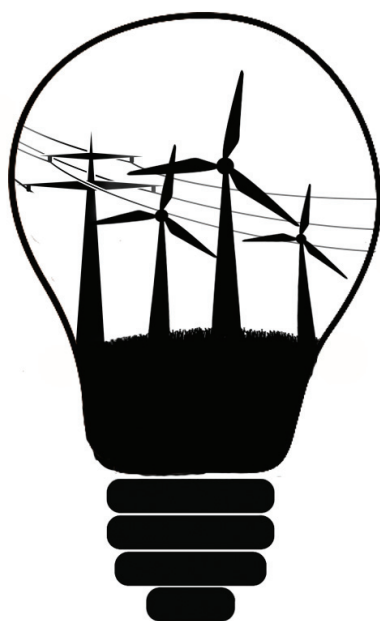




Politechnika
Wroclawska



GPW

Generacja
Przesył
Wykorzystanie

Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej

Generacja – Przesył – Wykorzystanie

GPW 2014

Praca zbiorowa
pod redakcją Macieja Gwoździewicza



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej
Wrocław 2014

Recenzenci

Maciej Gwoździewicz
Marta Bątkiewicz-Pantuła,
Damian Bulira

Współpraca

Jan Pytlarz, Olga Konatowska-Ciszek
Akademickie Koło SEP przy Politechnice Wrocławskiej

Wydano na podstawie dostarczonych materiałów

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej książki zarówno w całości, jak i we fragmentach, nie może być reprodukowana w sposób elektroniczny, fotograficzny i inny bez zgody wydawcy i właścicieli praw autorskich.

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2014

OFICYNA WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
<http://www.oficyna.pwr.wroc.pl>; e-mail: oficwyd@pwr.edu.pl

ISBN 978-83-7493-879-2

Wsparcie finansowe

Dziekan Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej
prof. dr hab. inż. Waldemar Rebizant

Prezes Oddziału Wrocławskiego SEP
dr inż. Andrzej Hachoł



Spis treści

Agata GOMÓLKA PRZEWODY WYSOKOTEMPERATUROWE O MAŁYM ZWISIE ACCC A PRZEWODY AFL.....	7
Adam GOZDOWIAK, Piotr KISIELEWSKI WYZNACZANIE I WERYFIKACJA PARAMETRÓW TURBOGENERATORA Z SYMULACJI POŁOWEJ I POŁOWO-OBWODOWEJ.....	12
Kamil KLIMKOWSKI, Patryk KLIMKOWSKI PRZEGLĄD METOD STEROWANIA SILNIKAMI INDUKCYJNYMI - STRUKTURA BEZPOŚREDNIEGO STEROWANIA POŁOWO ZORIENTOWANEGO.....	29
Olga KONATOWSKA-CISZEK ZAGADNIENIE ENERGII W POLSKIEJ LITERATURZE NAUKOWEJ Z 2013 ROKU – ANALIZA BIBLIOMETRYCZNA I ANALIZA CYTOWAŃ.....	35
Beata KREDENC, Tomasz SIKORSKI WSPÓŁCZESNA PROBLEMATYKA OCENY JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ	53
Szymon LIPIŃSKI, Jan ZAWILAK SILNIK SYNCHRONICZNY Z MAGNESAMI TRWAŁYMI W NAPĘDZIE POMPY WIROWEJ	66
Łukasz MACKIEWICZ, Katarzyna OWODZIŃ NOWE MATERIAŁY PRZEWODZĄCE NA PRZYKŁADZIE NANORUREK WĘGLOWYCH.....	76

Piotr NOWAK ZALETY TOPOLOGII BOOST I BUCK OPARTYCH O BLOKI ZAPEWNIĄCE ŚLEDZENIE PUNKTU MAKSYMALNEJ MOCY (MPPT) W SYSTEMACH FOTOWOLTAICZNYCH	84
Piotr NOWAK, Gracjana SKWIRA OMÓWIENIE ROZWIĄZAŃ MIKROELEKTROWNI FOTOWOLTAICZNYCH STOSOWANYCH W GOSPODARSTWACH DOMOWYCH PROPONOWANYCH PRZEZ PRODUCENTÓW	93
Mateusz PIĄTEK PROJEKT INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ NISKIEGO NAPIĘCIA Z UKŁADEM SZR W BUDYNKU JEDNORODZINNYM.....	107
Agata PIESIEWICZ BADANIE WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNYCH JEDNOFAZOWEGO SILNIKA SYNCHRONICZNEGO Z MAGNESAMI TRWAŁYMI	118
Igor Skotniczy ENERGETYKA JĄDROWA	126
Rafał SZCZEPANKIEWICZ, Barbara SOBIERAJ ANALIZA WPŁYWU SPOSOBU POŁĄCZENIA PUNKTU GWIAZDOWEGO SIECI SN NA ZJAWISKA ZIEMNOZWARCIOWE.....	135
Kamil WARIAN SYTUACJA KRAJOWEGO SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO	145

Wysokotemperaturowe przewody ACCC, przewody AFL, linie napowietrzne

Agata GOMÓŁKA*

Przewody wysokotemperaturowe o małym zwisie ACCC a przewody AFL

Energetyka Polski stoi obecnie na rozdrożu. Ta sytuacja może się zakończyć brakiem prądu w naszych gniazdkach. Obecne linie energetyczne, dostarczające energię, są w bardzo złym stanie. Niektóre pochodzą nawet z lat 30. Stale trwa wymiana poszczególnych linii oraz budowa nowych, ale nie zmienia to faktu, że zaległości są duże. Najczęściej stosowane w polskich liniach są przewody AFL. Biorąc pod uwagę rosnące zapotrzebowanie na energię, nie jest to dobre rozwiązanie. Zastosowanie nowych przewodów ACCC w większym stopniu sprostą zadaniu, jakie czeka naszą energetykę.

