

# PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH  
CENTRALNEGO ZARZĄDU ENERGETYKI, CENTRALNEGO ZARZĄDU PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO  
Redaktor inż. Tadeusz Czaplicki

Rok XXIV

Warszawa, 21 czerwca 1948 r.

Zeszyt 6

## KRONIKA

### XXXIII. Czternaste Walne Zgromadzenie SEPu — drugie na Ziemiach Odzyskanych.

W dniach od 10 do 13 czerwca r. b. odbyło się w Szczecinie XIV Walne Zgromadzenie SEPu. Z trzech powojennych zjazdów elektryków polskich już dwa odbyły się na Ziemiach Odzyskanych. Jest to nie tylko symboliczne stwierdzenie łączności tych ziem z resztą kraju, — łączności, którą tegoroczne Walne Zgromadzenie zaraz na wstępie swych obrad zadokumentowało w jednorodną uchwałę powziętą z powodu listu papieskiego do biskupów niemieckich. Wybór Ziemi Odzyskanych na nasze zjazdy ma na celu przede wszystkim bliższe zapoznanie ogółu elektryków polskich ze stanem rzeczy na tych ziemiach w dziedzinie energetyki, telekomunikacji i przemysłu elektrotechnicznego, z zadaniami, zamierzeniami oraz warunkami i wynikami pracy naszych kolegów w tamtej połaci kraju, jak również zespolenie wysiłków całego świata elektrotechnicznego nad najlepszym rozwiązaniem dzisiejszych rozległych zadań o zasięgu ogólnopaństwowym.

Zjazd szczeciński dał dobre wyniki. Zrobiliśmy poważny krok nie tylko ku przywróceniu przedwojennej wartości naszych walnych zgromadzeń — tego byłoby na dzisiejsze czasy już za mało — lecz również ku zorganizowaniu pracy zbiorowej w naszej specjalności odpowiednio do potrzeb całej polskiej gospodarki państwowej w dobie obecnej.

Dyskusja nad referatami zjazdowymi ogłoszonymi w Przeglądzie zawierała sporo cennych myśli; niestety, dla braku czasu nie została wyczerpana ku żalowi niejednego z uczestników. Dyskusja ta w szczególności wykazała, jak świetnym terenem są zjazdy SEPu do pogłębienia i usprawnienia współpracy obu gałęzi przemysłu polskiego, z którymi SEP jest związany, tj. energetyki i przemysłu elektrotechnicznego łącznie z telekomunikacją. Okazało się, że debaty zjazdowe, dostępne dla każdego elektryka jednej i drugiej strony, są pożytecznym i potrzebnym uzupełnieniem oficjalnych stosunków (konferencji czy korespondencji) między obu naszymi centralnymi zarządami w toku ich urzędowania. Miejmy nadzieję, że ta pomocnicza koordynacyjna rola naszych walnych zgromadzeń z biegiem czasu rozwinięta się i utrwali, bo SEP może dopilnować, aby jego głos zawsze cechowała rzeczowość, fachowość i bezstronność sądu.

Koncepcja polskich sieci najwyższych napięć, kwestia właściwych napięć dla sieci rozdzielczych, wyzyskanie miejscowych źródeł energii (miał na kopalniach, węgiel brunatny, torf, siły wodne), sprawa walki z niskim współczynnikiem mocy, plany rozwoju telekomunikacyjnych urządzeń stacyjnych, plany rozbudowy międzymiastowej kablowej sieci telekomunikacyjnej, zamierzenia produkcyjne przemysłu maszyn elektrycznych i przemysłu aparatów elektrycznych na najbliższe lata, skoordynowanie tych zamierzeń z potrzebami energetyki oraz innych przemysłów polskich (jak włókienniczy, węglowy, hutniczy, chemiczny itd.), zaopatrzenie przemysłu elektrotechnicznego w materiały, w szczególności izolacyjne, kwestia państwowych warsztatów remontowych, potrzeba biur studiów i zwarciołowni w Polsce na potrzeby przemysłu elektrotechnicznego, przygotowanie specjalistów wszelkich stopni — oto bardzo ważne i nie wszystkie jeszcze zagadnienia, które zostały poruszone na walnym zgromadzeniu w toku dyskusji nad referatami zjazdowymi.

Ale to nie wszystko.

Statut SEPu nakłada na każdego prezesa Stowarzyszenia obowiązek wygłoszenia na Walnym Zgromadzeniu w roku jego urzędowania odczytu na dowolny obrany przezeń temat. Obowiązek ten ma zagwarantować, że wybraniec Stowarzyszenia podzieli się z ogółem członków owocem swej myśli, swej wiedzy i swego doświadczenia. Dotychczasowa praktyka ustaliła, że odczytu prezydzialnego nie ogłasza się przed zjazdem i dyskusji nad nim nie bywa.

W tym roku nastąpiło pewne odchylenie od tradycji. Wprawdzie odczyt prezydzialny naszego obecnego prezesa prof. Włodzimierza Szumilina nie był ogłoszony, ale dyskusja nad nim rozwinęła się na zjeździe samorzutnie i niemal żywiołowo. Ale bo też temat obrany przez kol. Szumilina był zgola wyjątkowy na chwilę obecną: „Zagadnienie planu technicznego“. Zagadnienie uważane jest za ważne, pilne i nowe, dopiero się rodzące. Jeszcze nie mamy ustalonej definicji „planu technicznego“, nie mamy wyraźnie skryształizowanych najogólniejszych zasad planowania technicznego, dalecy jesteśmy od ostatecznego skonkretyzowania planów technicznych dla każdej poszczególnej gałęzi przemysłu.

Zaryzykowalibyśmy wypowiedzenie poglądu, że „plan techniczny“ w najszerszym znaczeniu ma obejmować w ramach planowania państwowego to wszystko, co nie jest najogólniejszą koncepcją społeczno-gospodarczą wyśwaną przez ekonomistów, finansistów czy społeczników, a co bezwzględnie wymaga wykonania typowo inżynierskiego. Wykonanie będzie inżynierskie wtedy, gdy zarówno pod względem technicznym, jak i gospodarczym odpowiada ostatnim postępowi nauki i techniki, gdy osiągnie najwłaściwszą sprawność (niekoniecznie największą), najwłaściwszy koszt (niekoniecznie najniższy), najwłaściwszy czas wykonania (niekoniecznie najkrótszy). Według tej metody powinny być wykonywane inwestycje i to wykonywane tak, aby i przyszła eksploatacja inwestycji mogła odpowiadać wymaganiom rozwiązania inżynierskiego.

Nie dość na tym. Rozwiązanie prawdziwie inżynierskie w skali państwowej nie dopuszcza traktowania żadnej sprawy w sposób izolowany, a więc np. dla jednego produktu lub dla jednej fabryki, lecz musi liczyć się z całym przemysłem danej specjalności, musi uwzględniać potrzeby i zadania wszystkich innych przemysłów i wszystkich innych gałęzi gospodarki narodowej, ich rozwój, wzajemną zależność i współpracę. Plan techniczny w najszerszym rozumieniu jest zharmonizowanym ustrojem, ogarniającym cały organizm gospodarczy państwa.

### XXXIV. Radar.

Radar jako wytwór techniki wchodzi w zakres prac kolegów naszych z sekcji telekomunikacyjnej. Dla nas tutaj musi wystarczyć popularne zapoznanie się z jego istotą i możliwościami. Dla młodych elektryków radar jest wspólnym świadectwem tego, jak od prostego przypadkowo zaobserwowanego zjawiska można dojść do wręcz olśniewających wyników. Potrzebne jest do tego wnikliwe wyjaśnienie sobie zjawiska oparte na solidnej wiedzy, eksperymentowanie, fantazja i wytrwała praca nad praktycznym osiągnięciem wyników, które teoria pozwala przewidywać.

Tadeusz Czaplicki



PROF. INŻ. Z. GOGOLEWSKI  
i ADJ. INŻ. J. MANITIUS

## Straty dodatkowe w uzwojeniach

Treść. Ścisła metoda matematyczna obliczania strat dodatkowych w uzwojeniach prądu zmiennego prowadzi do skomplikowanych funkcji Bessela. Metodę praktyczną tzw. „kolejnych przybliżeń” można oprzeć na tych samych równaniach wyjściowych, co i obliczenia indukcyjnego spadku napięcia. Znajduje ona zastosowanie do każdego rodzaju uzwojenia, jak również do obliczenia wpływu przeplatań na straty dodatkowe.

Добавочные потери в обмотках. Точный математический метод расчета добавочных потерь в обмотках переменного тока приводит к сложным функциям Бесселя. Практический метод последовательных приближений может исходить из тех же уравнений, которые применяются для расчета индуктивного падения напряжения. Этот метод применим ко всякого рода обмоткам, равным образом как к определению влияния переплетания обмоток на добавочные потери.

Additional Losses in Windings. An accurate mathematical method of calculation of additional losses in A. C. windings leads to the complicated Bessel functions. The practical method of the so-called „gradual approach” may be based on similar issuing equations as calculations of inductive voltage drop. It is applicable to every kind of windings, as well as to the calculations of the influence of the crossing of windings on additional losses.

Pertes supplémentaires dans les enroulements. La méthode précise du calcul des pertes supplémentaires dans les enroulements à courant alternatif mène à des équations de Bessel très compliquées. Une méthode pratique, appelée méthode „des rapprochements successifs” peut être déduite des mêmes équations fondamentales que celles qui constituent la base du calcul de la chute inductive de la tension. Cette méthode est applicable à chaque sorte d'enroulement, ainsi qu'au calcul de l'influence des permutations des conducteurs sur les pertes supplémentaires.

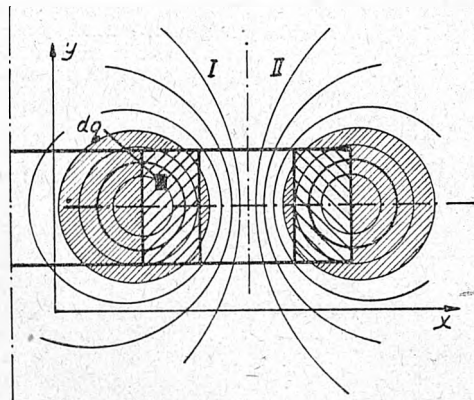
### 1. Wstęp.

Straty dodatkowe w uzwojeniach maszyn i transformatorów stanowią zagadnienie, któremu poświęcono wiele prac zarówno ściśle teoretycznych, jak i doświadczalnych. Sam problem należy uważać za rozwiązany ze ścisłością najzupełniej wystarczającą dla praktyki. Pomimo to nadal wiążą się z nim zbyt częste nieporozumienia, których źródło wydaje się być dwójakie: z jednej strony interpretacja zjawisk, zachodzących wewnątrz przekroju uzwojenia przewodzącego prąd zmienny, nie zawsze jest oparta na ich jasnym obrazie fizycznym, z drugiej zaś strony rachunek strat dodatkowych jest przeprowadzany z reguły przy pomocy metod obliczeniowych i metod rozumowania, różniących się od metod, które stosuje się przy obliczaniu indukcyjnych spadków napięć w uzwojeniach. A przecież powstawanie strat dodatkowych w uzwojeniach jest tak samo ściśle związane z istnieniem i z przestrzennym rozkładem pola rozproszenia, jak i powstawanie indukcyjnych spadków napięć.

Położenie nacisku na łączność obydwu zjawisk, a zwłaszcza na konieczność przyjmowania zgodnych dla obydwu problemów założeń upraszczających w bardzo dużej mierze przyczynia się, zdaniem naszym, do wyeliminowania wspomnianych nieporozumień.

Spróbujmy wykazać dydaktyczną i praktyczną wartość zharmonizowanego traktowania obydwu tematów i oparcia ich analizy na ogólnie dostępnych wyobrażeniach fizycznych.

Ważny uzwojenie maszyny lub transformatora, przez które płynie prąd sinusoidalnie-zmienny. Niezależnie od tego, czy uzwojenie to znajduje się w powietrzu czy też jest umieszczone w żłobkach żelaza czynnego, jest ono zawsze sprzężone z pewnym strumieniem rozproszenia, pochodzącym od prądu płynącego w uzwojeniu. Wielkość sprzężenia zwojów ze strumieniem rozproszenia zmienia się od zwoju do zwoju. Innymi słowami, z poszczegól-



Rys. 1

mi zwojami nie jest sprzężony cały strumień rozproszenia, lecz tylko część jego strug, różna dla każdego zwoju. Wielkość sumy sprzężeń strumienia rozproszenia z uzwojeniem, miarodajna dla obliczenia indukcyjnego spadku napięcia, jest więc zależna od przestrzennego rozkładu strumienia. Skoro jednak przewód, z którego jest wykonane uzwojenie, posiada pewne skończone wymiary poprzeczne, to przy rozpatrywaniu zjawisk związanych z

rozproszeniem musimy uwzględnić również i tę okoliczność, że dowolny element wyodrębniony z przekroju przewodu może być sprzężony z innym strumieniem rozproszenia niż element sąsiedni. Fakt ten ma podstawowe znaczenie dla obliczania wielkości strat dodatkowych.

Weźmy za podstawę do rozważań wstępnych najprostsz uzwojenie transformatora, złożone z jednego tylko zwoju. Załóżmy chwilowo, że prąd  $I$ , płynący w uzwojeniu, rozkłada się w jego przekroju równomiernie. Dokoła zwoju mamy pole rozproszenia, którego linie sił są pokazane na rys. 1. Wyobraźmy sobie, że zwoj badany składa się z pęku elementarnych włókien, każde o przekroju  $dq$ , ułożonych równoległe do siebie i do podłużnej osi przewodu. W każdym z tych włókien jest indukowana pewna siła elektromot., którą rozbijemy na następujące trzy składowe:  $E$  — pochodząca od strumienia głównego,  $E_s$  — pochodząca od tej części strumienia rozproszenia, która jest w pełni skojarzona ze wszystkimi elementarnymi włóknami, oraz  $E_{xy}$  — pochodząca od strug przenikających przez przekrój zwoju (obszar zacieniowany na rys. 1).

Siły elektromotoryczne  $E$  są identyczne dla wszystkich włókien, to samo można powiedzieć o wartościach  $E_s$ ; natomiast wartości siły elektromot.  $E_{xy}$  są różne dla różnych włókien, gdyż różne są strumienie, będące ich przyczyną.

Dla dowolnego włókna o przekroju  $dq$  mm<sup>2</sup> i długości  $l$  metrów możemy napisać równanie:

$$\hat{U} = \hat{E} + \hat{E}_s + \hat{E}_{xy} + \hat{i}_{xy} dq \frac{l}{dq}, \quad (1)$$

w którym  $U$  oznacza napięcie doprowadzone do zacisków uzwojenia, a  $i_{xy}$  gęstość prądu we włóknie badanym. Spełnienie warunku (1) wymaga takiego rozkładu prądu w przekroju, przy którym dla wszystkich włókien suma  $E_{xy} + i_{xy} \cdot l \cdot q$  jest stała. Jest to, oczywiście, możliwe tylko wtedy, gdy gęstość prądu w przekroju przewodu nie będzie jednostajna. Gęstości te zsumowane na cały przekrój muszą dać w rezultacie prąd początkowy  $I$ :

$$\int_q \hat{i}_{xy} dq = \hat{I} \quad (2)$$

Natomiast straty Joule'a w poszczególnych włóknach zsumowane na cały przekrój są większe od strat obliczonych przy założeniu jednostajnej gęstości  $i_0$ :

$$\int_q i_{xy}^2 l q dq > \int_q i_0^2 l q dq \quad (3)$$

Różnicę pomiędzy stratami rzeczywiście występującymi a stratami obliczonymi ze skutecznej wartości natężenia  $I$  i oporności uzwojenia zmierzonej prądem stałym nazywamy, jak wiadomo, stratami dodatkowymi. Wielkość tych strat będziemy mogli obliczyć, znając rzeczywisty rozkład prądu w przekroju.

Równanie (1), napisane dla dowolnego włókna, musi obowiązywać również dla uzwojenia traktowanego jako całość:

$$\hat{U} = \hat{E} + \hat{E}_s + \hat{E}_{sr} + \hat{U}_r \quad (4)$$

W równaniu tym  $\hat{U}_r$  oznacza średnią wartość oporowych spadków napięć we włóknach obliczoną dla całego przekroju, a  $E_{sr}$  — średnią wartość sił elektromotorycznych  $E_{xy}$ , wziętą również na cały przekrój. Przekonamy się, że wartość ta jest zgodna z odpowiednim członem wyrażenia na indukcyjny spadek napięcia w transformatorze.

## 2. Uzwojenia jednowarstwowe.

Obliczenie rozkładu prądu w przekroju możemy oprzeć na ogólnych równaniach Maxwella mających zastosowanie dla dowolnego rozkładu przestrzennego pól oraz dla dowolnego ośrodka. Wychodząc z nich można drogą bezpośrednią dojść do matematycznego ujęcia rozkładu prądu, uwzględniając uprzednio przestrzenny przebieg linii sił pola rozproszenia, wynikający z geometrycznych kształtów uzwojeń.

Metoda ta jest ogólnie znana, szczególnie w zastosowaniu do zjawiska wypierania prądu w prostych przewodach (naskórkowość), prowadzi jednak do funkcji niezbyt dogodnych dla codziennego użytku. Z tego powodu w obliczaniu transformatorów szersze zastosowanie znalazły wzory, wyprowadzone metodą kolejnych przybliżeń. Metoda ta daje wyniki bardziej przejrzyste dzięki temu, że w praktycznie spotykanych wymiarach uzwojeń transformatorowych najzupełniej wystarcza przybliżenie pierwszego, najdalej zaś drugiego stopnia.

Przy zastosowaniu tej metody przyjmujemy początkowo równomierny rozkład gęstości prądu w przekroju. Związany jest z nim pewien rozkład pola, z którego możemy obliczyć siłę elektromot. samoindukcji  $E_s$ , niezależną od poprzecznych współrzędnych przekroju uzwojenia, i  $E_{xy}$  — będącą funkcją tych współrzędnych; obydwie siły elektrom. są przesunięte w fazie o  $90^\circ$  wstecz względem wektora prądu  $I$ , a policzone dla całej długości uzwojenia muszą dać na jego zaciskach jedną wartość średnią, która będzie niczym innym, jak napięciem rozproszenia, liczoną dla równomiernego rozkładu prądu. Ponieważ w rzeczywistości s. el.-mot. poszczególnych włókien są różne, więc wyrównanie ich do wartości średniej musi nastąpić w ten sposób, że w poszczególnych włóknach popłyną prądy dodatkowe, których spadki napięć zrównoważą dodatnie i ujemne nadwyżki s. el.-mot. włókien w stosunku do s. el.-mot. średniej.

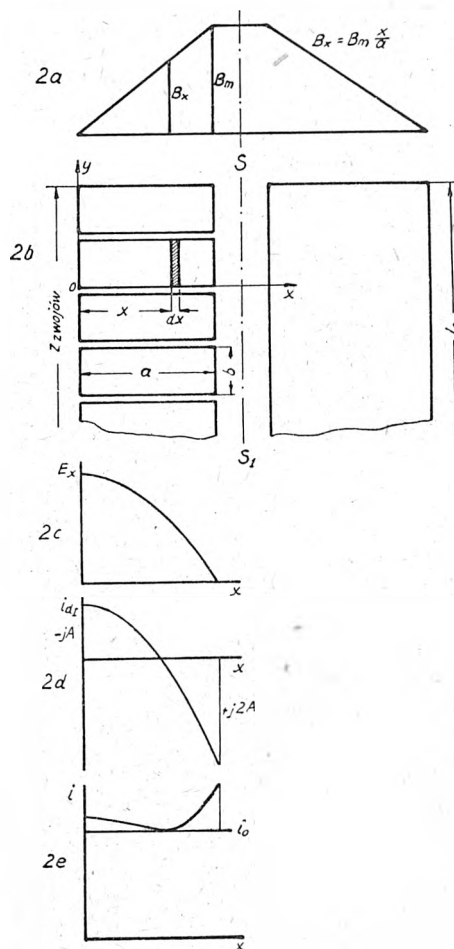
Nazwijmy te dodatkowe prądy elementarne prądami pierwszego stopnia. Są one w fazie z s. el.-mot. rozproszenia, a zatem spóźnione o  $90^\circ$  względem gęstości  $i_0$ . Prądy te wzbudzają własne pole rozproszenia, nakładające się na pole pierwotne, pochodzące od prądów  $i_0$ . Stosując prawo superpozycji, możemy w ośrodkach paramagnetycznych rozpatrywać oddzielnie gęstość pierwotną  $i_0$  i związane z nią pole magnetyczne, a oddzielnie gęstość dodatkową  $i_{d1}$  wraz z jej własnym polem. Sprężenie dodatkowego pola z poszczególnymi włóknami będzie w dalszym ciągu funkcją współrzędnych  $x, y$  i będzie wywoływać nowe siły el.-mot. różne dla różnych włókien, oraz przesunięte z kolei o  $90^\circ$  względem prądów dodatkowych pierwszego stopnia. Różnice tych sił el.-mot. „drugiego stopnia”, indukowanych w poszczególnych włóknach, wywołają z kolei dalsze prądy dodatkowe, które nazwiemy prądami drugiego stopnia.

Przekonywamy się, że rozwiązanie problemu na tej drodze prowadzi do nieskończonej liczby prądów dodatkowych. Będą one opóźnione o  $90^\circ$  względem każdego poprzedzającego i, jak to rachunek wykazuje, będą szybko malały przy przechodzeniu od stopnia pierwszego do wyższych. Prądy wypadkowe w poszczególnych włóknach będą sumami geometrycznymi prądu  $i_0$  i wszystkich prądów dodatkowych, suma zaś geometryczna wypadkowych prądów poszczególnych włókien musi oczywiście dawać żądany prąd całkowity  $I$ . Jak z tego widać, wypadkowe prądy w włóknach nie są zgodne w fazie, a ponieważ prądy dodatkowe pierwszego stopnia są znacznie większe od prądów wyższych stopni, zatem większość włókien posiada wypadkową gęstość większą od  $i_0$ ; stąd zaś oczywisty wniosek, że straty oporowe w uzwojeniu muszą wzrosnąć.

Weźmy transformator rdzeniowy, w którym uzwojenie niskiego napięcia jest wykonane jako jednowarstwowe. Niechaj prąd po stronie niskiego napięcia będzie  $I$ , liczba zwojów  $z$ , średnia długość zwoju  $O_{sr}$ , a pozostałe wymiary, jak na rys. 2b. Do rachunku wprowadzamy założenia upraszczające, stanowiące podstawę obliczenia indukcyjnego spadku napięcia, a mianowicie przyjmujemy, że w przekroju środek strumienia rozproszenia dla uzwojenia niskiego napięcia znajduje się w punkcie  $O$ , a wszystkie linie sił przebiegają prostolinijnie i równoległe do osi  $S-S_1$ . Jeżeli ponadto pominiemy prąd magnesujący i będziemy operować tylko amperozwojami roboczymi

$|I_1 z_1| = |I_2 z_2|$ , to otrzymamy znany trapezowy wykres amperozwojów względnie indukcji (rys. 2a).

Przy tych założeniach prowadzimy oś  $x$  przez punkt  $O$  prostopadle do kierunku linii sił. Jest oczywiste, że wszystkie elementarne przekroje, leżące wzdłuż linii równoległej do osi  $S-S_1$ , znajdują się w identycznych warunkach



Rys. 2

magnetycznych, czyli wszystkie są sprzężone z tym samym strumieniem rozproszenia. Możemy wobec tego każdy przekrój uzwojenia niskiego napięcia podzielić na pasma elementarne o szerokości  $dx$  i wysokości  $b$ . Rozpatrując teraz sprzężenie uzwojenia ze strumieniem rozproszenia, zauważymy od razu, że dla obliczenia indukcyjnego spadku napięcia będziemy uwzględniać strumień przedstawiony przez połówkę trapezu, pokazującego przebieg indukcji, od punktu  $O$  do osi symetrii  $S-S_1$ . Jeśli natomiast chodzi o obliczenie prądów dodatkowych, to zauważymy, że strumień zawarty między punktami  $B$  i  $S$  obejmuje wszystkie pasma elementarne wszystkich zwojów i indukuje w nich tę samą siłę el.-mot. oznaczoną we wzorze (1) literą  $E_s$ . Dopiero strumień rozproszenia zawarty pomiędzy  $O$  i  $B$  indukuje w różnych pasmach różne siły el.-mot. —  $E_x$ .

Weźmy elementarne pasemko w odległości  $x$  od punktu  $O$ . Z pasemkiem tym jest sprzężona część strumienia nas interesującego:

$$\begin{aligned} \Phi_x &= \frac{B_x + B_m}{2} (a - x) O_{sr} = B_m \frac{a^2 - x^2}{2a} O_{sr} = \\ &= \frac{0,4 \pi i_0 \sqrt{2} a b z}{l_c} \cdot 10^9 \frac{a^2 - x^2}{2a} O_{sr} \sin \omega t \end{aligned} \quad (5)$$

$l_c$  — oznacza tu wysokość uzwojenia, skorygowaną tzw. poprawką Rogowskiego. Wymiary długości są wzięte w cm, gęstość prądu w A/mm<sup>2</sup>.

Siła elektromot. indukowana przez ten strumień w z pasmach leżących w jednym pionie jeden nad drugim wynosi:

$$e_x = z 2\pi f \Phi_x 10^{-8} \cos \omega t = \frac{2\pi f 0,4\pi i_0 \sqrt{2} a b z^2 a^2 - x^2}{l_c 2a} O_{sr} 10^{-8} \cos \omega t$$

$$\hat{E}_x = -j \frac{2\pi f 0,4\pi i_0 a b z^2 a^2 - x^2}{l_c 2a} O_{sr} 10^{-8} \text{ woltów (6)}$$

Jest ona funkcją paraboliczną odciętej  $x$  (rys. 2c); jej średnia wartość obliczona dla całego przekroju  $a.b$  wynosi:

$$E_o = \frac{1}{a} \int_0^a E_x dx = \frac{2\pi f 0,4\pi l z^2}{l_c} \frac{a}{3} O_{sr} 10^{-8} = 7,9 \frac{f l z^2}{l_c} O_{sr} \frac{a}{3} 10^{-8} \text{ woltów (7)}$$

i stanowi drugi człon znanego wyrażenia na indukcyjny spadek napięcia w uzwojeniu. W ten sposób dochodzimy jednym rachunkiem do obliczenia indukcyjnego spadku napięcia i siły el.-mot.  $E_x$  w funkcji  $x$ , będącej punktem wyjścia do obliczenia prądów dodatkowych. Zmienny przebieg  $E_x$  będzie w poszczególnych pasmach wyrównany różnymi oporowymi spadkami napięć od prądów dodatkowych pierwszego stopnia, co wyrazimy w sposób następujący:

$$\frac{\partial e_x}{\partial x} dx = \frac{\partial i_{dl}}{\partial x} dx \varrho O_{sr} z \cdot 10^{-2} \text{ woltów.}$$

Stąd obliczamy chwilową wartość prądu dodatkowego pierwszego stopnia:

$$\frac{\partial i_{dl}}{\partial x} = \frac{10^2}{\varrho \cdot O_{sr} z} \frac{\partial e_x}{\partial x} = \frac{2\pi f \cdot 0,4 \pi i_0 \sqrt{2} a b z}{l_c \varrho O_{sr}} \left(-\frac{x}{a}\right) O_{sr} \cos \omega t 10^{-4}$$

$$\frac{\partial i_{dl}}{\partial x} = 2C i_0 \sqrt{2} (-x) \cos \omega t, \text{ gdzie } C = \frac{0,4 \pi^2 f b z}{l_c \varrho} 10^{-4} \text{ (8)}$$

$$i_{dl} = \left[ -2C i_0 \frac{x^2}{2} + C_0 \right] \sqrt{2} \cos \omega t.$$

Stałą całkowania eliminujemy, uwzględniając warunek, że suma prądów dodatkowych rozciągnięta na cały przekrój równa się w każdej chwili zero. Ten sam warunek będziemy musieli oczywiście uwzględnić, jeśli zechcemy obliczać prądy dodatkowe wyższych stopni.

W rezultacie otrzymujemy paraboliczny przebieg prądów dodatkowych pierwszego stopnia w funkcji  $x$  (rys. 2d):

$$i_{dl} = -j 2C i_0 \left( \frac{a^2}{6} - \frac{x^2}{2} \right) \text{ (9)}$$

Po geometrycznym zsumowaniu gęstości  $i_0$  z gęstościami  $i_{dl}$  otrzymamy wypadkowy rozkład w przekroju jak na rys. 2e.

Dochodzimy tutaj do punktu, w którym trzeba wyjaśnić założenia poczynione zarówno w analizie ogólnej, jak i w naszych obliczeniach. Założenie zgodności fazy prądów dodatkowych i wywołujących je sił el.-mot., równoznaczne z pominięciem prądów dodatkowych wyższych stopni, jest uproszczeniem rachunkowym niezupełnie odpowiadającym rzeczywistości; dosłowne jego przyjęcie przy dość znacznych wymiarach przewodu w kierunku osi  $x$  prowadziłoby do mylnych rezultatów.

Szczególne znaczenie posiada to zastrzeżenie w wypadku głęboko-żłobkowych silników asynchronicznych. Z przyjęcia tego założenia wynika również pewna niezgodność obliczonego przez nas wypadkowego rozkładu prądu z rezultatami doświadczeń.

Dalszą przyczyną rozbieżności między rozkładem teoretycznym a otrzymanym doświadczalnie jest przyjęcie prostoliniowego przebiegu linii sił rozproszenia. Przebieg rzeczywisty (rys. 1) wywoła w zwojach środkowych inny rozkład prądu niż w skrajnych zwojach górnych i dolnych, w których będzie on funkcją obydwu współrzędnych  $x$  i  $y$ . Wreszcie źródłem pewnych odchyleń rachunku od doświadczeń jest przyjęcie równych oporności wszystkich pasemek elementarnych, podczas gdy w rzeczywistości wzrost długości pasma przy posuwaniu się w kierunku nazewnątrz uzwojenia cylindrycznego pociągnie za sobą również pewną zmianę w rozplywie prądu w przekroju. Analiza wielkości poprawek, związanych z ostatnimi uwagami, wykracza jednak poza ramy niniejszego opracowania.

Poza dyskusją natomiast pozostaje fakt, że wartość  $i_{dl}$  jest dwa razy większa na krawędzi uzwojenia przy szczelinie od gęstości prądu dodatkowego na przeciwległej krawędzi przekroju. Stąd twierdzimy, że prąd wypadkowy jest „wypierany” w kierunku szczeliny między uzwojeniami.

Przejdźmy teraz do obliczenia współczynnika strat dodatkowych  $k$ , określonego jako stosunek strat rzeczywistych do strat Joule'a, które istniałyby przy równomiernym rozkładzie prądu.

Obliczając straty rzeczywiste dla każdego pasmka i sumując je dla całego przekroju, otrzymujemy:

$$P_c = \int_0^a (i_x b dx 10^3)^2 \frac{\varrho O_{sr} z 10^{-2}}{b dx 10^2} = \int_0^a i_x^2 b \varrho O_{sr} z dx \text{ watów}$$

$$i_x = \sqrt{i_0^2 + i_{dl}^2} - \text{wypadkowa gęstość w pasmku } x,$$

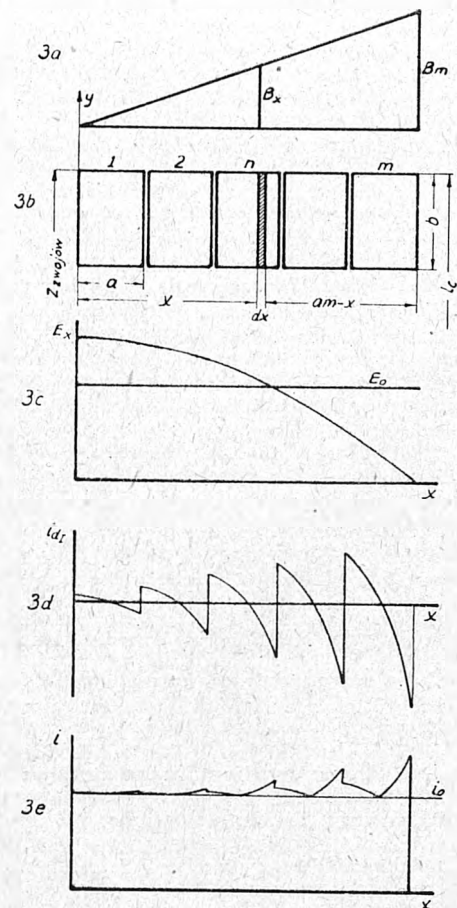
$$P_c = \int_0^a (i_0^2 + i_{dl}^2) b z O_{sr} \varrho dx \text{ watów.}$$

Współczynnik strat dodatkowych z uwzględnieniem jedynie prądów dodatkowych pierwszego stopnia:

$$K_1 = \frac{P_c}{i_0^2 a b z O_{sr} \varrho} = \int_0^a \frac{i_0^2 + i_{dl}^2}{i_0^2 a} dx =$$

$$= 1 + \int_0^a \frac{\left[ 2C i_0 \left( \frac{a^2}{6} - \frac{x^2}{2} \right) \right]^2}{i_0^2 a} dx = 1 + \frac{0,8}{9} C^2 a^4 \text{ (10)}$$

W otrzymanym wyniku współczynnik strat dodatkowych, pochodzących od prądów pierwszego stopnia, jest proporcjonalny do czwartej potęgi szerokości przekroju, mierzonej prostopadle do linii pola, i odwrotnie proporcjonalny do kwadratu oporności właściwej materiału uzwojenia, zawartej w stałej  $C$ .

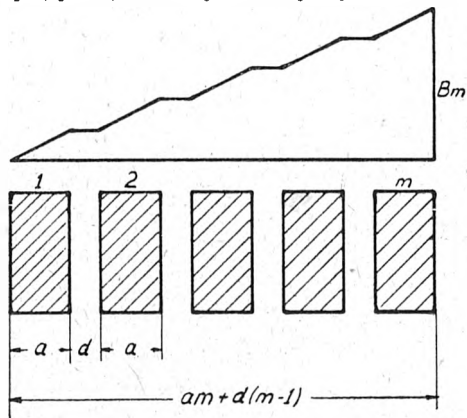


Rys. 3

3. Uzwojenia wielowarstwowe.

Tę samą metodę z niewielkimi modyfikacjami zastosujemy w bardziej ogólnym wypadku uzwojenia wielowarstwowego. Bierzemy, jak poprzednio, uzwojenie transformatora w układzie cylindrycznym z tą zmianą, że uzwojenie będzie posiadać  $m$  warstw nawiniętych jedna na drugiej w kierunku osi  $x$  (rys. 3) i z zwojów każdej warstwy w kierunku osi  $y$ . Dla uproszczenia pomijamy grubość izolacji wzdłuż osi  $x$ , zatem cała szerokość uzwojenia od krawędzi wewnętrznej do szczeliny międzyuzwojeniowej wynosi  $a \cdot m$ .

Przy tych założeniach otrzymamy znowu trapezowy wykres amperozwojów, podczas gdy przy uwzględnieniu grubości izolacji międzyzwojowej obowiązywałby wykres schodkowy (rys. 4). Weźmy teraz jakąkolwiek  $n$ -tą war-



Rys. 4

stwę uzwojenia, licząc od początku układu współrzędnych  $O$  w kierunku szczeliny. Dla wszystkich  $n$  zwojów tej warstwy warunki magnetyczne i elektryczne są te same, wystarczy zatem rozpatrzyć zjawiska zachodzące w jednym przekroju dla każdej warstwy.

Jak poprzednio, dzielimy przekrój na elementarne paski, dla każdego z nich obliczamy wielkość sprzężeń ze strugami pola i znajdujemy wielkość siły el.-mot  $E_x$ :

$$B_x = B_m \frac{x}{a \cdot m}$$

$$\Phi_x = \frac{B_x + B_m(am - x)}{2} O_{sr} = \frac{B_m}{2am} [a^2 m^2 - x^2] O_{sr}$$

$$B_m = \frac{0,4 \pi i_0 \sqrt{2} a m b z}{l_c} 10^2 \quad (11)$$

$$E_x = -j \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f \frac{\hat{B}_m}{2am} z [a^2 m^2 - x^2] O_{sr} 10^{-8} =$$

$$= -j \frac{2\pi f 0,4 \pi i_0 a m b z^2}{l_c} \frac{a^2 m^2 - x^2}{2am} O_{sr} 10^{-6} \text{ woltów} \quad (12)$$

Jest to przebieg paraboliczny (rys. 3a) taki sam, jak dla uzwojenia jednowarstwowego (ob. równ. 6), z tą różnicą, że zamiast szerokości  $a$  do wzoru wchodzi całkowita szerokość uzwojenia  $am$ . Również i tu możemy przekonać się, że średnie wartości  $E_x$  obliczone dla każdego zwoju i zsumowane dla całego uzwojenia dają w rezultacie wielkość identyczną z odpowiednim członem wyrażenia dla indukcyjnego spadku napięcia.

Obliczenie prądów dodatkowych pierwszego stopnia przeprowadzamy tak samo jak poprzednio, musimy jedynie uwzględnić to, że wszystkie,  $zm$  zwojów są połączone w szereg, przez wszystkie zatem przekroje musi płynąć ten sam prąd  $I$ . Stąd przy określaniu stałej całkowania prądów dodatkowych należy ich sumę w każdym przekroju przyrównać do zera, co wyrazimy w następujący sposób:

$$\int_a^{an} i_{dl} dx = 0$$

Obliczenie wykonane poza tym analogicznie jak dla uzwojenia jednowarstwowego daje w rezultacie wyrażenie dla prądu dodatkowego pierwszego stopnia w  $n$ -tej warstwie:

$$i_{dl} = -j 2 C i_0 \left[ \frac{a^2 n(n-1)}{2} + \frac{a^2 - x^2}{6} \right] \quad (13)$$

Wielkość  $C$  jest identyczna z wyrażeniem (8).

Gęstość prądu dodatkowego pierwszego stopnia w poszczególnych warstwach przebiega w funkcji  $x$  po odcinkach podstawowej paraboli, określonej wzorem (9), jednak ułożonej w linię ząbkowaną (rys. 3d) wskutek istnienia dodatkowego członu, będącego funkcją kolejnego numeru warstwy. Przebieg prądu wypadkowego przedstawia rys. 3e, wykreślony w założeniu, że wektory prądów dodatkowych są prostopadłe do wektora  $i_0$ .

Współczynnik strat dodatkowych obliczymy sumując straty rzeczywiste, występujące w całych przekrojach i we wszystkich warstwach. Współczynnik ten dla  $n$ -tej warstwy wyraża się wzorem:

$$K_n = 1 + \int_a^{an} \frac{i_{dl}^2}{i_0^2 \cdot a} dx = 1 + \frac{4C^2}{a} \int_a^{an} \left[ \frac{a^2 n(n-1)}{2} + \frac{a^2 - x^2}{6} \right]^2 dx = 1 + \frac{C^2}{3} a^4 \left[ \left(n - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{1}{60} \right] \quad (14)$$

Średnia wartość tego współczynnika dla wszystkich  $m$  warstw wynosi:

$$K_1 = \frac{1}{m} \sum_1^m K_n = 1 + \frac{C^2 a^4}{3} \left[ \frac{1}{m} \left( \sum_1^m n^2 - \sum_1^m n \right) + \frac{1}{4} + \frac{1}{60} \right]$$

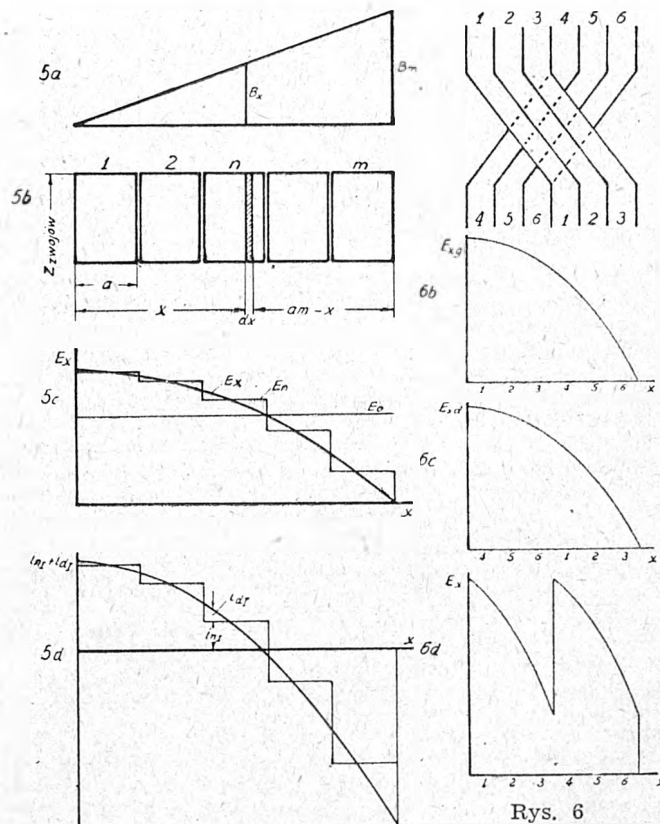
a po rozwinięciu i uproszczeniu:

$$K_1 = 1 + \frac{m^2 - 0,2}{9} C^2 a^4 \quad (15)$$

Rezultat tych obliczeń jest zgodny z wynikami Fielda i Vidmara. Jeśli natomiast chodzi o kształt krzywej rozkładu prądu wypadkowego w funkcji  $x$ , to odnoszą się do niego te same uwagi dotyczące rozbieżności między wynikami rachunku przybliżonego a rezultatami doświadczalnych, co i przy obliczeniu uzwojenia jednowarstwowego.

4. Uzwojenia z przewodami równoległymi.

Przechodząc do wypadku uzwojenia jednowarstwowego, składającego się z dowolnej liczby przewodów równoległych, ułożonych jeden obok drugiego w kierunku osi  $x$ , pomijamy, jak poprzednio, grubość izolacji w tym



Rys. 5

Rys. 6

kierunku i wprowadzamy te same założenia upraszczające, co w pierwszych dwóch przypadkach. Ponadto zakładamy, że sumaryczny prąd uzwojenia  $I$  rozkłada się równomiernie zarówno na wszystkie przekroje równoległe, jak i wewnątrz każdego z nich. W tych warunkach prze-

bieg amperozwojów pochodzących od jednostajnej gęstości  $i_0$  będzie miał ten sam kształt trapezowy, co w wypadku poprzednim (rys. 5a). Przebieg siły el.-mot.  $E$  w funkcji  $x$  wyrazi się tym samym co poprzednio wzorem 12 (rys. 5c).

$$\hat{E}_x = -j \frac{2\pi f 0,4 i_0 a m b z^2}{l_c} \frac{a^2 m^2 - x^2}{2 a m} O_{sr} 10^{-6} \text{ woltów.}$$

Siły elektromotoryczne  $E_x$ , inne w każdym paśmie, muszą być wyrównane pomiędzy początkiem i końcem uzwojenia. W każdej warstwie równoległej będziemy zatem mieć prądy dodatkowe, wyrównujące swymi oporowymi spadkami paraboliczny przebieg  $E_x$  w granicach jednego przewodu do pewnej wartości średniej:

$$\hat{E}_n = \frac{1}{a} \int_{a(n-1)}^{an} \hat{E}_x dx = -j \frac{2\pi f 0,4 \pi i_0 a m b z^2}{l_c} \frac{a^2}{2 a m} \left[ m^2 - n(n-1) - \frac{1}{3} \right] O_{sr} 10^{-6} \text{ woltów} \quad (16)$$

Średnie wartości siły elektromot. są niejednakowe dla poszczególnych przewodów równoległych, co jest pokazane na rys. 5c przez linię schodkową, załamującą się około zasadniczej paraboli  $E_x = f(x)$ . Różnice pomiędzy tymi średnimi s. e.-m. muszą być wyrównane przez spadki napięć, pochodzące od nowych prądów dodatkowych, do wartości średniej, obliczonej dla całego obszaru  $am$ :

$$\hat{E}_0 = \frac{1}{m} \sum_1^m \hat{E}_n = \frac{1}{am} \int_0^{am} \hat{E}_x dx = -j \frac{2\pi f \cdot 0,4 \pi i_0 a m b z^2}{l_c} \frac{am}{3} O_{sr} 10^{-6} \text{ woltów} \quad (17)$$

Te nowe prądy dodatkowe oznaczymy literą  $i_{nI}$  i będziemy sumować algebraicznie z prądami  $i_{dI}$ , gdyż są one oczywiście z nimi zgodne w fazie lub przesunięte względem nich o  $180^\circ$ .

$$i_{nI} = -j 2 C i_0 a^2 \left[ \frac{m^2 - 1}{6} - \frac{n(n-1)}{2} \right] \quad (18)$$

Prądy dodatkowe  $i_{dI}$ , wyrównujące przebieg paraboliczny siły el.-mot.  $E_x$  do wartości średnich  $E_n$  wewnątrz każdego przekroju, wyrażają się tym samym wzorem co w przypadku uzwojenia wielowarstwowego szeregowego (równ. 13):

$$\hat{i}_{dI} = -j 2 C i_0 \left[ a^2 \frac{n(n-1)}{2} + \frac{a^2 - x^2}{6} \right].$$

Stąd suma prądów dodatkowych

$$i_{nI} + i_{dI} = -j 2 C i_0 \left[ \frac{a^2 m^2 - x^2}{6} \right] \quad (19)$$

Porównując wzory (19) i (9) dochodzimy do wniosku, że rozkład prądu w uzwojeniu złożonym z  $m$  warstw równoległych o łącznej szerokości  $am$  niczym nie różni się od rozkładu prądu w uzwojeniu jednowarstwowym o szerokości przewodu wynoszącej  $am$ . Współczynnik strat dodatkowych wyraża się zatem, podobnie jak dla uzwojenia jednowarstwowego, wzorem:

$$K_I = 1 + \frac{0,8}{9} C^2 (am)^4 \quad (20)$$

Rezultat ten łatwo sprawdzić przez wykonanie rachunku dla wartości  $k$ , wychodząc osobno ze składowej  $i_{nI}$  i osobno ze składowej  $i_{dI}$ . Wynika stąd, że przy naszych założeniach nie odnosimy żadnych korzyści z dzielenia uzwojenia na gałęzie równoległe, układane bez przeplatania między sobą. Korzyści przynosi nam dopiero przeplatanie przewodów równoległych. Dla przekonania się o tym, rozpatrzmy kilka przykładów przepleceń.

