłocznie po wypadku. Jeżeliby jednak pobliskie części metalowe, jak np. wierzchy kotłów wyłącznikowych, zdążyły się już tak rozpalić, że temperatura ich osiągnęłaby temperaturę zapłonu oleju, t. j. wyższą od 145° C, wówczas ręczne aparaty, nie wystarczą do zgaszenia pożaru, gdyż przy tego rodzaju gaszeniu rozpalone metale nie oziębiają się dostatecznie szybko. W tych przypadkach użycie dużej ilości wody jest nieuniknione. W żadnym jednak razie nie można takiego ognia gasić zalewaniem wodą z kubłów i t. p., o ile w pobliżu znajdują się urządzenia pod napięciem. W przypadku konieczności użycia strumienia wodnego należy pamiętać o tem, że ciągły strumień wody, stykający się z urządzeniami pod napięciem, grozi porażeniem, należy więc strumień wody kierować z takiej odległości, aby ciągłość swą zdążył utracić. Woda rozkrapla się tem szybciej, im pod większem ciśnieniem wypływa jej strumień i im jest on cieńszy. W żadnym razie nie należy strumienia wody kierować z odległości bliższej niż 4 m, gdyż powstający wówczas rozprysk wrzącego oleju może poparzyć ratownika.

Nowsze stacje są już zbudowane odpowiednio do celów lokalizowania pożarów, a więc stosuje się wyłączniki olejowe wpuszczone do t. zw. komór wybuchowych oraz przewidziana jest możność zupełnego oddzielenia od siebie wrazie pożaru poszczególnych części stacji, które, nie wyłączając komór wybuchowych, o ile są one zamykane, zaopatruje się w scentralizowane w jednem miejscu baterje gaśnic pod ciśnieniem, złożone np. z 6 sztuk, przyłączonych do specjalnego dla danej części rurociągu. Stosownie rozmieszczone wyloty mogą być uruchomione ręcznie lub samoczynnie przy odpowiednim wzroście temperatury i t. d.

Rurociąg od takich bateryj dochodzi również np. do generatora; o ile powstanie w nim pożar, to po wyłączeniu go i odstawieniu wzbudzenia zamykamy do niego dopływ i odpływ powietrza i wpuszczamy z baterji bezwodnik kwasu węglowego. Sposób ten jest o wiele korzystniejszy, niż stosowane czasem gaszenie pożaru wewnątrz maszyn parą.

Pozatem należy oczywiście ręczne gaśnice rozmieścić w podręcznych i widocznych miejscach stacji, jednak trzeba je raczej grupować po kilka w jednem miejscu, a nie rozpraszać po jednej sztuce. Wypływa to z cennego doświadczenia, że wrazie wypadku obsługa lepiej pamięta o miejscach takich w punktach centralnych i wrazie potrzeby może użyć szybko jednocześnie kilku przyrządów, co przeważnie prowadzi do ugaszenia pożaru w samym zarodku.

Pozatem zarówno polskie jak i niemieckie przepisy przewidują możność użycia w wielkich przestrzeniach gaśnic z tetrachlorem metanu (czterochlorkiem węgla); sprzeciwiają się temu jednak praktycy, którzy się przekonali, że w razie pożaru mimo wyszkolonej obsługi nikt nie zdaje sobie sprawy z tego, czy w danym przypadku użycie takiej gaśnicy jest wogóle dopuszczalne i czy można do ratunku przystąpić bez maski gazowej, gdzie ta maska jest i czy właśnie nadaje się do twarzy tej osoby, która ogień spostrzegła. Dlategoteż gaśnic tych nie należy stosować nietylko wewnątrz

stacji, ale nawet i w jej pobliżu, skąd może być łatwo do pożaru w stacji przyniesiona i spowodować może zatrucie tworzącemi się w obecności ognia gazami, a szczególnie fosgenem.

Należy jeszcze zauważyć, że zarówno obsługa jak i gaśnice oraz inne przybory przeciwpożarowe powinny być sprawdzane regularnie raz na trzy miesiące.

### *II. Likwidacja zakłóceń pracy elektrycznej.*

Z dotychczasowych rozważań wynika, że przyczyna zakłócenia może leżeć bądźto w zakładzie wytwórczym lub stacji sieciowej o stałej obsłudze, bądźteż w sieci elektrycznej. Naogół zakłócenia pracy elektrycznej polegają albo na zwarciu albotеż na uziemieniu lub wreszcie na ich kombinacji.

Podstawowym warunkiem sprawnej likwidacji zakłócenia jest poznanie jego przyczyny oraz miejsca wystąpienia. O ile przyczyna zakłócenia w większości przypadków naogół jest znana mniej lub więcej dokładnie co do rodzaju (a nie co do rozmiaru), o tyle miejsce wystąpienia tej przyczyny jest tylko w wyjątkowych przypadkach dokładnie wiadome. W najszczęśliwszym przypadku miejsce to znajduje się wzdłuż odcinka sieci selekcyjnie odłączonego, natomiast w najgorszym razie nie potrafimy chwilowo nawet w przybliżeniu miejsca tego określić. Tak w jednym jak i w drugim przypadku sztuka i zadanie kierownictwa ruchu sieci polega na umiejętnem, szybkiem i sprawnem odnalezieniu miejsca zakłócenia. Pierwszym warunkiem spełnienia tego zadania, oczywiście poza fachowością, jest dokładna znajomość sieci w szczegółach. Przy spełnianiu tego warunku często nawet drobne, nieuchwytne dla ogółu pracowników szczegóły naprowadzą poprostu intuicyjnie na właściwe rozwiązanie zadania. Taką dokładną znajomość urządzeń uzyskuje się oczywiście po wieloletniej pracy w danym terenie zasilania. Jestto więc jeden z powodów, dla których personel techniczny przedsiębiorstwa elektryfikacyjnego powinien być tak ceniony i mieć takie warunki pracy, aby zmiany tego personelu ograniczyć jedynie do zmian nie dających się uniknąć lub ograniczyć je do uzupełnienia braków, powstałych nieuniknionym niestety ubytkiem naturalnym.

Zgodnie z wyżej podanym podziałem zakłóceń rozpatrzymy niektóre główniejsze metody ich likwidacji, przyczem będziemy mieli na uwadze warunki rzeczywiste pracy przy obsłudze sieci. A więc będziemy się starali przeprowadzić likwidację środkami najprostszemi, któremi obsługa stale się posiłkuje albotеż które bezwarunkowo stale mieć powinna. Pominiemy natomiast wszystkie te metody, które wymagają, że tak powiemy, nastawienia laboratoryjnego, a więc posiłkujące się skomplikowanemi przyrządami, z których zwykła obsługa, jaką rozporządzamy podczas zakłócenia, ani nie potrafiłaby korzystać, aniteż nie miałaby ich pod ręką. Zajęciem takiego stanowiska bynajmniej nie chcemy metod tych nie doceniać, lecz pomijamy je jedynie jako mające zastosowanie nie powszechne, a wyjątkowe. Pomijamy również stosowany gdzieniegdzie sposób sprawdzania linij induktorem, gdyż popierwsze sposób ten jest groźny dla życia obsługi, ponieważ linja jest traktowana jak zwykła instalacja, a powtóre dla badania sieci w warunkach, ustalonych zakłóceniem, moc induktorów jest zamała.

1. Likwidacja zakłóceń, spowodowanych w zakładach wytwórczych oraz w stacjach sieciowych o obsłudze stałej.

Zakłócenia, spowodowane w zakładach o obsłudze stałej, są bezpośrednio po ich powstaniu zawsze znane, jeżeli już nie co do przyczyny, to w każdym razie co do miejsca, rodzaju i rozmiaru. Przypadek likwidacji zakłócenia, skutkiem którego zakład, dotknięty zakłóceniem, jest bez napięcia, a cała sieć, łącząca się z tym zakładem, pracuje nadal, nie wymaga bliższego omówienia. Jeżeli natomiast skutkiem zakłócenia w zakładzie wytwórczym cała sieć wyłączona jest z pracy, wówczas po usunięciu przyczyny zakłócenia i po doprowadzeniu generatorów do znamionowej częstotliwości stopniowo podnosimy napięcie na szynach zbiorczych, do których nadal pozostaje przyłączona cała sieć. W ten sposób sieć stopniowo odzyskuje napięcie. Jeżeli zakłócenie zakładowe spowodowałoby unieruchomienie tylko części sieci, wówczas, po usunięciu przyczyny zakłócenia, unieruchomioną część sieci przełączamy na zapasowe — wyłączone spod napięcia — szyny zbiorcze, do których przyłączamy bądźto generator, bądźteż przetwornicę lub kompensator. W ten sposób zapośrednictwem zapasowych szyn zbiorczych poddajemy sieć pod stopniowo podnoszone napięcie. Po odzyskaniu napięcia synchronizujemy zapasowe szyny z częścią urządzenia, która mimo zakłócenia pozostała nadal w pracy. Po uskutecznieniu tej czynności przełączamy sieć nowouruchomioną z szyn zbiorczych zapasowych na szyny stale pracujące, dzięki czemu wznawiamy ostatecznie stan pracy urządzeń, istniejący przed zakłóceniem. Wznawianie pracy sieci przez stopniowe podnoszenie napięcia jest najwłaściwszym sposobem likwidacji zakłócenia, jednakże względy miejscowe w zakładzie niezawsze pozwalają na korzystanie z niego. Bardzo często, a przedewszystkiem wtedy, gdy sieć znajduje się w porządku oraz gdy odnośne odbiorniki prądu zaopatrzone są w przekaźniki opadowe, wznawiamy pracę sieci rzutowo, t. j. zapomocą nagłego przyłączania kolejno poszczególnych linij pod napięcie znamionowe.

2. Likwidacja zakłóceń spowodowanych w sieciach napowietrznych oraz w stacjach bez obsługi stałej.

W przypadku wystąpienia zakłócenia pracy w sieci lub w stacji bez obsługi stałej przyczyna zakłócenia, jej rodzaj, rozmiar oraz miejsce wystąpienia są nieznane. Najczęściej przyczyną zakłócenia jest zwarcie, uziemienie oraz kombinacja obu tych przyczyn, albo przeciążenie.

a. Likwidacja zakłóceń pracy spowodowanych przez zwarcie.

Naogół zwarcia powodują opad napięcia w sieci. Zwarcia mogą być łukowe i metaliczne, a więc zwarcia chwilowe, t. j. takie, które po wyłączeniu linji natychmiast ustępują, oraz zwarcia trwałe. Pierwsze z nich występują przeważnie podczas burzy i powodują wyłączenie linji z pracy. Wyłączenie to może się odbyć selekcyjnie, co ma miejsce wówczas, gdy samoczynne wyłączniki zaopatrzone są w przekaźniki selekcyjne. W przeciwnym przypadku wyłączenie samoczynne następuje w sposób mniej lub więcej przypadkowy w miejscach niekoniecznie najbliższych miejsca zwarcia. Zarówno w jednym jak i w drugim przypadku staramy się zazwyczaj ponownie włą-

czyć pod napięcie wyłączony odcinek sieci i to po upływie czasu z jednej strony tak długiego, aby w przypadku zwarcia łukowego przestrzeń łukowa zdążyła się zdejonizować do tego stopnia, że przy ponownem włączeniu łuk już nie powstanie; a z drugiej strony czas ten powinien być tak krótki, aby możliwie podtrzymać w ruchu wirujące jeszcze — dzięki bezwładności mas — maszyny zarówno synchroniczne jak i asynchroniczne. Przyłączanie to odbywa się na drodze albo mechanicznej (opadającym ciężarem, naciągniętą sprężyną) albotež na drodze elektrycznej, t. j. elektromagnesem lub silniczkiem sterowanym specjalnemi kontaktami przekaźnika. Czas, po którego upływie przyłączanie to powinno się odbyć, wynosi naogół 0,2 do 0,3 sek. O ile nie stawialibyśmy tak dalekoidących żądań szybkiego przyłączania, to ponowne przyłączanie następuje w czasie znacznie dłuższym, bo wynoszącym od 3 sekund do 3 minut. Gdyby jednak po tem przyłączeniu wyłącznik ponownie wyskoczył, wówczas już nie zostaje włączony poraz wtóry, a dalsze postępowanie z wyłączoną z pracy linją będzie takie same, jakgdyby wyłączniki nie były zaopatrzone w przyrządy samoczynnie je przyłączające.

W tym ostatnim przypadku, gdy odcinek linji został selekcyjnie odłączony, miejsce zwarcia odnajdujemy zapomocą obchodu linji lub czasami zapomocą pomiaru. Po usunięciu przyczyny i skutku zwarcia linję przyłączamy. Jeżeli natomiast linja została odłączona nieselekcyjnie, lecz przygodnie, jak również w przypadku, gdy chcemy się upewnić o istnieniu zwarcia na linji, postępujemy w ten sposób, aby coprędzej zakłócenie ograniczyć tylko do jednego odcinka linji, zawartego między dwiema najbliższemi stacjami. Jeżeli więc dla ilustracji tych rozważań użyjemy rys. 159, to w przypadku zwarcia linji w miejscu, oznaczonem strzałką, będziemy starali się ograniczyć zakłócenie do odcinka, zawartego między wyłącznikami 7 i 8. Likwidację zakłócenia rozpoczynamy z zasady na stacji najbliższej źródła prądu, na której wyłączenie jeszcze nastąpiło (przy zwarciu może jednocześnie kilka kolejnych wyłączników wyskoczyć). Przypuśćmy, że będzie to stacja, zawierająca wyłącznik 3 tak, że szyny zbiorcze tej stacji i ewentualnie linje inne poza linją zwartą pracują normalnie, t. zn. że wyłącznik 2, oznaczony czarną kropką, pozostał włączony. Biuro Rozdziału Obciążeń, w którego obszarze działania nastąpiło zwarcie, alarmuje stosowne obsługi wszystkich unieruchomionych stacyj i wzywa je do obsadzenia ich. Każda poszczególna obsługa już bez dalszych dyspozycyj ma natychmiast na stacji swojej odłączyć linję chromą od szyn zbiorczych zarówno od strony dopływu do szyn zbiorczych jak i od strony odpływu, a więc np. zarówno wyłącznik 4 jak 5. Wyłączenie powinno być dokonane w ten sposób, aby od linji chromej odłączyć wszystkie transformatory robocze, miernikowe, dławiki gaszące i t. p. maszyny i przyrządy, stanowiące metaliczne połączenie między fazami, a całe urządzenie obsługa traktować musi jako będące pod napięciem i to w tym celu, aby likwidowanie zakłócenia mogło się odbywać nawet bez wzajemnego telefonicznego porozumienia się. Akcję likwidacyjną prowadzimy w ten sposób, aby jaknajszybciej uruchomić zdrowe odcinki sieci, a więc aż do wyłącznika 7 włącznie. W tym celu sprawdzamy metodą kolejnego włączania faz poszczególne od-

cinki. Metoda ta polega na tem, że linję chromą odłączamy dwoma odłącznikami od wyłącznika 3, a trzeci odłącznik np. fazy żółtej *R*, pozostawiamy załączony. Następnie zapomocą wyłącznika 3 włączamy pod napięcie jedną fazę chromej linji, t. j. fazę żółtą *R*. Pozostałe dwie fazy, t. j. zielona *S* i fjoletowa *T*, są nadal odłączone odłącznikami. Należy tu jednak zauważyć, że dla posiłkowania się dopieroco wymienioną metodą jest rzeczą konieczną, aby odłączniki linjowe były jednofazowe. Pozatem przyłączanie alboteż wyłączanie spod napięcia każdej fazy osobno nie jest dokonywane bezpośrednio zapomocą odłącznika jednobiegunowego, gdyż odłączony prąd jest praktycznie czysto pojemnościowy tak, że na oddalających się od siebie kontaktach odłącznika łuk, gasnąc w chwili przechodzenia prądu przez zero, natychmiast zapalałby się skutkiem tego, że chwila ta przypadałaby podczas przechodzenia napięcia przez jego najwyższą wielkość. Wobec tego manewrujemy odłącznikami bez napięcia, a dopiero wyłącznikiem dokonywujemy poddawania danej fazy pod napięcie lub też odłączania jej.

Jeżeli dany odcinek sieci nie jest zwarty, to zasadniczo nie powinniśmy wykryć napięcia w stosunku do ziemi ani na fazie *S* ani też na fazie *T*. Gdyby jednak jedna z faz, np. *S* lub nawet obie fazy, t. j. *S* i *T*, były pod znamionowem napięciem w stosunku do ziemi, byłoby to dowodem, że w badanym odcinku sieci (3—4) fazy *R* i *S* są zwarte alboteż, że zwarte są wszystkie trzy fazy, o ile wykryliśmy napięcie także na fazie *T*. Ponieważ na dokładnym pomiarze napięcia nam nie zależy, a chodzi nam tylko o wielkości porównawcze, przeto obecności napięcia na poszczególnych fazach oraz jego wysokości nie sprawdzamy woltomierzami jako w danym przypadku uciążliwemi w użyciu, lecz posługujemy się bądźto wskaźnikiem obecności napięcia próżniowym (z rurką Geissler'a lub neonową) prof. inż. Hermanna Zipp'a (a. High tension indicator, f. Tube indicateur à haute tension, n. Hochspannungsanzeiger), bądźteż najchętniej i najpowszechniej zwykłym drążkiem izolacyjnym (do odłączników). Do tego celu natomiast nie nadaje się wskaźnik napięcia elektroskopowy. Wskaźnik prof. Zipp'a jest bardzo czuły i działa już przy pojemności badanej fazy w stosunku do ziemi, wynoszącej około 0,00005—0,0001 $\mu F$. Dotykając się wskaźnikiem Zipp'a do zdrowej fazy *R*, będącej pod napięciem, zauważymy intensywne świecenie rurki, natomiast przy dotknięciu tej fazy okuciem drążka izolacyjnego spostrzeżemy intensywną iskrę i usłyszymy charakterystyczny dobrze nam znany trzask. Przy dotykaniu dwóch pozostałych faz, t. j. *S* i *T*, zjawisk tych nie spostrzeżemy, o ile fazy te nie są zwarte z fazą *R*. To ostatnie twierdzenie jest w całości ważne w tym przypadku, gdy praktycznie nie byłoby wpływu elektrostatycznego fazy przyłączonej *R* na fazy odłączone *S* i *T*, t. j. gdy badany odcinek linji jest krótki, a co za tem idzie — o małej międzyfazowej pojemności. W przeciwnym przypadku zarówno na fazie *S* jak i *T* wykryjemy pewne napięcie w stosunku do ziemi i to tem wyższe, im większa jest pojemność międzyfazowa linji, a więc im dłuższy jest badany odcinek (wskaźnikiem napięcia możemy wykryć napięcie o wysokości począwszy od $^1/_5$ jego napięcia znamionowego). Naogół jednakże intensywność świecenia na tych dwóch fazach, jak i intensywność iskry jest widocznie mniejsza niż na fazie *R*, a jedynie tylko w rzadkich

przypadkach badania bardzo długich odcinków sieci, pojemność międzyfazowa będzie tak duża, że może nastręczyć pewne trudności przy porównywaniu intensywności świecenia czyteż iskry na fazach niedołączonych z intensywnością tą na fazie zdrowej. Ta mniejsza intensywność obserwowanego zjawiska przekonywa nas o tem, że faza próbowana $R$ nie ma połączenia (zwarcia) ani z fazą $S$ aniteż z fazą $T$. Gdyby intensywność ta była taka sama na fazie $R$ jak i na $T$, byłoby to dowodem, że w badanym odcinku sieci jest zwarcie fazy $R$ z fazą $T$, co odnaleźlibyśmy zapomocą obchodu i następnie usunęli. Po wykonaniu próby z fazą $R$ i stwierdzeniu, że jest „czysta", wyłączamy ją spod napięcia i przyłączamy następną fazę, np. $S$, powtarzając badanie w sposób dopieroco opisany. Jeżeli obsługa wyłącznika 3 stwierdzi, że cały odcinek 3—4 jest „czysty", wówczas przyłącza go w zwykły rzutowy sposób. Tymczasem obsługa stacji o wyłącznikach 4 i 5 szybko sprawdza stan urządzeń swej stacji, zwracając szczególną uwagę na najsłabsze ich miejsca, jakoto: transformatory miernikowe, końcówki kablowe, izolatory przepustowe stacyjne oraz stan transformatorów i wyłączników, przekaźników Buchholz'a i t. d. O ile przegląd ten da wynik pomyślny i obsługa stwierdzi, że na wszystkich trzech fazach przed wyłącznikiem 4 panuje napięcie, wówczas wyłącznikiem tym przyłącza pod napięcie szyny zbiorcze oraz wszystkie odbiorniki i odchodzące linje z wyjątkiem wyłącznika 5. Po uskutecznieniu tej czynności następuje kolejne sprawdzanie faz odcinka 5—6 w sposób poprzednio opisany. Tą drogą ostatecznie wyznaczamy odcinek zwarty 7—8, gdzie zapomocą obchodu odszukujemy i usuwamy zwarcie. Jeżeli rozpatrzona dopieroco linja jest obustronnie zasilana, to rzecz prosta likwidujemy zakłócenie dośrodkowo jednocześnie z obu stron zwarcia, jak to opisaliśmy. Jak widzimy, sposób kolejnego przyłączania faz znacznie skraca czas trwania przerwy w pracy sieci, gdyż kontrolny obchód linji ogranicza tylko do chromego odcinka sieci. Aby jednakże ta porównawcza metoda mogła oddać należyte usługi, personel, obsługujący sieć, powinien na poszczególnych odcinkach sieci znać intensywność porównywanego zjawiska, występującego zarówno na fazie włączonej jak i na fazach odłączonych.

b. Likwidacja zakłóceń pracy spowodowanych przez uziemienie.

Jeżeli stwierdzimy zapomocą woltomierzy lub dławika gaszącego (brzęczyk), że na sieci danego napięcia powstało uziemienie, to oczywiście pracę sieci utrzymujemy nadal i staramy się coprędzej odnaleźć i co za tem idzie — usunąć uziemienie. Likwidację uziemienia rozpoczynamy od przeglądu wszystkich stacyj danego napięcia, ze szczególnem uwzględnieniem już poprzednio wymienionych najsłabszych części urządzenia stacyjnego. Następnie sprawdzamy przedewszystkiem linje dwutorowe. W tym celu w chwili, w której przenoszone obciążenie nam na to pozwala, odłączamy obustronnie jeden z torów linji dwutorowej i obserwujemy woltomierze. Jeżeli wykazują one w dalszym ciągu uziemienie, to tor ten, jako zdrowy, przyłączamy obustronnie, a odłączamy drugi tor. W ten sposób postępujemy ze wszystkiemi linjami dwutorowemi sieci danego napięcia. Jeżeli badania nie wykażą uziemienia w linjach dwutorowych, wówczas przystępujemy do badania sieci zamkniętych (pierścieniowych). W tym celu poszczególne odcinki tych sieci odłączamy kolejno obustronnie, obserwu-

jąc stale woltomierze i zwracając uwagę, aby czynnościami temi nie powodować przerwy w dostawie prądu, co zresztą ułatwia nam okoliczność, że z wyłączeniem z pracy danego odcinka możemy wstrzymać się do odpowiedniej chwili. Po stwierdzeniu, że dany odcinek jest zdrowy, przyłączamy go, poczem włączamy następny odcinek i t. d. W ten sposób kontrolujemy całą sieć zamkniętą. Skoro i tu nie znajdziemy uziemienia, wówczas z konieczności kolejno odłączamy poszczególe linje otwarte. Kolejność tę musimy pozostawić instynktowi, intuicji, czyteż dedukcji personelu, zajętego likwidacją. Jeżeli zakłócenie powstało naprzykład podczas silnego wiatru uważamy, że najskłonniejsze do zakłóceń są te odcinki sieci, które przebiegają przez tereny zadrzewione. Jeżeli znów przeszła burza, sieć jest zbudowana na słupach drewnianych z ramiennikami nieuziemionemi, a skrzyżowania torów kolejowych wykonane są na słupach żelaznych lub na drewnianych, lecz z konstrukcjami uziemionemi, to istnieje wielkie prawdopodobieństwo, że przyczyna zakłócenia będzie się znajdowała właśnie na tych skrzyżowaniach. Gdy po wyłączeniu którejś z tych linij zauważymy na woltomierzach, że uziemienie zniknęło, wówczas dla odszukania odcinka linji otwartej z uziemieniem, sprawdzamy kolejno poszczególne odcinki zapomocą kolejnego przyłączania faz w sposób wyżej opisany. Należy tu dodać, że jeżeli poddamy pod napięcie fazę nieuziemioną, to przedewszystkiem spostrzeżemy to na woltomierzach; lecz gdy w stacji, w której czynności sprawdzania faz dokonywujemy, woltomierzy niema i gdy telefonicznie nie można się z obsługą tej stacji porozumieć, to stan sieci sprawdzamy tak jak i poprzednio wskaźnikiem Zipp'a lub poprostu drążkiem. Świecenia rurki czyteż iskry na drążku oczywiście nie będzie wówczas, gdy przyłączona faza, naprzykład $R$, jest uziemiona; taksamo zjawisk tych nietylko o zmniejszonej intensywności, lecz wogóle nie zaobserwujemy ani na fazie $S$ ani na fazie $T$. Jeżeli teraz skolei wyłączymy fazę uziemioną $R$, a przyłączymy naprzykład zdrową fazę $S$, wówczas na fazie $S$ zaobserwujemy pełną intensywność porównywanego zjawiska, na fazie $T$ wystąpi zjawisko to z intensywnością częściową, a na fazie $R$ nie zauważymy nic. Aby jednakże pomiar ten dał oczekiwane wyniki, musi być spełniony warunek, aby ta część sieci, do której dołączamy badane fazy, miała pojemność większą od pojemości odcinka sieci badanego. W przeciwnym przypadku, a szczególniej wówczas, gdy odcinek badany miałby bardzo wielką pojemność, kolejne przyłączanie faz wykazywałoby jakgdyby uziemienie jednocześnie istniejące na wszystkich trzech fazach. Jak widzimy, błędnem byłoby posiłkowanie się metodą kolejnego przyłączania faz zapomocą specjalnie do tego celu wydzielonego na zapasowe szyny zbiorcze transformatora, a więc bez udziału pojemności reszty pracującej sieci. Jeżeli po odszukaniu odcinka linji z uziemieniem nie moglibyśmy zwykłym obchodem znaleźć miejsca uziemienia lub gdybyśmy nie mogli danej linji mieć wyłączonej z pracy na przeciąg czasu, koniecznego do obchodu, to linję przyłączamy, a miejsce uziemione na odszukanym odcinku sieci odnajdujemy zapomocą podsłuchu. Do tego celu wyzyskujemy napięcie krokowe, które w miejscu uziemienia jest najwyższe (rys. 216). Do butów badającego przytwierdza się paskami podeszwy metalowe, które łączy się z czułemi słuchawkami telefonicznemi. Wmiarę

zbliżania się do miejsca uziemionego, membrany słuchawek brzęczą coraz to silniej. Po odnalezieniu tego miejsca, charakteryzującego się największem brzęczeniem, wyczekujemy chwili odpowiedniej do wyłączenia linji, poczem uziemienie likwidujemy. Przyrząd, składający się z metalowych podeszew oraz słuchawek, nazywa się po niemiecku „Leckmelder" (S & H).

Przy kolejnem odłączaniu poszczególnych odcinków sieci na ostatniem miejscu figurują poszczególne transformatory i doprowadzenia do nich.

Jeżeli uziemienie nastąpi w sieci, zasilanej z wielu elektrowni, wówczas postępujemy zasadniczo taksamo jak i poprzednio, jednakże przy kolejnem odłączaniu poszczególnych odcinków sieci musimy zwrócić uwagę, aby: 1) nie oderwać żadnej części sieci od współpracy, t. j. od pracy synchronicznej, 2) punkty zasilające mogły przejąć wahania obciążenia, jakie wywołane być mogą skutkiem zmiany przepływu energji, spowodowanej zmianą konfiguracji pracującej sieci, — oraz 3) aby nie pozbawić którejś z części sieci kompensacji prądów uziemienia lub też aby nie spowodować rozstrojenia kompensacji tej poza granice dopuszczalne dla prawidłowego działania dławików gaszących. Stąd wniosek bezpośredni, że sieć powinna być kompensowana kilkoma dławikami gaszącemi, odpowiednio rozmieszczonemi, a nietylko jednym dławikiem.

Zachowanie tych trzech warunków jest szczególnie ważne wówczas, gdy dla odszukania uziemienia zmuszeni jesteśmy rozbić sieć zamkniętą na poszczególne gałezie sieci otwartej.

Przy odszukiwaniu uziemień wielce pomocnemi są podwójne układy szyn zbiorczych, gdyż wówczas możemy sieć podzielić na dwie części, z których każda przyłączona jest do innego układu szyn zbiorczych. Jeżeli szyny te rozłączymy i na jeden układ szyn pracować będzie jedno źródło prądu (transformator lub generator), a na drugie szyny inne źródło prądu, wówczas będziemy mogli stwierdzić, w której z tych dwóch części uziemienie istnieje, a która część jest „czysta". Stwierdzić to będziemy mogli nietylko wówczas, gdy na poszczególne szyny zbiorcze pracować będą różne generatory, lecz także wtedy, gdy naprzykład na jeden układ szyn pracować będą generatory, a na drugi — naprzykład transformatory zasilane z tych samych generatorów. To samo osiągniemy, jeżeli na każdy z układów szyn zbiorowych pracować będą różne transformatory, chociaż po stronie napięcia bez uziemienia byłyby one zasilane ze wspólnej sieci. Chodzi jedynie o to, aby obydwa układy szyn zbiorczych nie łączyły się z sobą metalicznie.

Widzimy więc jak ważną rolę w sprawnej likwidacji uziemień odgrywają zapasowe szyny zbiorcze nietylko w zakładach wytwórczych ale i przetwórczych. Aby jednakże takie „manewrowania" były możliwe, trzeba mieć możność wzajemnego łączenia szyn zbiorczych oraz ich rozłączania zapomocą wyłączników (same odłączniki nie wystarczają).

c. Likwidacja zakłóceń pracy, spowodowanych przez jednoczesne zwarcie i uziemienie.

Ten rodzaj zakłóceń zasadniczo likwidujemy w sposób poprzednio opisany, przyczem i w tym przypadku posiłkujemy się metodą kolejnego przyłączania faz. Dla przykładu zauważymy, że jeżeli faza S zer-

wała się, upadła na ziemię, przyczem częściowo zawisła na fazie *R*, to spowodowała temsamem jednoczesne zwarcie i uziemienie obu faz. Przypuśćmy, że przyłączyliśmy fazę *S*, a wówczas na żadnej z faz nie zauważymy ani świecenia we wskaźniku Zipp'a, aniteż iskry na drążku. Tosamo będzie, jeżeli zamiast fazy *S* przyłączymy fazę *R*. Jeżeli natomiast fazy *S* i *R* będą odłączone, a przyłączymy fazę *T*, wówczas na fazie *T* intensywność zarówno świecenia jak i iskry będzie normalna, a na fazach *S* i *R* żadnego efektu nie zauważymy.

Korzystając z metody kolejnego przyłączania faz, pamiętać musimy o tem, by zawsze przeprowadzić całkowity pomiar, chociaż stwierdzilibyśmy nawet odrazu uziemienie lub zwarcie, gdyż oprócz samego uziemienia lub samego zwarcia może być ich kombinacja, którą stwierdzić możemy jedynie po przeprowadzeniu pomiaru do końca, t. j. na wszystkich trzech fazach. Stosowanie metody kolejnego przyłączania faz wskazane jest nietylko przy likwidacji zakłóceń, ale także przed przyłączeniem linij przerobionych, uzupełnionych i t. d.

3. Likwidacja zakłóceń, spowodowanych w sieciach kablowych.

W sieciach kablowych zwykle zwarcia i uziemienia występują jednocześnie, a jeżeli mamy do czynienia tylko z uziemieniem, to stan ten jest chwilowy, gdyż po mniej lub więcej krótkim czasie uziemienie naogół przechodzi w zwarcie. O ile więc w sieci kablowej stwierdzimy uziemienie, to z jego odszukaniem i likwidacją musimy się spieszyć. Przedewszystkiem staramy się odszukać je przy pomocy kolejnego odłączania poszczególnych kabli równolegle pracujących. Następnie przechodzimy do sieci zamkniętej i wreszcie do kabli otwartych. Tych ostatnich jednakże nie wyłączamy, lecz staramy się wykryć w nich uziemienie zapomocą amperomierza kleszczowego systemu inż. Dietz'a (Meran), t. zw. po niemiecku Dietze-Anleger. Żelaznemi kleszczami tego przyrządu, stanowiącemi rdzeń transformatora miernikowego prądowego, obejmujemy kabel, odgrywający w danym przypadku rolę pierwotnego uzwojenia tego transformatora. Jeżeli kabel ten nie prowadzi prądu uziemienia, to suma prądów, płynących przez wszystkie trzy żyły jego, będzie równa zeru i amperomierz, przyłączony do wtórnego uzwojena transformatora kleszczowego, nic nie wykaże. W przypadku, gdy przez badany kabel płynie prąd uziemienia, suma prądów kabla nie równa się zeru, co natychmiast spostrzeżemy na amperomierzu. Jak praktyka wskazuje, żelazne opancerzenie kabla nie wywołuje błędów we wskazaniach amperomierza tak dużych, żeby mogły mieć dla praktyki jakiekolwiek znaczenie. Dlategoteż kleszczami możemy obejmować również dobrze kabel opancerzony jak i jego gołe żyły. Amperomierze kleszczowe Dietz'a wykonywa się do pomiaru natężeń prądu o dowolnym zakresie pomiaru aż do tysiąca amperów. Fabryki dostarczają ich w dwóch wykonaniach, a mianowicie dla pomiarów na wysokiem napięciu oraz dla pomiarów na niskiem napięciu. To ostatnie wykonanie może być dostarczone z amperomierzami osobnemi, przenośnemi, skrzynkowemi oraz z amperomierzami rejestrującemi.

Samo miejsce uziemienia lub zwarcia w kablu odnajdujemy albo zapomocą obsłuchiwania kabla alboteż zapomocą pomiaru dokonywanego odpowiednim mostkiem pomiarowym. Zarówno w jednym jak i w drugim

przypadku wysiłki nasze odniosą skutek tylko wówczas, gdy uziemienia lub zwarcia są małooporowe. Gdyby to nie miało miejsca, uszkodzenie kabla należałoby „polepszyć" przez jego umyślne doskonalsze przepalenie. Przepalenia tego dokonywujemy zapomocą prądu wysokiego napięcia. W tym celu uszkodzone żyły kabla czyteż żyły te i pancerz przyłączamy nie bezpośrednio do linji wysokiego napięcia, lecz zapomocą transformatora: jednego, gdy do dyspozycji mamy niskie napięcie, a dwóch, gdy w pobliżu mamy wysokie napięcie. W tym ostatnim przypadku w jednym transformatorze obniżamy napięcie, a w drugim podnosimy. Punkt zerowy wysokiego napięcia w drugim transformatorze dołączamy naprzykład do pancerza kabla, a żyłę jego do jednej z faz wysokiego napięcia tego transformatora. W ten sposób przepalania dokonywujemy napięciem fazowem, wynoszącem około 3 — 4 kV, (t. j. nom. międzyprzewodowe 5 czyteż 6,6 kV) zależnie od tego, na jakie napięcie robocze mamy transformatory do dyspozycji, gdyż do przepalania używamy nie specjalnych transformatorów, lecz zwykłych roboczych, byleby dopuszczały one jednofazowe obciążenie od 65 — 85 kVA. Sam proces przepalania trwa niedługo tak, że z wyżej wymienionem obciążeniem należy liczyć się jako z krótkotrwałem. Po takiem „polepszeniu" uszkodzenia kabla przystępujemy do pomiaru lub też przez uszkodzony obwód przepuszczamy prąd zmienny o częstotliwości roboczej lub lepiej o częstotliwości wyższej, np. 500-okresowej (z małej przetworniczki). Obsłuchiwania możemy dokonać naprzykład zapomocą ramy podsłuchowej, t. zw. po niemiecku Fehlersuchspule, na której nawinięta jest odpowiednia ilość zwojów drutu, z przyłączonemi do końców jego czułemi słuchawkami. W wykonaniu np. firmy Hartmann & Braun rama ta ma kształt trójkąta o podstawie długości 870 mm i o ramionach każde o długości 1000 mm. Rama ta ma szerokość 60 mm. Ustawiamy ją podstawą wzdłuż kabla i, ciągle słuchając, idziemy wzdłuż niego. W miejscu, gdzie uszkodzony obwód się kończy, a więc gdzie istnieje uszkodzenie kabla, brzęczenie w słuchawce zanika. Czułość ramy tej jest taka, że 1 A prądu zmiennego 50-okresowego słychać dobrze przy odległości podstawy ramy od kabla, przez który on płynie, wynoszącej 1 metr.

Jeżeli nie mamy ani mostka mierniczego aniteż ramy obsłuchowej, wówczas uszkodzony odcinek kabla przecinamy pośrodku i badamy, w której połówce jest uziemienie. Następnie połówkę z uziemieniem ponownie dzielimy na połowę i tak dalej postępując, wytniemy wreszcie odcinek kabla z uszkodzeniem.

### 4. Likwidacja zakłóceń pracy, powodujących obniżenie napięcia i częstotliwości.

Tego rodzaju zakłócenia, trwające dłuższy okres czasu, zdarzają się wówczas, gdy moc doprowadzona jest mniejsza od zapotrzebowania. Będzie to miało miejsce wówczas, gdy uszkodzeniu ulegnie bądźto generator, turbina, kocioł, bądźteż transformator czy linja zasilająca lub wówczas, gdy niespodziewanie byłoby przyłączone wielkie obciążenie, lecz nie tak wielkie, aby je można utożsamiać ze zwarciem. Regulatory turbin wkrótce częstotliwość doprowadzą do wysokości znamionowej, lecz napięcie zniży się

aż do osiągnięcia równowagi między mocą doprowadzoną a mocą odbieraną. Zakładamy tu oczywiście, że samoczynne regulatory napięcia nie są zainstalowane lub że je odłączyliśmy, gdyż w przeciwnym przypadku wyskoczyć musiałyby wyłączniki generatorowe. W podobnych przypadkach możemy albo odłączyć część odbiorców i w ten sposób odzyskać równowagę energetyczną (odbiorców tych ponownie włączylibyśmy po uruchomieniu nowego turbogeneratora), alboteż anormalną pracę o zniżonem napięciu prowadzimy dalej i to aż do chwili dołączenia zapasowego turbogeneratora. Pierwszy zabieg stosujemy wówczas, gdy zaopatrujemy przeważnie przemysł, a drugi — gdy zaopatrujemy w energję elektryczną wielkie osiedla, gdyż zniżone i mało nawet skuteczne oświetlenie wpływa mniej deprymująco, niż zupełny jego brak.

Co do zakłóceń pracy, powodujących obniżenie napięcia i częstotliwości przy współpracy elektrowni, to zostały one już omówione w rozdziale: Praca jednostek wytwórczych szczytowych oraz idea Spennemann'a zmiany ról podczas pracy anormalnej.

## L. Synchronizacja.

Zmiany warunków pracy sieci elektrycznej, wymagają stałej naszej interwencji w postaci przeróżnych regulacyj napięcia, mocy, dołączania i odłączania jednostek prądotwórczych i t. d.

Jedną z trudniejszych i może najbardziej odpowiedzialnych czynności jest dołączanie wielkich generatorów. Warunki równowagi pracy równoległej wymagają bardzo szybkiego uruchamiania dyspozycyjnych generatorów lub nawet całych elektrowni szczytowych lub zbiornikowych.

Elektrownie pompowo-zbiornikowe bardzo często, nawet w ciągu jednej doby, zmieniają charakter swej pracy, gdyż raz pracują jako generatory w ruchu turbinowym, oddając na sieć moc, to znów jako silniki w ruchu pomp, pobierając tę moc z sieci, dla zakumulowania jej w energji potencjalnej wody napompowanej do specjalnych zbiorników. Jeżeli teraz zdamy sobie sprawę z tego, że skuteczność interwencji takiej wymaga uruchamiania tych maszyn w czasie około 2 ÷ 2,5 minut, to widzimy, jakie trudności mamy do przezwyciężenia, aby dołączanie zapasowych, często bardzo dużych jednostek, uskuteczniać w sposób tak płynny, t. j. bez wstrząsów, aby równowaga pracy równoległej nie była naruszona, a przeciwnie, aby tę równowagę jaknajszybciej zwiększać, gdyż przy obciążeniu sieci, wymagającem naszej interwencji, ta równowaga stała grozi przejściem w stan równowagi chwiejnej. Tak więc rosną nasze wymagania od głównej czynności uruchamiania, t. j. od synchronizacji, która w pracy generatorów bezpośrednio na szyny zbiorcze nie odgrywała tak wielkiej roli. Przy współpracy elektrycznej synchronizacja jest niezmiernie ważną czynnością nietylko przy uruchamianiu tak krótkiem, jak to wyżej wymieniliśmy, lecz i przy normalnem programowem uruchamianiu wielkich jednostek na słabe sieci lub stosunkowo słabych jednostek na silne sieci, gdyż w każdym z tych przypadków mamy do czynienia z wielką energją kinetyczną mas wirujących. Wszelka więc niewłaściwa synchronizacja powodować musiałaby procesy więcej lub mniej gwałtownego wyrównania tych energij, co mogłoby być źródłem nie-

tylko utraty równowagi współpracy, ale i zniszczenia maszyn i urządzeń. Konieczność jednakże szybkiej interwencji nie zezwala nam na dokładne spełnienie wszystkich znanych nam warunków zupełnej synchronizacji, gdyż zupełna synchronizacja wymaga zbyt długiego czasu. W celu więc poznania, jak dalece możliwe jest mniej doskonałe spełnienie warunków idealnej, a niezawsze osiągalnej dla nas synchronizacji, aby bez żadnej szkody zyskać na czasie, rozpatrzymy najpierw wpływ różnicy częstotliwości, a następnie różnicy napięć na przebieg synchronizacji.

1. Różnica częstotliwości.

Przypuśćmy, że do sieci, na którą pracuje generator zastępczy z częstotliwością $f_z$ okr./sek., a więc z odpowiadającą jej prędkością kątową mechaniczną $\omega_{mz} = \frac{\pi n_z}{30} = 2\pi \frac{f_z}{p_z}$, gdzie $n_z$ = ilość obr/min. i $p_z$ = ilość par biegunów, przyłączyliśmy generator już pracujący na swoją sieć z częstotliwością $f_1 \neq f_z$, a więc z prędkością kątową mechaniczną

$$\omega_{m1} = \frac{\pi n_1}{30} = 2\pi \frac{f_1}{p_1}$$

Załóżmy, że generatory te mają momenty bezwładności, liczone względem osi wirowania odpowiednio $J_z$ i $J_1$, przyczem $J_z = \infty$. Oczywiście nastąpić będzie musiało wyrównanie się mechanicznej prędkości kątowej $\omega_{m_1}$ z $\omega_{mz}$. Skutkiem tej zmiany prędkości kątowej masa wirująca $\frac{G_1}{g}$ generatora 1 z wirnikiem np. walcowatym o średnicy $D_1$ m, na obwodzie którego skoncentrowany jest ciężar tego walca $G_1$ kg, musi wykonać pewną pracę przyspieszenia czyteż opóźnienia:

$$L_1 = L_1' - L_1'' = \tfrac{1}{2} J_1 \cdot [\omega^2_{mz} - \omega^2_{m1}],$$

a ponieważ, dla rozpatrywanego przez nas wirnika walcowatego o promieniu $R_1$ metrów, moment bezwładności jest:

$$J_1 = \frac{G_1}{g} \cdot R^2_1 = \frac{G_1 \cdot D^2_1}{4\,g}$$

to

$$L_1 = \frac{G_1 \cdot D^2_1}{8 \cdot g} \cdot [\omega^2_{mz} - \omega^2_{m1}] = \frac{G_1 \cdot D^2_1}{78{,}48} \cdot [\omega^2_{mz} - \omega^2_{m1}] =$$

$$= \frac{G_1 \cdot D^2_1}{78{,}48} \cdot \left[\left(\frac{\pi n_z}{30}\right)^2 - \left(\frac{\pi n_1}{30}\right)^2\right] = \frac{G_1 \cdot D^2_1}{78{,}48} \cdot \frac{\pi^2}{900} [n^2_z - n^2_1] =$$

$$= \frac{G_1 \cdot D^2_1}{7\,156{,}25} \cdot [n^2_z - n^2_1] \text{ watosekund.}$$

Skutkiem tego oddania lub przyjęcia pracy powstać musiało pewne przyśpieszenie kątowe mechaniczne. Ale przejście z prędkości kątowej

$\omega_{m1}$ do $\omega_{mz}$ odbyć się musiało stopniowo w pewnym czasie — tak, że możemy mówić o pewnej średniej prędkości kątowej mechanicznej:

$$\omega_m = \frac{\omega_{mz} + \omega_{m1}}{2}$$

A więc możemy przyjąć, że podczas tego przebiegu mamy do czynienia ze średniem przyśpieszeniem kątowem mechanicznem $\frac{d\omega_m}{dt}$

Dzięki temu przyśpieszeniu powstaje pewien moment obrotowy przyśpieszający lub hamujący wirowanie masy wirnika (R. Keller):

$$\pm M_{kr} = J_1 \cdot \frac{d\omega_m}{dt}$$

Jeżeli moment ten będzie tak duży, że spowoduje wysunięcie się wirnika poza granice oznaczone warunkami równowagi pracy elektrycznej, to przyłączony przez nas generator wyskoczy z taktu i samoczynny wyłącznik natychmiast powinien go odłączyć. Jeżeli natomiast osiągnięcie tej granicy nie nastąpi, to po całkowitej zamianie energji kinetycznej na potencjalną moment ten zniknie, aby zaraz potem odwrócić swój kierunek i t. d., powodując tem szereg wahnięć wirnika. Maszyna po pewnym czasie, zależnie od tłumienia tych wahnięć, wkołysze się w swe nowe położenie równowagi. Powstały w ten sposób moment obrotowy pragnęlibyśmy ograniczyć do wielkości, odpowiadającej mocy znamionowej $W_1$ kW generatora przyłączanego, a więc oznaczonego cyfrą 1, lub też do pewnej części tej mocy.