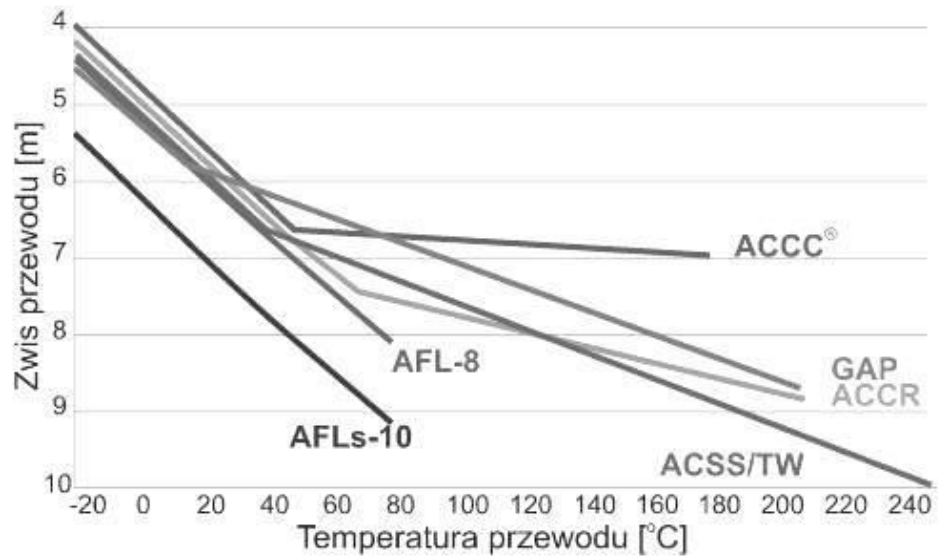
1. WSTĘP

W polskich elektroenergetycznych liniach napowietrznych, najczęściej stosowane są przewody stalowo – aluminiowe AFL. Ich rdzeń zbudowany jest z jednego lub wielu drutów stalowych ocynkowanych, następne warstwy skręcane są współśrodkowo z drutów aluminiowych. Kierunki skrętu sąsiadnych warstw są przeciwne. Kierunek zewnętrznej warstwy skrętu powinien być prawy. Zróżnicowane właściwości stali i aluminium powodują powstawanie tzw. zjawiska pełzania. Powoduje ono zwiększenie obciążenia rdzenia stalowego przewodu oraz luzowanie się aluminiowej części w uchwytych mocujących. Duże znaczenie w projektowaniu konstrukcji wsporczych ma masa przewodu wynikająca z udziału rdzenia stalowego oraz spodziewany ciężar szadzi. Kolejny problem to występowanie zjawiska korozji elektrochemicznej na powierzchni styku aluminium i rdzenia stalowego.

Nowoczesne przewody ACCC w istniejących i nowobudowanych liniach łączą ze sobą dwie technologie: kompozytowy rdzeń z włókien węglowych i szklanych oraz całkowicie wyżarzone aluminiowe druty trapezoidalne. Posiadają lekki i mocny rdzeń, odznaczają się mniejszą masą od przewodów AFL, posiadających taką samą średnicę.

* Stowarzyszenie Elektryków Polskich Oddział Lubelski ul. Rapackiego 13/15 20-150 Lublin

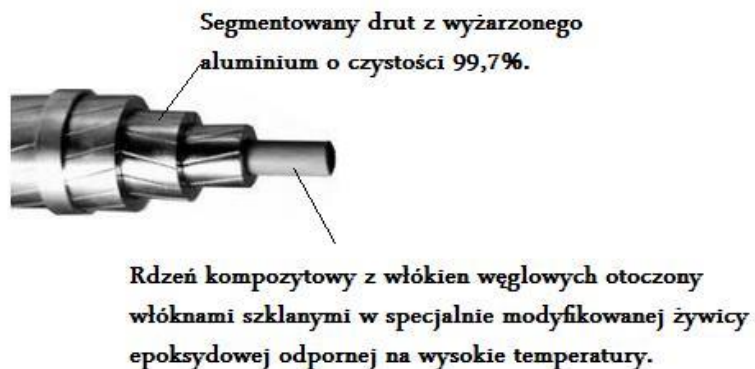
Charakteryzują się zwiększoną wytrzymałością na zerwania oraz płaską charakterystyką zwisu w podwyższonych temperaturach.



Rys. 1. Płaska charakterystyka zwisu przewodów ACCC. [1]

Fig. 1. The flat overhang ACCC conductors . [1]

2. BUDOWA PRZEWODÓW ACCC I AFL



Rys.2. Budowa przewodu ACCC [2]

Fig.2. Cable ACCC constructions [2]

Budowa przewodu ACC:

- segmentowany drut z wyżarzonego aluminium o czystości 99,7%
- rdzeń kompozytowy z włókien węglowych otoczony włóknami szklanymi w specjalnie modyfikowanej żywicy epoksydowej odpornej na wysokie temperatury:



Rys. 3. Budowa przewodu AFL [3]

Fig.2. Cable ACCC construction [3]

Budowa przewodu AFL:

- Żył: rdzeń z drutów stalowych ocynkowanych, smarowany następnie warstwy aluminiowe skręcone współśrodkowo,

- Liczba drutów: dzielnik stosunku Fe:AL. Stawia się go po symbolu przewodu w celu jego lepszej charakterystyki (stosunki stali do aluminium wynoszą: 1:6, 1:7 i 1:1,17).