### 5. Uzwojenia przeplatane.

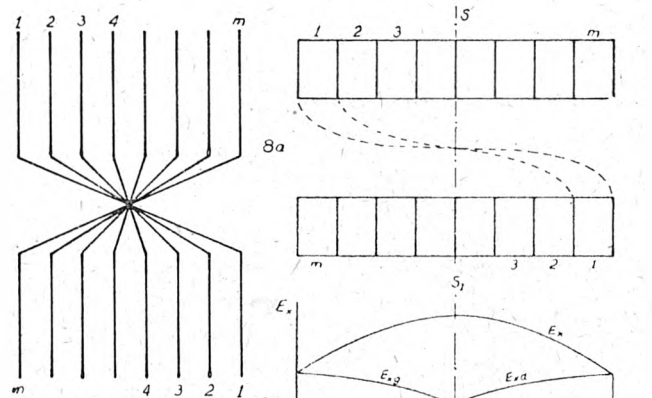
W pierwszym wypadku (rys. 6) mamy parzystą liczbę  $m$  przewodów równoległych, które zostały przeplecione tylko jeden raz w ten sposób, że przewód (1) zajął po przejściu połowy wysokości całego uzwojenia miejsce

$\frac{m}{2} + 1$ , przewód zaś  $\frac{m}{2}$  — miejsce  $m$ . Kreślimy przebieg wartości  $E_x$  dla poszczególnych przewodów i sumujemy siły el.-mot. indukowane w górnej i dolnej połowie każdego z nich, skąd otrzymujemy rozkład napięć niewiele

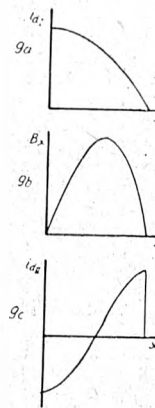
różniący się asymetrią od rozkładu w uzwojeniu nieprzeplecionym. Przeplecenie takie nie jest więc korzystne.

Bardziej skuteczny jest sposób przeplecenia, pokazany na rys. 7, w którym po przejściu połowy uzwojenia przewód (1) trafia na miejsce  $m$ , przewód zaś  $\frac{m}{2}$  na miejsce  $\frac{m}{2} + 1$ .

Dla ułatwienia rachunku założymy, że każdy z przewodów zostaje w miejscu przeplecenia skręcony o  $180^\circ$  wzglę-



Rys. 7



Rys. 8

Rys. 9

dem swej osi podłużnej, wskutek czego każde pasemko zmieniać będzie położenie symetrycznie względem osi  $S-S_1$  (rys. 8a).

Przy tych założeniach siła elektromot. indukowana w dowolnym pasemku górnej połowy uzwojenia wyrazi się wzorem (12), przy czym należy uwzględnić, że

$$e_x = - \frac{z}{2} \frac{d \Phi_x}{dt} 10^{-8} \text{ woltów}$$

stąd

$$\hat{E}_{xg} = -j \frac{2\pi f 0,4 \pi i_0 a m b \frac{z}{2}}{l_c} \frac{a^2 m^2 - x^2}{2 a m} O_{sr} 10^{-6} \text{ woltów}$$

Będzie ona sumować się z siłą el.-mot. indukowaną w przedłużeniu tego samego pasemka w połowie dolnej:

$$\hat{E}_{xd} = -j \frac{2\pi f 0,4 \pi i_0 a m b \frac{z}{2}}{l_c} \frac{-x^2 + 2 a m x}{2 a m} O_{sr} 10^{-6} \text{ woltów}$$

Dla całego pasma

$$\hat{E}_x = \hat{E}_{xg} + \hat{E}_{xd} = -j \frac{2\pi f 0,4 \pi i_0 a m b \frac{z}{2}}{l_c} \times \frac{a^2 m^2 - 2x^2 + 2 a m x}{2 a m} O_{sr} 10^{-6} \text{ woltów} \quad (21)$$

stąd prąd dodatkowy:

$$i_{dI} + i_{nI} = -j C i_0 \left[ a m x - x^2 - \frac{a^2 m^2}{6} \right]$$

współczynnik zaś strat dodatkowych:

$$K_I = 1 + \frac{0,05}{9} C^2 (am)^4 = 1 + \frac{0,8}{9} C^2 \left( \frac{am}{2} \right)^4 \quad (22)$$

Przeplecenie tego rodzaju zmniejsza straty dodatkowe 16 razy, tak jak gdybyśmy zmniejszyli dwukrotnie szerokość uzwojenia.

W praktyce stosuje się dla  $m$  warstw równoległych  $m-1$  przepleceń. Można udowodnić, że straty dodatkowe w tak przeplecionym uzwojeniu są identyczne ze stratami występującymi przy szeregowym połączeniu wszystkich gałęzi (równ. 15).

We wszystkich omówionych wyżej wypadkach przeplecenia wielkość średniej siły el.-mot.  $E_0$  obliczonej dla całego uzwojenia wyraża się wzorem (7). Przeplecenie nie wpływa zatem na wielkość indukcyjnego spadku napięcia transformatora.

Powróćmy teraz do uzwojenia jednowarstwowego i sprawdźmy dla dużej szerokości zwoju w poprzek linii sił straty dodatkowe, pochodzące od prądów dodatkowych drugiego stopnia. Amperozwojami wzbudzającymi pole będą teraz amperozwoje pochodzące od prądów dodatkowych stopnia pierwszego, poza tym bieg obliczenia nie ulegnie zmianie.

$$i_{dI} = -j 2 C i_0 \left( \frac{a^2}{6} - \frac{x^2}{2} \right).$$

Stąd indukcja dla dowolnej współrzędnej  $x$  (ob. rys. 9)

$$B_x = \frac{0,4\pi z b l}{l_c} 2 \int_0^x i_{dI} dx 10^2 = -j \frac{0,4\pi z b l \sqrt{2} 10^2}{l_c} 2 C i_0 \left( \frac{a^2 x}{6} - \frac{x^3}{6} \right)$$

$$\begin{aligned} E_{xII} &= -j \frac{2\pi f z}{\sqrt{2}} \int_x^a B_x O_{sr} dx 10^{-8} = \\ &= \frac{2\pi f 0,4\pi z b l}{l_c} 2 C i_0 O_{sr} 10^{-6} \int_x^a \left( \frac{x^3}{6} - \frac{a^2 x}{6} \right) dx. \end{aligned}$$

Przyrównując następnie

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} dx = \frac{\partial i_{dII}}{\partial x} dx \varrho z O_{sr} 10^{-2}$$

znajdujemy wartość prądu II stopnia

$$i_{dII} = -\frac{2}{3} C^2 i_0 \left( \frac{x^4}{4} - \frac{a^2 x^2}{2} + 7 \frac{a^4}{60} \right).$$

Zależność  $i_{dII}$  od odciętej  $x$  jest przedstawiona graficznie na rys. 9c (rysunek ten dla wyrazistości jest wykonany w innej skali niż rys. 2).

## 6. Prądy dodatkowe drugiego stopnia.

Przechodząc do obliczenia strat dodatkowych z uwzględnieniem prądów drugiego stopnia, musimy pamiętać, że wektory prądów pierwszego stopnia są prostopadłe do wektora  $i_0$ , prądy zaś drugiego stopnia są z nimi zgodne lub przeciwne w fazie.

Współczynnik tych strat:

$$\begin{aligned} K_{I+II} &= \frac{1}{i_0 a} \int_0^a |(i_0 + i_{dII})^2 + i_{dII}^2| dx = \\ &= 1 + \frac{2}{i_0 a} \int_0^a i_{dII} dx + \frac{1}{i_0 a} \int_0^a i_{dII}^2 dx + \frac{1}{i_0 a} \int_0^a i_{dII}^2 dx. \end{aligned}$$

Całka w czlonie drugim tego wyrażenia daje sumę prądów drugiego stopnia na cały przekrój, jest więc równa zeru, czony zaś pierwszy i ostatni stanowią obliczoną już wielkość współczynnika  $k_I$ . Stąd:

$$\begin{aligned} K_{I+II} &= 1 + \frac{0,8}{9} C^2 a^4 + \frac{1}{i_0 a} \int_0^a i_{dII}^2 dx = \\ &= 1 + \frac{0,8}{9} C^2 a^4 + \frac{16}{4735} C^4 a^8. \end{aligned}$$

Podstawiając zamiast  $C$  wartości konkretne z praktyki, widzimy, że nawet w przypadku granicznej szerokości przewodu  $a = 1,5$  cm prądy drugiego stopnia mają znikomy wpływ na straty dodatkowe, można je zatem w przevažającej liczbie wypadków pominąć.

Przekonywamy się w ten sposób, że z punktu widzenia praktyki wszystkie nasze obliczenia, choć obejmują jedynie prądy dodatkowe pierwszego stopnia z pominięciem stopni wyższych, są w zupełności wystarczające. Odchylenia i rozbieżności pomiędzy obliczeniem a wynikami doświadczeń nie mogą być w wypadkach normalnych uzwojeń transformatorowych składane na karb prądów wyższych stopni; na istotne źródła tych rozbieżności wskazywaliśmy już wyżej. Natomiast w wypadkach szczególnych, jak np. nieprzeplecione uzwojenie z kilkoma warstwami równoległymi, pominięcie prądów wyższych stopni prowadzi w obliczeniu strat dodatkowych do zupełnie wyraźnych rozbieżności z wynikami pomiaru.

Pozostaje jeszcze zanalizowanie, w jaki sposób zmieniłyby się rezultaty obliczeń, gdybyśmy dla uzwojeń wielowarstwowych uwzględnili grubość izolacji zwojów, licząc ją wzdłuż osi  $x$ . Przebieg indukcji stanowiący podstawę obliczenia wyrażałby się teraz nie linią pochyłą, prostą, lecz schodkową (ob. rys. 4).

Wydaje się, że w praktyce obliczenie to jest zbędne, gdy straty dodatkowe nie przekraczają 30% wartości strat oporowych; w wypadkach tych można uznać dokonane przez nas obliczenie, zgodne z wzorami podawanymi przez Vidmara i Liwschitza, za wystarczające. (31. I. 48)

## LITERATURA

- S. Fryze. Podstawy elektrotechniki  
R. Richter. Elektrische Maschinen, 1932—1938  
M. Vidmar. Transformatoren  
L. M. Piotrowski. Transformatory, 1934 (po ros.)  
Liwschitz. Elektrische Maschinen, 1934  
Z. Kocpzyński. Straty dodatkowe w uzwojeniach, Przegl. Elektr., 1938  
H. Gross. Berechnung der Stromverteilung im zyl. Leiter mit rechteckigem und ellipt. Querschnitt. Arch. für Elektrotechnik, 1940  
Coulthard. Transients in electric circuits, 1940

INŻ. BRONISŁAW SOCHOR

# Źródła prądu wielkiej częstotliwości w grzejnictwie indukcyjnym

Treść. Rozpatruje się trzy rodzaje źródeł: 1. prądnicę, 2. urządzenia z przerwą iskrową i 3. urządzenia z lampą elektronową. Podano dla tych źródeł ich własności, schematy, rozwiązania konstrukcyjne, sposoby praktycznego wyzyskania i zakres stosowania.

Источники тока высокой частоты для индукционного нагревания. Рассматриваются три рода источников: 1) машинный генератор, 2) искровой генератор и 3) устройство с электронной лампой. Для этих источников обсуждаются их качества, схемы, конструктивные решения, способы практического использования и область применения.

Sources of High-Frequency Current for Induction Heating Apparatus. The article deals with three kinds of sources: 1. generators, 2. spark gap equipment and 3. electron lamp equipment. The article describes the properties of all above sources, provides diagrams and constructional realizations, and specifies the means of practical utilization and scope of application.

Les sources de courants à haute fréquence dans le chauffage par induction. L'on peut considérer trois sortes de sources: 1) machines génératrices rotatives, 2) générateurs à étincelles et 3) générateurs à lampes électroniques. L'auteur indique les propriétés de ces sources, leurs montages, leurs exécutions, les modes d'utilisation pratique et les limites d'emploi.

## 1. Ogólne uwagi o grzejnictwie indukcyjnym.

Zastosowanie do celów grzejnictwa przemysłowego prądów zmiennych o większej częstotliwości niż używana w normalnych sieciach spowodowało konieczność szukania nowych rozwiązań w budowie urządzeń mogących wytwarzać te prądy w sposób najbardziej ekonomiczny.

Gdy normalna sieć elektryczna u nas dysponuje prądem o częstotliwości 50 Hz (w Ameryce 60 Hz), grzejnictwo elektryczne przemysłowe sięgnęło po prądy o większej liczbie okresów, do 100 000 Hz, a ostatnio jeszcze znacznie wyżej. Dążność ta do zwiększenia częstotliwości tłumaczy się efektami przy tym osiąganymi, mającymi podstawę

w zasadzie, że chcąc ogrzać dany materiał przy pomocy prądów w nim indukowanych, musimy stosować tym wyższą częstotliwość, im mniejsza jest przewodność elektryczna omawianego materiału i im mniejsze są części tego materiału. Prądami indukowanymi można rozgrzewać zarówno cienkie warstwy dielektryku stosując jedynie dostatecznie wielką częstotliwość, która w tym wypadku sięga kilkudziesięciu megaherców, jak również nagrzewać metale znajdujące się już w stanie płynnym i w tym wypadku wystarcza normalna częstotliwość 50 Hz.

Sama zasada nagrzewania sprowadza się do tego, że w zmiennym polu magnetycznym cewki umieszczamy dany materiał, w którym są wzbudzone prądy wirowe, przetwarzające się w energię cieplną. Ilość wytwarzanej energii cieplnej jest proporcjonalna do natężenia pola magnetycznego i do częstotliwości tego pola. Natomiast najwyższa osiągalna temperatura przy pomocy prądów indukcyjnych nie zależy bynajmniej od częstotliwości, jest ona podyktowana jedynie ilością wytwarzanej energii cieplnej i stratami.

Wytwarzanie prądów o częstotliwości wyższej niż normalna sieciowa odbywać się może przy pomocy: a) prądnic, b) urządzeń z przerwą iskrową, c) urządzeń z lampą elektronową.

## 2. Prądnice jako źródło prądu wielkiej częstotliwości.

Tam, gdzie wymagana częstotliwość jest wyższa od normalnej tj. 50 Hz, ale nie przekracza 10 000 Hz, używamy zasadniczo maszyn jako źródła prądu. Do mniej więcej 1000 Hz budowa takiej maszyny (prądnicy) nie różni się od budowy normalnej prądnicy jednofazowej. Wirnik posiada uzwojenia zasilane prądem stałym i w ten sposób wytwarzane pole magnetyczne wirujące wzbudza w uzwojeniu statora prąd zmienny o częstotliwości.

$$f = \frac{n \cdot p}{60}$$

gdzie  $n$  — liczba obrotów wirnika na minutę,  $p$  — liczba par biegunów na wirniku.

Ponieważ jednak górna granica obrotów wirnika jest podyktowana najwyższymi obrotami silnika napędzającego, to znaczy 3000 obr./min. przy prądzie zmiennym 50 Hz, górna zaś granica liczby biegunów na wirniku jest ograniczona względami konstrukcyjnymi, przy tego rodzaju rozwiązaniach nie jest możliwe osiągnięcie zbyt wielkich częstotliwości. Oprócz tych czynników wchodzi tu w grę jeszcze kwestia mocy prądnicy i wysokości napięcia, które sprawiają dalsze trudności konstrukcyjne.

Dla osiągnięcia wyższych częstotliwości niż 1000 Hz znaleziono rozwiązanie w odmiennej budowie prądnicy. W tym wypadku wirnik prądnicy nie posiada żadnego uzwojenia, przez co odpadają pierścienie i szczotki. Jest on wykonany z pełnego walca stalowego żłobkowanego. Stator natomiast jest wykonany z blach i na nim znajduje się zarówno uzwojenie wzbudzające, zasilane prądem stałym, jako też uzwojenie robocze. Na skutek tego, że pole magnetyczne przy obracaniu się wirnika zamyka się na zmianę raz przez zęby wirnika, drugi raz przez wyłobienia, pole to zmienia stale swoje natężenie. Wahania natężenia pola wzbudzają prądy wielkiej częstotliwości w uzwojeniu roboczym. W ten sposób są budowane maszyny do wytwarzania prądów o częstotliwości do 10 000 Hz i mocy 100 i więcej kilowatów.

Prądnica jako źródło prądu wielkiej częstotliwości wykazuje duże zalety ruchowe. Konserwacja zasadniczo nie różni się od tego rodzaju czynności przy każdej innej maszynie elektrycznej. Praca jest spokojna i pewna. To też tam, gdzie nie jest potrzebna zmiana częstotliwości, prądnica jako źródło prądu znalazła największe zastosowanie. Między innymi stosujemy ją w urządzeniach do topienia metali, gdyż procesy te odbywają się przy częstotliwości od 500 do 2000 Hz.

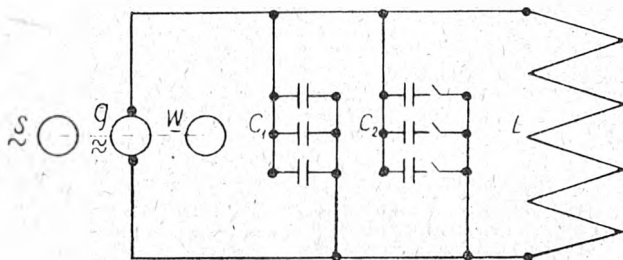
W urządzeniach posługujących się prądnicami istnieje możliwość regulacji częstotliwości przez zmianę obrotów. Do tego służą specjalne napędy np. przy pomocy silnika prądu stałego, którego obroty można łatwo zmieniać, poza tym przy napędzie silnikiem prądu stałego możemy uzyskiwać obroty większe niż 3000 na minutę. Oczywiście, zmniejszanie liczby obrotów, a więc i częstotliwości powoduje zmniejszanie mocy całego układu, co nie jest objawem korzystnym.

Prądnica wielkiej częstotliwości potrzebuje do swego wzbudzenia źródła prądu stałego. Źródłem tym może być wzbudnica umieszczona na wspólnym wale z prądnicą lub osobne źródło prądu.

Ten drugi sposób jest o wiele dogodniejszy, jeżeli chodzi o regulację mocy i napięcia, lecz jest znacznie kosztowniejszy.

Sprawność prądnic do 500 Hz mniej więcej nie jest o wiele mniejsza od sprawności prądnic normalnej częstotliwości. Dopiero przy częstotliwościach większych niż 500 Hz sprawność spada wskutek zwiększania się strat w żelazie i wynosi około 50% dla maszyn o mocy około 5 kW i 10 000 Hz i około 70% dla maszyn o mocy około 100 kW i 10 000 Hz.

Układ, w którym pracuje tego rodzaju prądnica, podaje rys. 1, gdzie  $s$  oznacza silnik napędzający prądnicę i przyłączony do sieci,  $g$  — prądnicę wielkiej częstotliwości zasilającą obwód drgań,  $w$  — wzbudnicę zasilającą prądnicę prądem stałym,  $L$  cewkę grzejącą wytwarzającą pole magnetyczne szybkozmienne, które wywołuje w przedmiocie umieszczonym w cewce prądy wirowe będące źródłem energii cieplnej,  $C_1$  i  $C_2$  oznaczają kondensatory służące do zestrzajania obwodu dla wywołania rezonansu.

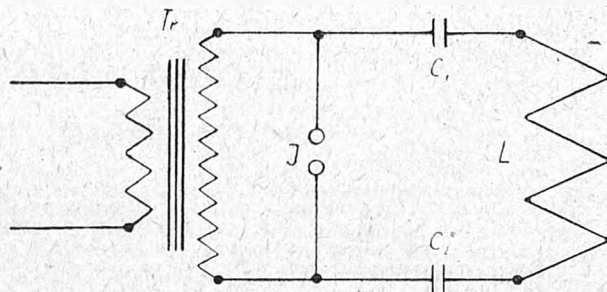


Rys. 1. Układ prądnicy do wytwarzania prądów wielkiej częstotliwości

Dobierając opory w ten sposób, by opór indukcyjny był równy oporowi pojemnościowemu, otrzymujemy przy najmniejszym dopływie energii elektrycznej z prądnicy duże prądy w obwodach  $C_1$ — $C_2$ — $L$ .

## 3. Urządzenia z przerwą iskrową jako źródła prądu o wielkiej częstotliwości.

Granice wytwarzania wielkiej częstotliwości przy pomocy maszyn stanowi najwyższa osiągalna liczba obrotów i najmniejsza szerokość pola, potrzebna dla umieszczenia przewodu łącznie z izolacją. Jeżeli ze względu na rodzaj materiału nagrzewanego musimy użyć wyższej częstotliwości niż 10 000 Hz, konieczne jest znalezienie innego źródła prądu. Grzejnictwo elektryczne sięgnęło w tym wypadku po wzory z radiotechniki, przystosowując je do swoich potrzeb przez dokonywanie pewnych zmian, a przede wszystkim pewnych uproszczeń. Gdy w radiotechnice jedną z najważniejszych spraw jest stała częstotliwość prądu, w grzejnictwie sprawa ta jest



Rys. 2. Układ iskrowy do wytwarzania prądów wielkiej częstotliwości

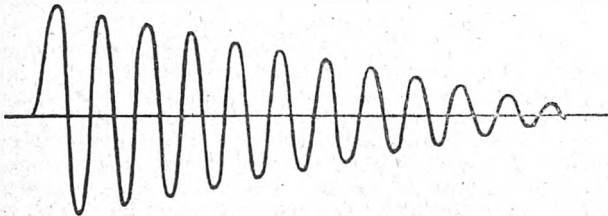
nieistotna i to jest głównym powodem uproszczeń w porównaniu z radiotechniką. W grzejnictwie główną rolę gra sprawność całego urządzenia, łatwość obsługi i koszty.

Układ drgający zastosowany przez Marconiego w telegrafii bez drutu został dawno w radiotechnice wyparty przez inne udoskonalone układy, w grzejnictwie indukcyjnym zaś znalazł zasadnicze zastosowanie. Rys. 2 podaje



układ, który służy do osiągania prądów o wielkiej częstotliwości za pomocą wyładowań w obwodzie zamykającym się przez przerwę iskrową  $I$ , kondensatory  $C_1$ ,  $C_2$ , oraz cewkę indukcyjną  $L$ .

Transformator  $Tr$  zasila prądem zmiennym o częstotliwości 50 Hz iskiernik  $I$ . W chwili, gdy napięcie osiąga swą wartość najwyższą, następuje wyładowanie iskrowe na kulach  $I$ , które na krótki czas zamyka obwód drgań  $I C_1 L C_2$ . Kondensatory wyładowują się podczas tego oscylacyjnie (rys. 3), a energia ładunku zamienia się

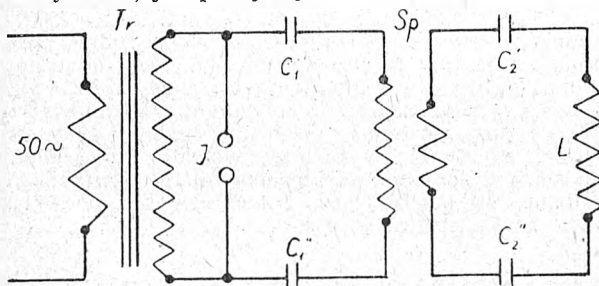


Rys. 3. Oscylacyjne wyładowania kondensatora

w oporach obwodu na ciepło. Częstotliwość tego oscylacyjnego wyładowania w obwodzie drgań  $I C_1 L C_2$  zależy od pojemności  $C_1$ ,  $C_2$  oraz indukcyjność  $L$  i możemy ją obliczyć ze wzoru:

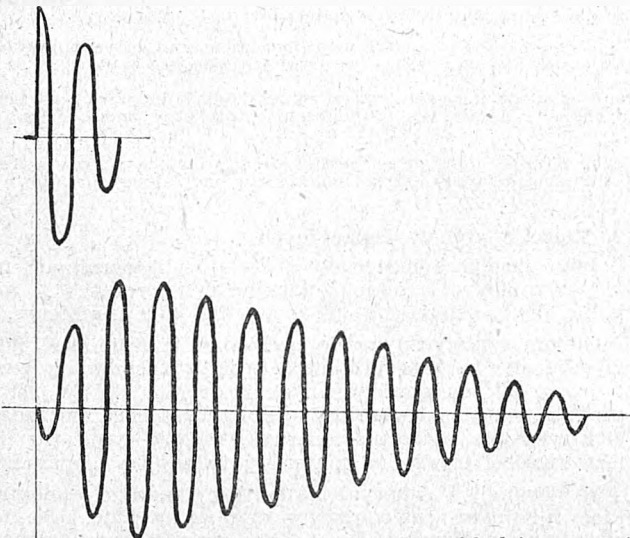
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Z energii wyładowania tylko część zamienia się na energię cieplną użyteczną przez indukowanie prądów wirowych w materiale poddawanym obróbce tzw. wsadzie; pozostała część są to straty na przerwie iskrowej. Te straty są dość znaczne i wpływają ujemnie na ogólną sprawność układu. W radiotechnice zastosowano wobec tego dodatkowy układ drgający, sprzężony z obwodem iskrowym tak, jak podaje rys. 4.



Rys. 4. Układ iskrowy uzupełniony dodatkowym obwodem drgającym

Wyładowanie w obwodzie iskrowym  $I C_1' S p C_1''$  powoduje na skutek sprzężenia indukcyjnego drgania w obwodzie  $S p C_2' L C_2''$ , których przebieg podaje rys. 5.



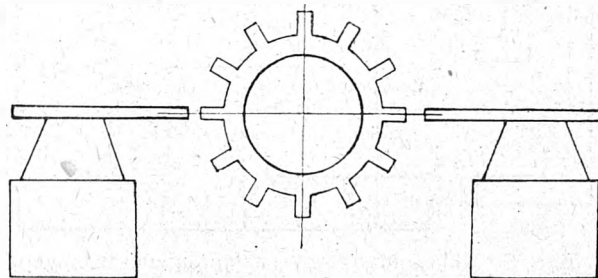
Rys. 5. Wyładowania w układzie z rys. 4

Jak widzimy, drgania w obwodzie iskrowym ustają z chwilą przejścia przez wartość zerową i od tej chwili drga tylko obwód drugi, który nie posiada przerwy iskro-

wej będącej dużym oporem. System ten, który w radiotechnice mógł znaleźć zastosowanie, w grzejnictwie elektrycznym wielkiej częstotliwości napotkał duże trudności. Dla przenoszenia drgań z obwodu iskrowego do obwodu drugiego konieczne jest dokładne zestrojenie obu obwodów. Ponieważ w obwodzie drugim znajduje się cewka, której indukcyjność zmienia swą wartość ze zmianą wsadu, zestrojenie to jest bardzo trudne. Na ogół więc używa się w grzejnictwie takich obwodów, w których cewka grzejna znajduje się w obwodzie drgającym z przerwą iskrową.

Wyładowanie w przerwie iskrowej następuje przy wzroście napięcia do dostatecznej wielkości, takiej by mogło nastąpić przebicie warstwy powietrza. Przy częstotliwości sieci wynoszącej 50 Hz otrzymamy 100 wyładowań na sekundę. Ponieważ korzystniej jest, gdy wyładowań jest znacznie więcej, podwyższamy napięcie doprowadzane do przerwy iskrowej o tyle, by wyładowanie mogło nastąpić nie tylko w momencie osiągnięcia maksymalnego napięcia, lecz już przy jego wartości częściowej. Transformatory zasilające dają napięcie wtórne rzędu od 8000 do 20000 V. Ażeby wywołać większą liczbę wyładowań stosuje się jedną z dwóch metod.

Pierwsza metoda, opracowana w Ameryce przez firmę E. Northrup, posługuje się przerwą iskrową między rtęcią i elektrodą grafitową. Całość jest zamknięta w szczelnej obudowie wypełnionej wodorem, który wpływa na szybkie odjonizowanie i tym samym szybkie gaszenie łuku.



Rys. 6. Metoda wirującej tarczy

Ponieważ napięcie przeskoku iskry jest poniżej napięcia transformatora, występuje kilka wyładowań podczas każdej połowki okresu prądu sieciowego.

Inne rozwiązanie zostało opracowane przez konstruktorów niemieckich. Pomiedzy dwiema stałymi elektrodami chłodzonymi wodą wiruje metalowa tarcza, posiadająca na obwodzie zęby i wycięcia, jak pokazano na rys. 6. Gdy naprzeciw elektrod zjawiają się zęby, następuje przeskoc iskry; gdy zjawiają się wycięcia, iskra gasnie. Przy dużej liczbie obrotów tarczy możemy wywołać około 5 wyładowań na sekundę w każdej połowce okresu. Oczywiście, częstotliwość drgań wywołanych przez tego rodzaju wyładowania iskrowe jest uzależniona jedynie od pojemności i indukcyjności obwodu.

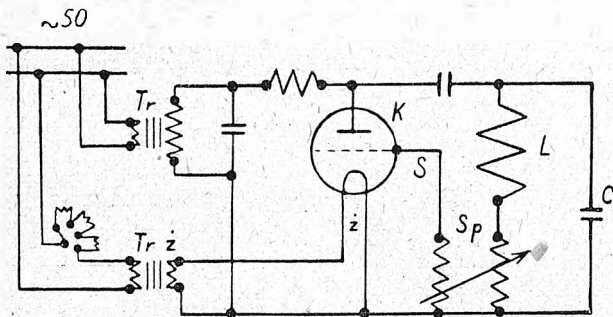
Porównanie obu metod wykazuje, że obie mają szereg wad i zalet. Metoda amerykańska wymaga dobrego nadzoru ze względu na konieczność sprawdzania zawartości wodoru i dlatego może mieć większe zastosowanie w urządzeniach laboratoryjnych.

Obecność wodoru wymaga zupełnej szczelności urządzenia dla zabezpieczenia przed wybuchem oraz czystości rtęci, której zanieczyszczenia wpływają na nierówność pracy. Metoda niemiecka jest prostsza, lecz zaburzenia w wyładowaniach występują tu jeszcze częściej wskutek opalania się elektrod jak również zębów tarczy wirującej, co prowadzi do dużego spadku sprawności. Przerwa iskrowa powinna wynosić od 0,5 do 1,0 mm, to też trzeba stale odstęp ten doregulowywać. Przerwa iskrowa w metodzie wirującej tarczy pracuje z wielkim hałasem, natomiast wyładowanie iskrowe w obwodzie szczelnie zamkniętym jest prawie bezgłośnie.

Regulacja mocy jest możliwa w pewnych niedużych granicach bez większego obniżenia sprawności — w wypadku wirującej tarczy przez zmianę jej obrotów, w wypadku wyładowań w wodrze przez obniżenie lub podwyższenie poziomu rtęci. Oczywiście, wszelka regulacja mocy oddziałuje na sprawność układu, która i tak nie jest zbyt wielka, gdyż wynosi przeciętnie dla tego rodzaju urządzeń 50—60%.

#### 4. Urządzenia z lampą elektronową jako źródło prądu o wielkiej częstotliwości.

Ostatnio coraz więcej znajdują zastosowanie w grzejnictwie przemysłowym urządzenia z lampą elektronową (generatory lampowe). Małe wymagania co do kształtu fali sprawiają, że urządzenia tego rodzaju mogą być proste w swej budowie w porównaniu z podobnymi układami stosowanymi w radiotechnice w aparaturze nadawczej. Nadajnik radiowy musi mieć lampy elektronowe zasilane prądem stałym, natomiast do celów grzejnictwa anoda lampy elektronowej może być zasilana prądem zmiennym, gdyż w danym wypadku nie jest wymagana stała amplituda. Rys. 7 podaje układ połączeń urządzenia z lampą elektronową, służący do wytwarzania prądu o wielkiej częstotliwości dla potrzeb grzejnictwa. Transformator sieciowy  $Tr$  zasila anodę wysokim napięciem np. 4000 V o częstotliwości 50 Hz, pod którego wpływem lampa elektronowa wywołuje drgania, wykorzystując oczywiście tylko tę połowę okresu prądu zmiennego, w której napięcie anody jest dodatnie. Żarzenie ż lampy elektronowej jest zasilane przez transformator  $Trz$  z sieci prądu zmiennego. Drgania powstające w obwodzie siatki  $s$  są przenoszone na skutek sprzężenia indukcyjnego  $Sp$  na obwód roboczy  $LCSp$ . Cewka  $L$  pieca induk-



Rys. 7. Układ urządzenia z lampą elektronową

cyjnego wywołuje prądy wirowe w nagrzewanym obwodzie, a kondensator  $C$  służy do uzyskiwania rezonansu w obwodzie drgającym. Zestrajanie obwodów jest ważne zwłaszcza z uwagi na zmianę wielkości indukcyjności cewki  $L$ , gdyż wsad w czasie topienia zmienia swe wła-

ności. Natomiast umieszczenie cewki  $L$  bezpośrednio w obwodzie siatki wpływałoby niekorzystnie na pracę pieca z uwagi na oddziaływanie wszelkich zmian mocy i indukcyjności na drgania.

#### 5. Wybór źródła prądu wielkiej częstotliwości.

Omawiając poszczególne systemy używane w grzejnictwie do wytwarzania prądów o wielkiej częstotliwości, wskazywaliśmy na fakty, które decydują o zakresie stosowania danych urządzeń, jak również na zalety i wady tych urządzeń. Wypada jeszcze podkreślić te czynniki, które decydują o wyborze źródła prądu wielkiej częstotliwości.

Ze względu na to, że każdy rodzaj materiału ogrzewanego wymaga stosowania określonej częstotliwości oraz że źródła prądu wytwarzają ekonomicznie tylko prądy o pewnych określonych częstotliwościach, należy uznać wybór źródła prądu w zależności od materiału za sprawę zasadniczą. Z tych względów prądnica jest źródłem prądu najodpowiedniejszym dla urządzeń służących do topienia metali, do ogrzewania zaś materiałów izolacyjnych nie przewodzących prądu wchodzić w grę będzie tylko urządzenie z lampą elektronową.

Jeżeli dla danego rodzaju ogrzewania ze względu na częstotliwość można zastosować różne źródła prądu, wówczas decyzję należy uzależnić od kosztów urządzenia i kosztów eksploatacji, jak również od stopnia pewności ruchu i łatwości obsługi.

Biorąc te względy pod uwagę należy stwierdzić, że z wyjątkiem przypadków całkiem małych mocy prądnice przewyższają innego rodzaju źródła prądu. Przy małych mocach, około 1 kW, i w granicach do 100 000 Hz, gdzie koszty ruchu nie grają roli, a więc w różnym rodzaju urządzeniach laboratoryjnych, właściwe będzie użycie urządzenia z przerwą iskrową tym bardziej, że urządzenia te pozwalają na regulację częstotliwości w dużych granicach.

Tam, gdzie wymagana częstotliwość przekracza 10 000 Hz, to znaczny zastosowanie prądnicy jest już trudne, ponieważ jednak 100 000 Hz, rozstrzygnięcie pomiędzy urządzeniem z lampą elektronową a urządzeniem z przerwą iskrową coraz bardziej wypada na korzyść lampy elektronowej z uwagi na duży postęp w dziedzinie budowy tych lamp. Powyżej 100 000 Hz w rachubę wchodzi już wyłącznie urządzenia z lampami elektronowymi. Możliwości w tej dziedzinie są bardzo duże i technika nie powiedziała jeszcze swego ostatniego słowa.

INŻ. STEFAN SEIDEL

## Niepalne płyny izolacyjne jako materiały zastępcze dla oleju mineralnego

Treść. Wobec braku w Polsce dostatecznej ilości oleju izolacyjnego mineralnego z krajowego surowca autor zwraca uwagę na możliwość stosowania pochodnych chlorowych naftalenu, dwufenyli i benzeny, jako dobrych materiałów zastępczych.

Невоспламеняемые жидкие изоляционные материалы. В виду недостатка в Польше изоляционных масел, получаемых из местного нефтяного сырья, автор обращает внимание на возможность замены их хлористыми соединениями нафтадена, двуфенила и бензена.

Non-inflammable Insulating Liquids. In view of the lack in Poland of sufficient quantities of mineral insulating oils from home raw materials, the author calls attention to the possibility of using chloride derivatives of naphthalene, diphenyl and benzene, as efficient substitutes.

Isolants liquides incombustibles. En face de la pénurie en Pologne d'huiles minérales isolantes de provenance nationale, l'auteur signale la possibilité d'employer comme bons produits de remplacement les dérivés chlorés du naphthalène, du diphenyle et du benzène.

### 1. Wstęp.

Jak wynika z artykułu prof. dra inż. J. Skowrońskiego „O regeneracji oleju transformatorowego metodą obiegową<sup>\*)</sup>”, nasze całkowite zapotrzebowanie oleju izolacyjnego w roku 1947 w ilości 2 400 ton mogło być pokryte z krajowej produkcji tylko w 60%. Na następne lata wobec szybkiego rozwoju elektryfikacji, jak i wobec wyczerpywania się naszych złóż prof. Skowroński przewiduje znaczny wzrost deficytu oleju.

Oczywiście, w tym stanie rzeczy oszczędna gospodarka olejami ma szczególne znaczenie; nie rozwiąże ona jednak sprawy, gdyż nie stworzy nam nowych ilości oleju.

Należy więc zastanowić się nad zastosowaniem innych dielektryków płynnych i to takich, któreby mogły być produkowane w kraju i których własności nie ustępowałyby własnościom olejów izolacyjnych mineralnych.

\*) PE, 1947, z. 9/10, str. 279.

### 2. Rodzaje płynów izolacyjnych.

Jako zastępcze materiały dla olejów mineralnych należy wymienić: 1) oleje izolacyjne syntetyczne i 2) niepalne płyny izolacyjne (piranole, dikanole i klofeny).

Olejem syntetycznym nie będziemy się zajmować, gdyż wydaje się, że jego produkcja jest zbyt skomplikowana i droga, jak na nasz przemysł. Z drugiej strony jest to produkt palny, a wobec dążności do usunięcia z urządzeń elektrycznych niebezpieczeństwa eksplozji i pożaru należy zwrócić uwagę na materiały izolacyjne niepalne.

We Francji i Ameryce najbardziej znanym dielektrykiem płynnym, zastępującym oleje mineralne, jest tak zwany piranol (pyranol), w Niemczech klofen (Clophen). Jest też cały szereg innych o rozmaitych nazwach odpowiednio do ich własności i składu. Ogólnie rzecz biorąc, są to pochodne chlorowe naftalenu, dwufenyli i benzeny.

Jeśli chodzi o piranole, to jest to mieszanina trójchlorobenzenu i pięciochloru dwufenylu względnie ośmiochloru dwufenylu.

Klofen tak samo ma za podstawę dwufenyl z ewtl. domieszką trójchlorobenzenu; zależnie od stopnia chlorowania rozróżnia się rozmaite rodzaje klofenów o różnych własnościach.

W tablicach I i II podajemy własności tych materiałów. Poszczególne klofeny podane w tabl. II różnią się między sobą stopniem „chlorowania“. Niestety, tablica ta

Tablica I. Porównanie własności oleju mineralnego i piranolu według danych francuskich

Własności	Olej mineralny	Piranole
Ciepłota właściwa	0,85—0,9	1,5
Temperatura zapłonu (°C)	155	nie ma
Lepkość (Saybolt'a przy 38° C)	55 cs.	54 cs.
Temperatura krzepnięcia (°C)	— 20*	— 40
Spółczynnik rozszerzalności	810.10 <sup>-6</sup>	700.10 <sup>-6</sup>
Maksymalna temperatura, przy której jeszcze nie ma widocznego rozpadu chemicznego (°C)	90	125
Wytrzymałość na przebicie, prąd zmienny 50 okr./sek., wartość skuteczna (kV/mm) przy 20° C i odległości 2,5 mm	10—20	10—20
Stała dielektryczna	2,5	4,5
Stratność w %	0,03—0,1	0,1—0,2
Oporność właściwa (Ω cm) przy 20° C	—	5000.10 <sup>9</sup>

\*) Według PNE/41 temperatura krzepnięcia oleju mineralnego nie powinna być niższa od —35° C.

zawiera dane tylko o tych klofenach, które właśnie nie mają zastosowania do transformatorów. Do transformatorów używa się klofenu T 64, którego wytrzymałość wy-

nosi 200 do transformatorów wynosi od 200 do 250 kV/cm.

Stała dielektryczna. Jest dla klofenów i piranolu często dwukrotnie większa od stałej dielektrycznej olejów mineralnych. Np. klofen T 50 ma stałą 5—5,2 i jest z tego powodu chętnie używany do kondensatorów. Klofeny i piranole używane do transformatorów mają stałą wynoszącą ok. 4—4,5. Oleje mineralne mają stałą wynoszącą 2—2,5.

Stratność (tgδ). Klofeny dla kondensatorów mają tgδ mniejszy od 0,001, klofeny zaś i piranole dla transformatorów mają tgδ wynoszący 0,001—0,002. Stratność ich jest więc większa niż oleju mineralnego. Nie wpływa to zbyt wiele na nadmierne nagrzewanie się w transformatorach, gdyż piranole i klofeny mają większą płynność niż oleje mineralne, stąd i lepsze odprowadzanie ciepła.

Oporność. Oporność właściwa klofenów wynosi na ogół powyżej 1.10<sup>14</sup> Ω cm; piranolu według danych francuskich — powyżej 5.10<sup>11</sup> Ω cm. Oporność klofenów i piranolu zatem ma wartość zbliżoną do oporności oleju mineralnego (1.10<sup>12</sup>—1.10<sup>13</sup> Ω cm).

Temperatura krzepnięcia. Zawartość trójchlorobenzenu w piranolach i klofenach wybitnie obniża temperaturę krzepnięcia. Np. dla klofenu A 50 używanego do kondensatorów temperatura krzepnięcia wynosi ok. +14° C, gdy dla klofenu T 64 i piranolu, które są używane do transformatorów, dzięki odpowiedniemu dodaniu trójchlorobenzenu temperatura krzepnięcia wynosi —40° C.

Starzenie, kwasowość i tworzenie się osadów. Występujący w oleju mineralnym proces starzenia się, a dalej kwasowość i osadzanie się szlamu są zjawiskami niebezpiecznymi z punktu widzenia trwałości izolacji, a kłopotliwymi i kosztownymi z punktu widzenia eksploatacji i ruchu.

W przeciwieństwie do oleju mineralnego klofeny i piranole w zasadzie nie podlegają procesowi starzenia. Na-

Tablica II. Własności klofenów według danych niemieckich

Klasa	Klofen A 30	Klofen A 40	Klofen A 50	Klofen A 60	Klofen A 70	Klofen A 80
Stan	płyn	płyn	płyn	płyn	stały	stały kryst.
Barwa	prawie bezbarwny					biały
Ciepłota właściwa przy 20° C	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,72—1,77
Temperatura krzepnięcia (°C)	— 8	+ 1	+ 14,3	+ 19	ok. + 50	150
Temperatura zapłonu (°C)	166	193	222	236	240	290
Lepkość przy 100° C (°E)	1,1	1,17	1,4	1,7	ok. 3	—
Liczba kwasowa	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0
Popiół	prakt. 0	prakt. 0	prakt. 0	prakt. 0	prakt. 0	prakt. 0
Stała dielektryczna	5,0	5,0	5—5,2	4—4,5	3,0	3,0
Stratność tg δ	0,002	0,0015	0,001	0,001	0,001	nie do zmierzenia
Wytrzymałość na przebicie (kV/cm)	138	140	166	170	—	—
Oporność właściwa (Ω · cm)	1,10 <sup>13</sup>	1,10 <sup>14</sup>	1,10 <sup>14</sup>	1,10 <sup>14</sup>	1,10 <sup>14</sup>	1,10 <sup>14</sup>

nosi 200—250 kV/cm, a punkt krzepnięcia jest znacznie niższy od innych pozostałych klofenów i dochodzi do —40° C.

### 3. Bliższe porównanie materiałów zastępczych z olejem mineralnym.

Palność. Piranole i klofeny w przeciwieństwie do oleju mineralnego są niepalne i nawet nie podtrzymują palenia się materiałów palnych nimi nasączonych. Również gazy wytworzone z piranolu i klofenów na skutek łuku elektrycznego są niepalne i niewybuchowe. Nie ma mowy więc przy użyciu tych płynów do transformatorów o pożarze i eksplozji, co nieraz zdarza się z transformatorami z olejem mineralnym. Tym się też tłumaczy, że Amerykanie i Francuzi bardzo chętnie ustawiają transformatory z piranolem jako środkiem izolacyjnym i chłodzącym w kopalniach, domach towarowych, teatrach, szpitalach, szkołach i na lokomotywach elektrycznych.

Wytrzymałość elektryczna. Nie ustępuje najlepszym olejom mineralnym i jeśli chodzi o klofeny

wet w temperaturze 100—150° C nie rozkładają się i nie utleniają się. Nie tworzą też osadów. Jedynie w czasie trwania łuku wskutek wysokich temperatur tworzy się w postaci gazu kwas solny, który występuje wtedy bez względu na obecność powietrza. Ilości kwasu, które przy tym występują, są znikome (czas trwania łuku jest ograniczony zabezpieczeniami) i praktycznie można je pominąć.

Początkowo obawiano się, że wskutek rozpadu pięciochloru dwufenylu pod wpływem łuku elektrycznego może powstać fosgen. Jednak w praktyce nie stwierdzono w żadnym wypadku tworzenia się fosgenu.

Są to wszystko ważne czynniki, które przemawiają za stosowaniem tych płynów do transformatorów.

Barwa, ciepłota właściwa, lepkość. Piranole i klofeny (z wyjątkiem klofenów A 70 i A 80, które są ciałami stałymi, przytem ten ostatni o barwie białej) są płynami bezbarwnymi o ciężarze właściwym 1,3—1,7 przy 20° C i lepkości przy 100° C 1,1—1,7° E. Wskutek tego, że ciężar właściwy jest większy od 1, woda utrzymuje się na powierzchni tych płynów, nie zwilżając pozostałej ilości.

Zachowanie się w stosunku do materiałów w używanych w aparatach elektrycznych. Jak olej mineralny, piranole i klofeny są chemicznie obojętne w stosunku do żelaza, miedzi i aluminium. Długoletnie próby przy temperaturze 150°C potwierdziły to całkowicie. Inaczej jednak niż oleje mineralne zachowują się one w stosunku do lakierów izolacyjnych, którymi nasycamy normalnie uzwojenia. Piranole i klofeny rozpuszczają je bardzo szybko; stąd też w transformatorach z tymi dielektrykami trzeba używać innych środków zastępczych do nasycania uzwojeń.