Jeżeli więc założymy, że przy przyłączaniu generatora o niezsynchronizowanych okresach ma powstać uderzenie prądu mocnego, odpowiadającego znamionowej mocy $W_1$ kW generatora, oraz przyjmując, że znamionowemu obciążeniu generatora odpowiada wysunięcie wirnika o $\sphericalangle \psi = 30^0$ tak, że $\sin \psi = {}^1/_2$, wówczas możemy przyjąć, że $M_{kr}$ zmienia się proporcjonalnie do zmiany kąta i wobec tego średni moment obrotowy znajdziemy z równania:

$$M_{kr} = {}^1/_2 \cdot \frac{W_1 \cdot 1000}{9{,}81 \cdot \omega_m} \text{ kgm}$$

A ponieważ moment ten jest równy

$$M_{kr} = J \cdot \frac{d\omega_m}{dt}$$

to stąd znajdziemy, że średnie przyśpieszenie

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{M_{kr}}{J} = {}^1/_2 \cdot \frac{W_1 \cdot 1000}{J \cdot 9{,}81 \cdot \omega_m} \text{ m/sek}^{-2}$$

Jeżeli wirnik jest masywnym cylindrem o średnicy $D$, *to*

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{4g \cdot M_{kr}}{G D^2} \approx \frac{120 \cdot W}{\pi \cdot n \cdot GD^2 \cdot \omega_m} \cdot 10^3 \text{ m/sek.}^{-2}$$

gdzie $g = 9{,}81 \simeq 10$ m/sek.$^{-2}$

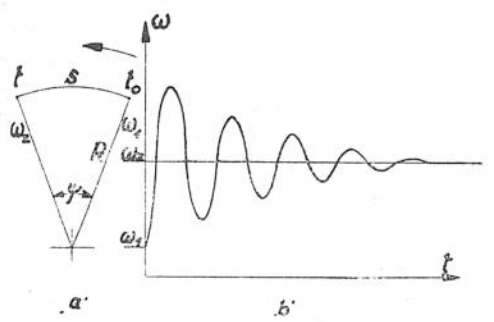
$$dt = \frac{2 \,.\, J \,.\, 9{,}81}{W_1 \,.\, 1000} \,.\, \omega_m \,.\, d\,\omega_m$$

A więc czas, w jakim ma działać średni moment skręcający, odpowiadający połowie mocy znamionowej maszyny przyłączanej, celem zużytkowania energji żywej masy $\frac{G}{g}$ powstałej skutkiem zmiany ilości obrotów tej masy z $n_1$ do $n_z$ znajdziemy przez całkowanie powyższego równania:

$$\int_{t_0 = 0}^{t} dt = \frac{2 \,.\, J \,.\, 9{,}81}{W_1 \,.\, 1000} \,.\, \int_{\omega_1}^{\omega z} \omega_m \,.\, d\,\omega_m$$

$$t = \frac{2 \,.\, J \,.\, 9{,}81}{W_1 \,.\, 1000} \,.\, {}^1\!/_2\, [\omega^2{}_{nz} - \omega^2{}_{m1}] \text{ sekund} = \frac{2\, L_1}{102 \,.\, W_1} \text{ sek.}$$

W czasie tym dowolny punkt wirnika zatoczy łuk, oparty swym końcem o punkt zrównania się szybkości kątowych $\omega_{mz} = \omega_{m1}$ (rys. 340 „a"):




Rys. 340. „a" — droga odchylenia się wirnika, „b" — wkołysanie się wirnika w położenie równowagi.

$$s = 2\,\pi R \,.\, \frac{\psi}{360} = \pi \,.\, R\, \frac{\psi}{180}$$

z drugiej strony łuk ten jest równy:

$$s = R \,.\, [\omega_z - \omega_1] \,.\, t = R \,.\, \Delta\,\omega_m \,.\, t$$

Wobec tego

$$\psi = \frac{R_1 \,.\, \Delta\,\omega_m \,.\, t \,.\, 180}{R_1 \,.\, \pi} = \Delta\,\omega_m \,.\, \frac{180}{\pi} \,.\, t$$

A przechodząc ze stopni geometrycznych do stopni elektrycznych otrzymamy:

$$\psi_e = \left[\Delta\,\omega_m \,.\, p \,.\, \frac{180}{\pi} \,.\, t\right]^0$$

Jeżeli teraz weźmiemy pod uwagę, że wirnik w pełnoobciążonym generatorze odchyli się od początkowego swego „jałowego" położenia o 25°—30° (stopni elektrycznych), to podstawiając je w równanie na $\psi_e$ i przyrównując $t$ z tego równania do $t$ z równania poprzednio wyprowadzonego, otrzymujemy z dostateczną dokładnością dopuszczalną różnicę szybkości kątowych, alboteż różnicę częstotliwości między generatorem $Z$, a generatorem przyłączanym; przy różnicy tej moc udarowa nie przekracza znamionowej mocy $W_1$ przyłączanego generatora 1, a więc

$$\Delta\,\omega_m \,.\, p = \frac{\psi_e \,.\, \pi}{t \,.\, 180} = \frac{\psi_e \,.\, \pi \,.\, 102 \,.\, W_1}{180 \,.\, 2 \,.\, L_1} = \frac{0{,}89 \,.\, \psi_e \,.\, W_1}{L_1}$$

Tak więc wirnik po $t$ sek. osiągnie miejsce odpowiadające szybkości kątowej $\omega_{mz}$. Jednakże aż do tej chwili działała na wirnik siła synchronizująca, a my uwzględniliśmy jedynie różnicę energji mechanicznej, t. j. sił ży-

wych. Pod wpływem siły synchronizującej masa wirnika zamagazynowała w sobie pewną siłę żywą, która popędzi wirnik jeszcze dalej; dookoła punktu odpowiadającego szybkości kątowej $\omega_{mz}$ odbywać się będą znane nam wahania tłumione tak, że po pewnym czasie wirnik zrównoważy się.

Jeżeli teraz zwrócimy uwagę, że

$$W_1 = \frac{E_z \; E_1}{Z} \cdot \sin \Psi$$

gdzie $E_z$ i $E_1$ są napięciami twornikowemi poszczególnych generatorów, $\Psi$ kątem zawartym między temi napięciami, a $Z$ = sumie oporności urojonych obu generatorów + oporność pozorna sieci, to zauważymy, że

$$t = \frac{2J \cdot 9{,}81 \cdot Z}{E_z \cdot E_1 \cdot \sin \Psi \cdot 1000} \cdot {}^1/_2 \, [\omega^2_{mz} - \omega^2_{m1}] \text{ sek.},$$

a wobec tego, i $\Psi$ będzie tem większe im większa będzie oporność pozorna w sieci łączącej oba generatory. A ponieważ zwiększenie $\sphericalangle \psi$ powoduje zwiększenie kąta $\Psi$ między biegunami obu wirników, przeto w tym przypadku, mimo nawet przestrzegania przy synchronizacji osiągnięcia mniejszego $\Delta\omega$ i dzięki temu przeprowadzenia synchronizacji z mniejszym udarem mocy, generatory łatwiej mogą wypaść z taktu niż przy synchronizowaniu w tych samych warunkach tych samych generatorów na szyny zbiorcze, tembardziej, że tutaj kątem miarodajnym dla równowagi pracy jest $\sphericalangle \psi < \Psi$

Dla ułatwienia rozważań naszych postawiliśmy warunek, aby przy synchronizacji otrzymać udar prądu mocnego, równy prądowi mocnemu znamionowego obciążenia generatora przyłączanego. Jednakże w praktyce w zwykłych warunkach dopuszcza się udar prądu mocnego, odpowiadający około 25% znamionowego obciążenia tak, że $\Delta f = \sim 0{,}15$ do $0{,}25\,\%$ Wówczas skazówka zwykłego dwubiegunowego synchronoskopu będzie posuwała się z szybkością:

$$\Delta \omega = \frac{0{,}15 \div 0{,}25}{100} \cdot 50 \sim \cdot 360^0 = [27 \div 45]^0/\text{sek}.$$

tak, że moment synchronizacji można w tych warunkach z łatwością uchwycić.

2. Różnica napięć.

W ogólnym przypadku, gdy mamy przyłączony generator 1 do generatora zastępczego $z$, przyczem $E_1 \neq E_z$ i $\Psi \neq 0$, wówczas w założeniu, że oporność rzeczywista w obwodzie obu generatorów $R = 0$, popłynie w generatorze 1 prąd: (Rys. 341 „a").

$$J_w = J \cdot \cos \varphi = \frac{\delta E}{Z} = \frac{E_z}{Z} \cdot \sin \Psi$$

$$J_b = J \cdot \sin \varphi = \frac{\Delta E}{Z} = \frac{E_z \cdot \cos \Psi - E_1}{Z}$$

$$J = \sqrt{J_w^2 + J_b^2} = \frac{1}{Z}\sqrt{\delta E^2 + \lambda E^2} =$$

$$= \frac{1}{Z}\sqrt{E_z^2 \sin^2 \Psi + E_z^2 \cos^2 \Psi - 2 E_1 E_z \cos \Psi + E_1^2} =$$

$$= \frac{1}{Z}\sqrt{E_z^2 - 2 E_1 . E_z . \cos \Psi + E_1^2};$$

Jeżeli $E_1 = E_z = E$, to $J_w = \frac{E}{Z} \sin \Psi \quad J_b = \frac{E}{Z}[\cos \Psi - 1]$

$$J = \frac{E}{Z}\sqrt{2(1 - \cos \Psi)} = \frac{E}{Z}\sqrt{4 . \sin^2 \frac{\Psi}{2}} = 2 \frac{E}{Z} . \sin \frac{\Psi}{2}$$

Widzimy więc, że wmiarę zniżania się napięcia $E_z$ wektor prądu ma tendencję wyprzedzania — i gdy $E_z = E$, wektor prądu ma kierunek dwusiecznej $\sphericalangle \Psi$ (Rys. 341 „b")

Dalszą dyskusję ogólnego wzoru wyżej otrzymanego, zestawimy w poniższej tabeli:

| Założenie | Prąd | | |
|---|---|---|---|
| | Mocny | Bezmocny | Wypadkowy |
| $E_1 \neq E_z$ $\Psi \neq 0$ | $\frac{E_z}{Z} . \sin \Psi$ | $\frac{E_z . \cos \Psi - E_1}{Z}$ | $\frac{1}{Z}\sqrt{E_z^2 - 2 . E_1 . E_z . \cos \Psi + E_1^2}$ |
| $E_1 = E_z = E$ | $\frac{E}{Z} . \sin \Psi$ | $\frac{E}{Z} . (\cos \Psi - 1)$ | $2 . \frac{E}{Z} . \sin \frac{\Psi}{2}$ |
| $E_1 \neq E_z$ $\Psi = 90^0$ | $\frac{E_z}{Z}$ | $-\frac{E_1}{Z}$ | $\frac{1}{Z}\sqrt{E_z^2 + E_1^2}$ |
| $E_1 = E_z = E$ | $\frac{E}{Z}$ | $-\frac{E}{Z}$ | $\frac{E}{Z} . \sqrt{2}$ |
| $E_1 \neq E_z$ $\Psi = 180^0$ | 0 | $-\frac{(E_z + E_1)}{Z}$ | $\frac{E_z + E_1}{Z}$ |
| $E_1 = E_z = E$ | 0 | $-2 . \frac{E}{Z}$ | $2 . \frac{E}{Z}$ |
| $E_1 \neq E_z$ $\Psi = 0$ | 0 | $\frac{E_z - E_1}{Z}$ | $\frac{E_z - E_1}{Z}$ |
| $E_1 = E_z = E$ | 0 | 0 | 0 |

A. Przyłączanie bez synchronizacji.

Przypuśćmy, że obydwa generatory biegną z jednakową szybkością kątową elektryczną, czyli, że częstotliwość $f_1 = f_z$ natomiast $E_1 \neq E_z$ i $\Psi \neq 0$.

Jeżeli w tych warunkach wprzęgniemy generatory do wspólnej pracy, to po pewnym czasie popłynie w obwodzie obu generatorów prąd wyrównawczy:

$$J = \frac{1}{Z}\sqrt{E^2_z - 2E_1 \cdot E_z \cdot \cos\Psi + E^2_1}$$

Wielkość tego prądu ograniczona jest opornością obwodu obu generatorów i sieci, a więc:

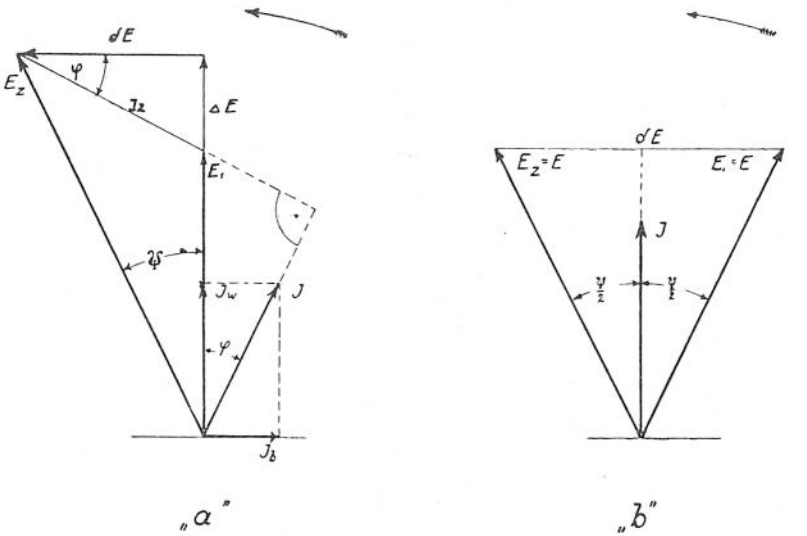
$$Z = x_{i1} + x_{t1} + x_{iz} + x_{tz} + z_s$$

gdzie:

$x_{i1,z}$ = oporność urojona całkowita (rozproszenie twornika i wirnika) generatora 1, $z$

$x_{t1,z}$ = oporność urojona oddziaływania twornika generatora 1, $z$

$z_s$ = oporność pozorna sieci.




„a" „b"

Rys. 341. Różnice napięć między generatorem zastępczym a generatorem przyłączanym

Jeżeli założymy, że generator 1 przyłączyliśmy do generatora $z$ tej samej wielkości, to $x_{i1,z} = x_{t1,z}$.

W chwili więc przyłączania, przez obwód obu generatorów przepływa prąd udarowy, którego amplituda będzie wynosiła:

$$J_u = k \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{E^2_z - 2E_1 \cdot E_z \cos\Psi + E^2_1}}{x_{i1} + x_{iz} + z_s}$$

Jeżeli w dodatku obydwa generatory pracują bez udziału sieci na szyny zbiorcze, t. j. gdy $z_s = 0$ i jeżeli $E_1 = E_2 = E$ to:

$$J_u = k \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{E}{x_{i1}} \cdot \sin\frac{\Psi}{2}$$

a więc taki sam, jakgdybyśmy zwarli w tych samych warunkach jeden generator. Przebieg tego zwarcia w zależności od $\sin \frac{\Psi}{2}$ jest jednakże łagodniejszy od zwarcia zwykłego. Amplituda ta będzie największą, gdy:

1-o generator „z" będzie bardzo wielki tak, że $x_{iz}$ możemy pominąć jako bardzo małe w porównaniu do $x_{i1}$ tak, że

$$J_u = k \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{2E}{x_{i1}} \cdot \sin \frac{\Psi}{2}$$

Jeżeli $\Psi > 60^0$, to prąd udarowy będzie większy od prądu udarowego zwykłego zwarcia.

2-o przyłączenie nastąpiło w chwili opozycji faz, a więc gdy $\Psi = 180^0$

$$J_{u\ .\ max.} = k \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{2E}{x_{i1}}$$

gdzie $k = 1{,}8$ z tolerancją $\pm$ 30% wyraża nam stosunek amplitudy udarowego prądu zwarcia do prądu znamionowego danego generatora. Naogół więc

$$J_{u\ .\ max.} \leqslant 2 \cdot J_u$$

Jeżeli rozproszenie twornika wynosi np. 15% tak, że

$$x_{is} = \frac{0{,}15 \cdot E}{J_n},$$

gdzie $J_n$ = prąd zamionowego obciążenia generatora, to

$$J_{u\ .\ max.} = 1{,}8 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{2 \cdot E}{0{,}15 \cdot E} \cdot J_n = 1{,}8 \cdot \sqrt{2} \cdot 13{,}3 \cdot J_n \simeq 2 \cdot 16{,}9 \cdot J_n$$

A ponieważ siły dynamiczne, działające na przewody, są wprost proporcjonalne do $J^2_u$, to uzwojenie generatora otrzyma udar proporcjonalny do

$$J^2_u = 4 \cdot (16{,}9 \cdot J_n)^2,$$

a więc czterokrotnie większy od udaru przy zwarciu na zaciskach generatora. Tak więc generatorowi przyłączanemu i urządzeniom elektrycznym, łączącym obydwa generatory, grożą siły dynamiczne rozerwaniem przewodów.

Z dostateczną dokładnością możemy powiedzieć, że moment obrotowy wzrósł tu około 13,3-krotnie, co może być powodem ukręcenia wału lub też zerwania sprzęgła.

Opierając się na dotychczasowych rozważaniach, dochodzimy do wniosku, że przy synchronizowaniu muszą być spełnione pewne warunki, aby włączenie generatora do pracy odbyło się płynnie, bez szkody dla urządzeń i bez naruszenia równowagi pracy równoległej. Jak wiadomo, oprócz uzgodnienia kolejności faz, co jest zadaniem jednorazowem przy instalowaniu nowej maszyny synchronicznej, musimy stale przy każdem przyłączaniu:

1-o przedewszystkiem doprowadzić generator do liczby obrotów, odpowiadającej częstotliwości panującej w danej chwili w sieci;

2-o wzbudzić generator do wysokości napięcia panującego w danej chwili w sieci;

3-o uzgodnić fazę napięcia generatora z fazą napięcia sieci.

Zupełnie dokładne spełnienie tych warunków gwarantuje nam przyłączenie generatora praktycznie bez żadnego udaru prądu, jednakże wymaga długiego czasu, a tymczasem nawet normalny ruch sieci często wymaga przyłączenia np. zapasowej maszyny wciągu bardzo krótkiego czasu. Do tych czynności potrzeba też mieć sieć pracującą zupełnie spokojnie, gdy tymczasem bardzo często skutkiem zmian obciążenia, spowodowanych przez odbiorców prądu, wahania częstotliwości, napięcia i faz są tak duże i częste, że zupełna synchronizacja generatora z tak niespokojną siecią mogłaby trwać całemi godzinami, jeżeli wogóle nie byłaby uniemożliwiona. Dlatego też mimo stosowania w pewnych przypadkach włączania w obwód obu generatorów na czas synchronizacji pewnych oporności rzeczywistych lub indukcyjnych, które następnie usuwamy z obwodu przez ich zwarcie, odbiegamy od dokładnej synchronizacji jedynie w pewnych granicach, dopuszczonych następującemi tolerancjami:

a) częstotliwość $\Delta f = s \,.\, f_z$

$$\text{poślizg } s = \frac{n_z - n_1}{n_z} \,.\, 100 = \frac{\omega_z - \omega_1}{\omega_z} \,.\, 100 \leqslant \pm\, (0{,}2 \div 2)\%$$

b) napięcie $\Delta E$

$$\frac{E_1}{E_z} = 0{,}85 \div 1 \div 1{,}15$$

albotéż $\frac{E_1}{E_z} \leqslant 0 \div 0{,}3$ (bez wzbudzenia lub przy słabem wzbudzeniu).

c) faza

$$\sphericalangle\, \Psi^0 \leqslant 0^0 \div 5^0 \div 15^0 \text{ (przy wzbudzeniu jałowem).}$$

Zależnie od doboru tych tolerancyj mamy zasadniczo dwie metody synchronizacji. Zauważyć należy jednakże, że im synchronizacja jest dokładniejsza, tem dłuższego czasu wymaga jej przeprowadzenie.

B. Metoda synchronizacji częściowej.

Polega ona na przyłączaniu jednostki prądotwórczej przy częściowem tylko zadośćuczynieniu warunkom synchronizacji zupełnej. Metoda ta powstała w Ameryce już w 1906 r.

1) *System synchronizacji t. zw. „Pull-in"* stosowany wyłącznie w Ameryce dla generatorów o mocy do 10000 kVA.

Polega on na tem, że generator zaopatrzony w uzwojenia tłumiące, niewzbudzony i nierozruszany, przyłącza się do sieci. Generator rusza i gdy osiągnie prawie synchroniczną liczbę obrotów, przyłącza się wzbudzenie i szybko podnosi napięcie, poczem stopniowo obciąża, otwierając śluzę doprowadzającą wodę czyteż parę do turbin. Nie można stosować sposobu tego do turbin z wirnikiem pracującym pod wodą (np. Kaplan). Sposób

ten groźny dla życia ludzkiego (indukują się wysokie napięcia w uzwojeniu wirnika), stosowany jest jedynie przy sieci bardzo silnej, w której mimoto powstają bardzo duże spadki napięcia (np. 30%). W Europie sposób ten nigdzie nie jest stosowany — podajemy go jedynie dla porządku, nie wróżąc mu szerszego zastosowania.

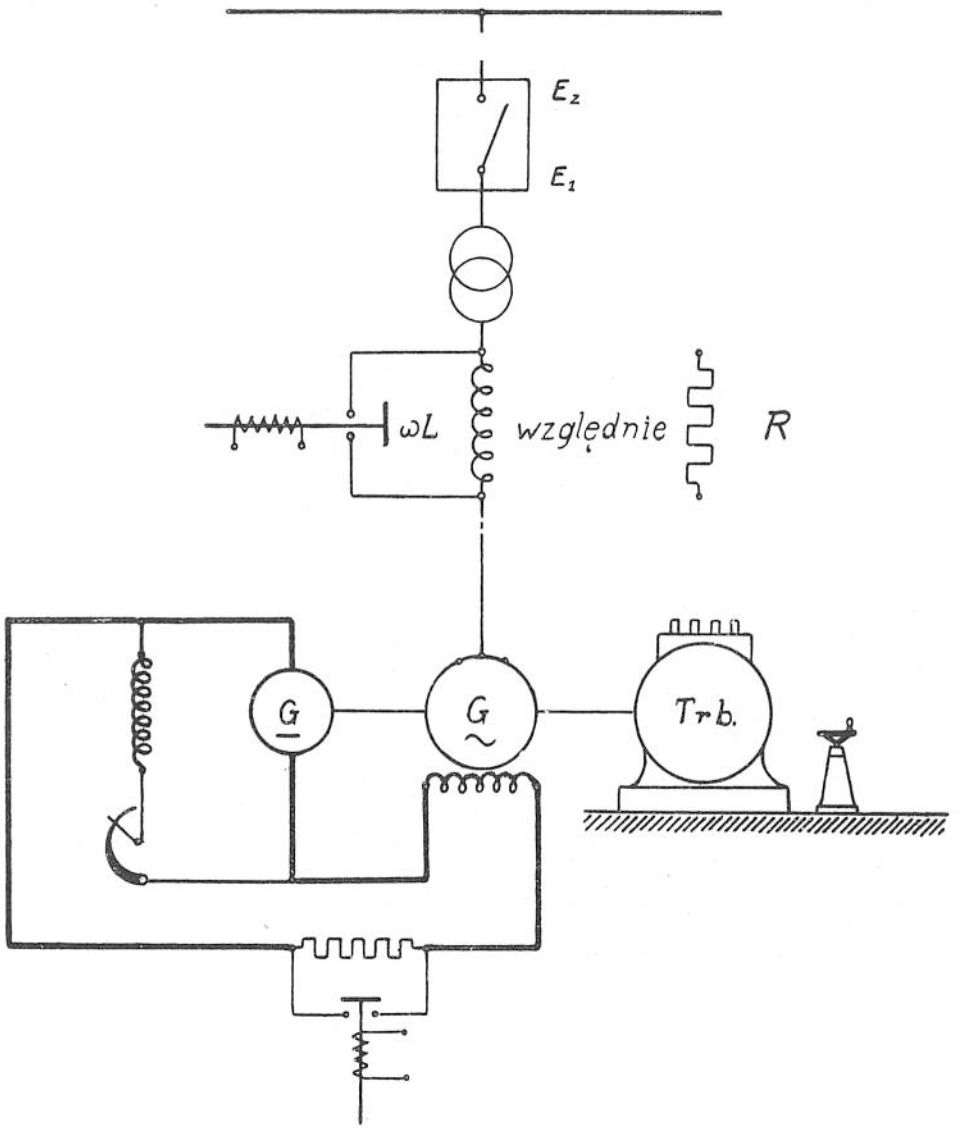
2) *System synchronizacji przybliżonej* (Grobsynchronisierung) również powstał i stosowany jest tylko w Ameryce. Polega on na doprowadzeniu generatora do liczby obrotów, zbliżonej do synchronicznych (poślizg $\pm$ 5%) poczem generator słabo wzbudzony (10 $\div$ 20%) przyłącza się do sieci, a więc bez uprzedniego uzgodnienia częstotliwości faz i napięć. Ten rodzaj więc jest pewną odmianą synchronizacji „Pull-in". Prąd udarowy wynosi (8 $\div$ 10). $J_n$. Stąd widzimy, że system ten stosować możemy jedynie w sieci przewyższającej znacznie 10-cio krotną moc generatora przyłączanego, gdyż do normalnego obciążenia sieci dochodzi jeszcze prąd udarowy.

3) *System t. zw. „Self-Synchronizing"* — jest także metodą amerykańską, stosowaną tam dla generatorów o mocy rzędu kilkuset kVA; polega ona na tem, że generator wzbudzony normalnie i doprowadzony do prawie synchronicznych obrotów, przyłącza się do sieci przez dławik z rdzeniem żelaznym lub bez rdzenia. Przyłączenie następuje bez zrównania faz. Po ukończonym przebiegu synchronizacyjnym dławik wyłącza się z obwodu przez samoczynne zwarcie go, sterowane przekaźnikiem czasowym.

4) *System synchronizacji pobieżnej — zwykłej.* System ten polega na doprowadzeniu generatora do obrotów różniących się od synchronicznych o poślizg $s = (-2 \ldots + 2)$ %, poczem generator słabo wzbudzony do 10 $\div$ 20% znamionowego napięcia, ewentualnie przy napięciu magnetyzmu szczątkowego, przyłącza się do sieci bez zrównania faz, gdyż przy tak słabem wzbudzeniu np. 10% obojętnem jest, czy przyłączenie wypadnie przy uzgodnionych fazach, czyteż przy ich opozycji, bo w jednym przypadku otrzymujemy udar prądu zależny od 90%, a w drugim od 110% napięcia znamionowego. Aby ograniczyć prąd udarowy do wielkości (1,5 $\div$ 2,5). $J_n$ przyłączania dokonywujemy poprzez oporności rzeczywiste lub też dławiki indukcyjne, poczem wzbudzenie doprowadza się do znamionowego (rys. 342). Wirnik po 4 do 10 sek. wkołysze się w położenie synchroniczne i gdy wymiana prądów bezmocnych między generatorami i siecią ustanie, oporność zwieramy. Tego rodzaju synchronizacja trwa bardzo krótko, bo można ją przeprowadzać licząc od chwili uruchomienia maszyny, wciągu 10 $\div$ 40 sek, Oczywiście, że generatory muszą mieć silne tłumienie, aby czas wkołysania się w synchronizację był krótki. Dodatnią stroną tej synchronizacji jest możność przeprowadzenia jej nawet przy sieci bardzo niespokojnej, lecz jednocześnie bardzo silnej czyli — jak się to mówi — sztywnej. Oczywiście, że udar prądu w chwili przyłączania generatora można tu znacznie zmniejszyć, przez dobranie odpowiednio wielkich oporności; możność tę jednak ogranicza wzgląd na utrzymanie siły synchronizującej w dostatecznej wielkości i okoliczność, że w końcowej chwili synchronizacji, zwierając dużą oporność, otrzymujemy zbyt wielki udar prądu. Uzgadniając z sobą wszystkie te zależności, ustalamy, że oporności te powinny być:

$$R = 0{,}5\frac{V_n}{\sqrt{3}\,.\,J_n}\ \Omega/\text{na każdą fazę},$$

gdzie $V_n$ i $J_n$ są znamionowem napięciem i znamionowym prądem gene-




Rys. 342. Synchronizacja z użyciem oporności dodatkowych.

ratora. O ile mielibyśmy znane oporności w sieci, to zmniejszamy o tyle jej wielkość otrzymaną z powyższego wzoru.

W przypadku stosowania dławika oporność będzie wynosiła:

$$\omega L = (0{,}5 \div 0{,}6)\frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot J_n}\ \Omega/\text{na każdą fazę.}$$

Ten system synchronizacji stosujemy dla jednostek, których moc nie przekracza $^1/_5$ mocy wszystkich generatorów synchronicznych, pracujących w danej chwili w sieci. W każdym razie ten rodzaj synchronizacji w Europie przyjął się i jest stosowany np. przez f-mę Siemens z opornościami rzeczywistemi dla generatorów o mocy 100 ÷ 1000 kVA.

5) *System synchronizacji pobieżnej — ekspresowej.* Jeżeli stosunek mocy generatora przyłączanego do mocy sieci jest zbyt mały, a więc gdy sieć jest słaba, elastyczna, to warunki synchronizacji zupełnej muszą być w wyższej mierze uwzględnione niż w metodzie poprzedniej.

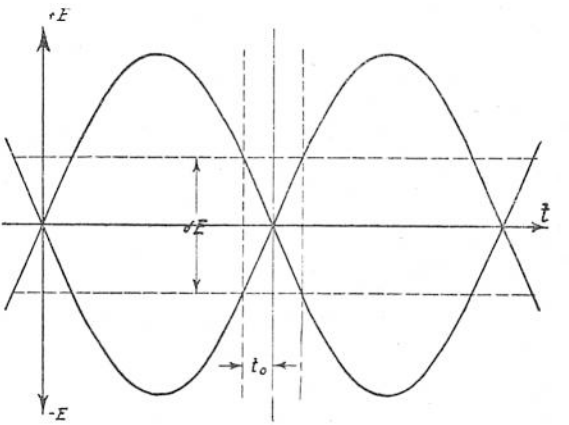
Synchronizację pobieżną, ekspresową stosujemy w razie powstania konieczności natychmiastowego wspomożenia sieci nowemi jednostkami mocy. Metoda ta więc znajduje zastosowanie w elektrowniach szczytowych i dla wielkich generatorów. Przyłączanie generatorów odbywa się przy poślizgu wahającym się w granicach: $s = (-2 \div +2)$ %, przy wzbudzeniu nieco wyższem niż w poprzednim systemie, bo wynoszącem 20 ÷ 30% wzbudzenia biegu jałowego, oraz przy fazach prawie że zrównanych. Przyłączanie odbywa się z użyciem dławika, dzięki czemu udar prądu nie przekracza 1,5. $J_n$, a skutkiem natychmiastowego po przyłączeniu szybkiego wzmocnienia wzbudzenia, generator wchodzi w synchronizację tak szybko, że pulsacja prądów synchronizujących między generatorem, który musi mieć dobre tłumienie, a siecią ustaje po 1 ÷ 3 sek., poczem zwieramy dławik. Całkowity czas synchronizacji wynosi tak jak przy poprzednim systemie 10 ÷ 40 sek. Dla zmniejszenia prądów udarowych przed samem przyłączaniem, gdy wirnik znajduje się już w pożądanym obszarze poślizgu wechwytowego nadaje mu się pewne przyspieszenie, aby tem łatwiej generator wkołysał się w położenie synchroniczne.

C. Metoda synchronizacji zupełnej.

Metoda ta polega na dalekoidącem spełnieniu warunków idealnej synchronizacji. Obydwa systemy tej synchronizacji, które podajemy poniżej, w przeciwstawieniu do poprzedniego systemu, uwzględniają pełne wzbudzenie maszyny do zupełnego zrównania napięcia generatorowego z napięciem sieciowem, dopuszczają poślizg stosunkowo bardzo niewielki oraz przeprowadzają zupełne zrównanie faz. Zachowanie tych warunków pozwala pominąć oporności dodatkowe, gdyż i bez nich prąd udarowy jest zawsze mniejszy od znamionowego. Generatory mogą tu mieć o wiele mniejsze tłumienie, a mimoto czas wkołysania się generatora w położenie synchroniczne jest mniejszy od 1,5 sek. Jednakże sieć musi być spokojna, a więc bez raptowniejszych zmian obciążenia a co za tem idzie — napięcia i częstotliwości, musi być siecią słabą czyli elastyczną.

O ile poprzednia metoda przewidziana jest dla synchronizacji odległej, a więc przez sieć, to metoda synchronizacji zupełnej może być stosowana nawet do synchronizacji krótkiej, t. j. na szyny zbiorcze, i to przy największych jednostkach przyłączanych.

Konieczność dokładnego sfazowania napięć w tej metodzie wymaga pewnego omówienia: otóż przypuśćmy, że synchronizację przeprowadzamy posiłkując się zwykłemi przyrządami, a w szczególności obserwując np. woltomierz zerowy. Im bardziej częstotliwość generatora zbliża się do częstotliwości sieci, tem wolniejsze są wahania tego woltomierza. Wreszcie wahania są bardzo wolne i pragnęlibyśmy przyłączyć generator wówczas, gdy skazówka stanie na chwilę na zerze. Przyłączyć generator — to znaczy zewrzeć nożami wyłącznika rozdzielone do tej pory fazy generatora i sieci Z racji bezwładności przyrządów na przyłączanie potrzebny jest czas; czas ten liczony od chwili dania impulsu przyłączającego do chwili wykonania przyłączenia, nazywający się czasem właściwym $t_0$ wyłącznika i jego przekaźników wynosi dla (rys. 343):



Rys. 343. Czas wyprzedzenia impulsu przyłączenia przy synchronizowaniu.

starszych olejowych wyłączników na wys. napięcie — 0,8 ÷ 1,0 sek.,
nowszych wyłączników na nap. robocze

110 ÷ 220 kV . . . . . 0,2 ÷ 0,5 sek.
najnowszych np. rozprężeniowych wyłączników . . . ≃ 0,12 sek.

Stąd wniosek, że chcąc rzeczywiście wykonać przyłączenie we właściwym czasie, impuls przyłączania musimy wydać na $t_0$ sek. przed chwilą zrównania się faz. Jeżeli dopuszczalny przy synchronizacji poślizg $s$ jest wielkością stałą w czasie synchronizacji, to kąt wyprzedzenia $\varepsilon$ wynosi

$$\varepsilon = (2\pi \,.\, s \,.\, f \,.\, t_0)^0 \text{ stopni elektrycznych,}$$

gdzie $f$ = częstotliwość sieci. Wobec tego kąt ten dla poszczególnych wyżej wymienionych wyłączników wynosić będzie w założeniu, że $s = 1\%$ i $f = 50$.

a) dla wyłączników starszych $\varepsilon \simeq 251^0 \div 314^0$
b) „ „ nowszych $\varepsilon \simeq 63^0 \div 157^0$
c) „ „ rozprężeniowych $\varepsilon \simeq 37^0$

Mając te kąty, łatwo obliczymy, przy jakiem napięciu $\delta E$, wskazywanem przez woltomierz zerowy, mamy podać impuls przyłączania, gdyż

$$\delta E = 2E \,.\, \sin \frac{\varepsilon}{2}$$

Gorzej przedstawia się ta sprawa wówczas, gdy sieć nie zachowuje się tak spokojnie w chwili synchronizacji. Wtedy albo zakładamy pewien kąt wyprzedzenia, zależnie od przyjętego przez nas średniego poślizgu prawdopodobnego w danej chwili, albotež musimy zastosować specjalne

automatyczne ryglowanie wyłącznika, uniemożliwiające włączenie go w chwili nieodpowiedniej. Utrudnioną synchronizację mamy szczególniej wówczas, gdy dokonywujemy jej za pośrednictwem dalekonośnej linji wysokiego napięcia nieprzeplecionej, gdyż wówczas występują znaczne różnice w pojemnościach poszczególnych faz.

Po tem omówieniu przejdziemy teraz do poszczególnych systemów metody synchronizacji zupełnej.

Systemów tych rozpatrzymy tylko dwa. Z ogólnej charakterystyki tej metody, którą dopieroco rozpatrzyliśmy, wynika, że systemy te różnią się między sobą jedynie wielkością dopuszczalnego poślizgu wechwytowego oraz czasem zsynchronizowania. Otóż:

1) *System przyśpieszonej synchronizacji zupełnej* przewiduje poślizg $s \leqslant \pm 1\%$. Czas zsynchronizowania wynosi $15 \div 60$ sek. System ten jest chętnie stosowany w zakładach automatycznych.

2) *System dokładnej synchronizacji.* W tym przypadku poślizg jest bardzo mały, bo mniejszy od 0,2%, lecz skutkiem tego czas zsynchronizowania wynosi nie mniej niż 1 minutę, a może trwać np. 15 minut lub dłużej.

D. Synchronizacja samoczynna i odręczna.

Oczywiście, że przy wszystkich systemach obu metod synchronizacji możemy czynność tę wykonywać bądźto odręcznie bądźteż samoczynnie.

Wszelkie urządzenia samoczynne, których zadaniem jest przyłączanie nowych jednostek prądotwórczych do pracy równoległej, muszą spełniać zadanie, polegające na ryglowaniu wyłącznika w chwilach, gdy ewentualne przeprowadzenie przyłączenia groziłoby niebezpieczeństwem dla całości urządzeń, dla jednostek prądotwórczych oraz groziłoby naruszeniem warunków równowagi współpracy elektrycznej. Dlategoteż urządzenia samoczynne powinny odryglowywać wyłącznik i przeprowadzać przyłączanie:

1-o gdy różnica częstotliwości nie przekroczy dopuszczalnych dla danego systemu granic;

2-o gdy napięcia są zrównane i odróżniona opozycja faz od uzgodnienia faz;

3-o gdy wirnik znalazł się już w obszarze pewnego wechwytowego kąta fazowego;

4-o ponieważ przyłączanie nowych jednostek prądotwórczych, spowodowane jest koniecznością wspomożenia przeciążonej sieci, to dla zwiększenia stateczności pracy sieci często wymagamy, aby w chwili przyłączania udar prądu obciążał synchronizowaną jednostkę, gdy jest ona generatorem, a nie silnikiem. Dlategoteż w tych przypadkach wymagamy, aby przyłączanie nastąpiło tylko przy poślizgu ujemnym, t. j. wówczas, gdy częstotliwość maszyny przyłączanej jest większa od częstotliwości sieci, lecz oczywiście w granicach dopuszczalnego poślizgu. Dzięki temu przyłączana jednostka prądotwórcza przejmuje bezzwłocznie obciążenie i zapobiega działaniu przekaźników wstecznych i przetężeniowych oraz będzie wspierała stateczność współpracy, a nie naruszała jej. Jeżeli jeszcze do tego dodamy, że samoczynne urządzenia w pewnych systemach synchronizacji mają we właściwej chwili nadać pewne przyspieszenie wirnikowi, wzmoc-

nić wzbudzenie, zewrzeć oporność dodatkową i t. d., a ponadto wywiązać się z zadania jaknajszybciej, to widzimy, jak bardzo różnorodne zadania ma do spełnienia to urządzenie.

Toteż przy dzisiejszym stanie tej gałęzi elektrotechniki urządzenia samoczynnej synchronizacji są bardzo skomplikowane i bardzo drogie. Dlategoteż ze względu na gospodarność urządzeń elektryfikacyjnych całkowitą automatyzację synchronizacji stosujemy tylko dla bardzo dużych jednostek prądotwórczych, o ile specjalne względy miejscowe nie przemawiają za stosowaniem jej także dla mniejszych jednostek. Aby stosowalność tych pożytecznych przyrządów możliwie rozszerzyć, zadawalamy się często przekazaniem tylko pewnych zadań przyrządom samoczynnym, a inne wykonywujemy odręcznie. Często znów zasadniczo całą synchronizację dokonywujemy odręcznie z tem, że stosujemy tylko automatyczne ryglowanie wyłącznika dla uchronienia maszyn i sieci od skutków nieuwagi, niezręczności lub też chwilowej niedyspozycji osoby synchronizującej.

Dla uzupełnienia tych rozważań należy zauważyć, że o ile doprowadzamy generator do obrotów zbliżonych do normalnych bardzo szybko, to o tyle wolno przejeżdżamy przez zakres wechwytowego położenia wirnika. W ten sposób, jakdgyby powoli, przesuwa się przed nami taśma zmieniającej się częstotliwości tak, że z łatwością możemy dobrać czas najodpowiedniejszego przyłączenia. Jeżeli w normalnych warunkach przeoczyliśmy tę chwilę, to przyłączenie uskutecznimy w chwilę później, gdy generator, dobiegłszy do krańca omawianego zakresu, wraca tak, że nasza „taśma" częstotliwości przesuwa się przed naszemi oczyma w odwrotnym kierunku.

E. Synchronizacja sieci.

Synchronizacja dwóch sieci jest o wiele trudniejsza niż synchronizacja dwóch generatorów, gdyż w tym przypadku w procesie wyrównawczym biorą udział masy wirujące nietylko generatorów, lecz także i silników, które wówczas otrzymują przyspieszenia bądźteż opóźnienia. Z tegoteż względu posługiwać się tu będziemy metodą synchronizacji zupełnej. Oczywiście, że możemy tu dopuścić tem większy poślizg wechwytowy im większe oporności sieć zawiera między miejscem przyłączania a poszczególnemi elektrowniami, przytem z zasady sieć słabiej obciążona, a więc posiadająca pracującą rezerwę, powinna mieć częstotliwość nieco większą od sieci bardziej obciążonej.

Przy synchronizacji sieci prawie zawsze mamy dość duże różnice napięć zarówno co do wielkości, t. j. podłużny spadek napięcia $\Delta E$, jak i co do fazy, t. j. poprzeczny spadek napięcia $\delta E$.

O ile te spadki przekraczają dopuszczalne dla danych warunków tolerancje, to napięcia te przed połączeniem musimy wyregulować jednym ze sposobów, rozpatrzonych już przez nas w rozdziale o regulacji napięć w sieciach.

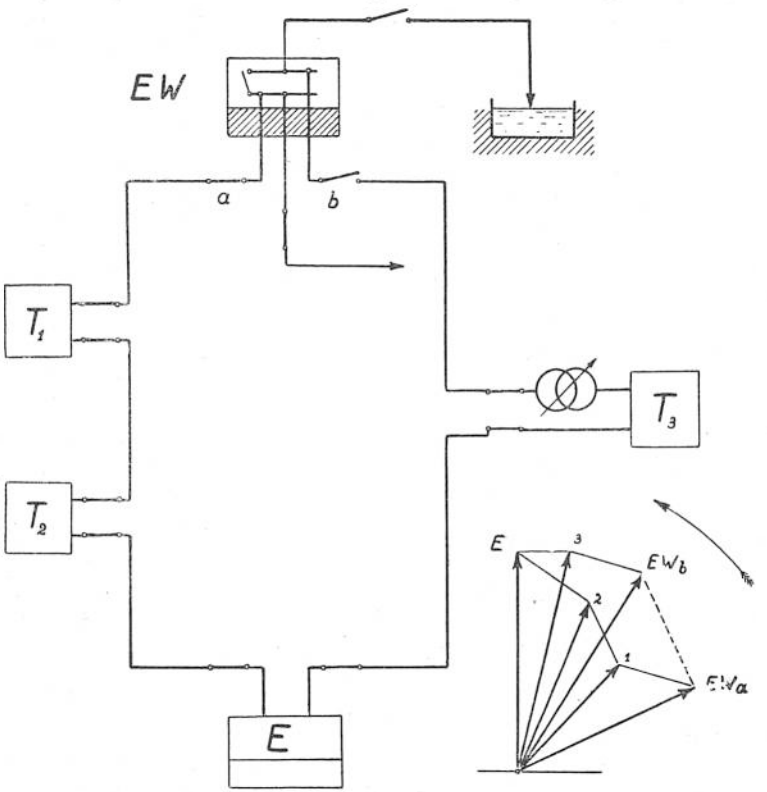
F. Zamykanie pierścienia sieci okrężnej (rys. 344, Peters).

Podobnie jak w poprzednim przypadku mamy i na końcach pierścienia sieci okrężnej, które pragnęlibyśmy zewrzeć, pewne różnice napięć $\Delta E$ i $\delta E$. Również i tu staramy się zrównać z sobą i wzajemnie zbliżyć wektory

napięć obu połówek sieci zapomocą transformatorów regulacyjnych, gdyż w przeciwnym razie otrzymalibyśmy udary mocy, które mogłyby spowodować wypadnięcie z taktu jednej lub więcej jednostek prądotwórczych. Czasami dla zmniejszenia $\delta E$ część pierścienia mniej obciążoną, sztucznie obciążamy np. oporami wodnemi, które np. w elektrowniach wodnych zawsze istnieją dla umożliwienia zwiększenia przełyku wody burzowej przez turbiny.

G. Kryterja systemów synchronizacji.

Z dotychczasowych rozważań naszych wynika, że proces synchronizacji możemy odbyć nawet bardzo szybko, bo np. wciągu 10 sekund, lecz

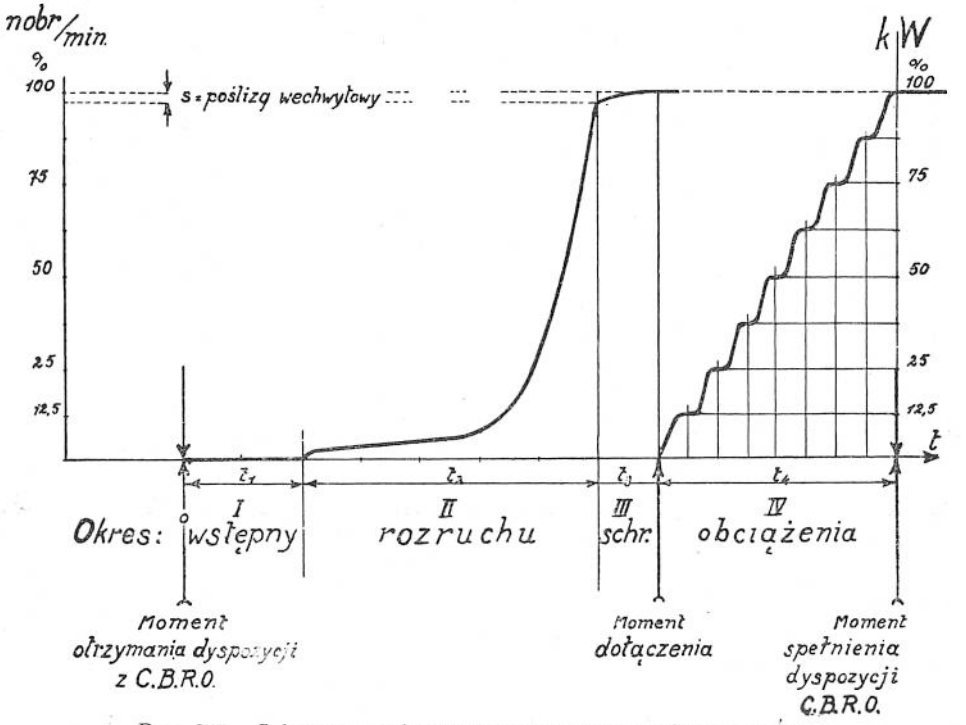



Rys. 344. Zamykanie pierścienia linji okrężnej.

wówczas towarzyszyć mu będą gwałtowne przebiegi wyrównawcze. Ten więc sposób synchronizacji połączony jest z większem lub mniejszem niebezpieczeństwem, grożącem całości urządzeń i maszyn. Gwałtowność tych przebiegów możemy znacznie złagodzić, a nawet całkowicie jej uniknąć, jednakże kosztem poświęcenia na ten cel czasu około stukrotnie większego, bo wynoszącego np. 15 minut. Wprawdzie rozpatrzyliśmy w najważniejszym lecz niekompletnym i stosunkowo nielicznym szeregu istniejących systemów synchronizacji całą gamę przejścia od przebiegów najgwałtowniejszych do najłagodniejszych, a więc od najkrószych do najdłu-

żej trwających, to jednak kryterjum to nie wystarcza jeszcze do powzięcia decyzji w wyborze tego lub innego systemu. Na potwierdzenie tych słów zwrócimy uwagę na fakt, że wybrany przez nas jeden z systemów synchronizacji metody przybliżonej, a więc możliwy do zastosowania wobec dopuszczalnego ustosunkowania się mocy generatora przyłączanego do mocy sieci w normalnych warunkach, może być niemożliwym do zastosowania np. w niedziele i święta lub w nocy, gdy obciążenie znacznie różni się od normalnego; np. cytowaliśmy już, że obciążenie sieci bawarskiej w nocy o $2^h$ wynosiło 15 000 kW, a o $8^h$ rano 110 000 kW.

Tak więc musimy wprowadzić jeszcze jedno kryterjum, a mianowicie musimy zdać sobie sprawę ze stosunku czasu synchronizacji do innych okre-




Rys. 345. Schemat uruchamiania zapasowego turbogeneratora.

sów czasu, zużytego przy uruchamianiu i obciążaniu jednostek prądotwórczych zarówno przed synchronizacją, jak i po synchronizacji.

Zacznijmy więc od *jednostek parowych* (Rys. 345, Boll, Gropp, Peters).

I. Okres wstępny liczony od chwili otrzymania z C.B.R.O. polecenia uruchomienia danej jednostki prądotwórczej do chwili otworzenia głównych zaworów przy turbinie. Okres ten, potrzebny na uruchomienie maszyn pomocniczych, jakoto pomp: wodnych, powietrznych, olejowych, na osiągnięcie próżni, zależy od miejscowych warunków technicznych, np. czy zawory otwieramy elektrycznie czyteż ręcznie i t. d.; trwa on: $t_1 = 8 \div 35$ minut. Poczem następuje:

II. Okres rozruchu: najmniej 50%, a lepiej do 70% tego okresu wykorzystamy na podgrzanie turbiny przy jej obrotach wynoszących 5—12% obrotów normalnych, poczem szybko podnosimy obroty, osiągając granicę poślizgu wechwytowego. Okres ten, zależnie od wielkości i konstrukcji turbiny, trwa $t_2 = 15 \div 90$ min. W tej chwili rozpoczyna się:

III. Okres synchronizacji i przyłączenia. Nie będziemy powtarzali się wymienianiem głównych czynności tego okresu; zaznaczymy tylko, że zależnie od obranego przez nas systemu czas ten trwa $t_3 = {}^1/_6 \div 15$ min.

Naogół więc możemy liczyć się orjentacyjnie z następującemi okresami czasu uruchamiania zespołów turbinowo-prądnicowych:

| | | | |
|---|---|---|---|
| o mocy do 10 000 kVA | | $t_1 + t_2 + t_3 =$ | 25 ÷ 35 min. |
| „ „ od 10 000 „ | do 20 000 kVA | $t_1 + t_2 + t_3 =$ | 55 ÷ 70 „ |
| „ „ od 20 000 „ | „ 50 000 „ | $t_1 + t_2 + t_3 =$ | 110 ÷ 140 „ |

IV. Okres przejęcia obciążenia. Bezpośrednio po ukończonym przebiegu synchronizacji możemy obciążać przyłączony generator szybko tylko przy mniejszych jednostkach. Większe natomiast generatory wymagają stopniowego obciążania, a to dla możliwego zrównania się temperatur miedzi i żelaza. W przeciwnym razie, szczególniej przy różniących się znacznie spółczynnikach rozszerzalności cieplnej miedzi i żelaza, moglibyśmy otrzymać między czynnem żelazem a miedzią znaczne przesunięcia rzędu kilku milimetrów. Oczywiście, że mogłoby to spowodować znaczne skrócenie żywota generatora. Dlategoteż generator obciążamy skokowo po 10 % (wielki generator) — 20% (mały generator) znamionowego obciążenia w mniejwięcej równych odstępach czasu (od 2 do 6 min. zależnie od wielkości generatora) z tem, że pierwszy okres jest nieco dłuższy. Okres przejścia całkowitego znamionowego obciążenia trwa zależnie od wielkości i konstrukcji generatora:

a) dla generatorów do 20 000 kVA; $t = 30$ min. czas ten tylko wyjątkowo może być skrócony wrazie naglącej potrzeby do 10 min.

b) dla generatorów powyżej 20 000 kVA; $t_4 = 60$ min.