3. PORÓWNANIE PARAMETRÓW PRZEWODÓW ACCC I AFL

Tabela nr 1. Porównanie parametrów przewodów AFL-6 i ACCC/TW [4]
Table no. 1. Comparison of wires AFL-6 and ACCC/TW [4]

TYP PRZEWODU				AFL-6	ACCC/TW	Korzyści ACCC/TW
Przekrój znamionowy AL		mm ²		240	325,7	
Przekrój obliczeniowy AL		mm ²		236,1	325,7	+ 38%
Średnica zewnętrzna		mm		21,7	22	+ 1,3%
Obliczeniowa masa	Bez smaru	Aluminium	kg/km	650	902	+ 38%
		Rdzeń	kg/km	321	75,6	- 76%
	Smar		kg/km	6,8	-	-
Obliczeniowa masa przewodu		kg/km		971	977	+ 0,6%
Obliczeniowa siła zrywająca przewodu		kN		82,8	104,10	+ 25%
Obliczeniowa oporność 1km przewodu 20°C		Ω/km		0,124	0.086	- 30%

Na podstawie wyników zestawionych w tabeli nr 1, wynika że przewody ACCC posiadają lepsze parametry jakościowe w stosunku do przewodów AFL, świadczy o tym m.in. 38% większy przekrój obliczeniowy aluminium. Należy zwrócić uwagę, że w przewodach ACCC masa obliczeniowa aluminium jest większa o 38% a masa rdzenia jest niższa o 76% w porównaniu do przewodów AFL.

4. KORZYŚCI WYNIKAJĄCE ZE STOSOWANIA PRZEWODÓW

Korzyści wynikające ze stosowania przewodów ACCC:

- zmniejszenie o 20-30% strat – w stosunku do linii AFL przy takim samym prądzie (linia z ACCC pracuje wtedy w niższej temperaturze niż linia AFL),

- zmniejszenie o 15-40% liczby konstrukcji wsporczych (mniejsze zniszczenie środowiska i mniej uzgodnień z właścicielami gruntu,
- zwiększenie bezpieczeństwa pracy systemu (możliwość znacznie bezpieczniejszego przeciążenia linii w stanach awaryjnych = praca w podwyższonej temperaturze),
- racjonalniejsza obsługa farm wiatrowych (aby zapewnić odbiór w stanach maksymalnej generacji linii z AFL trzeba by znacznie przewymiarować),
- cena przewodów ACCC jest znacznie wyższa od AFL co jest spowodowane lepszymi parametrami jakościowymi tj.: większa obciążalność (coraz częściej brana jest pod uwagę jakość przewodów a nie cena podczas inwestycji przemysłowych).

5. WNIOSKI

Na podstawie przedstawionego porównania można jednoznacznie wnioskować, że przewody ACCC są znacznie lepsze pod względem jakościowym w porównaniu do przewodów AFL. Jednak biorąc pod uwagę cenę ACCC są one droższe, co jest powodem częstszego stosowania AFL w polskich liniach napowietrznych. Znaczącą różnicą w budowie przewodów ACCC w stosunku do AFL jest znacznie mniejsza masa rdzenia i większa aluminium.

LITERATURA:

- [1] ACCC [w:] <http://www.zircon.pl>
- [2] Przewody ACCC [w:] <http://www.zircon.pl>
- [3] <http://eltrim.com.pl>
- [4] Inżynieria elektryczna i informatyczna w nowych technologiach elektroenergetycznych [w:] <http://bc.pollub.pl>

High temperature wires with a small overhang ACCC and the AFL wires

The growing demand for energy, causing the use of new technological solutions. The lines are more burdened than in previous years, which is why the ACCC conductors of mixed construction - aluminum composite can operate at higher temperatures and eliminate the problem of slack in the wires compared to the AFL, which under the influence of temperature increases have a larger overhang. ACCC with the same diameter as the AFL, have about 28% more conductive material.

turbogenerator, parametry elektromagnetyczne,
metoda elementów skończonych

Adam GOZDOWIAK*, Piotr KISIELEWSKI*

WYZNACZANIE I WERYFIKACJA PARAMETRÓW TURBOGENERATORA Z SYMULACJI POŁOWEJ I POŁOWO-OBWODOWEJ

Artykuł przedstawia wyniki obliczeń podstawowych elektromagnetycznych parametrów turbogenerators przy wykorzystaniu metody elementów skończonych. Wyniki otrzymano przy wykorzystaniu dwuwymiarowego modelu turbogenerators. Otrzymane wartości zostały przyrównane do rzeczywistych parametrów badanej maszyny podanych przez producenta dla stanu nienasyconego.

1. WSTĘP

Istotnym zagadnieniem w fazie projektowania turbogenerators jest dokładne poznanie elektromagnetycznych parametrów, które spełnią wymagania stawiane przez system elektroenergetyczny [3]. Najważniejszymi wymaganiami stawianymi przed generatorami synchronicznymi jest współczynnik zwarcia oraz podprzejściowa reaktancja podłużna (X_d''). Minimalna wartość współczynnika zwarcia podawana w normie [3] powinna być nie mniejsza niż 0,35, natomiast rekomendowana wartość, która spełni większość wymagań międzynarodowych systemów elektroenergetycznych to 0,5 [9]. Minimalna wartość podprzejściowej reaktancji poprzecznej w stanie nasyconym nie może być mniejsza niż 10% znamionowej impedancji turbogenerators [3].

W czasie projektowania turbogenerators duży nacisk jest kładziony na osiągnięcie jak największej sprawności przy jednoczesnym ograniczaniu kosztów materiałowych oraz gabarytów maszyny. Przy tak restrykcyjnych założeniach bardzo trudno jest spełnić wymagania stawiane przez SEE. Osiągnięcie wysokiego współczynnika zwarcia wymusza zwiększenie amperozwojów w uzwojeniu

* Politechnika Wroclawska, Katedra Maszyn, Napędów I Pomiarów Elektrycznych

wzbudzenia, by móc wyprodukować tą samą moc, jak przy mniej rygorystycznych wymogach. Wzrost liczby zwojów w uzwojeniu wirnika powoduje wzrost strumienia magnetycznego, a jednocześnie wzrost gabarytów i kosztu maszyny. Zastosowanie numerycznych obliczeń przy braku odpowiednich analitycznych, zweryfikowanych wzorów projektowych jest uzasadnione i pozwala na weryfikację założeń projektowych przy niestandardowych rozwiązaniach konstrukcyjnych. Przeprowadzone badania pokazują, że takie symulacje są dokładniejsze od obliczeń analitycznych [2]. Obecnie modelowanie polowo-obwodowe uchodzi za jedno z najdokładniejszych metod obliczeniowych maszyn elektrycznych, ponieważ jest w stanie uwzględnić elektromagnetyczne zjawiska występujące w maszynie elektrycznej, nieliniowość charakterystyk magnesowania rdzeni, ruch wirnika oraz indukowanie prądów wirowych w przewodzących częściach wirnika.