Długoletnie próby określiły, jakie materiały izolacyjne zachowują się obojętne w stosunku do piranoli i klofenów, i dzisiaj już zagadnienie to jest rozwiązane całkowicie. Jednym z rozwiązań jest bakielizowanie uzwojeń.

Ciekawą sprawą byłoby zbadanie zachowania się sylikonów, nowych, rokujących bardzo wielkie nadzieje materiałów izolacyjnych, w stosunku do piranoli i klofenów.

Jak z powyższego przeglądu wynika, nie można w transformatorze olejowym bez poprzedniego zbadania rodzaju izolacji i nasycenia uzwojeń wymieniać oleju na piranol czy klofen. Jeśli uzwojenia są nasycane lakierami organicznymi, wymiany oleju na piranol czy klofen dokonąć nie można. Na odwrót zamiana piranolu czy klofenu przez olej może nastąpić w każdym wypadku, jeśli się tylko starannie oczyści i osuszy każdą i uzwojenie z resztek piranolu czy klofenu.

#### 4. Zastosowanie.

Dążność do usunięcia z urządzeń elektrycznych materiałów palnych względnie eksplodujących znalazła w piranolach i klofenach pierwszorzędny środek do zastąpienia nimi oleju mineralnego.

W transformatorach materiały te mają zastosowanie w Ameryce już nawet od kilkunastu lat i to szczególnie w takich warunkach, gdzie zastosowanie transformatora olejowego byłoby nie do pomyślenia. Na przykład w jednej fabryce zainstalowano transformator z piranolem w odległości 1 m od pieca hartowniczego, w którym temperatura dochodzi do 1000°C.

Następną ważną dziedziną, gdzie zastosowano z powodzeniem piranole i klofeny, jest budowa kondensatorów.

W Ameryce właściwie wyparły one całkowicie olej mineralny przy budowie kondensatorów. Przyczyniła się do tego duża stała dielektryczna, która dla papieru nasyconego tymi płynami wynosi 5—6, podczas gdy przy zastosowaniu oleju mineralnego  $E=3,9-4,2$ . Trzeba jednak zaznaczyć, że straty przy zastosowaniu tych płynów są większe, również i koszt jest większy.

Następną dziedziną zastosowania piranoli i klofenów jest budowa przekładników (transformatorów mierniczych), gdzie stopniowo piranole i klofeny zdobywają sobie coraz częstsze zastosowanie.

Należy wreszcie jeszcze wspomnieć o zastosowaniu ich do chłodzenia dużych oporników (gdzie nie powstaje jednak łuk elektryczny) oraz o próbach zastosowania ich do kabli.

Jak więc widzimy, zakres zastosowania wymienionych płynów jest dość szeroki i mają one największe zastosowanie przede wszystkim tam, gdzie wchodzi w rachubę większe ilości oleju mineralnego (transformatory mocy).

#### 5. Zakończenie.

Duże natężenie elektryfikacji kraju i rozwój naszej energetyki będą wymagały coraz większych ilości oleju. Nie mając odpowiednich pokładów ropośnych, musimy siłą rzeczy zwrócić naszą uwagę na wyżej opisane płyny izolacyjne, będące pochodnymi cholorowanymi naftalenenu dwufenylu i benzenu.

Jak wiadomo, tak naftalenu jak dwufenylu i benzenu mamy w kraju w dostatecznej ilości, aby je móc użyć do wytwarzania potrzebnych nam niepalnych płynów izolacyjnych dla potrzeb elektrotechniki.

Autor na podstawie rozmów z chemikami stwierdził, że proces produkcji niepalnych płynów izolacyjnych nie powinien nastęrczać nam większych trudności. Należałoby więc stworzyć w ramach Centralnego Zarządu Przemysłu Elektrotechnicznego odpowiednią komisję, która by, powoławszy fachowców chemików, inżynierów elektryków, specjalistów od budowy transformatorów i kondensatorów, przeprowadziła praktycznie próby produkcji i zastosowania niepalnych płynów izolacyjnych. Oczywiście, nieocenione usługi tym poczynaniom może oddać niedawno stworzony Państwowy Instytut Elektrotechniczny.

## Płynne materiały izolacyjne

Uwagi prof. J. Skowrońskiego do artykułu inż. St. Seidla

Cenne własności izolacyjne substancji naftalenów, na które zwraca uwagę inż. Seidel, są oczywiste i były uznawane już przed wojną. Niestety, ich bardzo poważną wadą jest wysoka cena. Zwłaszcza zamiana olejów naftowych na płynne produkty chlorowania była trudna do realizacji ze względu na parokrotnie wyższą cenę i niemal dwukrotnie

mniej objętość właściwą płynów w porównaniu z olejami naftowymi. W Polsce produkcję chloronaftalenów przed wojną rozpoczęły na skalę przemysłową Mościce pod nazwą „woskol“. Materiały te produkowane były o różnych punktach topliwości (do 120°C), również jako płyn. Miały zastosowanie jako niepalna impregnacja np. drzewa.

INŻ. IGNACY RAYZER

## Stabilizatory dla kompensatorów prądu stałego

Treść. Trudności zasilania obwodów napięciowych kompensatorów prądu stałego. Charakterystyki lamp świetlnych oraz kaskadowy układ dwu takich lamp do zmniejszenia wahań napięcia. Dane cyfrowe uzyskane przy badaniu powyższych lamp. — Szczegółowy opis i wyniki badań stabilizatora elektronowego, wyrównującego nawet znaczne wahania napięcia i wyróżniającego się dużą stałością raz wyregulowanego napięcia oraz prostotą budowy i obsługi przyrządu.

Стабилизаторы для потенциометров постоянного тока. Затруднения при питании цепей напряжения в потенциометрических схемах. Характеристики ламп с электрическим свечением и схема каскадного включения двух таких ламп для уменьшения колебаний напряжения. Численные результаты, полученные при исследовании названных ламп. — Подробное описание и результаты исследования электронного стабилизатора, выравнивающего даже большие колебания напряжения и отличающегося большим постоянством подрегулированного напряжения, простотой конструкции и ухода.

Stabilizers for D. C. Potentiometers. Difficulties of feeding the voltage circuits of D. C. potentiometer sets. Characteristics of discharge lamps and cascade connection of two such lamps intended to minimise fluctuations in voltage. Figures of experimental test results in respect of aforesaid lamps. — Detailed description and test results of an electronic stabilizer compensating even considerable fluctuations in voltage and prominent by reason of the considerable steadiness of voltage once set and of simplicity of construction and operation.

Stabilisateurs pour compensateurs à courant continu. Difficultés à alimenter les circuits de tension des compensateurs à courant continu. Caractéristiques des lampes lumineuses et montage en cascade de deux lampes de cette sorte en vue de la réduction des variations de la tension. Données numériques obtenues par l'étude de ces lampes. — Description détaillée et résultats de l'étude d'un stabilisateur électronique égalisant même de notables variations de la tension et différant des autres stabilisateurs par la grande stabilité de la tension une fois réglée ainsi que par la simplicité de la construction et du service.

#### 1. Wstęp.

Szerokie zastosowanie techniki pomiarowej we wszelkich dziedzinach produkcji za granicą pozwala przypusz-

czać, że i u nas znajdzie ona większe zastosowanie, aniżeli miała przed wojną. Gdy przed wojną wystarczało samo zainstalowanie jakiegoś np. termometru rejestrującego

go, to dzisiaj przepisy niektórych państw określają nie tylko okresy, w których należy sprawdzać przyrządy ruchowe lub urządzenia przekąźnikowo-ochronne, ale również okresy, w których należy przeprowadzać kontrole przyrządów laboratoryjnych, służących z kolei do cechowania i regulacji przyrządów ruchowych. Przed wojną był u nas starannie opracowany tylko dział miernictwa elektrycznego w odniesieniu do liczników energii elektrycznej.

Potrzeba z ogólnopanstwowego punktu widzenia oszczędności w gospodarce materiałowej wymaga, aby np. technice pomiarowej cieplnej poświęcano znacznie więcej uwagi niż dotychczas. Przyrządy kontrolne i laboratoryjne kl. 0,5 i wyższych (0,2; 0,1), które często służyły do tego, by kierownik mógł się pochwalić ich posiadaniem, znajdują się wkrótce w rękach techników i pracowników, zajętych okresową kontrolą i regulacją najrozmaitszych przyrządów ruchowych lub wykonywaniem pomiarów dla bilansów i ekspertyz. Ponieważ przyrządy laboratoryjne będą w większym użyciu niż dotychczas, wypadnie je niewątpliwie znacznie częściej sprawdzać, jak to się praktykuje w Stanach Zjednoczonych i w Z. S. R. R.

Sprawdzanie przyrządów laboratoryjnych kl. 0,5 i wyższych może być wykonywane tylko przy pomocy urządzeń kompensacyjnych. Sam kompensator (nazywany w wielu językach potencjometrem) nie jest ani drogi, ani skomplikowany, o ile chodzi o sprawdzanie przyrządów skazówkowych nawet najwyższej dokładności. Urządzenia dodatkowe źródła prądu i napięcia oraz ich pomieszczenie i konserwacja znacznie zwiększają koszt całego urządzenia. Potencjometry techniczne zaopatrzone w ogniwo Westona spotyka się dzisiaj często jako przenośne, służące do sprawdzania przyrządów ruchowych, pirometrów skazówkowych, a nawet jako podstawowy element w ruchowych przyrządach rejestrujących, których działanie oparte jest na zasadzie pomiaru siły elektromotorycznej.

W urządzeniach kompensacyjnych, służących do sprawdzania przyrządów skazówkowych największy kłopot sprawia nam źródło prądu, zasilające obwody napięciowe. Obciążenie tego źródła prądu nie przekracza z reguły 100 mA, a przeważnie jest znacznie mniejsze. Mimo to nie można, jak wykazała praktyka, stosować ogniwo o mniejszej pojemności aniżeli 10 Ah, gdyż zarówno stałość napięcia, jak i trwałość baterii będą zbyt małe. Taka bateria wymaga odpowiedniego pomieszczenia i konserwacji. To też czynne kompensatory można było przed wojną policzyć bez mała na palcach jednej ręki.

Myśl zastąpienia baterii akumulatorów dla obwodu napięciowego jakimś innym źródłem prądu nasunęła się autorowi w czasie ostatniej wojny, gdy należało uruchomić kompensator do sprawdzania przyrządów skazówkowych, a małych akumulatorów nie można było zdobyć. Obwód prądowy dał się łatwo zestawić przy pomocy normalnych akumulatorów samochodowych, gdyż przyrządy były nowoczesne na 5 A, stosowane w połączeniu z precyzyjnymi transformatorami prądowymi. Wykonany wówczas stabilizator w formie baterii buforowej składającej się z elementów Plantego spełniał swoje zadanie źle. Mimo to praca była możliwa, jakkolwiek niewygodna.

Dla wyjaśnienia powyższego rozważmy następujący przykład. Sprawdzamy watomierz laboratoryjny klasy 0,5 średniej jakości. Skala ma 150 działek. Jeśli nawet pominiemy wpływ tarcia w czopach, pozostanie jeszcze tzw. błąd odczytu. W przyrządach najwyższej klasy 0,1 ze skalą poprzeczną potrafimy z całą pewnością odczytać 1/10 działki, a gdy ostrze skazówki będzie dokładnie nad kreską, czułość nastawienia skazówki będzie jeszcze dwukrotnie wyższa. Jest rzeczą wątpliwą, czy średnio-czułe oko potrafi zauważyć mniejsze odchylenie skazówki. W omawianym przyrządzie klasy 0,5 czułość odczytu była znacznie gorsza, można przyjąć 4-krotnie. Oznacza to, że zmiany mniejsze aniżeli 0,2 działki nie dałyby się w ogóle zauważyć. Przy 150 działkach skali stanowi to  $1/750 = 0,133\%$ . Jeśli więc przy pełnym wychyleniu skazówki zmiana napięcia albo prądu wynosiła mniej aniżeli 0,13%, pozostała ona na samym przyrządzie niezauważona i pracownik obserwujący skazówkę nie miał powodu do ingerencji. Oczywiście, wartości odczytane na kompensatorze różniły się pomiędzy

sobą znacznie, co bardzo utrudniało pracę, gdyż trzeba było często poprawiać napięcie odczytane na kompensatorze w chwili, gdy drugi pracownik nastawiał skazówkę na żadaną wartość, regulując prąd. Skazówka raz nastawiona pozostawała jednak przez długi czas nieruchoma.

Rozpatrzmy inny przypadek. Jeśli nawet bateria akumulatorów lub jej część nie utraciła pojemności, obwód napięciowy — jak wiemy z doświadczenia — wymaga jednak częstej interwencji, gdyż potencjometryczny opornik (przeważnie suwakowy), przez który przepływa całkowity prąd obwodu napięciowego, posiada zmienne opór stykowy pomiędzy szczotką a ostatnimi ze zwieranych zwojów. Pod tym względem regulacja w obwodzie prądowym jest lepsza, gdyż przez opornik suwakowy do regulacji drobnej przepływa tylko nieznaczna część całkowitego prądu. Ze obwodowi napięciowemu tj. akumulatorom i regulatorowi nie można zaufać, najlepiej dowodzi fakt, że lepsze urządzenia kompensacyjne posiadają drugi niezależny kompensator pomocniczy dla obwodu napięciowego.

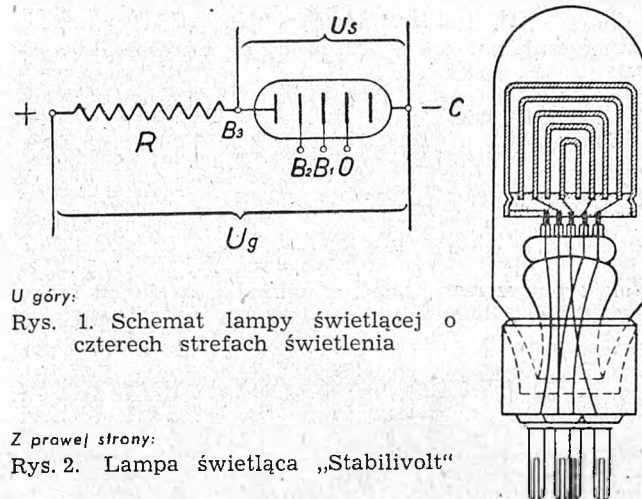
Autor zmuszony był też, w celu usprawnienia pracy, stosować przy sprawdzaniu watomierzy uproszczony kompensator techniczny w obwodzie napięciowym.

## 2. Stabilizator z lamp świetlanych.

Nawiązując do prób przeprowadzonych na lampach świetlanych „Stabilivolt“ jeszcze w roku 1938, autor postanowił zastosować te lampy do wyrównania wahań napięcia, którymi obciążone są takie źródła prądu stałego jak prostownik albo przetwornica.

Zbudowano w tym celu stabilizator, składający się z dwu lamp świetlanych połączonych „kaskadowo“. Przeprowadzone próby wykazały, że wahania napięcia można zmniejszyć 100 do 200 razy, co w praktyce zupełnie wystarczy, jeśli jako źródło prądu stałego zastosuje się przetworniczkę radiową, zasilaną po stronie niskiego napięcia z akumulatora samochodowego.

Podamy tu zasady działania lamp świetlanych („Stabilivolt“), które spotyka się jako jeden z elementów podstawowych w rozmaitych układach, lecz o których w literaturze brak bliższych danych.



U góry:

Rys. 1. Schemat lampy świetlającej o czterech strefach świetlenia

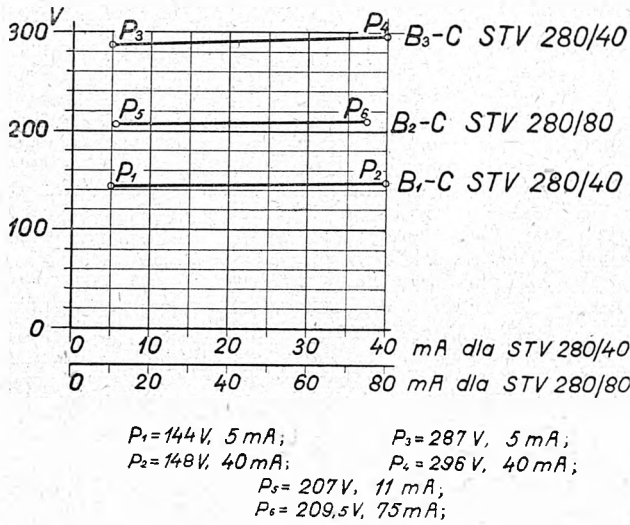
Z prawej strony:

Rys. 2. Lampa świetlająca „Stabilivolt“

Schemat lampy świetlającej wraz z oporem dodatkowym jest pokazany na rys. 1, jej przekrój na rys. 2. Rys. 3 podaje zależność napięcia od prądu dla dwu typów lamp: STV 280/40 i STV 280/80. Jak widać, zmiana prądu lampy powoduje nieznaczna tylko zmianę napięcia na jej zaciskach. Wobec tego można taką lampę (jak zresztą i inne lampy świetlające) przyłączyć do źródła prądu tylko za pośrednictwem odpowiedniego oporu. Lampy „Stabilivolt“ wyróżniają się spośród innych tym, że u nich krzywa napięcia w zależności od prądu daje linię prostą i prawie poziomą.

Punkty  $P_1$ ,  $P_3$  i  $P_5$  zdjęto przy możliwie małych wartościach prądu, wykluczających jednak tzw. „gaszenie“ lampy, czyli wystarczających do podtrzymania wyładowania świetlającego. Punkty  $P_2$ ,  $P_4$  i  $P_6$  odpowiadają wartościom znamionowym prądu.

Jeśli przyjmiemy, że napięcie pomiędzy poszczególnymi elektrodami składa się z dwu członów, a mianowicie z jakiegoś napięcia  $U_0$  i spadku omowego  $I \cdot r_w$ , gdzie  $U_0$  oznacza napięcie przy prądzie  $I=0$  (niemożliwe do zmierzenia),  $r_w$  zaś opór wewnętrzny odpowiednich stref świetlenia, otrzymamy prosty wzór do określenia zależ-



Rys. 3. Zależność napięć od prądów w lampach „Stabilivolt“

ności pomiędzy napięciem źródła prądu a napięciem na zaciskach lampy czyli napięciem stabilizowanym.

Opierając się na rys. 1 można napisać:

$$U_s = U_0 + I \cdot r_w$$

$$\text{oraz } U_g = U_s + I \cdot R$$

$$U_g = U_0 + I(R + r_w) \quad (*)$$

Przyjmijmy, że prąd  $I$  wzrośnie o  $\Delta I$ , wtedy napięcie  $U_s$  wzrośnie o

$$\Delta U_s = r_w \Delta I$$

i wyniesie

$$U_s + \Delta U_s = U_0 + r_w (I + \Delta I).$$

Równocześnie napięcie źródła prądu  $U_g$  wzrośnie do wartości:

$$U_g + \Delta U_g = U_s + \Delta U_s + R(I + \Delta I) = U_0 + (R + r_w)(I + \Delta I),$$

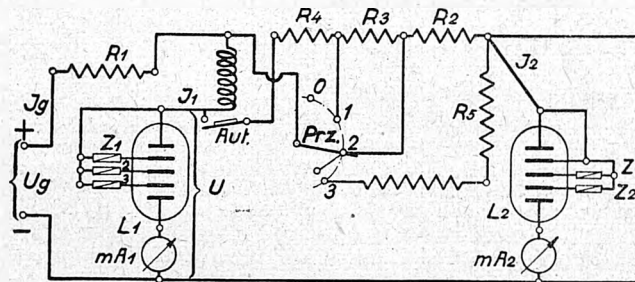
skąd na podstawie (\*)

$$\Delta U_g = (R + r_w) \Delta I$$

$$\frac{\Delta U_g}{\Delta U_s} = \frac{(R + r_w) \Delta I}{r_w \cdot \Delta I}$$

$$\Delta U_s = \Delta U_g \frac{r_w}{R + r_w}$$

Jak z powyższego widać, stabilizacja zależy od oporu wewnętrznego lampy  $r_w$  i od oporu dodatkowego  $R$ .



Rys. 4. Schemat stabilizatora z lamp świetlnych

Oznaczenia

- $R_1$  - opór stały 1000  $\Omega$
- $R_2$  - " " 1000  $\Omega$
- $R_3$  - " " 600  $\Omega$
- $R_4$  - " " 1600  $\Omega$
- $R_5$  - " " 2200  $\Omega$
- $Z_1, Z_2, Z_3$  - opory  $0,2 \div 0,3 M\Omega$
- $R_{Aut.}$  - automat (włącza przy około 30 mA)
- $Prz.$  - przetłącznik 1 biegunowy 4-ro położeniowy
- $L_1$  - Lampa STV 280/40
- $L_2$  - " STV 280/80
- $mA_1$  - miliamperomierz  $0 \div 50 mA$
- $mA_2$  - " "  $0 \div 100 mA$
- $U_g$  - napięcie zasilania (generatora)
- $U_s$  - " stabilizowane

Pierwszy z nich jest wielkością stałą dla każdej lampy, drugi zaś powoduje straty napięcia i mocy i zależy wobec tego od źródła prądu i od sprawności, którą chcemy dopuścić. Wydawałoby się, że można zmniejszyć  $r_w$  łącząc kilka lamp równolegle. Ta droga jest jednak niemożliwa, gdyż zarówno  $U_0$ , jak i  $r_w$  poszczególnych lamp różnią się znacznie między sobą.

Dla przykładu przytoczymy te charakterystyczne liczby dla kilku lamp. Dla lampy 280/40, której charakterystyka jest podana na rys. 3, opór wynosi dla dwu stref świetlenia (140 V) około 114  $\Omega$ , dla czterech zaś stref świetlenia

(280 V) około 250  $\Omega$ . Dla lampy 280/80, której charakterystyka jest również podana na rys. 3, opór wynosi dla 3 stref około 40  $\Omega$ . W innej lampie 280/80 zmierzono  $P_1 = 284 V, 10 mA;$   $P_2 = 296 V, 80 mA;$   $r_w$  wynosi około 170  $\Omega$  dla 4 stref świetlenia. Również lampy 280/40 różnią się znacznie między sobą. Dla dwu innych lamp uzyskano np. wartości:  $P_1 = 284 V, 10 mA;$   $P_2 = 292 V, 40 mA.$   $P_1' = 291 V, 15 mA;$   $P_2' = 292$  do 293 V, 40 mA. Odpowiednie opory wewnętrzne wynoszą:  $r_w =$  około 270  $\Omega$ ,  $r_w' =$  ok. 60  $\Omega$ . Jakkolwiek  $U_0$  nie obliczono, to jednak ze współrzędnych  $P_2$  i  $P_2'$  oraz ze znacznej różnicy w nachyleniu charakterystyk obu lamp widać, że  $U_0$  i  $U_0'$  różnią się także między sobą. Każda lampa zachowuje jednak swój opór wewnętrzny, niezależnie od tego, czy mierzymy go w stanie zimnym lampy, czy ciepłym. Napięcie przy  $I = const.$  jest również wielkością stałą, jeśli pominąć okres nagrzewania się lampy, podczas którego charakterystyka przesuwana się powoli w dół. U niektórych z wyszczególnionych tutaj lamp, dla których mierzono napięcia w identycznych warunkach pracy, zawsze wypadły jednakowe wartości. Z tego też powodu podano napięcie w punkcie  $P_6 = 209,5 V$ , gdyż ta wartość była bardziej zbliżona do rzeczywistej, aniżeli zaokrąglona 209 albo 210 V. Dla tej lampy stosunek  $\Delta U_s : \Delta U_g = 40 : 1040$ , jeśli przyjąć  $R = 1000 \Omega$ . Przy  $I = 100 mA$  będzie  $U_s = 210 + 100 = 310 V$ , gdzie  $U_s = 210 V$ . Jeśli  $U_g$  zmieni się o 1% swej wartości, tj. o 3,1 V, wtedy  $U_s$  zmieni się o 0,119 V, co stanowi niespełna 0,06% napięcia wyjściowego.

Tego rodzaju stabilizacja jest niewystarczająca. Zwiększając opór  $R$  można ją poprawić, ale ta droga daje zbyt duże straty, o czym już była mowa. Znacznie lepsze wyniki daje układ kaskadowy, przedstawiony na rys. 4. Zastosowany tam automat ma na celu wywołanie zapłonu obu lamp w kolejności: najpierw lampy  $L_1$ , a następnie lampy  $L_2$ . Było to konieczne ze względu na zastosowane opory. Przetłącznik służy do wygodnego przenoszenia obciążenia z lampy  $L_1$  na lampę  $L_2$ , bez równoczesnego narażania lampy  $L_1$  na „zgaśnięcie“. W czasie zapłonu przetłącznik powinien znajdować się w położeniu „0“. Opory duże „Z“ ułatwiają zapłon, który w tych warunkach następuje przy napięciu o 50% wyższym niż normalnie.

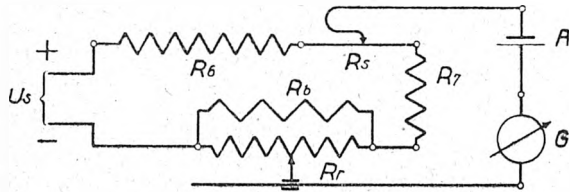
Układ daje stabilizację podwójną, gdyż lampa  $L_1$  zmniejsza wahania napięcia  $U_s$ , dając napięcie pośrednie  $U$ . Lampa  $L_2$  zmniejsza wahania napięcia pośredniego  $U$ , dając napięcie wyjściowe  $U_s$ , dostatecznie stabilizowane. Różnica napięć  $U - U_s$  jest wielkością stałą i wynosi dla danego układu około 70 V. Poszczególne opory dobrano tak, by prąd  $I_s$  był wystarczający do zasilania woltomierza elektrodynamicznego o wyjątkowo dużym poborze prądu (nawet powyżej 100 mA). Oba miliamperomierze mają na celu zapobiec przeciążeniu, ewentualnie „zgaśnięciu“ lamp. Jest rzeczą zrozumiałą, że układ daje straty.

Do mierzenia zmian napięcia wyjściowego  $U_s$  zestawiono prosty układ kompensacyjny, przedstawiony na rys. 5. Prąd w obwodzie kompensacyjnym wynosił od 41 do 42 mA. Siłę elektromotoryczną jednego ogniwa akumulatora

rowego kompensowano przy pomocy galwanometru skazówkowego o małym oporze z odpowiednim spadkiem napięcia na oporach  $R_s$ ,  $R_r$  i  $R_r$ . Galwanometr miał dane: 1 działka = 4. 10<sup>-6</sup> A, opór wewnętrzny 6  $\Omega$ , opór kompensacyjny zawarty pomiędzy obu stykami kompensacyj-

nymi wynosił  $2:0,041 =$  około  $48 \Omega$ . Czułość napięciowa galvanometru wynosiła w tych warunkach  $54,4 \cdot 10^{-6}$  V, tj.  $0,000216$  V na jedną działkę. W stosunku do siły elektromotorycznej akumulatora stanowi to  $0,0108\%$  na jedną działkę.

Napięcie wejściowe  $U_g$  pobierano z małej przetwornicy radiowej, zasilając ją po stronie niskiego napięcia z ge-



A Akumulator	$R_7$	$45 \Omega$
G Galwanometr	$R_6$	$5000 \Omega$
	$R_r$	$11 \Omega$
	$R_b$	$0,13 \Omega$

Rys. 5. Schemat układu kompensacyjnego

neratora samochodowego, regulowanego przy pomocy „Tirilla” samochodowego, albo też przy pomocy zwyczajnego opornika w obwodzie wzbudzenia.

Przeprowadzono szereg prób, stosując lampy o dużym i małym oporze wewnętrznym.

Próba I. Lampa  $L_1 - 280/40$ ,  $r_w = 257 \Omega$ . Lampa  $L_2 - 280/80$ ,  $r_w = 170 \Omega$  dla 4 stref świetlenia. Zmiana napięcia  $U_g$  o  $1\%$  tj. o jakieś  $4$  V, spowoduje zmianę napięcia pośredniego o  $4,257:1257 = 0,82$  V; ta z kolei spowoduje zmianę napięcia wyjściowego  $U_s$  o  $0,82 \cdot \frac{3/4 \cdot 170}{1170}$

$= 0,089$  V, tj.  $0,0425\%$  napięcia wyjściowego  $210$  V. Zmieniając  $U_g$  od  $380$  do  $400$  V, tj. o  $5,3\%$ , zaobserwowano przesunięcie skazówki galwanometru od  $20$  do  $22$  działek, co daje średnio  $0,227\%$ . Z obliczenia zaś wypada  $0,0425 \cdot 5,3 = 0,225\%$ . Stosowanie 2 lamp wyjątkowo złych jest niecelowe i dałoby w rezultacie wynik niewiele lepszy, aniżeli jedna lampa  $280/80$ , której charakterystykę podano na rys. 3.

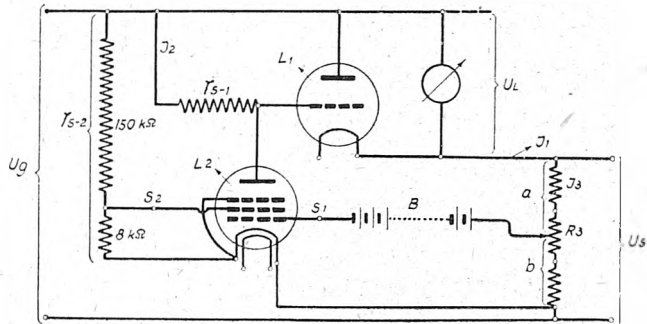
Próba II. Lampa  $L_1 - 280/40$ ,  $r_w = 60 \Omega$ . Lampa  $L_2 - 280/80$ ,  $r_w = 40 \Omega$  dla 3 stref. Zmiana napięcia  $U_g$  o  $1\%$  (jak poprzednio) spowoduje zmianę napięcia  $U$  o  $4,60:1060 = 0,226$  V, ta zaś z kolei spowoduje zmianę  $U_s$  o  $0,226 \cdot 40:1040 = 0,0087$  V, w stosunku do  $210$  V tylko  $0,00415\%$  napięcia wyjściowego. Zmieniając napięcie  $U_g$  z  $380$  do  $420$  V, tj. o  $10,5\%$ , zaobserwowano przesunięcie skazówki średnio o  $5$  działek, co stanowi  $0,054\%$ , za miast obliczonych  $0,00415 \cdot 10,5 = 0,0435\%$ . Zastosowanie takich dwu lamp dałoby stabilizację o stosunku  $1:200$ .

Próby przeprowadzone na rozmaitych zespołach lamp wykazały, że współczynnik stabilizacji zależy od oporów wewnętrznych lamp nie zmienia się na ogół. Napięcie  $U_0$  zależy w dużym stopniu od czasu, który upłynął od chwili włączenia lampy, tzn. od czasu nagrzania i w pewnym stopniu także od samego obciążenia. Czas nagrzania wynosi około pół godziny, w nowych lampach jest on jednak znacznie dłuższy. Zaobserwowano, że nawet po upływie godziny od włączenia  $U_0$  ciągle jeszcze opada. Zmniejszenie obciążenia lampy łagodzi w znacznym stopniu zmiany napięcia  $U_0$ . Jakkolwiek stabilizator wyrównywał wahania napięcia z dostateczną dokładnością, to jednak stałość napięcia w ciągu dłuższego czasu była za mała, by umożliwić dogodną pracę. Nadmienić należy, że fabryka lamp „Stabilivolt” gwarantuje stałość napięcia w granicach tylko  $\pm 0,1\%$ .

### 3. Stabilizator z lamp elektronowych.

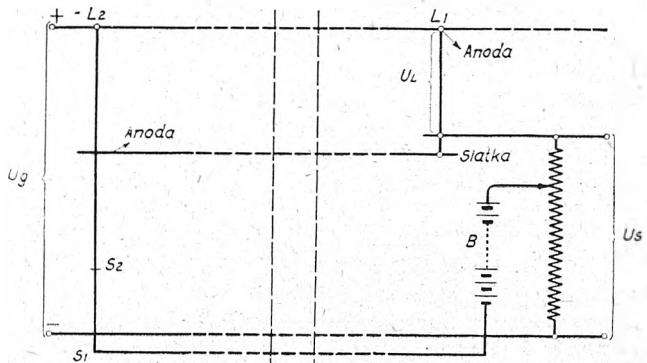
Biorąc pod uwagę, że stabilizator w opisanym wykonaniu nie był prosty w obsłudze, szczególnie jeśli chodzi o sprawdzanie woltomierzy (długi okres nagrzewania lamp i pewna niestałość napięcia świetlenia w zależności od zmian obciążenia), a ponadto był obciążony dużymi stratami zarówno prądu jak i napięcia, co znów miało znaczenie przy zasilaniu z akumulatora przez przetworniczkę, autor rozpoczął próby nad możliwością zastosowania lamp elektronowych do ustalenia napięcia. Po długich

i żmudnych próbach, spowodowanych między innymi brakiem odpowiedniej literatury i odpowiednio urządzonej pracowni, udało się jednak zestawzić bardzo prosty układ, przedstawiony na rys. 6.



Rys. 6. Schemat stabilizatora z lamp elektronowych

Stabilizator składa się ze sterowanej triody „ $L_1$ ”, ze sterującej pentody „ $L_2$ ”, która spełnia zarazem rolę wzmacniacza prądu stałego. Obwody żarzeniowe obu lamp pominięto. Rys. 7 przedstawia wykres napięć obu



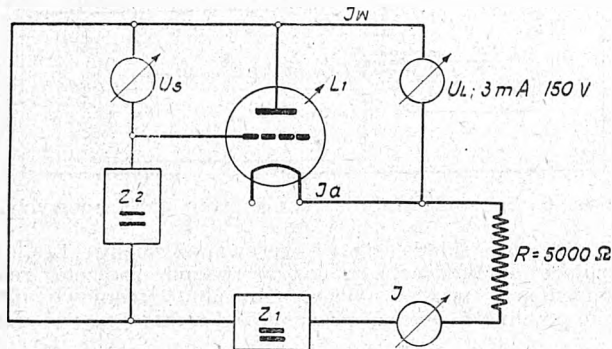
Rys. 7. Wykresy napięć stabilizatora elektronowego

lamp. Przypuśćmy, że w pewnej chwili wzrośnie napięcie  $U_g$ . W konsekwencji wywoła to pewien wzrost napięcia sterowanego  $U_s$ , a tym samym wzrost prądu  $I_3$ . Wobec tego spadek napięcia w części „b” oporu  $R_3$  także wzrośnie, przesuując przez baterię B potencjał siatki  $S_1$  bliżej potencjału katody lampy  $L_2$ . Spowoduje to wzrost prądu anodowego w lampie  $L_2$  i oporze  $r_{s-1}$ . Potencjał siatki w lampie  $L_1$  oddali się od potencjału katody (ujemne napięcie siatki stanie się jeszcze bardziej ujemne), co wywoła wzrost oporu wewnętrznego lampy  $L_1$  i zahamuje dalszy wzrost napięcia stabilizowanego  $U_s$ . W miarę wzrostu oporu lampy  $L_1$  przez równolegle włączony woltomierz przepłynie większy prąd, który spowoduje zbliżenie się potencjału katody do potencjału siatki i tym samym zapobiegnie przesterowaniu lampy  $L_1$ . Jako pentoda sterująca okazała się zupełnie odpowiednia lampa RV 12 P 2000, znajdująca się na rynku w dużych ilościach i bardzo tania.

Wstępne próby przeprowadzone z tą lampą dla ustalenia parametrów jej pracy jako wzmacniacza prądu stałego wykazały, że można będzie uzyskać znacznie większy współczynnik wzmocnienia, aniżeli stosowany zazwyczaj w radiotechnice, jeśli ona pracować będzie przy małym napięciu siatki osłonowej i małym prądzie anodowym. Dla wyjaśnienia powyższego przytoczamy parę liczb. I tak w jednej lampie zmieniano napięcie siatki sterującej względem katody z  $1,1$  V do  $0,55$  V przy stałym napięciu na siatce osłonowej wynoszącym  $38$  V. Prąd anodowy zmienił się przy tym od  $1,08$  mA do  $1,75$  mA, tj.  $1,62$ -krotnie. Przy napięciu na siatce osłonowej równym  $14,5$  V ta sama zmiana napięcia na siatce sterującej powodowała zmianę prądu od  $0,21$  mA do  $0,73$  mA, tj.  $3,74$ -krotnie. Na innej lampie tego typu uzyskano przy zachowaniu tych samych warunków na siatce sterującej i  $30$  V na siatce osłonowej zmianę prądu w stosunku  $1:1,81$ . Przy  $15,5$  V napięcia na siatce osłonowej uzyskano zmianę prądu w stosunku  $1:2,84$ . Jak widać z wykresu napięć (rys. 7), wzrost napięcia  $U_g$  powinien wywołać przez siatkę sterującą lampy  $L_2$  wzrost

jej prądu anodowego. Ta okoliczność skłoniła autora do bezpośredniego uzależnienia napięcia siatki osłonowej od napięcia  $U_g$ . Sama wielkość napięcia wynikała z innego zjawiska, o czym później.

Na triodę sterowaną nadaje się dobrze lampa dużej mocy o małym oporze wewnętrznym jak np. AD 1. Celem ustalenia warunków pracy lampy  $L_1$  zbadano ją przy pomocy dwu niezależnych źródeł prądu, mierząc równocześnie napięcia anoda — siatka, anoda — katoda i prąd anodowy (rys. 8). W tabl. 1 podano wzajemną zależność posz-



Rys. 8. Schemat badania warunków pracy lampy  $L_1$

czególnych wartości. Jako źródła prądu  $Z_1$  i  $Z_2$  zastosowano dwie małe przetwornice radiowe. Wartość  $U_L$  oraz  $I$  odczytywano regulując  $U_s$  przy pomocy  $Z_2$ . W uzupełnieniu tablicy podano obliczone wartości oporu wewnętrznego lamp  $R_L$  oraz wartość spadku napięcia na oporze  $R$ . Okazało się, że w tym układzie woltomierz włączony

Tablica 1. Wzajemna zależność napięć lampy  $L_1$  (rys. 8)

$U_s$ (woltów)	46	55	80	100	120	140	60	75	90	100	120
$U_L$ (woltów)	43,5	52	70,5	86,5	102,5	117,4	58,4	70,4	82,2	89,4	105,5
$I$ (miliamp.)	36	35	31	28	25,5	23,5	55	54	52	50,5	48,5
$I_a$ (miliamp.)	35,1	34	29,6	26,3	23,5	21,2	53,8	52,6	50,4	48,7	46,4
$R_L$ (omów)	1240	1530	2380	3290	4370	5550	1085	1340	1630	1830	2280
$I \cdot R$ (woltów)	180	175	155	140	127,5	117,5	275	270	260	252	242

równoległe do lampy  $L_1$  doskonale lampę reguluje. Wadą tego układu jest to, że lampa nie tylko nie daje żadnego wzmocnienia, ale nawet zmniejsza współczynnik wzmocnienia lampy  $L_2$ . Układ ten jednak zachowano, gdyż jest nadzwyczaj prosty i bardzo wygodny w pracy. Wielkość prądu regulowanego można zwiększyć, łącząc równoległe kilka lamp  $L_1$ . Lampy nie muszą nawet mieć takiej samej charakterystyki. W wykonanym stabilizatorze pracują równoległe jedna lampa AD 1 i jedna P 12 250.

Badanie współpracy lamp  $L_1$  i  $L_2$  przeprowadzono według układu podanego na rys. 6 z tą różnicą, że pomiędzy siatkę a katodę lampy  $L_2$  włączono oddzielne regulowane źródło prądu zupełnie niezależne od napięcia wyjściowego  $U_s$ . Ponadto przewidziano możliwość regulacji napięcia siatki osłonowej, uzależnionego zresztą od napięcia  $U_g$ . Okazało się bowiem przedtem, że współczynnik wzmocnienia siatki osłonowej jest około 20 razy mniejszy od współczynnika siatki sterującej. Zachowując opór  $r_{s-1}$  równy 2 M $\Omega$  jako najodpowiedniejszy w danych warunkach, wypośrodkowano opór  $r_{s-2}$  równy (8000+150 000) omów. W ten sposób dała się uzyskać niezależność napięcia wyjściowego (stabilizowanego)  $U_s$  od napięcia zasilania  $U_g$ . Próby przeprowadzono dla  $U_s$  zmieniającego się w granicach 120 — 190 V oraz dla napięć  $U_L$  wykluczających zmianę potencjału siatki na dodatni względem katody.

Tabl. 2 podaje zależność wzajemną poszczególnych napięć. Przy zmianie obciążenia okazało się jednak, że

cały układ wpada łatwo w oscylacje. Przez uzależnienie siatki sterującej od napięcia  $U_s$  za pośrednictwem baterijki o napięciu nawet 7 V udało się cały układ ustabilizować. Takie napięcie jest jednak za małe, gdyż na siatkę mogą działać zmiany napięcia  $U_s$  zmniejszone w stosunku oporów  $b : (a + b)$ , tj. około (7—1,5) : 160  $\cong$  1 : 30.

Rzeczywisty współczynnik wzmocnienia (bez uwzględnienia wpływu siatki osłonowej) tj.  $\Delta U_L : \Delta U_{s-1}$  wynosił około 400. Z tego tylko 30-ta część mogła działać przez lampę  $L_2$  na lampę  $L_1$ . W tych warunkach wpływ siatki osłonowej był większy i siatka sterująca w ogóle nie mogła działać.

Z tabl. 2 wynika charakterystyczna własność układu. Napięcie  $U_s$  nie jest zupełnie niezależne od zmian napięcia  $U_g$ . Przy stałym wzroście napięcia  $U_g$ , a więc co za tym idzie napięcia  $U_L$ , napięcie  $U_s$  początkowo nieznacznie wzrasta, a potem też nieznacznie maleje. Jeśli narysujemy wykres funkcji  $\Delta U_s$  w zależności od  $U_L$ , otrzymamy spłaszczoną krzywą, zwróconą wypukłością ku górze. Jej maksimum leży pomiędzy punktami 60 V i 90 V na osi  $U_L$ . W tym punkcie jest napięcie stabilizowane  $U_s$  rzeczywiście zupełnie niezależne od napięcia  $U_g$ . Z tego też powodu pozostawiono w układzie woltomierz włączony równoległe do lampy  $L_1$ . Okazało się też, że maksimum krzywej nie zależy prawie od obciążenia.

Dalsze badania zależności  $U_s$ , względnie jego zmian od zmian napięcia  $U_g$  i  $U_L$  przeprowadzono przy pomocy układu kompensacyjnego (rys. 5). Z układu usunięto oba opory  $R_b$  i  $R_r$ , łącząc galwanometr bezpośrednio z zaciskiem ujemnym oporu  $R_7$ . Wartość oporu kompensacyjnego zmniejszono do 37  $\Omega$ , co dało czułość napięciową galwanometru : 1 działka = (37 + 6) 4  $\cdot 10^{-6}$  V. W stosunku do napięcia akumulatora 2 V daje to dla 1 działki 0,0086%. Jest rzeczą zrozumiałą, że równocześnie ze zmniejszeniem oporu kompensacyjnego zmniejszono też odpowiednio

opór  $R_6$ . Jeśli więc napięcie  $U_s$  wynosiło np. 160 V, to zmiana napięcia o jedną działkę wynosiła niespełna 14 mV.

Przy wybieraniu odpowiedniego napięcia baterii okazało się, że samo zmniejszenie wahań napięcia do pożą-

Tablica 2. Wzajemna zależność napięć stabilizatora

$U_g$	$U_L$	$U_s$	
woltów			
204	59	—	145,0
225	79	—	145,5
235	89	—	145,5
245	100	—	145,0
255	112	—	145,0
180	50	26	130
200	75	26,05	
215	90	26,05	
225	100	26,05	
235	110	26,0	
240	116	26,0	
250	125	25,9	

danych granic jeszcze nie wystarczy. Już przy napięciu baterii rzędu 20 V, skazówka galwanometru była nieruchoma, jakkolwiek wahania napięcia  $U_g$  były znacznie



większe od występujących normalnie w sieciach. Po upływie pewnego czasu (kilka minut) skazówka przesuwała się powoli o dwie a nawet więcej działek, by znowu po upływie pewnego czasu wrócić w swe dawne położenie. Niestalość ta, jak wykazały badania, jest wynikiem zmian występujących w poszczególnych oporach. Szczególnie silny wpływ wywierają opory grupy  $R_3$ . Duże znaczenie ma styk ślizgowy pomiędzy oporami a i b. Styk ten zwiera kilka zwojów, z których skrajne mogą być tylko częściowo (przechodnio) zwarte. Im styk ten znajduje się dalej od potencjału katody lampy  $L_2$ , tzn. im napięcie baterii jest wyższe, tym wpływ stabilizacyjny siatki lampy sterującej jest większy. Wychodząc z tego założenia zastosowano zwyczajną baterię anodową o napięciu 100 względnie 120 V. Przy tym napięciu jako opory  $r_s - 1 r_s$  — mogą być stosowane zwyczajne opory radiowe odpowiedniej mocy. Opor  $R_3$  zestawiono z następujących elementów: do katody lampy  $L_1$  jest przyłączony opór stały o wartości 6000  $\Omega$ , do katody lampy  $L_2$  taki sam opór o wartości 13 000  $\Omega$ , pomiędzy zaś oba te opory włączono precyzyjny potencjometr o oporze 1000  $\Omega$ . Posługując się ponadto zaczeplami baterii anodowej, można nastawić każde napięcie w granicach od 100 do 190 V, przy czym regulacja jest tak drobna, że można galwanometr nastawić na każdą wartość, nie uciekając się do oporu ślizgowego w układzie kompensacyjnym.