W rozpatrzonym dopieroco przez nas przypadku możemy zyskać na czasie, gdy zespół turbinowo-prądnicowy, trzymany w rezerwie, będzie obracał się stale z liczbą obrotów, zależnie od miejscowych względów gospodarczych, 3 ÷ 15 obr. na minutę. W ten sposób zaoszczędzamy sobie $t_1 = 8 \div 35$ min. oraz 50% ÷ 70% czasu $t_2$.

*Kotły parowe.* Doprowadzenie kotłów parowych o powierzchni ogrzewalnej od 400 ÷ 2 500 m² i o ciśnieniu roboczem do 30 atmosfer ze stanu zimnego do pełnego obciążenia wymaga okresu czasu:

| | |
|---|---|
| przy opalaniu węglem . . . . . | 180 min |
| „ „ „ brunatnym lub torfem . . . | 270 „ |
| „ „ ropą lub gazem ziemnym . . . . . | 120 „ |

Przy ciepłym stanie kotła, t. j. po postoju, wynoszącym około 10 h, gdy kocioł znajduje się jeszcze pod ciśnieniem około 4 atm. i temp. 150°C, okresy czasu wyżej wymienione skracają się do połowy.

Najkrótsze okresy czasu uruchomienia w wyjątkowych przypadkach można uzyskać przy zupełnej automatyzacji kotłowni; wynoszą one około $^1/_3$ podanych poprzednio okresów czasu.

Jedynie kotły systemu Velox (BBC), jak wskazują próby, przeprowadzone np. w elektrowni w Tulonie „Soc. de Gaz et d'Electricité du Sud-Est", mogą być uruchomione ze stanu zimnego do pełnego obciążenia normalnie po upływie około $7^1/_2$ min. Jednakże kotłów tych jest jeszcze stosunkowo mało w ruchu, gdyż do końca 1934 r. było ich w ruchu około 21 szt. o przeciętnej wydajności pary przegrzanej 25 t/h, max. 55 t/h, 32 atm., i o sprawności ponad 90% prawie niezależnej od obciążenia kotła.

Kotły systemu La-Mont można uruchomić ze stanu zimnego do pełnego obciążenia po upływie około 10 minut; po upływie tego czasu można mieć do dyspozycji parę o ciśnieniu 35 atm. w ilości np. 50 t/h.

*Jednostki wodne.*

I. Okres wstępny: liczymy tak jak poprzednio od chwili otrzymania z C. B. R. O. dyspozycji. W okresie tym puszczamy w ruch pompy olejowe i otwieramy śluzy.

Okres ten trwa $^1/_{10} \div$ 2 min.
II. Okres rozruchu trwa $^1/_4 \div$ 2 „
III. Okres synchronizacji i przyłączenia $^1/_6 \div$ 15 „

IV. Okres przejęcia obciążenia: ze względu na to, że mamy tu do czynienia z wolno-bieżnemi maszynami, a więc o wiele krótszemi, czas skokowego przejęcia obciążenia znamionowego skraca się bardzo i wynosi np. dla generatora 36000 kVA, $n = 500$ obr./min. — tylko 1 minutę. Naogół więc możemy powiedzieć, że jednostki wodne uruchamiamy w tylu sekundach, ile minut potrzeba na uruchomienie takiej samej mocy jednostki parowej.

*Przetwornice i kompensatory synchroniczne i asynchroniczne.*

I. okres może być nieomal dowolnie mały.

II. okres rozruchu trwa tu przy przeprowadzaniu go zapomocą silnika rozruchowego około 1,5 ÷ 2,5 minut.

III. i IV. okres podobnie jak przy jednostkach wodnych.

W każdym więc przypadku, stosownie do możliwego osiągnięcia czasu uruchomienia danej jednostki, możemy z łatwością osądzić i zadecydować: czy, kiedy i w jakim stopniu opłaci się zaoszczędzić na czasie synchronizacji kosztem odpowiednio zwiększonej gwałtowności tego przebiegu.

## M. Regulacja czasu.

Niektóre czynności, jak naprzykład te, które stale i okresowo się powtarzają, praca według rozkładu obciążeń i t. d. normowane są według czasu. Aby pod tym względem nie było żadnych nieporozumień i aby poszczególne zegary z sobą uzgodnić, C. B. R. O. przeprowadza codziennie lub dwa razy dziennie regulację zegarów w całym zespole. Odbywa się to oczywiście drogą telefoniczną o ściśle określonej porze.

Zanim przejdziemy do szczegółowego rozpatrzenia organizacji sieci i współpracy elektrowni, musimy nieco rozszerzyć nasze pojęcia, dotyczące napięć i rozległości poszczególnych sieci. Te dwa pojęcia łączą się ze sobą o tyle, że zastosowanie napięcia o pewnej wysokości określa do pewnego stopnia zasięg sieci. Powołując się więc na rozważania nasze, dotyczące napięć, w rozdziale o harmonizacji wielkich przedsiębiorstw elektryfikacyjnych z okręgowemi, możemy napisać, że:

a) sieci okręgowe naogół posiłkują się napięciami:

6 kV dla przesyłania energji elektrycznej w obszarze o średnicy wynoszącej ok. . . . . 10 km

15 kV dla przesyłania energji elektrycznej w obszarze o średnicy wynoszącej ok. . . . . 25 „

30 kV dla przesyłania energji elektrycznej w obszarze o średnicy wynoszącej ok. . . . . 50 „

60 kV dla przesyłania energji elektrycznej w obszarze o średnicy wynoszącej ok. . . . . 100 „

Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że napięciem 6 kV posługujemy się dla przesyłania energji elektrycznej przy krańcowem obciążeniu toru wynoszącem ok. 8 MW, napięciem 30 kV — przy obciążeniu ok. 20 MW przy 10% stratach, wreszcie napięciem 60 kV — przy przesyłaniu energji elektrycznej przy obciążeniu wynoszącem do 40 MW również przy 10%-ych stratach, to zdamy sobie sprawę z możliwości energetycznych sieci okręgowej;

b) sieci wielkie, jak już wiemy, posiłkują się napięciami począwszy od 60 kV; zapomocą jednego tylko toru sieci o napięciu 60 kV i o przekroju $3 \times 95$ mm$^2$ Cu lub też $3 \times 120$ mm$^2$ Cu przy stratach mocy, wynoszących około 10% i prawie takim samym procencie strat napięcia, można przenieść na odległość 100 km moc około 20 MW. Posiłkują się one również napięciami:

100 kV dla zasięgu 120 do 200 km, przenosząc jednym torem o przekroju $3 \times 120$ mm$^2$ Cu do $3 \times 185$ mm$^2$ Cu moc do 45 MW — oraz

150 kV dla przenoszenia ok. 80 MW na odległość do 300 km;

c) sieci państwowe przypomocy napięcia:

220 kV przesyłają na odległość 400 km jednym torem o przewodach rurowych o średnicy 25 mm moc dochodzącą do ok. 110 MW — oraz

380 kV wystarcza na przesłanie 550 MW na odległość 600 km jednym torem o przewodach rurowych o średnicy 42 mm.

## 2. Wielka Elektrownia w N. (W. E. w N.).

Wielka Elektrownia wytwarza energję elektryczną ściśle według otrzymanego rozkładu obciążeń lub według poleceń, otrzymanych z C. B. R. O. Całą gospodarkę środków napędowych prowadzi Wydział Ekonomiczny tak, że kierownictwo Wielkiej Elektrowni troszczy się jedynie o utrzymanie pracy swego zakładu i o spełnienie nałożonych na niego zadań natury energetycznej. Rozdzielnia zakładu ma stałą łączność z C. B. R. O., według którego poleceń wykonywa wszelkie czynności, związane z prowadzeniem pra-

cy elektrycznej. Na czele Wielkiej Elektrowni stoi inżynier-szef, który utrzymuje zakład przy pomocy podległych mu: kierownika działu kotłowego, kierownika działu maszynowego oraz kierownika działu elektrycznego, których wyszkolenie dobrane jest do rozmiarów zakładu; w wielkich zakładach będą to więc inżynierowie, w średnich technicy, a w małych majstrowie. Produkcję zakładu prowadzi inżynier-szef zapomocą zmianowych wytwórni (inżynierowie, technicy albotež majstrowie). Podczas każdej zmiany pracuje jeden zmianowy. Do obowiązków zmianowego należy prowadzenie pracy wytwórni podczas swego dyżuru w sposób, zapewniający bezpieczeństwo obsłudze, ciągłość pracy oraz gospodarczo najlepsze wyniki. Odpowiada on za terminowe uruchamianie lub zatrzymanie maszyn, kotłów i t. d. Pracami, związanemi z utrzymaniem urządzeń, zmianowy nie zajmuje się i ich nie nadzoruje. Uskutecznia on natomiast drobne naprawy, dorywcze, zapomocą dyżurnych ślusarzy, monterów i t. d. swej zmiany, a w razie poważniejszych uszkodzeń wzywa personel odpowiedniego działu. Zmianowy prowadzi produkcję stosownie do zleceń, podawanych mu przez C. B. R. O. i przez inżyniera-szefa. Dyspozycyj C. B. R. O. zmianowy może nie wykonać na własną odpowiedzialność tylko w tych wyjątkowych przypadkach, gdy wydana dyspozycja może grozić śmiercią obsłudze, zagrażać całości urządzeń lub zasadniczo odbiegać od ustalonego planu pracy. O niewykonaniu takiej dyspozycji musi zmianowy natychmiast zameldować inżynierowi-szefowi i zastosować się do jego rozstrzygnięcia. Oczywiście zmianowy nie jest bezdusznym biurokratą i nieżyciowym formalistą, lecz rozumuje i postępuje w myśl najdalej idącego dobra współpracy i spełnienia wynikających z niej konieczności chwili.

Zmianowy rozporządza dyżurnym w kotłowni, dyżurnym w maszynowni oraz dyżurnym elektrotechnikiem, a wrazie potrzeby także dyżurnym, kierującym doprowadzeniem i przygotowaniem (młyny) paliwa (technicy albotež werkmistrze). Dyżurnemu elektrotechnikowi podlegają w rozdzielni: starszy tablicowy i jego pomocnik. Starszy tablicowy dokonywa wszelkich regulowań oraz za zgodą i w obecności dyżurnego elektrotechnika — przyłączania i odłączania. Natomiast pomocnik tablicowego jest odpowiedzialny za dokonywanie wszelkiego rodzaju odczytów mierników, zapisywanie ich, obsługuje samopiszące mierniki, kontroluje sygnalizację i t. d. Zmianowy zasadniczo wydaje wszelkie dyspozycje zapośrednictwem właściwych dyżurnych, a jeżeli przypadkowo wydaje bezpośrednio obsłudze, to jest ona obowiązana wykonać otrzymaną dyspozycję, lecz natychmiast po jej wykonaniu melduje o tem swemu bezpośredniemu zwierzchnikowi. Jeżeli natomiast sam zmianowy otrzymałby zlecenie naprzykład od Dyrekcji wyjątkowo z ominięciem C. B. R. O. lub inżyniera-szefa, to wykonać jej nie może, lecz natychmiast melduje o tem inżynierowi-szefowi i stosuje się do jego decyzji. Jest to zasada postępowania, którą stosuje się przy eksploatacji zarówno zakładów wytwórczych jak i zakładów sieciowych.

Poszczególni dyżurni dyspozycje wydają tylko sobie podwładnemu personelowi. Każdy pracownik musi wiedzieć, że za swą czynność oraz za działanie i stan pewnej wyznaczonej mu części urządzeń jest odpowiedzialny.

Odpowiedzialność poszczególnych pracowników jest wzajemnie im znana w rozmiarze, uzgadniającym wspólny wysiłek.

Administracyjnie cała załoga zakładu, począwszy od dyżurnych włącznie, podlega kierownikowi tego działu, w którym dany pracownik jest zatrudniony.

Zarówno w Wielkiej Elektrowni jak i we wszystkich innych zakładach o obsłudze ciągłej, obsługa ta składa się zawsze z czterech zmian. Trzy zmiany pełnią służbę zmianową, a czwarta zmiana pełni służbę pomocniczą, jak np. warsztatową. Co tydzień role zmieniają się tak, że w następnym tygodniu druga, trzecia i czwarta zmiana pełni służbę zmianową, a pierwsza przejmuje służbę czwartej, t. j. pomocniczą i t. d. Ma to na celu osiągnięcie możności rozporządzania personelem pomocniczym, który byłby dokładnie obznajmiony z warunkami obsługi, i jednocześnie obsługą dokładnie obznajmioną z pracami pomocniczemi. Wynika stąd korzyść jasna i zrozumiała wrazie wypadku, choroby, urlopów lub zmiany miejsca pracy kogoś z obsługi.

### 3) Wielki Zakład Rozdzielczy w N. (W. Z. R. w N.).

Ze względu na wielkie transformatory, ustawione w wielkich zakładach rozdzielczych, nadzwyczaj wielką ilość wody potrzebną do chłodzenia oleju transformatorowego, generatory prądu bezmocnego i t. d. organizacja Zakładu Rozdzielczego zbliża się do organizacji Zakładu Wytwórczego.

Wielkie Zakłady Rozdzielcze są zwykle siedzibą Inspektoratów Sieciowych, które mają za zadanie nadzór nad obsługą sieci i urządzeń oraz wydają odpowiednie dyspozycje personelowi dla utrzymania urządzeń i sieci. W tych przypadkach inspektor jest jednocześnie kierownikiem ruchu Zakładu Rozdzielczego i ma do pomocy asystentów inżynierów lub techników.

### 4) Punkt Węzłowy w N. (P. W. w N.).

W Punkcie tym zwykle maszyn wirujących niema. Również transformatory są znacznie mniejsze. Kierownik ruchu P. W., zwykle doświadczony technik, pod względem ruchu podlega bezpośrednio C. B. R. O., a pod względem personalnym i utrzymania podlega odpowiedniemu inspektorowi. Dla prowadzenia ruchu swego Punktu kierownik ma odpowiedni personel techniczny. Dla orjentacji możemy podać, że obsada przeciętnego Punktu Węzłowego, bez pomp i elektrycznych maszyn wirujących, składa się z 1 technika jako kierownika, 4 starszych monterów zmianowych, z których naprzemian jeden zajęty jest w warsztacie podręcznym, a trzech pełni służbę zmianową, i 1 starszego montera sieciowego.

### 5) Okręgowe Biuro Rozdziału Obciążeń w N. (O. B. R. O. w N.).

Zazwyczaj jestto konsument wielkiej sieci. Z Centralnym B. R. O. utrzymuje Okręgowe B. R. O. kontakt, uzależniony warunkami ruchu i postanowieniami stosownych umów.

Okr. B. R. O. organizacyjnie wchodzi w skład sieci okręgowej. Organizacja tego Biura nie różni się od organizacji Centralnego B. R. O. Cała różnica polega jedynie na tem, że O. B. R. O. prawie zawsze połączone jest bezpośrednio z rozdzielnią największej siłowni własnej, o ile sieć okręgowa własne siłownie posiada. W przeciwnym przypadku i ta różnica odpada.

## B. ODDZIAŁ UTRZYMANIA I ROZBUDOWY (O. U. — Rb.).

Zadania i obowiązki O. U.-Rb. wynikają z samej nazwy tego Oddziału, toteż omówimy je poniżej w sposób najogólniejszy, a narazie ograniczymy się jedynie do zaznaczenia, że Oddział ten zajmuje się utrzymaniem budynków mieszkalnych, przydziałem mieszkań, uzyskiwaniem uprawnień, koncesyj, zezwoleń na budowę i uruchomienie urządzeń, odszkodowaniami, wywłaszczeniami, kupnem i najmem pomieszczeń, gruntów, mieszkań, domów i t. d.

W tem miejscu pragnęlibyśmy omówić jeszcze jeden szczególny obowiązek tego Oddziału, obowiązek, który zresztą w jednakowej mierze obarcza wszystkie bez wyjątku szczeble organizacyjne, począwszy od najniższych, a skończywszy na najwyższych. Obowiązkiem tym jest kontrola zarówno pracy jak i jej wyników. Kontrola należy do najważniejszych obowiązków każdej osoby, zajmującej jakiekolwiek kierownicze stanowisko. Od obowiązku tego nie może się uchylić ani kierownik najmniej odpowiedzialnego działu, zatrudniający kilku ludzi, ani naczelny dyrektor, kierujący choćby największem przedsiębiorstwem. Kontrolowanie kogoś nie jest równoznaczne z brakiem zaufania do tej osoby i nigdy nie powinno to być w ten sposób interpretowane. Przeciwnie, każdy pracownik ma prawo i obowiązek żądać, aby praca jego była kontrolowana. W ten sposób jest on przez swego zwierzchnika skwitowany z tej pracy i o ile po dokonanej kontroli zwierzchnik nie ma żadnych zastrzeżeń, bierze temsamem dalszą odpowiedzialność na siebie za czynności swego podwładnego. Zresztą kontrola, tak jak i wszystko na świecie, nie może być przesadna. Nie można jej też prowadzić w sposób napastliwy, lecz jedynie w sposób dobrotliwy, t. zn., że osoba konstrolująca nie może być zgóry przeświadczona o swej uczciwości wyższej od uczciwości osoby przez siebie kontrolowanej. Chociaż w szczególnych przypadkach kontrola spotyka się z nieuczciwością, niemniej jednak nie można odosobnionych faktów uogólniać i zgóry nastawić się tylko pod kątem widzenia nadużycia. Do zadań kontroli należy badanie pracy, właściwego utrzymania i opiekowania się powierzonym danej osobie majątkiem przedsiębiorstwa, celowości i prawidłowości rozchodowanych zasobów bądźto gotówkowych bądźteż materjałowych, właściwego użycia tych zasobów, sprawdzanie, czy rozchodowanie to przynosi przewidywane korzyści czyteż powoduje straty. Jeżeli rozchodowanie zostało dokonane w sposób odmienny od zapatrywań na tę sprawę osoby kontrolującej, to nie jest to jeszcze nadużyciem, lecz najczęściej skutkiem bądźto niezbyt dokładnego zrozumienia spełnianego zadania, bądźteż brakiem kwalifikacji, bądź wreszcie innemi okolicznościami mniej lub bardziej słusznemi, w mniejszym lub większym stopniu usprawiedliwiającemi sposób rozchodowania. Rze-

czą kontrolującego zwierzchnika jest właśnie uchwycenie tych rozbieżności lub niedokładności możliwie najwcześniej, aby przez możliwie najbliższe „chwili odstępstwa" pouczenie i sprowadzenie toku sprawy na właściwą drogę zapobiec dalszym stratom lub innym konsekwencjom. O ile dany zwierzchnik takiej kontroli nie przeprowadza, wówczas za straty i inne konsekwencje sam ponosi odpowiedzialność narówni z winowajcą lub nawet w niektórych przypadkach większą, przyczem nie może się tłomaczyć, że miał do winowajcy pełne zaufanie, które zostało w sposób nieprzewidziany zawiedzione, gdyż w każdem przedsiębiorstwie mogą pracować tylko osoby, do których mamy pełne zaufanie. Niekontrolowanie jest tylko dowodem lekceważenia swych własnych obowiązków. Mylne byłoby zapatrywanie osoby kontrolującej, że swą gorliwą, dla przedsiębiorstwa szczególnie korzystną pracą, swemi zdolnościami, swą nieodzownością, swym pożytkiem i t. d. i t. d. wykazać się może jedynie na podstawie ilości i rozmiarów wykrytych nadużyć. Przeciwnie, takie fakty są świadectwem nieudolności danego organu kontrolującego, którego zadaniem jest przecież pilnowanie zachowania stale właściwej drogi toku prac i przedsięwzięć przedsiębiorstwa. Kontroler, postępujący w ten sposób, nie ustrzeże się od intrygi, podszeptów i t. d. Powyższe wywody dotyczą w jednakowej mierze wszystkich komórek przedsiębiorstwa, a więc zarówno Wydziału Technicznego, jak i Wydziału Administracyjnego. Kontroli w ten sposób pojętej, nie można uważać za spełnioną przez napisanie sprawozdań, wykazów, statystyk i t. d., nadsyłanych całemi stosami z poszczególnych komórek organizmu przedsiębiorstwa, niepotrzebnie i szkodliwie obciążających te komórki, a w dodatku ułożonych zazwyczaj z niewidocznym celem, według jakichś „doskonałych" wzorów, mimo to jednak tak rzadko dokładnie czytanych, analizowanych i zwykle bez wniosków odkładanych do kosza, nazwanego rozmaicie, jak np. teczka sprawy *x*, registratura, archiwum i t. d. Kontrola musi być dokonywana osobiście, bezpośrednio i żaden z kierowników nie powinien być tak obciążony w stu lub nawet więcej procentach pracą, aby rzeczywiście nie miał czasu na przeprowadzanie obowiązującej go kontroli. Nie wszędzie i nie zawsze kontrola musi być ciągłą; często przeprowadza się ją dorywczo i to zarówno pod względem czasu jak i zakresu.

Ułożenie planu pracy na cały rok niezmiernie ułatwia przeprowadzanie kontroli i wogóle prowadzenie całego przedsiębiorstwa. Plan taki dotyczy oczywiście pewnych stale lub okresowo wykonywanych czynności. Plan ten obejmuje jednoroczny okres czasu i jest układany na każdy miesiąc i dla każdego biura osobno. Ponieważ prace poszczególnych biur wzajemnie się zazębiają, przeto plany wszystkich biur muszą być z sobą uzgodnione. Uzgodnienie to odbywa się w poszczególnych Wydziałach, które skolei uzgadniają plany między sobą, poczem zatwierdza je Zarząd. Tego rodzaju uzgadnianie jest konieczne, gdyż naprzykład biuro *x* przewidywać będzie w miesiącu *y* wykonanie pewnej naprawy, związanej z wydatkiem gotówki *z* złotych, a tymczasem przy nieuzgodnionych planach Biuro Administracyjne może przewidzieć na miesiąc *y* wyjątkowo wielkie spłaty wierzytelności i skutkiem tego nie mogłoby dostarczyć wymaganej sumy. Oprócz tego plan taki

pozwala na dobre wykorzystanie czasu, gdyż niektóre czynności można wykonywać tylko w miesiącach letnich, inne znów tylko w miesiącach zimowych, część rozkłada się na każdą porę roku, część wypadnie przeprowadzać co miesiąc, a wreszcie znaczną ilość prac można wykonywać wprawdzie planowo, lecz w czasie dowolnym, jak np.:

przybory i urządzenia przeciwogniowe sprawdzać raz na 3 miesiące;

linje elektryczne obchodzić raz na 3 miesiące, a oprócz tego po każdej burzy;

konstrukcje żelazne badać, czy nie rdzewieją, oraz fundamenty, czy nie pękają, co 6 miesięcy i w tym czasie należy je czyścić, naprawiać i domalowywać;

wirniki niepracujących turbin i pomp odśrodkowych po dobrem naoliwieniu łożysk przekręcać co 1 miesiąc o 90°;

w unieruchomionych maszynach tłokowych zmieniać położenie korb co 3 miesiące;

urządzenia unieruchomione badać jako całość co 6 miesięcy;

regulatory bezpieczeństwa turbin stale pracujących próbować raz na 3 miesiące ręcznie, a możliwie raz na miesiąc podnoszeniem obrotów i t. d.

Mając takie zestawienie, możemy wyznaczyć pracę na poszczególne miesiące, dzięki czemu unikniemy „nawału" pracy w pewnym czasie jak i braku pracy w inym czasie. Pod koniec każdego miesiąca można opracować plan prac na poszczególne tygodnie następnego miesiąca lub nawet na dni; należy zawczasu przewidzieć, kto daną robotę będzie prowadził, i przygotować mu na czas instrukcje, plany, materjał. Każde biuro musi mieć plan prac wszystkich podlegających mu oddziałów. W ten sposób każdy kierownik biura będzie wiedział, co sam ma robić i co robi się albo robić się powinno w podwładnych mu oddziałach. Jeżeli jakiś oddział opóźnia się z wykonaniem lub nawet rozpoczęciem danej pracy, kierownik musi zbadać i usunąć przyczynę zła. Niektóre prace muszą być objęte planem dłuższym niż jednoroczny; dotyczy to np. chłodni kominowych, które co dwa lata powinny być poddawane gruntownej kontroli i naprawie.

Postępując w ten sposób, będziemy pewni, że z obowiązków naszych wywiążemy się należycie i że unikniemy wielu przykrych „niespodzianek", gdy np. nagle okaże się, że trzeba natychmiast wykonać kosztowną a niepreliminowaną na dany rok naprawę chłodni lub przeprowadzić wymianę rurek w kondensatorze. Mimo skrupulatnego planowania robót zdarzają się wprawdzie w ruchu normalnym niespodzianki, lecz są one przeważnie niemożliwe do przewidzenia i od nas niezależne. Natomiast pominięcie w planie „niespodzianki", którą przewidzieć można, byłoby jednak grzechem nie do darowania.

To samo dotyczy także wszystkich biur Wydziału Administracyjnego. Dlaczego przedsiębiorstwo miałoby płacić grzywnę w wysokości np. 500 zł. za nieterminowe wysłanie do Głównego Urzędu Statystycznego formularza statystycznego np. o stanie zatrudnienia za dany miesiąc, skoro obowiązek ten jest wiadomy i w planie prac może figurować w każdym miesiącu osobno, a ponadto można wyznaczyć termin wysłania, tej staty-

styki o kilka dni wcześniejszy niż przepisany przez władze. Dzięki temu osoba, kontrolująca prace danego referenta, może spostrzec przekroczenie terminu wysyłki, zażądać od referenta wyjaśnień i spowodować jeszcze terminowe załatwienie sprawy. Dlaczego przedsiębiorstwo ma np. płacić odsetki zwłoki lub kary za nieterminowe przekazanie pieniędzy, skoro pieniądze były do dyspozycji. Tego rodzaju pytań możnaby nagromadzić całe szeregi.

Jak już poprzednio podkreśliliśmy, praca według planu musi obejmować całe przedsiębiorstwo i plan każdego biura musi być skoordynowany z planami wszystkich pozostałych biur. Praca planowa, prowadzona tylko w jednem biurze dzięki inicjatywie i dobrym chęciom danego kierownika, nie osiągnie należytych wyników choćby z tego względu, że szereg spraw jest załatwianych kolejno przez kilka biur. Niestosowanie się do tego planu tylko przez jedno z biur przekreśli całkowicie wysiłek tego kierownika. Oczywiście, że musi się to odbić ujemnie i na podwładnym danemu kierownikowi personelu, który, nie widząc właściwych wyników z planu pracy, będzie go uważał za uciążliwą dla siebie idée fixe swego szefa.

### 1. Biuro Zakupów i Magazyny (B. Z. i M.).

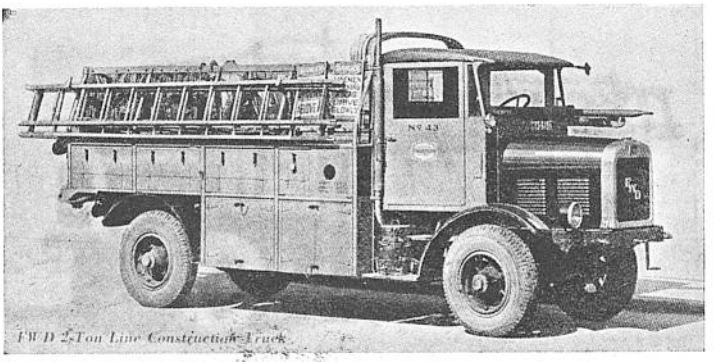
Biuro to zakupuje, przechowuje, konserwuje i wydaje materjały, przyrządy, maszyny i narzędzia według uzasadnionych zapotrzebowań poszczególnych biur Oddziału Ruchu i Oddziału Utrzymania i Rozbudowy.

### 2. Biuro Utrzymania (B. U.).

W zakładach wytwórczych każdy z kierowników działu odpowiada za dokonywanie okresowych rewizyj, powierzonych jego pieczy urządzeń i maszyn, niemniej jednak Biuro Utrzymania posiada specjalistów, którymi może uzupełniać personel tych elektrowni, które nie mogłyby stale wykorzystywać tak wysoko kwalifikowanego personelu, jaki do niektórych z tych robót jest konieczny. Dotyczy to przedewszystkiem rewizji naprzykład turbin, które uskutecznia się w normalnych warunkach po pracy turbiny, trwającej około 6 000 h, a tylko wyjątkowo, t. j. w warunkach pracy turbiny niekorzystnych, częstem zatrzymywaniu i puszczaniu jej i t. d., po upływie około 4 000 lub nawet 3 500 h. Natomiast rewizje poszczególnych części turbiny, jak np. układów regulacyjnych, uszczelnień i t. d. dokonywują elektrownie same w terminach ustalanych na podstawie wyników oględzin turbiny podczas dokonywania jej gruntownej rewizji. Pod tym względem są oczywiście wyjątki, a mianowicie wówczas, gdy w zespole pracują stosunkowo niewielkie zakłady wodne. Wtedy w tych specjalnych przypadkach Oddział Budowy i Utrzymania sam przeprowadza okresowe rewizje i naprawy.

Zadaniem B. U. jest więc utrzymanie w pewnych rozmiarach urządzeń mechanicznych i elektrycznych w zakładach wytwórczych oraz w całości wogóle wszystkich urządzeń sieci, budynków i maszyn, w sieciach elektrycznych w stanie gotowości do pracy i zapobieganiu wszelkim przerwom przygodnym, t. j. takim, które nie wynikają z charakteru pracy lecz których źródło leży poza nią.

Wszelkie roboty utrzymaniowe w całym zespole współpracującym bez względu na to, czy są one wykonywane przez poszczególne zakłady czyteż przez B. U., wykonywa się według planu rocznego, opracowanego przez Biuro Utrzymania na podstawie planu wyzyskania poszczególnych zakładów oraz warunków, panujących na terenie pracy każdego poszczególnego Zakładu. Uskutecznianie napraw i rewizyj według indywidualnych planów poszczególnych Zakładów, nieuzgodnionych z warunkami pracy całego zespołu, lub dokonywanie ich zgoła bezplanowo według widzimisię poszczególnych kierowników, naruszałoby bezwątpienia gospodarczy plan energetyczny. Jeżeli zauważymy, że rewizja zespołów turbinowo-prądnicowych trwa od 15 do 50 dni zależnie od ich wielkości, typu i stopnia zużycia, to przy przypadkowem jednoczesnem lub prawie jednoczesnem dokonywaniu



Rys. 346. Samochód amerykański, przystosowany specjalnie do utrzymania i rozbudowy sieci (The Four Wheel Drive Sales Co., Clintonville).

prac tych przez kilka zakładów, C. B. R. O. mogłoby się znaleźć w sytuacji, uniemożliwiającej mu zaspokojenie zapotrzebowania na energję elektryczną.

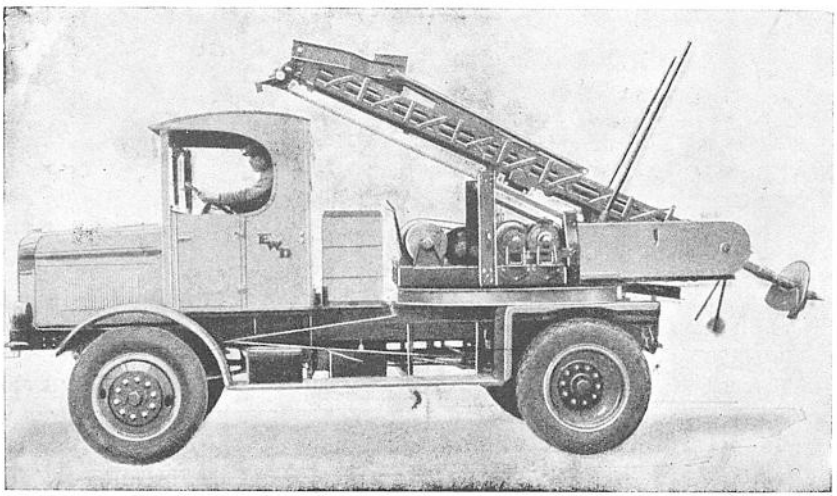
B. U. opracowuje plan prac utrzymaniowych w ścisłym kontakcie z B. K., C. B. R. O. oraz w porozumieniu z poszczególnemi zainteresowanemi Zakładami. Rozumie się, że elektrowniom wodnym należy dla napraw zarezerwować czas z okresu najmniejszej wody, elektrowniom okolicznościowym — czas, gdy odpowiednie przemysły mają najmniejsze zapotrzebowanie energji, elektrowniom pracującym na torfie — czas, gdy dowóz tego materjału jest najtrudniejszy, a zapasy się wyczerpują, elektrowniom, które oprócz energji elektrycznej zbywają także cieplik-czas, gdy na cieplik ten jest najmniejsze zapotrzebowanie: będzie to okres letni w przypadkach, gdy cieplik przeważnie zbywany jest dla celów ogrzewania mieszkań; a jeżeli cieplik dostarczany jest dla celów fabrykacyjnych, będzie to okres, gdy dane przebiegi fabrykacyjne najmniejszą ilość tego cieplika potrzebują i t. d.

### Organizacja Oddziału.

Biuro Utrzymania przedewszystkiem musi być zaopatrzone w:

a) środki transportowe (S. T.), a więc samochody osobowe, ciężarowe cięższe, motocykle, rowery i ewentualnie konie. Na rys. 346 widzimy

samochód dwutonowy, zaopatrzony we wszelkie urządzenia i przybory, konieczne do utrzymania i budowy sieci. Amerykanie posługują się również samochodem do kopania dołów pod słupy. Na rys. 347 i 348 widzimy właśnie taki samochód, zaopatrzony w kopaczkę świdrową oraz w urządzenie dźwigowe. Dzięki tej kopaczce dół o średnicy 60 cm i głębokości 2,15 m wykopuje się wciągu 2 minut w zwykłej ornej ziemi, a w bardzo twardej glinie (łupku) wykopanie takiego dołu trwa do 12 minut. Doły te są przeznaczone dla słupów pojedyńczych i można je kopać aż do głębokości 3,65 m. Zapomocą tej samej maszyny można również kopać doły podłużne dla słupów podwójnych i innych słupów dowolnej konstrukcji. Urządzenie dźwigowe pozwala na szybkie wyciąganie kamieni, napotykanych w dołach, oraz na stawianie słupów (rys. 349). Przypomocy jednego takiego samochodu i trzech ludzi, obsługujących go, buduje się wciągu 8 h odcinek linji średnio o 60 słu-



Rys. 347. Samochód kopaczka-dźwig.

pach (naogół od 30 do 100 słupów, zależnie od terenu). Samochody te są szczególnie pożyteczne wówczas, gdy naprzykład skutkiem rozszerzania drogi trzeba przesunąć linję elektryczną wbok i to nie wyłączając linji samej spod napięcia. Dzięki urządzeniu dźwigowemu samochody te nadają się również do transportu wyłączników, transformatorów (rys. 349) i t. d.;

b) warsztaty (W) dla niezasadniczych maszyn, przyrządów, mierników, przekaźników i t. d. ;

c) laboratorjum pomiarowe i cechownicze (L) dla liczników i innych przyrządów pomiarowych, przekaźników i t. d. W sieciach o bardo dużej liczbie przekaźników przewidziany jest specjalny personel techniczny, którego zadaniem jest ciągły nadzór, sprawdzanie i nastawianie przekaźników. Personel ten jest również odpowiedzialny za właściwy

dobór transformatorów miernikowych, dławików, całość kabli i t. d. Osobny personel czuwa nad środkami łączności, przyrządami samoczynnemi, nad stanem izolacji sieci, olejami transformatorowemi i wyłącznikowemi, uziemieniami i t. d. Tak więc wszelkie specjalne przyrządy, mierniki i pomoce techniczne utrzymywane są nie przez obsługę ruchową, lecz przez osobny personel, scentralizowany w B. U. Personel ten jest przerzucany z miejsca na miejsce stosownie do programu, ułożonego zgóry na pewien przeciąg czasu, lub wmiarę potrzeby.

Natomiast dla wykonywania robót innych, poza wyżej wymienionemi, cały obszar zasilania dzieli się na szereg inspektoratów sieciowych.



Rys. 348. Samochód kopaczka-dźwig przy pracy.

### 3. Inspektorat Sieciowy w N. (I. S. w N.).

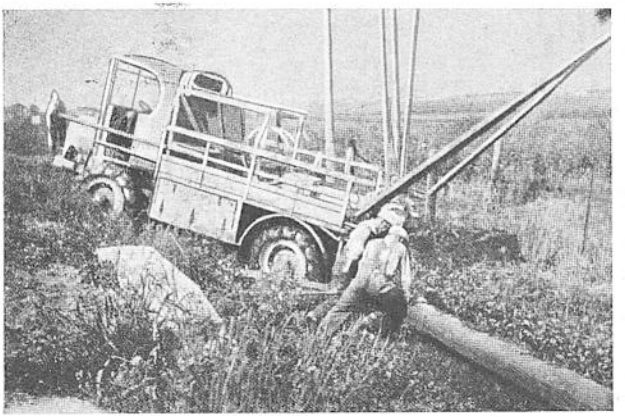
Zwykle siedzibą Inspektorów Sieciowych są wielkie zakłady rozdzielcze. Inspektorem Sieciowym jest zawsze inżynier, pod którego pieczę oddany jest zwykle jeden wielki zakład rozdzielczy, kilka punktów węzłowych oraz sieć w promieniu 50 — 100 km. Ogólna długość sieci Inspektoratu zwykle wynosi około 250 km. Zadaniem Inspektoratu Sieciowego jest nadzór nad obsługą powierzonych jego pieczy urządzeń pod względem prowadzenia ruchu w myśl dyspozycyj, otrzymanych z C. B. R. O, oraz utrzymania tych urządzeń i sieci.

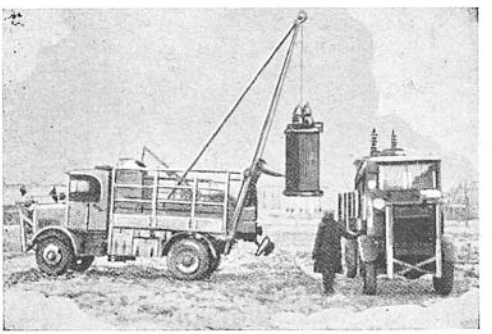
W tym celu poza obsługą poszczególnych zakładów rozdzielczych czyteż punktów węzłowych posiada Inspektor:

a) Drużynę Pogotowia (Dr. P.). Drużyna ta normalnie zajęta jest robotami najczęściej dorywczemi, a wrazie zakłócenia wyjeżdża na naprawę sieci samochodami ciężarowemi lekkiemi i szybkiemi, z których jeden zaopatrzony jest w podręczny warsztat wraz z wyposażeniem narzędziowem, a przedewszystkiem w kilofy, łopaty, sznury, środki oświetleniowe oraz w przenośny aparat telefoniczny. Zasadniczo drużyn pogotowia jest dwie; pełnią one normalnie służbę dwuzmianową, przyczem drużyna, będą-

ca w danej chwili poza służbą, znajduje się w stanie pogotowia i dosięgalności w domu. Toteż personel pogotowia powinien mieszkać wpobliżu siedziby Inspektoratu;

b) po jednym Starszym Monterze Sieciowym (St. M.) w każdym punkcie węzłowym, przyczem zaopatruje się go w motocykl;





Rys. 349. Samochód kopaczka-dźwig przy stawianiu słupa oraz przenoszeniu transformatora.

c) Dozorców Sieciowych (D. S), po jednym na każde 30 km linji, którzy stale linję tę nadzorują i w jej pobliżu mieszkają, mniejwięcej w połowie swego odcinka. Mają oni łączność telefoniczną z najbliższym punktem węzłowym sieci. Wszystkie sprawy służbowe, mające związek z utrzymaniem i bezpieczeństwem powierzonego im odcinka, załatwiają oni zapośrednictwem Starszego Montera Sieciowego najbliższego punktu węzłowego. Dozorcy Sieciowi wrazie potrzeby dysponują rowerem, natomiast zwykłe obchody odbywają z zasady pieszo. Jednakże specjalnych dozorców sieciowych zatrudnia się tylko wówczas, gdy mamy do nadzoru linję bardzo długą, np. setki kilometrów, alboteż gdy pewne odcinki linji są trudno dostępne. Jeżeli natomiast, co najczęściej się zdarza, siedzibą Inspektoratu jest węzeł sieci, z którego promienisto rozchodzą się linje o krańcach stosunkowo niebardzo odległych, jak również bez specjalnych trudności terenowych, wówczas perjodyczne obchody kontrolne odbywają stale jedni i ci sami ludzie, których na czas tych obchodów wyznacza się z drużyny dyspozycyjnej. Po odbytych obchodach ludzi tych zajmuje się przy normalnych pracach utrzymaniowych, któremi w danej chwili zajęta jest cała drużyna;

d) Magazyny Podręczne (M. P.). W każdej siedzibie Inspektoratu znajduje się Magazyn Podręczny. Mniejsze magazyny znajdują się w każdym punkcie węzłowym. Słupy zapasowe żelazne magazynuje się w siedzibie Inspektoratu, a drewniane wzdłuż sieci pod okiem dozorców sieciowych;

e) Informacje Pomocnicze (I.) co do grożącego niebezpieczeństwa, wypadków i szczególnych spostrzeżeń poza personelem sieciowym podają zwykle uproszeni do tego celu: policja, urzędy gminne i osoby prywatne, — które z zasady nigdy nie odmawiają tej pomocy ochotniczej i obywatelskiej w imię dobra społecznego i bezpieczeństwa ogółu.

### 4. Biuro Projektów (B. P.).

Biuro to opracowywuje wszelkie zamierzone budowle, przeróbki, ulepszenia, uzupełnienia, poprawki, projekty większych robót utrzymaniowych i t. d.

### 5. Biuro Rozbudowy (B. R.).

Zadaniem tego Biura jest projektowanie nowych urządzeń, sieci, rozbudowy już istniejących zakładów wytwórczych i rozdzielczych, studja w porozumieniu z Wydziałem Ekonomicznym celem możliwości uzyskania większych korzyści gospodarczych i pewności ruchu przez odpowiednią modernizację urządzeń. Biuro Rozbudowy czuwa nad tem, aby wmiarę wzrostu przesyłanej energji urządzenia były odpowiednio uzupełniane lub wymieniane. Wreszcie Biuro to układa warunki i w następstwie nadzoruje wykonywanie swych projektów, które do zrealizowania powierza specjalnym firmom, o ile samo budowy nie prowadzi w przypadku, gdy jest ona stosunkowo niewielka. Z zasady wielkie sieci nie budują własnym gospodarczym sposobem, lecz powierzają budowę specjalnym firmom. Czasem nawet zmusza się grupę konkurujących z sobą firm do konsolidacji i wspólnego objęcia budowy, a to dla wyzyskania dobrych stron poszczególnych firm i równocześnie dla zachowania jednolitości wykonania. W ten sposób postąpiono np. przy budowie wielkiej sieci bawarskiej; sześć firm, a mianowicie AEG, S & S, BBC, Bergmann, Lech-E. W. i Würtembergische Landeselektrizitäts — A. G., zjednoczono na czas budowy w jedną firmę „Vereinigte Baufirmen des Bayernwerkes". Po rozwiązaniu tego zjednoczenia firm skutkiem ukończenia budowy każda z wymienionych firm przejęła na siebie odpowiedzialność za powierzone jej i wykonane przez nią prace.

### 6. Biuro Naukowej Organizacji (B. N. O.).

Biuro to prowadzi studja techniczne, ekonomiczne i administracyjne celem uproszczenia i skrócenia drogi załatwianych spraw i czynności. Stara się ono o normalizację materjału, poszczególnych składowych części urządzeń i wogóle dąży do administracyjno-gospodarczego usprawnienia przedsiębiorstwa. W tym celu B. N. O. korzysta narówni z postępu nauki jak też i doświadczenia oraz inicjatywy indywidualnej wszystkich bez wyjątku pracowników umysłowych i fizycznych przedsiębiorstwa. B. N. O. zajmuje się bibljoteką, czasopismami i publikacjami.

### 7. Szkolenie Personelu (Szk. P.).

Celem przygotowania nowych pracowników i wprowadzania ich w specjalne warunki pracy, dla odświeżania wiadomości poprzednio nabytych, przypominania ich, dzielenia się fachowemi doświadczeniami, omawiania specjalnych sytuacyj technicznych i t. d. prowadzi się systematycznie, a wmiarę potrzeby także dorywczo, odpowiednie wykłady, ćwiczenia, pogadanki i t. d.

### 8. Kierownictwo Sieci Okręgowej (K. S. O.).

Cały ruch i utrzymanie sieci okręgowej powierzone jest kierownikowi sieci, którym jest zawsze inżynier. O ile sieć okręgowa organizacyjnie należy do wielkiej sieci, wówczas kierownik sieci zależy w sprawach ruchu od Oddziału Ruchu Sieci Wielkiej, a w sprawach utrzymania od Oddziału Utrzymania i Rozbudowy. Biura K. S. mieści się zazwyczaj przy macierzystej największej siłowni, prawie zawsze przy O. B. R. O. Dla załatwiania spraw, związanych z siecią okręgową poza prowadzeniem ruchu, którą to czynność spełnia Okręgowe B. R. O., Kierownictwo Sieci utrzymuje w swem biurze 16-godzinne dwuzmianowe dyżurowanie monterów. W przypadku gdy Biuro K. S. znajduje się w innej miejscowości, wówczas dyżur trwa pełne 24 godziny i jest trójzmianowy. Do zadań K. S. należy między innemi inspekcja urządzeń niskiego napięcia.

a. Biuro Obwodowe (B. O.).

Cały obszar zasilania sieci okręgowej dzieli się odpowiednio do Inspektoratów na obwody. Kierownikiem każdego Biura Obwodowego jest technik lub bardzo zdolny i wysłużony starszy monter t. zw. obwodowy, mający do swej dyspozycji szereg monterów dla obsługi sieci elektrycznych wysokiego i niskiego napięcia całego obwodu, stosowny personel dla wykonywania instalacyj, sprzedaży materjału oraz personel administracyjny dla akwizycji, propagandy i inkasa.

Wykonywanie instalacyj zasadniczo nie należy do czynności przedsiębiorstw elektryfikacyjnych. Toteż Biura Obwodowe zajmują się instalacjami tylko w tych przypadkach, gdy ze względu na brak w obwodzie większych osiedli niemożliwe jest utrzymanie się niezależnego biura instalacyjnego. Wykonywanie instalacyj jest też konieczne ze względów akwizycyjnych, gdyż dla założenia w odosobnionych przypadkach tylko kilku wypustów żaden instalator nie zechce przyjechać, a jeżeli przyjedzie, to koszty tej instalacji urosną ponad możliwość płatniczą odbiorcy. To samo dotyczy napraw istniejących już instalacyj. Wyeliminowanie więc z organizacji B. O. działu instalacyjnego wpływałoby hamująco na wyzyskanie istniejących już urządzeń.

Biura Obwodowe utrzymują kontakt ze wszystkimi konsumentami swego obwodu, przyczem z wielkimi i średnimi odbiorcami we wszystkich sprawach z wyjątkiem umów o dostawę prądu, którym to sprawom właściwy bieg służbowy nadaje Kierownik Sieci.

Biura Obwodowe posiadają podręczne magazyny materjałów zapasowych, instalacyjnych i sprzedażnych. Przez 16 godzin dziennych w B. O. trwa służba 2 monterów dyżurnych, po jednym na zmianę. Przez 8 godzin

nocnych monter obwodowy obowiązany jest być w mieszkaniu, które z zasady mieści się obok Biura. Również wpobliżu Biura mieszkają 3 dyżurni monterzy, których wrazie potrzeby kierownik Biura może zawezwać do pracy (likwidacja przerw, spowodowanych np. burzą). Jako środki lokomocji służą rowery, motocykle, a wrazie potrzeby lekkie samochody, które ewent. mogą być przysłane z Kierownictwa Sieci.

b. Posterunek Sieciowy (Post. S.).

Przy większych transformatorniach i ważniejszych punktach rozdzielczych mieszkają starsi monterzy, którzy w sprawach ruchowych bezpośrednio komunikują się z Okręg. B. R. O.

c. Grupa Dyspozycyjna (Gr. D.).