Podstawowe parametry turbogeneratorsa są wyznaczane w czasie prób ruchowych przy wykorzystaniu charakterystyki biegu jałowego oraz udarowego zwarcia trójfazowego, a następnie są przyrównywane z założeniami projektowymi. Jednakże takie testy wymagają drogiego wyposażenia oraz ich przeprowadzenie jest ograniczane właściwościami materiałowymi (wytrzymałość elektryczna izolacji uzwojeń twornika w czasie biegu jałowego, ograniczenia cieplne w czasie zwarcia udarowego). Dlatego szukane jest rozwiązanie, w jaki sposób zastąpić testy ruchowe, w sytuacjach, w których nie jest to konieczne.

2. MODEL TURBOGENERATORA

Badaną maszyną był turbogenerator 2-biegunowy, posiadający 54 zębki na stojanie i uzwojenie połączone w dwie gałęzie równoległe. Podstawowe parametry generatora zostały zamieszczone w tabeli 1.

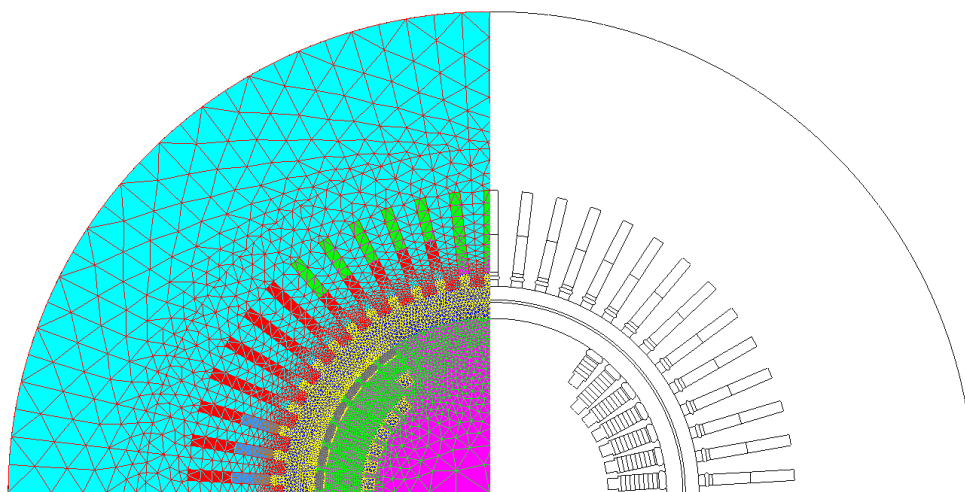
Tabela 1. Dane znamionowe badanego turbogenerators
 Table 1. Rated parameters of researched turbogenerator

Nazwa parametru	Wartość	Jednostka
Znamionowa moc pozorna	500	MVA
Znamionowe napięcie na zaciskach stojana	21	kV
Znamionowy prąd stojana	13,75	kA
Znamionowy współczynnik mocy	0,80	-
Znamionowy prąd wzbudzenia	4518	A
Znamionowa prędkość obrotowa	3000	obr/min
Znamionowy moment obciążenia	1,273	MNm

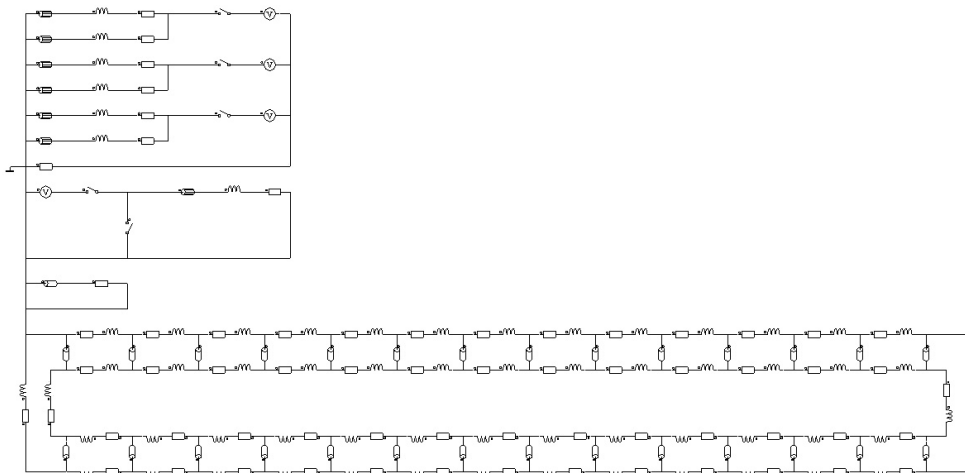
Zbudowany dwuwymiarowy model symulacyjny składa się z części polowej oraz obwodowej. W części polowej uwzględniono rzeczywisty rozkład uzwojeń rozłożonych w żłobkach stojana i wirnika oraz obwody tłumiące w postaci klinów wirnika. Oprócz uwzględnienia nieliniowości charakterystyk magnesowania rdzenia stojana i wirnika, uwzględniono również zjawisko wypierania prądu w klinach wirnika oraz prądy wirowe indukowane w litej stali wirnika. Pominięto natomiast zjawisko wypierania prądu w uzwojeniach stojana i wirnika oraz prądy wirowe w pakiecie blach stojana. Przyjęte wstępne założenia są poprawne i w dokładny sposób odzwierciedlają zjawiska zachodzące w turbogeneratorze w stanach nieustalonych [6,8].

Przekrój poprzeczny modelu polowego przedstawiono na rysunku 1. Badana maszyna posiada jedną parę biegunów oraz dwuwarstwowe uzwojenie stojana i dlatego nie jest możliwe zredukowanie modelu polowego, poprzez zastosowanie symetrii modelu, a tym samym skrócenie czasu obliczeń. Model turbogenerators poddano dyskretyzacji za pomocą trójkątnych elementów skończonych drugiego rzędu, które składają się z 100500 węzłów.