Szereg prób, którym poddano powyżej opisany układ, wykazał jego zupełną przydatność do zasilania obwodów napięciowych przyrządów skazówkowych nawet najwyższej klasy podczas sprawdzania ich przy pomocy kompensatorów, co najlepiej uzasadnia tabl. 3. Ustawiono

Tablica 3. Zmiany napięcia wyjściowego  $U_s$ 

L. p.	$\alpha$	L. p.	$\alpha$	L. p.	$\alpha$	L. p.	$\alpha$
1	+ 0,5	16	$\pm 0$	31	+ 0,5	46	- 0,1
2	$\pm 0$	7	+ 0,2	2	+ 0,6	7	- 0,5
3	$\pm 0$	8	- 0,3	3	+ 1,0	8	+ 0,1
4	+ 0,5	9	- 0,1	4	+ 0,9	9	- 0,1
5	+ 0,5	20	+ 0,5	5	+ 0,3	50	- 0,3
6	+ 0,3	1	+ 0,3	6	+ 0,5	1	- 0,6
7	+ 0,3	2	+ 0,3	7	+ 0,4	2	$\pm 0$
8	+ 0,1	3	+ 0,5	8	- 0,1	3	+ 0,5
9	$\pm 0$	4	+ 0,6	9	$\pm 0$	4	+ 0,9
10	+ 0,3	5	$\pm 0$	40	- 0,2	5	$\pm 0$
1	+ 1,0	6	$\pm 0$	1	- 0,2	6	$\pm 0$
2	+ 0,8	7	+ 0,1	2	- 0,5	7	- 0,1
3	$\pm 0$	8	+ 0,2	3	+ 0,5	8	$\pm 0$
4	+ 0,2	9	$\pm 0$	4	$\pm 0$	9	+ 0,2
5	+ 0,5	30	$\pm 0$	5	$\pm 0$	60	+ 0,2

$U_g = 240$  V,  $U_s = 162$  V,  $U_L =$  około 80 V i po 5-minutowym nagraniu rozpoczęto notowanie położenia skazówki galwanometru, zapisując kolejno jej położenie co 30 sekund. Wartości od 1 do 60 obejmują okres 30 minut. W ciągu tego czasu nie zaobserwowano ani jednego wychylenia, któreby przekraczało podane w tablicy wartości. Największe zmiany położenia skazówki zanotowano między odczytem 12-tym i 13-tym oraz 42-gim i 43-cim. Różnice te dochodziły do jednej działki w ciągu 30 sekund.

Przyjmijmy, że sprawdzamy watomierz na 120 V, a dzielnik napięcia ma stosunek 1:100. Jedna działka przy 120 V odpowiada napięciu 10,3 m V. Przy wartości 12 na pierwszej tarczy wyniesie ta największa zmiana jednostkę na 4 tarczy (korbec).

Podamy również, jak na taką zmianę zareaguje precyzyjny galwanometr. Przyjmujemy, że mamy kompensator Feussnera o oporze całkowitym 40 000  $\Omega$  oraz galwanometr lusterkowy o oporze około 200  $\Omega$  i stałej prądowej  $C_i = 10^{-8}$  A (Trüb, Täuber). Przy niepełnej równowadze układu przez galwanometr płynie prąd

$$i_g = U : (R_0 + R_g + R'_k) \text{ amp.},$$

gdzie  $R_0$  oznacza opór źródła prądu, którego zmianę

chcemy mierzyć,  $R_g$  — opór galwanometru,  $R'_k$  zredukowany opór kompensacyjny \*).

Ponieważ w naszym wypadku zarówno  $R_0$  jak i  $R_g$  są małe w stosunku do  $R'_k$ , więc je opuszczamy,  $i_g$  wyniesie  $137 \cdot 10^{-8}$  A, co przy wyżej podanej czułości galwanometru da około 70 działek. Jak wiadomo, takich zmian nie uwzględnia się przeważnie przy sprawdzaniu przyrządów skazówkowych. Zresztą można zmniejszyć zmiany napięcia, usuwając zupełnie potencjometr w oporze  $R_3$  i regulując napięcia na żadaną wartość przy pomocy układu oporników, co się zwykle stosuje.

Wydaje się jednak, że regulacja napięcia stabilizowanego na żadaną wartość bezpośrednio za pomocą stabilizatora jest bardziej celowa, przynajmniej jeśli chodzi o sprawdzanie watomierzy. Co więcej, można zaryzykować twierdzenie, że kompensator pomocniczy będzie w tych warunkach zbyt cenny, a główny kompensator zaopatrzonego co najwyżej w niezależne od położenia korb (tarcz) zaciski: 0,9 V; 1,0 V; 1,2 V i 1,5 V pozwoli z łatwością od czasu do czasu skontrolować, czy w obwodzie napięciowym jednak coś się nie zmieniło.

W sprawie wpływu zmian napięcia  $U_g$  na napięcie stabilizowane  $U_s$  przeprowadzono szereg prób, które dały następujący wynik. Napięcie  $U_g$  zmieniano od 250 V do 280 V, tj. o 12% w górę i od 250 V do 230 V, tj. o 8% w dół. Galwanometr w obu tych wypadkach wykazał średnią zmianę, wynoszącą 0,8 działki, tj. 0,007%. Przy  $U_s = 160$  V 0,8 działki odpowiada 11,2 m V. Stosunek stabilizacji wyniósł wobec tego średnio  $0,0112:25 = = 1:2200$ .

Opisanemu stabilizatorowi można mimo jego niezwykłej prostoty zarzucić stosowanie baterii anodowej. Można by zastąpić podobnie czuły układ bez baterii anodowej, będzie on jednak posiadał znacznie więcej elementów, które mogą silnie wpłynąć na stałość stabilizowanego napięcia w ciągu dłuższego czasu. Podobne układy są wyrabiane za granicą jako tzw. uniwersalne aparaty anodowe. Autorowi jednak nic nie wiadomo, jak zachowuje się w tych aparatach napięcie w ciągu dłuższego czasu. Badania przeprowadzone nad opisanym stabilizatorem nasuwają jednak pewne wątpliwości pod tym względem. Zdaniem autora, bateria anodowa nie stanowi żadnej niedogodności w pracowni wzorcowniczej dla przyrządów pomiarowych. Czas pracy takiej baterii wyniesie co najmniej rok, gdyż jej opór wewnętrzny nie odgrywa żadnej roli. Autor stosował w ciągu wielu lat i z bardzo dobrym skutkiem baterijki 4,5 V dla napięcia siatkowego w aparacie radiowym starożytnego typu.

Jakkolwiek nic nie stoi na przeszkodzie, by zbudować stabilizator na dowolne wyższe napięcie, to jednak wydaje się rzeczą celową mieć do dyspozycji przede wszystkim zasadnicze napięcia od 100 do 180 V, gdyż przy tych napięciach odbywa się ustalanie poprawek dla całej skali przyrządu. Badanie przyrządu na innych zakresach napięciowych ma na celu ustalenie wpływu dodatkowego oporu, do czego wystarczy zdjęcie kilku punktów. Wychodząc z tego założenia, przeprowadzono próby nad możliwością rozszerzenia zakresu napięć stabilizatora, włączając lampę świetlącą „Stabilivolt” pomiędzy ujemny zacisk stabilizatora a wspólny punkt katody lampy  $L_2$  i oporu  $R_3$ . Lampa świetląca pracuje tu w szczególnie korzystnych warunkach, gdyż przy zupełnie stałym obciążeniu. Próby przeprowadzono z lampą STV 280/40 przy włączeniu tylko 2 strefy świetlenia. Napięcia wynosiły:  $U_g = 410$  V,  $U_s = 322$  V,  $U_L = 88$  V. Zmiana napięcia  $U_s$  spowodowana nagraniem się lampy „Stabilivolt” wynosiła: po 12-minutowym nagraniu w ciągu 5 minut średnio 0,017% na minutę, po 25-minutowym nagraniu w ciągu 8 minut średnio 0,014% na minutę, po 32 minutach w ciągu 10 minut średnio 0,008% na minutę. Stanowi to bezsprzecznie niedogodność. Należy jednak uwzględnić, że przepisy wymagają, by przyrząd przed sprawdzeniem nagrzać nominalnym prądem i napięciem w ciągu 15 do 30 minut, i że chodzi nam tylko o sprawdzenie kilku punktów w każdym zakresie napięć. Uwzględniając to dojdziemy do przekonania, że może nie warto budować przyrządów na wyższe napięcia mało zresztą używane.

\* Krukowski W. Die Genauigkeit der Gleichstromkompensationsmessungen und die Mittel zu ihrer Steigerung. Annales de l'Académie des Sciences Techniques à Varsovie, 1935.

INŻ. WŁODZIMIERZ HELLMANN i  
TCHLG. MAKSYMILIAN KĘDZIORSKI

## Organizacja i metoda badania oporności uzemień ochronnych na terenie okręgowych zakładów energetycznych

Treść. Na przykładzie praktyki Zakładów Elektrycznych Pomorza opisano organizację masowego sprawdzania oporu uzemień ochronnych w sieciach i urządzeniach elektrycznych oraz przyjętą metodę pomiarów.

Контролирование сопротивления заземлений. На основании опыта поморских электроэнергетических предприятий дается организационная схема массовой проверки сопротивления защитных заземлений в электрических сетях и установках и принятый метод измерений.

Controlling the Resistance of Earthings. On the basis of experience of the Pommeranian Electric Power Plants, a description is given of the organisation of mass tests of protective earthings on electric lines and in electric installations, as well as of the method of measuring adopted.

Contrôle de la résistance des prises de terre. Se basant sur la pratique des Établissements d'Électricité de Pommeranie, l'auteur décrit l'organisation de la vérification en masse de la résistance des prises de terre de protection dans les réseaux et installations électriques, ainsi que la méthode de mesure adoptée.

### 1. Wstęp.

Realizowany obecnie z centrum plan elektryfikacji państwa przez powołanie do życia okręgowych przedsiębiorstw, odpowiedzialnych za techniczną i handlową gospodarkę energetyczną na terenie okręgu, nasuwa konieczność centralnego rozwiązania pewnych zagadnień technicznych celem ekonomicznego wyzyskania nielicznych sił fachowych, jak i dlatego, że dyrekcja przedsiębiorstwa okręgowego jest odpowiedzialna za całokształt jego pracy i musi dysponować aparatem do kontroli tej pracy.

Ważność należycie wykonanych i o odpowiedniej oporności uzemień ochronnych nie potrzebuje wyjaśnienia. Zagadnienie to występuje w całej pełni na terenie nowoutworzonych dużych przedsiębiorstw okręgowych, które przejęły pod swój zarząd wiele małych zakładów samorządowych o zacofanej gospodarce technicznej i włączają je w swój układ sieciowy. Konieczność poprawy stanu technicznego w tym momencie, choćby tylko na odcinku bezpieczeństwa i ochrony urządzeń i personelu, narzuca się tu z całą wyrazistością.

Również realizowana obecnie na terenie całego państwa szeroko zakrojona akcja elektryfikacji wsi każe specjalnie zwrócić uwagę na zagadnienie uzemień ochronnych.

Celem niniejszego artykułu jest podzielenie się ze wszystkimi zainteresowanymi wynikami masowego badania oporności uzemień ochronnych, zapoczątkowanego na terenie Zakładów Elektrycznych Pomorza w roku 1947.

Zakłady Elektryczne Pomorza obejmują swym zasięgiem województwo pomorskie oraz dwa powiaty województwa szczecińskiego — człuchowski i złotowski. Ogólny obszar działania obejmuje powierzchnię ok. 19 000 km<sup>2</sup> i podzielony jest administracyjnie na 7 oddziałów sieciowych, obsługujących: a) sieć przesyłową na 60 kV i 110 kV o łącznej długości ok. 200 km oraz b) sieć rozdzielczą na 15 kV o łącznej długości ok. 2 200 km. Sieć zasilana jest przez 5 elektrowni parowych i wodnych o łącznej mocy rozporządzałnej ok. 25 000 kW.

Różnorodny stan techniczny urządzeń sieciowych, budowanych w różny sposób w okresie od 1911 r. do czasów obecnych i pozostawionych przez rabunkową gospodarkę okupanta w katastrofalnym stanie, nakazał zwrócić uwagę przede wszystkim na zagadnienie zabezpieczeń i stanu technicznego uzemień ochronnych.

Polodowcowa struktura geologiczna Pomorza, obfitość rzek, wzgórz i lasów są przyczyną dużej liczby dni burzliwych w roku, a więc urządzenia elektryczne są w znacznym stopniu narażone na skutki przepięć.

### 2. Wybór metody pomiaru.

Całkowity brak aparatury pomiarowej do badania uzemień, a w szczególności przenośnego mostka do pomiarów metodą kompensacyjną, nakazał zastosowanie metody pomiarowej, która by z jednej strony gwarantowała rzetelność pomiarów, z drugiej zaś strony pozwoliła na masowe, pewne, a jednocześnie ekonomiczne dokonanie pomiarów oporności ok. 500 uzemień o różnych typach wykonania i różnych charakterystykach. Oprócz głębokości zakopania na charakterystykę uzziemienia ma wpływ wiele czynników jak temperatura, wilgotność, rodzaj gleby, liczba i kształt geometryczny uzemień, jak również ich sposób zakopania (ob. artykuł inż. J. Chodźńskiego w biuletynie konferencji sieciowej z 27—29. III. 39, wydanym przez Związek Elektrowni Polskich). Dla przykładu na rys. 1 podana jest zmienność oporu rury uziumu w zależności od głębokości zakopania. Ogólna liczb

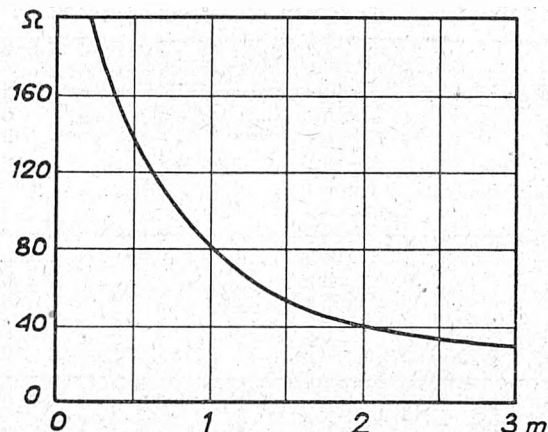
bę uzemień podlegających kontroli określić można na ok. 3000. Na wybór metody pomiaru miała również wpływ konieczność okresowego powtarzania pomiaru.

Pomiar oporności uzemień w odniesieniu do tzw. absolutnej ziemi jest b. trudny, a wyniki są przybliżone o różnych stopniach dokładności.

Jednak z uwagi na to, że oporność uzemień koncentruje się w 90% w bezpośredniej bliskości uziumu, mogą być użyte praktycznie dużo prostsze metody pomiaru.

Rozpatrzono trzy zasadnicze metody pomiarowe.

a) Metoda triangulacyjna przy użyciu dwóch pomocniczych uzemień i pomiarze szeregowym oporności każdej pary uzemień. Pomiar może być dokonany przy pomocy woltomierza i amperomierza lub odpowiedniego mostka pomiarowego. Dla osiągnięcia dokładnych wyników wielkość oporności uzemień pomocniczych musi być



Rys. 1. Zależność oporu rury uziumowej od głębokości zakopania (średnica zewnętrzna rury 2", ziemia mokra)

tego samego rzędu co oporność uzziemienia mierzonego. Metoda ta daje dobre wyniki przy pomiarze oporności uzemień słupów kratowych, pojedynczych rur uzimających o średniej wartości oporu. Dla pomiarów w przypadku małej oporności uzemień nie jest właściwa.

b) Metoda „stosunku”. Oporność w szereg włączonych uzemień — mierzonego  $R_x$  i pomocniczego mierzy się mostkiem. Potencjometr mostkowy jest połączony obu końcami do tych uzemień, a suwak ślizgowy mostka do drugiego uzziemienia pomocniczego. Potencjał suwaka w stosunku do uzziemienia jest wyregulowany do zera. Jeśli  $R$  jest całkowitą opornością drutu ślizgowego mostka, a  $r_1$  jest opornością między suwakiem a uzziemieniem mierzonym, to interesująca nas oporność uziumu jest:

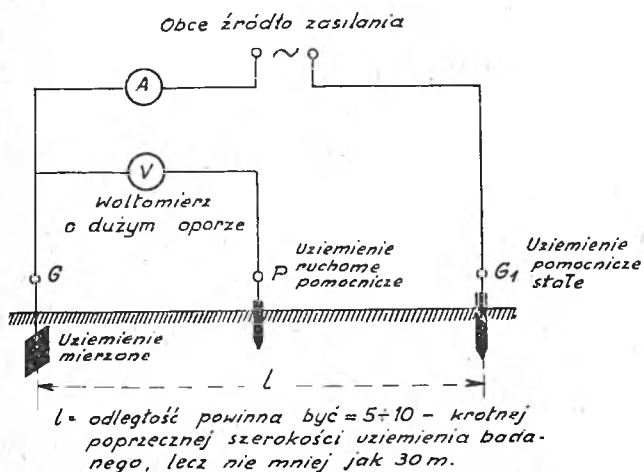
$$R_x = \frac{r_1^2}{R}$$

Metoda ta jest korzystniejsza niż pierwsza, gdyż tu stosunki oporności uziumu badanego i pomocniczego mogą dochodzić do 1 : 300 w zależności od jakości i dokładności mostka pomiarowego.

Stosowanie tej metody jest jednak ograniczone, gdy chodzi o pomiar małych oporności uzemień na dużej powierzchni (stacje rozdzielcze).

c) Metoda „spadku potencjału”. Jest stosowana w kilku wariantach w praktyce amerykańskiej, która stawia duże wymagania w kwestii unikania wpływów

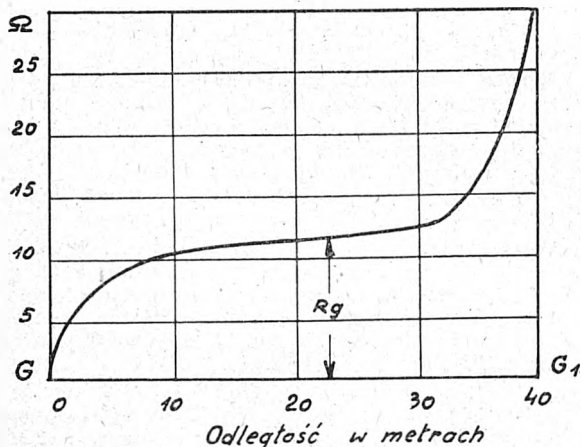
prądów błądzących i stosuje takie środki zaradcze, jak dołączanie dalekich (oddalonych o kilka kilometrów) uziemień pomocniczych, przy pomocy czasowo odłączanych spod napięcia linii odchodzących. Ogólne zasady tej metody pokazane są na rys. 2.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego

Prąd zmienny przepływa między uziemieniem G a stałym uziemieniem pomocniczym  $G_1$ , które wykonane jest jako pojedyncze lub podwójne wiercone. Woltomierz o dużym oporze jest przyłączony do uziemienia badanego G i do pomocniczego uziemienia przeniesionego P. Pomocnicze uziemienie P jest przenoszone wzdłuż linii  $GG_1$  i w każdym punkcie odczytuje się jednocześnie woltomierz i amperomierz.

Iloraz  $\frac{U}{I} = R_g$  w omach jest zaznaczany na wykresie jak na rys. 3. Rzędną płaskiej części krzywej uważamy



Rys. 3. Wartość oporności uziemienia przy zmiennej odległości GP według rys. 2

za mierzoną wartość oporności uziemienia badanego.

Normalnie wystarczy pomiar w 2 lub 3 punktach, jednak gdy podejrzewa się obecność rur lub obcych uziemień, zaleca się co najmniej 5—7 odczytów, gdyż krzywa ma w tych przypadkach przebieg zniekształcony.

Dla uniknięcia bardzo szkodliwych przy tej metodzie wpływów prądów błądzących Amerykanie uciekają się do szeregu środków zaradczych, jak:

1. stosowanie specjalnego omomierza eliminującego te wpływy;
2. niezależnienie źródła prądu zasilającego układ pomiarowy przez oddalenie o parę kilometrów od uziemienia badanego (przy użyciu na czas pomiaru odchodzących linii elektrycznych lub telefonicznych).

### 3. Organizacja pomiarów.

Metoda zastosowana w Zakładach Elektrycznych Pomorza jest zmodyfikowaną metodą „spadku potencjału“,

przy czym cechą jej jest posiadanie własnego całkowicie niezależnego źródła prądu zasilającego układ pomiarowy.

Daje to następujące korzyści:

- a) umożliwia dokonanie pomiaru oporności uziemienia w miejscach odległych od źródła napięcia,
- b) niezależnia wyniki pomiaru od wpływów wynikających z powiązania nieznanymi potencjałów w miejscu mierzonym od potencjału zasilania układu pomiarowego,
- c) usuwa konieczność użycia specjalnych aparatów, których brak na rynku.

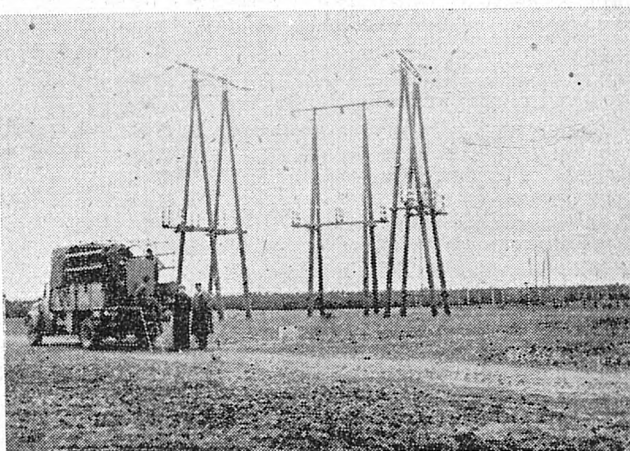
Jako źródło prądu służyła przewoźna elektrownia, zespół benzynowy o stałej liczbie obrotów (1500 na min.), napędzający generator prądu zmiennego na 15 kVA, 400/231 V. Zespół umieszczono na samochodzie ciężarowym 3-tonowym, na którym przewożone są równocześnie uziomy pomocnicze, młoty, przewody, przyrządy pomiarowe i personel.

Przewody prądowe mają przekrój co najmniej 6 mm<sup>2</sup>; przewody napięciowe co najmniej 1,5—2,5 mm<sup>2</sup>.

Uziemienia pomocnicze wykonano z kątowników duralowych, ściętych ostro do wbijania w ziemię i zaopatrzonych w głowicę do ochrony od uderzeń i w odpowiedni zacisk do przyłączania przewodów.

Jako woltomierza użyto specjalnie dostosowanego i przekalibrowanego przyrządu o dużym oporze i o zakresach 5, 25, 100 i 250 V, złożonego z mikroamperomierza o oporności 2000  $\Omega/V$  i prostownika. Do pomiaru prądu użyto normalnego wielozakresowego amperomierza od 0,003 do 6 amp.

Ekipa pomiarowa składała się z technika wydziału zabezpieczeń i pomocnika. Obsługę zespołu benzynowego łącznie z generatorem stanowili kierowca i pomocnik kierowcy samochodu ciężarowego (rys. 4a i 4b).



Rys. 4a i 4b Ekipa pomiarowa na miejscu pracy

Ekipa pomiarowa otrzymuje z Wydziału Zabezpieczeń zlecenie wykonania pomiarów; ma ono formę szkicu urządzeń sieciowych z zaznaczeniem miejsc do pomiaru. Ekipa udaje się na miejsce pracy po uprzedzeniu oddziału terenowego.

Do obowiązków ekipy należy prócz dokonania pomiaru jedynie usunięcie drobnych usterek i braków w przyłączeniu badanego uziemienia. Wyniki pomiarów oraz spostrzeżenia z technicznych oględzin każdego uziomu zapisuje się do protokołu, którego wzór podajemy niżej.

Dyspozycje naprawy uziemienia lub poprawy oporności ze wskazaniem zalecanego sposobu jednostka terenowa otrzymuje z Wydziału Zabezpieczeń. Po otrzymaniu od niej meldunku o wykonaniu przeprowadza się pomiar kontrolny przy najbliższej sposobności.

#### 4. Wyniki.

Opisane pomiary oporności uziemień przeprowadzone zostały w okresie od czerwca do września 1947 r. w porze najniekorzystniejszej pod względem przewodności ziemi, szczególnie dla uziomów rozmieszczonych w okolicach piaszczystych. Zeszłoroczna długotrwała susza spowodowała niewątpliwie znaczne zmniejszenie zawartości wilgoci w ziemi i tym samym przyczyniła się do pogorszenia stanu niektórych uziomów.

M. A. Hayet podaje w „Revue d'Électricité et de Mécanique“, że oporność ziemi bardzo silnie wzrasta przy zawartości wilgoci poniżej 15%. Łąłem zawartość wilgoci w ziemi wynosi normalnie 10%, a w innych porach roku dochodzi do 35%.

Ogółem zbadano 463 uziemienia, z czego 91 uziemień przypada na sieci i rozdzielnie 110 i 60 kV, a 372 uziemienia na sieci rozdzielcze o napięciu 15 kV.

Liczba przejechanych kilometrów samochodem ciężarowym wyniosła 7985. Zużycie benzyny przez zespół prądowców wyniosło 280 litrów; stąd zużycie na jeden pomiar — 0,6 litra. Ogólne koszty związane z przeprowadzeniem pomiarów wyniosły w przybliżeniu 360 tys. zł. W kosztach tych objęte są koszty przejazdów samochodowych, paliwa oraz całej robocizny. Nie wliczono natomiast wydatków na zakup przewoźnej elektrowni, przyborów i aparatury pomiarowej.

Wyniki pomiarów, których wartości wynosiły od 0,5 do 250 Ω, podaje poniższa tabela:

Ogólna liczba uziomów 463 czyli 100 %	Procentowa liczba uziomów o różnej oporności				
	0,5—1Ω	1—5Ω	5—15Ω	15—50Ω	50—250Ω
	3,2 %	24,0 %	36,0 %	24,5 %	12,3 %

Z tabeli wynika, że 63% uziemień wykazały całkiem zadawalającą wartość, natomiast 37% uziomów musiało ulec naprawie.

Z reguły przyjęto oporność 15 Ω dla normalnych uziomów sieci rozdzielczych za wystarczającą, a wszystkie inne, których oporność przekraczała wartość 15 Ω, były bez względu na ich przeznaczenie poddawane przeróbce.

Sztucznej poprawy przewodności ziemi przez użycie węgla drzewnego lub koksu czy też soli nie stosujemy, gdyż metody te budzą słuszne zastrzeżenia.

Do poprawy uziemień zastosowano zależnie od warunków miejscowych jako dodatkowe uziomy rury 2" ocynkowane, wiercone lub wbijane, albo też płyty żelazne ocynkowane lub duralowe o grubości 3 mm. Do wyboru najodpowiedniejszego rodzaju uziomu, jak również do prawidłowego zakładania w ziemię, służyły odpowiednio opracowane wskazówki.

Tabela następną podaje otrzymane z przeprowadzonych pomiarów średnie wartości oporności uziomu w zależności od założenia ich w różnego rodzaju glebie:

Rodzaj gleby	glina	czarnoziem	torfowisko i łąka	piasek
średnia wartość w omach	4,50	4,85	3,27	42,00

Poniżej podajemy usterki i braki, wykryte w uziomach podczas dokonywania pomiarów.

1. W 16 wypadkach stwierdzono rozluźnione lub silnie zardzewiałe zaciski, łączące doprowadzenie z uziomem.

2. W 8 wypadkach stwierdzono nieprzepisowe przyłączenie linki doprowadzającej od obiektu uziemionego do uziomu, jak skrócenie końców przewodu bez użycia zacisków, przyłączenie linki pod śruby należące do konstrukcji itp.

3. W 2 wypadkach uziomy były odłączone od obiektu.

4. W 9 wypadkach użyto wspólnej ziemi dla aparatury wysokiego i niskiego napięcia.

Dla wyjaśnienia podajemy, że z uwagi na trudności i kosztowność uzyskania uziemienia o bardzo małym oporze jako zasadę stosujemy oddzielne uziemienie ochronne wysokiego napięcia (odgromniki, iskierniki i konstrukcje) od uziemienia roboczego punktu zerowego.

#### 5. Wnioski.

Z przedstawionych powyżej wyników akcji masowych pomiarów nasuwają się następujące wnioski.

1. Przyjmując, że do pomiarów wykorzystano tylko 80 dni roboczych i że okres co najmniej pierwszych 20 dni był okresem nabywania wprawy, przypuszczać należy, że w ciągu jednego sezonu można by mierzyć około 1000 szt. uziemień przy pomocy jednej ekipy pomiarowej, a to jest już cyfra wystarczająca.

2. Wynikający ze sprawozdania koszt jednego pomiaru około 800 zł jest niespodziewanie niski, jeśli zważymy, że podane w czasopiśmie „Electrical World“ z 4 stycznia 1947 r. wyniki pomiarów uziemień w przedsiębiorstwie „Chatanooga Electric Power Syst.“ określają koszt jednego pomiaru na 10,8 dolarów przy wykonanych w ciągu 3 lat 2727 pomiarach.

3. Pomimo pozornie kosztownego sposobu wytwarzania energii do celów pomiarowych i przewożenia zespołu o wadze około 1000 kg widzimy, że zużycie paliwa na jeden pomiar jest niewielkie.

4. Metoda pomiaru jest stosunkowo prosta i nie wymaga wysoko kwalifikowanego personelu i kosztownych oraz trudnych do nabycia instrumentów pomiarowych.

5. Metoda pozwala na pomiar z dostateczną dokładnością różnego rodzaju uziomów od skupionych pojedynczych uziomów punktu zerowego stacji transformatorowych do rozległych sieci uziemień dużych transformatorni naporowatrznych.

6. Wyniki liczbowe wykazują stosunkowo duży procent wartości zadawalających, co należy jednak tłumaczyć faktem, że większość z pomierzonych w roku 1947 uziomów należy do urządzeń najbardziej odpowiedzialnych, jak duże rozdzielnie, kratowe słupy linii na 110 i 60 kV itd. Przy pomiarach wiejskich stacji słupowych, instalacji itp. należy spodziewać się znacznie gorszych wyników.

7. Zebrane z raportów pomiarów dane co do wartości uziemień różnych uziomów w różnych warunkach gleby pozwalają na wyciągnięcie pożytecznych danych dla poprawiania i projektowania nowych instalacji uziemiających z dużą dokładnością, a tym samym na zaoszczędzenie materiału i kosztów robocizny.

Załącznik  
(wzór formularza)

Zakłady Elektryczne Pomorza  
Wydział Zabezpieczeń

Protokół badania uziemienia Nr .....  
ruchowe — ochronne

- Miejscowość:  
rozdzielnia: ..... stacja transform. .... linia .....
  - Rodzaj i bliższe określenie uziomu:
  - Stan ogólny:  
doprowadzenie: ..... zaciski: .....  
materiał i przekroje ..... odległość od przyłączenia .....  
gleba ..... wilgotność .....
  - Uwagi .....
  - Metoda pomiaru: na zasadzie spadku potencjału; źródło zasilania: .....
  - Oporność uziemienia (Ω):  
I pomiar ..... II pomiar ..... III pomiar .....  
Dołączyć wykres napięcia w funkcji odległości uziemienia ruchomego od uziemienia mierzzonego.
  - Poprawki: .....
- Data: ..... Podpis: .....  
Szkice i uwagi na odwrocie.

INŻ. ADAM MIĄCZYŃSKI

# Radar i jego zastosowanie

Treść. Opisano podstawy fizyczne radaru, urządzenia nadawcze i odbiorcze i ich działanie oraz różnorodne zastosowania radaru w warunkach wojennych i pokojowych.

Радар и его применение. Описаны физические основы радара, его передаточные и приемные устройства, действие последних, а также различные применения в условиях военного и мирного времени.

Radar and Its Application. Particulars of the physical principles of radar, of transmitting and receiving equipment and their operation, as well as of the wide scope of application of radar under war and peace conditions.

Le radar et ses applications. L'auteur décrit les principes physiques du radar, les installations d'émission et de réception, leur fonctionnement ainsi que les diverses applications du radar en temps de guerre et de paix.

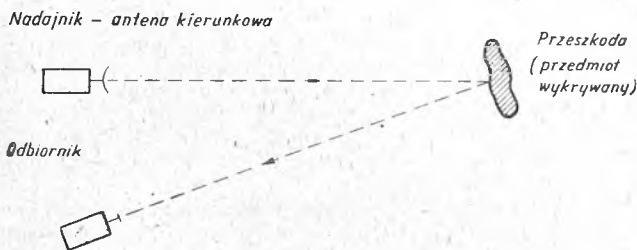
## 1. Wstęp.

Jeszcze w roku 1922 odkryto pewne właściwości fal radiowych, które są wyzyskane w radarze. Zauważono wówczas, że sygnały morskowskie podczas rozmowy telegraficznej dwu okrętów na morzu ulegały zniekształceniu z tego powodu, że mały parowiec, który przepływał przez strefę przesyłania fal, odbijał te fale. Po zbadaniu sprawy opracowano system wykrywania przeszkód za pomocą radia. Ale dopiero na krótko przed wojną, kiedy poznano sposoby wytwarzania fal bardzo krótkich rzędu kilkunastu, a nawet kilku centymetrów, kiedy wynaleziono specjalne anteny kierunkowe, rzucające w przestrzeń wąski snop fal elektromagnetycznych, jak to ze światłem robi reflektor, kiedy wreszcie zastosowano i rozwinięto technikę impulsów, można było opracować system niezawodny, który w całej pełni zdał egzamin w czasie ostatniej wojny. Anglia, mając w pierwszym okresie wojny słabe lotnictwo, nie byłaby w stanie obronić się przed potężną flotą powietrzną niemiecką, gdyby nie dobrze już wówczas działające stacje radarowe, za pomocą których można było wykrywać samoloty nieprzyjacielskie, nim przybyły one nad kanał La Manche; co pozwalało na natychmiastową interwencję. Później system radarowy przystosowano do wielu innych celów.

## 2. Podstawy fizyczne. Nadajnik i odbiornik i ich działanie.

Nazwę „radar“ utworzono z liter początkowych czterech wyrazów angielskich: „Radio Detection and Ranging“ tzn. wykrywanie oraz pomiary odległości przez radio.

Gdy fale radiowe, podobnie jak światło, przechodzą z jednego ośrodka o przenikalności magnetycznej ( $\mu$ ) i stałej dielektrycznej ( $\epsilon$ ) do ośrodka o innej przenikalności magnetycznej ( $\mu'$ ) i innej stałej dielektrycznej ( $\epsilon'$ ), wtedy pewna część energii elektromagnetycznej tych fal radiowych przejdzie przez oba ośrodki, inna część będzie pochłonięta przez oba ośrodki (zamieni się w ciepło), wreszcie reszta tej energii odbije się od płaszczyzny granicznej obu tych ośrodków. Gdy zatem wiązka fal elektromagnetycznych napotka na swej drodze jakiś inny przedmiot aniżeli powietrze (nie musi to być koniecznie przedmiot metalowy), wtedy następuje odbicie fal (rys. 1) i można



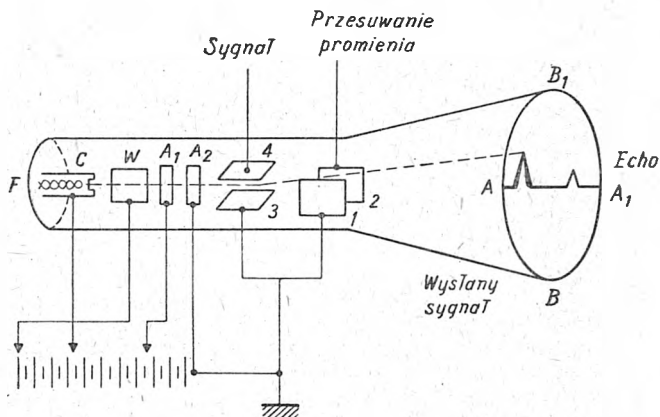
Rys. 1. Zasada działania radaru

je wykryć za pomocą odpowiedniego odbiornika elektropoptycznego tzw. oscylografu katodowego.

Najważniejszą i istotną częścią każdego oscylografu katodowego jest lampa (rys. 2), składająca się z bańki szklanej odpowiedniego kształtu, z której wypompowano powietrze. Wewnątrz bańki znajduje się katoda C (druć wolframowy, który pod wpływem prądu elektrycznego ogrzewa rurkę niklową pokrytą specjalną masą wysyłającą elektrony), rurka W i dwie tarcze  $A_1$  i  $A_2$ , do których są doprowadzone odpowiednie napięcia. Całość służy do skupienia wysyłanej wiązki elektronowej oraz do powiększenia prędkości elektronów, a więc do powiększenia ich energii. Wąski strumień elektronów przebiega następnie między dwiema parami płytek odchylających. Jeżeli do płytek tych nie doprowadzimy żadnego napięcia, strumień elektronów padnie dokładnie na sam środek

dna bańki powleczonego masą fluoryzującą (siarczyn cynku, krzemiany cynku, wolframan wapnia, wolframan kadmu itp.), która pod ich wpływem zacznie w tym miejscu świecić póki uderzają elektrony. Jest to tzw. punkt świetlny. Dno bańki powleczone masą nazywamy ekranem.

Przyłożmy do ostatniej (drugiej) pary płytek tzw. poziomych (1—2) pewne napięcie stałe. Pod wpływem pola



Rys. 2. Lampa oscylograficzna

elektrostatycznego strumień elektronów odchyli się, a punkt świetlny oddali się od środka ekranu o pewną odległość. Zmieniemy teraz bieguny na płytkach — punkt świetlny umiesci się obecnie po drugiej stronie środka ekranu. Gdy doprowadzimy do tych płytek napięcie zmienne, wtedy punkt świetlny będzie przebiegał tam i z powrotem wzdłuż średnicy poziomej ekranu  $AA_1$  tyle razy na sekundę, ile wynosi częstotliwość prądu zmiennego.

Jeżeli teraz w pewnym momencie nadejdzie jakiś sygnał — impuls na płytki pionowe (3—4), wtedy strumień elektronów odchyli się w kierunku pionowym w zależności od siły impulsu i pozostanie odchylony póty, póki trwa impuls. Wyobraźmy sobie, że tym pierwszym impulsem jest fala wysłana przez naszą stację radarową. Fala

ta po drobnym ułamku sekundy ( $\frac{1}{1000}$  lub  $\frac{1}{10000}$  sek.) odbita wraca znowu na płytki pionowe powodując nowy impuls. W tym samym ułamku sekundy nasz punkt świetlny pod wpływem prądu zmiennego działającego na płytki poziome przesunie się na ekranie w prawo. Składając oba te ruchy, otrzymamy obraz drugiego impulsu, oddalony w prawo od impulsu pierwszego (rys. 2). Możemy teraz zmierzyć odstęp pomiędzy obrazami obu impulsów, a znając prędkość przesuwania się punktu świetlnego po linii poziomej  $AA_1$  (obliczoną z częstotliwości przesunięć poziomych i średnicy ekranu), możemy obliczyć wzgl. poprostu zmierzyć czas między obu impulsami. Czas

ten możemy mierzyć z dokładnością do  $\frac{1}{1000000}$  sek., czego żaden zegar nie potrafi uczynić. Mając zaś czas, który upłynął między dwoma impulsami, i prędkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych ( $c = 300000$  km/sek.), obliczamy drogę, którą przebyły fala wysłana i fala odbita. Połowa zaś tej drogi to odległość ( $d$ ) stacji radarowej od wykrytego przedmiotu:

$$(1) \quad t = \frac{2d}{c}$$

gdzie  $t$  — czas w sek.,  $d$  — odległość w m,  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s — prędkość rozchodzenia się fal radiowych, skąd obliczamy

$$(2) \quad d = \frac{c \cdot t}{2}$$

Załóżmy, że najmniejsza odległość, na jaką działa stacja radiowa, wynosi  $d=1500$  m. Wtedy najkrótszy czas, który należy mierzyć, wynosi:

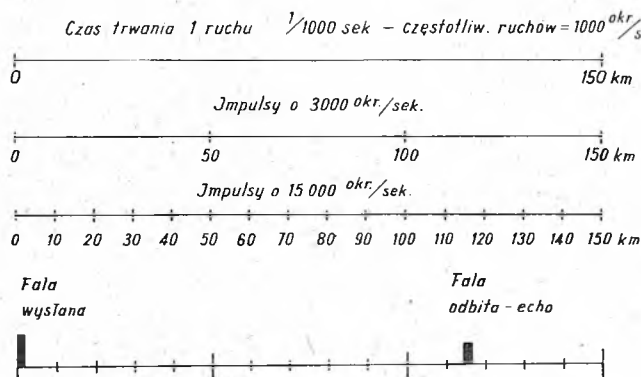
$$t = \frac{2 \cdot 1500}{3 \cdot 10^8} = \frac{1}{100\,000} = 10 \mu \text{ sek.}$$

Gdyby długość emisji była w powyższym wypadku większa niż  $10 \mu \text{ sek.}$ , to fala odbita, tzw. echo, wróciwszy do stacji radarowej byłaby na ekranie całkowicie przysłonięta emisją pierwotną. Oto dlaczego fal elektromagnetycznych nie wysyłamy w sposób ciągły jak np. w radiu, ale impulsami. Po wysłaniu pierwszego impulsu musi nastąpić tak długa przerwa, aby echo mogło wrócić i ujawnić się w lampie oscylograficznej. Potem można znowu wysłać drugi impuls. Oczywiście, zamiast mierzyć za każdym razem odległość pomiędzy wysłanym sygnałem i wracającym echem możemy poprostu przyłożyć na ekran lampy odpowiednio wycechowaną skalę w km i bezpośrednio odczytywać tę odległość.

### 3. Skala elektroniczna.

W aparatach nowoczesnych mamy tzw. skalę elektroniczną, tzn. że pewne części aparatury radarowej spełniają funkcję pomocniczą, przekazując lampie katodowej innego rodzaju impulsy (o innym kształcie — częstotliwości i amplitudzie), które, w całej swej grupie niezależnej od impulsów pomiarowych właściwych, tworzą rodzaj skali świetlnej.

Jeżeli w naszej aparaturze czas jednego ruchu punktu świetlnego po średnicy  $AA_1$  (rys. 2) wynosi  $T_1 = \frac{1}{1000}$  sek., a więc prąd zmienny, który działa na płytce poziome 1—2 powodujące ten ruch, ma częstotliwość  $f_1=1000$  okr./sek., to na podstawie wzoru (2) otrzymamy największą odległość, na jaką działa nasza aparatura,  $d = 150$  km. Wtedy impulsy ruchu poziomego zaznaczają na ekranie lampy jako początek i koniec skali świetlnej 0 i 150 km (rys. 3).



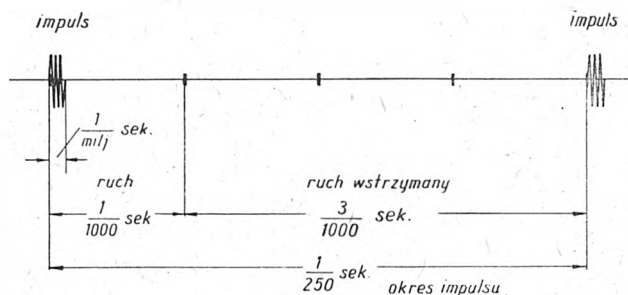
Rys. 3. Skala elektroniczna

Wytworzmy teraz w naszej aparaturze nowe impulsy pomocnicze zsynchronizowane z impulsami ruchu poprzedniego, ale o częstotliwości  $f_2 = 3000$  okr./sek., tj. trzy razy większej. Impulsy te podzielią naszą skalę na 3 równe odcinki i zaznaczą odległości 50 i 100 km. Przesyłając wreszcie lampie oscylograficznej impulsy pomocnicze trzeciego rodzaju o częstotliwości  $f_3 = 15\,000$  okr./sek., otrzymamy skalę dzieloną na 15 równych odcinków.

W ten sposób otrzymuje się skalę elektroniczną, która ma tę wyższość nad skalą stałą, że sama się cechuje.

Opisany przyrząd jest tak skonstruowany, że może mierzyć wszystko na odległość do 150 km (ostatnia kreska po prawej stronie naszego ekranu). Co się stanie, jeżeli jakiś przedmiot znajdzie się w odległości np. 200 km od stacji radarowej? Nasz punkt świetlny obejmie najpierw całą średnicę ekranu od 0 do 150 km, następnie wróci gwałtownie do 0 i rozpocznie na nowo swoją drogę ruchem jednostajnym. W odległości 50 km zaznaczy się na ekranie echo (tyle bowiem czasu upłynęło od wysłania sygnału do odbioru echa — czas przebiegu fali tam i z powrotem jest większy niż czas 1 ruchu). Obsługa teraz nie wie, czy przedmiot znajduje się w odległości 200 km czy też 50 km. Aby uniknąć takich nieporozumień aparatura radaru jest tak skonstruowana, że po każdym ruchu lampy oscylograficznej gaśnie na okres trzech kolejnych dalszych ruchów. W ten sposób echo przybyłe z odległości od 150

do 600 km nie może się nigdy ujawnić na ekranie lampy. Echo zaś z odległości większej niż 600 km jest już o tak



Rys. 4. Działanie radaru w czasie

slabej energii, że praktycznie nie wchodzi w rachubę. Rys. 4 podaje schematycznie przebieg działania radaru w ułamku sekundy.

### 4. Długość stosowanych fal.

Powstaje teraz pytanie, jakiego rodzaju muszą być fale radiowe używane w radarze.

Otóż ze względu na charakter swój muszą one należeć do rzędu tzw. fal krótkich lub bardzo krótkich — od kilku metrów do 1 cm zależnie od funkcji, do których dana aparatura służy. Im mniejszy bowiem przedmiot chcemy wykryć, tym krótsze muszą być fale. Dla wykrycia np. peryskopu łodzi podwodnej najlepiej nadaje się fala długości 1 cm. Ponieważ z zasady długość fali musi być o wiele mniejsza niż wielkość wykrywanego przedmiotu, przeto nieprawdopodobne są opowiadania o używaniu radaru przez celników do wykrywania cieniutkich nitczek metalowych znajdujących się w banknotach (chodzi o szmugiel walutowy), gdyż technika dzisiejsza nie rozporządza jeszcze falami o długości ułamka milimetra.

Fale muszą być krótkie także z tego powodu, żeby je łatwiej można było koncentrować. Anteny radarowe podobne są do skupiających zwierciadeł reflektorowych i są tym mniejsze, im krótsza jest fala.