Grupa Dyspozycyjna składa się ze starszego montera o kwalifikacjach montera obwodowego, którego wrazie potrzeby może zastąpić i odpowiedniej liczby ludzi, zajmujących się robotami związanemi z utrzymaniem sieci wysokiego i niskiego napięcia oraz zajmujących się stosunkowo drobnemi budowami linij, prowadzonemi we własnym gospodarczym zakresie. Część Gr. D., mieszkająca możliwie wpobliżu K. S., stanowi pogotowie dla likwidacji przerw, których B. O. ze względu na niewielką rozporządzalną ilość ludzi nie są w stanie szybko uskutecznić. W tych przypadkach Grupa Dysp. posiłkuje się lekkiemi samochodami K. S. Z Grupy Dyspozycyjnej wydziela się pewną liczbę ludzi, którym perjodycznie powierza się odbywanie obchodów kontrolnych sieci wysokiego napięcia, podobnie jak to opisaliśmy w rozdziale o Inspektoracie Sieciowym. Zasadniczo stałych dozorców w sieciach okręgowych niema. Oczywiście trzeba czasami od zasady tej odstąpić i w drodze wyjątku na pewnych odcinkach dozorców takich wyznaczyć. Może to zdarzyć się wówczas, gdy sieć okręgowa przebiega rozległe tereny niezamieszkałe lub trudno dostępne.

d. Placówki (Pl.).

Likwidację przerw drobnych, przeważnie w sieciach niskiego napięcia osiedli, nie będących siedzibą B. O., powierza się osobnym monterom. Likwidacje te dotyczą najczęściej przerw nocnych. W tym celu monterów, zatrudnionych w sieci okręgowej poza dyżurnymi i Grupą Pogotowia, osiedla się w poszczególnych wioskach.

e. Elektrownie Zawodowe (E. Z.).

Elektrownie Zawodowe mają zazwyczaj organizację osobną. Ruch swój normują wedle dyspozycyj Okr. B. R. O., a pozatem podlegają odpowiedniemu Oddziałowi Wydziału Technicznego.

f. Elektrownie Okolicznościowe (E. O.).

Zależność Elektrowni Okolicznościowych ogranicza się jedynie do normowania ruchu według dyspozycyj, otrzymywanych z Okręgowego B. R. O.

Jeżeli sieć okręgowa jest organizacyjnie niezależna od sieci wielkiej, stanowi osobną osobę prawną, wówczas Kierownictwo Sieci prowadzi wszystkie sprawy, kierowane w wielkich sieciach przez Wydział Techniczny, z wyjątkiem ruchu i utrzymania siłowni, który to dział spraw podlega wówczas Wydziałowi Ekonomicznemu, odpowiednio powiększonemu pod względem personelu i kompetencyj.

W ten sposób rozważyliśmy wszystkie sprawy, załatwiane przez Wydział Techniczny. Na zakończenie tego rozdziału należy jeszcze zaznaczyć, że W. T. załatwia także sprawy personalne całego przedsiębiorstwa i to zarówno w stosunku do pracowników fizycznych jak i umysłowych. Są to sprawy dotyczące zatrudnienia personelu, płac, wynagrodzeń, awansów, urlopów, sprawy wojskowe, dyscyplinarne i t. d. W. T. otacza pracowników specjalnie troskliwą opieką, stara się dla nich o pomoc doraźną, lekarską i naukową. W. T. wie, że mylna jest zasada częstej zmiany pracowników, i stara się przywiązać ich do przedsiębiorstwa, nie pomija w awansach, stwarza dla nich rozrywki, popiera ich sportowe zamiary, dąży do osiągnięcia wśród wszystkich pracowników współpracy sharmonizowanej, zgodnej, uprzejmej, gotowej do wzajemnej pomocy, opartej na wzajemnem zaufaniu; tępi intrygi i niesprawiedliwości; pamięta o tem, że największe oszczędności osiągnąć można dzięki dobrze płatnym pracownikom, t. j. zadowolonym, ceniącym sobie możność pracy w danem przedsiębiorstwie, a więc pracującym we własnym interesie z największą wydajnością, nietylko z konieczności utrzymania się przy życiu w braku chwilowej możności zmiany miejsca na lepsze.

# VI. Wydział Administracyjny (W. A.)

Wydział ten zaznaczamy tylko dla porządku i szkicowo, gdyż w przedsiębiorstwie elektryfikacyjnem jest on taksamo zorganizowany i jest również nieodzowny jak i w innych przedsiębiorstwach przemysłowo-handlowych. Istniejące systemy administracyjne należy więc tylko przystosować do warunków pracy przedsiębiorstwa elektryfikacyjnego.

Wydział ten przeprowadza operacje finansowe Przedsiębiorstwa, czuwa nad wykonywaniem planów finansowo-gospodarczych, nad kapitałami, środkami obrotowemi, likwiduje zobowiązania Przedsiębiorstwa, dokonywa operacyj kredytowych, wypłaca należności pracownikom Przedsiębiorstwa, pilnuje należności, przypadających Przedsiębiorstwu z jakichkolwiek tytułów.

Wydział Administracyjny składa się z:

1. **Działu Rachuby (D. R.),** który dzieli się na:

a. Biuro Rachuby Ogólnej czyli Księgowości (Ks.), które prowadzi rachunkowość, sporządza bilans oraz rachunek strat i zysków; zresztą dalszych prac tego Biura, jako nazbyt dobrze znanych, nie będziemy omawiali;

b. Biuro Rachuby Technicznej (T), które przeprowadza obliczenia: za sprzedaną energję elektryczną, kosztów własnych, podziału kosztów i t. d., a więc jestto biuro statystyczne jako uzupełnienie Biura Statystycznego w Wydziale Ekonomicznym. Pełni ono też służbę informacyjną. Uzupełnienie to polega na tem, że statystyka, opracowywana przez Wydział Administracyjny, jest materjałem kontrolującym działanie Przedsiębiorstwa Elektryfikacyjnego, podczas gdy Biuro Statystyczne Wydziału Ekonomicznego podaje materjał, służący do opracowywania i ustalania planu działania na bliższą i dalszą przyszłość.

2. **Działu Handlowego (D. H.),** który zajmuje się ubezpieczeniami społecznemi, ubezpieczeniami od ognia, kradzieży, wypadku, uszkodzenia maszyn, odpowiedzialności prawnej i t. d., poborami pracowników, kosztami z tytułu podróży oraz świadczeniami, podatkami i t. d., egzekwuje należności, współdziała w sporządzaniu wszelkich aktów prawnych, udziela opinij prawnych, prowadzi wszelkie sprawy znajdujące się w postępo-

waniu sądowem oraz sprawy, dotyczące hipotek nieruchomości, zajmuje się należnościami skarbowemi.

**3. Kasy (K).** W przedsiębiorstwach okręgowych do czynności kasjera należy także nadzór nad inkasentami. Nie jestto oczywiście zasada bez wyjątku, gdyż w wielu sieciach okręgowych, szczególnie bez większego skupienia ludności w siedzibie przedsiębiorstwa, prościej jest prowadzić nadzór nad inkasem zapośrednictwem kierowników Biur Obwodowych. Nadzór ten może wykonywać łącznie z innym nadzorem równie dobrze jeden z innych organów Wydziału Administracyjnego.

## VII. Doradca Prawny (D. Pr.)

## VIII. Doradca Techniczny (D. Tch.)

Podobnie jak w innych przedsiębiorstwach przemysłowych korzystamy z porady prawnej i technicznej wybitnych specjalistów, niezatrudnionych stale w organizowanem przez nas przedsiębiorstwie elektryfikacyjnem.

## IX. Władze Naczelne

Organizacja władz naczelnych przedsiębiorstwa elektryfikacyjnego zależna jest przedewszystkiem od rodzaju spółki oraz od właściwego prawodawstwa, obowiązującego w danej chwili na danym terenie elektryfikacyjnym, a skład władz nadzorczych i ich kompetencje uzależnione są od wzajemnego ustosunkowania się sił kapitalistów, biorących udział w finansowaniu danego towarzystwa elektryfikacyjnego. Rozpatrzymy przypadek najczęściej spotykany, t. j. gdy przedsiębiorstwo elektryfikacyjne jest spółką akcyjną. W Polsce działalność Spółek Akcyjnych została unormowana Kodeksem Handlowym, wydanym na zasadzie rozporządzenia Prezydenta Rzeczypospolitej z dnia 27.VI.1934 r. (Dz. U. R. P. Nr. 57, poz. 502).

### A. Zarząd (Z.).

(a. the board of directors, f. le conseil de gestion d'administration), n. die Verwaltung).

Za całokształt pracy całego Przedsiębiorstwa w granicach otrzymanych pełnomocnictw odpowiedzialny jest Zarząd przed Radą Nadzorczą lub Walnem Zgromadzeniem Akcjonarjuszów. O ile więc odpowiedzialność „wewnętrzna" Zarządu, t. j. w samem Przedsiębiorstwie, ma pewne granice, o tyle nazewnątrz, t. j. w stosunku do osób trzecich, Zarząd po-

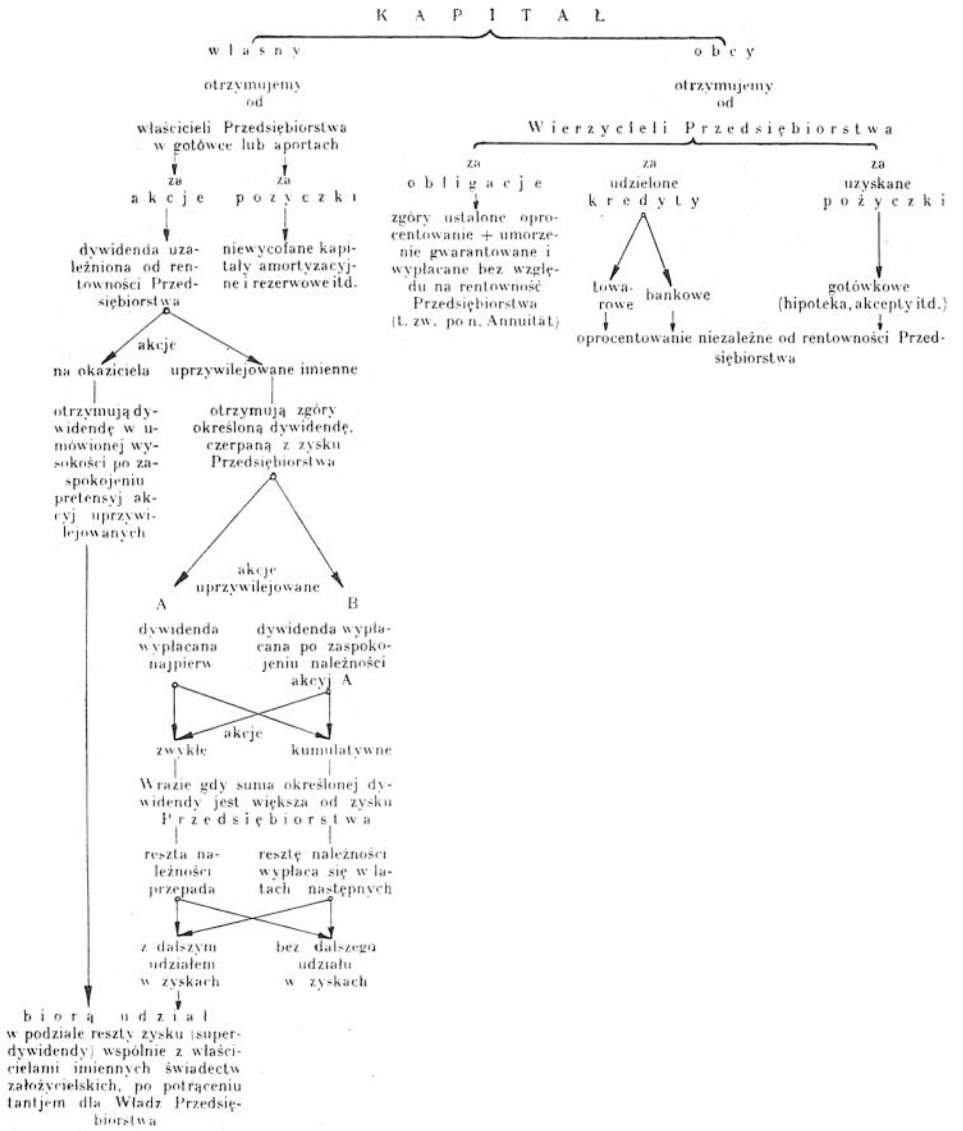
i pod tym względem ustawowo (art. 371 i 369 § 3 Kod. Handl.) jakiekolwiek ograniczenia Zarządu są nieważne. Zarząd osobiście nie odpowiada za skutki swych czynności wówczas, gdy działa w myśl statutu, w myśl udzielonych mu pełnomocnictw oraz obowiązującego ustawodawstwa. Zarząd ustawowo zastępuje Spółkę w sądzie i poza sądem (art. 369 § 1 i 2) tak, że w tym celu nie potrzebuje się legitymować osobnemi pełnomocnictwami, jednakże poszczególni członkowie Zarządu nie mogą występować w roli świadków na rozprawach sądowych, dotyczących zarządzanego przez nich Przedsiębiorstwa.

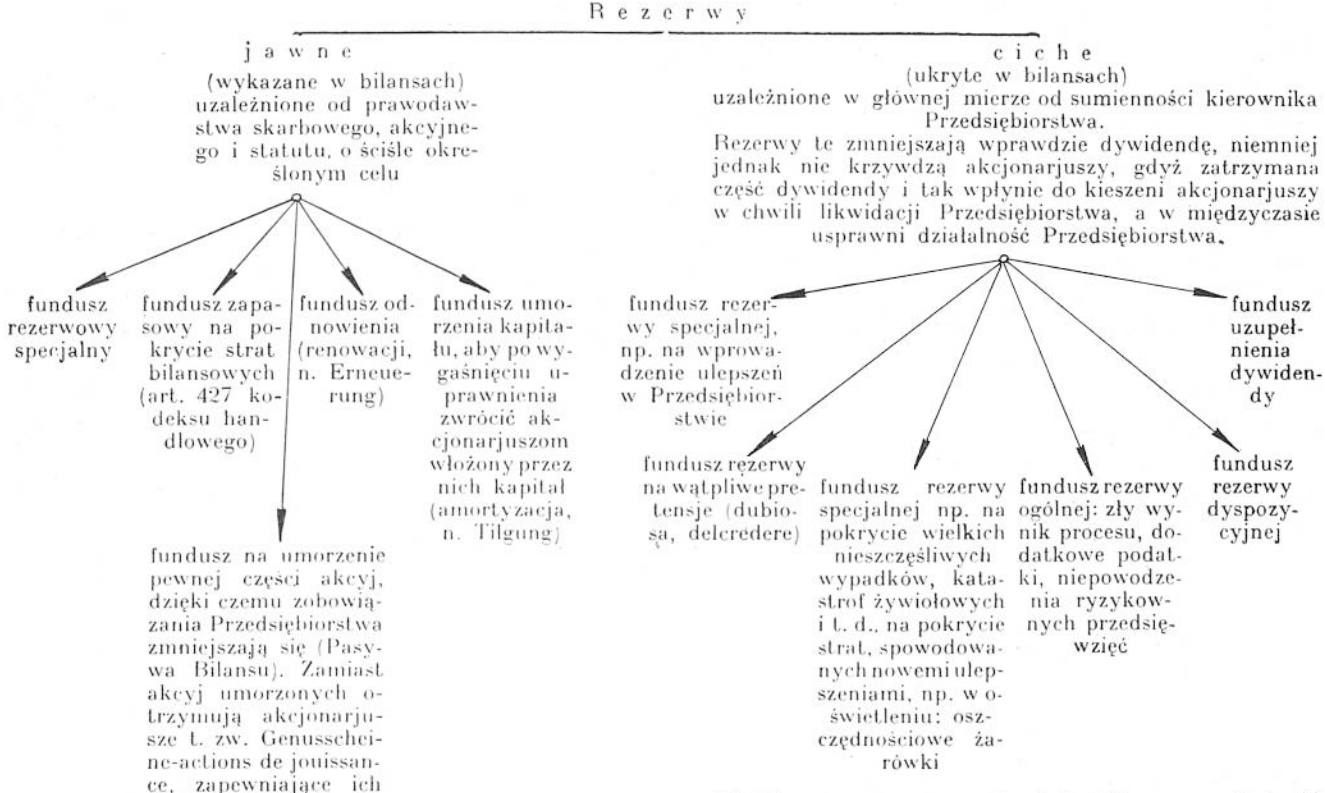
Zarząd nadaje właściwy kierunek pracom Przedsiębiorstwa, kontroluje i koordynuje wysiłki wszystkich wydziałów, jest zwierzchnikiem personelu Przedsiębiorstwa, sam go sobie dobiera, a więc przyjmuje i zwalnia i jest odpowiedzialny za jego czynności. Celem nadania pracom Przedsiębiorstwa kierunku o widocznej ciągłości w czasie możliwie długim, Zarząd ustala kilkoletni, np. 5-letni plan działania. Plan ten musi być oparty przedewszystkiem o środki finansowe, któremi będzie rozporządzało Przedsiębiorstwo w czasie, objętym przez program. W tym celu należy zdać sobie sprawę z rodzaju i kosztów kapitału, który jest do dyspozycji lub który można zdobyć dla założenia, prowadzenia i rozwoju Przedsiębiorstwa (Dr. Seifert, Eisenmenger). Orjentację taką daje Tablica I.

Dla możliwości stworzenia kilkoletniego planu działania należy więc przedewszystkiem ustalić wysokość rozporządzalnych kapitałów. W tym celu trzeba z jednej strony zdać sobie sprawę z wpływów i wydatków Przedsiębiorstwa w tym czasie, a z drugiej ze źródeł i możliwości uzyskania z nich kapitału czyto w drodze powiększenia kapitału akcyjnego przez wypuszczenie akcyj zwykłych lub uprzywilejowanych albo obligacyj, czyteż dzięki pożyczkom, długoteminowym kredytom gotówkowym lub materjałowym. Z otrzymaniem kapitału i obrotem tym kapitałem łączy się ściśle sprawa tworzenia rezerw kapitału. O solidności i przezorności władz kierowniczych Przedsiębiorstwa sądzić można z wielkości rezerw rozporządzalnych, stanowiącej o stopniu zaufania do Przedsiębiorstwa ze względu na zwiększenie zabezpieczenia pretensyj jego wierzycieli. O rezerwach kapitału daje nam pewne wyobrażenie Tablica II.

Jednakże pamiętać musimy o tem, że podatek dochodowy płacimy również i od sum, wydzielanych (na zasadzie statutu lub specjalnych uchwał) do rezerw, z wyjątkiem funduszu amortyzacyjnego. Z tego powodu rezerwy ciche muszą być bezwarunkowo zgłaszane we właściwym Urzędzie Skarbowym, gdyż w przeciwnym przypadku tworzenie tych rezerw byłoby jednoznaczne z uszczuplaniem dochodów państwowych, co byłoby w kolizji zarówno z własnem sumieniem, dobremi obyczajami jak i odnośnem ustawodawstwem karnem.

Przypuszczalne wpływy i wydatki ustala się dzięki ułożeniu budżetu eksploatacyjnego (W. E. B. K.), opartego na zestawieniu przypuszczalnej ilości sprzedanej pracy elektrycznej w kWh po pewnych osiągalnych cenach, na przypuszczalnej wysokości opłat, podatków i danin, na przypuszczalnych wydatkach, spowodowanych eksploatacją poszczególnych zakładów wytwórczych i sieci, na przypuszczalnych kosztach utrzymania urządzeń


K A P I T A Ł
w ł a s n y
o b c y
otrzymujemy od
właścicieli Przedsiębiorstwa w gotówce lub aportach
za a k c j e
za p o ż y c z k i
dywidenda uzależniona od rentowności Przedsiębiorstwa
niewycofane kapitały amortyzacyjne i rezerwowe itd.
akcje
na okaziciela
uprzywilejowane imienne
otrzymują dywidendę w umówionej wysokości po zaspokojeniu pretensyj akcyj uprzywilejowanych
otrzymują zgóry określoną dywidendę, czerpaną z zysku Przedsiębiorstwa
akcje uprzywilejowane
A
B
dywidenda wypłacana najpierw
dywidenda wypłacana po zaspokojeniu należności akcyj A
akcje
zwykłe
kumulatywne
W razie gdy suma określonej dywidendy jest większa od zysku P r z e d s i ę b i o r s t w a
reszta należności przepada
resztę należności wypłaca się w latach następnych
z dalszym udziałem w zyskach
bez dalszego udziału w zyskach
b i o r ą u d z i a ł
w podziale reszty zysku (superdywidendy) wspólnie z właścicielami imiennych świadectw założycielskich, po potrąceniu tantjem dla Władz Przedsiębiorstwa
otrzymujemy od
W i e r z y c i e l i P r z e d s i ę b i o r s t w a
za o b l i g a c j e
za udzielone k r e d y t y
za uzyskane p o ż y c z k i
zgóry ustalone oprocentowanie + umorzenie gwarantowane i wypłacane bez względu na rentowność Przedsiębiorstwa (t. zw. po n. Annuität)
towarowe
bankowe
gotówkowe (hipoteka, akcepty itd.)
oprocentowanie niezależne od rentowności Przedsiębiorstwa




Wielkim plusem rezerw cichych jest ich rozporządzalność każdej chwili. Rezerwy te tworzy się oczywiście w latach wyjątkowo korzystnych jako rekompensatę złych czasów tak, że i wówczas można wypłacić dywidendę w normalnej wysokości i podtrzymać zaufanie publiczności do Przedsiębiorstwa. Jestto kapitał obrotowy, dostarczony Przedsiębiorstwu bezprocentowo.

i t. d. Poszczególne te zestawienia wykonywują kierownicy odnośnych biur, będąc przytem w ciągłym kontakcie z W. E./B. K.

Po ustaleniu kapitału dyspozycyjnego, kosztów, obliczeń rentowności ustala się dokładny plan działania, ewentualnie budowy, na cały 5-letni okres budowy z uwzględnieniem wszelkich szczegółów technicznych i gospodarczych oraz ustalonych już naogół warunków i sposobów sfinansowania całego programu. Prace te muszą się oczywiście opierać o dane, dostarczane przez W. E./B. St. oraz W. A./B. R. T.

Do obowiązków Zarządu należy oczywiście stała obserwacja pracy Przedsiębiorstwa. Zarząd musi mieć stały obraz tej pracy, do czego też przystosowana musi być księgowość Przedsiębiorstwa, pozwalająca na stałe i w każdej chwili aktualne obrazowanie gospodarczej działalności Przedsiębiorstwa. O ile dawniej czekano na wynik prac do końca roku bilansowego, o tyle dzisiejsze wymagania skracają ten termin do okresów najwyżej miesięcznych, jeżeli można zrezygnować z jeszcze dalej idących wymagań. Dla badania pracy przedsiębiorstwa posiłkujemy się zestawieniami właściwych wyników, porównywując je z wynikami osiągniętemi w danych miesiącach roku poprzedniego lub nawet kilku lat ubiegłych. Podamy dla przykładu, iż między innemi takim porównawczym miernikiem sprawności przedsiębiorstwa jest obliczony dla każdego miesiąca osobno t. zw. spółczynnik eksploatacyjny przedsiębiorstwa, t. j. stosunek wydatków eksploatacyjnych do wpływów eksploatacyjnych mnożony przez 100, który np. w Ameryce wynosi około 42%. Im ten spółczynnik jest mniejszy, tem przedsiębiorstwo jest bardziej dochodowe. W rentownych przedsiębiorstwach spółczynnik ten nie przekracza 60%.

Co do dalszych obowiązków Zarządu należy zauważyć, że zwykle Zarząd zawiera większe umowy o sprzedaż (z wyjątkiem nieruchomości fabrycznych), kupno lub budowę, odpowiada za należyte prowadzenie ksiąg i rachunków Spółki (art. 418) pomimo, że posiada personel pod tym względem odpowiednio wykwalifikowany. Zarząd obowiązany jest w określonym terminie sporządzić i przedłożyć Władzom Nadzorczym do zbadania bilans na ostatni dzień roku obrotowego, rachunek zysków i strat oraz dokładne pisemne sprawozdanie z działalności Spółki za rok ubiegły (art. 420).

Zarząd może być jedno- lub wieloosobowy (art. 366). Grupy kapitalistów często w Spółce, przez siebie finansowanej, mianują Zarząd wieloosobowy, aby w ten sposób zapewnić sobie dalekoidące wpływy na kierunek prac Spółki przez wprowadzenie do Zarządu swych mężów zaufania w liczbie, zależnej od wzajemnego ustosunkowania się sił finansowych tych grup. Jednakże w przypadku rzeczywistego a nie fikcyjnego Zarządu wieloosobowego, grupy kapitalistów powinny specjalną uwagę zwrócić na właściwy dobór poszczególnych członków Zarządu, gdyż fałszywa ambicja, pycha i t. p. ujemne cechy charakteru nie pozwalają na harmonijne, skoordynowane i planowe działanie. Poszczególni członkowie Zarządu muszą posiadać dużo taktu i wysoką kulturę, aby współpraca ich nie prowadziła conajmniej do stałych dysonansów. Celem wykluczenia wmiarę możności w pracach Zarządu wieloosobowego wszelkich rozdźwięków, Za-

rząd powinien być należycie zorganizowany, t. j. w sposób, podobny do organizacji Zarządów w Stowarzyszeniach (Korporacjach), a więc z Przewodniczącym na czele i ewent. jego zastępcą, przyczem każdy z poszczególnych członków Zarządu powinien mieć powierzony specjalnej swej pieczy tylko pewien dział całej pracy Zarządu. Należy jednak pamiętać o tem, że za tok prac poszczególnych działów odpowiedzialny jest nazewnątrz Przedsiębiorstwa cały Zarząd, a nie tylko odpowiedni członkowie Zarządu. Wszystkie uchwały Zarządu wieloosobowego muszą być protokółowane (art. 372), przyczem protokół taki musi być podpisany przez wszystkich obecnych przy uchwale członków Zarządu. Ze względu na zbiorową odpowiedzialność Zarządu uchwały w sprawach mniejszej wagi mogą przechodzić zwykłą większością głosów. W sprawach ważniejszych natomiast konieczna jest jednomyślność Zarządu, a w każdym razie każdemu z członków Zarządu przysługuje prawo zgłoszenia do protokółu swego votum separatum i odwołania się do decyzji Rady Nadzorczej czyteż Walnego Zgromadzenia. Jeżeli uchwała Zarządu koliduje z interesami Przedsiębiorstwa, uchwałami Walnego Zgromadzenia i postanowieniami statutu, wówczas należy nawet w drodze prawem przepisanej nie dopuścić do wykonania takiej uchwały, a o ile byłaby sprzeczna z obowiązującem prawodawstwem, odwołać się wrazie konieczności do sądu. Rzecz prosta, że każdy Zarząd wieloosobowy powinien się składać z nieparzystej liczby członków. W zebraniach Zarządu z prawem głosu doradczego mogą brać udział członkowie Rady Nadzorczej, specjalnie delegowani do wykonywania jakiejś czynności, jednakże wyłącznie tylko nadzorczej (art. 386). Jeżeli jednak delegat taki stara się narzucić Zarządowi swą wolę, jeżeli może powstrzymać wykonanie uchwały Zarządu lub ją zawiesić, wówczas powstaje albo fikcja Zarządu alboteż wytwarza się pomiędzy delegatem Rady Nadzorczej a Zarządem rozdźwięk tak wielki, że zazwyczaj, z racji prawa silniejszego, prowadzi do zmiany poprzedniego Zarządu na Zarząd nowy — fikcyjny. Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że w każdem Przedsiębiorstwie interes drobnego akcjonarjusza różni się od interesu wielkiego akcjonarjusza, spostrzeżemy, że omawianych rozdźwięków należy się spodziewać przedewszystkiem wówczas, gdy Rada Nadzorcza, jak również i Komisja Rewizyjna, została wybrana przez głosowanie grupami (art. 379 § 3 i 4), gdyż wtedy każda grupa drobnych akcjonarjuszów, reprezentująca na Walnem Zgromadzeniu taką część akcyj, jaka przypada z podziału ilości akcyj, zgłoszonych na Walne Zgromadzenie, przez liczbę członków Rady, obiera jednego członka Rady, który stosownie do życzenia swej grupy może być delegowany do stałego indywidualnego wykonywania czynności nadzorczych (art. 386 § 2). Różnica w zainteresowaniu się Przedsiębiorstwem pomiędzy drobnym a wielkim akcjonarjuszem, o której wspominaliśmy wyżej, polega na tem, że drobny akcjonarjusz dąży do pobrania jaknajwiększej dywidendy, choćby to tamowało rozwój Przedsiębiorstwa, podczas gdy wielki akcjonarjusz, pragnący czerpać zyski z Przedsiębiorstwa przez czas dłuższy, będzie dążył do jego rozwoju choćby kosztem chwilowego zmniejszenia zysku, wydzielonego na dywidendę. Oczywiście, że niewykluczona jest tutaj pewna przesada w tej działalności wielkiego

akcjonarjusza, który, starając się przez czas dłuższy utrzymać dywidendę na niewielkiej wysokości, pragnie zmusić drobnego akcjonarjusza do odstąpienia mu swych akcyj. W związku z tem należy się spodziewać, że wielki akcjonarjusz, chcąc się uchronić od towarzystwa przedstawicieli drobnych akcjonarjuszów w Radzie Nadzorczej, będzie dążył do utrudnienia głosowania grupami przez zmniejszenie ilości członków Rady Nadzorczej do minimum, wymaganego Statutem lub Kodeksem Handlowym (art. 379 § 1).

Zasadniczo Zarząd wybierany jest przez Walne Zgromadzenie Akcjonarjuszów (art. 366 i 374) i w tym przypadku umowy o pracę pomiędzy Spółką i członkami Zarządu zawierają pełnomocnicy, wybrani specjalnie do tego celu przez Walne Zgromadzenie. Statut Spółki może jednak stanowić o powołaniu Zarządu przez Radę Nadzorczą, a wówczas odpowiednie umowy o pracę zawiera z członkami Zarządu Rada Nadzorcza (art. 374). Za pracę swoją członkowie Zarządu pobierają stałą pensję oraz zazwyczaj otrzymują w umówionej wysokości tantjemę od zysku Przedsiębiorstwa, t. j. od czystego dochodu po potrąceniu z niego sum, przeznaczonych na kapitał amortyzacyjny i zapasowy. Tantjemę członkowie Zarządu otrzymują celem zainteresowania ich w zyskach Przedsiębiorstwa. Z tego samego względu członkowie Zarządu podobnie jak i członkowie Rady Nadzorczej otrzymują czasami premję za udział w posiedzeniach czyli t. zw. żetony (f. jetons de présence). Wreszcie należy zauważyć, że ustawa przewiduje wybór członków Zarządu na najdłużej trzy lata (art. 367), licząc od dnia odbycia Zwyczajnego Walnego Zgromadzenia. Członkowie Zarządu mogą ustępować z zajmowanego stanowiska w dniu odbycia Zwyczajnego Walnego Zgromadzenia w drodze losowania lub według starszeństwa wyboru albotež mogą być ponownie obrani. Niezależnie od tego jednak członkowie Zarządu mogą być odwołani każdej chwili (art. 368).

Do obowiązków Zarządu należy więc prowadzenie wszystkich tych spraw, które nie są wyraźnie ograniczone ustawą, statutem oraz uchwałami Walnego Zgromadzenia (art. 371).

W przypadku, gdy siedziba Zarządu jest odległa od Przedsiębiorstwa, w samem Przedsiębiorstwie urzęduje Dyrektor Zarządzający (a. the manager). Funkcję tę pełnić może jeden z delegowanych w tym celu członków Zarządu, częściej jednak jestto osoba specjalnie do tego celu zaangażowana i podlegająca Zarządowi. W tym ostatnim przypadku Dyrektor Zarządzający otrzymuje od Zarządu, Rady Nadzorczej albotež od Walnego Zgromadzenia Akcjonarjuszów odpowiednie pełnomocnictwa o mniejszym lub większym zakresie działania, dotyczącego prowadzenia Przedsiębiorstwa, aż do prokury włącznie. O ile pełnomocnictwo o mniejszym zakresie działania (art. 66) zazwyczaj nie upoważnia np. do podpisywania czeków, weksli, ich żyrowania i t. d., o tyle prokura (art. 61, 62, 63, 64 i 65) upoważnia do wszelkich czynności, związanych z prowadzeniem Przedsiębiorstwa, z wyjątkiem tych, które statutowo lub ustawowo są zastrzeżone Radzie Nadzorczej albotež Walnemu Zgromadzeniu jak likwidacja, sprzedaż lub wydzierżawienie Przedsiębiorstwa, albotež wymagających specjalnego osobnego pełnomocnictwa notarjalnego, np. zbycie lub obciąże-

nie nieruchomości i t. d. Zazwyczaj akta większej wagi podpisywane są bądźto przez dwóch członków Zarządu, bądźteż przez jednego członka Zarządu i jednego prokurenta (art. 370). Natomiast dokumenty mniejszej wagi, jak np. żyrowanie weksli, podpisywanie zwykłej korespondencji, podpisywanie czeków i t. d. może być uskuteczniane przez dwóch prokurentów. Prokurent służbowo podlega Zarządowi; odwołać go lub zawiesić w urzędowaniu może w każdej chwili każdy z Członków Zarządu, co nie pozbawia go praw wynikających z umowy służbowej. Wewnątrz Przedsiębiorstwa pełnomocnictwa prokurenta mogą być ograniczane, lecz nie ma to prawnego znaczenia wobec osób trzecich (art. 61 § 3). W dużych przedsiębiorstwach kierownikami poszczególnych wielkich działów (interesów) przedsiębiorstwa są Dyrektorzy; w naszym przypadku będą nimi Kierownicy (Naczelnicy) Wydziałów. O ile więc chodzi o osobę prokurenta, to prokury udziela się zazwyczaj tym właśnie Dyrektorom, a już z reguły Dyrektorowi Wydziału Technicznego i Wydziału Administracyjnego.

### Sekretarjat (S.).

Wszystkie sprawy, nieprzydzielone właściwym referentom, załatwia Sekretarjat, który dla podołania swym obowiązkom dzieli się na Sekretarjat Techniczny i Sekretarjat Administracyjny; oba te sekretarjaty współpracują z sobą bezpośrednio i tak ściśle, że nazewnątrz tworzą jeden organ administracyjny.

Sekretarjat załatwia sprawy:

a. korespondencji wchodzącej i wychodzącej. Ściśle z tem związana jest registratura główna i archiwum, które powinno być należycie prowadzone, tembardziej, że w myśl art. 56 Kodeksu Handlowego (D. U. R. P. Nr. 57/1934 poz. 502) obowiązuje przechowywanie aktów przez przeciąg lat 10-ciu. Wpływające sprawy Sekretarjat posyła do załatwienia do odpowiednich biur a nie referentów, pilnuje terminowego załatwiania tych spraw, nie dopuszcza do zaległości korespondencji, zwraca uwagę, aby każdy list był załatwiony i żaden nie pozostał bez odpowiedzi, oraz prowadzi kontrolę obiegu spraw;

b. gospodarcze: Sekretarjat zakupuje ruchomości biurowe i materjały kancelaryjne i opiekuje się niemi oraz kontroluje właściwe i oszczędne ich użycie, zamawia wszelkie druki, pieczątki i t. d., nadzoruje służbę biurową z wyjątkiem obsługi telefonów, która należy do B. U., dba o ogrzewanie, oświetlenie, przewietrzanie biur, czystość i porządek, stara się stworzyć jaknajbardziej zdrowotne warunki pracy, pilnuje punktualnego rozpoczynania się i kończenia prac, opiekuje się inwentarzem ruchomym Przedsiębiorstwa;

c. ogólne: przyjmuje interesantów i kieruje ich do właściwych biur, spełnia specjalne zlecenia Zarządu, sporządza ogólne sprawozdania i udziela informacyj, zajmuje się zezwoleniami na zwiedzanie poszczególnych zakładów przez personel obcy i osoby obce alboteż przez zbiorowe wycieczki, załatwia sprawy wsparć.

## B. Nadzór.

### 1. Wewnętrzny.

Nadzór Wewnętrzny (J. Kaczkowski) polega na badaniu ksiąg handlowych, dokonywanem przez: 1. Biegłych Rewidentów oraz 2. Komisję Rewizyjną.

*a. Biegli Rewidenci* są zaprzysiężeni i wyznaczeni przez Sąd Rejestrowy. Badają oni corocznie bilans, rachunek zysków i strat oraz sprawozdania Spółki, sporządzane przez Zarząd, i to zarówno pod względem zgodności z księgami i dokumentami jak i z faktycznym stanem majątku i interesów Spółki (art. 376). Instytucja Biegłych Rewidentów bezwątpienia ma na celu ochronę akcjonarjuszy i wierzycieli od fikcji w postaci Komisji Rewizyjnej oraz Rady Nadzorczej, która to fikcja nie jest wykluczona przy wyborze Komisji Rewizyjnej oraz Rady Nadzorczej przez Walne Zgromadzenie Akcjonarjuszów tembardziej, że do Komisji Rewizyjnej mogą być wybrane osoby, nie należące wprawdzie do personelu, zatrudnionego w danem Przedsiębiorstwie, lecz uzależnione od wielkich akcjonarjuszy.

*b. Komisja Rewizyjna (K. R.),* wybierana przez Walne Zgromadzenie, składa się z pięciu członków (art. 380). Do kompetencji Komisji Rewizyjnej należy badanie sprawozdania, bilansu oraz rachunku zysków i strat za rok ubiegły, wniosków Zarządu o podziale zysków czy pokryciu strat (art. 385). Komisja Rewizyjna, podobnie jak i Biegli Rewidenci, przeprowadza badania te zarówno co do zgodności z księgami i dokumentami jak i stanem faktycznym. Z wyników swego badania Komisja Rewizyjna składa Walnemu Zgromadzeniu szczegółowe pisemne sprawozdanie. W tym celu Komisja Rewizyjna ma prawo zwołania Walnego Zgromadzenia, o ile Zarząd w przeciągu 14-tu dni nie uczyni zadość jej stosownemu żądaniu.

### 2. Zewnętrzny.

Nadzór Zewnętrzny polega na stałym nadzorze nad gospodarką Zarządu w Spółce we wszystkich gałęziach Przedsiębiorstwa. Tego rodzaju nadzór sprawuje (art. 382):

*a. Rada Nadzorcza (R. N.)* (f. le conseil de surveillance, n. Aufsichtsrath), która składa się conajmniej z pięciu członków, wybranych przez Walne Zgromadzenie Akcjonarjuszów, o ile statut Spółki nie postanawia innego sposobu jej powołania (art. 379 i 381).

Do kompetencji Rady Nadzorczej należy (art. 374, 383, 384 i 393 § 2):

1. Przeprowadzanie ciągłej kontroli nad działalnością Zarządu. Celem wykonania tej czynności Rada Nadzorcza może mieć wgląd w każdy dział gospodarki Spółki, może żądać od Zarządu i pracowników Spółki sprawozdań i wyjaśnień, przeprowadzać rewizję majątku, przeglądać księgi i dokumenty (art. 382 § 3), badać sprawozdania i wnioski Zarządu, dotyczące podziału zysków i pokrycia strat.

2. Zastępowanie Spółki w sprawach przeciwko członkom Zarządu oraz przy zawieraniu umów pomiędzy Spółką a członkiem Zarządu, jeżeli Walne Zgromadzenie nie ustanowi innych zastępców.

3. Zawieszanie z ważnych powodów w czynnościach poszczególnych lub wszystkich członków Zarządu. Wrazie zawieszenia w czynnościach lub stałej niemożności sprawowania czynności przez członków Zarządu, Rada Nadzorcza powinna niezwłocznie przedsięwziąć odpowiednie kroki celem uzupełnienia składu Zarządu. Odwołanie Zarządu należy jednakże do kompetencji Walnego Zgromadzenia Akcjonarjuszów, które zatwierdza albo uchyla decyzję Rady Nadzorczej, dotyczącą zawieszenia w czynnościach Zarządu.

4. Delegowanie członków Rady Nadzorczej do czasowego wykonywania czynności tych członków Zarządu, którzy nie mogą sprawować swych czynności.

5. Zwoływanie Walnego Zgromadzenia Akcjonarjuszów ilekroć uzna to za potrzebne lub też jeżeli Zarząd nie zwoła go w przypadkach, ustalonych w Kodeksie Handlowym lub w statucie.

Statut może przekazać Radzie Nadzorczej jeszcze inne zadania, a w szczególności postanowić, że pewnych donioślejszych, w statucie oznaczonych spraw, Zarząd nie może przedsiębrać bez zezwolenia Rady Nadzorczej.

Wszystkie uchwały Rady Nadzorczej jak również i Komisji Rewizyjnej muszą być protokółowane (art. 387), podobnie jak uchwały Zarządu. Zarówno Rada Nadzorcza jak i Komisja Rewizyjna mogą poszczególne czyności nadzorcze powierzać swym członkom.

W posiedzeniach Rady Nadzorczej mogą, za jej zgodą, brać udział członkowie Zarządu.

Rada Nadzorcza jest zorganizowana podobnie jak Zarząd z tem, że uchwały jej zapadają zawsze większością głosów.

W dobie obecnej wielkie przedsiębiorstwa mają do załatwiania tak wielką ilość najróżnorodniejszych i skomplikowanych spraw zarówno natury handlowej jak i technicznej, że sumienne i ciągłe nadzorowanie działalności Zarządu, a wrazie potrzeby także rozwiązywanie przeróżnych zagadnień, przekracza często możliwości fizyczne Rady Nadzorczej. W tych przypadkach Rada Nadzorcza posiłkuje się specjalnym personelem pomocniczym, referującym jej poszczególne sprawy. Rozumie się, że personel taki musi posiadać wysokie kwalifikacje praktyczne i teoretyczne oraz musi cieszyć się pełnem zaufaniem Rady Nadzorczej. Personel ten oczywiście nie ma prawa udzielania dyspozycyj Zarządowi aniteż nie powinien w żadnym razie wchodzić wskład Komisji Rewizyjnej, gdyż wówczas Komisja Rewizyjna ulegałaby wpływom Rady Nadzorczej, a tymczasem Komisja Rewizyjna nie powinna nawet w najmniejszym stopniu podlegać Radzie Nadzorczej, aniteż żaden z jej członków nie powinien być uzależniony od któregokolwiek z członków Rady Nadzorczej. Takie ograniczenie jest konieczne choćby z tego względu, że Komisja Rewizyjna powinna mieć zupełną swobodę w zwracaniu uwagi nawet na takie sprawy, które wprawdzie odpowiadają zapatrywaniom Rady Nadzorczej, lecz na które Walne Zgromadzenie Akcjonarjuszów mogłoby zapatrywać się inaczej.

Rada Nadzorcza nadaje więc ogólny kierunek finansowy Przedsiębiorstwu i wyznacza linję wytyczną polityki, jednakże w sprawach, w sta-

tucie lub ustawie wyraźnie sobie nie zastrzeżonych, Rada Nadzorcza nie wchodzi w stosunki z osobami trzeciemi tembardziej, że Rada Nadzorcza nie reprezentuje Przedsiębiorstwa nazewnątrz.

Ponieważ Rada Nadzorcza czyteż Zarząd rozpatrywanego przez nas Przedsiębiorstwa powodować się muszą wolą reprezentantów właścicieli większości akcyj tego Przedsiębiorstwa, przeto dla uzupełnienia naszych rozważań nad organizacją władz Przedsiębiorstwa zauważymy, że wymagana większość akcyj znajduje się zazwyczaj w portfelach osobnych towarzystw, zwykle akcyjnych, t. zw. koncernach oraz w holdingach. W myśl art. 407 Kodeksu Handlowego uchwały Walnego Zgromadzenia zapadają większością oddanych głosów. Jeżeli więc pewna spółka posiada 51% (teoretycznie, praktycznie wystarczyć może mniej) akcyj naszego Przedsiębiorstwa, lub rozporządza tą liczbą akcyj zsyndykowanych, to ta spółka wywiera decydujący wpływ na bieg spraw naszego Przedsiębiorstwa. Tego rodzaju spółka nazywa się koncernem, który zwykle zaangażowany jest w ten sposób w kilku przedsiębiorstwach. Cechą charakterystyczną koncernu jest więc to, że w myśl interesów swoich akcjonarjuszy prowadzi on sprawy przedsiębiorstw o łącznym kapitale akcyjnym większym od kapitału akcyjnego koncernu dwukrotnie lub też wielokrotnie, o ile koncern zawarł z innymi wielkimi akcjonarjuszami Przedsiębiorstwa stosowne umowy o wspólne występowanie. Jeżeli skolei akcje koncernu znajdują się w większości (teoretycznie 51%) w portfelu innego jeszcze towarzystwa, to towarzystwo to nazywa się holdingiem. Holding kieruje pracami koncernu w myśl swoich interesów i obejmuje sferą swych wpływów kilka koncernów. Stąd widzimy, że holding zapośrednictwem koncernu może wywierać decydujący wpływ na Przedsiębiorstwa, posiadając kapitał akcyjny w wysokości wynoszącej zaledwie 0,51 . 0,51 = 0,26, t. j. 26% kapitału akcyjnego Przedsiębiorstw, a w praktyce często jeszcze mniej, gdyż na Walnych Zgromadzeniach Akcjonarjuszów prawie nigdy nie są reprezentowane pełne 100% akcyj. Z tego względu na Walnych Zgromadzeniach wystarczy zazwyczaj około 40% akcyj (a nie 51%) do uzyskania bezwzględnej większości głosów.

W przypadku, gdy w Radzie Nadzorczej przeważają członkowie, reprezentujący koncern, w którego skład wchodzi kilka podobnych przedsiębiorstw, Rada Nadzorcza poleca zwykle koncernowi referowanie sobie poszczególnych spraw omawianego Przedsiębiorstwa. Wówczas mówimy, że koncern prowadzi „gestję" danego Przedsiębiorstwa, nie mając jednak przytem prawa udzielania mu dyspozycyj. W przeciwnym razie byłoby to dowodem, że Rada Nadzorcza jest fikcją, stworzoną przez koncern, który w ten sposób zawładnąłby jej kompetencjami. Należy jednak uświadomić sobie, że nigdzie bardziej jak w podobnych przypadkach nie jest wskazany umiar w stosunkach koncernu do Przedsiębiorstwa, przez niego „finansowanego", gdyż o ile udzielanie rad Przedsiębiorstwu przez Koncern jest bezwątpienia dla Przedsiębiorstwa niezmiernie korzystne wówczas, gdy Przedsiębiorstwo rad tych potrzebuje i o nie prosi, o tyle przymusowe uzależnienie wszelkich czynności Zarządu Przedsiębiorstwa od opinji koncernu stwarza więzy krępujące i zabijające inicjatywę tego

Zarządu, który wówczas również robi wrażenie fikcji. W takich warunkach oczywiście Zarząd nie może przed swojemi władzami odpowiadać za przebieg poszczególnych spraw Przedsiębiorstwa aniteż za ich całokształt, gdyż nie ma on wpływu na bieg tych spraw, nie może niemi kierować. Tego rodzaju ustosunkowanie się koncernu do Przedsiębiorstwa może być spowodowane: 1) źle pojętą i wybujałą ambicją poszczególnych referentów koncernu, na co dobrze prowadzony koncern odpowiednio szybko zareaguje i zwróci uwagę na sprawy sobie właściwe, t. j. na politykę elektryfikacyjną na wielką skalę; wówczas koncern zgodzi się na prowadzenie Przedsiębiorstwa przez Zarząd w sposób lub według redakcji, może nieco różniącej się od zapatrywań koncernu, lecz korzystnej, nie przynoszącej strat Przedsiębiorstwu; 2) brakiem zaufania do Zarządu. W tym przypadku należy albo Zarząd zmienić, albotež siedzibę Zarządu przenieść do siedziby koncernu. Wówczas koncern sam poprowadzi wszelkie sprawy Przedsiębiorstwa według własnego uznania i na własną odpowiedzialność; 3) chęcią zwiększenia udziału koncernu w zyskach Przedsiębiorstwa ponad dywidendę, przysługującą koncernowi z tytułu posiadania akcyj Przedsiębiorstwa. Takie zwiększenie udziału może być dokonywane w drodze pobierania wygórowanego oprocentowania kapitału, zakredytowanego Przedsiębiorstwu, w formie prowizji za zbyteczne pośrednictwo koncernu w przeprowadzaniu tranzakcyj kupna towarów, sprzedaży lub uzyskania kredytów, w formie specjalnych opłat za fikcyjne lub zbyteczne świadczenia koncernu na rzecz Przedsiębiorstwa i t. d. Tego rodzaju postępowanie koncernu byłoby oczywiście jaskrawem pokrzywdzeniem pozostałych poza koncernem akcjonarjuszy, dla których wówczas wyniki pracy Przedsiębiorstwa byłyby mniej rentowne niż dla koncernu. W ten sposób nie postępują jednakże koncerny poważne, opierające swą politykę na pracy długoletniej, nie obliczonej na zyski zaledwie jedno- lub najwyżej kilkurazowe, słowem koncerny, które potrafią uzgodnić swój własny interes z interesem ogółu. Współpraca takich właśnie koncernów z Przedsiębiorstwem jest ze wszech miar pożądana i niezmiernie dla obu współpracujących z sobą stron korzystna. Taki koncern stanowi dla Przedsiębiorstwa rezerwę gotówkową, a nie odwrotnie; wrazie potrzeby daje on lub uzyskuje dla Przedsiębiorstwa kapitały tanie, na dogodnych warunkach i o wysokości odpowiedniej do zapotrzebowania. Koncern prowadzi na wielką skalę politykę elektryfikacyjną, obejmującą wszystkie jego Przedsiębiorstwa. Dzięki skoordynowanemu wysiłkowi zbiorowemu owoce tej polityki, przypadające na każde z Przedsiębiorstw są większe, niż gdyby poszczególne Przedsiębiorstwa politykę tę uprawiały na własną rękę.