Natomiast model obwodowy jest widoczny na rysunku 2. To w nim znajdują się elementy skupione, reprezentujące uzwojenia i obwody znajdujące się w części polowej. Do modelu obwodowego dodano indukcyjności połączeń czołowych stojana, których nie uwzględnia dwuwymiarowy model polowy. Wartości indukcyjności zostały wyznaczone ze wzorów projektowych [10].



Rys. 1. Model polowy turbogeneratora
 Fig. 1. Field model of the turbogenerator



Rys. 2. Model obwodowy turbogeneratora
 Fig. 2. Circuit model of the turbogenerator

3. PARAMETRY WYZNACZONE Z SYMULACJI POŁOWO-OBWODOWEJ

W celu obliczenia współczynnika zwarcia oraz synchronicznej reaktancji podłużnej posłużono się dwoma charakterystykami: biegu jałowego oraz udarowego zwarcia symetrycznego, które zostały wyznaczone na podstawie przebiegów czasowych prądów i napięć.

3.1. CHARAKTERYSTYKA BIEGU JAŁOWEGO

Pierwsze obliczenia charakterystyki biegu jałowego znacząco odbiegały od charakterystyki podawanej przez producenta w przypadku dużych nasycień obwodu magnetycznego. Przyczyną tego był brak uwzględnienia w obliczeniach szerokości kanałów wentylacyjnych w rdzeniu stojana, które stanowią ok. 13% całkowitej długości czynnej turbogeneratora. Autorzy w [1] proponują zastosowanie zastępczej użytecznej długości czynnej maszyny. Posługując się wzorami (1-5) została obliczona zastępcza długość maszyny L_{zast} , która jest mniejsza o ok. 1,4% od wartości rzeczywistej L_{active} . W równaniach (1-4) n_{ducts} oznacza liczbę kanałów wentylacyjnych, l_{duct} to szerokość jednego kanału, natomiast δ to grubość szczeliny między wirnikiem a stojanem. Na rysunku 3 przedstawiono charakterystykę biegu jałowego producenta oraz charakterystyki otrzymane z symulacji przy uwzględnieniu zastępczej długości maszyny, jak i dla znamionowej L_n .

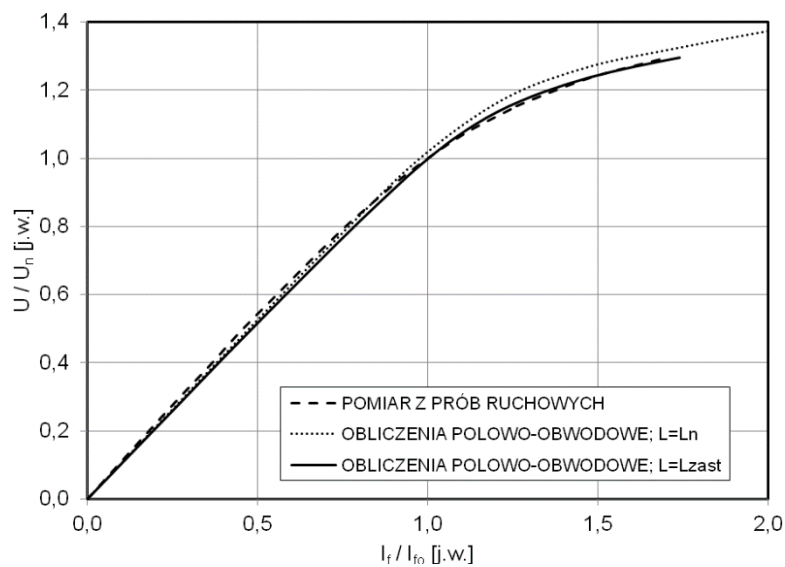
$$L_{Fe} = L_{active} - n_{ducts} l_{duct} \quad (1)$$

$$L_{dFe} = \frac{L_{Fe}}{n_{ducts} + 1} \quad (2)$$

$$E = \frac{0,5}{1 + \frac{n_{ducts} + 1}{n_{ducts}} \frac{L_{dFe}}{l_{duct}}} \quad (3)$$

$$F = \frac{1 + \frac{l_{duct}}{\delta}}{5 + \frac{l_{duct}}{\delta}} \quad (4)$$

$$L_{zast} = L_{active}(1 - EF) \quad (5)$$

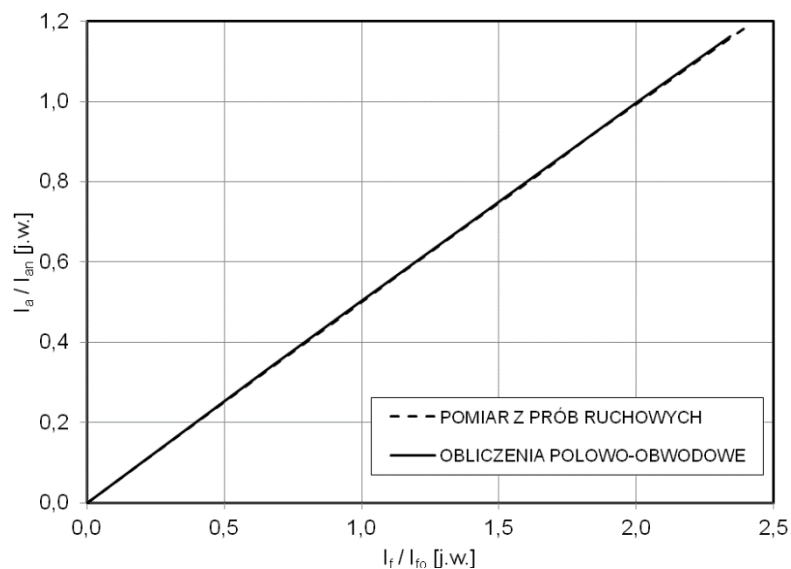


Rys. 3. Charakterystyka biegu jałowego

Fig. 3. No-load characteristic

3.2. CHARAKTERYSTYKA ZWARCIA

Charakterystykę zwarcia przeprowadzono poprzez zwarcie zacisków uzwojenia twornika i zasilanie napięciem stałym uzwojenia wirnika. Wykonanie tych symulacji nie wymaga zastosowania zastępczej długości maszyny, ponieważ stan zwarcia przeprowadza się w stanie, którym obwody magnetyczne są nienasycone. Otrzymane wyniki są pokazane na rysunku 4. Dokładna zbieżność charakterystyki producenta z wyznaczoną z symulacji silnie zależy od przyjętej do obliczeń indukcyjności czoł stojana.