Wreszcie stosując fale krótkie i impulsy możemy wysłać wiązki o bardzo dużej mocy, używając do tego celu lamp nie większych niż znane nam lampy normalnych odbiorników radiowych. Jest rzeczą zrozumiałą, że lampę, która pracuje w sposób przerywany impulsami, możemy więcej obciążyć bez obawy zniszczenia jej i to tym więcej, im większy jest stosunek okresu impulsowego (czasu pomiędzy dwoma kolejnymi impulsami) do czasu trwania jednego impulsu. W naszym przykładzie (rys. 4) okres

impulsowy  $T_{imp} = \frac{1}{250}$  sek. =  $4000 \mu$  sek., czas zaś trwania

jednego impulsu  $1 \mu$  sek. Normalną więc lampę nadawczą w wypadku zastosowania impulsów można by obciążyć tutaj 4000 razy więcej, a więc lampa o mocy wyjśc. np. 10 W mogłaby oddać moc równą 40 kW. Jedynymi czynnikami, które ograniczają tę moc, są napięcia, które możemy doprowadzić do elektrod tej lampy bez obawy przebiecia, i prąd nasycenia.

Pod względem swej formy fale radarowe są odmienne od fal nośnych używanych w radiofonii. Nie mają one znanego nam kształtu sinusoidalnego; mają raczej kształt prostokątny. Ta forma bowiem zwiększa dokładność odczytywania sygnałów na ekranie lampy oscylograficznej.

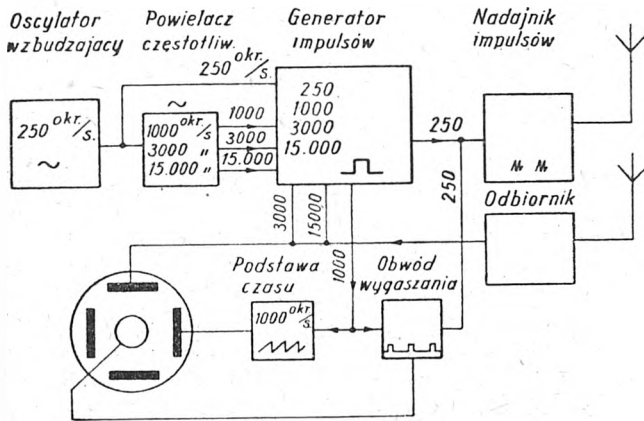
### 5. Normalna stacja radarowa.

Stacja według schematu podanego na rys. 5 służy do pomiarów odległości od 1,5 do 150 km. Widzimy tam cały szereg różnych prądów o różnych kształtach fal i o różnych częstotliwościach, które są wzajemnie zsynchronizowane. Oto co tam znajdujemy:

a) Właściwe impulsy radarowe wielkiej częstotliwości, bo aż 150 mln. okr./sek. (długość fali 2 m), wytwarzane przez nadajnik impulsów. Czas trwania 1 impulsu wynosi tu  $10 \mu$ s, a liczba tych impulsów równa się 250 na sekundę.

b) Napięcia, których krzywa ma formę zębów piły i które służą do poziomego przesuwania punktu świetlnego lampy oscylograficznej: tu punkt świetlny pod wpływem jednostajnie wzrastającego napięcia przesuwającego porusza się ruchem jednostajnym po średnicy poziomej

ekranu lampy, idąc od strony lewej ku prawej, a następnie powracając w sposób nagły na stronę lewą po to, aby rozpocząć nową wędrówkę ruchem jednostajnym ze stro-



Rys. 5. Schemat stacji radarowej

ny lewej ku prawej. Napięcia te o częstotliwości 1000 okr. sek. są wytwarzane w części aparatury, którą nazywamy „podstawą czasową“.

c) Impulsy pomocnicze o częstotliwości 1000, 3000 i 15 000 okr./sek., służące do wytworzenia skali elektronicznej. Impulsy te otrzymuje się z tzw. generatora impulsów.

d) Inny znowu rodzaj prądów pomocniczych wytwarza się w tzw. „obwodzie wygaszania“. Jak już wspomniano wyżej, po każdym przesunięciu punktu świetlnego lampy oscylograficznej następuje pewien okres wygaszania tej lampy. Te właśnie prądy zapalają i gaszą lampę.

e) Aby wszystkie te częstotliwości były ze sobą zsynchronizowane, są one wytwarzane w tzw. powielaczu częstotliwości (za pomocą wybiornego wydzielenia harmonicznych) z jednej podstawowej częstotliwości 250 okr./sek., którą otrzymuje się w oscylatorze wzбудzającym. Jasną jest rzeczą, że ta podstawowa częstotliwość musi być bardzo dokładnie ustabilizowana.

f) Ostatnimi wreszcie członami aparatury radarowej są: odbiornik fal odbitych i lampa oscylograficzna oraz urządzenia służące do zasilania tych wszystkich części.

## 6. Zastosowania wojenne.

Jak już wiadomo z poprzednich rozważań, możemy przy pomocy radaru mierzyć odległość danego przedmiotu od stacji radarowej. Mamy więc rozwiązany problem telemetrii tak ważnej przy strzelaniu artyleryjskim. Aby określić jeszcze kierunek posługujemy się specjalnymi antenami obrotowymi, wysyłającymi we wszystkich kierunkach silnie skupioną wiązkę fal radiowych. Gdy stacja radarowa wykryje jakiś poruszający się przedmiot np. samolot nieprzyjacielski, wtedy włącza się odpowiednie urządzenie, które kieruje samoczynnie anteną tak, że obraz danego przedmiotu mamy już stale na ekranie lampy oscylograficznej.

Stacja radarowa połączona kablem elektrycznym z baterią przeciwnocną może automatycznie obracać lufy dział, kierując je bardzo dokładnie ku niewidocznemu celowi (strzelanie w nocy lub w dzień pochmurny). Oczywiście, nie dzieje się to tak bezpośrednio. Pomiędzy kablem przechodzącym od stacji radarowej a silnikami elektrycznymi, poruszającymi lufy dział, znajduje się bardzo skomplikowany aparat, tzw. stół strzelniczy, gdzie do wskazań radarowych dołącza się inne dodatkowe dane jak prędkość wiatru, prędkość i kierunek samolotu itd.

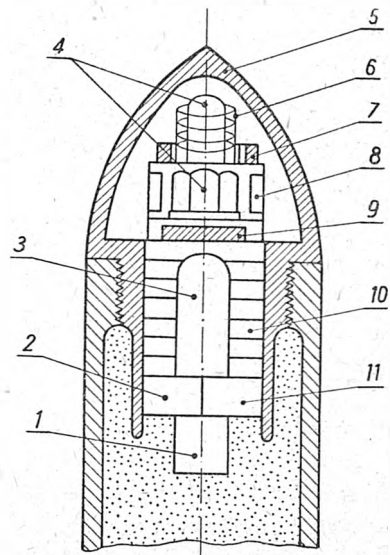
Jeżeli chodzi o ustalenie momentu eksplozji pocisku w powietrzu, to był bardzo ciekawy projekt zaopatrzenia każdego pocisku w odbiorczą stację radiową i zapalania tego pocisku za pomocą odpowiedniego impulsu fal radiowych wysyłanych z ziemi. Amerykanie jednak poszli jeszcze dalej zaopatrując każdy swój pocisk w małą stację nadawczo-odbiorczą — komplet baterii i urządzenie służące do zapalania detonatora (rys. 6). Stacja radarowa pocisku zaczyna działać dopiero po wystrzeleniu go. Wstrząs w chwili wystrzału powoduje stłuczenie się bańki zawierającej kwas, który wlewa się do komory z pły-

tami baterii zasilającej. Stacja radarowa może być od tej chwili czynna (zabezpieczenie przed przedwczesną eksplozją pocisku). Stacja ta, bardzo zresztą słaba, może odebrać echo z bardzo niewielkiej odległości, a właśnie o to chodzi, aby pocisk eksplodował w niewielkiej odległości od samolotu. Echo odebrane powoduje zapalenie się detonatora i wybuch pocisku.

W ostatnich latach wojny niemal wszystkie samoloty państw sprzymierzonych były zaopatrzone w rozmaite układy radarowe. Jedne z nich służyły do nocnej nawigacji, inne do bombardowania niewidocznego celu, inne

Rys. 6. Przekrój pocisku radarowego (przeciwnocnego)

- 1 — detonator
- 2 — bezpiecznik
- 3 — bańka szklana, zawierająca elektrolit
- 4 — lampy
- 5 — materiał izolacyjny
- 6 — antena
- 7 — cewka obwodu drgającego
- 8 — opory - kondensatory
- 9 — cewka obwodu odbiorczego
- 10 — bateria zasilająca
- 11 — urządzenie automatycznej eksplozji pocisku

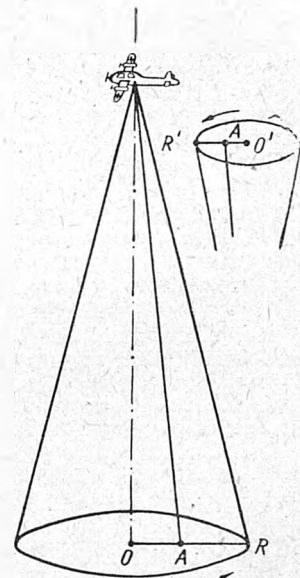


znowu na tzw. myśliwcach nocnych do wykrywania w nocy samolotów nieprzyjacielskich i strzelania do niewidocznych wtedy, gdy punkt świetlny obrazujący samolot ukazał się na krzyżu celowniczym lampy oscylograficznej.

Wśród tych różnych zastosowań radaru na samolotach jedno ze względu na swą niezwykłą pomysłowość specjalnie zasługuje na uwagę. Jest to sposób pozwalający samolotowi niejako fotografować w nocy cały teren, ponad którym leci (rys. 7).

Wysłana z samolotu wiązka fal radarowych porusza się po linii kołowej, a równocześnie po promieniu OR, tak że

Rys. 7. Zasada widzenia w nocy



cała powierzchnia koła objętego nią jest dotknięta falami radaru. Synchronicznie z anteną wysyłającą porusza się w zupełnie podobny sposób promień poziomy w lampie oscylograficznej. Zależnie od tego, na co trafi fala radarowa na ziemi — na ulicę czy dom, na teren jakiś czy wodę — będą widoczne na ekranie różnice w jasności poszczególnych punktów świetlnych, a więc np. domy wypadną jaśniejsze, ulice ciemniejsze itd. Wszystko to odbywa się dość szybko, tak że poszczególne punkty tworzą

na ekranie plan miasta, czy też zarys terenu znajdującego się pod samolotem.

Pierwsze instalacje radarowe morskie na okrętach wojennych służyły do wykrywania samolotów nieprzyjacielskich. Wkrótce jednak stwierdzono, że można równie dobrze wykrywać i okręty nieprzyjacielskie. Pierwsza doskonale udana próba zastosowania radaru na morzu odbyła się w czerwcu 1942 r. w bitwie o przylądek Matapan (na morzu Śródziemnym), gdzie flota angielska zniemacka podczas nocy zaatakowała bardzo poważne siły włoskie zatapiając wiele ciężkich krążowników. Włosi nie byli w stanie nawet zorientować się, skąd pochodzą pociski.

Dzisiaj już powszechnie wiadomo, że ofensywa niemieckich łodzi podwodnych załamała się wskutek wykrywania ich przez coraz krótsze fale radarowe. W wyścigu techniki radarowej Niemcy, mimo posiadania poważnych sił naukowych, pozostały daleko w tyle za odkryciami aliantów: gdy aparaty radarowe RAFu wykrywały niemieckie łodzie podwodne przy pomocy fal 3-centymetrowych, technika niemiecka nie zeszła poniżej 10 cm.

Czy można ukryć się przed elektrycznym okiem radaru? Tak. Samolot, aby nie być wykrytym, leci na bardzo małej wysokości. Grupa samolotów może się ukryć rozrzucając całe „chmury“ pasków papieru metalizowanego, które odbijając fale radarowe tworzą takie zaburzenia na ekranie lampy oscylograficznej, że niczego nie można rozpoznać. Inny znowu sposób polegał na doborze takiego materiału, który nie odbija fal radarowych. Przeprowadzone w tym kierunku badania wykazały, że energia elektryczna, przechodząc z powietrza ( $\epsilon = 1$  i  $\mu = 1$ ) do jakiegoś innego ośrodka, którego  $\frac{\epsilon}{\mu} = 1$ , nie odbija się.

Próbowali to stosować Niemcy, nakładając na swoje samoloty odpowiednie osłony, jednak trudności aerodynamiczne nie pozwoliły im na zrealizowanie tej ochrony.

Amerykanie z powodzeniem unieruchamiali niemieckie stacje radarowe, wysyłając we wszystkich kierunkach bardzo silną emisję o ustawicznie zmieniającej się częstotliwości. Sposób ten jednak nie mógł być często stosowany ze względu na działanie własnych stacji.

## 7. Radar w czasie pokoju.

Nawigacja morska czy lotnicza stała się dzięki radarowi nadzwyczaj dokładna, a przy tym niezależna ani od pory dnia, ani od stanu pogody. Istnieje wiele układów, z których najwięcej rozpowszechniony jest układ amerykański „Loran“.

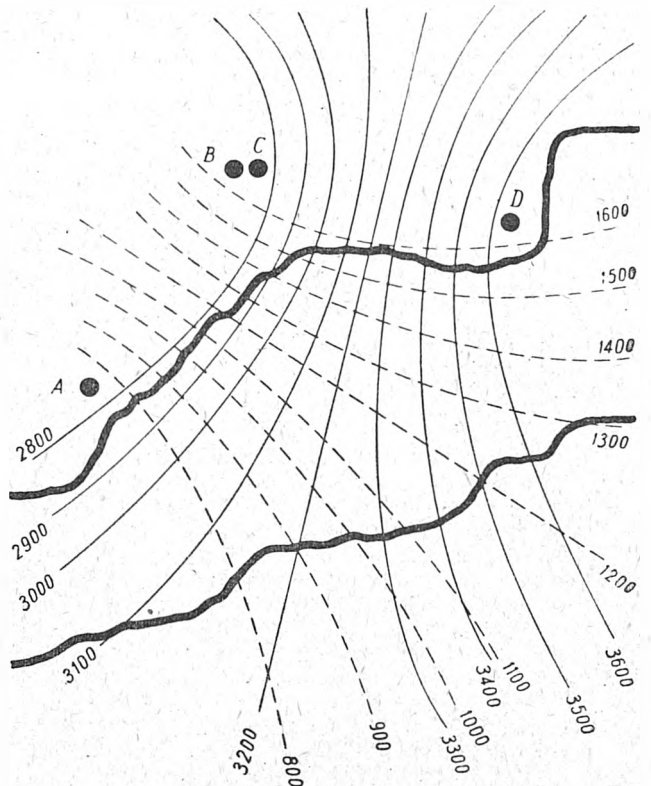
Oto zasada jego działania. Na rys. 8 widzimy 4 stacje wysyłające w przestrzeń impulsy we wszystkich kierunkach w odstępach czasu bardzo dokładnie mierzonych. Stacje te współpracują ze sobą parami, tj. A z B, a C z D. Aby je łatwo było odróżnić, pracują one impulsami o różnych odstępach czasu (np. A i B wysyłają 30 impulsów na sek., a C i D 30,1 impuls. na sek.).

Z drugiej zaś strony dana para stacji wysyłających, np. A i B, wysyła wprawdzie impulsy w tych samych odstępach czasu (o tej samej kadencji), lecz nie w tym samym ułamku sekundy, tzn. że impulsy np. stacji A są nieco spóźnione w stosunku do impulsów stacji B.

Samolot lub okręt chcąc określić swoje położenie musi mieć odpowiednią mapę radarową (rys. 8). Zaczyna on od nastawienia swojej aparatury na kadencję np. 30 imp./sek. i chwytta naraz sygnał stacji A i B. Gdy samolot ten znajdzie się na linii 1200 (równa odległość od stacji A i B), to otrzyma on oba impulsy o takiej różnicy czasu, z jaką zostały one wysłane przez obie stacje, tj. z różnicą np. 1200  $\mu$ s. Zbliżając się do stacji A, samolot otrzyma oba impulsy o odstępach coraz to krótszym. Stacja A wysyła wprawdzie sygnały swoje o 1200  $\mu$ s później od stacji B, ale odległość między samolotem a stacją A jest teraz o wiele mniejsza niż odległość między tym samolotem a stacją B. Stąd różnica między impulsami stacji A i B maleje.

Wyobraźmy sobie teraz, że samolot nasz, który znalazł się na linii 1100, zmienił kurs i posuwa się wzdłuż tej linii 1100 (stosunek odległości jego od stacji A do odległości od stacji B jest stale ten sam — hyperbola). Nie wiemy teraz, czy on się zbliża do obu stacji, czy się od nich oddala. Aby to ustalić, wykonywa się jeszcze dwa kolejne pomiary, jednak tym razem należy „chwycić“ impulsy wysyłane przez stacje C i D o kadencji 30,1 imp./sek. Pier-

wszy pomiar wskaże, że samolot znajduje się na linii 3100 (3100  $\mu$ sek. różnicy między sygnałami stacji C i D), a po pewnym czasie wykonany drugi pomiar wskaże nową



Rys. 8. Zasada układu nawigacyjnego „Loran“

różnicę równą 3200  $\mu$ sek. Widzimy więc, że trasa naszego samolotu została w ten sposób bardzo dokładnie ustalona — samolot oddala się od obu stacji A i B.

Sposób powyższy o wiele dokładniejszy od dotychczasowych sposobów astronomicznych pozwala określić położenie samolotu w przeciągu niecałej minuty. Maksymalny zasięg jego w dzień 1200 km, w nocy 2000 km. Nie dziw, że mając tyle zalet znalazł zastosowanie we wszystkich niemal krajach.

W żegludze radar służy również do wykrywania pobliskich statków lub gór lodowych, wykluczając w ten sposób możliwość zderzenia się.

W lotnictwie radar wyparł wszystkie stosowane dotychczas wysokościomierze, a dzięki swej ścisłości szczególnie na małych wysokościach przewyższa je wielokrotnie. Znajduje on też coraz większe zastosowanie w usprawnianiu ruchu komunikacyjnego wielkich portów lotniczych.

W meteorologii lotniczej coraz częściej zastępuje radar tzw. balony—sondy, przepowiadając pogodę dokładniej i szybciej.

W telekomunikacji czynione są obecnie próby telefonowania za pomocą skoncentrowanych wiązek fal bardzo krótkich i być może, że już wkrótce cała telefonia długodystansowa przejdzie na ten system. Oszczędziłoby to nam bardzo kosztownych kabli telefonicznych.

W kolejnictwie urządzenia radarowe będą zabezpieczają cały ruch pociągów, a może też i samochody w najbliższej przyszłości będą zabezpieczone odpowiednio zbudowanymi stacjami radarowymi, które samoczynnie będą hamować w wypadku możliwego nagłego zderzenia.

W Ameryce wykonano już podobno pierwsze miniaturowe stacje radarowe przeznaczone dla ślepych, ułatwiają im znacznie poruszanie się po ulicach.

W geologii rozpoczęto przy pomocy radaru próby wykrywania złóż mineralnych i określania ich wielkości.

Astronomi będą wysyłać w przestrzeń międzyplanetarną impulsy — elektryczne oczy, widzące lepiej i dalej niż najlepsze dotychczas znane nam teleskopy.\*)

\*) 10 stycznia 1946 r. po raz pierwszy wysłano na księżyc sygnały radarowe na fali 2,68 m. Po upływie 2,4 sek. sygnały odbite wróciły, przebywszy drogę w obu kierunkach 768.000 km (odległość księżycy od ziemi wynosi 384.000 km).



JULIAN KAROLINI  
ASYST. UNIW. POZN.

## Przypadek niebezpiecznego zarastania dna zbiornika retencyjnego („Bobrowa Góra“\*)

**Treść.** Na przykładzie zbiornika w Dychowie opisano niebezpieczeństwo, zagrażające zbiornikowi w razie zbyt długo trwającego obnażenia jego dna. Podano środki do zniszczenia roślinności powstałej na dnie zbiornika.

**Случай опасного зарастания dna водонапорного бассейна.** Выяснена опасность, угрожающая бассейну, если его дно слишком долго остается открытым. Указаны способы уничтожения растительности, поселившейся на дне бассейна.

**A Case of Dangerous Plant Growth on the Bottom of a Storage Reservoir.** On the basis of experience with the storage reservoir at Dychow, attention is called to the danger to the reservoir caused by continued exposure of its bottom. Means are recommended for the extermination of plant growth on the bottom of the reservoir.

**Un cas ou le fond d'un réservoir à retention a été recouvert de végétation à un degré dangereux.** D'après l'exemple d'un réservoir à Dychow, l'auteur présente le danger qui menace le réservoir si son fond est trop longtemps mis à découvert. Il cite les moyens de détruire la végétation apparaissant au fond du réservoir.

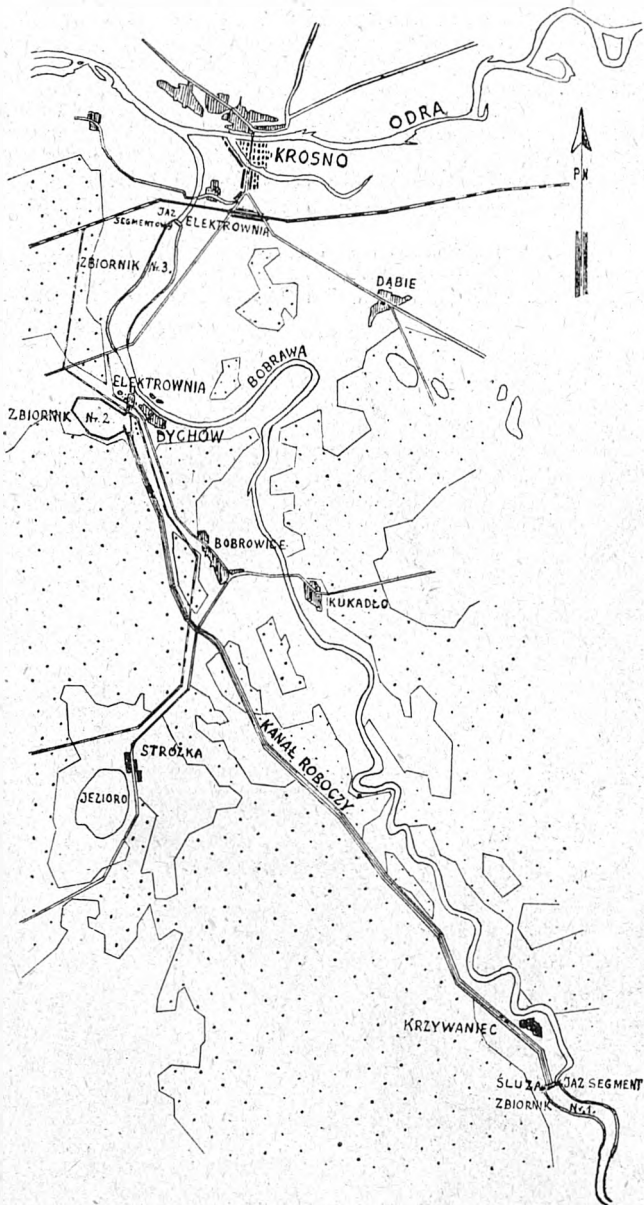
W Dychowie (pow. krośnieński nad Odrą w ziemi lubuskiej) został wybudowany w roku 1936 zakład wodno-elektryczny, obecnie zwany Bobrową Górą. Woda na rzece Bobrawie (dopływ Odry) została ujęta o 20 km wyżej, w miejscowości Krzywaniec, w zbiornik nr 1, skąd odprowadza się ją za pomocą kanału roboczego do Dychowa (rys. 1). Tutaj zbudowano zbiornik retencyjny

wano poniżej zakładu wodno-elektrycznego w Dychowie małą elektrownię w Krośnie (2 700 kW).

Szczytowa elektrownia „Bobrowa Góra“ w Dychowie o mocy 75 000 kW (spad 30 m) zasilala przed wojną Słubice (Frankfurt), Berlin oraz dalsze miejscowości.

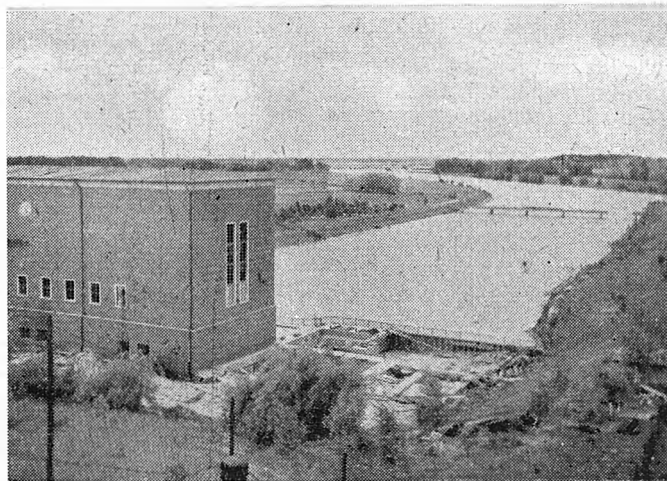
Obecnie zakład wodno-elektryczny w Dychowie jest nieczynny z powodu zniszczeń wojennych. Dnia 15. III. 1945 r. również dna zbiornika zostało uszkodzone w kilku miejscach przez bomby lotnicze, które zniszczyły warstwy uszczelniające dna (rys. 3).

Zbiornik nr 2 o powierzchni 1 km<sup>2</sup> został wybudowany na terenie przepuszczalnym o glebie piaszczystej. Dno zbiornika zostało w ten sposób uszczelnione, że na piaszczyste rodzime podłoże nawieziono 20 cm łu, który w dwóch warstwach ubito tankami; na tę warstwę na-

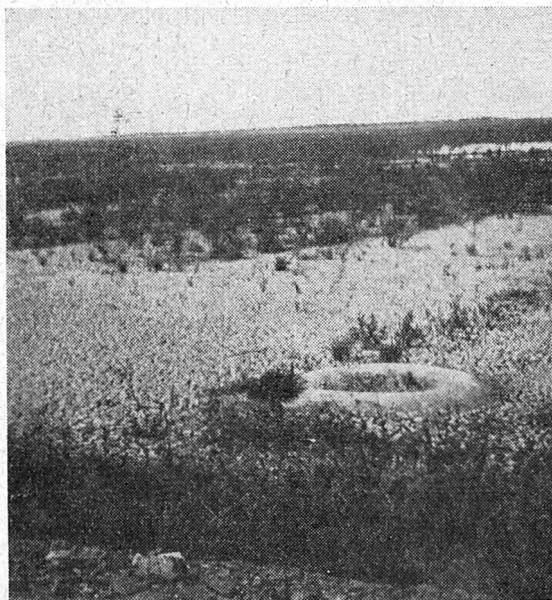


Rys. 1. Plan sytuacyjny elektrowni wodnej „Bobrowa Góra“ w Dychowie (1:200 000)

wodny nr 2 o powierzchni 1 km<sup>2</sup>, śluzy, zamek wodny i maszynownię, w której są ustawione turbiny systemu Kaplana (rys. 2). Celem wykorzystania wody, wybud-



Rys. 2. Widok ze śluzy zamykającej zbiornik na maszynownię i na miejsce połączenia kanału dolnego z Bobrawą

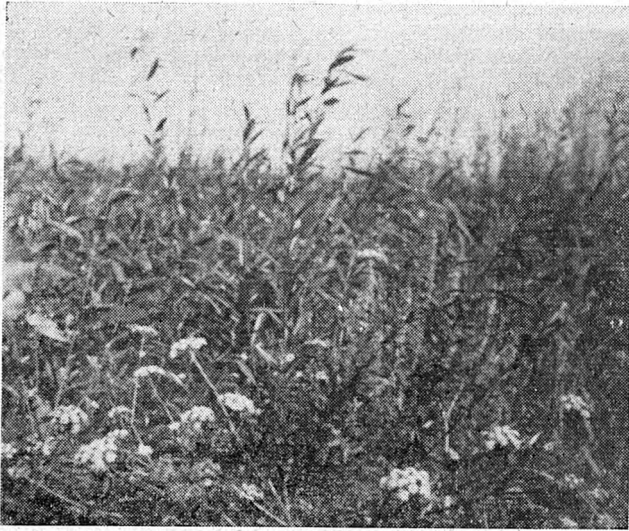


Rys. 3. Dno zbiornika uszkodzone przez bombę lotniczą

\*) Dalsze szczegóły w tej sprawie zawiera artykuł prof. dra K. Steckiego, ogłoszony w Gospodarce Wodnej, 1948, nr 1-3, str. 52.

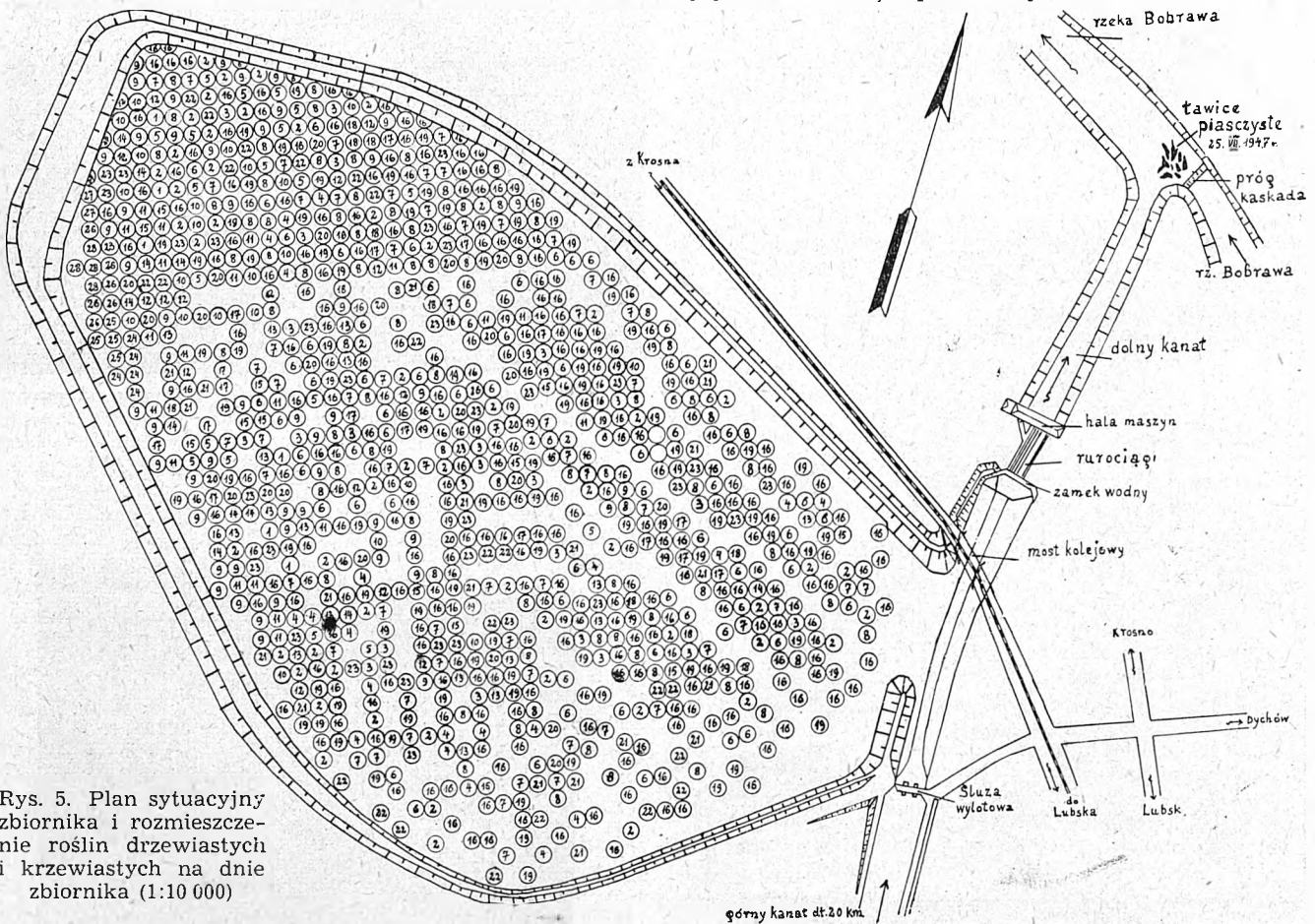
wieziono 60 cm piasku - żwiru. Na tej ostatniej warstwie można zauważyć 2 do 3 cm namułu, który został nanieiony z wodą przez kanał dopływowy, a częściowo powstał z roślinności i fauny żyjącej na dnie zbiornika.

Wały zbiornika nr 2 są uszczelnione warstwą iltu grubości 40 do 60 cm, następnie warstwą żwiru, a na war-



Rys. 4. Zarośla wierzby na dnie zbiornika. Kropidło wodne (*Oenanthe aquatica*) na pierwszym planie

wie uszczelniającej znajduje się narzut kamienny - tłu-  
czeń grubości 30 cm.



Rys. 5. Plan sytuacyjny  
zbiornika i rozmieszczenie  
roślin drzewiastych  
i krzewiastych na dnie  
zbiornika (1:10 000)

Rzędne terenu nad poziomem morza są następujące:  
korona wałów . . . . . 75,30 m  
normalne piętrzenie wody . . . . . 73,30 m  
największe obniżenie poziomu wody . . . . . 69,75 m  
dno zbiornika według projektu 69,60 do 69,50 m  
dno zbiornika mierzone w jednym  
miejscu w 1947 roku . . . . . 68,72 m.

Z powodu zniszczeń, wyrządzonych przez działania wojenne na terenie zakładu wodno-elektrycznego, wody w zbiorniku nr 2 było mniej i na wiosnę 1946 r., po częściowym opróżnieniu zbiornika, na całym jego terenie zasiały się wierzby, topole oraz roślinność zielna, wodna i bagienna, tak że na wiosnę 1947 r. całe dno zbiornika było zarosnięte wierzbami, topolami i różną roślinnością zielną (rys. 4).

Powstała obawa, że korzenie wierzby przebiją uszczelnione iltm (gliną) dno zbiornika, a tym samym utraci on zdolność utrzymywania wody.

W lipcu 1947 r. na prośbę dyrektora inż. A. Hoffmanna dwaj profesorowie Uniwersytetu Poznańskiego — prof. hodowli lasu dr K. Suchecki i prof. botaniki leśnej dr K. Stecki — dokonali oględzin zbiornika celem stwierdzenia charakteru roślinności i określenia stopnia niebezpieczeństwa grożącego dnu ze strony korzeni roślinnych, po czym autor w ciągu prawie trzech tygodni szczegółowo badał florę dna.

W wyniku badań stwierdzono, że korzenie wierzby sięgały głębokości, która wystarczała do przebicia warstwy uszczelniającej dno. Podczas próbnego wrywania poszczególnych okazów wierzby korzeń palowy sięgał do głębokości od 45 do 108 cm, a więc warstwa uszczelniająca dno została przebita w wielu miejscach. Niektóre gatunki wierzby dorastały nawet do 3 m wysokości. Sporządzony spis roślinności znalezionej na terenie dna obejmuje 28 gatunków roślin drzewiastych i krzewiastych oraz 42 gatunki roślin zielnych. Z rys. 5, który pokazuje rozmieszczenie roślin drzewiastych i krzewiastych, widać jak wielką zaborczość wykazała roślinność przy zajmowaniu dna zbiornika.

Jakie środki istniały do zniszczenia roślinności i ratowania zbiornika? Jedynym racjonalnym środkiem było wrywanie wierzby, topoli i innych roślin z dna. Takie

środki jak koszenie lub ścinanie miałyby się z celem, gdyż wierzby posiadają wielką zdolność odrostową i rosłyby nadal, tym bardziej, że o spiętrzeniu wody na znaczną wysokość nie mogło być mowy z powodu naprawy śluz, mostu i samego dna zbiornika. Ze środków roślinobójczych niewątpliwie dałoby się uzyskać rezultat takie preparaty jak np. anforstan (trójchloran wapnia),

stosowany z powodzeniem w walce z chwastami leśnymi. W danym razie jednak walka chemiczna ze względu na dużą powierzchnię terenu i wielką ilość potrzebnego preparatu nie dałaby się przeprowadzić szybko.

Przy pracach nad wrywaniem wierzb i innej roślinności, które trwały 3<sup>1/2</sup> miesiąca, zajętych było przeciętnie 40 robotników dziennie. Ogólne koszty związane z usunięciem roślinności z dna zbiornika oraz jej zniszczeniem wyniosły 1 100 000 zł, z czego przypadło na robociznę 880 000 zł, na ubezpieczenia społeczne i świadczenia socjalne 200 000 zł, na narzędzia, materiały, benzynę, rękawice ochronne, buty gumowe i inne 20 000 zł.

Praca związana z wrywaniem wierzb i innej roślin-

ności była ciężka. Prowadzono ją pod fachowym nadzorem i wykonano sumiennie.

Uzyskany materiał nie nadawał się do celów koszykarskich i nie miał właściwej wartości handlowej, gdyż była to mieszanina prętów różnej jakości, grubości i wieku, pochodzących z najróżnorodniejszych gatunków wierzb. Na opał był to materiał za drobny, zniszczono go więc na miejscu przez spalenie.

Obecnie dno zbiornika jest całkowicie oczyszczone od wierzb, topoli i wszelkiej roślinności zielnej. Ponowne zasianie się czerwca jest niemożliwe pod warunkiem, że od maja do czerwca zbiornik będzie posiadał normalne piętrzenie wody.

## PRZEGLĄD CZASOPISM

### WŁASNOŚCI IZOLACYJNE SZKŁA

C. J. Philips (Corning Glass Works). Glass as an electric insulator. Journal of Applied Physics (1940, tom 11, nr 3, str. 173—181)

#### 1. Wstęp.

Do najważniejszych zastosowań szkła należą te dziedziny, w których szkło spełnia rolę izolatora elektrycznego. Szkło znajduje zastosowanie w elektrotechnice przy budowie żarówek, rur świetlnych, lamp radiowych, izolatorów teletechnicznych, odgromników oraz izolatorów wysokiego napięcia. W niektórych z powyższych zastosowań główną rolę gra sprężystość obok własności izolacyjnych, w innych duża wytrzymałość elektryczna, mały współczynnik rozszerzalności cieplnej lub też wielobarwność szkła. W każdym wypadku wykorzystujemy szereg własności szkła, dlatego też w elektrotechnice znajdują zastosowanie szkła o różnym składzie. Lalk nie uświadczymy sobie, że istnieją długi szereg odmian szkła. Sama tylko fabryka Corning Glass Works produkuje obecnie ponad 300 różnych gatunków szkła różniącego się składem chemicznym i własnościami fizycznymi. Skład każdego gatunku szkła jest ustalony z góry przez chemika, który dostosowuje go do wymagań odbiorcy. Jest rzeczą istotną zapoznanie się z pewnymi chemicznymi i fizycznymi własnościami szkła, gdyż rozważanie samych własności izolacyjnych daje nam niepełny obraz zagadnienia.

#### 2. Chemiczne i fizyczne własności szkła.

Podstawowym składnikiem prawie wszystkich rodzajów szkła jest krzemionka. Jeśliby było możliwe stopienie

Tablica 1. Własności fizyczne różnych gatunków szkła

Własność	Granice zmienności
1. Spółczynnik załamania	1,467 — 1,962
2. Ciężar właściwy p/cm <sup>3</sup>	2,125 — 8,120
3. Spółczynnik sprężystości kg/cm <sup>2</sup>	465 000 — 900 000
4. Wytrzymałość na ściskanie kg/cm <sup>2</sup>	6 450 — 12 900
5. Wytrzymałość na rozrywanie kg/cm <sup>2</sup>	287 — 7 150
6. Przewodność cieplna cal/cm.°C.s	0,0018 — 0,0028
7. Spółczynnik rozszerzalności cm/cm.°C	8.10 <sup>-7</sup> — 140.10 <sup>-7</sup>
8. Temperatura topnienia °C	500 — 975
9. Temperatura odpuszczania °C	350 — 725
10. Oporność skrośna Ω.cm	10 <sup>8</sup> — 10 <sup>18</sup>
11. Stała dielektryczna	3,7 — 16,5
12. Kąt stratności	0,000117 — 0,00664

krzemionki na jednorodną płynną masę nie zawierającą pęcherzyków, wówczas otrzymalibyśmy bardzo pożyteczne tworzywo. Niestety, trudno bardzo jest to wykonać. Dlatego stapiamy krzemionkę razem z innymi materiałami. Jednym z najważniejszych jest tlenek sodu.

Po należytych stopieniu krzemionki możemy dodać do niej różnych materiałów i przez to zmieniać właściwości

szkła. Tabl. 1 podaje, w jakich granicach zmieniają się własności fizyczne szkła w zależności od jego składu. Oto kilka uwag do tej tablicy.

Spółczynnik załamania dla wody leży poniżej dolnej, dla diamentu powyżej górnej wartości podanej w tablicy dla szkła.

Ciężar właściwy. Najlżejsze szkła są lżejsze od kwarcu. Zwykle szkło sodowe waży tyle co aluminium. Najcięższe szkła są cięższe od żeliwa.

Spółczynnik sprężystości (Younga) może się zmieniać w stosunku 2:1 od wartości mniejszej niż ma większość metali do wartości większej niż ma aluminium.

Wytrzymałość na ściskanie jest większa od wytrzymałości cegły, żelbetu lub żeliwa. Szkło wytrzymuje ciśnienia powodujące płynięcie metalu.

Wytrzymałość na rozciąganie. Duża rozpiętość podana w tablicy tłumaczy się tym, że wytrzymałość na rozciąganie szkła zależy nie tyle od jego składu, ile od warunków, w których znajduje się jego powierzchnia. Wytrzymałość ta zależy również od kształtu i wymiarów próbki. Szkło może być hartowane podobnie jak stal, chociaż procesy fizyczne zachodzące przy tym w szkło są zgoła inne niż w stali.

Spółczynnik rozszerzalności wynosi dla zwykłego szkła sodowego ok. 90.10<sup>-7</sup>, gdy dla platyny 120.10<sup>-7</sup>, dla żelaza 90.10<sup>-7</sup> cm/cm°C. Szkło pireksowe („pyrex”) posiada współcz. rozszerzalności (46—50).10<sup>-7</sup> i bywa lutowane z wolframem lub molibdenem o rozszerzalności 45.10<sup>-7</sup> i 52.10<sup>-7</sup> cm/cm°C. Pewien gatunek szkła posiada 8.10<sup>-7</sup> cm/cm°C.

Temperatura odpuszczania czyli temperatura, przy której szkło traci naprężenia wewnętrzne, wynosi 350—725°C i jest znacznie wyższa niż dla stali, dla której wynosi ona 200—500°C.

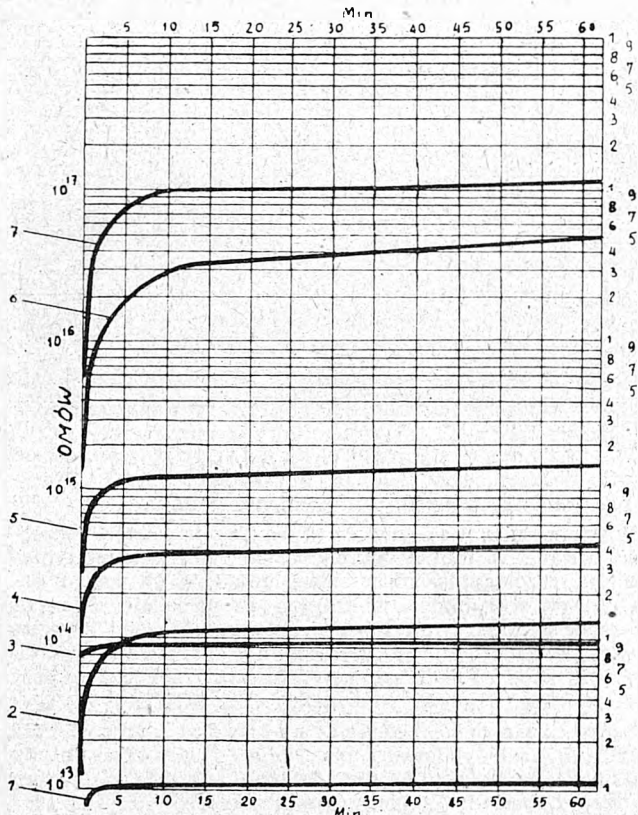
Tablica 2. Własności elektryczne materiałów izolacyjnych

Materiał	Grubość mm	Wytrzymałość dielektryczna kV/cm	Stała dielektryczna	Oporność skrośna Ω cm
1. Azbest w arkuszach	1,2	42	—	1,6.10 <sup>11</sup>
2. Bakielit-mikarta 213	—	314	5,0	5,0.10 <sup>11</sup>
3. Acetyleno-celuloza	0,019	480	4,0—6,2	10 <sup>12</sup> —10 <sup>14</sup>
4. Ceratka	0,38	480	3,5—5,5	—
5. Etylo-celuloza	—	—	2,7—3,3	10 <sup>14</sup>
6. Fibra wulkanizowana	3,2	108	5,0	10 <sup>10</sup>
7. Szkło-różne gatunki	0,5	700	3,7—16,5	10 <sup>8</sup> —10 <sup>18</sup>
8. Żywica metakrylowa	—	—	3,3—4,5	3,0.10 <sup>13</sup>
9. Mika	0,60	280	5,0—7,0	2,0.10 <sup>17</sup>
10. Parafina	—	115	2,1	10 <sup>16</sup>
11. Porcel. nie polewana	2,5	130	5,7—6,8	3,0.10 <sup>14</sup>
12. Guma utwardzona	0,5	700	2,0—3,5	10 <sup>18</sup>
13. Siarka	—	—	2,9—3,2	10 <sup>17</sup>
14. Drzewo klonowe	15,2	46	4,1	3,0.10 <sup>10</sup>

#### 3. Elektryczne własności szkła.

Tabl. 2 podaje szereg własności elektrycznych różnych materiałów izolacyjnych. Na tym miejscu podlegają bliższemu omówieniu własności elektryczne szkła.