Jak w innych przedsiębiorstwach przemysłowych tak i w tym przypadku szczególnie doniosłą rolę odgrywają Biura Informacyjne w centralnych biurach koncernowych, jednoczących interesy wielu sieci i elektrowni, różnorodnie ustosunkowanych do siebie i różniących się między sobą zarówno pod względem terenowym jak i gospodarczym. Biura Informacyjne mają szczególny obowiązek informowania wszystkich przedsiębiorstw, wchodzących wskład koncernu, o doświadczeniach i pouczających wypadkach, zachodzących w poszczególnych sieciach i elektrowniach i mających cha-

rakter bądźto techniczny, bądźteż prawny lub administracyjny. Tego rodzaju informacje pozwalają wyzyskać we wszystkich przedsiębiorstwach doświadczenia, nieraz drogo opłacone w jednem z nich. Dzięki temu niejednokrotnie unika się błędów, na których poznanie naprowadzi nieraz raczej przypadek, niż największa nawet roztropność i znaczne doświadczenie danego referenta. Na dobrem postawieniu Biura Informacyjnego polega wielka mądrość holdingu czyteż koncernu i tylko przy zachowaniu tego warunku koncern nie traci tej mądrości wraz z utratą personelu naturalną czyteż przygodną lub wogóle ze zmianą personelu.

Wreszcie należy zauważyć, że spółki akcyjne o kapitale akcyjnym do 5 miljonów złotych niekoniecznie muszą mieć i Komisję Rewizyjną i Radę Nadzorczą (art. 377 § 2). Wrazie gdy Walne Zgromadzenie Akcjonarjuszów takiej spółki decyduje się tylko na Komisję Rewizyjną, statut może rozszerzyć kompetencje Komisji Rewizyjnej w kierunku nadzoru stałego nad gospodarką spółki w ciągu roku obrotowego (art. 385 § 3). Jeżeli natomiast uchwała Walnego Zgromadzenia postanowiła powołać do życia tylko Radę Nadzorczą, wówczas Rada Nadzorcza przyjmuje na siebie jednorazowe obowiązki Komisji Rewizyjnej, które zresztą obowiązana jest i tak prowadzić nie jednorazowo lecz stale (art. 382) i z tego względu jednorazowe kompetencje Komisji Rewizyjnej przysługują Radzie Nadzorczej i obowiązują ją w sposób ciągły.

Praca Rady Nadzorczej jest naogół pracą honorową i ma charakter pracy społecznej, toteż członkowie Rady Nadzorczej nie powinni pobierać stałych pensyj (oprócz tych członków Rady, którzy są delegowani do specjalnego indywidualnego wykonywania nadzoru), lecz tylko otrzymywać tantjemy, a czasem także i żetony. Oprócz tego Radzie Nadzorczej zwraca się wszelkie rzeczywiste koszty, jakie ponosi w związku z pełnieniem swych obowiązków. O ile Rada Nadzorcza zatrudnia personel pomocniczy, to oczywiście związane z tem koszty musi ponieść Przedsiębiorstwo.

W myśl Kodeksu Handlowego naczelną władzą Spółki jest

**Walne Zgromadzenie Akcjonarjuszów (W. Z. Akc.) (art. 393)**
(a. general meeting, f. l'assemblée générale des actionnaires, n. Generalversammlung),

zwoływane przez Zarząd, Komisję Rewizyjną albotеż przez Radę Nadzorczą.

Do zadań Walnego Zgromadzenia Akcjonarjuszów należy (art. 388, 390) rozpatrywanie i zatwierdzanie sprawozdania, bilansu oraz rachunku zysków i strat za rok ubiegły, powzięcie uchwały o rozdziale zysków lub pokryciu strat, kwitowanie władz Spółki z wykonania przez nie obowiązków, wybór (art. 366, 379, 380) lub odwołanie władz Spółki, o ile statut nie przekazuje tych uprawnień innej osobie, zbycie lub wydzierżawienie przedsiębiorstwa oraz ustanowienie na niem prawa użytkowania, zbycie nieruchomości fabrycznych, emisja obligacyj (art. 388), wreszcie (art. 408, 431, 432, 464) zmiany statutu, powiększenie lub obniżenie kapitału akcyjnego, połączenie spółek (fuzja), rozwiązanie i likwidacja Spółki, zmiana (art. 409) przedmiotu Przedsiębiorstwa.

Walne Zgromadzenie Akcjonarjuszów odbywa się z zasady raz na rok; jeżeli jednak doniosłość sprawy tego wymaga, zwołuje się Nadzwyczajne Walne Zgromadzenie Akcjonarjuszów (art. 391). Uchwały każdego Walnego Zgromadzenia Akcjonarjuszów muszą być protokółowane przez notarjusza (art. 412).

Celem uzupełnienia rozważań, dotyczących Walnego Zgromadzenia Akcjonarjuszów, należy dodać, że poszczególni akcjonarjusze są obowiązani jedynie do świadczeń, oznaczonych statutem, i nie odpowiadają osobiście za zobowiązania Spółki (art. 307 §§ 2 i 3). Natomiast poszczególni członkowie Rady Nadzorczej solidarnie odpowiadają za naruszenie przepisów podatkowych i osobistym majątkiem muszą pokryć należności z tytułu podatków, grzywien, odsetek od zaległości i kosztów egzekucyjnych, przypadających Skarbowi Państwa od odnośnych Przedsiębiorstw lub Koncernów.

Na zakończenie pragniemy jeszcze podkreślić niektóre cechy charakterystyczne poszczególnych Władz Przedsiębiorstwa. Otóż Walne Zgromadzenie Akcjonarjuszów reprezentuje sobą wszystkich akcjonarjuszów razem wziętych, a więc nie reprezentuje sobą żadnej poszczególnej grupy akcjonarjuszów. Walne Zgromadzenie musi odbywać się w myśl ustawy i postanowień statutu, lecz Walne Zgromadzenie może statut zmienić. Na Walnem Zgromadzeniu miarodajna jest liczba reprezentowanych akcyj, a nie liczba osób, obecnych na zebraniu. Liczbę głosów oblicza się według liczby akcyj reprezentowanych. Naogół Walne Zgromadzenie Akcjonarjuszów jest ważne bez względu na liczbę akcyj na niem reprezentowanych (o ile statut nie mówi inaczej) tak, że teoretycznie Walne Zgromadzenie może się odbyć nawet przy jednej akcji reprezentowanej. Walne Zgromadzenie wywiera wpływ na prowadzenie Przedsiębiorstwa, lecz niem nie kieruje; kontroluje czynności Zarządu i ustanawia władze Przedsiębiorstwa, obiera Radę Nadzorczą i Komisję Rewizyjną, a czasami także Zarząd, który jednak najczęściej powołuje Rada Nadzorcza. Walne Zgromadzenie Akcjonarjuszów jak i Rada Nadzorcza nie reprezentują Przedsiębiorstwa nazewnątrz. Reprezentacja ta należy do obowiązków Zarządu, a w jego zastępstwie do prokurentów i pełnomocników. Zarząd jest organem wykonawczym w myśl zaleceń Walnego Zgromadzenia Akcjonarjuszów, statutu i wskazówek Rady Nadzorczej. Oczywiście, że można być albo tylko członkiem Zarządu, albo tylko członkiem Rady Nadzorczej, albotež tylko członkiem Komisji Rewizyjnej, lecz nie można zajmować jednocześnie dwóch lub więcej takich stanowisk.

# Zakończenie.

Po rozpatrzeniu w wyżej podanych rozdziałach trudności natury technicznej, występujących przy pracy równoległej, przeszliśmy do organizacji personalnej. Widzieliśmy, jak wielkie i trudne zadania organizacja sieci elektrycznych i współpracy elektrowni ma do rozwiązania i spełnienia, a przedewszystkiem rozważyliśmy gospodarcze warunki tej współpracy i wynikające stąd korzyści. Przekonaliśmy się, jak wielką rolę we współczesnej polityce państwowej odgrywa elektryfikacja. Rola ta dla dobrobytu Państwa, dla jego gospodarczej zdolności życiowej jest tak wielka, że organizacji elektryfikacji nie można traktować z punktu widzenia egoistyczno-lokalnego lub osobistego. Doszliśmy do wniosku, że działalność elektryfikacyjnych organizmów miejscowych musi być skonsolidowana z interesami ich sąsiadów i podporządkowana interesom Państwa. Dlategoteż, przystępując do analizy wszystkich głównych czynników, wpływających na ukształtowanie się tej organizacji, rzuciliśmy na całe Państwo jakgdyby siatkę, w której każdem oku znajduje się sieć okręgowa wraz z jej satelitami, t. j. zakładami wytwórczemi, zawodowemi czyteż okolicznościowemi, i sieciami miejscowemi. Widzieliśmy, że poszczególne te „oka" łączą się w organizmy wyższe, a mianowicie sieci wielkie. Wreszcie sieci wielkie łączą się między sobą sieciami państwowo największemi, które nazwaliśmy sieciami państwowemi lub państwowemi szynami zbiorczemi. Pojmując organizację elektryfikacji w ten sposób, zapewniamy Państwu jedynie możliwą drogę skutecznego i właściwego rozdziału dobra ekonomicznego, jakiem jest energja elektryczna. Tą więc drogą możemy osiągnąć to, co jest celem ekonomisty, a mianowicie szybkie, samoczynne poprostu wyrównanie potencjałów ekonomicznych kraju, to jest podaży prądu i popytu. Jedynie w ten sposób naród może najskuteczniej wyzyskać swe dobra energetyczne i umożliwić najtańszą produkcję, tylko tą drogą może Państwo stworzyć warunki ekonomiczne, w których inne walory narodowe będą miały możność skutecznie zająć konkurencyjne stanowisko na arenie świata.

W poprzednich rozważaniach widzieliśmy, że trzymając się w organizacji linji wytycznej, prowadzącej do celu, którym jest dobro całego Państwa, nie krzywdziliśmy poszczególnych jednostek, osób prawnych czyteż fizycznych, biorących udział finansowy w elektryfikacji miejscowej; owszem,

doszliśmy do wniosku, że jesteśmy wstanie organizację tę przeprowadzić ku najwyższemu możliwemu do osiągnięcia zadowoleniu zarówno Państwa i finansistów, jak i poszczególnych odbiorców.

Taka więc była myśl przewodnia przy opracowywaniu tego zagadnienia.

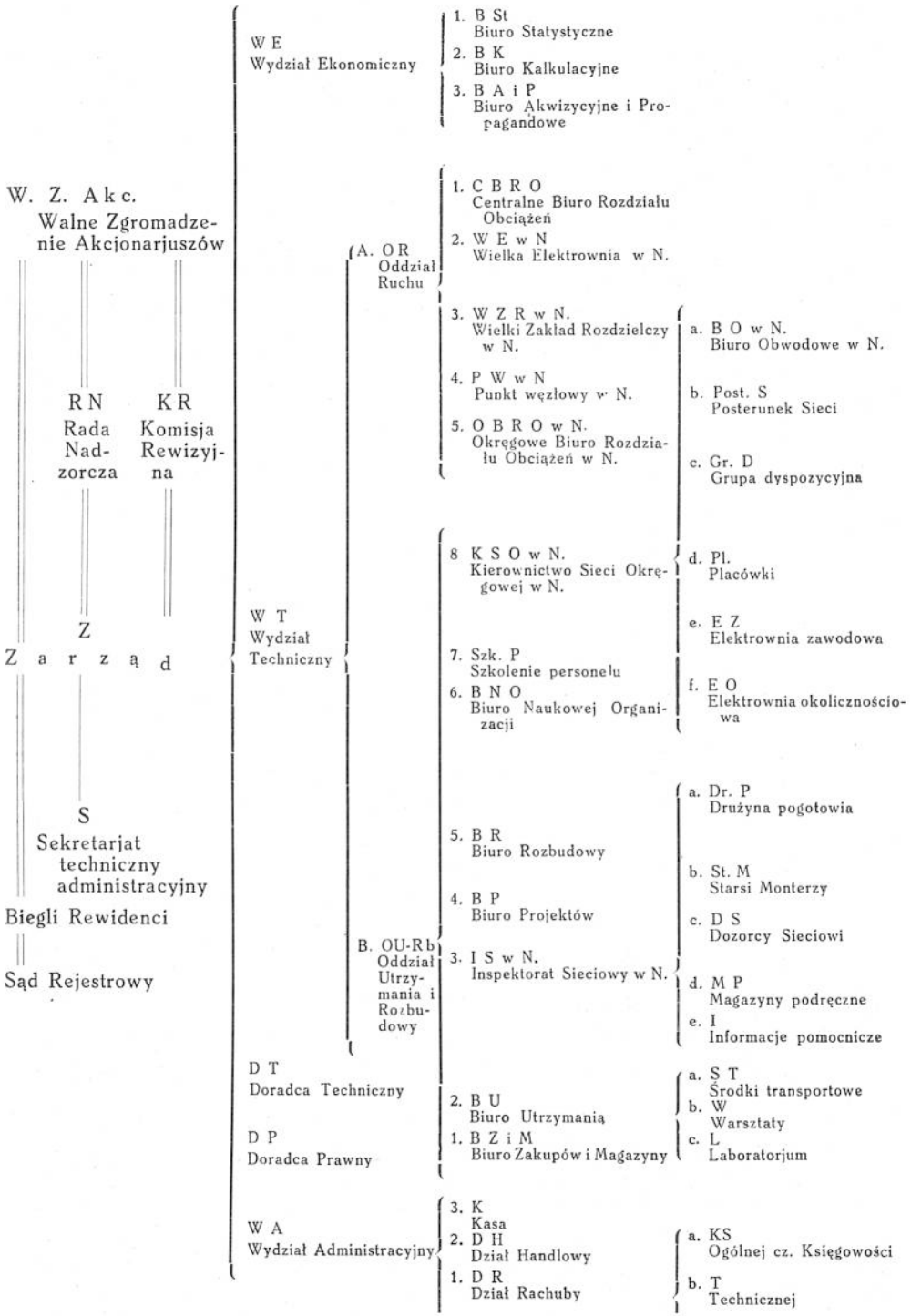
Na schemacie organizacji Wielkiego Przedsiębiorstwa Elektryfikacyjnego (rys. 350) zaznaczyliśmy symbolami, dla ułatwienia orjentacji także nazwami, poszczególne biura i osoby, a zależności hierarchiczne — stosownym układem. Jeżeli schemat ten nawinęlibyśmy na walec, zauważylibyśmy, że Biuro Statystyczne organizacyjnie stanie obok Działu Rachuby. Jak wiemy, Dział Rachuby prowadzi część statystyki; przewidując więc łączność między Działem Rachuby czyli kontrolą pracy Przedsiębiorstwa i Biurem Statystycznem czyli podstawą programu tej pracy, koordynujemy wysiłki obu tych jednostek organizacyjnych i wykluczamy dwoistość.

Przystępując obecnie do rozpatrzenia graficznego schematu organizacji elektryfikacji w najszerszym zakresie (rys. 351), przypomnimy sobie, że celem sharmonizowania współpracy przedsiębiorstw energetycznych musieliśmy w rozważaniach uwzględnić pięć elektrycznych czynników. Są to:

elektrownie zawodowe,
elektrownie okolicznościowe,
sieci okręgowe,
sieci wielkie,
sieci państwowe.

Widzieliśmy, że czynniki te, rozmaicie z sobą złączone, tworzą różne Przedsiębiorstwa Elektryfikacyjne, których nomenklaturą zajmowaliśmy się w rozdziale I C „Określenie elektryfikacyjnej osoby prawnej"; zauważyliśmy, że z nich organizacyjnie najbardziej złożonym organizmem są Wielkie Przedsiębiorstwa Elektryfikacyjne i rozpatrując takie przedsiębiorstwo, rozwiążemy całe zagadnienie. Graficzny schemat uwzględnia więc w szczegółach organizację Sieci Wielkiej. Z tej organizacji możemy oczywiście przejść do organizacji jednostki wyższej, to jest Sieci Państwowej, przez stosowne wyeliminowanie organizacyjnych jednostek, nie wchodzących w zakres działania tych sieci i ewentualnie, wrazie potrzeby, przez stosowną rozbudowę innych jednostek. Z drugiej strony przez odpowiednie skoncentrowanie poszczególnych biur Wielkiego Przedsiębiorstwa Elektryfikacyjnego i stosowny podział funkcyj pomiędzy Zarząd, Kierownika Sieci i Kierownika Elektrowni, przejdziemy do organizacji odrębnego handlowo Okręgowego Przedsiębiorstwa Elektryfikacyjnego, nie będącego częścią składową Sieci Wielkiej.

Tak więc organizacja Wielkiego Przedsiębiorstwa Elektryfikacyjnego, rozpatrzona przez nas, jest organizacją ramową. Oczywiście, że dla każdego poszczególnie rozpatrzonego Okręgowego Przedsiębiorstwa organizacja ramowa musi być w szczegółach rozmaicie rozwiązana, a to zależnie od warunków miejscowych i od rozporządzalnego lub osiągalnego personelu, do którego często organizację dostować musimy.




Rys. 350. Schemat organizacji Wielkiego Przedsiębiorstwa Elektryfikacyjnego.

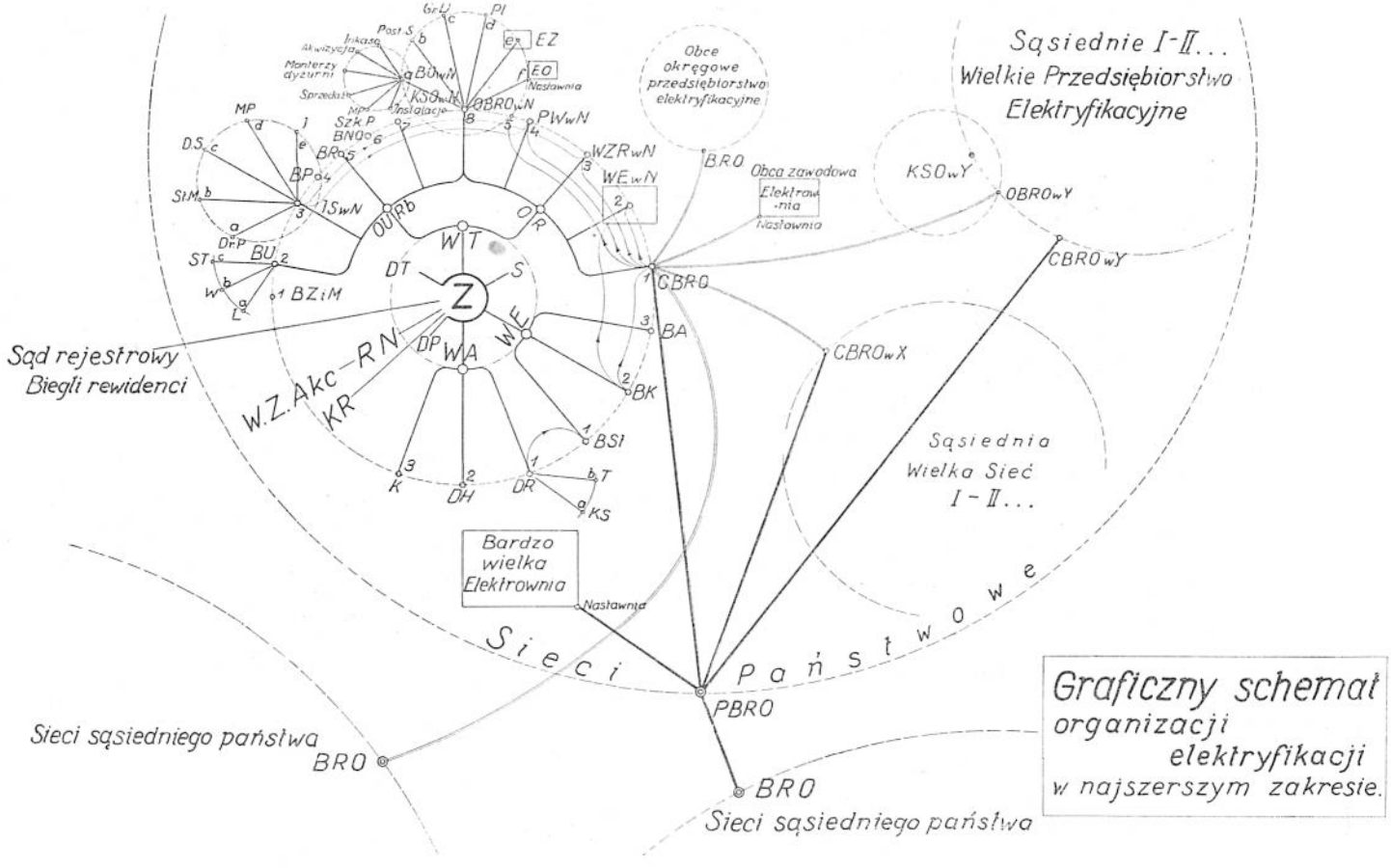
Dla zobrazowania naszych myśli podajemy na rys. 352 przykład elektrycznej współpracy. Mapa podana na tym rysunku, przedstawia wielką sieć bawarską: widzimy tu szereg terenów sieci okręgowych jak monachijski, landshutski, ratyzboński, norymberski i t. d., które połączone są między sobą wielką siecią bawarską o napięciu 100 kV i długości ponad 1000 km. Wielkie Przedsiębiorstwo Elektryfikacyjne Bawarskie przedstawia więc sobą jednostkę organizacyjnie najbardziej złożoną, podobną do rozpatrzonej w naszych rozważaniach.

Widzimy więc, że wielka sieć bawarska, wiążąc z sobą poszczególne sieci okręgowe, współpracuje z wielkiemi zakładami wytwórczemi własnemi, do jakich należy naprzykład Walchenseewerk o mocy okrągło 117 000 kW i produkcji rocznej około 200 miljonów kWh, z elektrowniami mniejszemi, jak naprzykład grupa czterech elektrowni Średniej Izary o łącznej mocy rocznej — średnio równej 55 000 kW i produkcji rocznej 350 miljonów kWh; dalej pracuje z sąsiednieemi wielkiemi sieciami: wirtemberską, badeńską, heską, zachodnio-niemiecką czyli westfalsko-reńską, obszaru Wezery, Turyngji i saską, wreszcie z tak zwaną Państwową Siecią lub Państwowemi Szynami Zbiorczemi, których zaczątkiem jest sieć 220 względnie 380 kV reńsko-westfalska (RWE). Współpraca Wielkiej Sieci Bawarskiej nie ogranicza się jednak tylko do państwa niemieckiego; w programie jej jest przewidziana współpraca z sieciami czechosłowackiemi (Arzberg-Egger) oraz z wielkiemi sieciami austrjackiemi, a mianowicie z Towarzystwem „Österreichische Kraftwerke Aktien Gesellschaft", t. zw. ÖKA (Kachlet-Partenstein), a współpraca z Towarzystwem „Tiroler Wasserkraftwerke A.-G." t. zw. TIWAG już istnieje i Wielka Sieć Bawarska pobiera stamtąd (Achenseewerk) rocznie 120 miljonów kWh.

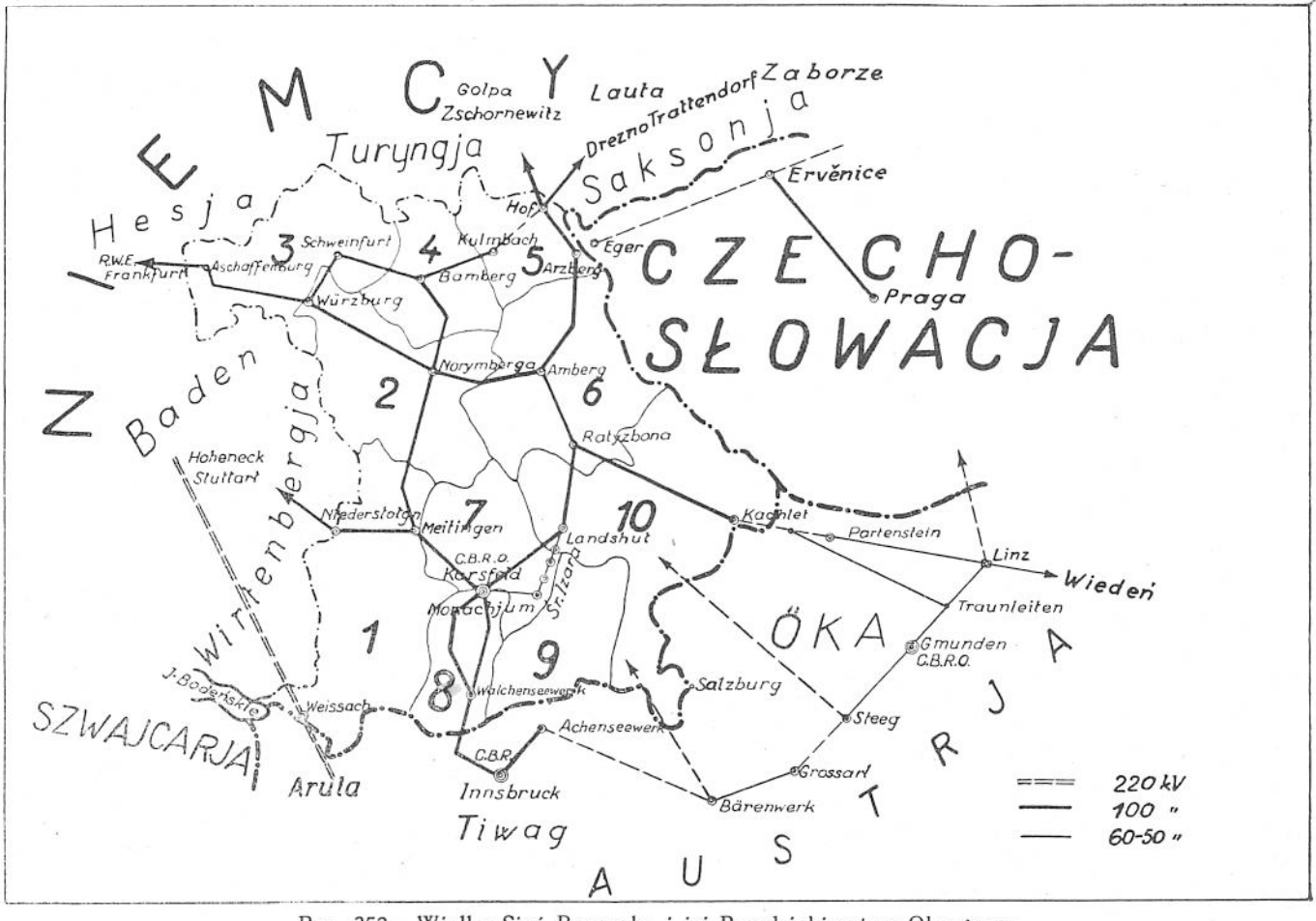
Po zaznajomieniu się z tym jakoby żywym przykładem, powracamy do dalszego rozpatrywania naszego schematu. W myśl poprzednich założeń zwrócimy specjalną uwagę na wykres, wyobrażający organizację Wielkiego Przedsiębiorstwa Elektryfikacyjnego. Pomijając rozpatrywanie władz naczelnych, które już poprzednio omówiliśmy szczegółowo, zauważymy, że kierowanie ogółem biegu prac całego Przedsiębiorstwa Elektryfikacyjnego powierzone jest trzem wydziałom: Wydziałowi Technicznemu, Wydziałowi Ekonomicznemu i Wydziałowi Administracyjnemu. Jak już wiemy, Wydział Techniczny utrzymuje sieć, rozbudowywuje ją i prowadzi ruch w ścisłem porozumieniu i zgodnie z wynikami prac Wydziału Ekonomicznego. Wreszcie wyniki tych prac wykazuje Wydział Administracyjny w formie materjalnej, a więc najbardziej przemawiającej do przekonania akcjonarjuszów.

Ze względu na zasadniczo różniące się i trudne do jednoczesnego i jednoosobowego przeprowadzenia prace: utrzymania i rozbudowy z ruchem, Wydział Techniczny spełnia zapośrednictwem oddziałów: 1) Utrzymania i Rozbudowy oraz 2) Ruchu.

Wysiłki pracy każdego Przedsiębiorstwa Elektryfikacyjnego, a szczególniej Wielkiego, muszą być uzgodnione z wysiłkami ekonomicznemi całego Państwa. Dzieje się to zapośrednictwem wyższej organizacyjnie jednostki elektryfikacyjnej, a więc zapośrednictwem Sieci Państwowej. Ko-




Rys. 351. Graficzny schemat organizacji elektryfikacji w naiszerszym zakresie.




Rys. 352. Wielka Sieć Bawarska i jej Przedsiębiorstwa Okręgowe:

1 — Lech-Elektrizitätswerke A.-G., 2 — Fränkisches Überlandwerk A.-G., 3 — Kreis-Elektrizitätsversorgung Unterfranken A.-G., 4 — Überlandwerk Oberfranken A.-G., 5 — Bayer. Elektrizitäts-Lieferungs A.-G., 6 — Oberpfalzwerke A.-G. für Elektrizitätsversorgung, 7 — Amperwerke Elektrizitäts A.-G., 8 — Isarwerke G. m. b. H., 9 — Oberbayerische Überlandzentrale A.-G., 10 — Ostbayerische Stromversorgung A.-G.

ordynacja tych wszystkich wysiłków widoczna jest na graficznym schemacie organizacji elektryfikacji w najszerszym zakresie. Poszczególne koła i prostokąty przedstawiają pojęcia Wielkich, Okręgowych, Miejskich Przedsiębiorstw Elektryfikacyjnych różnych sieci, elektrowni i t. d. Symbole, których używaliśmy w tekście i w poprzednim schemacie, orjentują nas co do wzajemnego ustosunkowania się poszczególnych biur, ich wzajemnej zależności i co do dróg koordynacji.

Centralnym punktem ruchu sieci wielkiej jest C. B. R. O., które kieruje ruchem, wchodzących wskład sieci wielkich: Wielkich Elektrowni, Wielkich Zakładów Rozdzielczych i O. B. R. O. W myśl umownie ustalonych norm C. B. R. O. współpracuje z jednostkami organizacyjnie obcemi jak: sąsiedniemi wielkiemi sieciami, obcemi okręgowemi przedsiębiorstwami elektryfikacyjnemi, obcemi elektrowniami, jak również z Siecią Państwową i jednostkami elektryfikacyjnemi państw sąsiednich. W tym celu C. B. R. O. ma bezpośrednią łączność z odpowiedniemi B. R. O. jednostek współpracujących.

Jak widzieliśmy na przykładzie bawarskim, zapoczątkowana współpraca międzypaństwowa rozwija się ze wzmożoną energją z roku na rok. Współpracy tej nie stoją na przeszkodzie ani wielkie góry (Niemcy — Austrja, Niemcy — Szwajcarja, Szwajcarja — Włochy), aniteż morza, czego dowodem jest już istniejąca współpraca naprzykład Danji ze Szwecją poprzez Sund.

Toteż nic dziwnego, że już nie od dziś istnieją projekty sieci paneuropejskiej tembardziej, gdy weźmiemy pod uwagę, że już obecnie naprzykład Niemcy importują prąd ze Szwajcarji w ilości około 200 miljonów kWh, z Austrji 120 miljonów kWh i t. d. Projekty te, niestrudzenie i stale opracowywane coraz szczegółowiej, naszkicowane są narazie w formie ogólnej, jednak dostatecznie wyraźnej, aby dać wyobrażenie o podstawach technicznych, finansowych i ekonomicznych sieci paneuropejskiej.

Zapewne wszystkim czytelnikom znany jest głośny projekt sieci paneuropejskiej, ogłoszony na drugiej energetycznej konferencji wszechświatowej w Berlinie w 1930 roku. Ponieważ końcowe wnioski, które pragnęlibyśmy wyciągnąć z projektu sieci paneuropejskiej, wymagają poruszenia pewnych szczegółów tego planu, przedstawimy go w krótkości tembardziej, że, zważywszy na autorów tego projektu, ma on wszelkie cechy realności. Ponadto, obserwując rozwój elektryfikacji Niemiec, możemy twierdzić, że w drodze powolnej, ewolucyjnej projekt ten zdaje się już realizować.

Dr. Inż. Oliven, generalny dyrektor firmy „Gesellschaft für Elektrische Unternehmungen, Loewe & Co. A. G." czyli t. zw. „Gesfürel", jest wyrazicielem idei pokrewnego superholdingowego towarzystwa elektryfikacyjnego „Soc. Financière de Transports et d'Entreprises Industrielles", w skrócie zwanego „Sofina". Towarzystwo to, oparte finansowo o banki 12 krajów, a głównie o Amerykę i Belgję, prowadzi podległe sobie towarzystwa elektryfikacyjne odnośnie do Europy głównie w Niemczech, Belgji, Anglji, Hiszpanji, Portugalji, Włoszech i Węgrzech. Nic też dziwnego, że Sofina poprostu organizacyjnie dąży do stworzenia wspólnego planu elektryfika-

cyjnego dla swego głównego terenu działania, t. j. dla Europy. W ten sposób powstał projekt sieci paneuropejskiej, przedstawiony przez p. Olivena. Projekt ten polega na połączeniu z sobą możliwie najkrótszemi linjami eu-




Rys. 353. Sieć paneuropejska 400 kV według projektu Oliven'a.

ropejskich źródeł energji, wytwarzanej na wodzie, węglu i nafcie. W ten sposób otrzymano razem pięć linij elektrycznych, z których trzy południkowe biegną z północy na południe, a dwie równoleżnikowe z zachodu na wschód (rys. 353).

Pierwsza z linij południkowych rozpoczyna się w Calais, gdzie mia-

łyby stanąć olbrzymie elektryczne zakłady wytwórcze, oparte na węglu francuskim, belgijskim i angielskim, gdyż Oliven nie widzi możności przekroczenia Pas de Calais przewodami napowietrznemi, które jedynie mogą być brane pod uwagę przy przesyłaniu energji elektrycznej zapośrednictwem prądu trójfazowego o tak wielkiem napięciu, bo wynoszącem 400 kV. Tak więc ta pierwsza linja z Calais poprzez Paryż dochodziłaby do centrum francuskich sił wodnych, to jest do Lyonu, i miałaby długość wynoszącą około 1500 km.

Druga linja południkowa łączy nadzwyczajne bogactwa sił wodnych Norwegji i Szwecji poprzez Sund, Hamburg ze środkowo-niemieckiemi i saksońskiemi złożami węgla brunatnego, a więc przez Lipsk z południowo-niemieckiemi siłami wodnemi, z siłami wodnemi Tyrolu austrjackiego i północnych Włoch i w ten sposób dochodzi do Genui z przedłużeniem do Rzymu, ogólnej długości 3000 km.

Trzecia linja południkowa oparta jest na górnośląskim węglu w Katowicach i wspomagana energją, dosyłaną z borysławskiego Zagłębia Naftowego do Katowic przyszłemi wielkiemi sieciami polskiemi. Linja ta, wychodząc z Katowic, z jednej strony na północo-wschód kończy się na Warszawie, a z drugiej strony, kierując się na Wiedeń, z uwzględnieniem austrjackich sił wodnych, wchodzi na teren Jugosławji i na pobrzeżu Dalmacji wykorzystuje tamtejsze siły wodne. Długość tej linji wynosi 2100 km.

Wyżej wymienione trzy linje południkowe połączone są między sobą dwiema linjami równoleżnikowemi, z których krótsza, bo o długości 1200 km, łączy zagłębia węglowe między sobą, a więc rozpoczyna się w Paryżu, przechodzi przez Zagłębie Ruhry i Reńskie Zagłębie Węgla Brunatnego i wchodzi w Zagłębia Węgla Brunatnego: środkowo-niemieckie i saksońskie. W Lipsku łączy się z linją południową skandynawsko-włoską i biegnie dalej do Katowic, gdzie łączy się z linją polsko-austrjacko-jugosłowiańską.

Druga natomiast linja, dłuższa, bo wynosząca 3000 km, łączy siły wodne półwyspu Pirenejskiego, zaczynając się w Lizbonie poprzez Madryt, Barcelonę, z siłami wodnemi centralnego masywu gór francuskich, w Lyonie, łączy się z linją Calais-Paryż-Lyon i biegnie dalej, łącząc siły wodne Szwajcarji, Tyrolu austrjackiego — tu łączy się z linją norwesko-włoską — dalej idzie przez Innsbruck i w Wiedniu łączy się z linją polsko-jugosłowiańską, dalej przez Budapeszt wchodzi do Rumunji i przez Bukareszt, rumuńskie zagłębie naftowe, wchodzi do Odessy, którą traktuje się jako bazę nafty kaukaskiej, i dalej biegnie poprzez wodne siły Dniepru, kończąc się w Rostowie na węglu Zagłębia Dońskiego.

Ażeby zdać sobie sprawę z energji, płynącej w sieci paneuropejskiej zaznaczymy, że zasadniczo sieć ta przewidziana jest na moc przełykową, wynoszącą na jednym torze 450000 kW i na przesyłanie jej na odległość około 1000 km. Na odległość zbliżoną do dopieroco wymienionej ma być przesyłana z Norwegji dwoma torami energja o ogólnej mocy 750000 kW.

Na dowód, że moce te są zupełnie realne i aktualne, niechaj posłuży okoliczność, że istnieją już oraz są projektowane i znajdują się w budowie takie elektrownie jak naprzykład Rjukan, projektowana w Nowergji na

moc 380 000 kW; w Rosji w Aleksandrowsku projektowana jest elektrownia o mocy 480 000 kW, a w 1932 r. uruchomiono elektrownię wodną, wybudowaną na Dnieprze poniżej porohów, tak zwaną Dnieprostroj, o mocy obecnej 310 000 kW, a po pełnej rozbudowie 558 000 kW. Hiszpańskie elektrownie na Duero dadzą, według projektu, 600 000 kW, w Belgji Leodjum ma 300 000 kW, wreszcie Niemcy — elektrownia w Zschornewitz, ma 440 000 kW, a kompleks ośmiu elektrowni BEWAG'u ma okrągło 750 000 kW, elektrownia Goldenbergwerk ma moc wynoszącą 300 000 kW, a wodna elektrownia na rzece Our, wpobliżu granicy luksemburskiej, ma mieć moc 600 000 kW. A przecież obecna sieć niemiecka, ciągnąca się z Kolonji do siłowni wodnych Tyrolu, to jest na odległość 700 km, może po przejściu z napięcia 220 kV na 380 kV, na które jest budowana, przenieść moc aż do miljona kW.

Tego rzędu moce, odległości, napięcia, instalacje i projekty istnieją w Europie. A przecież wszystkim nam wiadomo, że pod tym względem przoduje całemu światu Ameryka Północna. Przegroda Hoovera, której budowę rozpoczęto dnia 15 maja 1931 roku i zakończono 31 stycznia 1935 r. w Boulder Cañon na rzece Colorado, ogólnym kosztem około 385 miljonów dolarów, umożliwiła powstanie zakładu o mocy 485 000 kW i rocznej produkcji 4,3 miljardy kWh. W Argentynie projektują przeniesienie energji z San José do Buenos Aires na odległość 1 100 km. W Afryce jest na porządku dziennym elektryfikacja Egiptu i delty Nilu.

Jeszcze lepsze wyobrażenie o mocach, wchodzących obecnie w grę przy elektryfikacji, daje poniższe zestawienie (Przegląd Techniczny Nr. 47—48/1931):

a) największych prądnic zbudowanych:

160 000 kVA — 1500 obr./min. — 25 okr./sek. — dla East River (New-York)
135 000 „ — 1800 „ „ — 60 „ „ — „ Wanhegan
100 000 „ — 1500 „ „ — 50 „ „ — „ Zschornewitz

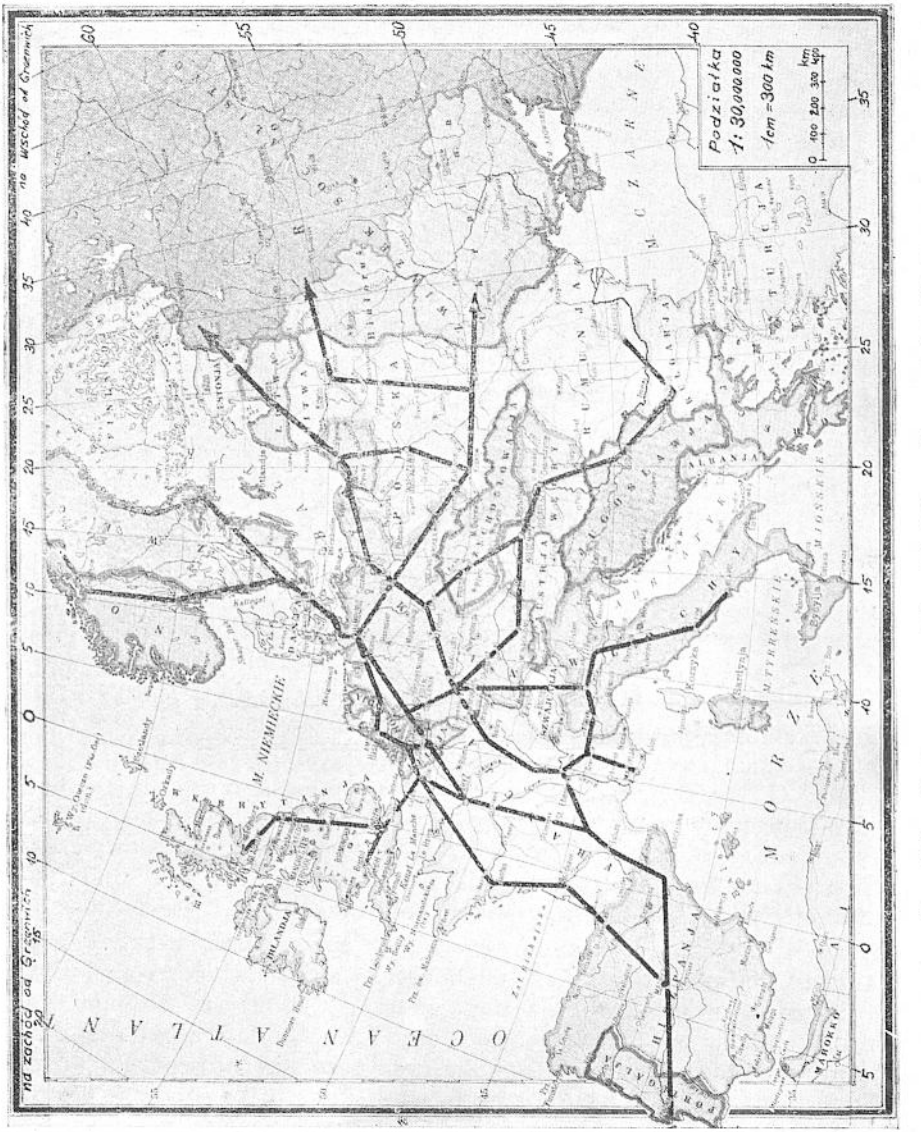
b) największych prądnic w budowie:

200 000 kVA — 1800 obr./min. — 60 okr./sek. — dla Ameryki
167 000 „ „ „ „ „ „ „ — „ „
147 000 „ „ „ „ „ „ „ — „ „
121 000 „ „ „ „ „ „ „ — „ Wanhegan (Illinois).

Jeżeli chodzi o najwyższe napięcie generatorowe, to BBC zbudowała i dostarczyła dla Belgji turbogenerator na napięcie 36 kV. Ta sama firma dostarczyła dla Morawskiej Ostrawy zespół turbinowo-generatorowy o mocy 36 000 kW, 3 000 obr./min., 120 kg/cm², 480° do 500°C, o cieplnej sprawności wynoszącej 34,5%.

Nic więc dziwnego, że Niemcy nie są jedynym krajem, gdzie myśli się o urzeczywistnieniu sieci paneuropejskiej. Już 29 maja 1929 roku G. Viel, dyrektor firmy „Compagnie éléctricienne de la Loire et du Centre", wchodzącej również jak „Gesfürel" wskład superholdingu „Sofina", podał na odczycie, wygłoszonym w Lyonie, swój projekt sieci paneuropejskiej (patrz Revue Générale d'Electricité, 28/1930, strona 729). Sieć Viel'a (rys. 354) liczona jest na moc przesyłową 400 MW, przesyłaną na odle-

głość 1 000 km, a więc wystarczającą na pokrycie odległości Paryż — siłownie wód alpejskich lub masywu centralnego i jest również przewidziana na napięcie 400 kV. Pozatem sieć ta w swem rozplanowaniu jest bardzo podobna do sieci Oliven'a. Porównywując te dwa projekty zauważymy,




Rys. 354. Sieć paneuropejska 400 kV według projektu Viel'a.

że o ile projekt, przedstawiony przez Viel'a, szczególnie korzystnie uwzględnia Francję, o tyle Oliven większą uwagę zwrócił na Niemcy. Viel projektuje gęstszą sieć paneuropejską niż Oliven. Według Viel'a naprzykład przez Polskę przechodzić miałyby aż cztery linje: I. Hamburg —

Gdańsk — Królewiec, II. Berlin — Kraków — Lwów — Rosja, III. Kraków — Warszawa — Królewiec, IV. Lwów — Wilno — Rosja.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że według Olivena (ETZ. H. 27/1930) koszt jednego kilometra tej linji wynosiłby średnio 40 000 $, to jego plan wydaje się w ewolucji swej dojrzalszym, bardziej realnym mimo, że Niemcy w planie tym są specjalnie korzystnie uwzględnione. Okoliczność tę tylko do pewnego stopnia można wytłomaczyć nadzwyczaj korzystnem pod względem energetycznym położeniem Niemiec. Zresztą wrazie realizacji sieci paneuropejskiej nie w drodze powolnej, ewolucyjnej, indywidualnej dla każdego kraju, lecz w sposób międzynarodowy, kwestja rozplanowania sieci jest otwarta.

Można powiedzieć, że w ten sposób w obecnej fazie przygotowawczej środek ciężkości zagadnienia sieci paneuropejskiej przesuwa się raczej już na temat systemu przesyłania, jaki ma być zastosowany, a to zarówno ze względów ekonomicznych jak i technicznych i nie pozostaje nadal tylko zagadnieniem zasadniczem, dotyczącem celowości takiej sieci i głównych kierunków jej rozprowadzenia.

Na pierwszy rzut oka zdawałoby się, że przecież system przesyłania energji obecnie jest przesądzony na korzyść prądu zmiennego i to oddawna już, bo od roku 1885, w którym to roku Zipernowsky, Déry i Bláthy tak silnie związali swe nazwiska z transformatorem i pracą równoległą transformatorów; do tej pory nie ulega najmniejszej wątpliwości, że przesyłanie i rozdział prądu w promieniu do 500 km może się odbywać gospodarczo najkorzystniej tylko przy prądzie zmiennym trójfazowym. Jednakże wmiarę wzrostu wysokości napięć prądu zmiennego, a jednocześnie konieczności stosowania podziemnych kabli do przesyłania energji elektrycznej, tęskny skierowano wzrok w stronę prądu stałego, przy którym naprężenia izolacji są o 29% mniejsze niż przy prądzie zmiennym. Wypływa to z tego prostego powodu, że operując napięciem skutecznem, musimy się jednak liczyć przy naprężenach izolacji z amplitudą napięcia, która jest przecież $\sqrt{2}$ razy większa. O ile więc prąd zmienny jest bezkonkurencyjny dla rozdziału energji, o tyle dla przesyłania energji w pewnych przypadkach prąd stały ma bezwzględną wyższość. A przecież rozwiązanie kwestji budowy kabli elektrycznych na odpowiednio wielkie napięcia tak bajecznie ułatwiłoby techniczną stronę realizacji sieci paneuropejskiej.

Oliven i Viel chcą przesyłać energję i przez Sund i przez kanał La Manche. O ile Sund kosztem wielkiego wysiłku technicznego i finansowego można przekroczyć linją napowietrzną 400 kV ze słupami, osadzonemi 20 metrów pod powierzchnią morza i wysokiemi na około 200 metrów przy rozpiętości około 1 ÷ 1,5 km oraz przy użyciu bronzu jako materjału przewodowego, o tyle przekroczenie kanału La Manche narazie w sposób napowietrzny nie jest możliwe do przeprowadzenia. Skoro więc dziś nie możemy sobie wyobrazić możności skonstruowania kabla dla prądu trójfazowego na napięcie skuteczne 400 kV, to przesyłanie energji elektrycznej z Anglji na kontynent Europy byłoby niemożliwe i węgiel angielski musiałby być przewożony kolejami i okrętami do Calais, gdzie pracowałyby wielkie elektryczne zakłady wytwórcze. Oczywiście, że taki sposób

pokonywania dopieroco wspomnianych trudności wpłynąłby ujemnie na rentowność przedsiębiorstwa sieci paneuropejskiej i nie rozwiązywałby tego zagadnienia.