Rys. 4. Charakterystyka zwarcia
Fig. 4. Short-circuit characteristic

Zależności służą do wyznaczenia podstawowym parametrów generatorów synchronicznych jest opisana w [4]. Współczynnik zwarcia K_Z jest opisany zależnością (6), natomiast synchroniczna reaktancja podłużna wzorem (7). W tabeli 2 znajduje się porównanie parametrów otrzymanych z symulacji połowo-obwodowej z parametrami badanej maszyny.

$$K_Z = \frac{I_{fon}}{I_{fzn}} \quad (6)$$

$$X_d = \frac{I_{fon}}{K_Z I_{f\delta}} \quad (7)$$

Tabela 2. Porównanie parametrów turbogenerатора otrzymanych z symulacji polowo-obwodowej z parametrami badanej maszyny w jednostkach względnych
 Table 2. The comparison of turbogenerator parameters achieved in field-circuit simulation with parameters coming from researched machine in per unit

Parametr	Wartość zmierzona	Wartość wyliczona z symulacji polowo-obwodowej	Błąd [%]
I_{fon}	1,000	0,997	0,27
I_{f0}	0,947	0,959	1,25
I_{fzn}	2,000	1,999	0,03
Kz	0,500	0,499	0,20
$X_{d(nienasycona)}$	2,112	2,085	1,28

4. PARAMETRY WYZNACZONE Z ROZKŁADU PÓL MAGNETOSTATYCZNYCH

Na podstawie rozkładu potencjału magnetycznego istnieje możliwość wyznaczenia strumienia magnetycznego sprzężonego z uzwojeniem twornika i wzbudzenia. W celu wyznaczenia synchronicznej reaktancji podłużnej, prądy płynące w obwodach tłumiących oraz w uzwojeniu wirnika powinny wynosić zero. W taki sposób strumień w osi q wynosi zero. Dodatkowo uzwojenie wzbudzenia musi zostać ustawione w osi d, czyli zostać zrównane do jednej fazy np. A, w taki sposób aby kąt między osią d, a fazą A wynosił zero. W obliczeniach magnetostatycznych przyjęto, że prądy fazowe stojana są opisane zależnością (8).

$$i_B = i_C = -\frac{i_A}{2} \quad (8)$$

Wychodząc ze wzoru (9) na wektor prądu stojana, którego wartość rzeczywista określa prąd w osi d, a wartość urojona prąd w osi q, można określić prąd płynący w osi d (10) oraz strumień w osi d (11) [2,5].

$$i_s = \frac{2}{3}(i_A + ai_B + a^2i_C) \quad (9)$$

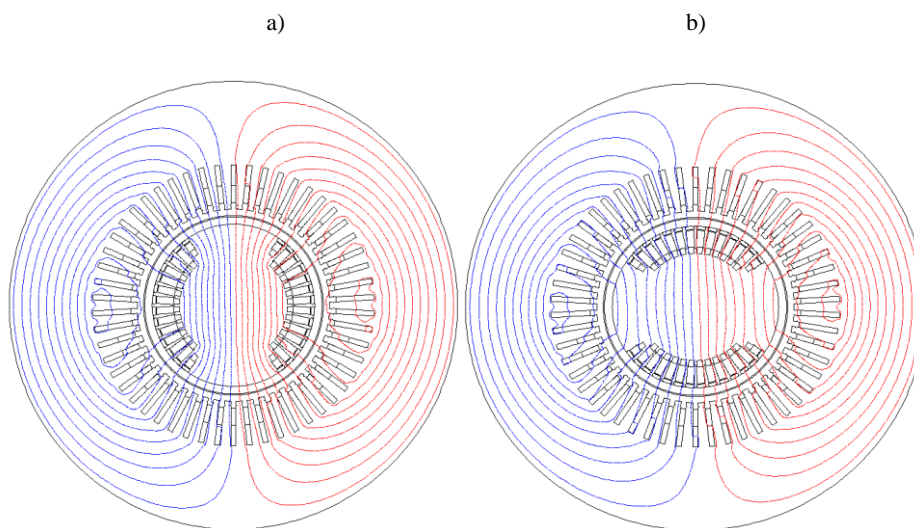
$$I_d = \text{Re} \sqrt{\frac{2}{3}}(i_A + ai_B + a^2i_C) \quad (10)$$

$$\psi_d = \operatorname{Re} \sqrt{\frac{2}{3}} (\psi_A + a\psi_B + a^2\psi_C) \quad (11)$$

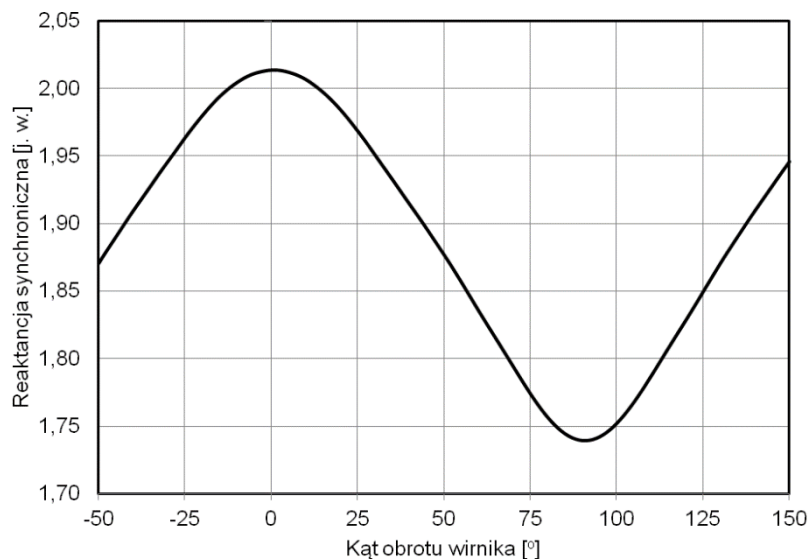
Indukcyjność synchroniczną w osi podłużnej wyznacza się z zależności (12), która jest powiększona o indukcyjność czoł stojana L_{cs} , której nie uwzględnia dwuwymiarowy model połowy. Analogicznie wyznacza się indukcyjność w osi poprzecznej.