Przesunięcie dielektryczne. Prąd elektryczny, który płynie przez szkło wskutek doprowadzenia do niego pewnego napięcia, nie zależy w sposób prosty od temperatury, wymiarów i przewodności próbki. Po doprowadzeniu napięcia popłynie pewien prąd, prąd przesunięcia, który stopniowo zanika. Zjawisko to daje się obserwować we wszystkich dielektrykach stałych. Straty w dielektryku przy prądzie zmiennym są wywoływane przez powyższe zjawisko. Przy pomiarze oporności szkła należy uwzględnić prąd przesunięcia, który przy dużej oporności właściwej może przeważać nad prądem



Rys. 1. Oporność suchego szkła w funkcji czasu od chwili doprowadzenia napięcia

- 1 — szkło rentgenowskie  $1,2 \cdot 10^{13} \Omega$  po 3 h
- 2 — szkło rentgenowskie z ołowiem  $1,5 \cdot 10^{14} \Omega$  po  $2\frac{1}{2}$  h
- 3 — szkło Libby  $10^{14} \Omega$  po 5 h
- 4 — specjalne szkło rentgenowskie  $5 \cdot 10^{14} \Omega$  po 15 h
- 5 — szkło pireksowe  $1,5 \cdot 10^{15} \Omega$  po 48 h
- 6 — 702-P  $9 \cdot 10^{16} \Omega$  po 48 h
- 7 — B-12  $2,6 \cdot 10^{17}$  po 7 h

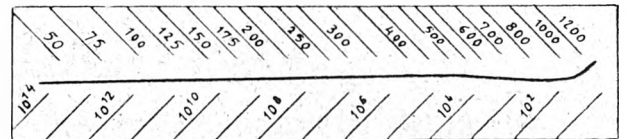
przewodnościowym. Dlatego pomiary należy wykonywać po upływie pewnego czasu, jak to wynika z rys. 1.

Oporność powierzchniowa. Od wielu lat wiadomo, że przewodność powierzchniowa szkła spowodowana jest warstwą wilgoci osiadłej na powierzchni szkła. Wilgoć ta da się usunąć z pewnych gatunków szkła przez osuszenie otaczającego powietrza, dla innych gatunków szkła potrzebne jest do tego ogrzanie szkła. Zwiększenie zawartości składników alkalicznych powoduje gwałtowny spadek oporności powierzchniowej szkła. Przy dużej wilgotności dla szkła o dużej zawartości alkaliów przewodność powierzchniowa może osiągnąć znacznie większe wartości niż przewodność skrośna. Odwrotnie, w szklach ubogich w alkalia i w suchym powietrzu przewodność powierzchniowa nie odgrywa żadnej roli. Jeśli podniesiemy temperaturę szkła o parę stopni ponad otaczające powietrze, to upływność powierzchniowa gwałtownie maleje.

Oporność skrośna. Oporność skrośna zmienia się wraz ze zmianą składu szkła i temperaturą. We wszystkich temperaturach szkło zachowuje się jak elektrolit. Oporność właściwa skrośna stopionej krzemionki wynosi  $5 \cdot 10^{18} \Omega \text{cm}$  przy  $22^\circ \text{C}$ . Szkło pireksowe posiada oporność  $10^{18}$ , szkło okienne  $10^{19}$ , a pewne specjalne ga-

tunki szkła  $10^8 \Omega \text{cm}$ . W temperaturze normalnej pewne specjalne gatunki szkła należą do najlepszych izolatorów. Rys. 2 podaje zależność oporności właściwej szkła od temperatury.

Stała dielektryczna, kąt stratności, straty dielektryczne. Szkło różni się tym od innych dielektryków, że jego stała dielektryczna zmienia się dla różnych gatunków szkła w stosunku 4:1 od 3,7 do 16,5. Własność ta posiada doniosłe znaczenie praktyczne. Jeśli wymagana jest duża pojemność przy stałych wymiarach izolatora, wówczas konieczna jest duża stała dielektryczna i mały kąt strat-



Rys. 2. Zmiana oporności właściwej szkła turyngijskiego w zależności od temperatury

Temperatura w stopn. Cels. (skala w  $1/T_{abc}$ )

Oporność właściwa w  $\Omega \cdot \text{cm}$  (skala logarytmiczna)

ności. W zwykłym izolatorze wysokiego napięcia zastosowanie materiału o niskiej stałej dielektrycznej jest korzystne z tego względu, że przy niższej stałej dielektrycznej potrzeba wyższego napięcia do wytworzenia ulotu w strefie powietrznej włączonej w szereg. Straty dielektryczne na jednostkę objętości są wprost proporcjonalne do częstotliwości, kwadratu naprężenia dielektrycznego oraz iloczynu stałej dielektrycznej i kąta stratności. Przy wielkiej częstotliwości lub przy wysokim napięciu straty dielektryczne osiągają duże wartości i dlatego iloczyn tych dwu ostatnich wielkości powinien być możliwie mały. Dla szkła wielkości te do pewnego stopnia zależą każda osobno od składu szkła i ich iloczyn może się zmieniać w granicach 200:1. Istnieją dwa rodzaje szkła posiadające: 1) dużą stałą dielektryczną i mały kąt stratności i 2) małą stałą dielektryczną i mały kąt stratności.

Wytrzymałość dielektryczna. Jeśliby wytrzymałość dielektryczna była pewną stałą fizyczną danego materiału, wówczas nie zależałaby ona od grubości danego materiału. Jednakże w większości wypadków okazuje się, że im większa jest grubość danego materiału, tym mniejsza jest jego wytrzymałość dielektryczna. Jest rzeczą dotychczas niewiadomą, czy zjawisko to zależne jest od samego materiału, czy też od metody pomiarowej. Zaobserwowane wielkości wytrzymałości dielektrycznej zmieniają się wraz ze zmianą wymiarów i kształtu elektrod, częstotliwości, czasu działania napięcia, temperatury itp.

### 3. Włókno szklane.

Włókno szklane nie jest rzeczą nową. Było ono produkowane na małą skalę przed wielu laty. Jednakże dopiero w ostatnich latach dzięki wprowadzeniu nowych metod produkcji włókno szklane znalazło szerokie zastosowanie jako izolacja elektryczna.

Dwa rodzaje włókien są dla nas specjalnie interesujące: włókno cięte o długości 10 do 37,5 cm i średnicy ok. 0,0063 mm oraz włókna ciągłe o średnicy ok. 0,005 mm. Oba rodzaje włókien są jednakowo dobrą izolacją elektryczną. Jednakże włókno ciągłe jest gładziej, nieco wytrzymalsze mechanicznie oraz może mieć mniejsze średnice. Włókno cięte nadaje się do wyrobu izolacji cięższego typu. Włókno ciągłe bardziej zmniejsza wymiary izolacji i ma lepszy wygląd.

Włókno szklane różni się zasadniczo od zwykłego szkła tym, że pozbawione jest prawie zupełnie alkaliu. Jest to specjalnie ważne ze względu na wpływ alkaliu na przewodność powierzchniową. Włókno o średnicy 0,005 mm i długości 25 mm posiada stosunek powierzchni do objętości 20 000:1, gdy dla płytki szklanej o wymiarach 25 mm  $\times$  25 mm  $\times$  6 mm stosunek ten wynosi tylko 12:1. Wpływ zawartości alkaliu na upływność powierzchniową jest proporcjonalny do tego stosunku.

Wytrzymałość na rozciąganie. Wytrzymałość na rozciąganie dla włókien ciągłych różnej średnicy wynosi:

0,005 mm	28 700 kg/cm <sup>2</sup>
0,0075 „	1 790 „
0,01 „	1 790 „

Dla porównania można przyjąć jako wartość średnią dla stali 5 000 kg/cm<sup>2</sup>. Dla bardzo cienkich włókien szklanych wyciąganych bardzo starannie można osiągnąć ponad 71 500 kg/cm<sup>2</sup>. Żadne inne włókno nie posiada takiej wytrzymałości.

Włókno szklane jak każde cienkie włókno jest bardzo giętkie. Może ono być użyte do sporządzania tkanin o grubości 0,063 mm. Włókno szklane może być również skręcone w nitki, przez co traci swą wytrzymałość, która pomimo to dochodzi do 4650 kg/cm<sup>2</sup>. Przy sporządzaniu tkanin tracimy dalej na wytrzymałości (50—80%).

Ścieralność i giętkość. Ze względu na brak ustalonych metod badania ścieralności nie można określić wytrzymałości szkła na ścieranie. Można tylko powiedzieć, że tkanina szklana nie ustępuje pod tym względem tkaninie bawełnianej lub azbestowej. Włókno szklane wykazuje większą giętkość niż bawełna.

Higroskopijność. Włókno szklane praktycznie nie chłonie wilgoci, dzięki czemu nadaje się specjalnie dobrze na izolację elektryczną. Jest ono mniej higroskopijne niż wszelkie inne włókno.

Oporność skrośna. Ze względu na nieobecność sody i potażu oporność skrośna szkła bezalkalicznego jest bardzo duża i w 490°C jest ok. 2·10<sup>7</sup> razy większa od oporności zwykłego szkła.

Oporność powierzchniowa. Oporność włókna szklanego jest właściwie jego opornością powierzchniową ze względu na duży stosunek powierzchni do objętości. W suchej atmosferze oporność ta jest znacznie większa dla szkła niż dla bawełny lub azbestu; maleje ona ze wzrostem wilgotności.

Wytrzymałość dielektryczna. Wytrzymałość dielektryczna tkanin szklanych, jak i innych tkanin, zależy w dużej mierze od materiału wypełniającego przestrzeń między włóknami. Tkaniny nienasycone posiadają wytrzymałość dielektryczną równą wytrzymałości powietrza. Dlatego też tkaniny szklane nasyca się lakierami, gumą lub żywicami. Wytrzymałość dielektryczna nasyconej tkaniny bliska jest wytrzymałości materiału nasycającego.

Inne własności. Poza wymienionymi powyżej własnościami włókna szklane posiadają szereg innych własności, które stawiają szkło na czele materiałów izolacyjnych. Ze względu na to, że szkło jest ciałem nieorganicznym, jest ono niepalne i odporne na wysoką temperaturę. Możliwość osiągania wyższej temperatury prowadzi: 1) do zmniejszenia wymiarów maszyn dla danej mocy; 2) do zmniejszenia ciężaru i 3) do zmniejszenia ceny jednostkowej.

#### 4. Streszczenie.

Zalety szkła jako izolatora dadzą się ująć w sposób następujący:

1. Szkło jest materiałem jednorodnym, nieporowatym, gładkim, twardym i odpornym na wpływy chemiczne i atmosferyczne.

2. Szkło posiada dużą wytrzymałość na rozciąganie, a szczególnie na ściskanie. Niektóre izolatory wiszące szklane wytrzymują 12 ton.

3. Niektóre gatunki szkła posiadają mniejszy współczynnik rozszerzalności od innych materiałów ceramicznych. Zmniejsza to naprężenia cieplne i daje dużą odporność na łuk elektryczny.

4. Szkło posiada dużą oporność powierzchniową i skrośną.

5. Stała dielektryczna i straty dielektryczne szkła wahają się w szerokich granicach dla różnych gatunków szkła.

6. Szkło posiada bardzo dużą wytrzymałość dielektryczną, jest więc odporne na udary elektryczne.

7. Szkło może być wyrabiane w postaci włókien, a więc posiada wszelkie zalety tego rodzaju tworzywa.

J. Dom.

## WŁASNOŚCI IZOLACYJNE PRÓŻNI PRZY WYSOKICH NAPIĘCIACH

John G. Trump & R. J. Van de Graaff. The Insulation of High Voltages in Vacuum. Journal of Applied Physics (1947, tom 18, nr 3, str. 327—332)

### 1. Wstęp.

Zagadnienie zastosowania próżni jako izolacji przy wysokich napięciach nabiera coraz większej wagi w nowoczesnej technice. W fizyce izolacja próżniowa jest niezbędna do wywoływania przyspieszenia naładowanych cząsteczek, które muszą osiągać duże energie przy badaniach jądrowych. To samo odnosi się do wytwarzania promieniowania o wielkiej energii. W technice próżni znalazła główne zastosowanie jako izolacja lamp radiowych, lamp prostowniczych wysokiego napięcia oraz lamp rentgenowskich. Obecnie stosuje się próżnię jako izolację w wyłącznikach małej mocy oraz w kondensatorach o małych stratach przy dużej częstotliwości. Zastosowania te wskazują, jaką rolę izolacja próżniowa może w przyszłości odegrać w elektrotechnice prądów silnych.

W ostatnim dziesięcioleciu technika wytwarzania i utrzymywania próżni w zbiornikach o dużej objętości została do tego stopnia ulepszona, że obecnie możemy uważać próżnię jako jeden z praktycznie osiągalnych materiałów izolacyjnych. Pomimo to w porównaniu z gruntownymi badaniami prowadzonymi od dawna nad izolatorami stałymi, płynnymi i gazowymi, mało uwagi poświęcono dotychczas zrozumieniu i zastosowaniu swych własności izolacyjnych próżni.

Po przerwie wojennej wydział elektryczny M. I. T. (Massachusetts Institute of Technology) podjął badania nad własnościami izolacyjnymi próżni, szczególnie przy wysokich napięciach. Artykuł niniejszy zajmuje się omówieniem dawniejszych prac, jak również daje pogląd na obecny stan badań nad mechanizmem wytrzymałości dielektrycznej próżni.

Możemy mówić o izolacji próżniowej wówczas, gdy napięcie przebicia pomiędzy metalowymi elektrodami nie zależy od ciśnienia gazu znajdującego się pomiędzy nimi. W takim przypadku średnia swobodna droga elektronów i jonów dodatnich poruszających się w pozostałym gazie musi być duża w porównaniu z odstępem elektrod. Wówczas można pominąć wpływ jonizacji gazu na mechanizm przebicia. Warunek ten bywa spełniony dla ciśnienia atmosferycznego przy odstępach elektrod wynoszącym ułamek długości fali światła. Dla odstępów elektrod spotykanych w fizyce i technice konieczne są ciśnienia 10<sup>-4</sup> mm Hg lub mniej. Dalsze zmniejszenie ciśnienia nie zwiększa wytrzymałości dielektrycznej, chyba że ciśnienie pozostałego gazu może mieć wpływ na równowagę pomiędzy cząsteczkami gazu zaabsorbowanego przez cząsteczki na powierzchni metalu i tymi cząsteczkami.

Izolacja próżniowa nadaje się bardziej niż jakikolwiek inny materiał izolacyjny do badań ilościowych. Stan elektrod pogrążonych w wielkiej próżni może być dokładnie zbadany pod względem rozkładu pola elektrycznego, ilości energii przenoszonej przez naładowane cząsteczki oraz innych czynników, które mają wpływ na przepływ prądu oraz wytrzymałość dielektryczną. W porównaniu ze zjawiskami występującymi przy wysokich ciśnieniach zjawiska występujące pomiędzy elektrodami, znajdującymi się w próżni, są prostsze i łatwiejsze do zbadania. Nie mamy bowiem tutaj do czynienia z procesami jonizacyjnymi i ponownymi połączeniami, występującymi w gazach, jak również odpadają zjawiska ładunków przestrzennych. Jedynie same elektrody mają tutaj wpływ na zachowanie się naładowanych cząsteczek w przestrzeni międzyelektrodowej.

### 2. Wytrzymałość dielektryczna dla niskich napięć przy zimnych elektrodach.

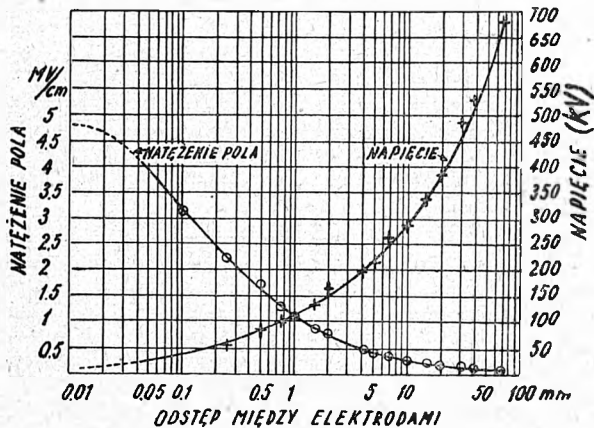
Szczegółowe badania były dokonane nad izolacją próżniową przy niskich napięciach prądu stałego i dużych natężeniach pól elektrycznych. Miały one na celu zbadanie zjawisk wyrwania elektronów z zimnej katody. Doświadczenia były prowadzone na dobrze odgazowanych

elektrodach znajdujących się w wielkiej próżni. Układ elektrod: cylindry współosiowe; ostrze-płyta; dwa cienkie skrzyżowane druciki lub dwie kule ekscentryczne. Doświadczenia te wykazały, że na powierzchni katody można było osiągać bez przebicia pola elektryczne o natężeniu wielu milionów V/cm, na anodzie zaś pola przynajmniej dziesięć razy większe.

Dla napięć poniżej 20 kV następuje emisja elektronów z zimnej katody dla pewnego określonego natężenia pola elektrycznego, które zależy od materiału elektrody i stanu jej powierzchni. Emisja ta rośnie wykładniczo ze wzrostem natężenia pola aż do przeskoku. Emisja elektronów z zimnej katody odbywa się głównie z mikroskopijnych nierówności, krawędzi kryształów oraz zanieczyszczeń znajdujących się na powierzchni elektrod. Wpływ tych czynników jest obecnie należycie uwzględniany przy wykonywaniu elektrod.

Obecnie przyjmuje się, że przebicie pomiędzy metalowymi elektrodami, znajdującymi się w wielkiej próżni przy dużych natężeniach pola elektrycznego i stosunkowo niskim napięciu, bywa zapoczątkowywane przez emisję elektronów z zimnej katody. Emisja ta rośnie wykładniczo wraz ze zwiększeniem natężenia pola, powodując miejscowy wzrost temperatury, co pociąga za sobą zakłócenie równowagi elektrycznej.

Przez wiele lat utrzymywało się przekonanie, że przy wysokich napięciach mechanizm przebicia jest taki sam. Rys. 1 dowodzi, że tak nie jest. Widzimy na nim napię-



Rys. 1. Przebijające napięcie i przebijające natężenie pola w próżni dla układu: nierdzewna kula stalowa o średnicy 25,4 mm — płyta stalowa o średnicy 50,8 mm

cie przebicia i natężenie pola w funkcji odległości elektrod dla napięć prądu stałego od 20 do 650 kV. Z rysunku widać, że przy napięciach poniżej 50 kV potrzeba bardzo znacznych natężeń pól sięgających kilku MV/cm do wywołania przebicia. Dla napięć wyższych natężenie pola gwałtownie maleje. I tak np. przy 20 kV natężenie pola elektrycznego wynosi 3 MV/cm, natomiast przy 650 kV tylko 100 kV/cm. Natężenie to nie jest oczywiście w stanie wywołać przebicia przez emisję elektronów z zimnej katody.

### 3. Przebicie przy wysokich napięciach.

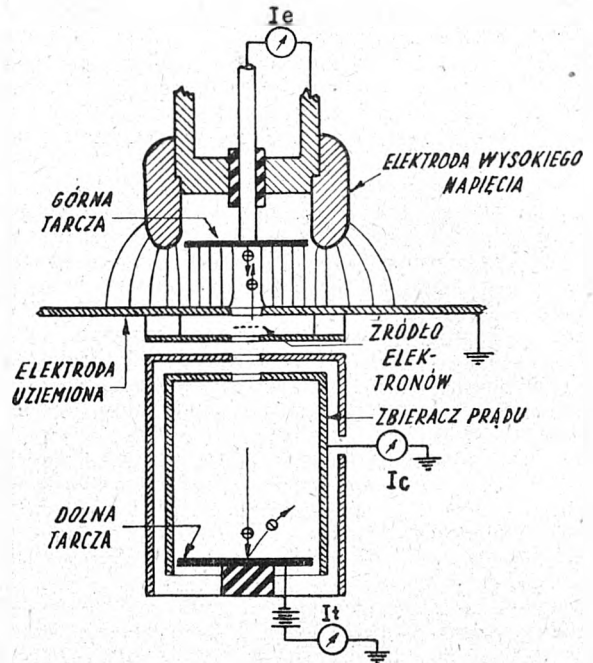
Autorzy wyjaśniają przebicie przy wysokich napięciach za pomocą wymiany naładowanych cząsteczek i fotonów pomiędzy katodą i anodą. Elektron, wysyłany przez katodę i przyspieszany przez napięcie panujące pomiędzy elektrodami, uderza w anodę. Pod wpływem tego anoda może wysłać zarówno jon dodatni, jak i foton. Te dodatnie jony, oraz część fotonów wracają do katody i wywołują dalszą emisję elektronów. Jeśli wytworzą się takie warunki, że zjawiska te będą się dodawały, wówczas nastąpi przebicie ośrodka pomiędzy elektrodami.

Celem ilościowego ujęcia tego zjawiska oznaczmy przez A średnią liczbę dodatnich jonów wywołanych przez jeden elektron, przez B średnią liczbę wtórnych elektronów wywołanych przez jeden z tych dodatnich jonów, przez C średnią liczbę fotonów wytworzonych przez jeden elektron, oraz przez D średnią liczbę wtórnych elek-

tronów wytworzonych przez jeden elektron. Jeżeli warunek

$$AB + CD > 1$$

jest spełniony, wówczas zjawiska się dodają i następuje przebicie. Jasne jest, że wszystkie powyższe współczynniki zależne są od napięcia pomiędzy elektrodami oraz od natężenia pola na ich powierzchni, jak również od materiału elektrod i stanu ich powierzchni.



Rys. 2. Pomiar „współczynników przebicia“

Rys. 2 pokazuje układ pomiarowy, pozwalający na pomiar współczynnika A. Elektrony wysyłane przez uzwojenie żarzenia przyspieszane są przez napięcie pomiędzy elektrodami i wpadają na górną tarczę, gdzie dokonuje się pomiaru. Ze względu na jednorodne pole panujące pomiędzy elektrodami, wszystkie dodatnie jony wytworzone przez te pierwotne elektrony wracają wzdłuż tej samej drogi i mogą być pomierzone przez zebranie ich w klatce Faradaya. Stosunek prądu jonów dodatnich do prądu elektronów stanowi współczynnik A. Mamy więc możliwość określania tego współczynnika dla różnych napięć i natężeń pól, jak również dla różnego rodzaju materiałów elektrod. Jest rzeczą charakterystyczną, że emisja jonów dodatnich wywołana przez elektrony jest potęgowana przez istnienie pola elektrycznego na powierzchni anody. Odpowiada to rzeczywistym warunkom panującym dla elektrod w próżni.

Istnienie pewnego skończonego prądu jonów dodatnich, który dawał się mierzyć w doświadczeniu opisywanym powyżej dowodzi, że powyższe zjawiska przyczyniają się do powstawania przebicia w próżni.

Miała wartość współczynnika A przy napięciach niższych od napięcia przebicia wskazuje na to, że współczynnik B musi być duży, jeśli prąd jonów dodatnich ma odgrywać ważną rolę w mechanizmie przebicia. Przy zbliżaniu się napięcia do napięcia przebicia, współczynnik A gwałtownie rośnie. Należy się spodziewać, że wartość współczynnika A będzie różna dla różnych metali oraz, że będzie zależna od stanu powierzchni elektrod.

Układ pokazany na rys. 2 może być użyty do pomiaru współczynnika B (średnia liczba elektronów wytworzonych przez bombardowanie katody przez dodatnie jony). Powracające jony dodatnie, przyspieszone przez napięcie pomiędzy elektrodami, wpadają na drugą tarczę umieszczoną wewnątrz klatki. Wywołany przez to prąd wtórnych elektronów jest mierzony w doświadczeniu jako Ic.

Jest rzeczą oczywistą, że ciężki jon dodatni posiadający energię setek kilowoltów wywołała krótkotrwały, lecz bardzo gwałtowny miejscowy wzrost temperatury w miej-

scu, w którym wpada on na katodę. Skutkiem dużego natężenia pola na katodzie ładunek przestrzenny nie będzie w stanie ograniczyć emisji elektronów w ciągu tego krótkiego czasu, kiedy nastąpi miejscowe podniesienie temperatury. Dlatego przy dużym natężeniu pola na katodzie uderzenie pojedynczego jonu dodatniego może wyzwoić stosunkowo wiele elektronów. Autorzy mają zamiar przeprowadzić pomiary współczynnika B dla różnych wartości napięcia i natężenia pola elektrycznego.

Jeśli nie następuje opóźnienie przez działanie obwodu zewnętrznego, to zdolność izolacyjna próżni gwałtownie maleje ze wzrostem napięcia, znacznie szybciej niż w przypadku izolatorów stałych lub gazowych. Oczywiście, moment utraty równowagi jest ściśle określony i następujące później przebiecie odbywa się bez zahamowań. Można się było tego spodziewać, gdyż wymiana energii pomiędzy elektrodami odbywa się w bardzo krótkim czasie, a ładunki przestrzenne nie pojawiają się w początkowych stadiach zjawiska. W stadium pośrednim, gdy równowaga została już zakłócona, zjawisko samoogniskowania skierowuje prawdopodobnie wyładowanie w cienki kanalik i następnie większą emisję naładowanych cząsteczek z powierzchni elektrod na skutek emisji cieplnej. Zaobserwowano, że można osiągnąć wyższe napięcia w przypadku pól o niezbyt równomiernym rozkładzie, niż w przypadku gdy wymiana cząsteczek może się odbywać swobodnie wzdłuż prostoliniowej drogi pomiędzy elektrodami. Zagadnienie izolacji próżniowej musi przede wszystkim być sprowadzone do zmniejszenia emisji z powierzchni elektrod, aby zapobiec utracie równowagi w układzie, zanim zostaną osiągnięte wymagane napięcie i natężenie pola elektrycznego.

#### 4. Emisja elektronów na skutek bombardowania elektrodami o dużej energii.

Po zmianie górnej tarczy na uzwojenie żarzenia z wolframu aparatura z rys. 2 może być użyta do pomiaru liczby wtórnych elektronów wysyłanych na skutek bombardowania przez pierwotne elektrony o dużej energii. Pomiar można wykonywać dla różnych napięć i materiału elektrod. Wykonano pomiary dla wolframu, stali, aluminium i grafitu dla napięć od 30 do 340 kV. Wykazały one, że stosunek liczby elektronów wtórnych do pierwotnych maleje ze wzrostem napięcia. Poza tym jest on zależny od liczby atomowej materiału elektrod. Im liczba ta jest większa, tym stosunek jest większy.

Wyniki te wskazują, że elektrony wysyłane przez katodę i padające na anodę stwarzają prawdopodobieństwo wysyłania jonów dodatnich i fotonów. Zmniejszenie się tego współczynnika wtórnej emisji przy wyższych napięciach wskazuje, w jaki sposób pewne współczynniki przebiecia mogą się zmniejszyć przy bardzo wysokich napięciach.

Poczyniono przygotowania do wykonania doświadczeń mających na celu pomiar udziału zjawisk fotoelektrycznych w mechanizmie przebiecia w próżni. Jest rzeczą dobrze znaną, że sprawność wytwarzania promieni X rośnie szybko ze wzrostem napięcia oraz że promienie X wykazują równocześnie wzrastającą tendencję do skupiania się w węższą wiązkę. Jedynie promieniowanie odbite mogłoby się przyczynić do wysyłania większej ilości promieni przez katodę. Chociaż duże natężenie pola elektrycznego panującego na katodzie mogłoby się przyczynić do emisji fotoelektrycznej, to jednak prawdopodobieństwo, że zjawisko to mogłoby odgrywać większą rolę, jest małe.

Przebieg szeregu różnych zjawisk współdziałających w wymianie naładowanych cząsteczek zależy w głównej mierze od wysokości napięcia panującego na elektrodach umieszczonych w próżni. Krzywa napięcia przebiecia z rys. 1 dobitnie wskazuje, że przy wyższych napięciach własności izolacyjne danego układu zależą przede wszystkim od napięcia, a nie od natężenia pola elektrycznego.

#### 5. Wysokie napięcia o wielkiej częstotliwości.

Ostatnio w M. I. T. były prowadzone badania nad zastosowaniem próżni jako izolacji przy wysokich napię-

ciach o wielkiej częstotliwości. W układzie walców miedzianych udało się osiągnąć 2 MV przy odstępach elektrod 5 cm dla napięcia o częstotliwości 3000 Mc/s, wysyłanego jako impulsy 2  $\mu$ s. Rodzaj impulsów i ich wielka częstotliwość sprzyjają powstawaniu zarówno wysokich napięć jak i natężeń pola, gdyż czas i energia mogąca spowodować przebiecie jest ograniczona. Wydaje się, że przy tego rodzaju napięciach jony dodatnie wywierają stosunkowo mniejszy wpływ i że mechanizm przebiecia zależy głównie od emisji elektronów i fotonów z powierzchni obu elektrod spełniających na zmianę rolę katod.

#### 6. Możliwości zmniejszenia współczynnika przebiecia.

Rzucająca się w oczy zależność emisji wtórnych elektronów od materiału elektrod wskazuje na to, że współczynniki A i B mogą również zależeć od materiałów elektrod. Dlatego należy ilościowo zbadać powyższą zależność. Z chwilą, gdy te współczynniki przebiecia będą dostatecznie zbadane, można będzie zaprojektować i przewidzieć własności izolacyjne próżni. Ponadto może okazać się, że będzie możliwe znaczne polepszenie własności izolacyjnych próżni przy pomocy różnych środków zmniejszających współczynnik przebiecia. Nasuwają się różne pomysły, jak np. zastosowanie złożonych powierzchni elektrod, których zewnętrzna powierzchnia wykonana jest z materiału o niskiej liczbie atomowej, a tym samym mało wydajnej jako źródło ciężkich wtórnych cząsteczek i promieni X; zastosowanie powierzchni bardzo porowatych; siatek i emulsji izolacyjnych jako ochrony przed wtórną emisją; miejscowe zniekształcenie rozkładu pola elektrycznego na powierzchni elektrod celem opóźnienia zjawiska ogniskowania wymiany cząsteczek; magnetyczne odchylenie elektronów pomiędzy elektrodami; dokładniejsza obróbka elektrod. Doświadczalne wyznaczenie wielkości współczynników przebiecia dla powyższych warunków może zasadniczo być łatwiejsze niż w przypadku innych materiałów izolacyjnych. Takie badanie nie tylko rozjaśnia nasze poglądy na zasadnicze czynniki mające wpływ na napięcie przebiecia próżni, lecz jednocześnie może rozszerzyć zakres praktycznego zastosowania wielkiej próżni jako izolacji w elektrotechnice prądów silnych i w badaniach naukowych.

J. Dom.

#### NASKÓRKOWOŚĆ PRZY WIELKICH PRĄDACH UDAROWYCH

St. Szpor. Effet pelliculaire en courant de choc dû à la foudre. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à Haute Tension (1946, ref. 323)

Przy przepływie prądu udarowego w przewodzie można spodziewać się wybitnej naskórkowości, która wzmacnia nagrzewanie. Zagadnienie to wiąże się ze sprawą wyboru przekroju przewodu na drodze prądu pioruna do ziemi. Wymagania co do przekroju są obecnie oparte na wieloletnim doświadczeniu. Do podobnych wymiarów dochodzi się też na drodze rachunkowej, opierając się na danych liczbowych o piorunach i przeprowadzając rozważania matematyczne nad naskórkowością.

Rozważania te są niezbyt złożone dla przewodu o przekroju kołowym. Poprzestając na przybliżonych zależnościach dla przypadku silnej naskórkowości, gdy prąd skupia się tuż pod powierzchnią, upraszcza się podstawowe równanie różniczkowe gęstości prądu do postaci znanej pod nazwą równania ciepła Fouriera. Wyzyskując znaną całkę tego równania i przeprowadzając dalsze przekształcenia, dochodzi się do podstawowego wzoru dla silnej naskórkowości w dowolnym stanie nieustalonym:

$$i = \frac{2\sqrt{\pi}R}{\sqrt{\gamma\mu}} \int_0^t \frac{\varphi(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau,$$

gdzie  $\gamma$ ,  $\mu$  — przewodność elektryczna właściwa i przenikalność magnetyczna;  $i$  — wartość chwilowa prądu w chwili  $t$ ;  $\varphi(t)$  — gęstość prądu na samej powierzchni przewodu w chwili  $t$ . Pod znakiem całki występuje gęstość wyrażona w funkcji czasu  $\tau$ , a całkowanie przeprowadzamy względem  $\tau$  od chwili  $\tau = 0$ , gdy  $i = 0$ , do  $\tau = t$ . W ten sposób można określić krzywą prądu  $i$  w funkcji

czasu  $t$  na podstawie danej charakterystyki gęstości powierzchniowej  $\varphi$ .

Wzór ten prowadzi do dwóch ciekawych twierdzeń podobieństwa. Pierwsze z nich mówi, że nagrzewanie warstwy przewodu tuż pod powierzchnią jest zależne od wartości szczytowej prądu  $i$ , od kształtu udaru, czyli od stosunku długości czoła do długości połówkowej, nie zależy natomiast od całkowitego czasu udaru, czyli od sumy długości czoła i grzbietu. Wydłużając więc udar np. 2-krotnie (jednocześnie czoło i grzbiet), przy takiej samej wartości szczytowej prądu, nie zmieniamy nagrzewania warstwy powierzchniowej, jeżeli mamy w dalszym ciągu silną naskórkowość. Wynika to stąd, że wprawdzie dłuższy czas sprzyja silniejszemu nagrzewaniu, ale zarazem zagęszczenie prądu pod powierzchnią wypada słabsze; te dwa czynniki kompensują się w zjawisku nagrzewania warstwy powierzchniowej. Według drugiego twierdzenia nagrzewanie warstwy powierzchniowej jest niezależne od przewodności elektrycznej właściwej. Zmniejszenie przewodności właściwej sprzyja wprawdzie silniejszemu nagrzewaniu, ale zarazem zagęszczenie prądu pod powierzchnią przewodu wypada słabsze; te dwa czynniki znowu kompensują się, jeżeli tylko mamy do czynienia z silną naskórkowością.

Zastosowanie wzoru ogólnego pozwala wyznaczyć szybko krzywe udaru  $i = f(t)$  dla zakładanych krzywych gęstości powierzchniowej  $\varphi(t)$ . Najprostsze założenia co do  $\varphi(t)$  prowadzą do krzywych  $i = f(t)$  z bardzo wielkim stosunkiem długości czoła do długości połówkowej, nawet powyżej wartości odpowiadającej krótkiej fali normalnej 1–5  $\mu\text{s}$ . Przy długiej fali normalnej 1–50  $\mu\text{s}$  prądu  $i$  przeprowadza się żmudne przeliczenia gęstości  $\varphi(t)$  „punkt po punkcie“.

W celu wyzyskania praktycznego tych rozważań matematycznych wprowadza się pojęcie skutecznej grubości  $X_{\delta}$  warstwy naskórkowej. Grubość ta pomnożona przez obwód przekroju daje przekrój skuteczny, który jest iloczynem wartości szczytowej prądu  $i$  przez wartość szczytową gęstości powierzchniowej  $\varphi(t)$ . Okazuje się, że w ciężkich warunkach udarowych  $X_{\delta}$  jest rzędu 0,1 mm, tak że wstępne założenie co do silnej naskórkowości jest potwierdzone, jeżeli zajmujemy się niezbyt cieniukimi przewodami stosowanymi w praktyce. Dodatkowa dyskusja nad przewodami żelaznymi wskazuje, że w rozpatrywanych warunkach nie możemy mieć do czynienia z wybitnym wpływem wielkiej przenikalności magnetycznej, ponieważ wielkie udary prądu od piorunów powodują nasycenie bardzo silne. Materiały magnetyczne zachowują się więc w tych warunkach prawie tak samo, jak materiały niemagnetyczne. Przewodowi żelaznemu nie grozi więc szczególnie wielkie zagęszczenie prądu pod powierzchnią, a stosunkowo mała przewodność elektryczna właściwa daje raczej nieco większą grubość skuteczną  $X_{\delta}$ .

Dla obliczeń nagrzewania konieczne są jeszcze rozważania nad promieniowym przewodzeniem ciepła w prze-

wodzie. Chodzi o stwierdzenie, czy ciepło wydzielane głównie w warstwie powierzchniowej „ma czas“ w procesie udarowym na równomierne rozłożenie się w całym przewodzie. Rozważania matematyczne prowadzą do wniosku, że promieniowe przewodzenie ciepła może być z dość dobrym przybliżeniem pominięte w procesie udarowym. Ciepło musi więc być pochłonięte najpierw głównie w powierzchniowej warstwie, gdzie jest ono wytwarzane. Dopiero później następuje stosunkowo powolne wyrównanie temperatur wewnątrz przewodu, a dalszym procesem jest oddawanie ciepła z powierzchni przewodu na zewnątrz.

Na podstawie tych rozważań wyprowadza się wzór przybliżony na promień przekroju kołowego dla dopuszczalnego przyrostu temperatury:

$$R = \sqrt{\frac{\mu}{c} \cdot \frac{1}{\Delta \theta} \cdot \sqrt{n_r M i_{\max}}}$$

gdzie:  $R$  — promień przekroju w cm;  $\mu = 4,7 \cdot 10^{-9} \mu_w$  — przenikalność magnetyczna;  $\mu_w$  — przenikalność względna;  $c$  — ciepło właściwe w  $\text{W/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $\Delta \theta$  — przyrost temperatury w warstwie naskórkowej;  $i_{\max}$  — wartość szczytowa udaru prądu w amperach;  $M$  — współczynnik zależny od kształtu udaru, mianowicie równy 0,0434 dla udaru 1–50  $\mu\text{s}$ , znacznie mniejszy zaś dla udaru 1–5  $\mu\text{s}$ ;  $n_r$  — zredukowana liczba uderzeń w piorunie wielokrotnym.

Przyjmujemy w tych obliczeniach  $n_r$  udarów umyślnych o jednakowych i bardzo wysokich wartościach szczytowych  $i_{\max}$  zamiast większej liczby różniących się udarów rzeczywistych, posiadających średnio znacznie niższe wartości szczytowe. Jest to przybliżenie uproszczone, usprawiedliwione brakiem dostatecznie licznych danych o prądach w piorunach wielokrotnych. Zakładając stosunkowo ostre, ale może jeszcze nie najostrejsze warunki:  $i_{\max} = 100 \text{ kA}$ ,  $n_r = 5$ , oraz przyjmując  $M = 0,045$ ,  $\Delta \theta = 200^\circ\text{C}$ , dochodzi się do prostej zależności:

$$R = 0,291 \sqrt{\frac{\mu_w}{c}}$$

Stąd wynikają przekroje: dla miedzi 7,8  $\text{mm}^2$ , dla glinu i żelaza 11,1  $\text{mm}^2$  (przy podstawieniu dla żelaza  $\mu_w = 1,5$ ). Wyniki te wykazują niezłą zgodność z obserwacjami nad odpornością przewodów na prądy piorunów. Udział prądów długotrwałych pioruna w nagrzewaniu przewodu można pominąć (inaczej niż w nagrzewaniu odgromników o zmiennej oporności).

Rozważania dotyczą tylko przekroju kołowego. Dla przekroju prostokątnego trudności matematyczne byłyby niewątpliwie bardzo wielkie. Z różnych badań nad naskórkowością w stanie ustalonym można jednak wyciągnąć wniosek, że efekt naskórkowości w przewodzie płaskim jest słabszy niż w przewodzie okrągłym o takiej samej powierzchni przekroju. Można więc sądzić, że wartości przekrojów obliczone dla udarów w przypadku przekroju kołowego są zupełnie wystarczające również w przypadku przekroju prostokątnego.

MGR MICHAŁ SKOCZYLAŚ

## Szkolnictwo zawodowe przemysłu elektrotechnicznego

Każda generacja ma dwa zadania do wykonania. Pierwsze — to postęp i starania o to, ażeby życie współczesne uczynić najlepszym, najwygodniejszym i najbardziej odpowiadającym potrzebom ogółu danego społeczeństwa, a drugie zadanie i obowiązek — to troska o pokolenia przyszłe, o to, ażeby im już dzisiaj dać pewne możliwości rozwoju — najlepsze, na jakie pokolenie starsze jest w stanie się zdobyć.

Niewątpliwie jednym z cenniejszych walorów, które chcielibyśmy dać w rękę jako atut życiowy przyszłym pokoleniom, to wiedza, ta wiedza, która pozwoli pokoleniom pracować wydajnie, budować i dzięki wzrastającej produkcji podnosić własną stopę życiową. Taką właśnie wiedzę techniczną dają młodzieży nasze szkoły zawodowe.

Równoległe z zakreśleniem planu rozbudowy przemysłu i produkcji należy więc planować rozwój szkolnic-

stwa zawodowego. W stosunku do interesującego nas tutaj szkolnictwa przemysłu elektrotechnicznego należy podkreślić pewne charakterystyczne cechy, które nie występują może w tak jaskrawej formie w innych przemysłach, lecz które w dużej mierze wywierają wpływ na formy naszego szkolnictwa.

Mamy tu na myśli wybitnie branżowe zróżnicowanie naszego przemysłu, wyrażające się w jego podziale na zjednoczenia daleko odbiegające od siebie asortymentem produkowanych wytworów i wymagające, pomimo wspólnego elektrotechnicznego kierunku szkolenia, wyraźnych odchyśleń branżowych zarówno w programach szkolnych, jak i w kwalifikacjach nabytych przez absolwentów.

Z tego powodu plan szkolenia w przemyśle elektrotechnicznym musi być opracowany nie tylko pod kątem założeń ilościowych, ale też z tendencjami kierunkowymi, uwzględniającymi zapotrzebowanie ze strony zjednoczeń



(branż) zupełnie zawodowo odmiennego i w zasadzie niewymiennego elementu ludzkiego.

Przemysł elektrotechniczny podzielony na 7 gałęzi wymaga dopływu fachowców na wszelkich stopniach produkcji. Wynikiem tego zapotrzebowania jest sieć szkolnictwa zawodowego, gwarantująca nauczanie na kilku zasadniczych poziomach i to dwiema drogami jednocześnie, tj. na kursach krótkoterminowych, trwających od 1 do 15 miesięcy, i w specjalnie zorganizowanych szkołach zawodowych o dłuższym okresie nauczania.

Szkoły zawodowe elektrotechniczne oparte o większe zakłady pracy kształcą młodzież w kierunkach odpowiadających poszczególnym gałęziom przemysłu. Typy szkół i ich programy odpowiadają kierunkom produkcji istniejących branż. Mamy więc szkoły zawodowe specjalne dla potrzeb przemysłu maszyn elektrycznych, przemysłu aparatów elektrycznych, kabli i przewodów, szkoły radiotechniczne i szkoły przemysłu akumulatorowego.

Ogółem przemysł elektrotechniczny posiada 16 własnych szkół zawodowych, w tym 6 gimnazjów, 9 szkół przemysłowych i 1 szkołę przysposobienia przemysłowego. Poza tym część młodzieży kształci się w szkołach zbiorczych.

Gimnazja przemysłowe istnieją w następujących punktach: 1) w Warszawie przy Pierwszej Państwowej Fabryce Aparatów Elektrycznych, 2) w Łodzi przy Państwowej Fabryce Aparatów Elektrycznych, 3) w Bydgoszczy przy Fabryce Artykułów Elektrotechnicznych, 4) w Cieszynie przy Fabryce Maszyn Elektrycznych, 5) w Krakowie przy Fabryce Kabli i 6) w Dzierżonowie przy Zjednoczeniu Przemysłu Radiotechnicznego.

Szkoły przemysłowe zorganizowały następujące przedsiębiorstwa: 1) Fabryka Żyrandoli Elektrycznych A. Marciniak w Warszawie, 2) Polskie Zakłady Elektrotechniczne „Era” we Włochach k. Warszawy, 3) Fabryka Liczników i Zegarów Elektrycznych w Świdnicy, 4) Fabryka Maszyn Elektrycznych w Żychlinie, 5) Fabryka Maszyn Elektrycznych w Poznaniu, 6) Fabryka Materiałów Izolacyjnych w Gliwicach, 7) Fabryka Kabli w Krakowie, 8) Fabryka Kabli i Walcowni Miedzi w Ożarowie, 9) Zakłady Akumulatorowe „Tudor” w Piastowie k. Warszawy.

Oprócz tego Ośrodek Szkoleniowy Państwowej Fabryki Wagonów we Wrocławiu (C. Z. P. M.) kształci dla naszych potrzeb uczniów w dwóch klasach Szkoły Przemysłowej, w dwóch klasach gimnazjalnych i w dwóch klasach licealnych. Poza tym Ośrodek Szkoleniowy Energetyki wychowuje nam specjalistów w swoim liceum w Nysie.

Ogólna liczba uczących się dla potrzeb naszego przemysłu w szkołach własnych i zbiorczych wynosi 2 782,

W tej chwili okres organizacyjny mamy już niewątpliwie za sobą i nadszedł czas na precyzowanie pewnych zagadnień.

Planowy rozwój przemysłu będzie od nas wymagał w przyszłości wydatnego zwiększenia sieci szkół przemysłowych i organizacji wielu gimnazjów i liceów przemysłowych. To wyraźne zwiększenie liczby szkół przemysłowych i liceów nastąpi już we wrześniu rb. Ażeby projektowana sieć odpowiadała ściśle potrzebom przemysłu, należy już teraz określić wyraźnie kierunki szkolenia. Związana z tym akcja opracowywania programów dobiega końca i z początkiem przyszłego roku szkolnego wejdą w życie jednolite programy dla poszczególnych kierunków szkolenia zawodowego.

W tej chwili jedną z zasadniczych bolączek naszego szkolnictwa, której nie można przemilczeć, jest brak należytych pomieszczeń, utrudniająca poważnie rozwój szkół i uniemożliwiająca organizację burs i większych ośrodków szkoleniowych. Tę trudność w organizacji szkół trzeba w tej chwili w pewnej przynajmniej mierze kompensować zwiększeniem nacisku na szkolenie krótkoterminowe.

Kursy dają wyszkolenie o wiele płytsze niż szkoły, ale też kształcą o wiele szybciej. Założeniem naszym jest więc tworzenie możliwie większej liczby kursów do czasu, w którym odpowiednia liczba otwartych szkół i burs zagwarantuje nam potrzebny przyrost dobrze wyszkolonych zawodowo i świadomych swoich obowiązków fachowców.

Uważamy też, że w okresie powojennym metoda szkolenia przy pomocy kursów nabiera szczególnej wagi i że kursy właśnie są powołane do tego, ażeby wielu robotnikom dorosłym, którzy nie mogli dotychczas pomimo posiadania długoletniej praktyki zdobyć koniecznej wiedzy teoretycznej, dać teoretyczne podstawy dla ich praktycznej umiejętności, a tym samym świadectwa stwierdzające odpowiedni poziom wykształcenia zawodowego. Z czasem, kiedy coraz intensywniej rozbudowywana sieć szkół zawodowych obejmie wszelką młodzież pragnącą nauczyć się zawodu, liczba robotników bez wykształcenia teoretycznego będzie stale malała i tym samym zmniejszy się konieczność doksztalcania za pomocą kursów.