Rozwiązanie takie daje użycie prądu stałego o bardzo wysokiem napięciu do przesyłania olbrzymich mocy na wielkie odległości. Zastosowanie takie zdaje się być tem łatwiejsze, że dodatnie praktyczne wyniki przesyłania energji elektrycznej prądem stałym już osiągnięto. Thury, po udatnem przesłaniu w r. 1887 energji o mocy około 500 kW z odległości 27 km do Genui zapomocą prądu stałego o napięciu 12000 woltów, przystąpił w r. 1906 do przesłania 6300 kW prądem stałym we Francji, uruchamiając linję elektryczną z Moûtiers do Lyonu o długości 180 km, przy napięciu już wynoszącem 50 ÷ 58 kV; w linję tę włączony był kabel podziemny 8 km długi celem wprowadzenia tego napięcia do środka Lyonu. Ponieważ kabel ten pracował bez najmniejszych uszkodzeń i cała instalacja okazała się gospodarczo celowa oraz pewna w pracy, przeto całe to urządzenie powiększono przed kilku laty tak, że obecnie pracuje ono pod napięciem 100 ÷ 125 kV, długość przewodu wynosi 448 km, w nim już 72 km kabla podziemnego. Wyniki tej pracy są tak dobre, że obecnie projektuje się tam nową linję na 250 kV. W dodatku nie jestto przypadek odosobniony, bo naprzykład w południowej Walji pracuje linja kablowa $2 \times 60$ kV, przenosząca na odległość 48 km moc, wynoszącą 20000 kW. Ogółem około 20 podobnych urządzeń pracuje już we Francji, na Węgrzech, w Anglji, Szwajcarji, Hiszpanji i Włoszech.

Teraz byłoby na miejscu pytanie, jakie dalsze korzyści mamy ze stosowania prądu stałego poza lepszem wykorzystaniem urządzenia. Przedewszystkiem urządzenia rozdzielcze ogromnie się upraszczają. W ten sposób zaoszczędza się znaczną część kosztów inwestycyjnych. Drugą część kosztów zaoszczędzamy na przewodach elektrycznych. Oczywiście, że koszty te będą proporcjonalne do wagi przewodów. Aby zdać sobie sprawę z oszczędności możliwej do osiągnięcia tą drogą, przeprowadzimy według Smurow'a następujące rozumowanie:

Zakładamy więc, że przy jednakowej mocy, przesyłanej na jednakowe odległości, straty mocy w obu przypadkach muszą być jednakowe, a więc:

$3 \cdot J_z^2 \cdot R_z = 2 \cdot J_s^2 \cdot R_s$, czyli oznaczając przez $P$ moc przenoszoną otrzymamy: $3\left[\frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_z \cdot \cos\varphi}\right]^2 \cdot R_z = 2 \cdot \left(\frac{P}{U_s}\right)^2 \cdot R_s$, a stąd mamy:

$$\frac{R_z}{R_s} = \frac{3}{2}\left[\frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot U_z \cdot \cos\varphi}\right]^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_s^2}{U_z^2 \cdot \cos^2\varphi}$$

a ponieważ na objętość przewodów prądu stałego składają się:

$$V_s = 2 \times q_s \text{ proporcjonalne do } 2R_s,$$

a dla prądu zmiennego:

$$V_z = 3 \times q_z \text{ proporcjonalne do } 3R_z$$

przeto bez wielkiego błędu możemy napisać:

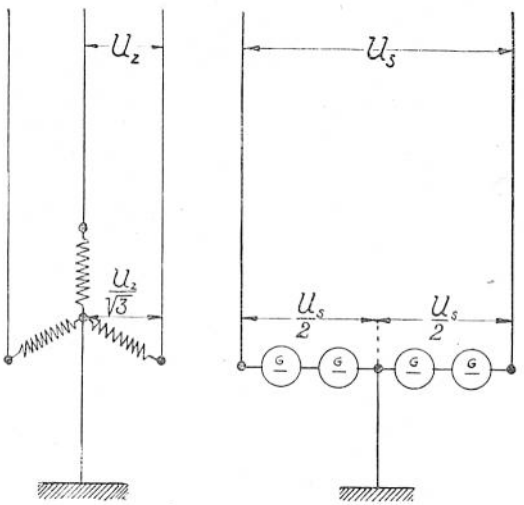
$$\frac{V_z}{V_s} = \frac{3}{2} \cdot \frac{R_z}{R_s}$$

Podstawiając w równanie to zamiast $\frac{R_z}{R_s}$, wartość poprzednio otrzymaną znajdziemy, że:

$$\frac{V_z}{V_s} = \frac{3}{4} \cdot \frac{U_s^2}{U_z^2 \cdot \cos^2 \varphi}$$

A ponieważ w danym przypadku możemy porównywać ze sobą dwie linje, znajdujące się jedynie w tych samych warunkach izolacyjnych, przeto napięcie prądu stałego musi być

$$U_s = \sqrt{2} \cdot U_z$$




Rys. 355. Główne systemy transportu wielkich mocy na wielkie odległości.

Podstawiając to w równanie dopiero wyprowadzone, otrzymamy:

$$\frac{V_z}{V_s} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{\cos^2 \varphi}$$

Jeżeli punkt zerowy mamy uziemiony (rys. 355) zarówno w systemie trójfazowym jak i prądu stałego, to:

$$\frac{U_s}{2} = \sqrt{2} \cdot \frac{U_z}{\sqrt{3}},$$

podnosząc to do kwadratu:

$U_s^2 = 4\frac{2}{3} U_z^2$, i podstawiając w równanie na $\frac{V_z}{V_s}$, znajdziemy, że:

$$\frac{V_z}{V_s} = \frac{2}{\cos^2 \varphi}$$

Zauważymy, że słusznie bralibyśmy $U_s = \sqrt{2} \cdot U_z$ wówczas gdyby straty na histerezę były zarówno przy prądzie zmiennym jak i stałym, co oczywiście miejsca niema, dlategoteż w stosunku do izolacji prawidłowiej jest, zgodnie z doświadczeniami Peek'a i Thury, przyjmować $U_s = 2\,U_z$ (skuteczne napięcia), wówczas $U_s^2 = 4\,U_z^2$, a wobec tego:

$$\frac{V_z}{V_s} = \frac{3}{\cos^2 \varphi}$$

a przy uziemionym punkcie zerowym:

$$\frac{U_s}{2} = 2 \cdot \frac{U_z}{\sqrt{3}} \quad \text{i} \quad \frac{V_z}{V_s} = \frac{4}{\cos^2 \varphi}$$

Ponieważ linje prądu zmiennego dla przesyłania znacznych energij, które

tylko bierzemy pod uwagę w naszych rozważaniach, pracują skompensowane, to jest przy cos $\varphi = 1$, to ostatecznie $\frac{V_z}{V_s} = 4$

Tak więc otrzymujemy ostatecznie:

| | Objętość przewodów | |
|---|---|---|
| | $V_z$ | $V_s$ |
| a) gdy amplituda napięcia prądu zmiennego równa się napięciu prądu stałego: | | |
| 1) punkt zerowy nieuziemiony . . . . . | 100% | 66,6% |
| 2) „ „ uziemiony . . . . . | 33,3% | 16,7% |
| b) gdy amplituda napięcia prądu zmiennego równa się podwójnemu napięciu prądu stałego: | | |
| 1) punkt zerowy nieuziemiony . . . . . | 100% | 33,3% |
| 2) „ „ uziemiony . . . . . | 33,3% | 8,3% |

Przy prądzie stałym przewody mogą więc być czterokrotnie lżejsze, aby przenieść tę samą energję na tę samą odległość przy tych samych stratach mocy i jednakowej izolacji.

Widzimy więc, jak korzystnie kształtują się koszty przewodów przy prądzie stałym wobec kosztów przewodów przy prądzie zmiennym. Możność zaś stosowania tylko dwóch przewodów zamiast trzech, i to o objętości materjału znacznie mniejszej, pociąga z jednej strony znmiejszenie kosztów izolatorów w stosunku 2 : 3, a z drugiej, zmniejszenie kosztów słupów odpowiednio do zmniejszonej ich wagi skutkiem mniejszego obciążenia ich przez przewody o tak zmniejszonym przekroju.

Sprawa znacznie tańszej budowy linji przedstawia się niemniej korzystnie w przypadku budowy jej zapomocą kabli podziemnych. Wiemy, że w Norymberdze na prądzie trójfazowym pracuje kabel o napięciu 100 kV, przenoszący energję z jednego końca miasta na drugi. BEWAG ułożył w roku 1931 w swej elektrowni Moabit tytułem próby 1 km kabla 100 kV, trójżyłowego, obołowionego, dla mocy przesyłowej 40000 kW. Takie wyniki osiągnęli Niemcy, a ich sąsiedzi, Francuzi, ze swych fabryk kabli w Lyonie dostarczyli Ameryce 19 km kabla dla New Yorku (Public Service Electric & Gas Co.) i 10 km kabla dla Chicago (Commonwealth Edison Co.) na napięcie robocze 132 kV.

Budowa kabli na wysokie napięcia jest kwestją wytrzymałości izolacji. Jak już wiemy, naprężenia izolacji przy prądzie stałym są $\sqrt{2}$ razy mniejsze niż przy prądzie zmiennym, a jeżeli uwzględnimy doświadczenia Peek'a i Thury, to izolacja przy prądzie stałym i zmiennym wówczas dopiero jest jednakowo obciążona, gdy napięcie prądu stałego $U_s = 2 \times U_z$ napięcia skutecznego. Pomijając już inne szczegóły, korzystne dla budowy kabli prądu stałego widzimy, że problem budowy kabli na bardzo wysokie napięcia dla prądu stałego jest znacznie łatwiejszy do rozwiązania niż dla prądu zmiennego. Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że fabryka kabli

w Lyonie dostarczyła już firmie „Société Générale de la Force et de la Lumière" dla okręgu lyońskiego 60 km kabli o przekroju 150 mm² uzbrojonych, jednożyłowych, skonstruowanych na napięcie robocze między żyłą a pancerzem wynoszące 150 kV, dla przesyłania energji systemem Thury i że uziemiając środek systemu przesyłowego prądu stałego, otrzymujemy na kablu napięcie międzyprzewodowe wynoszące 300 kV, to widzimy, że w budowie kabli elektrycznych dla prądu stałego jesteśmy już bliscy kalkulującej się realizacji kabli o napięciu nawet nieco przewyższającem wymagania Olivena i Viela dla sieci paneuropejskiej.

Kable okręgu lyońskiego pracują nienagannie już od r. 1926 pod napięciem międzyprzewodowem, wynoszącem 250 kV; zdały więc już egzamin ze swej zdolności do pewnej i ciągłej pracy.

Według informacyj, udzielonych nam uprzejmie przez firmę Siemens, dostarczanie kabli trójfazowych na napięcie 60 kV, i to o znacznych przekrojach żył, w końcu roku 1934 nie jest już żadną nadzwyczajnością. Niema dziś trudności technicznych w budowie kabli na jeszcze wyższe napięcia. Pozatem wykonano już kable jednofazowe na napięcie 220 kV, z których zrobiono zespoły na prąd trójfazowy. Zdaniem wyżej wymienionej firmy przy dzisiejszym stanie techniki można wykonywać kable na prąd stały dla napięć do około 800 kV. Jak widzimy, kanał La Manche w dniu dzisiejszym nie stanowi więc już takiej jak dotąd nieprzezwyciężonej przeszkody w bezpośredniem przesyłaniu energji elektrycznej z Anglji na kontynent Europy.

Z powyższych rozważań widzimy, że względy ekonomiczne, decydujące zawsze o realności projektu, przemawiają za stosowaniem prądu stałego bardzo wysokich napięć dla przesyłania wielkich mocy na wielkie odległości.

Względy techniczne zdają się również przemawiać za stosowaniem do tych celów prądu stałego dlatego, że uruchomienie linij elektrycznych o bardzo wysokich napięciach nie przedstawia przy prądach stałych tak wielkich trudności, jakie spotykamy przy prądach zmiennych. Odpada kwestja synchronizacji poszczególnych elektrowni i całych zespołów, kłopotliwego rozdziału obciążeń biernych, niknie konieczność stosowania kompensatorów prądów bezmocnych, regulacja napięcia jest bardzo prosta, praca równoległa przy prądzie stałym jest pewniejsza, gdyż odpada wpływ indukcyjności, tak zgubny dla równowagi pracy równoległej.

Są jeszcze i inne, może mniej ważne, bo tylko w specjalnych warunkach występujące momenty, które przemawiają na korzyść prądu stałego, jak naprzykład w przypadku prowadzenia linji elektrycznej prądu stałego jednobiegunowo, to jest w ten sposób, że odbiorniki szeregowo są włączone w obwód i rozrzucone wzdłuż pierścienia linji; wówczas na jednym słupie mamy jednoimienne przewody. W ten sposób zwarcia są wykluczone. Jeżeli natomiast na danym słupie jednoimienny przewód składa się naprzykład z dwóch przewodów, które co pewną odległość są z sobą połączone poprzecznemi wiązaniami, to wrazie zerwania się jednego z przewodów dostawa prądu nie ulegnie przerwie.

Co się tyczy zjawiska korony przy prądzie stałym, to w tej sprawie nie rozporządzamy jeszcze dostatecznem doświadczeniem. Jednakże przy-

puszczać należy, że przy napięciach, stosowanych obecnie przy prądzie zmiennym razy $\sqrt{2}$ korona nie wystąpi; co jednak nastąpi po przekroczeniu tych napięć, o tem trudno dziś jest cośkolwiek pewnego powiedzieć.

Tak więc przedstawia się sprawa samego systemu przesyłania energji elektrycznej o wielkich mocach na wielkie odległości i sieci elektrycznych prądu stałego. Należałoby teraz rozważyć sprawę wytwarzania prądu stałego o tak wielkich napięciach, jakie wymienialiśmy dotychczas.

Otóż najstarszym przemysłowym sposobem wytwarzania prądu stałego o bardzo wysokich napięciach jest system Thury, polegający na przesyłaniu prądu stałego o stałem natężeniu prądu i zmiennem napięciu, zależnem od przesyłanej mocy.

W swoim systemie Thury używa zarówno prądnic jak i silników prądu stałego o wzbudzeniu szeregowem. Ponieważ napięcie maksymalne każdej prądnicy prądu stałego ograniczone jest wielkością kolektora i komutacją beziskrową, przeto dla uzyskania odpowiednio wysokiego napięcia poszczególne generatory łączy się z sobą szeregowo.

Każdy generator posiada dwa kolektory tak, że w dniu dzisiejszym pracują już jednostki o napięciu $2 \times 5000 = 10000$ woltów w Londynie, a we Francji nawet $2 \times 7300 = 14600$ woltów.

Oczywiście, że i poszczególne elektrownie łączyć można z sobą szeregowo. Rzecz prosta, że wszystko wyżej powiedziane dotyczy również i silników elektrycznych, które, włączone w szereg i rozrzucone w odpowiednich miejscach linji, wykonywują tam pracę czyto bezpośrednio mechaniczną, czyteż pędzą odpowiednie generatory prądu zmiennego, przetwarzając w ten sposób prąd stały przesyłowy na prąd zmienny rozprowadzająco - rozdzielczy. Rozumie się, że zarówno generatory jak i silniki w tym systemie przyjmują bardzo wysoki potencjał w stosunku do ziemi tak, że należy je izolować zapomocą elastycznych rzemiennych sprzęgieł od maszyn, z któremi są sprzężone, i zapomocą porcelany od fundamentów; cała podłoga elektrowni jak i pomieszczenia z silnikami musi być wykonana jako izolator z asfaltu i bitumu.

Tym systemem możemy dziś przesyłać energję o mocy nawet 50 000 kW i napięciu, wynoszącem naprzykład 120 kV. Jestto oczywiście dalekie jeszcze od tych mocy i tych napięć, do których dążymy, mając w programie realizację sieci paneuropejskiej.

Jak wiadomo, schemat sieci przy prądzie stałym upraszcza się znakomicie wobec prądu zmiennego i wiele maszyn oraz przyrządów staje się zbytecznemi. Przy systemie Thury uproszczenie to niestety jest opłacone znacznem skomplikowaniem zakładów wytwórczych, gdyż dla wytworzenia wspomnianej mocy 50 MW i 120 kV trzebaby było ustawić aż 24 generatory, każdy na około 2000 kW; a urządzenie silnikowe, odbierające z sieci tę moc, byłoby może jeszcze bardziej skomplikowane.

Dlategoteż czyni się dzisiaj wysiłki, idące w kierunku zarówno podniesienia napięcia na kolektorze, jak i mocy generatora. Wyniki tych wysiłków są już takie, że wydaje się dziś możliwe do osiągnięcia w generatorach dwukolektorowych napięcie $2 \times 10000$ do 12 500 woltów $= 20000$ do 25 000 woltów na generator, co przy natężeniu $2 \times 800$ A, jakie można

uzyskać z tych maszyn przy dobrej jeszcze komutacji, daje moc generatorów wynoszącą około 32 000 kW. Według istniejącego projektu trzy takie generatory mają stanowić jednostkę o mocy około 96 000 kW i napięciu około 60 000 woltów. Dzięki ustawieniu ośmiu takich jednostek, połączonych szeregowo, możnaby wytworzyć $2 \times 240$ kV i okrągło 750 000 kW.

Co do innych sposobów wytwarzania prądu stałego, to na wstępie zauważymy, że prawdopodobnie do przetworzenia prądu zmiennego na prąd stały o bardzo wysokiem napięciu i dla tak wielkich mocy nie będzie można zużytkować prostowników rtęciowych, jakkolwiek już dziś firma BBC dostarcza te prostowniki o 16 000 A, a o ile chodzi o napięcie, to buduje się je już dla 15 kV a nawet 30 kV prądu stałego, oczywiście w wykonaniu żelaznem, gdyż szklane dostarczane są dla prądów nieprzekraczających 500 A i dla napięć do 6 kV. Ostatnio firma Siemens dostarczyła dla laboratorjum „Telefunken" prostowniki rtęciowe 20 A, 28 kV. Wprawdzie szeregowa praca prostowników rtęciowych dla osiągnięcia bardzo wysokich napięć jest technicznie możliwa, jednak użycie ich do tego celu byłoby połączone z tak wielkiemi kosztami, że tego rodzaju przetwarzanie przesądziłoby na niekorzyść rentowność przesyłania energji elektrycznej prądem stałym.

W roku 1924 Calverty i Highfield wynaleźli wirujący prostownik, tak zwany „transverter", przy pomocy którego otrzymali 100 kV i 2,5 A, to jest 250 kW prądu stałego. Wynalazek ich polega na tem, że poszczególnemi cewkami nieruchomego twornika Gramma są odpowiednio połączone wtórne uzwojenia transformatorów różnoukładowych tak, że w każdej poszczególnej cewce prądy są o 10% jednokierunkowo przesunięte. Poszczególne cewki łączy się z kolektorem nieruchomym, po którym z synchroniczną szybkością ślizgają się szczotki. Dla wytworzenia 100 kV wynalazcy połączyli w szereg 8 takich „transverterów". Jak z zasady tego wynalazku wynika, jest on maszyną odwracalną, to znaczy doprowadzając do wirujących szczotek prąd stały, otrzymamy w pierwotnem uzwojeniu transformatorów prąd zmienny. Podobno tego rodzaju urządzenie pracuje już w Walji Południowej (South Wales), przenosząc $2 \times 60$ kV i 20 000 kW na odległość 48 km.

Robi się również doświadczenia z lampami prostowniczemi z żarzoną katodą. W ten sposób można otrzymać prąd stały o napięciu 250 kV czyteż $2 \times 250 = 500$ kV, ale o natężeniu nie przekraczającem, jak do tej pory, jednego ampera. Tego rodzaju maszyna jest maszyną odwracalną i Prince zbudował „inverter", złożony z dwóch lamp katodowych, transformatora i silnika synchronicznego, który pracuje ze sprawnością równą 91% i przy 16 000 woltów prądu stałego. Narazie wchodzą tu jeszcze w grę małe moce, bo nie przekraczające 15 kW.

Ten sam wynalazca zbudował przetwornicę prądu stałego na zmienny przez wstawienie do prostownika rtęciowego siatki sterowniczej. W ten sposób otrzymaną nową lampę nazwał „Thyratron'em".

Również istnieje kombinacja lampy z żarzoną katodą z prostownikiem rtęciowym, którą wykonała General Electric Company Schenectady dla 15 kV i 50 A, to jest 750 kW.

Wreszcie należy wspomnieć o przetwornicy wynalazku Japończyka Dra R. Mitsudy, który wprowadził do prostownika rtęciowego między jedną wspólną katodę a kilka anod synchronicznie wirującą tarczę, zaopatrzoną w otwory kierujące zapalaniem i gaszeniem łuku. Częstotliwość prądu zmiennego, otrzymanego z tej lampy, jest proporcjonalna do ilości obrotów tej tarczy, ilości anod i ilości otworów.

Przy próbach został przetworzony prąd stały o napięciu 440 woltów i mocy 7 kW na prąd zmienny ze sprawnością 85%. Lampa Dra Mitsudy może oczywiście służyć jako przetwornica częstotliwości.

Tak więc przedstawiają się dzisiejsze zagadnienia, związane z przesyłaniem wielkich mocy na wielkie odległości i rozdziałem energji elektrycznej.

Na tem kończymy rozważania nad zagadnieniami dotyczącemi sieci elektrycznych i współpracy elektrowni.

Na podstawie tych rozważań możemy dojść do wniosku, że osiągnięcie zamierzonego celu, t. j. osiągnięcie nadzwyczajnych korzyści gospodarczych, korzyści o znaczeniu ogólno-państwowem, wynikających z rozwoju elektryfikacji kraju, z rozbudzenia u nas i wyzyskania energji tak potężnych, a do tej pory bezużytecznie drzemiących w węglu, wodzie i ropie, wymaga od nas wysiłków nietylko wielkich i wytrwałych, lecz także świadomych, celowych i skoordynowanych.

Wszystko to musimy wziąć pod uwagę przy organizowaniu budzącej się już u nas współpracy elektrycznej w pojęciu tak szerokiem; umożliwi nam to przekroczenie granic Państwa sieciami, dzięki którym będziemy mogli zbywać miljardy jednostek zupełnie nowego towaru eksportowego, jakim jest energja elektryczna.

KONIEC

## LITERATURA OGÓLNA.

*Elektryk* — Podręcznik kieszonkowy elektrotechniki prądu silnego, opracowany pod redakcją prof. Pożaryskiego. Warszawa, 1933.

Dipl.-Ing. Herbert Kyser — *Die elektrische Krauftübertragung.* Berlin, 1920.

Prof. Dr.-Ing. R. Rüdenberg, Dr. phil. K. Pohlhausen, Dr.-Ing. A. Mandl, Dr.-Ing. E. Friedländer, Prof. A. Rachel, Prof. Dr.-Ing. H. Piloty, Prof. A. Matthias — *Elektrische Hochleistungsübertragung auf weite Entfernung.* Herausgegeben von Reinhold Rüdenberg. Berlin, 1932.

Dr.-Ing. Reinhold Rüdenberg — *Elektrische Schaltvorgänge und verwandte Störungserscheinungen in Starkstromanlagen.* Berlin, 1933.

Prof. A. A. Smurow — *Elektrotiechnika wysokawo napriażenja i pieredacza energji.* Moskwa — Leningrad, 1931.

Prof. Dr. Adolf Thomälen — *Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik.* Berlin, 1929.

## ORGANIZACJA.

(str. 1—21).

*Encyklopedja prawa obowiązującego w Polsce:*

Prof. Dr. Peretiatkowicz — *Ustrój Konstytucyjny.*

Prof. Dr. Kumaniecki — *Ustrój Administracyjny.*

E. Sobolewski — *Zobowiązania międzynarodowe.* Poznań, 1923.

Leopold Caro — *Zasady nauki ekonomji społecznej.* Lwów, 1926.

Min. Przem. i Handlu — *Statystyka Zakładów Elektrycznych w Polsce 1930, 1931, 1932.* Warszawa, S. E. P. 1933.

Inż. Kazimierz Siwicki — *Elektryfikacja Polski: zeszyt I Małopolska, zeszyt II Wielkopolska i Pomorze, zeszyt III Województwa Centralne i Wschodnie, zeszyt IV Zagłębie Węglowe.* Warszawa, 1921, 1923, 1925, 1928.

A. Schönberg u. E. Glunk — *Landes-Elektrizitätswerke.* München u. Berlin, 1926.

Dom Bankowy Schwarz, Goldschmidt & Co., Berlin (wydawca) — *Aufbau und Entwicklungsmöglichkeiten der europäischen Elektrizitätswirtschaft.* Berlin, 1928.

Heinrich Büggeln — *Die Entwicklung der öffentlichen Elektrizitätswirschaft in Deutschland.* Stuttgart, 1930.

Dipl.-Ing. Dr. H. Kirchhoff — *Unternehmungsform und Verkaufspolitik der Stromversorgung.* Berlin, 1933.

Dr.-Ing. Ludwig Musil — *Aufgaben und Ziele der Elektrizitätswirtschaft im nationalsozialistischen Staate.* ETZ, H. 10 i 11/1934.

Dr. Thierbach — *Die hauptsächlichsten Gesellschaftsformen der deutschen Stromwirtschaft.* ETZ, H. 29/1934.

Bruno Thierbach — *Die Vorarbeiten für die Abänderung der Gesellschaftsformen der wirtschaftlichen Unternehmungen.* ETZ, H. 33/1934.

## WYDZIAŁ EKONOMICZNY.

(str. 21—30)

*Sprawozdania i Prace Polskiego Komitetu Energetycznego.*

Dipl.-Ing. Margolis — *Städteheizung.* Hamburg 1924. (Rud. Otto Meyer).

Dr.-Ing. F. Marguerre — *Über ein neues Verfahren zur Aufspeicherung elektrischer Energie.* Mitt. d. VDEW № 354-355/1924.

Dr. A. Hamm — *Praxis der Betriebsführung in amerikanischen Kraftwerken.* Mitt. d. VDEW, № 421/1926.

Hermann Jahncke — *Die öffentliche Elektrizitäts-Wirtschaft in Amerika nach den auf einer Studienreise in den Vereinigten Staaten im Mai und Juni 1925 gesammelten Erfahrungen. Elektrizitätswirtschaft.* Mitt. d. VDEW, № 412/1926.

Dipl.-Ing. M. Maurer — *Die Wärmefortleitung bei Fernheizkraftwerken.* Siemens-Z., H. 1/1926.

Berdelle — *Ausgleich und Augenblickshilfe im Verteilungsnetz grosstädtischer Elektrizitätswerke durch Elektrospeicher.* Elektrizitätswirtschaft, Mitt. d. VDEW № 415/1927.

Ing. Paul Grondorf — *Einfluss der Abwärmeverwertung auf die Krafterzeugungskosten.* ETZ, H. 41/1927.

Dipl.-Ing. J. Koch — *Spitzendeckung in Kraftwerken durch Wärmespeicher.* Elektrizitätswirtschaft, Mitt. d. VDEW, № 2/1927.

Dr.-Ing. F. Marguerre — *Spitzendeckung.*

Dr.-Ing. E. h. R. Werner — *Bemerkungen zu vorstehendem Aufsatz.* ETZ., H: 41/1927:

Dipl.-Ing. Dr. A. Hamm — *Die amerikanische Elektrizitätswirtschaft 1926.* Mitt: d: VDEW № 445/1927.

Dr. H. Passavant — *Die Zusammenarbeit der deutschen Elektrizitätswerke.* Mitt. d. VDEW № 426/1927.

Polski Komitet Energetyczny — *Zasoby energji w Polsce i stan ich wyzyskania.* Warszawa, 1927.

Dr.-Ing. W. Rohrbeck — *Statistisches über die deutsche Elektrizitätswirtschaft.* Elektrizitätswirtschaft, Mitt. d. VDEW, № 426/1927.

Dr.-Ing. E. h. Johannes Ruths — *Spitzendeckung in Grosskraftwerken.* ETZ, H. 26/1927.

Dr.-Ing. W. Zimmermann — *Zur Frage der Unterteilung eines stark wechselnd belasteten Elektrizitätswerkes ind Grund- und Spitzenkraftwerk.* Elektrizitätswirtschaft. Mitt. der VDEW, № 454-55/1928.

Ing. E. Praetorius — *Ruthsspeicher zur Spitzendeckung und als Momentanreserve in Elektrizitätswerken.* Elektrizitätswirtschaft, Mitt. d. VDEW, № 489 i 490/1929.

Prof. Dr. K. Pomianowski — *O wyzyskaniu sił wodnych.*

Inż. Stanisław Konczykowski — *Elektrownia cieplna jako całość.* (Nowoczesne kierunki w budowie elektrowni, S. E. P., 1929, Warszawa).

Dr.-Ing. W. Zimmermann — *Spitzendeckung aus Sekundär-Speicheranlagen.* Mitt. d. VDEW, № 475 i 476/1929.

Dr.-Ing. E. h. A. Bannwarth — *Bau neuzeitlicher Grosskraftwerke.* ETZ, H. 6/1930.

Inż. Z. Ficki — *Kotły opalane pyłem węglowym.* Przegl. Techn. № 44 i 45/1930.

Arthur Hamm — *Zur Wirtschaftlichkeitsberechnung von Fernleitungen.* ETZ, H. 41/1930.

Prof. Edwin Hauswald — *Wartość dochodowa przedsiębiorstwa.* Przegl. Organizacji, № 12/1930.

Inż. Józef Landau — *Rozwój i charakterystyka turbin zasilanych parą z akumulatorów Ruths'a.* Przegl. Techn. № 27, 28, 37/1930.

Dr. Techn. G. Markt — *Wirtschaftliche Fortleitung elektrischer Energie.* E. u. M., H. 43/1930.

Prof. E. Mottern — *Neuere Grosswasserkraftanlagen in Oesterreich.* ETZ, H. 41/1930.

Ing. Dr. Ornig — *Der wirtschaftliche Wert von Wasserkraftspeichern.* E. u. M., H. 13/1930.

Ing. Victor Nietsch — *Die Speicherentnahmepumpen am Gosausee.* E. u. M., H. 13/1930.

Inż. J. Obrąpalski — *Spalanie najdrobniejszych gatunków miału węglowego pod kotłami.* Przegl. Techniczny № 31 i 32/1930.

Dipl.-Ing. F. Ohlmüller — *Der Ruths-Dampfspeicher.* (Broszura S & S № 1335/2231OW).

Dr.-Ing. Ornig — *Gestehungs-und Betriebskosten von Wasserkraftanlagen.* E. u. M., H. 24/1930.

Archibald Page and C. W. Marshall — *The British Grid System and its Relation to Certain Technical and Economic Problems.* Gesamtbericht II. Weltkraftkonferenz, Berlin, 1930, Bd. XIV.

G. Riedel — *Pumpenspeicherwerk Niederwartha.* Mitt. d. VDEW, № 509/1930.

Dipl. Ing. R. Schallhardt — *Erfahrungen mit einem Industrie-Heizkraftwerk.* Mitt. d. VDEW, № 509/1930.

Hermann Schultze — *Die Wirtschaftlichkeit von Pumpspeicherwerken abseits der Verbrauchsgebiete.* ETZ. H. 40/1930.

E. Schutz u. Fr. Gropp — *Ruthsspeicher für Spitzenkrafterzeugung in Berlin.* Mitt. d. VDEW, № 505/1930.

Inż. techn. Sipko — *Wielkie Zagłębie Polskie jako źródło energji.* Technika Cieplna № 9/1930.

Prof. Dr. Inż. B. Stefanowski — *Zasobniki energji w elektrowniach.* Przegl. Techn. №25—26/1930.

Th. Stein — *Ruthsspeicher als Wasserkraftreserve.* ETZ. H. 23/1930.

Dipl.-Ing. K. Swoboda — *Momentanreserve mit Ruthsspeichern in der Stromversorgung Leipzigs. Wirtschaftliche Betrachtungen.* Elektrizitätswirtschaft. Mitt. d. VDEW, № 510/1930.

Vereinigung der Elektrizitätswerke E. V. — *Kupplung von Kraft- und Heizwerken.* Berlin, 1930.

G. Wanelmann — *Das Diesel-Spitzenkraftwerk Hermigsdorf der Märkischen El-Werke A. G.* Mitt. d. VDEW. № 509/1930.

Dipl.-Ing. W. Weingärtner — *Die Ersparnisse bei der Aufteilung der Energieerzeugung auf Grundkraft- und Spitzkraftmaschinen.* E. u. M., H. 37/1930.

Dr.-Ing. W. E. Wellmann — *Die Ruthsspeicheranlage im Kraftwerk Charlottenburg der BEWAG.* Das kommunale Elektrizitätswerk, H. 1/1930.

Inż. M. Żelisławski — *Wpływ doboru ciśnienia pary na rentowność elektrowni.* Technika Cieplna № 9/1930.

Ejsenmenger — *Tarify elektriczeskich stacij, tieorja i praktika.* (Przekład z angielskiego Inż. J. N. Jurowskiego, Moskwa, 1931).

Ing. E. M. v. Livonius u. Dipl.-Ing. H. Wolle — *Die Wahl der nach Art und Grösse zweckmässigsten Spitzenkraftquelle.* ETZ, H. 34 i 35/1931.

Dr.-Ing. Ludwig Musil — *Die Wirtschaftlichkeit von Höchstspannungsleitungen und ihr Einfluss auf die Lastverteilung in der Grossenergieversorgung.* E. u. M., H. 26/1931.

Dr.-Ing. Ludwig Musil — *Das Zusammenarbeiten von Dampf- und Wasserkraftwerken in grossen Versorgungsnetzen.* ETZ, H. 13/1931.

E. Praetorius — *Spitzendeckung in Elektrizitätswerken durch Ruthsspeicher.* E. u. M., H. 8/1931.

Franklin Punka — *Die Verteilung der konstanten Kosten auf die einzelnen Abnehmer eines Elektrizitätswerkes.* ETZ, H. 1/1931.

Obering. H. Roentsch — *20 000 kW-Ruthsspeicher-Anlage im Gemeinschaftswerk Hattingen.* AEG-Mitt. H. 12/1931.

Inż. W. Rosental — *Racjonalizacja gospodarki energetycznej w Borysławskiem Zagłębiu Naftowem.* Przegl. Techn. № 2/1931.

Hermann Schultze — *Die Verbund-Spitzenkrafterzeugung durch Pump- und Ruthsspeicherwerke.* ETZ, H. 31/1931.

Inż. W. Schramme — *Pokrywanie obciążeń szczytowych w centralach elektrycznych.* Technika Cieplna. № 3/1931.

Inż. Kazimierz Gayczak — *Porównanie warunków wykupu Zakładów Elektrycznych według wydanych dotychczas uprawnień rządowych.* Przegląd Elektrotechn. № 19/1932.

Inż. K. Giertler — *Obliczenie cen pary i mocy przy sprzężonej gospodarce cieplno-elektrycznej.* Technika Cieplna № 12/1932.

Dr.-Ing. W. Grüning — *Selbstkosten und Betriebskontrolle in einem kleinen Elektrizitätswerk.* Mitt. d. VDEW, № 18/19, 1932.

Dr. W. Gosebruch — *Der wirtschaftliche Wert von elektrischen Grosskraft-Speicherwerken.* ETZ, H. 45 i 47/1932.

Ing. Hans Kauf — *Das Kraftheizwerk in Brünn.* E. u. M., H. 41/1932.
Prof. Dr. Ing. Marcard u. Dipl.-Ing. K. Beck — *Die wärmewirtschaftliche Entwicklung des Fernheizwerkes Braunschweig.* Mitt. d. VDEW. H. 20/1932.
Dr.-Ing. Ludwig Musil — *Höchstspannungsübertragung und wirtschaftliche Lastverteilung.* ETZ, H. 46/1932.
Dipl.-Ing. Walter Netoliczka — *Die günstigste Unterteilung in Grund- und Spitzenwerk unter Berücksichtigung der Veränderlichkeit des Wärmeverbrauches des Grundlastwerkes.* ETZ, H. 21/1932.
Inż. J. Obrąpalski — *Zagadnienie elektryfikacji.* Przegląd Techn. № 19—20/1932.
Inż. J. Obrąpalski — *Energetyka Zagłębia Węglowego.* Przegl. Techn. № 49—50/1932.
Dr.-Inż. K. Pomianowski — *Zakłady pompowe w Polsce w związku z kryciem szczytów zapotrzebowania energji.* Przegl. Techn., № 19—20/1932.
Prof. Dipl.-Ing. R. Schneider — *Die Verfahren für die Verteilung der festen Kosten in der elektrischen Energiewirtschaft.* ETZ. H. 1/1932.
Dr.-Ing. H. Schult — *Bereitschaftswert der „laufenden Reserve" in Dampfkraftwerken.* ETZ, H. 51/1932.
Inż.-mech. Jerzy Uklański — *Zagadnienie rentowności siłowni turbinowych.* Przegląd Techniczny № 1/2 i 3/4 r. 1932.
M. Walter — *Darstellung der Kosten für die elektrische Arbeit in einem Überlandwerk bei Dampfkrafterzeugung.* ETZ, H. 20/1932.
Inż. Fr. Bąkowski — *Widoki rozwoju ogrzewań dalekosiężnych w Polsce.* Przegląd Techn. № 24/1933.
Bernard Blau — *Die Abschreibungen in der Elektrizitätswirtschaft.* ETZ, H. 1/1933.
Inż. Z. Ficki — *Rentowność wysokoprężnych instalacyj parowych.* Przegl. Techn., № 2, 6 i 15/1933.
Inż. A. Kaniewski — *Cukrownie jako źródła energji elektrycznej odpadkowej.* Sprawozdania i Prace Polskiego Komitetu Energetycznego. № 1/1934.
A. Friedrich — *Selbstkostenberechnung im Elektrizitätswerke.* Mitt. d. VDEW, № 25/1933.
A. Hoffmann — *Organizacja współpracy elektrowni cieplnych i wodnych na Pomorzu.* Przegl. Elektrotechn. № 10/1933.
Prof. Inż. Vladimir List — *Gospodarka w Zakładach Elektrycznych.* Warszawa, 1933.
Dr.-Ing. Ludwig Musil — *Grundsätzliche Gesichtspunkte von Reserve-Dampfkraftwerken und Einrichtungen zur Erhöhung ihres Bereitschaftswertes.* ETZ. H. 40/1933.
F. Niethammer — *Stromselbstkosten.* E. u. M., H. 48/1933.
Ing. Victor Nietsch — *Die Ermittlung des Jahresarbeitsvermögens von Wasserkraftwerken.* Mitt. d. VDEW № 21—22/1933.
Dr.-Ing. W. Rohrbeck — *Der Verkauf elektrischer Arbeit.* Mitt. d. VDEW № 21/1933.
Friedrich Münzinger — *Neue Wege zu billiger Spitzenkraft.* ETZ, H. 12/1934.
Dr. A. Velisek — *Der Raumtarif als neuzeitlicher Haushalttarif.* E. u. M. H. 41—42/1934.

## WYDZIAŁ TECHNICZNY.

(str. 31—34).

Prof. H. Zipp — *Ein neues Betriebsmessverfahren zur Ermittlung der wirtschaftlich richtigen Verteilung der Wirk- und Blindströme bei parallel arbeitenden Maschinen und Kraftwerken.* Mitt. d. VDEW, № 341/1923.
Dr.-Ing. Otto Vent — *Load dispatcher.* Mitt. d. VDEW № 359/1924.
Dr.-Ing. Manfred Schleicher — *Die Lastverteileranlage und die Fernbedienung von Kraftwerken und Unterwerken.* ETZ, H. 8/1929.
Dipl.-Ing. W. Fleischer — *Lastverteilung bei der Berliner Städtischen Elektrizitätswerke-A.-G.,* Elektrizitätswirtschaft, Mitt. d. VDEW № 493 i 495/1929.
W. Fleischer u. K. Menny — *Die technischen Einrichtungen der Lastverteilungsstelle.* Elektrizitätswirtschaft, Mitt. d. VDEW, № 511 i 515/1930.
Samkjöringschef H. Bärnholdt — *Die Zentral-Kommandostelle Smestad des Elektrizitätswerkes Oslo.* Siemens-Z. H. 7/1930.

Ing. G. Dessus — *La centralisation des commandes.* Gesamtbericht II. Weltkraftkonferenz, Berlin, 1930, Bd. XIII.

Rudolf Köberich — *Neuzeitliche Methoden zur Sicherstellung gegen Fehlschaltung und Fehlmeldung bei Verwendung von leitungssparenden Schwachstromvermittlungs-Einrichtungen.* VDE Fachberichte 1931.

Otto Plechl u. Hans Latzko — *Der Einfluss des Aufbaues und der Betriebsführung von Schaltanlagen auf die Projektierung ihrer Kommandoräume.* E. u. M., H. 43/1931.

A. Przygode — *Die Energieumschlags- und Hauptbefehlstelle Brauweiter des Rheinisch-Westfäl. Elektrizitätswerkes A. G.* ETZ, H. 16/1932.

W. Fleischer — *Tätigkeit der Kommandostelle der Berliner Städtischen Elektrizitätswerke A.-G. (Bewag).* ETZ, H. 3 i 4/1933.

Ing. Anton Petrich — *Der Lastverteiler der Wiener Städtischen Elektrizitätswerke.* E. u. M., H. 33 i 34/1933.

## ŚRODKI ŁĄCZNOŚCI.

(str. 34—45).

Dipl.-Ing. Dressler — *Nachrichtenmittel für Überlandwerke.* Mittl. d. VDEW № 314/1922.

Ing. Emil Fischer — *Der Fernsprecher im Nachrichtendienst der Überlandkraftwerke.* Siemens-Zeitschr., H. 7/1923.

Ing. Emil Fischer — *Der Betriebs-Fernsprecher für Überlandwerke.* Mitt. d. VDEW, H. 354/55 i 363/64, 1924.

Prof. Dr. H. Wigge — *Probleme und Erfolge der Drahtwellentelephonie als Verständigungsmittel im Zentralenbetrieb.* Mitt. d. VDEW, H. 356/1924.

Gerhard Dressler — *Telephonie auf Starkstromleitungen.* Zeitschrift für Fernmeldetechnik, Werk- und Gerätebau. H. 1 u. 2/1927.

Dipl.-Ing. G. Dressler — *Stand der Hochfrequenztechnik auf Starkstromleitungen in Europa und Amerika.* Elektrizitätswirtschaft, Mitt. d. VDEW № 449/1928.

Gerhard Dressler — *Bemerkungen zur neueren Entwicklung der amerikanischen Hochfrequenztelephonie auf Hochspannungsleitungen.* Elektrizitätswirtschaft, Mitt. d. VDEW № 482/1929.

Dr.-Ing. E. h. E. Feyerabend — *Die neuzeitlichen Mittel des Nachrichtenwerkes.* ETZ, H. 4/1930.

C. Straubel u. G. Werner — *Fernmelde-Luftkabel für Kraftwerke.* Siemens-Z., H. 6/1930.

Dipl.-Ing. H. Wüsteney — *Die Siemens-Fernschreibmaschine.* Siemens-Z., H. 1 u. 2/1931.

## POMIAR ZDALNY.

(str. 45—53)

Dipl.-Ing. W. Brückel — *Fernüberwachungs- und Fernbetriebs-Einrichtungen in elektrischen Kraftnetzen.* AEG-Mittl. H. 3/1929.

Schleicher — *Die Fernübertragung von Messgeräten auf Leitungen beliebiger Art und beliebiger Länge,* Siemens Z., H. 3, u. 4/1929.

Dipl.-Ing. W. Brückel u. Dipl.-Ing. W. Stäblein — *Neuere Fortschritte in der Fernmesstechnik.* AEG-Mitt., H. 3/1930.

Dipl. Ing. W. Brückel u. Dipl.-Ing. W. Stäblein — *Das Kompensationsmesssystem und das Impulszeitverfahren mit Mittelwertbildung.* AEG-Mitt., H. 3/1930.

F. H. Clough — *Remote Metering.* Gesamtbericht II. Weltkraftkonferenz, Berlin, B. XIII. 1930.

Dipl.-Ing. W. Janicki — *Die elektrische Fernmessung unter besonderer Berücksichtigung der Summenfernmessung und ihre Bedeutung für die Elektrizitätswirtschaft.* Gesamtbericht II. Weltkraftkonferenz. Berlin, B. XIII, 1930.

Dipl.-Ing. J. Möller — *Das Kreuzspul-Ohmmeter in der Fernmesstechnik.* Zeitschr. f. Fern mechanik u. Präzision, H. 18/1930.

Dipl.-Ing. W. Schäfer — *Kompensations-Fernmessystem der AEG und seine Verwendungsmöglichkeiten.* AEG Mitt., H. 6/1930.

Inż. J. Silberstein — *Pomiary elektryczne na odległość.* Przegl. Techn., № 33, 34 i 35/1930.
Dipl.-Ing. Walter Stern — *Neue Ansetze- und Registriermethoden in der Fernmesstechnik.* ETZ, H. 3/1930.
Waldemar Brückel — *Die Systemwahl in der Fernmessung.* VDE-Fachberichte 1931.
Dipl.-Ing. W. Weber — *Fernmessung- und- summierung der Strassenbahnleistung bei den Städt. Elektrizitätswerken Frankfurt a. M.,* ETZ, H. 25/1931.
Dipl.-Ing. H. Dallmann — *Fernmessung nach dem Impulskompensations-Verfahren.* AEG-Mittl., H. 3/1932.
Dr.-Ing. M. Schleicher — *Das Baukastensystem für Fernmessanlagen.* Siemens-Z., H. 9/1932.
Dr.-Ing.Manfred Schleicher — *Die elektrische Fernüberwachung und Fernbedienung für Starkstromanlagen und Kraftbetriebe.* Berlin, 1932.
W. Stäblein — *Über Verfahren zur Summenmessung mit den Hilfsmitteln der elektrischen Fernmesstechnik und ihre prinzipiellen Fehler.* E. u. M., H. 5/1932.
Wilhelm Geyger — *Ein neues Kompensationsverfahren zur elektrischen Fernübertragung von Zeigerstellungen.* ETZ, H. 49/1933.
Dr.-Ing. W. zur Megede — *Die Überlagerung grösserer Hochspannungsnetze mittels des Telenerg-Systems.* Siemens Z., H. 4/1933.
A. Linker — *Die Fernmesseinrichtungen für den Betrieb elektrischer Anlagen.* ETZ, H. 35/1934.
AEG —*Fernmessung nach dem Kompensations-Verfahren.* Broszura K 4 b/1015 — IV. 1934.

## OBSŁUGA SAMOCZYNNA I ZDALNA.

(str. 53—59)

G. Dressler — *Fernsteuerung und Fernschaltung.* Mitt. d. VDEW № 454/1928.
Dr.-Ing. G. Boll — *Automatische Fahrplansteuerung von Kraftwerken.* Fachberichte der VDEW, Aachen, 1929.
Dr. Hans Latzko u. Ing. Otto Plechl — *Die automatische Fernregulierung der Wasserkraftmaschinen im Achensee-Kraftwerk der Tiroler Wasserkraftwerke-A.-G.,* E. u. M., H. 36/1929.
Dr.-Ing. Curt Lommel — *Bedienungslose Werke mit Asynchrongeneratoren.* VDE Fachberichte, Aachen, 1929.
Dr.-Ing. Curt Lommel — *Selbststeuerung oder Fernsteuerung.* VDE Fachberichte, Aachen, 1929.
Meiners — *Über die Frage: Wann Automatisierung und wan Fernsteuerung von Schaltanlagen.* VDE Fachberichte, Aachen, 1929.
Dr. Paul Meyer A.-G. — *Fernsteuerung und Fernüberwachung elektrischer Beleuchtungsanlagen.* Broszura № 1117, X. 29.
H. D. Cook —*Automatic Hydro-Electric Stations in Australia.* Gesamtbericht II Weltkraft konferenz, Bd. XIII, Berlin, 1930.
C. Kiessling — *Die Bedeutung der Automatisierung von Wasserkraftwerken für die schwedische elektrische Energieerzeugung.* Gesamtbericht II Weltkraftkonferenz, Bd. XIII, Berlin, 1930.
Dipl.-Ing. R. Köberich — *Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Fernschaltung und Fernmeldung.* AEG-Mitt. H. 8/1930.
C. Lichtenberg and R. J. Wensley — *Automatic stations and their Remote Supervision.* Gesamtbericht II-Weltkraftkonferenz. Bd. XIII, Berlin, 1930.
Dipl.-Ing. G. Meines — *Automatisierung in der Starkstromtechnik.* AEG-Mitt., H. 11/1930.
Dipl.-Ing. Karl Riedel — *Die Fernsteuerungsanlage der Berliner Stadt- und Ringbahn.* Siemens-Z., H. 6/1930.
Dr.-Ing. M. Schleicher und Mitarbeiter — *Selbsttätige und ferngesteuerte Kraft- und Nebenwerke sowie Einrichtungen und Anordnungen der Nachrichtenübermittlung, der Fernmessung und der Fernsteuerung in Elektrizitätsversorgungsbetrieben* Gesamtbericht der II Weltkraftkonferenz, Bd. XIII, Berlin, 1930.
B. Fleck — *Bedienungslose Wasserkraftanlagen.* AEG Mitt., H. 2/1931.