$$L_d = \frac{\psi_d}{I_d} + L_{cs} \Rightarrow X_d = \omega L_d \quad (12)$$

Na rys. 5 przedstawiono rozkład linii pola magnetycznego w osi d i q dla znamionowego prądu w stanie pracy synchronicznej, natomiast na rys. 6 wartości reaktancji synchronicznej w stanie nasyconym dla różnego położenia wirnika.



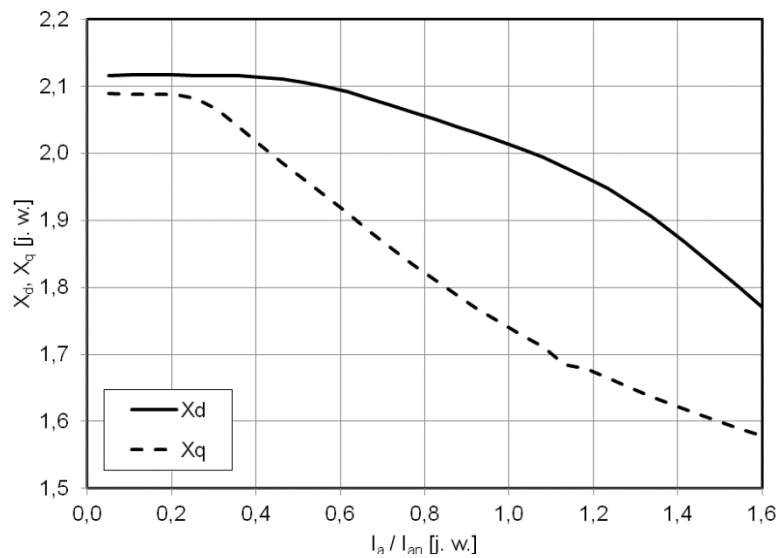
Rys. 5. Rozkład linii pola magnetycznego a) w osi podłużnej, b) w osi poprzecznej turbogenerators
 Fig. 5. Flux lines of the turbogenerator magnetic field a) in direct axis, b) in quadrature axis



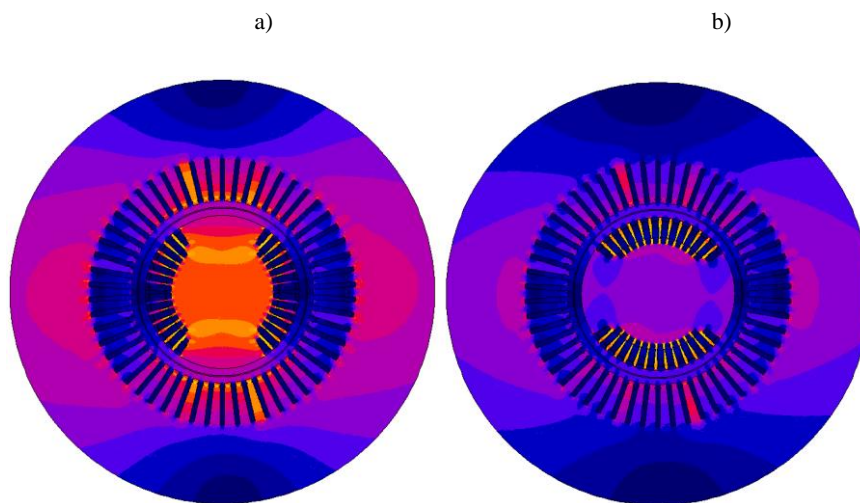
Rys. 6. Zależność reaktancji synchronicznej turbogeneratorsa od kąta położenia wirnika w stanie nasyconym (0° - oś d, 90° - oś q)

Fig. 6. Synchronous reactance dependence on the angle of rotor position in saturated state (0° - d axis, 90° - q axis)

Zależność reaktancji synchronicznej podłużnej i poprzecznej od wartości prądu płynącego w uzwojeniu stojana przedstawiono na rys. 7. Można zauważyć, że wraz ze wzrostem prądu stojana X_q szybciej maleje niż X_d . Wynika to z faktu, że w osi q strumień zamyka się przez wąskie zęby wirnika, co prowadzi do nadmiernego nasycenia się miejsc między zębami wirnika, a w konsekwencji czego rośnie reluktancja na drodze strumienia. To zjawisko zostało zilustrowane na rys. 8.