Kursy przeznaczone w zasadzie do szkolenia dorosłych dzielą się na trzy typy.

Celem pierwszego typu kursów tzw. przysposobienia przemysłowego jest wstępne przeszkolenie kandydata do zawodu, jak nazwa kursu mówi „przysposobienie” pra-

Tablica 1. Liczba kursów i uczestników

Nazwa kursu	1946		1947		1948 (do 1. V)		Razem	
	kursy	uczestn.	kursy	uczestn.	kursy	uczestn.	kursy	uczestn.
Przysposobienia przemysłowego . . . . .	2	70	6	166	9	422	17	658
Czeladniczy . . . . .	1	34	1	46	8	283	10	363
Mistrzowski . . . . .	—	—	1	44	2	94	3	138
Określonej specjalności . . . . .	—	—	2	38	6	204	8	242
<b>Razem</b>	<b>3</b>	<b>104</b>	<b>10</b>	<b>294</b>	<b>25</b>	<b>1003</b>	<b>38</b>	<b>1401</b>

z czego w liceach 167, w gimnazjach 945 uczniów, w szkołach przemysłowych 870 i w szkołach przysposobienia przemysłowego 800 uczniów.

Szczególnie ważny jest problem szkolnictwa zawodowego na Ziemiach Odzyskanych. Tu wiąże się on wyraźnie ze sprawą osadnictwa na tych ziemiach. Obok starszej generacji osadników są tu dzieci, które przybyły z rodzicami lub jako wychowawcy burs i licznych internatów. Za wychowanie tego młodego elementu, za zaznajomienie go ze wszelkimi problemami tych ziem, za związanie go uczuciowo i życiowo z tymi terenami, słowem za wychowanie świadomego obywatela, który byłby zrośnięty z tymi ziemiami, z ich gospodarką rolną lub przemysłową, jest odpowiedzialna przede wszystkim szkoła. Na Ziemiach Odzyskanych mamy dla potrzeb przemysłu elektrotechnicznego ogółem 5 szkół własnych i zbiorczych i szkolimy na tych ziemiach 1076 uczniów.

cownika do wykonywania pewnej operacji w procesie produkcyjnym zakładu. Kursy te dają przeszkolenie zawodowe na poziomie najniższym i w zakresie dość ograniczonym z uwzględnieniem jednak w programie przedmiotów ogólnokształcących.

Następnym typem jest kurs czeladniczy. Wymaganym od kandydatów warunkiem przyjęcia na ten kurs, w przeciwieństwie do poprzedniego, są już pewne kwalifikacje ogólne i zawodowe, jak 3-letnia praktyka w zawodzie i dowód ukończenia 7 klas szkoły powszechnej.

Następnym etapem jest kurs mistrzowski, który daje pracownikom o długoletniej praktyce zawodowej wiadomości teoretyczne niezbędne dla uzyskania stopnia mistrza w danym zawodzie.

Poza wymienionymi istnieją jeszcze kursy tzw. określonej specjalności, których zadaniem jest danie wiadomości specjalnych w pewnej wąskiej dziedzinie, np. kurs

nawijaczów silników elektrycznych, kurs obróbki na autmatach tokarskich, kurs kalkulatorów itp.

Tabl. 1 ilustruje rozwój kursów i przebieg szkolenia tą drogą pracowników dla potrzeb przemysłu elektrotechnicznego.

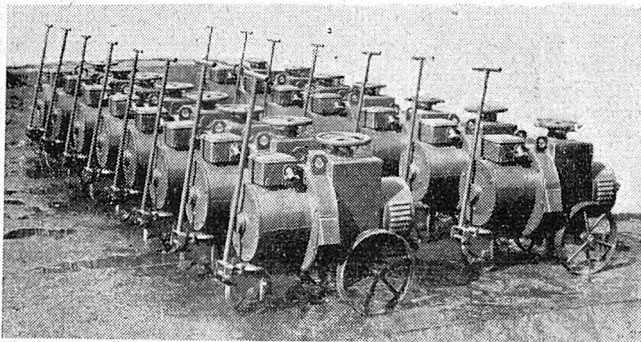
Obok pracowników wykwalifikowanych przemysł nasz będzie zatrudniał wielu robotników przyuczonych. Jedynymi często kwalifikacjami zawodowymi tych pracowników będą wiadomości nabyte na kursach przysposobienia przemysłowego organizowanych przy naszych fabrykach.

Bardzo ważnym czynnikiem, na który należy tu spe-

cjałą zwrócić uwagę jest odpowiednie ustosunkowanie się dyrekcji poszczególnych fabryk do całokształtu spraw związanych ze szkolnictwem zawodowym na terenie danego zakładu. Należy zauważyć na podstawie doświadczenia, że tam, gdzie dyrekcja fabryki opiekuje się szkołą i współdziała z akcją zmierzającą do podniesienia wiedzy zawodowej, szkoły rozwijają się dobrze i już w niedługim czasie należy się spodziewać chwili, w której dyrektorzy fabryk starający się o szkoły i opiekujący się nimi zbiorą owoce swojej zabiegliwości, a stały przyrost dobrze wyszkolonych, inteligentnych pracowników pomoże im w pełni osiągnięciu zasadniczego celu jakim jest produkcja.

## Spawarki prądu stałego produkcji krajowej

Centralny Zarząd Przemysłu Elektrotechnicznego właściwie ocenił wagę spawania w dziele odbudowy kraju i już w początkach swojego istnienia poświęcił temu zagadnieniu wiele uwagi, powierzając Zjednoczeniu Przemysłu Maszyn Elektrycznych zadanie uruchomienia krajowej produkcji spawarek wirujących prądu stałego. Po przeprowadzeniu pewnych badań i zasięgnięciu opinii Państwowego Instytutu Spawalniczego Zjednoczenie Przemysłu Maszyn Elektrycznych zleciło w lecie 1946 r. Zakładowi M-23 (dawn. Górnośl. Fabr. Maszyn Elektr.



Rys. 1. Widok ogólny pierwszych spawarek krajowych w wykonaniu Zakładu M-23

„Union“) w Katowicach rozpoczęcie produkcji spawarek prądu stałego typu uniwersalnego o zakresie regulacji prądu od 40 do 300 A.

W grudniu 1947 r., po pokonaniu wielu trudności konstrukcyjnych i technologicznych, ukończono montaż

pierwszej spawarki; do końca kwietnia 1948 r. wykonano już 70 spawarek. W ciągu bieżącego roku zamierza się wykonać ponad 300 spawarek.

Spawarki, produkowane w Zakładzie M-23, składają się z asynchronicznego silnika napędowego o 1430 obr./min. i prądnicy prądu stałego, umieszczonych w spawanej obudowie (rys. 1). Moc silnika, uruchamianego przy pomocy przełącznika gwiazda-trójkąt, przyspawanego do górnej części obudowy, wynosi 11,8 kWh. Uzwojenie stojana wykonywa się dla napięć sieci 125, 220, 380 i 500 V. Dwuklatkowy wirnik silnika napędowego znajduje się na wspólnym wale z twornikiem prądu stałego i wentylatorem chłodzącym. Praca ciągła spawarki odbywa się przy 230 A i 25 V, praca dorywcza przy najwyższej 300 A i 30 V. Napięcie biegu jałowego spawarki wynosi około 50 V. Wielkość prądu spawania nastawia się przy pomocy koła pokrętnego, znajdującego się na górze środkowej części spawarki, w dwu zakresach od 40 do 150 A i od 125 do 300 A. Zakres prądu nastawia się przez odkręcanie albo dokręcanie osobnej nakrętki na tabliczce zaciskowej. Spawarka waży około 350 kg. Kółka i dyszel pociągowy umożliwiają łatwy jej transport.

Naukowe badanie spawarki według przepisów krajowych i zagranicznych, przeprowadzone z udziałem Państwowego Instytutu Spawalniczego, wykazało bardzo korzystne właściwości produkowanej u nas spawarki. Szczegółowe sprawozdanie z tego badania jest w przygotowaniu i będzie ogłoszone w Przeglądzie Elektrotechnicznym. Próby praktycznego spawania przy pomocy różnych gatunków elektrod o różnych średnicach dały dobre wyniki. Oscylogramy poszczególnych faz pracy spawarki jak i całego przebiegu spawania potwierdziły wyniki praktycznego spawania.

## Naczelna Organizacja Techniczna

### Zebrań Rady Głównej NOT

W dniu 25 maja rb. w Domu Technika przy ul. Czackiego 3/5 w Warszawie odbyło się pod przewodnictwem prezesa NOT wicemin. inż. B. Rumińskiego pierwsze zebranie Rady Głównej NOT, w którym poza członkami tej Rady (36 delegatów wybranych na Walnym Zjeździe Delegatów NOT i 15 przedstawicieli zarządów głównych stowarzyszeń NOT w osobach prezesów i sekretarzy) wzięli udział: Główna Komisja Rewizyjna NOT, przewodniczący komisji głównych NOT oraz zaproszeni przedstawiciele prasy technicznej.

Zgodnie z programem zebrania załatwiono następujące sprawy:

1. Wybrano nowego Sekretarza Generalnego NOT kol. mgra inż. Jana Wacława Czarnowskiego z SEP na miejsce powołanego do M. O. N. kol. inż. Franciszka Cieciorzy.

2. Zatwierdzono po wysłuchaniu opinii Komisji Rewizyjnej bilans za rok 1947 i uchwalono budżet na rok 1948.

3. Przyjęto sprawozdanie Sekretarza Generalnego NOT kol. Czarnowskiego, które objęło okres od 13. 12. 1947 r. oraz zawierało wytyczne pracy Sekretariatu Generalnego NOT na najbliższą przyszłość.

4. W wyniku obrad Rada Główna wezwała stowarzyszenia do podjęcia prac przygotowawczych do III Kongresu Techników Polskich oraz uchwaliła szereg wniosków natury organizacyjnej, a mianowicie:

a) wezwała stowarzyszenia do ustalenia wysokości składki członkowskiej na poziomie 100 zł miesięcznie,

b) powołała komisje NOT: kulturalno-rozrywkową i biblioteczną oraz przy oddziale NOT w Gdańsku komisję morską,

c) ustaliła termin zwołania II Walnego Zjazdu Delegatów NOT na marzec 1949 r.

## Centralna Komisja Normalizacji Elektrotechnicznej SEP

### Sprawozdanie z posiedzenia plenum 26. 4. 48.

W myśl § 5 regulaminu Centralnej Komisji Normalizacji Elektrycznej odbyło się w dniu 26 kwietnia 1948 r. posiedzenie plenum CKNE z następującym porządkiem dziennym: 1) zagajenie przez przewodniczącego CKNE, 2) sprawozdanie z działalności CKNE w roku 1947, 3) u-

stalenię programu prac CKNE na rok 1948, 4) przyjęcie preliminarza wydatków CKNE na rok 1948, 5) wybór prezydium CKNE, 6) wolne wnioski.

W skład plenum wchodzi oprócz prezydium CKNE oraz przewodniczących wszystkich komisji przepisowych SEP

delegaci zainteresowanych instytucji. Zarząd Główny zaprosił następujące instytucje do wzięcia udziału w posiedzeniu przez swych przedstawicieli: Ministerstwa — Komunikacji, Obrony Narodowej, Poczty i Telegrafów, Pracy i Opieki Społecznej, Przemysłu i Handlu oraz Zdrowia, Polskiej Komisji Normalizacyjnej, Państwową Radę Energetyczną, Główny Urząd Miar, Centralne Zarządy — Energetyki, Przemysłu Elektrotechnicznego, Przemysłu Hutniczego, Przemysłu Metalowego oraz Przemysłu Węglowego, Państwowy Instytut Elektrotechniczny, Państwowy Instytut Telekomunikacyjny, Polskie Radio, Stowarzyszenie Dozoru Kotłków, Naczelną Organizację Techniczną i Komisję Centralną Związków Zawodowych.

Obecni byli delegaci: H. Sacharewicz (M. O. N.), H. Dietrich (M. P. i T.), T. Czaplicki (Państwowa Rada Energetyczna), Wł. Strzeszewski (PKN), Wł. Szumilin (Prezes SEP), K. Drewnowski (CKSE), J. Gniewiewski (Komitet Bezpieczeństwa Pracy SEP), J. Srebrzyński (CZPEL), P. Podgórski (CZPM), Wł. Gluziński (CZPW), W. Kowalski (Polskie Radio), H. Szostakowski (Stowarzyszenie Dozoru Kotłków), F. Błocki (P. I. T.); oraz członkowie SEP-u i przewodniczący komisji przepisowych: W. Smoluchowski (przewodniczący CKNE), L. Berson, A. Bibiło, St. Bładowski, F. Błocki, T. Czaplicki, E. Domański, Z. Gogolewski, B. Hac, St. Ignatowicz, B. Jabłoński, B. Jakubowski, Z. Jung, St. Konczykowski, W. Kotowski, St. Kuhn, K. Kwiatkowski, P. Mosiewicz, M. Nacholiński, C. Pawłowski, J. Płaskowski, J. Skowroński, A. Smolański, A. Sławiński, A. Soszka, T. Stępniewski, Z. Szpigler, St. Szpor, H. Tarnawski, B. Witwiński, W. Zawadowski.

#### Przebieg obrad i uchwały

1) Zagajenie przez przewodniczącego CKNE. Obecne posiedzenie plenum jest drugie po wojnie, lecz pierwsze zwołane w trybie zgodnym z obecnym regulaminem CKNE. Pierwsze powojenne zebranie plenum odbyło się w pierwszym okresie organizacyjnym SEP w dniu 11 listopada 1946 r.) i miało charakter niejako konstytucyjny; celem jego było stworzenie przede wszystkim doraźnego programu najpilniejszych prac na najbliższy okres. Zwłoka w zatwierdzeniu nowego statutu SEP nie pozwoliła na zwołanie obowiązkowego posiedzenia we właściwym terminie tzn. na jesieni zeszłego roku. Dzisiejsze posiedzenie z pełnym porządkiem dziennym przewidzianym przez regulamin świadczy o wkroczeniu CKNE w normalny bieg prac po zakończeniu okresu organizacyjnego.

2) Sprawozdanie z działalności CKNE w roku 1947. Sekretarz Generalny SEP oraz przewodniczący poszczególnych komisji przepisowych uzupełnili przedstawione pisemne szczegółowe sprawozdania dodatkowymi wyjaśnieniami. W krótkości wyniki prac dadzą się ująć w następujących liczbach: w okresie sprawozdawczym pracowały 22 komisje oraz 36 podkomisji SEP i odbyły ogółem 389 posiedzeń. W pracach normalizacyjnych brało udział 355 osób, reprezentujących naukę, przemysł i użytkowników. Wydano drukiem 6 prac przepisowych w broszurkach, ogółem 310 stron formatu A5, i tablicę litografowaną na blasze oraz opublikowano lub rozpowszechniono w celu zebrania krytyki 10 projektów — ogółem 182 strony formatu A5. W druku lub w przygotowaniu do druku jest 10 prac przepisowych, ogółem 202 strony formatu A5, oraz jedna norma formatu A4. Skromny ten wynik, choć kryje się za nim ogrom prac włożonych w opracowanie wielu projektów przepisów i norm elektrycznych ze strony polskiego świata technicznego wskutek zupełnego braku na rynku nawet starych przedwojennych wydań. CKNE zdaje sobie sprawę z wielkich obowiązków, które na niej ciąży, jednak do spełnienia ich wciąż jeszcze brak jest dostatecznej liczby fachowców. Jest to trudność podkreślana przez wszystkich prawie przewodniczących komisji i stąd apel do członków SEP oraz odpowiednich urzędów, zakładów przemysłowych i instytucji o jak największy udział w pracach komisji i traktowanie tej pracy jako jednej z podstawowych przy odbudowie naszej gospodarki państwowej.

W czerwcu 1947 r. w czasie Walnego Zgromadzenia SEP we Wrocławiu poczyniono pierwsze kroki ku wzno-

wieniu przerwanej przez wojnę współpracy w dziedzinie normalizacji z czechosłowackim stowarzyszeniem elektryków EŠČ, której owocem z czasów przedwojennych były dwie wspólnie opracowane prace przepisowe (PE, 1948, z. 3, str. 82—83).

W dyskusji nad sprawozdaniem poruszone było również zagadnienie słownictwa elektrycznego. Brak publikacji polskich w okresie wojennym zahamował piękny rozwój polskiego słownictwa elektrycznego, a z powodu braku książek technicznych polskich w dobie obecnej biorą się do piśmiennictwa technicznego nieprzygotowani naleźycie autorzy, którzy zachwyszczą nasz język dziwolągami lub naleciałościami obcymi. Stan ten wymaga jak najenergiczniejszych wysiłków w kierunku niedopuszczenia do drukowania prac pisanych niepoprawnym językiem technicznym i propagowania poprawnego języka. Korzystając z obecności przewodniczącego Centralnej Komisji Słownictwa Elektrycznego SEP, zebrani wysłuchali sprawozdania z jej działalności i programu najbliższych prac. CKSE została już całkowicie zorganizowana i kontynuuje swoje prace przedwojenne oraz z okupacji. Jako środek doraźny będzie wydany słownik elektryczny z 6 000 słów z odpowiednikami w 3 językach (angielski, francuski, niemiecki). Jednocześnie opracowywany jest słownik wraz z definicjami i odpowiednikami w 5 językach (angielski, czeski, francuski, niemiecki, rosyjski), który będzie ukazywał się działami.

Na zakończenie dyskusji nad sprawozdaniem z działalności CKNE w 1947 r. zabrał głos prezes SEP, który podziękował ustępującemu prezydium CKNE za ogromną pracę, włożoną w zorganizowanie przerwanych przez wojnę prac CKNE, oraz poważne wyniki osiągnięte w tak trudnych warunkach, przy czym specjalne podziękowanie złożył kol. J. Obrapalskiemu, pierwszemu po wojnie przewodniczącemu CKNE, który z powodu nawału prac zrezygnował ze swego stanowiska w styczniu br.

Z powodu niedawnej śmierci wielce zasłużonego w rozwoju polskiej normalizacji inż. Czesława Szczekowskiego, sekretarza generalnego PKN, prezes SEP wezwał zebranych do uczczenia pamięci Zmarłego przez powstanie i minutę milczenia.

3) Ustalenie programu prac CKNE na rok 1948. Program prac przedstawiony przez prezydium CKNE przewiduje 304 tematy do opracowania, z których mniej więcej połowa ma być zakończona w roku bieżącym, reszta zaś w 1949 r. Chociaż program ten nie wyczerpuje wszystkich potrzeb życia gospodarczego, jednak jest tak obszerny, że po dyskusji postanowiono nie zmieniać go, wysuwając jedynie życzenie możliwie pełnego jego wykonania. Jako jeden z głównych dezyderatów wysunięto pilną potrzebę gruntownej nowelizacji PNE/10 „Przepisy budowy i ruchu urządzeń elektroenergetycznych” oraz „Przepisów na uzimienia i zerowania”. Przewodniczący obu odpowiednich komisji oświadczyli, że prace te będą zakończone w bieżącym roku.

4) Przyjęcie preliminarza wydatków CKNE na rok 1948. Budżet CKNE mieści się w ramach budżetu SEP, którego preliminarz został zatwierdzony przez Zjazd Delegatów w grudniu 1947 r. Preliminarz SEP przewidywał wydatki na CKNE w sumie 15 000 000 zł oraz ich pokrycie w tej samej wysokości z dotacji kilku ministerstw oraz z wpływów z wydawnictw Stowarzyszenia i innych. Złożony obecnie preliminarz wydatków CKNE na rok 1948 zamyka się sumą 23 715 860 zł. Różnica między preliminowanymi wydatkami na CKNE w budżecie SEP a obecnie przedstawionymi spowodowana jest utworzeniem nowej XXIX Komisji Instrukcji Eksploatacyjnych, której wydatki (ok. 8 312 000 zł) będą dodatkowo pokryte przez Centralny Zarząd Energetyki, na którego życzenie powołana została Komisja (PE, 1948, z. 3, str. 83). Preliminarz został jednogłośnie przyjęty.

5) Wybór nowego prezydium CKNE. Przewodniczący CKNE W. Smoluchowski, powołany na to stanowisko zgodnie z regulaminem CKNE przez Zarząd Główny SEP, zaproponował następujący skład prezydium, odpowiadający przepisom regulaminu: T. Czaplicki, Z. Gogolewski, St. Konczykowski, St. Kuhn, J. Płaskowski, Cz. Rajski, Wł. Strzeszewski, B. Witwiński. Plenum zaakceptowało skład ten jednogłośnie.

\*) Ob. PE, 1947, z. 3/4, str. 120.

## SKŁAD OSOBOWY CENTRALNEJ KOMISJI NORMALIZACJI ELEKTROTECHNICZNEJ

### PREZYDIUM CKNE

Przewodniczący W. Smoluchowski. Członkowie: T. Czaplicki, Z. Gogolewski, St. Konczykowski, St. Kuhn, J. Płaskowski, Cz. Rajski, J. Skowroński, B. Witwiński.

### KOMISJA REDAKCYJNA CKNE

Przewodniczący St. Konczykowski. Członkowie: E. Kobosko, T. Monkiewicz, J. Obrąpalski, J. Switkowski, J. Szczekowski, H. Tarnawski.

### I KOMISJA ZNAKOWNICTWA

Przewodniczący W. Kotowski. Członkowie: K. Drewnowski, B. Dubicki, S. Fryze, W. Hryszkiewicz, J. L. Jakubowski, M. Kędzierski, B. Konorski, K. Kopecki, W. Majewski, W. Pogorzelski, Cz. Wachtl, B. Wdowiak, K. Zarankiewicz, K. Zórąwski.

### II KOMISJA MASZYN ELEKTRYCZNYCH

Przewodniczący Z. Gogolewski. Członkowie: J. Chodziński, Cz. Dąbrowski, B. Dubicki, W. Fischer, Z. Hasterman, K. Idaszewski, W. Jaroszyński, E. Jezierski, F. Knapik, Z. Koczyński, H. Kozłowski, Z. Kratochwil, J. Manitus, St. Marchwicki, K. Morsztyn, M. Nacholiński, L. Nehrebecki, W. Pełczewski, A. Reutt, T. Sacharuk, K. Szczepański, E. Turowski, H. Urbanowicz, K. Zórąwski.

### III KOMISJA PRZEPISÓW BUDOWY I RUCHU

Przewodniczący M. Nacholiński. Członkowie: B. Hac, St. Kędzierski, E. Kobosko, St. Konczykowski, St. Roguski.

### IV KOMISJA KABLI I PRZEWODÓW

Przewodniczący St. Bładowski. Członkowie: A. Bibiło, P. Buzek, Z. Geschwind, E. Jabłoński, S. Jankowski, W. Kiełbik, K. Kolbiński, R. Kolański, E. Matula, H. Pomirski, T. Sacharuk, J. Skowroński, Z. Szpigler, K. Szulc, L. Walewski, F. Włodek, J. Wójcikiewicz.

### V KOMISJA MATERIAŁÓW IZOLACYJNYCH

Przewodniczący J. Skowroński. Członkowie: St. Bładowski, Z. Geschwind, O. Geschwindówna, J. Gryff-Chamski, A. Iwanowski, E. Jabłoński, K. Kolbiński, T. Schwartz, T. Stępniewski.

### VI KOMISJA ZARÓWEK

Przewodniczący L. Berson. Członkowie: A. Arendt, K. Cianciara, C. Litwiński, K. Majkowski, J. Switkowski, B. Zabłocki.

### VII KOMISJA MATERIAŁÓW INSTALACYJNYCH

Przewodniczący vacat. Członkowie: St. Górski, T. Kłossowski, K. Kemula, H. Marciniak, J. Matecki, W. Steuermark, J. Switkowski, W. Żemajtis, W. Żmigrodzki.

### VIII KOMISJA IZOLATORÓW, NAPIĘC I PRĄDÓW

Przewodniczący T. Stępniewski. Członkowie: S. Bogusławski, W. Czarnecki, W. Lidmanowski, St. Moszczyński, J. Skowroński.

### IX KOMISJA TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ

Przewodniczący R. Podoski. Członkowie: W. Danielewicz, B. Dubicki, J. Dzikowski, Z. Figurzyński, A. Jabłoński, J. Kozakiewicz, Z. Lilpop, St. Plewako, J. Podoski.

### XI KOMISJA LINII NAWIETRZNYCH

Przewodniczący H. Tarnawski. Członkowie: E. Domański, M. Flisak, J. Gniewiewski, I. Gościcki, E. Jabłonna, E. Jezierski, Z. Jung, K. Kopecki, A. Krysztopik, St. Kozłowski, M. Mackiewicz, J. Miller, T. Monkiewicz, St. Moszczyński, Z. Osiński, J. Piasecki, K. Przanowski, H. Ryżko, J. Sajko, J. Szymkowiak, M. Switalski, Z. Wierzbowski, J. Wilkiewicz, J. Wójcikiewicz.

### XII KOMISJA RADIOTECHNICZNA

Przewodniczący S. Manczarski. Członkowie: K. Bańkowski, Z. Bartz, A. Czechowski, M. Flisak, W. Gawroński, L. Goldfeld, M. Hütner, R. Janulis, H. Kalita, H. Kleinman, St. Kielan, A. Kiliński, Cz. Klimczewski, W. Kowalski, L. Knoch, K. Markowski, B. Paszkowski, J. Plebański, W. Rabęcki, W. Rotkiewicz, St. Ryżko, J. Ziółkowski.

### XIII KOMISJA ELEKTRYCZNYCH PRZYRZĄDÓW

Przewodniczący B. Jabłoński. Członkowie: St. Domoślawski, K. Drewnowski, H. Dziewulski, H. Nowicki, Statkiewicz, W. Starczakow, St. Szpor, A. Sulzice, E. Zochowski.

### XIV KOMISJA PRZYRZĄDÓW GRZEJNYCH

Przewodniczący T. Schwartz. Członkowie: F. Ciborowski, J. Cieśliewicz, E. Gwarek, O. Klose, T. Oleszyński, Z. Pawłowski, B. Sochor, B. Wdowiak.

### XV KOMISJA TELETECHNICZNA

Przewodniczący St. Kuhn. Członkowie: W. Adaszewski, A. Bibiło, J. Fabijański, W. Fijałkowski, F. Błocki, K. Golczewski, R. Grohman, St. Ignatowicz, E. Jachimski, B. Jakubowski, P. Jaroś, K. Kłys, W. Kocharński, J. Koczkowski, K. Konwerski, W. Kozakiewicz, R. Łaszczynski, W. Majewski, P. Mosiewicz, J. Mroczek, W. Niepokojew, A. Popowicz, J. Probiez, A. Rotzaj, J. Ruciński, L. Sadowski, J. Staniewicz, B. Świderski, E. Szacki, J. Szczekowski, Z. Szpigler, W. Trembiński, St. Zaworski.

### XVI KOMISJA AKUMULATORÓW

Przewodniczący K. Kwiatkowski. Członkowie: G. Hornziel, B. Jakubowski, W. Kemula, R. Kubrakiewicz, J. Switkowski, K. Szulc.

### XVII KOMISJA PRZYRZĄDÓW WYSOKIEGO NAPIĘCIA

Przewodniczący St. Szpor. Członkowie: Cz. Bartkiewicz, W. Czarnecki, St. Dzierzbicki, Z. Hasterman, K. Herniczek, Koszade, J. Lesiowski, W. Pawłowski, H. Pypec, R. Skarżyński, A. Smolański, W. Walloni, J. Zydanowicz.

XVIII KOMISJA URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH NA OKRĘTACH  
(w stadium organizacji)

### XIX KOMISJA PRZEPISÓW I ZAKŁÓCEN SIECIOWYCH

Przewodniczący B. Witwiński. Członkowie: P. Buzek, C. Centkiewicz, J. Chodziński, Glazer, J. Gniewiewski, F. Kowalski, S. Luberański, H. Ryżko, J. Srebrzyński, St. Szpor, M. Szremowicz, F. Szymik, H. Tarnawski.

### XX KOMISJA O. P. L. G.

(zawieszona)

### XXI KOMISJA URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH NA SAMOCHODACH (w stadium organizacji)

### XXII KOMISJA BEZPIECZEŃSTWA PRACY

Przewodniczący St. Bładowski. Członkowie: B. Hac, St. Kędzierski, K. Mauberg, T. Monkiewicz, M. Nacholiński, W. Obtułowicz, St. Roguski, A. Smolański, B. Tittenbrun, T. Zarański.

### XXIII KOMISJA LINII PODZIEMNYCH

Przewodniczący B. Hac. Członkowie: T. Monkiewicz, E. Okrasa, W. Szewell.

### XXIV KOMISJA URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH NA SAMOLOTACH (w stadium organizacji)

### XXV KOMISJA URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH W KOPALNIACH NAFTY (w stadium organizacji)

XXVI KOMISJA URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH W KINACH  
Przewodniczący A. Smolański. Członkowie: E. Bartnik, T. Kłosowski, F. Kowalski, Leinberg, E. Machura, St. Serejko.

### XXVII KOMISJA URZĄDZEŃ ELEKTROMEDYCZNYCH

Przewodniczący C. Pawłowski. Członkowie: J. Ciembrowicz, J. Dobrski, J. Domanus, S. Kiesewetter, L. Knoch, A. Kruze, St. Nowosielski, J. Poppe, K. Rowiński, J. Rutkowski, H. Ryżko, A. Soszka, W. Starczakow, P. Szarejko, K. Szpotański, W. Zawadowski.

### XXVIII KOMISJA OSWIEPLENIOWA

Przewodniczący T. Czaplicki. Członkowie: W. Felhorski, H. Marciniak, T. Oleszyński.

### XXIX KOMISJA ENERGETYCZNYCH INSTRUKCJI EKSPLOATACYJNYCH

Przewodniczący A. Stawiński. Członkowie: St. Andrzejewski, B. Bartoszek, L. Biały, St. Bładowski, J. Brochocki, Cz. Centkiewicz, E. Cleptowski, J. Chodziński, Cz. Dąbrowski, E. Domański, J. Drobot, St. Dzierzbicki, W. Fischer, J. Gryff-Chamski, Z. Hałka, Z. Hasterman, A. Hejdukiewicz, W. Hellmann, B. Jabłoński, B. Kartoszyński, J. Kinasiewicz, R. Kizler, P. Kizewski, W. Koszaradzki, T. Krygiel, Lassota, C. Litwiński, J. Łazarowicz, W. Łysakowski, St. Michałowski, J. Michejda, A. Myślicki, T. Monkiewicz, M. Nacholiński, J. Napiórkowski, E. Niwiński, J. Obrąpalski, J. Płaskowski, E. Proppe, K. Przanowski, J. Raszewski, E. Romer, Z. Sarnowski, S. Seidel, C. Skopeć, T. Stasiak, M. Szremowicz, H. Szuszkiewicz, Z. Tarłowski, B. Tittenbrun, Weber, Z. Wojtaszek, St. Woyde, St. Woyna, J. Zakrzewski, J. Zydanowicz.

## S. E. P. KOMUNIKATY

1. **Zmiana nazwy Komisji.** Zarząd Główny w dn. 1. 3. 48 r. uchwalił zmienić dotychczasową nazwę Komisji Zwalczania Wypadków Porażenia Prądem Elektrycznym — na Komitet Bezpieczeństwa Pracy.

2. **Komisja Redakcyjna CKNE** w składzie St. Konczykowski (przewodn.), T. Monkiewicz, J. Szczekowski, J. Switkowski i H. Tarnawski na posiedzeniach w dniach 3, 17 i 24 kwietnia r. b. rozpatrzyła i przyjęła następujące projekty: 1) przepisy PNE/37 „Silniki trakcyjne prądu stałego” (projekt I), 2) przepisy PNE/5 „Elektroenergetyczne przewody miedziane” (projekt III), 3) przepisy PNE/6 „Elektroenergetyczne kable miedziane i aluminiowe” (projekt III), 4) przepisy PNE/103 „Elektroenergetyczne przewody gołe aluminiowe i stalo-aluminiowe” (projekt III), 5) przepisy PNE/106 „Elektroenergetyczne przewody aluminiowe (projekt I).

3. **Akcja odczytowa.** Na mocy uchwały Zarządu Głównego z dnia 3. 2. 48 r. zorganizowanie akcji odczytowej w Oddziałach SEP zostało powierzone kol. Z. Jungowi.

4. **Polski Komitet Oświetleniowy.** Zarząd Główny powołał w dniu 1. 3. 48 r. kol. T. Czaplickiego na przewodniczącego Polskiego Komitetu Oświetleniowego.

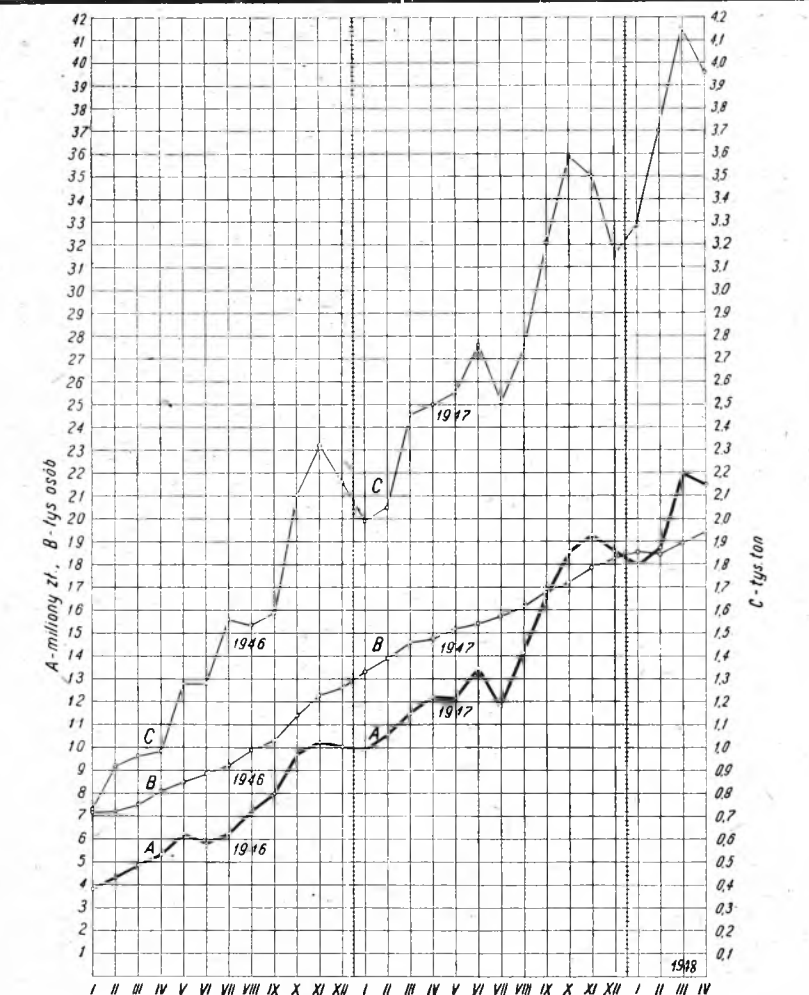
5. **Zmiana adresu Zarządu Głównego SEP.** Z powodu zmiany numeracji domów adres Zarządu Głównego SEP w dotychczasowej siedzibie brzmi: Warszawa, Al. Stalina 27.

6. **Nowe adresy Zarządów Oddziałów.** Oddział Dzierżonowski — Dzierżonów, P. W. L. R., Roli-Zymierskiego 38; Oddział Pomorski — Bydgoszcz, Warmińskiego 8; Oddział Szczeciński — Szczecin, ul. Sikorskiego W. S. I., Dziekanat Wydziału Elektrycznego; Oddział Łódzki — Łódź, Piotrkowska 102.

CENTRALNY ZARZĄD PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO  
**STATYSTYKA PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO**

Kwiecień 1948 r. i porównanie 4 miesięcy 1947 i 1948 r.

Zjednoczenie Przemysłu	Liczba zakładów prod.	Liczba zatrudnionych						Produkcja		
		przy produkcji			przy odbud., inwest., inn. nieproduk.	uczniów	ogółem	waga w t	wartość produkcji w tys. zł wg cen	
		fi-zyczn.	umysł.	razem					1937 r.	1948 r.
<b>K w i e c i e ń</b>										
Maszyn Elektrycznych	14	3 568	800	4 368	1 377	746	6 491	481,2	3 621	224 160
Aparatów Elektrycznych	15	4 335	1 223	5 558	693	379	6 630	369,6	3 427	215 601
Kabli i Przewodów	6	3 604	654	4 258	404	137	4 799	2 183,4	7 244	354 584
Ogni i Akumulatorów	8	1 205	231	1 436	152	29	1 617	762,9	1 964	88 718
Lamp Elektrycznych	3	1 024	205	1 229	166	—	1 395	41,5	2 586	76 188
Teletechnicznego	6	947	307	1 254	112	83	1 449	63,4	1 050	47 289
Radiotechnicznego	6	974	344	1 318	233	22	1 573	59,5	1 565	103 943
<b>Razem</b>	<b>58</b>	<b>15 657</b>	<b>3 764</b>	<b>19 421</b>	<b>3 137</b>	<b>1 395</b>	<b>23 954</b>	<b>3 961,5</b>	<b>21 457</b>	<b>1 110 483</b>
<b>Okres styczeń — kwiecień 1948 r.</b>										
średnia miesięczna liczba										
Maszyn Elektrycznych	14	3 380	764	4 144	916	740	5 800	1 757,8	12 551	785 695
Aparatów Elektrycznych	15	4 197	1 189	5 386	645	383	6 414	1 355,5	12 038	741 897
Kabli i Przewodów	6	3 533	637	4 170	430	135	4 735	8 404,2	28 238	1 408 539
Ogni i Akumulatorów	9	1 218	232	1 450	152	30	1 632	3 107,1	8 423	375 869
Lamp Elektrycznych	3	986	189	1 175	147	—	1 322	158,9	9 887	288 178
Teletechnicznego	6	890	293	1 183	117	87	1 387	97,2	3 150	144 849
Radiotechnicznego	6	976	339	1 315	225	22	1 562	209,5	5 435	370 611
<b>Razem</b>	<b>60</b>	<b>15 278</b>	<b>3 668</b>	<b>18 946</b>	<b>3 043</b>	<b>1 416</b>	<b>23 405</b>	<b>15 097,5</b>	<b>79 935</b>	<b>4 126 998</b>
Procentowy wzrost w okresie styczeń-kwiec. 1948 r. w stosunku do okresu styczeń-kwiec. 1947 r.										
średniej miesięcznej liczby										
Maszyn Elektrycznych	—13%	30%	1%	23%	255%	15%	36%	108%	87%	172%
Aparatów Elektrycznych	—12,,	53,,	28,,	47,,	45,,	—3,,	42,,	105,,	88,,	152,,
Kabli i Przewodów	—15,,	30,,	9,,	26,,	11,,	9,,	24,,	41,,	50,,	108,,
Ogni i Akumulatorów	—19,,	0,,	—16,,	—3,,	111,,	76,,	3,,	126,,	85,,	143,,
Lamp Elektrycznych	50,,	47,,	62,,	50,,	1236,,	—,,	66,,	103,,	127,,	178,,
Teletechnicznego	20,,	111,,	38,,	86,,	125,,	85,,	88,,	67,,	70,,	120,,
Radiotechnicznego	—25,,	30,,	—4,,	19,,	61,,	22,,	23,,	176,,	263,,	457,,
<b>Razem</b>	<b>—10%</b>	<b>37%</b>	<b>14%</b>	<b>32,,</b>	<b>123%</b>	<b>13%</b>	<b>38%</b>	<b>67%</b>	<b>81%</b>	<b>150%</b>



Uwaga 1. Wykresy powyższe oznaczają łącznie dla wszystkich przemysłów: A — wartość produkcji w mln. zł według cen z 1937 r.; B — liczbę zatrudnionych tylko przy produkcji; C — wagę produkcji w tys. ton. — Uwaga 2. Podane w tablicy wagi żarówek obejmują następujące ilości: kwiecień 1384 tys. sztuk, okres styczeń—kwiecień 5186 tys. sztuk. — Uwaga 3. Produkcja pierwszych czterech miesięcy 1948 r. wyniosła w stosunku do zamierzeń CZPE na cały 1948 r. (PE, 1948, z. 3, str. 49) pod względem wagi 34,3%, pod względem wartości według cen 1937 r. 32,2%.

## Nadesłane wydawnictwa

**Pożaryski Mieczysław, prof. Politechniki Warszawskiej, przy współudziale prof. Witolda Kotowskiego. Monter Elektryk.** Zbiór wiadomości praktycznych o budowie i działaniu oraz montażu i obsłudze urządzeń elektrycznych prądu silnego. Wydanie trzecie poprawione i uzupełnione. 176 rys., 355 str. form. 12 × 16,5. Warszawa, 1947. Nowa Księgarnia techniczna Romuald Rejchenbach. Spis rzeczy: Wiadomości wstępne. Silniki napędowe w elektrowniach. Maszyny elektryczne. Prądnice. Akumulatory. Oświetlenie. Grzejniki. Sieć urządzenia elektryczne. Przewody w urządzeniach elektrycznych. Przyrządy pomiarowe. Łączniki. Bezpieczniki. Ochrona od przepięć i napięć. Tablice rozdzielcze i rozdzielnie w elektrowniach i podstacjach. Uziemienia. Izolacja urządzeń elektrycznych. Pomiary. Porażenie prądem. Wiadomości pomocnicze. Tabele.

**Inż. Temerson Leopold. Elektrotechnik.** Przystępny zarys wiadomości z dziedziny elektrotechniki prądów silnych. Z przedmową inż. Wł. Kotelewskiego. 221 rys., XII + 287 str., form. 17 × 24. Spółdzielnia wydawnicza „Czytelnik”. 1947. Z serii „Wzorowy zawodowiec”. Spis rzeczy: Część I. Postawy elektrotechniki: Istota elektryczności. Prąd stały. Prąd zmienny. Część II. Maszyny elektryczne: Maszyny prądu stałego. Maszyny prądu zmiennego. Transformatory. Przetwarzanie prądu. Część III. Urządzenia elektryczne prądu silnego: Znaczenie przepisów budowy urządzeń elektrycznych. Przewody elektryczne. Przyrządy rozdzielcze i zabezpieczające. Oświetlenie i ogrzewanie elektryczne. Zasady projektowania instalacji elektrycznych, Bezpieczeństwo urządzeń elektrycznych. Część IV. Miernictwo elektryczne: Przyrządy do mierzenia prądu, napięcia i mocy. Liczniki energii elektrycznej. Transformator miernikowe.

**Kijas M. dr, zast. prof. Politechniki Śląskiej. Ustawodawstwo przemysłowe i robotnicze.** Gliwice, 1947. Nakładem Komisji Wydawniczej Bratniej Pomocy Studentów Politech-

niki Śląskiej (skrypty powielane z maszynopisu). 97 str. form. A<sub>4</sub>. Spis rzeczy: Wstęp. Związki Zawodowe. Umowa o pracę. Rady zakładowe. Inspekcja pracy. Komisja rozjemcza. Urzędy zatrudnienia. Rada ochrony pracy. Sądy pracy. Ubezpieczenia społeczne. Prawo przemysłowe: a) przegląd uprawnień przemysłowych, b) przemysł ze stałą siedzibą, c) przemysł okrężny, targi gminne, e) zrzeszenia przemysłowe, f) uczniowie przemysłowi, g) kary za naruszenie ustawy przemysłowej, h) władze przemysłowe, i) rzemiosło.

**Wall T. F. Principles of Electrical Engineering.** A comprehensive work covering the principles of heavy-current and light-current engineering practice. With 532 illustrations. London. George Newnes Limited, 1947. Contents: I. Fundamental units. Technical units. — II. Structure of the atom. Conductors and insulators. The electric current. Electric resistance. III. Coulomb's law. Fields of electric force. Potential. — IV. Capacitance. Dielectric constant. Energy of the electric field. — V. Current distributors and networks. Wheatstone bridge. — VI. Thermo-electricity. Piezo-electricity. — VII. Magnetism. Magnetic materials. Magnetic testing. — VIII. Electro-magnetism. — IX. Alternating currents. The use of complex quantities. — X. Oscillating systems. — XI. Alternating current power. — XII. Some graphical methods. — XIII. Non-sinusoidal wave forms. Harmonic analysis. Effect of wave form on electrical measurements. — XIV. The penetration of alternating magnetic flux and alternating current (skin-effect). — XV. Propagation of electric energy along transmission lines and cables. — XVI. The propagation of electromagnetic waves through space. — Appendixes. — Index. (XII + 564 str., 15,5 × 23 cm, cena 40 szyl.).

**Teago F. J. The Commutator Motor.** With 31 diagrams. Second edition. London. Methuen & Co. Ltd. 1946. Methuen's Monographs on Physical Subjects (80 str., format 10 × 17 cm, cena 4 s. 6 d.).

# NORMALIZACJA ELEKTROTECHNICZNA

## Elektroenergetyczne przewody aluminiowe

Objaśnienia do projektu I przepisów PNE/106\*)

W związku ze stosowaniem coraz powszechniej aluminium do budowy przewodów prądu silnego IV Komisja Przewodów i Kabli w składzie: St. Bładowski (przew. i referent), Z. Geschwind, E. Jabłoński, K. Kolbiński, E. Matula, J. Skowroński, E. Wałęwski, F. Włodek opracowała projekt przepisów na przewody w odzieży włóknistej i przewody izolowane z żyłami aluminiowymi do układania na stałe.

Pod względem budowy przewody te, z wyjątkiem samej żyły metalowej, niczym nie różnią się od analogicznych typów przewodów z żyłami miedzianymi (PNE/5 Elektroenergetyczne przewody miedziane). Własności powłok izolujących i ochronnych, jak również sposoby i rodzaj prób, z wyjątkiem próby zginania przewodów mają być dla przewodów aluminiowych takie same jak dla przewodów miedzianych. Projekt nie przewiduje próby zginania przewodów aluminiowych, gdyż przewody z żyłą aluminiową są zawsze dostatecznie giętkie.

Najmniejszy przekrój przewodów aluminiowych wynosi 2,5 mm<sup>2</sup> ze względu na naprężenia mechaniczne, które mogą występować przy układaniu przewodów np. przy wciąganiu ich do rurek.