Dipl.-Ing. F. Lenz — *Die Fernsteueranlage des Umspannwerkes Osthafen in Frankfurt a. M.*, ETZ., H. 25/1931.
Curt Lommel — *Fortschritte bei der Automatik von Speicherwerken und Momentanreserven.* VDE Fachberichte 1931.
Heinrich Schult — *Automatik in Dampfkraftwerken.* VDE — Fachberichte 1931.
Wilhelm Stäblein — *Fernregelung von Leistungen, insbesondere an den Kuppelstellen grosser Netze.* VDE Fachberichte 1931.
Ing. M. Wilfart — *Vers la généralisation de la commande automatique dans les usines modernes.* Revue d'Électricité et de Mécanique Alsthom. № 18 et 20/1931.
B. Fleck u. L. Steinfeld — *Selbsttätige Wiedereinschaltvorrichtungen.* AEG-Mitt., H. 11/1932.
Rudolf Köberich — *Neuzeitliche Methoden zur Sicherstellung gegen Fehlschaltung und Fehlmeldung bei Verwendung von leitungssparenden Schwachstromvermittlungseinrichtungen.* VDE Fachberichte 1932.
Prof. Dr.-Ing. H. Piloty — *Wesen und Bedeutung der Fernwirkanlagen im Kraftwerksbetrieb.* ETZ, H. 37 u. 39/1932.
Dr.-Ing. M. Schleicher — *Denkende Fernbedienungseinrichtungen.* Siemens-Z., H. 7/1932.
Dr.-Ing. M. Schleicher — *Grundsätze der Fernbedienungstechnik in Starkstromanlagen.* Fernmeldetechnik, H. 6/1933.
Dipl.-Ing. Felix Jäger — *Selbststeuerung und Fernbedienung im Betriebe von Wasserkraftanlagen.* Siemens-Z. H. 7/1934.
Dipl.-Ing. Felix Jäger — *Das fernbediente Wasserkraftwerk Atorp.* Siemens-Z., H. 7/1924.
H. v. Mirman — *Vollautomatisch gesteuerte Heizanlage in einem Warmwasser-Fernheizwerk.* AEG-Mitt., H. 8/1934.
Dr. K. Müller — *Bedienungslose Wasserkraftanlagen.* Bulletin Oerlikon, № 153/154 — 155/156, 1934.

## KIEROWANIE ROZPŁYWEM OBCIĄŻEŃ.

(str. 60—127)

Dr. Inż. Wiesław Chrzanowski — *Turbiny parowe.* Warszawa, 1923.
Prof. Max Tolle — *Die Regelung der Kraftmaschinen.* Berlin, 1909.
Prof. Const. Zietemann — *Die Dampfturbinen.* Berlin-Leipzig. 1924.
Prof. C. v. Dobbeler — *Die wirtschaftlichste Verteilung der Wirk- und Blindströme auf mehrere parallel arbeitende Maschinen oder Kraftwerke.* E. u. M., H. 52/1924.
Jaroslav Ibler — *Le réglage de fréquence et la repartition de charge pour la marche en parallèle des usines centrales.* Compte-rendu du II Congrès Internat., tenu à Paris, 1928.
Dr.-Ing. G. Boll — *Automatische Leistungsregelung in elektrischen Netzen.* BBC-Nachrichten C. 1074/1929. 1000 /F/.
Prof. Dr.- Inż. W. Chrzanowski — *Nowoczesne turbiny parowe.* (Nowoczesne kierunki w budowie elektrowni, Warszawa, 1929, SEP).
Inż. Tadeusz Czaplicki — *Równoległa Praca Elektrowni.* (Nowoczesne kierunki w Budowie Elektrowni, Warszawa, 1929, SEP).
H. Ernst — *Die Steuerungen der SSW-Dampfturbine.* Siemens-Z., H. 10/1929.
Dr. Hans Latzko u. Ing. Otto Plechl — *Die automatische Fernregulierung der Wasserkraftmaschinen im Achensee-Kraftwerk der Tiroler. Wasserkraftwerke-A.-G.* E. u. M. H. 36/1929.
Dr. Melan — *Dampfturbinen der Siemens-Schuckertwerke.* Siemens-Jahrbuch, 1929.
H. Piloty — *Wirkung des Zusammenschlusses grossen Netze auf ihren Betrieb.* ETZ. H. 27/1929.
Dipl.-Ing. van Mangoldt — *Regulierung der Stromverteilung in parallelgeschalteten Wechselstromleitungen durch Ausgleichswandler und Drosseln.* VDE-Fachberichte 1929.
Dr.-Ing. Martin Rohrbach — *Neuer selbsttätiger Leistungsregler für verkoppelte Elektrizitätsversorgungsnetze.* Siemens-Z., H. 7/1929.
Dr.-Ing. A. Menge u. Mitarbeiter — *Die technische u. wirtschaftliche Beherrschung des Energieflusses in einfach und mehrfach gekuppelten Netzen.* Gesamtbericht II. Weltkraftkonferenz, Berlin, 1930.

Dr.-Ing. M. Schleicher — *Neuzeitliche Hilfsmittel zur Beherrschung des Energieaustauschs.* Siemens-Z., H. 6/1930.
Dr.-Ing. W. v. Krukowski — *Grundzüge der Zählertechnik.* Berlin, 1930.
A. Königswerther — *AEG-Elektrizitätszähler.* Berlin, 1931.
Dr.-Ing. G. Boll — *Selbsttätige Leistungsregelung in elektrischen Netzen.* ETZ., H. 10/1931.
Herbert Buchholz — *Anzeige-Vorrichtung und Relais für die Änderungsgeschwindigkeit der Frequenz in grossen Netzen.* VDE Fachberichte 1931.
Erich Friedländer — *Regulierung parallelarbeitender Maschinen in frequenzhaltenden Kraftwerken.* VDE Fachberichte 1931.
Erich Gross — *Über Ringnetze und die Beeinflussung ihrer Stromverteilung.* E. u. M., H. 26/1931.
W. Kieser — *Über die Regelung von Spitzenlast- und Grundlastmaschinen.* Mittl. d. VDEW, № 6/1931.
Joseph Kröll — *Besondere Anwedungen der Schnellregelung zur wirtschaftlichen Betriebsführung.* VDE-Mittl. 1931.
Heinrich Langrehr — *Versuche über Leistungs-und Frequenzregelung im Kraftwerk Kiel.* VDE-Fachberichte, 1931.
Dr. Ing. Ludwig Musil — *Die Wirtschaftlichkeit von Höchstspannungsleitungen u. ihr Einfluss auf die Lastverteilung in der Grossenergieversorgung.* E. u. M., H. 26/1931.
Karl Ott — *Frequenz-und Leistungsregelung zusammengeschlossener Grosskraftwerke.* VDE-Fachberichte, 1931.
Hans Piloty — *Frequenz- und Leistungsregelung in grossen gekuppelten Netzen.* VDE-Fachberichte, 1931.
Karl Schäff — *Aufgaben für die Leistungsregelung beim Parallelbetrieb in grossen Netzen.* VDE-Fachberichte, 1931.
Heinrich Schult — *Automatik in Dampfkraftwerken.* VDE-Fachberichte, 1931.
Dr.-Ing. A. Schwaiger — *Hochspannungsleitungen. Grundlagen und Methoden zur praktischen Berechnung von Leitungen für die Übertragung elektrischer Energie,* München u. Berlin, 1931.
Dr.-Ing. Wilhelm Stäblein — *Fernregelung von Leistungen, insbesondere an den Kuppelstellen grosser Netze.* VDE-Fachberichte, 1931.
M. Grieb — *L'accouplement élastique des réseaux.* C. I. E., Paris, 1932. VI.
H. Langrehr — *Kraftwerksregelung* ETZ., H. 26/1932.
Dr.-Ing. Wilhelm Stäblein — *Regelung von Leistungen, insbesondre von Kuppelleistungen im Betrieb grosser Netze.* E. u. M., H. 38 u. 39/1932.
Dr.-Ing. K. Schäff — *Frequenz-und Leistungsregelung.* AEG Mittl., H. 3/1932.
Dipl.-Ing. Willy Schmidt — *Der Quertransformator als Leistungsregler in Leistungsringen.* Siemens-Z., H. 4/1932.
H. Zeuner — *Über Entlastungsversuche und Änderungen der Regelorgane der Dampfturbinen in den Grosskraftwerken Böhlen und Hirschfelde.* Elektrizitäts-Mittl. d. VDEW. № 12/1932.
H. Puppikofer — *Frequenzmessbrücke zur Überwachung der Frequenz eines Wechselstromkreises.* Bulletin Oerlikon, № 150/1933.
Ing. Hans Eigl — *Die automatische Fernleistung-Regeleinrichtung der Steierischen Wasserkraft-und Elektrizitäts-A.-G. „Steweag".* E. u. M., H. 10/1934.
H. Graner — *Vorschläge für den Betrieb von Netzverbänden.* ETZ. H. 44/1934.
S. Plietz — *Parallelbetrieb und automatische Leistungsregulierung in Kleinkraftwerken.* Bulletin Oerlikon, № 158/1934.
Dr. techn. Josef Teichtmeister — *Die Abhängigkeit der Kupplungsleistung parallellaufender Kraftwerke vom Widerstandverhältnis der Verbindungsleistung.* E. u. M. H. 16/1934.
Inż. Z. Ficki — *Automatyzacja obsługi kotłów.* Przegl. Techn., № 4/1934.
Inż. T. Wróblewski — *Elastyczność kotłów a pokrywanie obciążeń szczytowych* Przegl. Techn., № 4/1934.
Dr. Ing. W. Oburger — *Die Regelung der Stromverteilung in Ringnetzen mittels des Quertransformators.* E. u. M., Heft 26/1934.
Prof. A. Rachel — *Regelung der Kraftwerke beim Zusammenschluss* (R. Rüdenberg, Elektrische Hochleistungsübertragung auf weite Entfernung. Berlin, 1932).

## RÓWNOWAGA PRACY RÓWNOLEGŁEJ.

(str. 127—159)


Ing. Prof. Karl Pichelmayer — *Wechselstromerzeuger.* Berlin, 1917.

Dr. J. Geiger — *Aus der Praxis des Parallelbetriebes.* ETZ, H. 1/1923.

Dr J. Geiger — *Die Verwendung mechanischer Schwingungen in der Technik.* ETZ. H. 13/1923.

Prof. F. J. Hołujanow — *Alternatory i preobrazowatieli pieremiennо-postojannawo toka,* Moskwa, 1923.

Prof. F. J. Hołujanow — *Asinchronnyje dwigatieli trechfaznawo i odnofaznawo toka.* Moskwa, 1927.

Prof. F. J. Hołujanow — *Transformatory odnofaznawo i trechfaznawo toka.* Moskwa, 1930.

L. Dreyfus — *Über die Stabilität des Parallelbetriebes beim Zusammenschluss grosser Kraftwerke.* Archiv für Elektrotechnik, H. 5/1926.

Prof. Dr. Milan Vidmar — *Wirkungsweise elektrischer Maschinen.* Berlin, 1928.

Dr.-Ing. Wilhelm Peters — *Einfluss von Schaltvorgängen auf die Stabilität gekuppelter Kraftwerke.* VDE Fachberichte, Aachen, 1929.

Reinhold Rüdenberg — *Das Verhalten elektrischer Kraftwerke und Netze beim Zusammenschluss.* ETZ, H. 27/1929.

G. Bellfils, J. Fallon et R. Dormont — *Les transports d'énergie à longue distance et très haute tension et leur conditions de fonctionnement.* Revue d'Electricité & de Mécanique Alsthom № 11/1930.

Dipl.-Ing. E. Frensdorff — *Verhalten der Generatoren und Kraftmaschinen.* Gesamtbericht II Weltkraftkonferenz, Berlin, 1930, Bd. XIV.
*Versuche über Maschinenregelung und Parallelbetrieb in den Grosskraftwerken Hirschfelde und Böhlen.*

E. Frensdorff — I. *Überblick über Veranlassung. Zweck und Ergebnisse der Versuche.* ETZ, H. 25/1931;

K. Kühn — II. *Anordnung und Art der Durchführung der Versuche.* ETZ, H. 38, 39, 41/1931;

K. Kühn u. Dr. R. Mayer — III. *Ergebnis der Versuche beim Alleinlauf der Maschinen.* ETZ, H. 44, 45/1931;

Dr.-Ing. Wilhelm Peters — IV. *Ergebnis der Versuche beim Parallellauf der Maschinen und Kraftwerke.* ETZ, H. 50, 51, 52/1931.

Andreas v. Timascheff — *Parallelbetriebsversuche von Drehstrommaschinen in Grosskraftwerken.* VDE Fachberichte, 1931.

Josef Tittel — *Elastische Kupplungsanordnungen bei Generatoren mit Kolbenmaschinenantrieb.* VDE Fachberichte, 1931.

Prof. Dr. Nicolas Kryloff et le Dr. Nicolas Bogoliuboff — *Recherches sur la stabilité statique et la stabilité dynamique des machines synchrones.* C. I. E., Paris, 1932. IV.

A. Rondaldier — *La marche en parallèle et l'interconnexion.* C. I. E. Paris, 1932. VI.

R.-D. Evans et C.-F. Wagner — *La stabilité des systèmes de transmission d'énergie électrique, dispositions adoptées en Amérique.* C. I. E., Paris 1922. VI.

John Wennerberg — *Le risque de pompage introduit dans un réseau à courants alternatifs par les machines à mouvements alternatifs, qu'entend-on par l'expression „Marche en parallèle satisfaisante".* Asea-Revue № 6/1933.

Dipl. Ing. Hans Titze — *Die elektrischen Vorgänge auf Kuppelleitungen bei Kraftwerkspendelungen.* Elektrizitätswirtschaft, Zeitschrift des REV, Nr 23/1934.

Ing. M. Ferrerio — *Rapport général sur les conditions techniques pour la mise en parallèle des centrales électriques.* Compte-rendu du II-me Congrès International, tenu à Paris, 1928.

A. A. Smurow. — *Elektrotechnika wysokawo naprażenija i pieredacza energji.* Moskwa, Leningrad, 1931.

Reinhold Rüdenberg — *Elektrische Hochleistungsübertragung auf weite Entfernung.* Berlin, 1932.

## REGULACJA NAPIĘCIA W SIECIACH.

(str. 159—200)


O. Burger — *Betrachtungen über die Koppelung von Grosskraftwerken in elektrischer Hinsicht*, Siemens-Zeitschr., H. 5—6/1922.

Prof. Leo Kadrnozka — *Die Spannungsregelung im Bayernwerksnetze*, ETZ, H. 21/1922.

Ernst Schönholzer — *Über eine moderne und praktische Berechungsmethode sehr langer Hochspannungs-Fernleitungen mit Potentialregelung durch Synchronmotoren*, Solothurn, 1922 (schweiz. Techn. Zeitung, № 6—9/1922).

ASEA — *Pressure regulation on power networks using step by step regulators. The ASEA ratio regulators. Various methods of arranging regulating steps on transformers. Automatic regulating equipment for the Randers-Aarhus transmission scheme*, Denmark, broszura P. C. No. 77/1926.

Dipl.-Ing. Sessinghaus — *Spannungsregelung in Drehstromnetzen mit Zusatztransformatoren und Regelschaltern*, ETZ. H. 27/1926.

AEG — *Blindstromerzeuger und Blindstromverbraucher*, broszura G5/k2/1021a, Nov. 27.

Dipl.-Ing. L. Kumlik — *Spannungsregelung durch transformatorische Zusatzaggregate im Wechselstrom- und Drehstromnetzen*, Elektrizitätswirtschaft. Nr. 434/1927.

Dipl.-Ing. G. Erényi — *Parallelbetrieb von Drehstromtransformatoren*, Elektrizitätswirtschaft № 450/1928.

Inż.-el. L. Je. Maszkilljejson — *Wspomagatielnyje grafiki i tablicy dla rasczota linij elektropieriedacz*, Moskwa, 1928.

W. Reiche — *Der Schubtransformator*, Koch & Sterzel № T 13/1928.

Dipl. Ing. E. Alzner — *Spannungsregelung durch Blindleistung in Hochspannungsfreileitungen und Kabelnetzen*, VDE Fachberichte, 1929.

Erich Friedländer — *Das Verhalten langer Hochspannungsleitungen bei spannungsabhängiger Blindstromkompensation*, VDE Fachberichte, 1929.

Dipl.-Ing. A. v. Altmann u. Dipl.-Ing. G. Erenyi — *Schaltung und Steuerung von Drehtransformatoren*, AEG-Mittl. H. 4/1930.

G. Belfis, J. Fallou et R. Dormont — *Les transports d'énergie à longue distance et très haute tension et leurs conditions de fonctionnement*, Revue d'Electricité et de Mécanique Alsthom, № 11/1930.

Dr.-Ing. E. Friedländer — *Selbsttätige Blindstromkompensation auf langen Hochspannungsleitungen*, Siemens-Z., H. 8 u. 9/1930.

Dr.-Ing. Bernhard Jansen — *Spannungsregelung mit Stufentransformatoren in den Netzen der Überlandwerke*. Elektrizitätswirtschaft, Mit. d. VDEW № 505/1930.

Dipl.-Ing. Fritz Sardemann — *Spannungshaltung und Spannungsüberwachung im Netz der Berliner Städtischen Elektrizitätswerke* A. G., Elektrizitätswirtschaft, Mitt. d. VDEW. №502/1930.

J. Kristen — *Spannungsregelung in Sekundärnetzen mittels Drehtransformatoren*, (Weltkraftkonferenz, Berlin, 1930), Oerlikon.

J. Kristen — *Kraftwerkzusammenschluss mittels automatischgeregelten Stufentransformatoren*, Bulletin Oerlikon № 121/1931.

J. Herlitz — *The use of ratio regulators in large power networks*, Asea-Journal № 8/1931.

Inż. Jan W. Jastrzębski — *Regulacja napięcia w podstacjach*, Przegl. Elektrotechn. № 14/1931.

G. A. Kugler — *Starkstsromleitungen mit Blindstromkompensation*, ETZ, H. 25/1931.

Andreas Ludwig Müller — *Ohmsche oder induktive Überschaltwiderstände für Regeltransformatoren*, VDE Fachberichte 1931.

H. Puppikofer — *Die Regelung von Transformatoren unter Last durch Stufenschalter*. Bulletin Oerlikon, № 115/1931.

Inż. A. J. Riabkow — *Elektriczeskij rasczot wysokowoltnych linij elektropieriedaczi*, Moskwa, 1931.

Dipl. Ing. W. Schunk — *Der Kondensator im Rahmen der Blindleistungserzeugung*, Siemens-Z., H. 1/1931.

Dr.-Ing. A. Schwaiger — *Hochspannungs-Leitungen. Grundlagen und Methoden zur praktischen Berechnung von Leitungen für die Übertragung elektrischer Energie*, München und Berlin, 1931.
K. Baudisch — *Der Kondensator in Industrieanlagen und Verteilungsnetzen*, Siemens-Z., H. 10/1932.
K. Bölte — *Regeleinrichtungen für Anzapftransformatoren*, ETZ, H. 22/1932.
H. Kuhl — *Leistungsfaktorreglung*. AEG-Mitt., H. 5/1932.
K. Nonnenmacher — *Neuerungen am Drehtransformator*, Siemens-Z., H. 8/1932.
K. Bölte — *Spannungsregelung unter Last mit Stufentransformatoren grosser Leistung*, AEG-Mitt., H. 2/1934.
K. Bölte — *Spannungsreglung unter Last mit Stufentransformatoren kleinerer Leistung*, AEG-Mitt. H. 3/1934.
G. Schoepf — *Lastumsteller für Netztransformatoren kleinerer und mittlerer Leistungen*, Siemens-Z., H. 2/1934 .
H. Puppikofer — *Zwei neue Oerlikon-Reglertypen*. Bulletin Oerlikon № 150/1933.

## ZWARCIA.

(str. 200—302).

Dipl.-Ing. L. Kropff — *Strombegrenzungs-Drosselspulen*. Siemens-Zeitschrift, Heft 1/1928.
Dr. Georg Stern — *Hochleistungs-Ölschalter mit Löschkammern*. AEG-Mitteilungen, Heft 3/1924.
D. C. Prince — *Principe de l'extinction des arcs par jet d'huile* (Congrès International d'Electricité, C. I. E. 1932. V. VI. 8)
A. Roth — *Disjoncteur à haute tension pour courant alternatif, leur fonctionnement et leur construction* (C. I. E. 1932. V. VI. 12).
J. Kopeliowitch — *Interrupteurs pour courant alternatif à haute tension. Evolution et état actuel*. (C. I. E. 1932, V. VI-12).
Dr.-Ing. G. Grünewald — *Druckgasschalter 10 bis 100 kV*. AEG.-Mittl. 3/1930.
P. Thieme — *Wasserschalter*, AEG.-Mittl., H. 3/1932.
Fritz Kesselring — *Der Expansionsschalter*, ETZ. 1930. S. 499.
Fritz Kesselring — *Ist der Expansionsschalter berufen, den Ölschalter zu ersetzen?* Siemens-Z., H. 2/1932.
Dr. F. Kesselring — *Wyłącznik rozprężeniowy (ekspansyjny)* Przegląd Elektrotechn. № 16/1932.
E. Gross — *Selektivschutz durch Distanzrelais*. E. u. M. H. 39/1927.
Dr. J. Sorge — *Das Energierichtungsrelais in Selektivschutzschaltungen*. Siemens-Z. H. 12/1927.
Dr. Fischer — *Erfahrungen mit dem Schutzsystem des Ostpreussenwerks*. E. T. Z. H. 10/1928.
J. Stöcklin — *Impedanzrelais als Selektivschutz für Freileitungen*. Bulletin des Schweiz. Elektr. Ver. № 16/1928.
Dr. J. Sorge u. Dipl.-Ing. M. Wellhöffer — *Impedanzschutz für Kabel und Freileitungen*. Siemens-Zeitschrift, Heft 11/1928.
Dr.-Ing. H. Poleck u. Dr. J. Sorge — *Zeitstufen-Reaktanzschutz für Hochspannungsfreileitungen*. Siemens-Z., Heft 12/1928.
Dipl. Ing. Adolf Schmolz — *Die Entwicklung des Kurzschlusschutzes in den 110 kV-Leitungsanlagen der Bayernwerk-A. G.* — E.T.Z. H. 12/1928, H. 17 19/1929.
Dr.-Ing. M. Walter — *Selektiv-Schutzeinrichtungen für Hochspannungsanlagen*. München u. Berlin, 1929.
— *Der Selektivschutz nach dem Widerstandsprinzip*. München u. Berlin. 1933.
Ing. H. Puppikofer — *Das Minimalimpedanzrelais*. Bulletin d. Schweiz. Elektr. Ver. № 9/1929.
Dipl.-Ing. Adolf Schmolz — *Einbau und Kontrolle von Kurzschlusschutzeinrichtungen in 100 kV-Netzen*. E.T.Z. H. 14 1931.

Dr.-Ing. M. Walter — *Fehlerortsbestimmung in Freileitungsnetzen.* ETZ H. 33/1931.
— *Die Distanzschutz-Schaltungen.* Elektrizitäts-Wirtschaft. H. 8, 9/1932.
— *Über die Richtungsglieder der Distanzrelais.* ETZ. H. 20/1932.
— *Der Kurzschluss-Lichtbogen in Drehstromnetzen und sein Einfluss auf die Arbeitsweise der Distanzrelais.* ETZ. H. 44/1932.
Broszura f-my AEG — *Selektivschutz durch das neue Distanzrelais in den gebräuchlichsten Schaltungen.* H. Borberg, 1932.
— *Impedanzrelais für Kabel und Freileitungen.* 1931.
Broszura f-my BBC — *Brown-Boveri-Distanzrelais.* 1928.
— *Kurzschlussversuche in Hochspannungsnetzen, ausgerüstet mit Brown-Boveri-Distanzrelais.* 1929.
— *Der Selektivschutz für Freileitungen.* 1931.
— *Anleitung zur Projektierung von Selektivschutz von Kabelnetzen mit BBC-Distanzrelais.*
Broszura f-my Dr. Paul Meyer — *Selektivschutz nach dem Impedanzprinzip.* 1928.
Broszura f-my Siemens — *Eil-Impedanzrelais.* Erweiterter Sonderdruck eines Aufsatzes von Dipl.-Ing. H. Neugebauer u. Dipl.-Ing. Geise, aus der Siemens-Z. H. 2/1932.
F. Fröhlich u. G. Stark — *AEG-Schnelldistanzschutz.* AEG-Mittl. H. 1/1934.
Dipl.-Ing. H. Neugebauer — *Schnellabschaltung beim Selektivschutz.* ETZ H. 8/1934.
Inż. H. Tarnawski — *Prądy zwarcia w sieciach wysokiego napięcia.* Przegl. Elektrotechn. № 15—16—17/1932.
Dipl.-Ing. H. Neugebauer — *Stromwandler für Schutzsysteme.* Siemens-Z., H. 3/4, 1931.
Prof. Dr.-Ing. J. Biermanns — *Öllose Schalter.* E. u. M. H 32 u. 33/1934.
R. C. Dickinson and B. P. Baker — *The structural Development of the Deion Circuit-Breaker up to 15 000 Volts.* A. I. E. E. February, 1929.
F. Fritsch — *Relaisprüfeinrichtungen.* AEG-Mittl. H. 5/1931.
A. Gäbert u. H. Appel — *Neutzeitliche Hochspannung-Leistungschalter mit Öl, Wasser und Druckluft als Löschmittel.* ETZ, H. 9 u-10/1934.
R. W. Gregory and F. C. Winfield — *Modern British Practic in High Power Switching.* Gesamtbericht II. Weltkraftkonferenz, Berlin, 1930, Bd. XIII.
L. Haag u. Schwenk — *Besondere Anwendung des Strömungsprinzips bei öllosen Leistungschaltern.* ETZ, H. 9/1934.
B. G. Jamieson — *Field Tests of the Deion Circuit Breaker.* AIEE, February, 1929.
H. M. Wilcox — *The Deion Circuit-Breaker.*
H. C. Kloninger — *Die Entwicklung der spezifischen Abschaltleistung der Ölschalter.* E. u. M., H. 25 u. 26/1934.
O. Mayr — *Hochleistungschalter ohne Öl.* ETZ, H. 31, 32 u.34/1934.
O. Mayr — *Das Verhalten neuzeitlicher Hochleistungsschalter im Bereich kleiner Ströme.* Elektrizitätswirtschaft, Mittl. d. REV, № 4/1934.
J. B. Mc Neill — *Modern American Circuit Breaker Practice for Alternating Current, High Power Service.* Gesamtbericht II Weltkraftkonferenz. Berlin, 1930, Bd. XIII.
Ing. J. Saint-Germain — *Les interrupteurs à haute tension.* Revue d'Electricité et de Mécanique Alsthom, № 33 — 34/1934.
J. Slepian — *Theory of the Deion Circuit-Breaker.* A. I. E. E., February 1929.
— *Extinction of an Alternating Current Arc.* A. I. E. E., Quarterly Trans., Vol. 47, Oct. 1928.
— *L'arc électrique dans les interrupteurs.* C. I. E. Paris 1932. Vol. VI.
G. Stark — *Hochempfindliches und schnellarbeitendes Energierichtungsrelais.* AEG Mittl., H. 6/1934.
Inż. T. Valeri — *Wyłączniki wysokiego napięcia i o dużej mocy odłączalnej.* Przegl. El., № 10 i 12/1934.
Dr.-Ing. M. Walter — *Gleichstrom-u. Wandlerstrom-Auslösung.* AEG-Mittl., H. 4/1934.
M. Walter — *Neue Verfahren beim Überstrom-Zeitschutz.* ETZ, H. 9/1934.
Dr.-Ing. M. Walter — *Schutzeinrichtungen.* ETZ, H. 26/1934.
M. Walter — *Über die Eigenschaften der Stromwandler für Schutzrelais.* ETZ, H. 20/1934.

## UZIEMIENIA.

(str. 302—322).

Dr. Max Reithoffer — *Neue Anordnungen für Erdstromlöschspulen.* E. u. M. H. 21/1921.
Dipl.-Ing. H. Schult — *Rechnungsgrössen für Hochspannungsfreileitungen.* AEG-Mittlg. H. 1/1923.
R. Bauch — *Vorbeugender Schutz durch den Löschtransformator gegen Betriebsunterbrechungen.* Siemens-Zt. H. 11 i 12/1924 oraz H. 7 i 8/1925.
Dr. H. Piloty — *Nullpunktsstrom, Nullpunktsspannung, Nullpunktsleistung, Nullpunkts-Blindleistung.* AEG-Mittlg. H. 10/1926.
Dipl.-Ing. H. Langrehr — *Rechnungsgrössen für Hochspannungsanlagen.* AEG-Mittlg. H. 11/1927.
Dr. Ing.Wilhelm Gauster — *Edrschluss-Schutz von Hochspannungsnetzen.* Elin, 1927.
Dr. H. Piloty — *Was messen Wattmeter und Zähler in Drehstrom-Hochspannungsanlagen bei Erdschluss?* Mittl. d. VDEW № 448/1927.
Dr.-Ing. H. Piloty — *Nullpunkterdung elektrischer Generatoren.* AEG-Mittl. H. 6/1929.
— *Erdschlusskompensation langer Fernleitungen (Gesamtbericht II. Weltkraftkonferenz* 1930. B. XIV. № 39. V.).
Dr. Sorge — *Neuerungen auf dem Gebiet des Kurzschluss-und Erdschlusschutzes.* Siemens Zt. H. 9/1929.
Dr.-Ing. W. Bütow — *Nullpunkterdung elektrischer Generatoren.* AEG.-Mittl. H. 1/1930.
— *Erdschlusschutz für Generatoren.* Mittlg. d. VDEW № 510/1930.
Gerhardt Meyer — *Die Brenndauer von Erdschluss-Lichtbögen in gelöschten Netzen.* ETZ. H. 48/1931.
J. Fallou — *Mise à la terre du neutre et protection contre les défauts à la terre des alternateurs associés directement à leurs transfomateurs élévateurs.* Revue Alsthom № 20/1931.
Dr. Benno Mengele — *Die Grenzen der Erdschlusslöschung in Mittelspannungsnetzen.* E. u. M. H. 4 i 5/1934.
Broszura AEG (Technische Beratungsstelle) *Rechnungsgrössen für Hochspannnugsanlagen.* XI. 1929.
Broszura AEG — *Überspannungsschutz durch Erdschluss-Spulen.* 1929.
Broszura AEG — *Erdschlussrelais für Hoch- nd Niederspannungsnetze.* 1930.
Broszura BBC — *Erdschluss-Schutz in Freileitungsnetzen durch die Dissonanz-Löschspule.* Bauart Brown Boveri. 1930.
Broszura S&S — *Die Kompensation des Erdschlusstromes durch Löschtransformatoren.*
Dr.-Ing. Erich Schulze — *Erdschlussprobleme bei grossen Kabelnetzen.* Elektrizitätswirtschaft, Mittl. d. VDEW, Nr. 13—14/1933.

## PRZEPIĘCIA.

(str. 322—473).

Dr.-Ing. Karl Kühlmann — *Grundzüge des Überspannungsschutzes in Theorie und Praxis,* Berlin 1914.
E. Pfiffner — *Theorie und Praxis des Überspannungsschutzes,* Wien 1914.
F. Schrottke — *Überspannungen und Überspannugsschutz,* Siemens-Zeitschrift IV—V—VI — 1921.
Obering. W. Hoffmann — *Schutzapparate gegen Überspannungen,* Siemens-Zeitschrift IV. 1922.
Dr.-Ing. A. Buch — *Die Theorie moderner Hochspannungs-Anlagen,* München. u. Berlin 1922.
Dr.-Ing. Georg J. Meyer — *Sprungwellenschäden u. ihre Bekämpfung durch den Glimmschutz.* Leipzig u. Berlin, 1924.
Dr.-Ing. Erwin Marx — *Versuche über die Prüfung von Isolatoren mit Spannungsstössen,* E. T. Z., H. 25/1924.
— *Messung der Steilheit von Wanderwellen,* E. T. Z., H. 41/1924.
Dipl.-Ing. Richard Stein — *Der Schutzwert des Erdseils bei Hochspannungsfreileitungen,* Siemens Z., H. 8/1925.

D. Gabor — *Einige Untersuchungen mit den Kathodenoszillographen zur Aufklärung von Überspannungserscheinungen*, Mitt. d. VDEW, № 413/1926.

Prof. A. Matthias — *Fortschritte in der Aufklärung der Gewittereinflüsse auf Leitungsanlagen*, Mitt. d. VDEW, № 413/1926.

Dipl.-Ing. H. Appel — *Der Klydonograph als Gerät zur Analyse von Überspannungen*, Elektrizitätswirtschaft, Mitt. d. VDEW, № 438/1927.

Prof. A. Matthias — *Fortschritte in der Aufklärung der Gewittereinflüsse auf Leitungsan*konferenz, Berlin, 1930, Bd. 14, № 423.

A. Matthias — *Gewittereinflüsse auf Leitungsanlagen*. ETZ, H. 41/1927.

Dr.-Ing. E. M. K. Sommer — *Eine einfache Messmethode zur Bestimmung des Über-bezw. Durchschlagsverzugs bei Spannungsstössen*. Elektrizitätswirtschaft, Mittl. d. VDEW 445/1927.

O. Mayr — *Überspannungsableiter mit spannungsabhängigem Widerstand*, AEG-Mitt., H. 3/1929.

Dr.-Ing. W. Bütow — *Nullpunkterdung elektrischer Generatoren*, AEG-Mitt., H. 1/1930.

Inż. Zbigniew Grabowski — *O pojemnościach linij napowietrznych i wartości ochronnej przewodów odgromowych*, Przegl. Elektrotechn., Z. 18/1930.

C. L. Fortescue — *La foudre et ses effets sur les lignes aériennes* (CIE 1930, V. VI. No. 7).

W. W. Lewis — *Protection contre les surtensions dans les réseaux*, CIE 1930, V. VI., No. 14.

F. W. Peek jr. — *La foudre*, CIE 1930, V. VI., No. 7.

— *Lightning and its Effect on the Design of Transmission Lines and Apparatus from the Economic and Engineering Standpoint*, Gesamtbericht, zweite Weltkraftkonferenz, Berlin, 1/1930, Bd. 14, №263.

Dr.-Ing. H. Piloty — *Nullpunkterdung elektrischer Generatoren*, AEG-Mitt., H. 6/1930.

E. Flegler — *Der Blitzschlag in Hochspannungsanlagen und seine Folgen*, E. T. Z., H. 5/1931.

Harald Müller und William Weicher — *Zur Frage der Stossüberschlagspannungen verschiedener Isolatorformen in Abhängigkeit von der Stosspannung*. VDE-Fachberichte 1931.

Dr.-Ing. Harald Müller — *Das Verhalten der Isolatoren gegen Überspannungen verschiedenen zeitlichen Ablaufes*. Hescho-Mitt., H. 53/54—1930, H. 57/58—1931, H. 66/67—1933.

Dietrich Müller-Hillebrand — *Direkte Blitzentladungen in die Nähe von Höchstspannungsstationen und ihre Bekämpfung*, VDE-Fachberichte 1931.

Dietrich Müller Hillebrand — *Die Einwirkung unmittelbarer Blitzentladungen auf Hochspannungsnetze und ihre Bekämpfung*, ETZ. H. 23—24/1931.

Dr.-Ing. D. Müller - Hillebrand — *Gewitterschutz durch Hochspannungs-Kathodenfallableiter*, Siemens-Z., H. 8/1934.

Dietrich Müller-Hillebrand — *Die neuzeitliche Entwicklung von Überspannungs-Schutzgeräten in Hochspannungsanlagen*, ETZ, H. 30—31—32/1934.

Prof. Dr. Inż. Leon Staniewicz — *Podstawy elektrotechniki*, Warszawa, Politechnika, 1932.

Dr.-Ing. G. Frühauf — *Schutzwertbestimmung von Überspannungsableitern*, AEG-Mitt., H. 10/1932.

R. Willheim — *Die Gewitterfestigkeit des Drehstromtransformators*, E. u. M., H. 1 u. 2/1932.

Broszura f-my Concordia, Maschinen- u. Elektrizitäts-G. m. b. H, Stuttgart, № 60—VII—1933. *Der Ferranti-Stosswellenschlucker zum Schutz gegen Überspannungen.*

Prof. Inż. Kazimierz Drewnowski — *Podstawy techniki wysokich napięć*, Warszawa, Politechnika, 1933.

Dipl.-Ing. E. König — *Beitrag zur Frage des Überspannungsschutzes*, ETZ, H. 48/1933.

Dr. Inż. Samuel Dunikowski — *Oscylograf katodowy*, Przegl. Elektrotechn. № 9/1934.

Inż. Stanisław Gieszczykiewicz — *Drzewo jako materjał izolacyjny w budowie linij wysokiego napięcia*, Przegl. Elektrotechn. № 9/1934.

Dr.-Ing. H. Grünewald — *Die Messung von Blitzstromstärken an Blitzableitern und Freileitungsmasten*, ETZ, H. 21—22/1934.

Inż. L. Jung — *Przepięcie atmosferyczne w oświetleniu międzynarodowej konferencji wielkich sieci elektrycznych w Paryżu, r. 1933*, Przegl. Elektrot. № 3 i 4/1934.

VDE — *Leitsätze für die Bewertung und Prüfung von Überspannungsschutzgeräten für Starkstromanlagen*, L. P. Ü. 1934.

Prof. Dr.-Ing. E. Marx — *Elektrostatische Felder um die Fernleitung*, Gesamtbericht II Weltkraftkonferenz, B. XIV, Berlin, 1930.

## ZAKŁÓCENIA RUCHU ELEKTRYCZNEGO.

(str. 473—513)

Dr. Robert Haas — *Die Einwirkung von Betriebsstörungen auf die Wirtschaftlichkeit der Unternehmungen*, Technik u. Wirtschaft, H. 8/1926.

P. Schilling — *Betriebserfahrungen mit verschiedenen Isolatortypen bei Gewitterstörungen*, Elektrizitätswirtschaft, Mitt. d. VDEW, № 425/1926—27.

Deutscher Verband für die Materialprüfungen der Technik (Ausschuss 9) — *Studien über die Prüfung der Transformatorenöle*, Band № 77, Berlin-Zehlendorf (Schweizer — Str. 36), Aug. 1926.

*Richtlinien für den Einkauf und die Prüfung von Schmiermitteln.* Aufgestellt und herausgegeben von dem Verein deutscher Eisenhüttenleutte, Gemeinschaftsstelle Schmiermittel, und dem Deutschen Verband für Materialprüfungen der Technik. (Ausschuss IX), V. erweiterte Auflage, Düsseldorf, 1928.

Dipl.-Ing. J. Wahlig — *Dürfen Brände in unter Spannung stehenden Anlagen mit Wasser gelöscht werden?*, Elektrizitätswirtschaft, Mitt. d. VDEW, № 451/1928.

H. Herz — *Feuerschutz in Elektrizitätswerken*, Elektrizitätswirtschaft. Mitt. d. VDEW, № 507/1930.

Dr. Stefan Namysłowski — *Oleje izolacyjne dla celów elektrotechnicznych*, Toruń, 1929.

Ing. J. Schlögl — *Die Beseitigung von Rauhreif- und Eisbildungen auf Hochspannungsfreileitungen*, Gesamtbericht der II Weltkraftkonferenz, Bd. XIV, № 191/1930.

Carl Stoerk — *Bemerkungen zur Entwicklung von Isolatorformen für Hochspannungsleitungen bei ungünstigen Betriebsbedingungen*, VDE Fachberichte 1931.

Inż. Wilhelm Grossman — *Parę uwag o gospodarce olejem transformatorowym*. Przegl. Elektrotechn., № 3/1931.

Inż. J. Gryff - Chamski — *W sprawie oleju izolacyjnego*, Przegl. Elektrotechn. № 4 i 11/1932.

Dr.-Ing. Benno Mengele — *Die Mittel zur Steigerung der Betriebssicherheit elektrischer Anlagen im Rahmen der Wirtschaftlichkeit*. E. u. M., H. 26/1931.

*Die Ölbewirtschaftung — Betriebsanweisung für die Prüfung. Überwachung und Pflege der Isolier- und Dampfturbinenöle*, 1930, Vereinigung der Elektrizitätswerke E. V., Berlin, W 62.

Dr. Stefan Namysłowski — *Polskie oleje izolacyjne*. Przegl. Elektrotechn. № 8/1931.

Dr. Stefan Suknarowski — *Produkty naftowe w elektrowni i samowystarczalność Polski w tej dziedzinie*, Przegl. Elektrotechn., № 12/1931.

W. Kopczyński — *Wytrzymałość elektryczna olejów izolacyjnych*. Przegl. Elektrotechn., № 9/1931.

— *Transformatory i ich zastosowanie*, Łódź, 1932.

Dr. Stefan Namysłowski — *Jeden czy dwa rodzaje oleju izolacyjnego dla transformatorów i wyłączników*. Przegl. Elektrotechn., № 11 i 15/1932.

W. Kopczyński — *Oleje izolacyjne*, Przegl. Elektrotechniczny, № 16/1932.

F. Chierer i Dr. S. Suknarowski — *Porównanie olejów transformatorowych i turbinowych z ropy parafinowej i bezparafinowej*. Przegl. Elektrotechn., №18/1933.

S. Namysłowski — *Racjonalna gospodarka olejami izolacyjnemi*, Przegl. Elektrotechn. № 10/1933.

Dipl.-Ing. H. Quednau — *Erfahrungen bei der Ölbewirtschaftung im Grosskraftwerk Stettin*, Elektrizitätswirtschaft, REV, Sept. 1933.

Dr.-Ing. H. Richter und A. Ruppelt — *Die Bewährung von Isolier-und Schmieröl-Regeneraten im Betriebe*, Elektrizitätswirtschaft, Zeitschrift REV, Nov./1933.
Dr. Stefan Namysłowski — *Bibuła (papier) filtracyjna do czyszczenia oleju*, Przegl. Elektrotechn., № 7/1934.
E. Wald — *Über die Vorausbestimmung der Rauhreifgebiete auf Grund der geobotanischen Karte*, E. u. M., H. 17/1934.
Dr.-Ing. K. Halbach — *Die elektrische Rauhreif-Abheizung von Freileitungen*, ETZ, H. 2/1933.
W. Zimmermann — *Aluminium im Freileitungsbau*, Elektrizitätswirtschaft, Zeitchr. REV № 10/1934.
John Augustin — *Betriebserfahrungen mit Aluminium in Hochspannungsleitungen*, Elektrizitätswirtschaft, Zeitschrift REV, № 11/1934.
Franz Buske — *Stahlaluminiumseile für Höchstspannungsleitungen*. Elektrizitätswirtschaft. Zeitschr. REV, № 9/1934.
J. Gröbl u. F. Wagner — *Das drehungsfreie Seil für Hochspannungs-Freileitungen*. Elektrizitätswirtschaft, Zeitschr. REV, № 11/1934.
Dr.-Ing. E. Iltgen — *Über das elastische Verhalten von Hochspannungsmasten mit schwenkbaren Auslegern bei Winddruck und ungleichmässiger Eislast*, AEG-Mitt., H. 8 u. 9/1934.
Polski Komitet Normalizacyjny — *Normy. Właściwości przetworów naftowych i Normalne metody ich badania. P. N. — P. 201, 202, 211—219, 261—277, 402, 403, 406, 1001, 1002*. Warszawa, XI. 1933 r.
Red. inż. P. P. Durow i inż. A. D. Smirnow — *Tipowyje instrukcji po ekspłoatacji elektriczeskich sistiem*. Moskwa 1934 Leningrad.

## SYNCHRONIZACJA.

(str. 513—531)

Landsmann — *Die selbsttätige Parallelschaltvorrichtung Bauart BBC*, Mitt. d. VDEW, № 342/1923.
Dr.-Ing. Sterzel — *Elektrostatische Synchronisier-Einrichtung*, Mitt. Koch & Sterzel, № T. 14/1925—VIII. 225.
Ing. H. Puppikofer — *La mise en marche et le couplage en parallel des alternateurs dans les centrales automatiques*, Oerlikon, 1929.
Dr.-Ing. W. Peters — *Neue Verfahren zum Synchronisieren von Synchronmaschinen und Synchronkraftwerken*, Siemens-Z., H. 3 u. 4/1929.
— *Schnellsynchronisierung grosser Maschineneinheiten, ETZ., H. 24/1931.*
R. Keller — *Das automatische Parallelschalten von Synchronmaschinen*, BBC-Mitt., № 3/1930.
Georg Boll — *Die Schnellsynchronisierung in Grosskraftwerken*, VDE-Fachberichte 1931.
R. Dietze — *AEG-Synchronisator*, AEG-Mitt., H. 3/1931.
Erich Friedländer — *Synchronisiersperre zur Sicherung des Betriebes in Kraftwerken und Netzen*, VDE-Fachberichte 1931.
Curt Lommel — *Fortschritte bei der Automatik von Speicherwerken und Momentanreserven*, VDE-Fachberichte 1931.
Curt Lommel und Felix Jäger — *Schnellschaltung von Grossgeneratoren auf schwache Netze*, VDE-Fachberichte 1931.
A. Palm u. S. Rump — *Die Synchronisiereinrichtung nach Sieber für Anschluss an Ölschalter ohne Verwendung von Spannungswandlern*, Bulletin des SEV, № 6/1931.
R. Keller — *Das automatische Parallelschalten von Synchronmaschinen*, BB-Mitt., № 3/1930. H. 7/1931.
Dr. Ing. H. Rengier —*Grobsynchronisierung leerlaufender Turbogeneratoren*, AEG-Mitt. H. 7/1931.
Dr.-Ing. H. Rengier — *Über die Vorgänge beim Grobsynchronisieren von leerlaufenden Synchronmaschinen und Mittel zu ihrer Beeinflussung*. VDE-Fachberichte 1931.
A. Gantenbein — *Selbsttätige Parallelschalteinrichtung für Wechselstromnetze*, Bulletin Oerlikon № 143/1933 oraz Bulletin des SEV № 26/1932.
Dipl.-Ing. H. Wiener — *Die selbsttätige schlupfunabhängige Parallelschalteinrichtung*. Siemens-Z., H. 11 u. 12/1932.

Dipl.-Ing. Fr. Gropp — *Inbetriebsetzen und Anfahren von Dampfturbosätzen*, Elektrizitätswirtschaft, Mittl d. VDEW № 12/1932.
Obering. Werner Skirl — *Messgeräte und Schaltungen zum Parallelschalten von Wechselstrom-Maschinen*, Berlin, 1923.

## ODDZIAŁ UTRZYMANIA I ROZBUDOWY.

(str. 531—546)

Inż. Edward Wagner — *Zadania inżyniera ruchu*. Warszawa, 1923.
Fr. Gropp — *Die Schnellschlussprobe bei Dampfturbinen in der BEWAG*. Elektrizitätswirtschaft, Zeitschrift des REV, № 9/1934.
Inż. M. Żelisławski — *Przyczynek do sprawy racjonalnej rozbudowy części cieplnej elektrowni turbo-parowych*. Przegl. Elektrotechn., № 18/1932.
Inż. K. Śpiewak — *Ekonomiczne prowadzenie gospodarki cieplnej w elektrowniach*. Przegl. Techn., № 25/1933.
Dipl.-Ing. Schneider — *Pflege und Überholung von Generatoren, Transformatoren und Schaltanlagen in Grosskraftwerken*. ETZ, H. 35—36/1933.

## WYDZIAŁ ADMINISTRACYJNY.

(str. 547—562)

Dr. Robert Haas — *Die Rückstellungen bei Elektrizitätswerken und Strassenbahnen*. Berlin, 1916.
Józef Kaczkowski — *Zasady Prawa Akcyjnego*. Warszawa, 1918.
Inż. Aleksander Chądzyński — *Organizacja działu abonentów w elektrowniach*. Przegl. Elektrotechn., № 5/1921.
W. Kent — *Badanie Zakładu Przemysłowego*. Warszawa, 1925.
Henryk Fayol — *Administracja Przemysłowa i Ogólna*. Warszawa, 1926.
Inż. Jerzy Drecki — *Organizacja Pracy, Produkcji i Zbytu*. Warszawa, 1927.
Prof. Vladimir List — *Rapport général sur l'organisation scientifique du travail dans les grands groupements électriques*. Compte-rendu du II. Congrès International, Paris, 1928.
Prof. Scipione R. Treves — *L'organisation scientifique du travail dans les grands groupements électiques particulièrement en Italie*, Compte-rendu du II. Congrès Intenational, Paris, 1928.
W. Świeżawski — *Le système direct et indirect de l'encaissement en Pologne*, Compte-rendu du II. Congrès International, Paris, 1928.
Dr. Walter G. Meyer — *Die Budgetkontrolle und ihre Anwendung in grösseren Elektrizitäts lieferungs-Unternehmungen*. Mittlg. d. VDEW. №517/1930.
Dr. Teofil Seifert — *Polskie bilansoznawstwo*. Lwów-Warszawa, 1930.
Ing. A. Antoine — *Le service public electrique*. Paris, 1931.
Józef Kaczkowski — *Polskie Prawo o Spółkach Akcyjnych. Ustawa i Komentarz*. Poznań, 1931.
H. Queisser — *Die National Electric Light Association*. New-York. Mitt. d, VDEW. № 15/1931.
Mgr. Kazimierz Barliński — *Organizaja nowoczesnego biura*. Warszawa, 1932.
Inż. Eugeniusz Porębski — *Organizacja małego i średniego Przedsiębiorstwa Przemysłowego*. Warszawa, 1932.
Dr.-Inż. Stanisław Bieńkowski — *Administracja i Organizacja Zakładu Przemysłowego*. Lwów, 1933.
Jürgen-Detlof Stenzler — *Aus der Praxis der Budgetkontrolle*. Mitt. d. VDEW. № 20/1933
Maurycy Allerhand — *Kodeks Handlowy*. Komentarz. Lwów, 1935.