Żyły mają być wykonane z aluminium przewodowego o zawartości co najmniej 99,5% czystego aluminium. Przewodność właściwa drutów aluminiowych ma wynosić co najmniej 34,5 m/Ω·mm<sup>2</sup>, linek zaś (ze względu na skręt drutów w lince) co najmniej 33 m/Ω·mm<sup>2</sup>. Wytrzymałość doraźna na zerwanie aluminium ma wynosić od

13 do 17 kg/mm<sup>2</sup>, wydłużenie zaś przy zerwaniu długości pomiarowej 100 mm — co najmniej 2,5%.

Przewody z żyłami aluminiowymi w celu odróżnienia ich od analogicznie zbudowanych przewodów miedzianych oznacza się literą A na pierwszym miejscu symbolu literowego, np. przewód ogumowany z żyłą miedzianą oznaczony jest DG (drut), LG (linka), taki zaś sam przewód z żyłą aluminiową — ADG (drut), ALG (linka) itd.

Projekt przewiduje wykonywanie następujących typów przewodów z żyłami aluminiowymi:

1. Przewód w odzieży włóknistej odporny na wpływy atmosferyczne:

ADPa—drut o przekrojach od 2,5 do 16 mm<sup>2</sup>,  
ALPa—linka o przekrojach od 16 do 300 mm<sup>2</sup>.

2. Przewód ogumowany na napięcie znamionowe 750 V:  
ADG—drut o przekrojach od 2,5 do 16 mm<sup>2</sup>,  
ALG—linka o przekrojach od 16 do 300 mm<sup>2</sup>.

3. Przewód ogumowany w odzieży odpornej na wpływy atmosferyczne na napięcie znamionowe 750 V:  
ADGa—drut o przekrojach od 2,5 do 16 mm<sup>2</sup>,  
ALGa—linka o przekrojach od 16 do 300 mm<sup>2</sup>.

4. Przewód aluminiowy ogumowany do wysokich napięć na napięcia znamionowe 1, 3, 6, 10 kV:  
ADGw—drut o przekrojach od 2,5 do 16 mm<sup>2</sup>,  
ALGw—linka o przekrojach od 16 do 300 mm<sup>2</sup>.

Napięcie znamionowe tych przewodów oznacza się przez dodanie po ostatniej literze liczby podającej wysokość napięcia znamionowego.

5. Przewód aluminiowy płaszczowy na napięcie znamionowe 250 V, w płaszczu metalowym z blachy stalowej lub cynkowej:

AP—dwu-, trzy- i czterożyłowy o przekrojach żyły 2,5 do 6 mm<sup>2</sup>.

\*) Tekst projektu I nie podlega ogłoszeniu w PE w całości. W celu umożliwienia zainteresowanym zapoznania się z projektem rozesłano go z prośbą o uwagi do wszystkich oddziałów SEP-u, do Ministerstwa Komunikacji, do wszystkich centralnych zarządów Ministerstwa Przemysłu i Handlu i wszystkich zjednoczeń energetycznych, do Zjednoczenia przemysłu kablowego i fabryk kabli w Krakowie, Bydgoszczy i Ożarowie.

Termin nadsyłania uwag pod adresem Stowarzyszenia Elektryków Polskich (Warszawa, Al. Stalina 27) upływa 15 sierpnia 1948 r.

Uwagi do niniejszego projektu nowelizacji PNE/37-1934 należy nadsyłać pod adresem Stowarzyszenia Elektryków Polskich (Warszawa, Al. Stalina 27) w terminie do dnia 15 sierpnia 1948 r.

Projekt nowelizacji opracowała IX Komisja Trakcji Elektrycznej SEP w składzie: W. Danielewicz, B. Dubicki, J. Dzikowski, Z. Figurzyński, Z. Grabiński, A. Jabłoński, J. Kozakiewicz, T. Kozłowski, Z. Lilpop, K. Mech, W. Moroński, S. Plewako, J. Podoski, R. Podoski (przewodniczący), L. Zienkowski.

### Projekt I

## POLSKIE NORMY ELEKTROTECHNICZNE

PNE

37 — 1948

# SILNIKI TRAKCYJNE PRĄDU STAŁEGO <sup>1)</sup>

### 1. WSTĘP

**1. 1. Przedmiot i zakres stosowania.** Przepisy niniejsze dotyczą silników trakcyjnych szeregowych prądu stałego do tramwajów, kolei, trolejbusów i elektrobusów, z wyjątkiem silników do lokomotyw kopalnianych oraz silników o mocy jednogodzinnej (1. 2. 4.) mniejszej od 15 kW i przy założeniu, że silniki przeznaczone są do pracy na wysokości nie przekraczającej 1200 m ponad poziomem morza i w temperaturze nie przekraczającej 40° C w cieniu.

#### 1. 2. OKREŚLENIA <sup>2)</sup>.

**1. 2. 1. Silnik trakcyjny** jest to silnik elektryczny przeznaczony do napędu lokomotywy lub pojazdu silnikowego.

**1. 2. 2. Praca trakcyjna** jest to praca praktycznie uwarunkowana rozkładem jazdy określonych pociągów na określonych odcinkach.

Ponieważ przy pracy trakcyjnej moc trakcyjna ulega częstym wahaniom, a odtworzenie tej pracy przy biegu próbnym jest trudne do wykonania, przeto jako podstawę do oceny i porównania silników przyjmuje się pracę znamionową — ciągłą (C) i dorywczą (D).

**1. 2. 3. Praca znamionowa dorywcza silnika trakcyjnego** jest to praca 60-minutowa (jednogodzinna).

**1. 2. 4. Moc silnika trakcyjnego** jest to moc silnika mierzona na jego wale i wyrażona w kW. Jeżeli nie ma specjalnego omówienia, przez moc silnika trakcyjnego należy rozumieć moc przy pracy 60-minutowej (moc 60-minutowa).

Przekładni zębatej służącej do przenoszenia pracy silnika na oś pędna wozu nie uważa się za część składową silnika nawet wtedy, gdy łożyska tej przekładni stanowią konstrukcyjną całość z silnikiem.

**1. 2. 5. Silnik o charakterystyce szeregowej** (silnik szeregowy) jest to silnik, w którym liczba obrotów zmienia się znacznie ze zmianą obciążenia.

<sup>1)</sup> Wszelkie prawa przedruku zastrzeżone przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich.

<sup>2)</sup> Określenia pojęć ob. również w PNE 23 „Maszyny elektryczne“.

zenia. W silniku tym uzwojenie wzbudzające jest połączone szeregowo z uzwojeniem wirnika.

**1. 2. 6. Silnik o charakterystyce bocznikowej** (silnik bocznikowy) jest to silnik, w którym liczba obrotów zmienia się nieznacznie ze zmianą obciążenia. W silniku tym uzwojenie wzbudzające połączone jest równoległe z uzwojeniem wirnika.

**1. 2. 7. Silnik o charakterystyce szeregowo-bocznikowej** (silnik szeregowo-bocznikowy) jest to silnik, w którym zmiana liczby obrotów ze zmianą obciążenia zależy od stosunku amperozwojów szeregowych do amperozwojów bocznikowych uzwojeń wzbudzających oraz od sposobu połączenia tych uzwojeń.

**1. 2. 8. Silnik o regulowanej liczbie obrotów** jest to silnik, w którym liczba obrotów może być zmieniana w sposób wymuszony np. przez osłabienie wzbudzenia.

W silnikach szeregowych wzbudzenie osłabia się przez zbocznikowanie uzwojenia szeregowego lub przez zastosowanie w tym uzwojeniu zaczepów, w silnikach zaś szeregowo-bocznikowych — przez włączenie w szereg z uzwojeniem bocznikowym oporów, przez zastosowanie w tym uzwojeniu zaczepów itp. Osłabienie wzbudzenia określa się przez: a) stosunek prądów w uzwojeniu wzbudzającym przy regulacji zmianą prądu wzbudzenia, b) stosunek zwojów uzwojenia wzbudzającego przy regulacji zaczepami.

**1. 2. 9. Wzbudzenie znamionowe** jest to wzbudzenie prądem, przy którym liczba obrotów i moc silnika odpowiadają ich wartościom znamionowym.

**1. 2. 10. Przyrost temperatury** jest to różnica temperatury danej części silnika i temperatury powietrza chłodzącego w przypadku pracy ciągłej oraz różnica temperatur danej części silnika na końcu i na początku pracy w przypadku pracy dorywczej.

**1. 2. 11. Charakterystyka zadeklarowana** jest to charakterystyka (silnika lub pojazdu) przedstawiona przez dostawcę przy ofercie.

**1. 2. 12. Charakterystyka typowa** jest to charakterystyka danego typu silnika sporządzona na podstawie pomiarów.

**1. 2. 13. Charakterystyka odbiorcza** jest to charakterystyka (silnika lub pojazdu) sporządzona na podstawie pomiarów przy próbach odbiorczych.

**1. 3. Budowa silników.** Silniki trakcyjne pod względem ochrony mechanicznej i przewietrzania budowane są według typów podanych w PNE/23.

**1. 4. Przepisy związane.** PNE/23 „Maszyny Elektryczne“.

### 2. WYMAGANIA TECHNICZNE

**2. 1. Normalne napięcia znamionowe sieci trakcyjnej** oraz dopuszczalny zakres wahań napięcia roboczego sieci są podane w tablicy 2—1.

**2. 2. Napięcie znamionowe silnika** zasilanego pojedynczo z sieci równa się napięciu znamionowemu sieci, a silnika pracującego stale w szeregu  $n$  silników — napięciu znamionowemu sieci podzielonemu przez  $n$ .

**2. 3. Materiały izolacyjne.** Do budowy silników trakcyjnych stosowane są materiały izolacyjne podane w PNE/23 „Maszyny Elektryczne“.

**2. 4. Dopuszczalne przyrosty temperatur** w maszynach izolowanych materiałami rodzaju A i rodzaju B podane są w tablicy 2—2 w założeniu temperatury otoczenia 25° C i w tablicy 2—3 w założeniu temperatury

T A B L I C A 2—1

Normalne napięcia znamionowe i dopuszczalne wahania napięcia roboczego sieci trakcyjnej w woltach

Napięcia znamionowe sieci <sup>1)</sup>	Napięcia robocze	
	minimum	maksimum
(600)	(400)	(720)
750	500	900
(1200)	(900)	(1440)
1500	1000	1800
(2400)	(1600)	(2800)
3000	2000	3600

<sup>1)</sup> Zaleca się, aby sieci trakcyjne były wykonywane w przyszłości na napięcia znamionowe 750, 1500, 3000 V.

T A B L I C A 2—2

Dopuszczalne przyrosty temperatur w °C przy temperaturze otoczenia 25°C

Część silnika		Praca ciągła		Praca dorywcza (jednogodzinna)	
		Sposób oporowy	Sposób termometrykowy	Sposób oporowy	Sposób termometrykowy
Uzwojenia	izolacja rodzaju A	85	65	100	75
	izolacja rodzaju B	105	85	120	95
Komutator		—	85	—	90
Łożyska	ślizgowe	—	55	—	55
	kulkowe i rolkowe	—	—	—	—

Uwagi. 1) Przyrosty temperatur uzwojeń mierzone sposobem termometrykowym mają charakter tylko orientacyjny.  
2) Przyrosty temperatur łożysk mają charakter prowizoryczny do czasu opracowania sposobów pomiaru i norm dopuszczalnego nagrzania.

otoczenia 40° C. Dla materiałów rodzaju O i C dopuszczalne przyrosty temperatur nie są jeszcze ustalone.

**2. 5. Wytrzymałość mechaniczna.** Silnik powinien być tak zbudowany, aby wytrzymywał bez szkodliwych odkształceń w ciągu 2 minut zwykłą liczbę obrotów o 25%, a w przypadku, gdy silniki mają normalnie pracować po 2 lub więcej w połączeniu szeregowym i napędzać osie niezależne (niesprężone) — o 35% w stosunku do liczby obrotów określonej jako maksymalna dla pracy trakcyjnej. W przypadkach, gdy maksymalna liczba obrotów przy pracy trakcyjnej nie może być ustalona, należy przyjąć jako maksymalną liczbę obrotów wartość podaną przez konstruktora.

Jeżeli silnik zaopatrzone jest w urządzenie zapobiegające samoczynnie rozbieganiu się, to powinien wytrzymywać bez odkształceń szkodliwych liczbę obrotów, na które nastawione jest urządzenie ochronne.

**2. 6. Komutacja.** Silnik powinien być tak zbudowany, aby przy próbach komutacji (4. 7.) nie wykazywał ognienia na komutatorze (ogień wokoło komutatora), ani żadnych trwałych uszkodzeń; jako uszkodzenie trwałe uważa się takie uszkodzenie, które przeszkadzałoby dalszej prawidłowej pracy silnika.

T A B L I C A 2—3

Dopuszczalne przyrosty temperatur w °C przy temperaturze otoczenia 40°C

Część silnika		Praca ciągła		Praca dorywcza (jednogodzinna)	
		Sposób oporowy	Sposób termometrykowy	Sposób oporowy	Sposób termometrykowy
Uzwojenia	izolacja rodzaju A	70	50	85	65
	izolacja rodzaju B	90	70	105	85
Komutator		—	70	—	85
Łożyska	ślizgowe	—	40	—	55
	kulkowe i rolkowe	—	—	—	—

Uwagi. 1) Przyrosty temperatur uzwojeń mierzone sposobem termometrykowym mają charakter tylko orientacyjny.  
2) Przyrosty temperatur łożysk mają charakter prowizoryczny do czasu opracowania sposobów pomiaru i norm dopuszczalnego nagrzania.

**2. 7. Wytrzymałość izolacji.** Izolacja uzwojeń silnika względem kadłuba (korpusu) powinna przy próbie wytrzymałości izolacji (4. 8.) wytrzymać w ciągu 1 min. przy temperaturze uzwojeń około 75° C bez przebicia i przeskoku napięcie probiercze równe podwójnej wartości napięcia sieci trakcyjnej plus 1500 V, co najmniej jednak 2500 V.

W przypadkach specjalnych za zgodą dostawcy napięcie probiercze może być podwyższone do czterokrotnej wartości napięcia znamionowego sieci trakcyjnej.

**2. 8. Sprawność** silnika nie powinna być mniejsza od gwarantowanej przez wytwórcę i sprawdza się ją w sposób podany w 4. 9.

Jeżeli nie jest podana moc, której dotyczy gwarantowana sprawność, to należy sprawność tę rozumieć przy mocy jednogodzinnej.

Strat w przekładni zębatej i w jej łożyskach nie zalicza się do strat silnika przy obliczaniu jego sprawności.

**2. 9. TOLERANCJE.**

**2. 9. 1. Charakterystyka odbiorcza.** Odchylenia liczby obrotów silnika nagrzanego (temperatura uzwojenia 75° C), w granicach 0,75 do 1,5 prądu jednogodzinnego w charakterystyce odbiorczej, od liczby obrotów poda-



nych w charakterystyce typowej nie mogą przekraczać przy całkowitym wzbudzeniu  $\pm 3\%$  liczby obrotów charakterystyki typowej, a przy wzbudzeniu najniższym  $\pm 4\%$ .

**2. 9. 2. Charakterystyka typowa** nowego typu silnika nie może w tych samych granicach prądu różnić się od charakterystyki zadeklarowanej więcej niż o  $\pm 4\%$  dla silników o mocy znamionowej powyżej 100 kW i o  $\pm 5\%$  dla silników o mocy znamionowej poniżej 100 kW.

**2. 9. 3. Sprawność i straty.** Dopuszczalne odstępstwa wartości sprawności i strat wyznaczonych w sposób podany w 4. 9. od wartości zadeklarowanych przez wytwórcę podane są w tablicy 2—4.

T A B L I C A 2—4  
Tolerancje sprawności i strat

Wielkość gwarantowana	Tolerancja
1. Sprawność	
a) wyznaczona bezpośrednio	0,15 (1- $r_1$ ), jednak co najmniej 0,007
b) wyznaczona pomiarem strat ogólnych	nieustalona
c) wyznaczona pomiarem strat poszczególnych	0,1 (1- $r_1$ ), jednak co najmniej 0,005
2. Straty przy mocy znamionowej	
a) ogólne	$\frac{1}{10}$ sumy strat
b) poszczególne	nie podlegają gwarancji

### 3. KRZYWE CHARAKTERYSTYCZNE

**3. 1. Uwagi ogólne.** Wytwórca obowiązany jest dostarczyć przy zamówieniu charakterystyki zadeklarowane (1. 2. 11.) danego typu silnika oraz na życzenie odbiorcy również pojazdu silnikowego. Przy dostawie silników wytwórca jest obowiązany dostarczyć charakterystyki typowe (1. 2. 12.).

Wartości odpowiadające pracy znamionowej jednogodzinnej powinny być oznaczone na wykresach specjalnym znakiem.

**3. 2. Krzywe charakterystyczne silnika.** Dla silnika sporządza się następujące charakterystyki:

- liczba obrotów na minutę,
- moc w kW,
- moment w mkg,
- sprawność w  $\%$ ,

wyznaczone w funkcji prądu jako odciętej, przy napięciu znamionowym oraz przy takich częściach tego napięcia, które odpowiadają łącznie w szeregu silników lub ich grup przy regulowaniu.

Dla silników przeznaczonych do pracy z osłabianiem pola należy poza tym sporządzić krzywą obrotów i krzywą momentów przy najniższym wzbudzeniu.

Na wykresach należy podać dane silnika według tabliczki znamionowej, opór silnika całkowity oraz opór uzwojenia biegunów głównych w stanie nagrzanym.

**3. 3. Krzywe charakterystyczne pojazdu silnikowego.** Dla pojazdu silnikowego sporządza się następujące charakterystyki:

- prędkość w km/h,
- moc w kW, na obwodzie kół pędnych<sup>1)</sup>,
- siła pociągowa w kg na obwodzie kół pędnych<sup>1)</sup>,
- sprawność silnika łącznie z przekładnią w  $\%$ <sup>1)</sup>,

wyznaczone w funkcji prądu jako odciętej przy napięciach znamionowych, przy których pracują silniki we wszystkich kombinacjach połączeń między sobą.

Dla silników przeznaczonych do pracy z osłabianiem pola należy poza tym sporządzić krzywą prędkości i krzywą siły pociągowej przy najniższym wzbudzeniu.

Na wykresach należy podać dane silnika wg tabliczki znamionowej, liczbę silników w wozie, sposób ich połączenia, liczbę zębów dużego i małego koła zębatego oraz średnice kół pędnych.

### 4. PRÓBY

**4. 1. Rodzaje prób.** Przy odbiorze rozróżnia się dwa rodzaje prób:

- próbę typu, którą należy przeprowadzić na 5 $\%$  liczby silników objętych dostawą, co najmniej jednak na 4 silnikach,
- próbę wyrobu, którą należy przeprowadzić na wszystkich dostarczonych silnikach.

**4. 2. Próba typu** polega na wykonaniu w podanej kolejności następujących prób:

- próba cieplna przy pracy ciąglej i dorywczej,
- próba wytrzymałości mechanicznej,
- próba komutacji,
- próba wytrzymałości izolacji,
- wyznaczenie sprawności,
- sprawdzenie charakterystyk.

**4. 3. Próba wyrobu** polega na wykonaniu w podanej kolejności następujących prób:

- próba cieplna przy pracy dorywczej,
- próba wytrzymałości mechanicznej,
- próba komutacji,
- próba wytrzymałości izolacji,
- sprawdzenie charakterystyki obrotów.

**4. 4. Ogólne warunki prób.** Silnik należy próbować, jeżeli jest to możliwe, w wytwórni, w której był zbudowany. Silnik powinien być gotowy do użytku, suchy i wdrożony (po dłuższym biegu).

Jeżeli pewne próby mają być dokonane po zmontowaniu silnika na wozie, powinno to być specjalnie przewidziane w umowie.

Silniki z przewietrzaniem mają być próbowane wraz z przyborami, przeznaczonymi do danego rodzaju chłodzenia. Wszelkie pokrywy, siatki, żaluzje itp. części należące do silnika i utrudniające przewietrzanie, nie mogą być zdejmowane podczas prób.

Przy próbie silników trakcyjnych nie wolno wytwarzać sztucznie ciągu powietrza, który powstaje zwykle podczas biegu pojazdu.

W braku specjalnych zastrzeżeń w umowie, przepisy i postanowienia niniejsze należy stosować do silnika w stanie nagrzanym tj. silnika,

<sup>1)</sup> Straty dla pojedynczej przekładni zębatej należy przyjmować według tablicy 4—3; jeżeli ma zastosowanie inny rodzaj przekładni, wartość strat, które należy przyjąć, powinna być ustalona przez odbiorcę.

który osiągnął w końcu pracy próbnej właściwy sobie przyrost temperatury.

Wyznaczone z pomiarów straty i sprawności należy przeliczyć na temperaturę 75° C.

Szczotki powinny być ustawione w położeniu odpowiadającym pracy znamionowej i położenie to w czasie próby nie powinno być zmieniane.

#### 4. 5. PRÓBA CIEPLNA.

**4. 5. 1. Warunki próby.** Próba powinna być dokonana zgodnie ze znamionami silnika lub też wyniki prób powinny być sprowadzone do warunków zgodnych ze znamionami.

Przed rozpoczęciem próby silnik powinien się znajdować przynajmniej w przeciągu 8—10 godzin w pomieszczeniu o możliwie stałej temperaturze. Należy sprawdzić przy pomocy pomiaru termometrycznego, czy temperatura uzwojeń silnika nie różni się więcej niż o 4° C od temperatury otoczenia. Silnik w takim stanie uważa się za zimny. Należy dokładać wszelkich starań, aby w czasie trwania próby utrzymać możliwie stałą temperaturę otoczenia. Gdyby temperatura powietrza przy stanku probierczym przekraczała 40° C, to w porozumieniu pomiędzy dostawcą a odbiorcą mogą być ustalone specjalne warunki dokonania prób.

**4. 5. 2. Próba przy pracy ciągłej.** Próbę można rozpocząć z silnikiem zimnym lub nagrzanym. Kończy się próbę, gdy temperatura przestanie wzrastać w sposób widoczny, przy czym przyjmuje się, że temperatura przestaje wzrastać w sposób widoczny, gdy przyrost temperatury nie przekracza 2° C na godzinę.

W praktyce, celem skrócenia czasu trwania próby, można w pierwszym okresie próby przeciążyć silnik, a następnie prowadzić próbę w warunkach zgodnych ze znamionami silnika.

Dla silników otwartych i półzamkniętych z chłodzeniem naturalnym, jak również dla wszystkich silników z przewietrzaniem własnym lub obcym, powinno być podczas próby utrzymane napięcie znamionowe.

Dla silników zamkniętych z chłodzeniem naturalnym próbę pracy ciągłej wykonywa się przy prądzie znamionowym i napięciu równym 75% lub 50% napięcia znamionowego zależnie od warunków zamówienia.

Uwaga. Napięcie 75% zaleca się przyjmować dla silników pracujących na liniach o rzadszych przystankach (jak np. koleje dojazdowe), napięcie zaś 50% dla linii o charakterze tramwajowym.

**4. 5. 3. Próba przy pracy dorywczej.** Próbę należy rozpocząć z maszyną zimną, a przerwać po upływie czasu oznaczonego na tabliczce znamionowej.

Próbie wykonywa się przy napięciu znamionowym (dla wszystkich silników).

Jeżeli silnik przewidziany jest do pracy z regulacją wzbudzenia, to próbę cieplną należy wykonać zarówno dla pracy ciągłej, jak i dorywczej, przy pełnym i najniższym wzbudzeniu. Moce dla osłabionego wzbudzenia powinien podać wytwórca.

**4. 5. 4. Pomiaru temperatury komutatorów, łożysk, żelaza itp.** dokonywa się sposobem termometrycznym (ob. PNE/23).

Pomiaru temperatury uzwojeń dokonywa się sposobem oporowym (ob. PNE/23).

Pomiar powinien być wykonany możliwie podczas trwania próby cieplnej lub, jeśli to jest niemożliwe, nie później niż w 1,5 minuty po przerwaniu obciążenia i przewietrzania. Pomiar ten należy powtórzyć przynajmniej 2 razy w przeciągu następnych 5 minut. Temperaturę w chwili przerwania obciążenia ustala się przez ekstrapolację tak otrzymanej krzywej chłodzenia.

W celu otrzymania dokładniejszych wyników przy pomiarze temperatury uzwojenia wirnika sposobem oporowym zaleca się mierzyć oporność na początku i na końcu próby między tymi samymi działkami komutatora, bezpośrednio na komutatorze przy szczotkach podniesionych. Prąd przy obu pomiarach powinien być doprowadzony do tej samej wartości, a spadek napięcia powinien być mierzony między tymi samymi działkami, do których doprowadzony jest prąd. Do doprowadzenia prądu i do mierzenia spadku napięcia powinny być użyte oddzielne styki.

Przy pomiarze oporności metodą techniczną (woltomierz i amperomierz) prąd nie powinien przekraczać  $\frac{1}{3}$  prądu znamionowego.

#### 4. 5. 5. POMIAR TEMPERATURY POWIETRZA CHŁODZĄCEGO.

**4. 5. 5. 1. Silniki z chłodzeniem naturalnym** (symbol a) oraz z przewietrzaniem własnym (symbol b). Temperaturę otaczającego powietrza należy mierzyć za pomocą kilku (co najmniej dwóch) termometrów, umieszczonych w różnych punktach naokoło silnika, na poziomie jego środka, w odległości 1 do 2 m od silnika. Termometry należy chronić od wszelkich wpływów ruchu powietrza i promieniowania pochodzącego od maszyny badanej, bądź z innych źródeł. Średnią wartość wskazań tych termometrów przyjmuje się jako miarodajny odczyt.

Temperaturę powietrza chłodzącego oblicza się jako wartość średnią odczytów dokonywanych w równych odstępach czasu ostatniej ćwiertci czasu trwania próby.

**4. 5. 5. 2. Silniki z przewietrzaniem obcym** (symbol c). Jako temperaturę powietrza chłodzącego przyjmuje się temperaturę powietrza doprowadzonego, mierzoną za pomocą jednego lub kilku termometrów umieszczonych w króćcu wlotowym. Przy zastosowaniu kilku termometrów za miarodajny odczyt przyjmuje się średnią wartość ich wskazań.

Temperaturę powietrza chłodzącego oblicza się jako wartość średnią odczytów dokonywanych w różnych odstępach czasu ostatniej ćwiertci czasu trwania próby.

**4. 6. Próbę wytrzymałości mechanicznej** wykonywa się bezpośrednio po próbie cieplnej silnika. Polega ona na uruchomieniu silnika na przeciąg 2 minut przy obrotach przewyższających maksymalną liczbę obrotów dla pracy trakcyjnej o wartości podane w 2. 5.

Wynik próby uważa się za dodatni, jeżeli silnik nie wykaże żadnych odkształceń szkodliwych i wytrzyma próbę komutacji (4. 7.) oraz próbę wytrzymałości izolacji (4. 8.).

**4. 7. Próbę komutacji** wykonywa się przy obu kierunkach obrotów z silnikiem nagrzanym. Czas trwania próby dla każdego kierunku obrotów wynosi 30 sekund. Wymagane rodzaje prób, napięcie, natężenie prądu oraz wzbudzenie przy próbie podane są w tablicy 4—1.

Silniki bez regulacji wzbudzenia podlegają próbom nr 1, 2 i 3, a jeżeli przeznaczone są do pracy stale po n w szereg bez mechanicznego sprzężenia, to próbom nr 7, 2 i 3.

Silniki z regulacją wzbudzenia podlegają próbom nr 4, 5 i 6, a jeżeli przeznaczone są do pracy stałe po  $n$  w szereg bez mechanicznego sprzężenia, to ponadto próbie nr 7.

Silniki przeznaczone do hamowania z odzyskiem energii, służącego do regulowania prędkości przy jeździe z góry, podlegają próbie nr 8.

Silniki przeznaczone do hamowania z odzyskiem energii, służącego do regulowania prędkości przy jeździe z góry oraz zwalniania biegu przed zatrzymaniem, podlegają:

próbie nr 9 — dla silników lokomotyw,

próbie nr 10 — dla silników pozostałych pojazdów.

Silniki przeznaczone do hamowania oporowego na kolejach, chronionych urządzeniami sygnalizacyjnymi, podlegają próbie nr 11, a na kolejach i tramwajach, których toru ułożone są na jezdni dróg i ulic, — próbie nr 12.

Wszystkie próby przy jednym kierunku obrotów mogą być wykonane bezpośrednio po sobie; jeżeli wytwórca tego wymaga, to przed rozpo-

T A B L I C A 4—1  
Warunki prób komutacji

Nr próby	Rodzaj silnika	Napięcie <sup>1)</sup>	Natężenie prądu <sup>2)</sup>	Wzbudzenie <sup>3)</sup>	Uwagi dotyczące największej liczby obrotów dopuszczalnej przy danej próbie	
1	a) Silnik bez regulacji wzbudzenia	$U$	$0,5 I$	Całkowite	Gdyby liczba obrotów przy $0,5 I$ przekroczyła liczbę obrotów określoną przez wymagania na wytrzymałość mechaniczną (2.5.), należy natężenie prądu odpowiednio zwiększyć.	
2		$1,25 U$	$I$			Gdyby liczba obrotów przy $1,25 U$ przekroczyła liczbę obrotów określoną przez wymagania na wytrzymałość mechaniczną (2.5.), należy napięcie odpowiednio zmniejszyć.
3		$U$	$2 I$			
4	b) Silnik z regulacją wzbudzenia	$U$	$0,5 I$	Najslabsze	Gdyby liczba obrotów przy $0,5 I$ przekroczyła liczbę obrotów określoną przez wymagania na wytrzymałość mechaniczną (2.5.), należy natężenie prądu odpowiednio zwiększyć.	
5		$1,25 U$	$I$			Gdyby liczba obrotów przy $1,25 U$ przekroczyła liczbę obrotów określoną przez wymagania na wytrzymałość mechaniczną (2.5.), należy napięcie odpowiednio zmniejszyć.
6		$U$	$2 I$			
7	c) Silnik przeznaczony do pracy stałe po $n$ w szereg bez sprzężenia mechanicznego	$1,5 U$	$0,6 I$	Całkowite	Liczba obrotów ograniczona jest do wielkości 1,35 raza większej niż liczba obrotów, odpowiadająca ustalonej największej prędkości lokomotywy lub wagonu silnikowego, jeżeli prędkość ta jest określona.	

Dokończenie tablicy na następnej stronie

Dokończenie tablicy z poprzedniej strony

Nr próby	Rodzaj silnika	Napięcie <sup>1)</sup>	Natężenie prądu <sup>2)</sup>	Wzbudzenie <sup>3)</sup>	Uwagi dotyczące największej liczby obrotów dopuszczalnej przy danej próbie
8	d) Silnik przeznaczony do hamowania z odzyskiem energii	$1,3 U$	$1,25 I$	Całkowite	Silnik ma pracować jako prądnicą z liczbą obrotów 1,5 raza większą niż liczba obrotów odpowiadająca przepisowemu natężeniu prądu przy całkowitym wzbudzeniu i napięciu znamionowym maszyny. Liczba ta jednak nie może przekroczyć liczby obrotów określonej wymaganiami na wytrzymałość mechaniczną (2.5.). Wzbudzenie i obciążenie należy tak wyregulować, aby osiągnąć przepisane napięcie i natężenie prądu.
9		$1,5 U$	$1,4 I$		
10		$1,1 U$	$2,5 I$		
11	e) Silnik przeznaczony do hamowania oporowego	$U$	$0,5 I$	Najslabsze przewidziane przy hamowaniu	Silnik ma pracować jako prądnicą. Liczbę obrotów i obciążenie należy tak wyregulować, aby osiągnąć przepisane napięcie i natężenie prądu, liczba ta nie może jednak przekroczyć liczby obrotów określonej wymaganiami na wytrzymałość mechaniczną (2.5.).
12		Dwa jednakowe silniki należy sprzęgnąć ze sobą mechanicznie. Jeden silnik przyłącza się do źródła prądu przez opory dobrane tak, aby przy otwartym obwodzie drugiego (badanego) silnika zespół osiągnął liczbę obrotów odpowiadającą największej prędkości przy normalnym ruchu pojazdu. Po osiągnięciu tej liczby obrotów odłącza się pierwszy silnik od źródła prądu, a drugi (badany) zamyka przez opór tak dobrany, aby oddawał w pierwszej chwili moc równą jego sześciokrotnej mocy jednogodzinnej, przy czym napięcie powinno wynosić około $2 U$ . Napięcie to należy mierzyć na zaciskach silnika woltomierzem o możliwie małej bezwładności. Normalnie wartość oporu dobrego wynosi około $0,7 U/I$ .			

<sup>1)</sup>  $U$  — oznacza znamionowe napięcie silnika.

<sup>2)</sup>  $I$  — oznacza znamionowe natężenie prądu silnika (przy pracy znamionowej jednogodzinnej).

<sup>3)</sup> Wzbudzenie całkowite — niezobocznikowane i przy całkowitej liczbie zwojów. Wzbudzenie najslabsze — najbardziej osłabione przez zobocznikowanie lub zmniejszenie liczby zwojów, przewidziane konstrukcją silnika.

częciem prób przy odwrotnym kierunku obrotów silnik może biec w nowym kierunku obrotów w przeciągu 5 minut przy napięciu znamionowym i prądzie nieprzekraczającym jednogodzinnego prądu znamionowego.

Położenie szczotek przy zmianie kierunku obrotów nie powinno ulegać zmianie.

**4. 8. Próba wytrzymałości izolacji** przeprowadzana jest tylko na nowych silnikach kompletnie zmontowanych i wykonywana jest w wytwórni w nagrzanym stanie silnika (temperatura uzwojeń ok.  $75^{\circ} C$ ) po próbie wytrzymałości mechanicznej i komutacji.

Próbę wykonywa się przy pomocy źródła prądu zmiennego. Napięcie probiercze powinno być praktycznie sinusoidalne o częstotliwości od 25 do 100 Hz.

Próbę należy rozpocząć od napięcia o wartości  $1/3$  całkowitego napięcia probierczego (2. 7.), po czym należy je powiększyć aż do całkowitej wartości możliwie szybko, jednak tak, aby można było prawidłowo odczytać

wskazania woltomierza. Próba przy całkowitym napięciu probierczym powinna trwać 1 minutę.

Wynik próby uważa się za dodatni, jeżeli nie nastąpiło ani przebiecie ani przeskok.

**4. 9. Wyznaczanie sprawności silników trakcyjnych prądu stałego** jest dokonywane zasadniczo sposobem strat poszczególnych. Dopuszcza się również wyznaczanie sprawności sposobem strat ogólnych lub sposobem bezpośrednim, jednak w razie zastosowania jednego z tych dwóch sposobów, należy to wyraźnie zaznaczyć. Opisy sposobów wyznaczania sprawności silników podane są w PNE/23.

Straty w opornikach regulacyjnych, dodatkowych i bocznikowych, jeżeli te oporniki stale są włączone przy prawidłowej pracy maszyny,

T A B L I C A 4—2

Straty dodatkowe w silnikach szeregowych

Moc pobierana w % mocy godzinnej (pobieranej)	Straty dodatkowe w % strat w żelazie i izolacji
200	65
150	45
100	30
75	25
50	23
25 i mniej	22

oraz straty w wentylatorze przy przewietrzaniu własnym zalicza się do strat przy wyznaczaniu sprawności silnika.

Strat w wentylatorze przy przewietrzaniu obcym nie należy włączać do strat całkowitych silnika, lecz należy podać je oddzielnie.

Przy wyznaczaniu sprawności sposobem strat poszczególnych jako straty dodatkowe przyjmuje się przybliżone wartości podane w tabelicy 4—2.

Uwaga. W celu określenia zależności między siłą pociągową na obwodzie kół pędnych a prędkością przy napędzie za pomocą kół zębatach straty w pojedynczej przekładni zębatej i łożyskach łożypowych przyjmuje się według przybliżonych wartości podanych w tabelicy 4—3.

T A B L I C A 4—3

Straty w pojedynczej przekładni zębatej i łożyskach łożypowych

Moc pobierana w % mocy godzinnej (pobieranej)	Straty w % mocy pobieranej
200	3,5
150	3,0
125	2,7
100	2,5
75	2,5
60	2,7
50	3,2
40	4,4
30	6,7
25	8,5

**4. 10. Sprawdzanie charakterystyk.** Krzywe charakterystyczne powinny być wyznaczone dla silników w stanie nagrzanym w granicach od prądu odpowiadającego maksymalnej liczbie obrotów do prądu odpowiadającego dwukrotnej mocy godzinnej. Do wyznaczenia każdej krzywej należy zmierzyć co najmniej 5 punktów.

Wynik próby uważa się za dodatni, jeżeli różnice między charakterystykami uzyskanymi a typowymi przynajmniej dla 3 punktów: 0,75, 1,0 i 1,5 prądu mocy godzinnej nie przekraczają tolerancji podanych w 2. 9.

## 5. TABLICZKA FIRMOWA I ZNAMIONOWA

**5. 1. Tabliczka firmowa.** Każdy silnik powinien być zaopatrzonej w tabliczkę zawierającą nazwę lub znak wytwórni, która silnik wykonała. Dane te mogą być umieszczone na tabliczce znamionowej.

**5. 2. Tabliczka znamionowa.** Każdy silnik powinien być zaopatrzonej w tabliczkę znamionową, umieszczoną w ten sposób, aby była dobrze widoczna podczas pracy silnika. Na tabliczce powinny być wyraźnie i czytelnie wymienione następujące dane:

- oznaczenie przepisów (którym odpowiada silnik),
- typ lub numer katalogowy,
- numer fabryczny,
- rok wykonania,
- rodzaj prądu i zastosowania (prąd stały — st, silnik — sil),
- napięcie znamionowe sieci,
- napięcie znamionowe silnika,
- moc, liczbę obrotów i natężenie prądu przy pracy znamionowej dorywczej godzinnej (D—60)<sup>1)</sup>,
- moc, liczbę obrotów i natężenie prądu przy pracy znamionowej ciągłej (C)<sup>1)</sup>,
- najwyższą temperaturę otoczenia (tylko w tym przypadku, jeżeli temperatura przekracza 25<sup>o</sup> C),
- dopuszczalny stopień osłabienia pola w % (1. 2. 8.) dla silników przeznaczonych do pracy z osłabionym polem.

Uwaga. Jeżeli wytwórnia zmienia całkowicie lub częściowo uzwojenie maszyny, to obok tabliczki pierwotnej powinna umieścić nową tabliczkę z napisami według 5.1. i 5.2. z podaniem roku przeróbki.

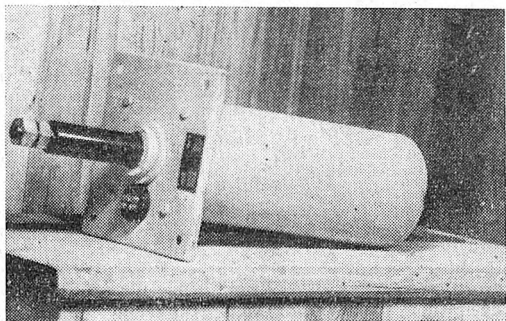
KONIEC

<sup>1)</sup> Dla silników z regulowanym polem przy całkowitym wzbudzeniu, jeżeli na tabliczce nie zaznaczono wyraźnie inaczej.

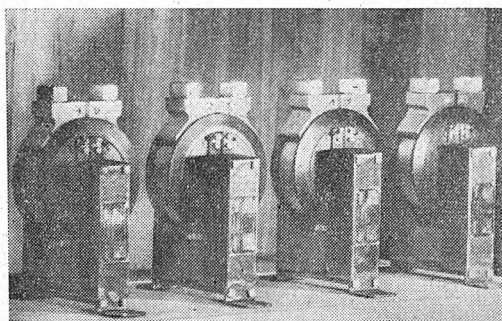


Produkcja krajowa

Dewizy pozostają w kraju



TDSV



TSWB

# **Pionier-Chorzów**

**Katowicka 32/34 tel. 404-51**

**PRODUKUJE**

## **Transformatory prądowe wewnętrzne suche**

według przepisów P. N. E. wzgl. V. D. E.

### **Model TDSV – przepustowe**

dla napięć roboczych 3, 6, 10, 15, 20, 30 kV

dla prądów znamionowych od 100 do 3000/5 A

dla klas 0,5, 1, 3, 10

dla wytrzymałości termicznej do 60 kA

dla wytrzymałości dynamicznej nieograniczonej

dla żądanej liczby nadmiarowej

z izolatorami masowymi lub kondensatorowymi

jako jednordzeniowe lub dwurdzeniowe

### **Model TSWB – uzwojone**

dla napięć roboczych do 0,75 kV

dla prądów znamionowych od 5 do 2000/5 A

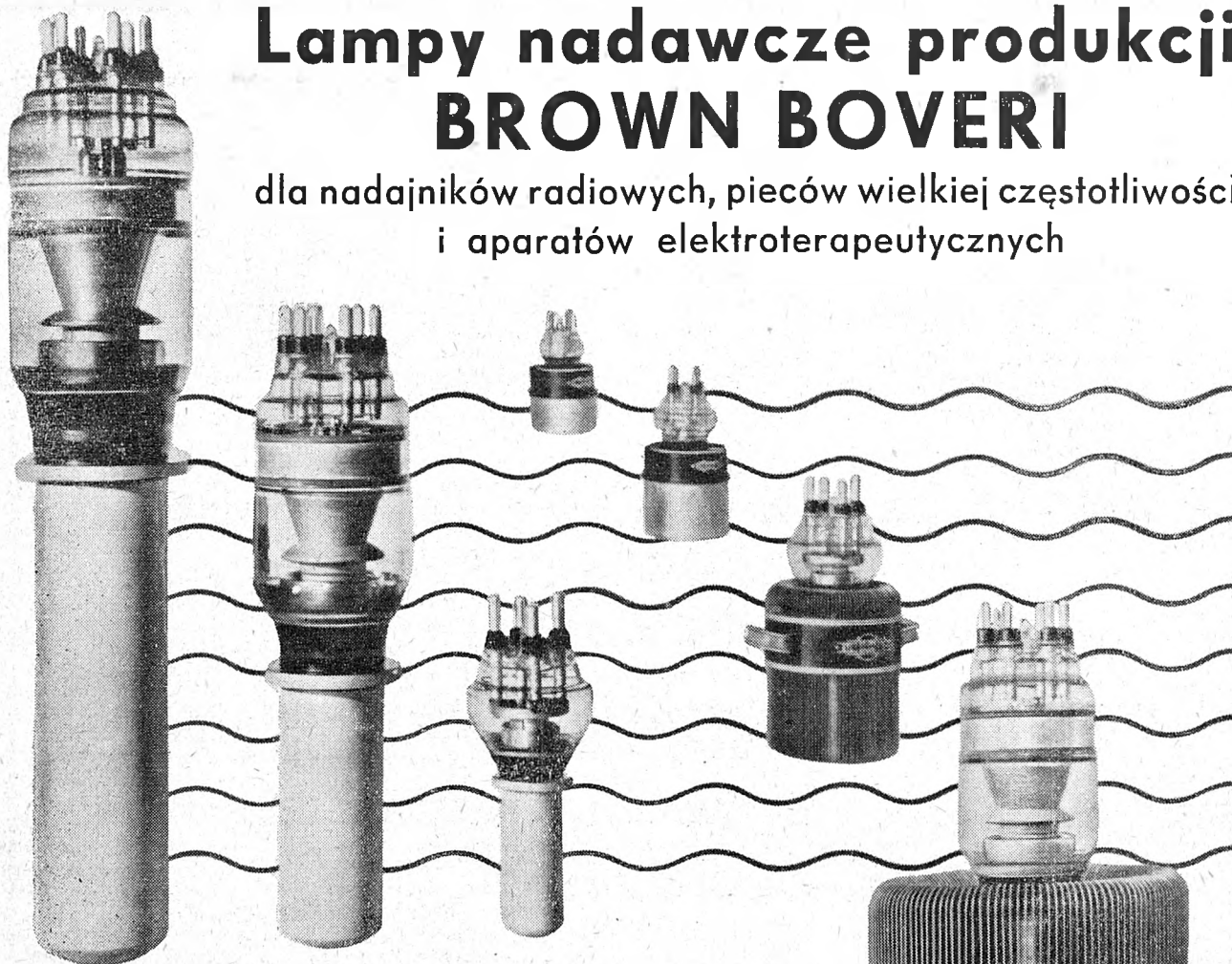
dla klas 0,5, 1, 3, 10,

dla wytrzymałości termicznej 60

Powyższe normalne warunki wykonania mogą być na życzenie zmienione

# Lampy nadawcze produkcji **BROWN BOVERI**

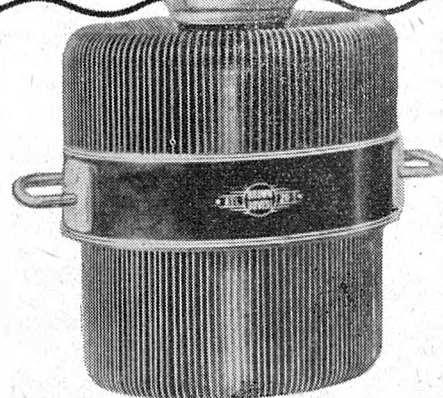
dla nadajników radiowych, pieców wielkiej częstotliwości  
i aparatów elektroterapeutycznych



Nowoczesne lampy nadawcze chłodzone powietrzem lub wodą

## Lampy nadawcze **BROWN BOVERI**

gwarantują pewność w eksploatacji i dużą sprawność także w zakresie największych częstotliwości radiowych. Dla każdej mocy znamionowej nadajnika istnieje odpowiedni typ lampy. — Korzystne ceny. — Dostawa natychmiastowa ze składu



Program fabrykacyjny Brown Boveri w dziedzinie wielkiej częstotliwości obejmuje:

- Nadajniki dla radiofonii w zakresie fal średnich, krótkich i bardzo krótkich z modulacją amplitudy i częstotliwości
- Nadajniki dla radiotelegrafii i telefonii
- Piecy wielkiej częstotliwości dla przemysłu
- Zespoły nadawczo-odbiorcze przenośne i stałe dla telefonii z modulacją częstotliwości
- Zespoły dla radiotelefonii wielokrotnej na falach bardzo krótkich
- Lampy nadawcze i prostownice
- Zespoły telefoniczne oraz aparaturę do sterowania i pomiarów zdalnych na liniach wysokiego napięcia

**S. A. BROWN, BOVERI & CIE., BADEN (SZWAJCARIA)**