## ZAKOŃCZENIE.

(str. 563—581)

Dr. R. Haas — *Elektrizitätswirtschaftsfragen und Völkerbund*. E. T. Z., H. 13/1924:
Dipl.-Ing. A. Menge — *Das Bayernwerk und seine Kraftquellen*. Berlin, 1925.

Dr. Klaus Dohrn — *Internationaler elektrischer Stromaustausch.* ETZ, H. 47/1930.
E. Orlich — *Gleichrichtung grosser Wechselstromleistungen.* ETZ. H. 4/1930.
Dr.-Ing. Helmut Anschütz — *Der Transverter als Niederspannungsgleichrichter.* ETZ. H. 22/1931.
Dr. W. Gosebruch — *Kraftübertragung auf grosse Entfernung bei verschiedenen Stromarten.* ETZ, H. 22/1931.
O. v. Miller — *Die geschichtliche Entwicklung der elektrischen Kraftübertragung auf weite Entfernung.* ETZ, H. 40/1931.
F. Niethammer *Gleichstrom-Höchstspannungsübertragungen.* E. u. M., H. 14/1931.
Inż. G. Sippko — *Wielkie Zagłębie Polskie w europejskich projektach energetycznych.* Technika Cieplna, № 1/1931.
C. Breitfeld — *Frequenz und Grossenergie-Übertragung.* E. u. M., H. 21/1932.
Dr.-Ing. Herbert Buchwald — *Über Lichtbogenstromrichter für sehr hohe Spannungen nach Marx.* E. u. M., H. 41/1932.
Dr. W. Gosebruch — *Die Aussichten der Gleichstrom-Kraftübertragung.* ETZ, H. 19/1932.
Dr.-Ing. C. Th. Kromer — *Stromverrechnung und Stromlieferungsverträge im internationalen Stromaustausch.* ETZ., H. 36/1932.
Dr. H. Laub — *Stromrichter.* E. u. M., H. 22 u: 23/1932:
Erwin Marx — *Ein neuer Stromrichter für sehr hohe Spannungen und Leistungen.* ETZ., H. 31/1932.
H. Piloty — *Wirtschaftlichkeit der Drehstrom-und Gleichstrom Übertragung.* (Rüdenberg, Elektrische Hochleistungsübertragung auf weite Entfernung). Berlin, 1932.
A. Rachel u. Dr. Rissmüller — *Grundlagen und Anwendungen der Stromrichter.* Mittl. d. VDEW, H. 21/1932.
Dr. Ing. E. h. M. Schenkel — *Technische Grundlagen und Anwendungen gesteuerter Gleichrichter und Umrichter.* ETZ., H. 32/1932.
Inż. August Smolański — *Początki rozwoju linij przesyłowych wysokiego napięcia i zwrot do prądu stałego.* Przegl. Elektrotechn., № 11/1932.
A. Amillac P. G. Laurent et J. Augier — *Les convertisseurs thermo-ioniques.* Revue Alsthom, № 27, 28 et 29/1933.
R. Ledrus — *Convertisseurs à vapeur de mercure.* A. C. E. C., № 139/1933.
Dr. A. Partsch — *Gittergesteuerte AEG-Eisengleichrichter.* AEG-Mittl., H. 3/1933.
Inż. August Smolański — *Rtęciowe zawory elektronowe z siatką sterującą i ich zastosowanie praktyczne.* Przegl. Elektr., № 3 i 4/1933.
Dr.-Ing. Walter — *Gleichstrom-Kraftübertragung unter Verwendung von Lichtbogenhammern.* Mitl. d. VDEW, № 3/1933.
A. Matthias — *Technische und wirtschaftliche Probleme bei Leitungsanlagen für höchstgespannten Gleichstrom.* Elektrizitätswirtschaft (REV), № 9 u. 11/1934.

Biblioteka Politechniki Wrocławskiej

# SPIS RYSUNKÓW


| Rys. | | Str. |
|---|---|---|
| 1. | Tablica rozdzielcza dla jednego zespołu w elektrowni wodnej pompowo-zbiornikowej Häusern | 33 |
| 2. | Rozrządnia Centralnego Biura Rozdziału Obciążeń (C. B. R. O.) w Oslo (S & H) | 34 |
| 3. | Urządzenie telefoniczne firmy Siemens & Halske A. G. dla sieci telefonicznej rozpiętej na słupach z przewodami wysokiego napięcia | 37 |
| 4. | Schemat urządzenia telefonicznego dla dwulinjowej sieci telefonicznej, rozpiętej na słupach z przewodami wysokiego napięcia. Obok aparat telefoniczny z przełącznikiem (S&H) | 39 |
| 5. | Urządzenie telefoniczne dwulinjowe, zmontowane na przenośnej ramie | 40 |
| 6. | Złącz telefoniczny na żelaznym słupie linji wysokiego napięcia (S & H) | 40 |
| 7. | Kondensatory sprzężeniowe (S & H) | 41 |
| 8. | Kondensator sprzężeniowy wiszący w stacji rozdzielczej napowietrznej (S & H) | 41 |
| 9. | Stacja telefoniczna nadawczo-odbiorcza wysokiej częstotliwości wzdłużprzewodowej, w wyk. stałem (S & H) | 42 |
| 10. | Stacja telefoniczna nadawczo-odbiorcza wysokiej częstotliwości wzdłużprzewodowej, w wyk. przenośnem (S & H) | 44 |
| 11. | Pomiar zdala systemem kompensacyjnym według AEG. | 46 |
| 12. | Krzywe przebiegu prądu w urządzeniu AEG dla pomiarów, dokonywanych zdala metodą kompensacyjną | 47 |
| 13. | Przyrząd rejestrujący dla pomiarów, dokonywanych zdala metodą kompensacyjną (AEG) | 48 |
| 14. | Schemat ideowy nadajnika urządzenia dla pomiarów, dokonywanych zdala systemem impulsowym firmy AEG. | 49 |
| 15. | Schemat ideowy odbiornika urządzenia dla pomiarów, dokonywanych zdala, syst. impulsowym firmy AEG. | 50 |
| 16. | Odbiornik urządzenia dla pomiarów, dokonywanych zdala, systemem impulsowym firmy AEG, w wykonaniu dla wpuszczenia w tablicę | 52 |
| 17. | Ideowy schemat urządzenia do obsługi zdala, systemem firmy AEG | 55 |
| 18. | Ideowy schemat samoczynnej regulacji zdalnej mocy, przekazywanej do Bawarji z Zakładu Wytw. Achenseewerk w Jenbach według firm BBC i Hartmann & Braun A. G. | 57 |
| 19. | Samoczynnny przyrząd firmy AEG do utrzymania pracy wytwórni według programu | 58 |
| 20. | Tablica z kompletem przyrządów do samoczynnej regulacji mocy systemem BBC, ustawiona w Zakładzie Wytwórczym Achenseewerk w Tyrolu (widok kompletu z przodu) | 58 |
| 21. | Tablica z kompletem przyrządów do samoczynnej regulacji mocy systemem BBC, ustawiona w Zakładzie Wytwórczym Achenseewerk w Tyrolu (widok kompletu z tyłu) | 59 |
| 22. | Spadki napięć na końcu linji przy przesyłaniu energji elektrycznej | 61 |

| Rys. | | Str. |
|---|---|---|
| 23. | Wykres zmiany przepływu prądów bezmocnych pojemnościowych | 65 |
| 24. | Wykres zmiany przepływu prądów bezmocnych indukcyjnych | 66 |
| 25. | Praca równoległa przy napięciach równych na początku i na końcu linji | 68 |
| 26. | Przepływ energji przez dwie równoległe pracujące linje | 71 |
| 27. | Charakterystyki regulacyj jednostek wytwórczych | 78 |
| 28. | Schemat regulacji turbiny | 79 |
| 29. | Wykres samotnej pracy turbiny | 82 |
| 30. | Zmiana statycznej charakterystyki regulacji zależnie od obciążenia | 83 |
| 31. | Zmiana stopnia nierównomierności | 84 |
| 32. | Zmiana częstotliwości, liczby obrotów | 86 |
| 33. | Schemat regulatora z mechanizmem odwodzącym elastycznym | 88 |
| 34. | Urządzenie odwodzące elastyczne | 88 |
| 35. | Idea uzyskiwania stopnia nierównomierności w regulatorach o mechanizmie odwodzącym elastycznym | 90 |
| 36. | Przekrój przez regulację kombinowaną olejową systemu BBC | 91 |
| 37. | Przód turbiny o mocy 2000KW i 3000 obr/min z regulacją olejową kombinowaną jakościowo-ilościową systemu BBC | 94 |
| 38. | Rozdział przyrostu obciążenia między dwiema jednostkami wytwórczemi | 95 |
| 39. | Wpływ kształtu przebiegu statycznej charakterystyki regulacji na wielkość przejmowanego obciążenia | 97 |
| 40. | Zmiana rozdziału obciążeń między dwiema jednostkami wytwórczemi | 99 |
| 41. | Rozdział dziennego obciążenia sieci według A. Rachel'a na poszczególne elektrownie | 103 |
| 42. | Regulacja mocy przez ograniczanie działania regulatora obrotów według W. Kieser'a | 104 |
| 43. | Połączenia międzysieciowe | 112 |
| 44. | Połączenie elektrowni wielkiej z elektrownią małą | 113 |
| 45. | Regulacja turbiny dla utrzymania mocy o stałej wielkości w dowolnym punkcie sieci | 114 |
| 46. | Schemat regulacji mocy turbin pracujących z przeciwprężnością (BBC) | 116 |
| 47. | „a" Spadki napięć między trzema pierścieniowo połączonemi elektrowniami współpracującemi. „b" Regulacja mocy według systemu inż. J Leopancher'a | 117 |
| 48. | Pomiar energji wymienianej między dwiema elektrowniami | 122 |
| 49. | Schematy połączeń zespołu przyrządów dla pomiaru energji wymienianej między elektrowniami | 124 |
| 50a. | Wykres kosztów dostawy energji elektrycznej | 127 |
| 50b. | Wykres Rossarder'a rocznego obciążenia zespołu współpracującego | 127 |
| 51. | Wykres generatora zsynchronizowanego, jałowo biegnącego | 129 |
| 52. | Wykres początkowego obciążenia generatora | 129 |
| 53. | Wykres pracy generatora, obciążonego prądem opóźnionym | 130 |
| 54. | Wykres pracy generatora, obciążonego prądem wyprzedzającym | 131 |
| 55. | Wykres pracy maszyny synchronicznej przy $U_g = \text{const.}$, oraz $i_m = \text{const.}$ | 131 |
| 56. | Wykres zmiany $\sphericalangle \psi = f(i_m)$ przy $W_g = \text{const.}$ | 133 |
| 57. | Wpływ prądu pojemnościowego sieci na wzbudzenie generatora | 134 |
| 58. | Wykres pracy transformatora | 136 |
| 59. | I. Schemat współpracy elektrowni | 137 |
| 60. | II. „ „ „ | 138 |
| 61. | III. „ „ „ | 139 |
| 62. | Przestrzenny wykres napięć zespołu | 140 |
| 63. | Wykres pracy równoległej generatorów | 141 |
| 64. | Mechaniczny model równowagi współpracy elektrycznej według Griscom'a | 142 |
| 65. | Moc oddana $W_s = f(\sin \psi)$ | 154 |
| 66. | Idea regulowania napięcia | 160 |
| 67. | Transformator regulacyjny pokrętny, wyjęty z kadzi olejowej | 162 |
| 68. | Stójnik transformatora regulacyjnego pokrętnego | 162 |
| 69. | Wirnik transformatora regulacyjnego pokrętnego | 163 |
| 70. | Regulacja napięcia pod obciążeniem zapomocą transformatora pokrętnego | 163 |
| 71. | Transformator regulacyjny pokrętny o mocy pozornej 15 000 kVA, dla zakresu regulacyjnego 6—6,6 kV | 163 |

| Rys. | | Str. |
|---|---|---|
| 72. | Transformator regulacyjny pokrętny, zmontowany | 164 |
| 73. | Schemat samoczynnej regulacji napięcia przekaźnikiem typu JS zapomocą transformatora regulacyjnego pokrętnego | 165 |
| 74. | Przekaźnik dla samoczynnej regulacji, typ JS firmy Oerlikon | 166 |
| 75. | Mechaniczny schemat olejowego sterowania regulacji napięcia zapomocą transformatora regulacyjnego pokrętnego | 167 |
| 76. | Elektryczny schemat olejowego sterowania regulacji napięcia zapomocą transformatora regulacyjnego pokrętnego | 168 |
| 77. | Transformator regulacyjny pokrętny z wbudowanym samoczynnym regulatorem napięcia o sterowaniu olejowem | 169 |
| 78. | Idea transformatora suwakowego | 170 |
| 79. | Regulacja napięcia pod obciążeniem zapomocą transformatora suwakowego pojedyńczego | 170 |
| 80. | Ideowy schemat połączeń transformatora suwakowego jako regulatora napięcia $U_k$ = const. | 170 |
| 81. | Trójfazowy transformator suwakowy w montażu | 171 |
| 82. | Wektorowy wykres napięć dla bliźniaczego transformatora suwakowego | 171 |
| 83. | Widok zewnętrzny kompletnie zmontowanego transformatora trójfazowego suwakowego, typ DRTO—1250, (6 $\pm$1) kV | 171 |
| 84. | Idea zaczepów przełączalnych pod obciążeniem | 174 |
| 85. | Regulacja napięcia pod obciążeniem zapomocą transformatora z zaczepami | 174 |
| 86. | Autotransformator trójfazowy o mocy przełykowej 9 200 kVA, 50 okr/sek przełączalny pod obicążeniem 5 460 (5 460 $\pm$ 9 $\times$ 65), (59), (54) woltów. Ustawiony w Krakowie w linji Jaworzno (wyjęty z kadzi olejowej) | 175 |
| 87. | Trójfazowy transformator regulacyjny o mocy przełykowej 60 000 kVA, nap. rob. 100 kV $\pm$ 10% w 8-miu stopniach. nastawialnych pod obciążeniem | 176 |
| 88. | Schemat dołączeń do sieci transformatora regulacyjnego pokrętnego zapomocą transformatorów izolacyjnych | 177 |
| 89. | Regulacja napięcia pod obciążeniem zapomocą kompensacji sztucznej generatorami bezmocnemi | 179 |
| 90. | Krzywa Mordey'a | 180 |
| 91. | Sieć 220 kV Southern California Edison Co. | 181 |
| 92. | Regulacja napięcia pod obciążeniem przez zmianę spadku napięcia w transformatorze | 182 |
| 93. | Regulacja napięcia pod obciążeniem zapomocą kompensacji wyrównawczej | 188 |
| 94. | Schemat odcinka sieci 100 kV z kompensatorami synchronicznemi | 189 |
| 95. | Model Griscom'a równowagi pracy równoległej dla sieci kompensowanej systemem Baum'a | 189 |
| 96. | Schemat stacyj pośrednich sieci REW 220 kV i jej kompensacji zapomocą dławików | 194 |
| 97. | Sześć dławików kompensacyjnych, każdy o mocy pozornej 6000 kVA, 10 kV, ustawionych dla kompensacji prądów pojemnościowych w Essen w sieci 220 kV reńsko-westfalskiej | 195 |
| 98. | Przebiegi prądów zwarcia | 200 |
| 99. | Skutki eksplozji wyłącznika olejowego (R. Rüdenberg) | 202 |
| 100. | Przeciwzwarciowe zabezpieczenia linij dławikami | 204 |
| 101. | Przeciwzwarciowe zabezpieczenia szyn zbiorczych dławikami | 205 |
| 102. | Dławik dla sieci o napięciu 11 kV i 200 A | 205 |
| 103. | Opadająca charakterystyka łuku elektrycznego | 211 |
| 104. | Przebiegi napięć podczas odłączania | 212 |
| 105. | Przebiegi elektryczne w przestrzeni, zawartej między katodą i anodą | 212 |
| 106. | Przebieg napięć łuku w dwuprzerwowym wyłączniku | 214 |
| 107. | Jednofazowy wyłącznik olejowy napowietrzny f-my BBC, typ AF, 200 kV, 400 A, wyjęty z kotła | 215 |
| 108. | Jednofazowy wyłącznik olejowy napowietrzny firmy BBC typ AF dla znamionowego napięcia roboczego 220 kV i znamionowego prądu 400 A | 216 |
| 109 | Trójkotłowy wyłącznik olejowy dla sieci o napięciu roboczem 3$\times$220 kV (Z. E. Gross-Auheim) | 217 |

| Rys. | | Str. |
|---|---|---|
| 110. | Komora wybuchowa wyłącznika olejowego w stadjum pracy początkowem, pośredniem i końcowem | 219 |
| 111. | Wyłącznik olejowy z komorą wybuchową, rząd 10, 350 A, o mocy odłączalnej 400 MVA | 220 |
| 112. | Idea wyłącznika olejowego z komorą olejową | 220 |
| 113. | Schemat wyłącznika powietrznego | 221 |
| 114. | Dysza wyłącznika powietrznego w stadjum pracy początkowem, pośredniem i końcowem | 221 |
| 115. | Wyłącznik powietrzny, rząd 10, typ CPJ, 600 A, moc odłączalna 200 MVA | 222 |
| 116. | Wyłącznik powietrzny, rząd 100, typ CPF, 600 A, moc odłączalna 1500 MVA, w wykonaniu napowietrznem | 222 |
| 117. | Wyłącznik powietrzny firmy Delle | 223 |
| 118. | Komora wodna wyłącznika CW firmy AEG | 224 |
| 119. | Wyłącznik wodny CW firmy AEG, rząd 10, 600 A | 224 |
| 120. | Trójbiegunowy wyłącznik wodny f-my BBC, typ U 11 p. 400, bez napędu w położeniu załączenia; nom. nap. 11 kV, nom. prąd 2 500 A, moc odłącz. 400 MVA | 225 |
| 121. | Trójbiegunowy wyłącznik wodny f-my BBC, typ U 24 k 250, bez napędu, w położeniu załączenia; nom. nap. 11 kV, nom. prąd 2 500 A, moc odłącz. 400 MVA | 225 |
| 122. | Wyłącznik wodny, typ U 24 i 250 f-my BBC | 227 |
| 123. | Przekrój przez komorę wodną wyłącznika wodnego BBC | 228 |
| 124. | Oscylogram zwarcia odłączonego wyłącznikiem wodnym firmy BBC, typu U 11 i 250 | 228 |
| 125. | Różne możliwości urzeczywistnienia idei wyłącznika rozprężeniowego | 229 |
| 126. | Wyłącznik rozprężeniowy typu T. Gr R. 604, rzędu 10, 600 A | 229 |
| 127. | Poszczególne części komory wodnej wyłącznika rozprężeniowego SSW T. Gr. R. 604, rzędu 10, 600 A | 230 |
| 128. | Wyłącznik rozprężeniowy typu T. Gr. R. 620, 200 kV, 600 A | 230 |
| 129. | Przekrój przez wyłącznik olejowy konwekcyjny firmy BBC | 231 |
| 130. | Jednobiegunowy wyłącznik konwekcyjny f-my BBC, typ T64 z wbudowanym odłącznikiem, bez napędu; nom. nap. 64 kV, moc odłącz. 800 MVA | 232 |
| 131. | Trójbiegunowy wyłącznik konwekcyjny f-my BBC, typ R. 135, z wbudowanym odłącznikiem, bez napędu; nom. nap. 135 kV, moc odłącz. 1600 MVA | 232 |
| 132. | Stos dejonizacyjny zmontowany | 233 |
| 133. | Stos dejonizacyjny: „a" — płytka, „b" — schemat | 233 |
| 134. | Wyłącznik dejonizacyjny powietrzny f-my Westinghouse dla prądu trójfaz., 2000 A, 15000 V | 234 |
| 135. | Trójfazowe łukowe jednoczestne zwarcie i uziemienie linji 110 kV Meitingen — Norymberga (próbne) | 238 |
| 136. | Rozpływ prądów i przebieg napięć w sieci zwartej | 239 |
| 137. | Ciągła charakterystyka zabezpieczenia sieci przekaźnikami opornościowemi | 240 |
| 138. | Wpływ stałej „k" przekaźników opornościowych na kolejność odłączeń | 242 |
| 139. | Ideowy schemat przekaźnika opornościowego | 244 |
| 140. | Krzywe oporności pozornej | 244 |
| 141. | Ideowy schemat organu rozruchowego pozorno-opornościowego zredukowanego | 245 |
| 142. | Ideowy schemat organu orzruchowego nadmiarowego | 245 |
| 143. | Ideowy schemat organu rozruchowego napięciowo-opadowego | 246 |
| 144. | Prostolinijne przebiegi oporności pozornych rozruchowych | 248 |
| 145. | Idea zakrzywiania charakterystyki rozruchowej | 248 |
| 146. | Krzywe oporności pozornych roboczych dla napięć różnych, lecz const. | 249 |
| 147. | Hyperboliczny przebieg oporności pozornej rozruchowej oraz obwiednia łukowych oporności pozornych | 249 |
| 148. | Ideowy schemat pozorno-opornościowego zredukowanego organu rozruchowego o charakterystyce hyperbolicznej | 250 |
| 149. | Ideowy schemat organu rozruchowego pozorno-opornościowego f-my Oerlikon, działającego na zasadzie elektromegnatycznej | 252 |
| 150. | Elektromegnatyczny organ rozruchowy pozorno-opornościowy | 252 |

| Rys. | | Str. |
|---|---|---|
| 151. | Organ rozruchowy pozorno-opornościowy zredukwany firmy Oerlikon | 253 |
| 152. | Organ rozruchowy firmy Oerlikon w okapturzeniu | 253 |
| 153. | Przebieg urojonej oporności roboczej | 255 |
| 154. | Perspektywiczny widok organu ryglującego f-my Oerlikon | 257 |
| 155. | Organ pomiarowy, pozorno-opornościowy f-my Oerlikon | 257 |
| 156. | Organ pomiarowy urojono-opornościowy o działaniu ryglującem | 258 |
| 157. | Układ połączeń obwodu napięciowego organu pomiarowego f-my Oerlikon | 258 |
| 158. | Organ zegarowy ze wskaźnikiem odległości zwarcia firmy Oerlikon | 259 |
| 159. | Plan zabezpieczenia sieci przekaźnikami o charakterystyce odłączań łamanej „a" i ciągłej „b" | 260 |
| 160. | Wykres prądów i napięć dla przypadku zwarcia dwóch faz sieci trójfazowej obciążonej | 260 |
| 161. | Widok wewnętrzny zabezpieczającego kompletu urojono-opornościowego | 262 |
| 162. | Widok zewnętrzny zabezpieczającego kompletu urojono-opornościowego | 263 |
| 163. | Trójfazowe zwarcie łukowe sieci 45 kV | 263 |
| 164. | Zmiana oporności Z łuku w miarę upływu czasu t, wyrażonego w okresach, od chwili powstania łuku | 264 |
| 165. | Łuk pod napięciem 132 kV | 265 |
| 166. | Trójkąt oporności obwodu zwartego metalicznie i łukowo | 266 |
| 167. | Zdjęcie filmowe f-my BBC zwarcia dwuprzewodowego linji napowietrznej wys. nap. | 266 |
| 168. | Organ rozruchowy pozorno-opornościowy BBC | 269 |
| 169. | Przekaźnik opornościowy BBC | 269 |
| 170. | Idea mechaniki odłączania przekaźnika oporn. BBC | 270 |
| 171. | Schemat omomierza dynamometrycznego z przekaźnika opornościowego BBC | 270 |
| 172. | Układ ruchomy organu pomiarowego z przekaźnika BBC | 272 |
| 173. | Układ Hummel'a z cewkami napięciowemi organu pomiarowego urojono-opornościowego BBC | 272 |
| 174. | Wykres wektorowy układu Hummel'a z cewkami napięciowemi organu pomiarowego BBC | 273 |
| 175. | Schemat układu napięciowego w organie pomiarowym czynno-opornościowym | 273 |
| 176. | Wykres wektorowy układu napięciowego w organie pomiarowym czynno-opornościowym | 275 |
| 177. | Układ napięciowy organu pomiarowego przekaźnika LK firmy BBC | 275 |
| 178. | Przekrój pionowy organu pomiarowo-ryglującego firmy BBC | 275 |
| 179. | Różne stany pracy przekaźnika opornościowego BBC | 277 |
| 180. | Charakterystyka czasu odłączania przekaźników pozorno-opornościowych BBC przy obciążeniu od 3,3 do 80 A | 278 |
| 181. | Wieloprzekładniowy transformator miernikowy napięciowy typu H f-my BBC | 278 |
| 182. | Schemat połączeń ochrony dwuprzekaźnikowej sieci trójfazowej z izolowanym punktem zerowym | 279 |
| 183. | Samoczynny przełącznik BBC | 280 |
| 184. | Zasadniczy schemat połączeń ochrony trójprzekaźnikowej sieci trójfazowej o izolowanym punkcie zerowym | 281 |
| 185. | Wykres napięć | 282 |
| 186. | Sieć zamknięta oraz sieć obustronnie zasilana z uziemieniami jednoczesnego w dwóch fazach | 283 |
| 187. | Schemat połączeń ochrony trójprzekaźnikowej sieci trójfazowej o izolowanym punkcie zerowym | 284 |
| 188. | Przyrząd do sprawdzania przekaźników opornościowych | 286 |
| 189. | Schemat N-przekaźnika pozorno-opornościowego f-my Dr. P. Meyer | 287 |
| 190. | Kinematyka przekaźnika N f-my Dr. P. Meyer | 287 |
| 191. | Przekaźnik oporowo-opornościowy N f-my Dr. P. Meyer | 287 |
| 192. | Przekaźnik opornościowy AEG | 288 |
| 193. | Schematyczny układ przekaźnika opornościowego f-my AEG | 288 |
| 194. | Układ wewnętrznych połączeń przekaźnika opornościowego firmy AEG | 289 |

| Rys. | | Str. |
|---|---|---|
| 195. | Charakterystyka działania organu pomiarowego przekaźnika AEG | 290 |
| 196. | Schemat połączeń przekaźników oporność. f-my AEG w przypadku połączenia uzwojeń napięciowych układu watomierzowego przekaźnika w trójkąt, a uzwojeń prądowych w gwiazdę | 291 |
| 197. | Charakterystyka zabezpieczeń sieci obustronnie ograniczona oraz jej przekształcenia | 292 |
| 198. | Plan zabezpieczenia sieci przekaźnikami opornościowemi o charakterystyce odłączań schodkowej | 293 |
| 199. | Idea zabezpieczenia sieci przekaźnikami pośpiesznego działania f-my AEG | 294 |
| 200. | Schemat ideowy przekaźnika pozorno-opornościowego Siemens'a, typu RΩ2 | 295 |
| 201. | Organ pomiarowy przekaźnika pozorno-opornościowego Siemens'a, typu RΩ2 | 295 |
| 202. | Przekaźnik RZIb pozorno-oporn. z kontaktami przyśpieszonego odłączania S&H. Widok zewnętrzny | 296 |
| 203. | Przekaźnik RZIb pozorno-oporn. z kontaktami przyśpieszonego odłączania S&H. Widok wewnętrzny | 297 |
| 204. | Organ ryglujący RW6 dynamometryczny trójfaz. S&H | 298 |
| 205. | Schemat ideowy organu pomiarowego przekaźnika f-my Siemens typu RZH z kontaktami przyśpieszonego odłączania | 298 |
| 206. | Charakterystyka zabezpieczeń sieci skokami oraz jej przekształcenia | 300 |
| 207. | Plan zabezpieczenia seci przekaźnikami o charakterystyce odłączań skokowej | 300 |
| 208. | Wykres prądów i napięć dla sieci zdrowej i dla sieci z uziemioną fazą T | 303 |
| 209. | Ustosunkowanie się napięć w przypadku uziemienia jednej fazy, dokonanego w chwili, gdy $\alpha = \omega . t = 90^0$ | 304 |
| 210. | Przypadek odwrócenia trójkąta napięć w sieci słabo obciążonej | 305 |
| 211. | Wykres kompensacji prądów | 306 |
| 212. | Schemat dławika gaszącego Petersen'a | 307 |
| 213. | Łuk o prądzie uziemienia 60A, powstały w sieci 100 kV, niezaopatrzonej w dławiki gaszące | 309 |
| 214. | Łuk o reszcie prądowej 7 A ind., powstałej w sieci 100 kV, zaopatrzonej w dławiki gaszące | 309 |
| 215. | Niezgaszony łuk w przypadku nazbyt wielkiego niedostrojenia dławika gaszącego | 310 |
| 216. | Rozkład potencjału dookoła żelaznego słupa z przebitym izolatorem | 312 |
| 217. | Dławik gaszący Petersen'a dla sieci napowietrznej o napięciu 220 kV | 314 |
| 218. | Dławik gaszący dysonansowy BBC, 905 kVA, dla ochrony sieci o napięciu 55 kV | 314 |
| 219. | Układy połączeń dławików zerowych | 315 |
| 220. | Schemat dławika gaszącego Bauch'a | 316 |
| 221. | Dławik gaszący Bauch'a 7000 kVA, w sieci 100 kV | 317 |
| 222. | Schemat dławika gaszącego Reithoffer'a | 318 |
| 223. | Dławik gaszący Reithoffer'a wyjęty ze skrzyni olejowej | 318 |
| 224. | Dławik gaszący Reithoffer'a w sieci 60 kV | 319 |
| 225. | Oddziaływanie uziemienia jednej fazy toru 1 na elektrycznie niezależny tor 2, na wspólnych słupach | 319 |
| 226. | Kompensacja przesunięcia punktu zerowego w jednym torze, spowodowanego uzieniem fazy toru drugiego | 319 |
| 227. | Przekaźnik uziemieniowy f-my AEG | 320 |
| 228. | „a" — ciąg fal drgających, „b" — fala wędrowna | 325 |
| 229. | Odbicie fal w miejscu zmiany oporności falowej | 326 |
| 230. | Przepływ przepięcia przez transformator | 328 |
| 231. | Drgania fali wędrownej między dwoma krańcami dołączonego odcinka linji | 330 |
| 232. | Fala stojąca i przejście jej w falę wędrowną skutkiem zniknięcia ładunku chmury | 337 |
| 233. | Powstanie fali wędrownej z fali stojącej, spowodowane przebiciem izolatora | 337 |
| 234. | Kondensator jednowarstwowy | 339 |
| 235. | Kondensator dwuwarstwowy | 339 |
| 236. | Kondensator trójwarstwowy | 341 |
| 237. | Wpływanie środkowej chmury obojętnej | 341 |
| 238. | Wpływanie środkowej chmury dodatnio naładowanej | 343 |

| Rys. | | Str. |
|---|---|---|
| 239. | Wpływanie środkowej chmury ujemnie naładowanej | 343 |
| 240. | Kształt piorunów zależnie od znaku ładunku chmury | 345 |
| 241. | Piorun bijący z dodatnio naładowanej chmury do ziemi | 345 |
| 242. | Stwierdzenie kierunku uderzenia pioruna i pomiar natężenia jego prądu | 347 |
| 243. | Bezpośrednie uderzenie pioruna w słup | 347 |
| 244. | Stromość czoła fali | 348 |
| 245. | Siedem słupów, uszkodzonych bezpośredniem uderzeniem pioruna w linję 22 kV | 350 |
| 246. | Odtworzenie łuku międzyprzewodowego, zasilanego prądem roboczym, spowodowanego bezpośredniem uderzeniem pioruna | 352 |
| 247. | Transformator probierczy na 750 kV, 450 kVA | 353 |
| 248. | Schemat połączeń urządzenia do przeprowadzania prób napięciem do 750 kV o częstotliwości roboczej | 354 |
| 249. | Transformator Tesli do badania izolatorów napięciem wys. częstotl. 60000 do 80000 okr/sek i amplitudzie nap. do 1 miljona woltów | 355 |
| 250. | Charakterystyczne przebiegi fal uskokowych oraz zależne od tych przebiegów opóźnienia przeskoku | 357 |
| 251. | Wpływ kształtu fali uskokowej na wyładowanie | 359 |
| 252. | Zależność opóźnienia wyładowania od wielkości impulsu fali uskokowej | 360 |
| 253. | Czasy charakterystyczne fali uskokowej | 362 |
| 254. | Wielkości charakterystyczne fali uskokowej wg VDE 1935 | 363 |
| 255. | Generator fal uskokowych wg. prof. Marx'a. „a" „b" „c" | 364 |
| 255. | „d" — Generator fal uskokowych f-my K. Szpotański i Sp. W-wa | 365 |
| 256. | Generator fal uskokowych f-my „A. de C. E. de Charleroi" | 366 |
| 257. | Generator fal uskok. f-my Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren-Gesellschaft | 367 |
| 258. | Hala do prób falami uskokowemi (Norden S/A) | 368 |
| 259. | Widok zgóry generatora fal uskokowych dla 2,25 milj. woltów (Norden S/A) | 369 |
| 260. | Schemat połączeń generatora fal uskok. (Norden S/A) | 370 |
| 261. | Generator fal uskokowych wg VDE 1935 | 371 |
| 262. | „a" — obwód zastępczy generatora fal uskokowych, „b" — wykładniczy przebieg grzbietu fali uskokowej | 371 |
| 263. | Wpływ czasu stałego T grzbietu fali na wyładowanie | 374 |
| 264. | Przeskok na sucho wzdłuż izolatora wsporczego VH 6873 ustawionego na uziemionej płycie żelaznej, spowodowany prądem o częst. roboczej i napięciem skutecznem 380 kV | 382 |
| 265. | Przeskok na sucho wzdłuż izolatora wsporczego VH 6873, ustawionego na uziemionej płycie żelaznej, spowodowany dodatnią falą uskokową o amplitudzie 870 kV max. | 382 |
| 266. | Pole elektryczne wzdłuż izolatora wsporczego, wytworzone ładunkiem fali uskokowej, tuż przed przeskokiem, przyczem izolator wsporczy ustawiony na izolowanej płycie żelaznej, połączony z bieg. ujemnym, natomiast do głowicy izolatora doprodzono ładunek dodatni | 383 |
| 267. | Pole elektryczne wzdłuż izolatora wsporczego, wytworzone ładunkiem fali uskokowej, tuż przed przeskokiem, przyczem izolator wsporczy ustawiono na izolowanej płycie żelaznej, połączonej z bieg. dodatnim, natomiast do głowicy izolatora doprowadzono ładunek ujemny | 384 |
| 268. | Izolatory przebite falami uskokowemi | 384 |
| 269. | Uszkodzenia | 385 |
| 270. | Uszkodzenia falami uskokowemi | 385 |
| 271. | Zależność drogi wyładowania od ustosunkowania wymiarów pierścienia do długości wisiora | 390 |
| 272. | Fotografja pola elektrycznego między pierścieniami ochronnemi wisiora, powstałego skutkiem fali uskokowej o bardzo stromo opadającym grzbiecie, tuż przed przeskokiem | 391 |
| 273. | Przeskok fali uskokowej wzdłuż ośmioczłonowego wisiora z izolatorów kołpakowych, ochranianego na przewodzie pierścieniem, a na ramienniku rożkami | 392 |
| 274. | Przeskok fali uskokowej wzdłuż jedenastoczłonowego wisiora z izolatorów kołpakowych ochranianego na przewodzie pierścieniem, z kołem pośredniem i rozkami na ramienniku | 392 |

| Rys. | | Str. |
|---|---|---|
| 275. | Prawdopodobieństwo bezpośredniego uderzenia pioruna w linję | 398 |
| 276. | Wyznaczanie osłonnej wysokości podwieszenia linki ochronnej | 401 |
| 277. | Przejście fal przez punkt węzłowy | 409 |
| 278. | Mapa średniej rocznej ilości dni burzliwych w poszczególnych krajach świata | 414 |
| 279. | Rozkład napięć w obszarze niebezpiecznym | 415 |
| 280. | Przepięcia łączeniowe i wyłączeniowe | 424 |
| 281. | Tlejący przyrząd Dr. Paul Meyer'a | 431 |
| 282. | Pochłaniacz fal firmy Ferranti Incorporated N. Y. City, U. S. A. | 431 |
| 283. | Instalacja napowietrznych pochłaniaczy fal w stacji o napięciu roboczem 22 kV | 432 |
| 284. | Pochłaniacze fal i oscylogramy fal przepuszczonych | 432 |
| 285. | Pochłaniacz fal Ferranti'ego typu D. | 432 |
| 286. | Przekrój przez pochłaniacz fal Ferranti'ego typu D. | 433 |
| 287. | Klidonogram napięcia na pierwszych zwojach transformatora włączonego w linję napowietrzną | 433 |
| 288. | Przejście i odbicie fali, gdy w linję włączono różne oporności | 434 |
| 289. | Działanie ochronne przyrządu przeciwprzepięciowego, włączonego w ciąg linji | 434 |
| 290. | Ideowy schemat sieci elektrycznej, zabezpieczonej ochronnikiem przeciwprzepięciowym | 435 |
| 291. | Przyrząd ochronny przeciwprzepięciowy Dr. Bendmann'a rzędu 20, wnętrzowy. (S. Kleiman i S-wie. Warszawa) | 443 |
| 292. | Przyrząd ochronny przeciwprzepięciowy Dr. Bendmannn'a rzędu 30, napowietrzny. (S. Kleiman i S-wie, Warszawa) | 443 |
| 293. | „a" przyrząd ochronny przeciwprzepięciowy Dr. Bendmann'a, „b" przyrząd ochronny przeciwprzepięciowy dwustopniowy Siemens'a | 444 |
| 294. | Oscylogram przepięcia likwidowanego przyrządem ochronnym Dr. Bendmann'a | 444 |
| 295. | Porównanie iskiernika kulowego z rożkowym | 445 |
| 296. | Charakterystyki wartości ochronnej | 448 |
| 297. | Oscylogram katodowy fali uskokowej w stacji krańcowej o napęciu roboczem 15 kV | 449 |
| 298. | Charakterystyki wartości ochronnej ochronników SAW przy oporności falowej Z. = 500 omów | 450 |
| 299. | Ochronnik SAW f-my AEG typu napowietrznego, w przekroju | 451 |
| 300. | Iskiernik Wien'a w ochronniku SAW f-my AEG | 452 |
| 301. | Ochronnik SAW, 10 kV, w wykonaniu napowietrznem | 452 |
| 302. | Przekrój przez ochronnik resorbitowy | 453 |
| 303. | Wpływ przyrządu ochronnego resorbitowego na falę uskokową | 453 |
| 303. | „c" — Charakterystyki wartości ochronnej ochronników f-my K. Szpotański i Sp. Warszawa | 453 |
| 303. | „d" — Ochronnik napowietrzny dla 15 kV, f-my K. Szpotański i Sp. Warszawa | 454 |
| 304. | Schemat stosu katodowego | 455 |
| 305. | Wyładowania tlejące w stosie katodowym | 455 |
| 306. | Katodowe oscylogramy przebiegu napięcia na ochronniku katodowym R=478 w zależności od natężenia prądu wyładowania | 456 |
| 307. | Przyrządy ochronne przeciwprzepięciowe katodowe w wykonaniu napowietrznem | 457 |
| 308. | Przekrój przez przyrząd ochronny przeciwprzepięciowy katodowy | 457 |
| 309. | Przykład ustawienia u wejścia do transformatorni przyrządów ochronnych przeciwprzepięciowych | 459 |
| 310. | Oscylogram przebiegu w czasie fali wędrownej w stacji krańcowej 10 kV | 459 |
| 311. | Oscylogram przebiegu w czasie fali wędrownej w stacji krańcowej 15 kV | 459 |
| 312. | Oscylogram przebiegu w czasie fali wędrownej w stacji krańcowej 40 kV | 460 |
| 313. | Licznik wyładowań w ochronniku SAW f-my AEG | 460 |
| 314. | Koordynacja izolacji linji z izolacją stacji przelotowej dla napięć roboczych od 3 do 30 kV, w zależności od charakterystyki wartości ochronnej przyrządu katodowego (Siemens) | 461 |
| 315. | Koordynacja izolacji linji z izolacją stacji krańcowej dla nap. rob. od 3 do 30 kV | 462 |
| 316. | Koordynacja izolacji linji z izolacją stacji przelotowej dla nap. rob. od 25 do 60 kV | 463 |
| 317. | Koordynacja izolacji linji z izolacją stacji krańcowej dla nap. rob. od 25 do 60 kV | 464 |

| Rys. | | Str. |
|---|---|---|
| 318. | Iskiernik ochronny Peek'a dla ochrony słupów drewnianych | 467 |
| 319. | Iskiernik ochronny wg. A. Vaupel'a | 467 |
| 320. | Trójbiegunowy wyłącznik olejowy, typ OVF 16 i 3, 64 kV, 400 A, 550 MVA, zaopatrzony w iskierniki ochronne | 469 |
| 321. | Izolator zarysowany i w miejscu skrzyżowania się rys przebity falą uskokową | 477 |
| 322. | Wys. nap. rob. w procent., przypadająca na ogniwo przyprzewodowe (do 12 ogniw) | 478 |
| 323. | Wpływ uzbrojenia ochronnego na rozkład napięcia wzdłuż pięcioogniwowego wisiora | 479 |
| 324. | Wyładowanie wzdłuż nośnego wisiora pojedyńczego | 480 |
| 325. | Wyładowanie wzdłuż nośnego wisiora podwójnego | 480 |
| 326. | Rozkład napięcia wzdłuż suchych wisiorów pojedyńczych | 481 |
| 327. | Rozkład napięcia wzdłuż suchych wisiorów podwójnych | 482 |
| 328. | Drążek pomiąrowy firmy Siemens | 485 |
| 329. | Prawidłowe zakładanie przewodów | 490 |
| 330. | Mocowanie przewodów na słupie narożnym | 491 |
| 331. | Przekaźnik Buchholz'a w wykonaniu f-my SSW | 496 |
| 332. | 4 transformatory 6,5/130 kV po 30000 kVA każdy, zabezpieczone przekaźnikami Buchholz'a | 496 |
| 333. | Przekaźnik Buchholz'a | 497 |
| 334. | Schemat zabezpieczenia transformatorów przekaźnikami Bnchholz'a | 498 |
| 335. | Słup o poprzeczkach wahliwych, 60 kV (Südhart.) | 499 |
| 336. | Sprężyna wyrównywująca naciągi przewodów | 500 |
| 337. | Pierwszy wypadek ścięcia słupa przez burzę | 501 |
| 338. | Drugi wypadek ścięcia słupa przez burzę | 501 |
| 339. | Trzeci wypadek ścięcia słupa przez burzę | 502 |
| 340. | „a" — droga odchylenia się wirnika, „b" — wkołysanie się wirnika w położenie równowagi | 516 |
| 341. | Różnice napięć między generatorem zastępczym a generatorem przyłączanym | 519 |
| 342. | Synchronizacja z użyciem oporności dodatkowych | 523 |
| 343. | Czas wyprzedzenia impulsu przyłączenia przy synhronizowaniu | 325 |
| 344. | Zamykanie pierścienia linji okrężnej | 528 |
| 345. | Schemat uruchamiania zapasowego turbogeneratora | 529 |
| 346. | Samochód amerykański, przystosowany specjalnie do utrzymania i rozbudowy sieci | 539 |
| 347. | Samochód kopaczka-dźwig | 540 |
| 348. | Samochód kopaczka-dźwig przy pracy | 541 |
| 349. | Samochód kopaczka-dźwig przy stawianiu słupa oraz przenoszeniu transformatora | 542 |
| 350. | Schemat organizacji Wielkiego Przedsiębiorstwa Elektryfikacyjnego | 565 |
| 351. | Graficzny schemat organizacji elektryfikacji w najszerszym zakresie | 567 |
| 352. | Wielka Sieć Bawarska i jej przedsiębiorstwa okręgowe | 568 |
| 353. | Sieć paneuropejska 400 KV wg projektu Oliven'a | 570 |
| 354. | Sieć paneuropejska 400 kV wg projektu Viel'a | 573 |
| 355. | Główne systemy transportu wielkich mocy na wielkie odległości | 576 |




# ERRATA

| | | jest | powinno być |
|---|---|---|---|
| str. 61 | rys. 22 e | $J_b\,\omega$ | $J_i \,.\, \omega L$ |
| „ 63 | w. 6 od góry | $\Delta U = J_w \,.\, R - J_c = \omega L$ | $\Delta U = L_w \,.\, R - J_c \,.\, \omega L$ |
| „ 63 | w. 9 od dołu | stale | skreślić |
| „ 66 | w. 15 od dołu | $O_a$ | $Oa$ |
| „ 67 | w. 20 od dołu | wówczas | wówczas ($\sphericalangle \alpha$ jest mały) |
| „ 74 | w. 24 od góry | sposób | sposób rozdziału |
| „ 74 | w. 6 od dołu | $\omega = \frac{2\pi f_l}{p}$ | $\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p_1}$ |
| „ 129 | w. 10 od dołu | $x_2$ | $x_i$ |
| „ 132 | w. 10 od dołu | $Ug$ | $U_g$ |
| „ 133 | w. 3 od góry | $x^s$ | $x_s$ |
| „ 158 | w. 21 od góry | $f^n$ | $f_n$ . |
| „ 179 | rys. 89. w dolnej lewej ćwiartce | — | + |
| „ 179 | rys. 89. w dolnej prawej ćwiartce | + | — |
| „ 184 | w. 4 od dołu (we wzorze) | $10^{-3}$ (dwukrotnie) | $10^{+3}$ |
| „ 188 | w. 1 od góry | $W_2$ | $P_2$ |
| „ 190 | w. 13 od dołu | 1,625 | 1,6 |
| „ 191 | w. 11 od dołu | $= 1{,}045 \,.\, x \,.\, \frac{k}{1+k}$ | $= 1{,}04 : x \,.\, \frac{k}{1+k} \,.\, 10^{-3}$ |
| „ 191 | w. 8 od dołu | we wzorze dopisać: | $. 10^{-3}$ |
| „ 191 | w. 5 od dołu | „ „ „ | $. 10^{-3}$ |
| „ 201 | w. 22 od dołu | verfahren | Verfahren |
| „ 202 | w. 7 od dołu | $l$ cm | 1 cm |
| „ 203 | we wzorze | $s$ | $s^2$ |
| „ 209 | tabela | trójkotłowe | jednokotłowe |

| | | jest | powinno być |
|---|---|---|---|
| str. 209 | tabela | jednokotłowe | trójkotłowe |
| „ 290 | w. 3 od góry | siu | się |
| „ 335 | w. 8 od dołu | popieroco | dopieroco |
| „ 341 | w. 9 od góry | zressztą | zresztą |
| „ 347 | w. 2 od dołu | Höchstpannungsan- lagen | Höchstspannungsan- lagen |
| „ 348 | w. 21 od góry | natrali | natrafi |
| „ 370 | w. 5 od dołu | 9, 10, 11, 12 | 8, 10, 11, 12 |
| „ 371 | w. 1 od dołu | wykład iczy | wykładniczy |
| „ 378 | w. 6 od dołu | $\beta^s$ | $\beta_s$ |
| „ 389 | w. 2 od góry | $'^2_r$ | $\alpha^2_r$ |
| „ 389 | w. 4 od góry | $\beta$ | $\beta_i$ |
| „ 471 | w. 10 od dołu | $x$ | $\times$ |
| „ 476 | w. 19 od góry | skutkem | skutkiem |
| „ 484 | w. 6 od dołu | wisząc la | wiszących. Dla |
| „ 494 | w. 3 od góry | $x$ | $x^2$ |
| „ 519 | w. 2 od dołu | $z^s$ | $z_s$ |
| „ 520 | w. 5 od góry | $\varkappa_{i1}$ | $x_{i1}$ |
| „ 540 | w. 7 od dołu | niezasadniczych | niezasadniczych napraw |
| „ 549 | dodać wiersz na samym dole: | nosi pełną odpowiedzialność cywilną i karną całej Spółki | |
| „ 568 | | CBR Innsbruck | CBRO Insbruck |
| „ 568 | | Stuttart | Stuttgart |
| „ 584 | w. 24 od dołu | ind | in |
| „ 585 | w. 25 od góry | Spitzkraftmaschinen | Spitzenkraftmaschi- nen |
| „ 588 | w. 21 od dołu | wan | wann |
| „ 589 | w. 9 od dołu | grossen | grosser |
| „ 592 | w. 16 od góry | im | in |
| „ 604 | w. 20 od dołu | jednoczestne | jednoczesne |
| „ 604 | w. 12 od dołu | orzruchowego | rozruchowego |
| „ 607 | w. 20 od dołu | ustawiony | ustawiono |
| „ 607 | w. 19 od dołu | połączony | połączonej |
| „ 607 | w. 2 od dołu | rozkami | rożkami |

BIBLIOTEKA
Politechniki Wrocławskiej
BIBLIOTEKA GŁÓWNA
352610 L/1