Rys. 7. Zależność reaktancji synchronicznej podłużnej i poprzecznej od wartości prądu fazowego
 Fig. 7. Direct-axis and quadrature-axis synchronous reactance dependence on phase current value



Rys. 8. Rozkład pola magnetycznego dla a) osi podłużnej, b) osi poprzecznej turbogeneratora dla znamionowego prądu stojana
 Fig. 8. Field distribution a) for direct axis, b) for quadrature axis in case of rated stator current

6. PARAMETRY WYZNACZONE Z ROZKŁADU PÓŁ SINUSOIDALNIE ZMIENNYCH

5.1. REAKTANCJA PRZEJŚCIOWA

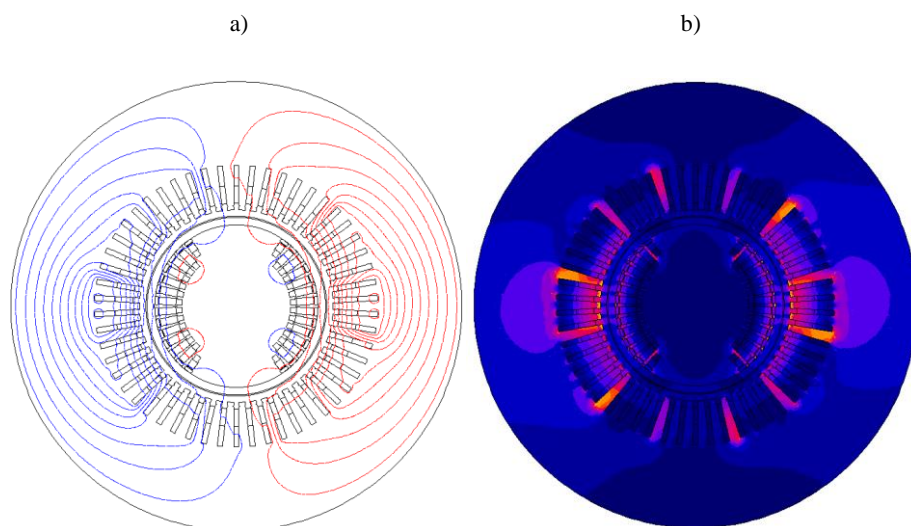
Stan przejściowy to stan nieustalony w czasie zwarcia zacisków twornika, w którym strumień magnetyczny zamyka się głównie przez uzwojenia wytwarzające strumień (strumień rozproszenia). W tym stanie nie ma efektu tłumienia pochodzącego od prądów wirowych płynących w klinach wirnika i litej stali wirnika. Płynący prąd w zwartym uzwojeniu wirnika nie pozwala strumieniowi powstałemu na skutek przepływu prądu w uzwojeniach stojana, zamknąć się przez wirnik.

W symulacji przyjęto częstotliwość znamionową 50 Hz. Uzwojenie wzbudzenia zostało zwarte. Prądy stojana zostały zdefiniowane dla $t=0$, jako wartości szczytowe wraz z przesunięciem fazowym φ zgodnym z rozmieszczeniem faz stojana zgodnie z (13).

$$i_B = i_C = -\frac{i_A}{2} = -\frac{I_{\max}}{2} \cos(\omega t + \varphi) \quad (13)$$

Reaktancja przejściowa podłużna została obliczona w analogiczny sposób jak X_d . Pominięto obliczenie X'_q , ponieważ ułożenie uzwojenia wzbudzenia w osi poprzecznej nie wpływa na warunki pracy turbogeneratorsa w stanie przejściowym - nie ma efektu wypierania strumienia stojana.

Efekt wypierania strumienia stojana w osi podłużnej przez prąd płynący w uzwojeniu w osi d wirnika został przedstawiony na rysunku 9.

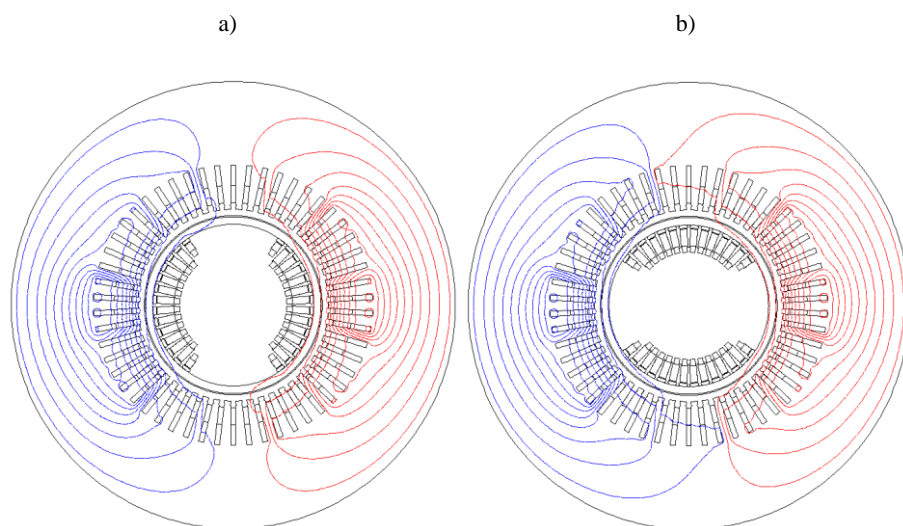


Rys. 9. Rozkład linii pola magnetycznego a) oraz rozkład pola magnetycznego b) w osi podłużnej w stanie przejściowym

Fig. 9. Flux lines a) and field distribution b) of the turbogenerator in direct axis in transient state

5.2. REAKTANCJA PODPRZEJŚCIOWA

Stan podprzejściowy występuje w pierwszej chwili wystąpienia zwarcia trójfazowego. W tym stanie prądy wirowe płynące w przewodzących częściach wirnika oraz prąd płynący w uzwojeniu wirnika nie pozwala przeniknąć strumieniowi stojana przez wirnik, działa tak zwany efekt wypierania strumienia. Cały strumień zamyka się przez szczelinę powietrzną, dlatego też reaktancja podprzejściowa jest zdecydowanie mniejsza od reaktancji synchronicznej oraz niewiele mniejsza od reaktancji przejściowej, w której strumień stojana wnika do wirnika, lecz nie przenika przez uzwojenie wzbudzenia. Przykładowy efekt wypychania strumienia stojana został pokazany na rysunku 10.



Rys. 10. Rozkład linii pola magnetycznego a) w osi podłużnej, b) w osi poprzecznej turbogeneratorskiego stanu podprzejściowego

Fig. 10. Flux lines of the turbogenerator magnetic field a) in direct axis, b) in quadrature axis in subtransient state

Reaktancję podprzejściową obliczono przy zasilaniu uzwojenia prądem sinusoidalnie zmiennym o częstotliwości większej od częstotliwości znamionowej.

Przyjmuje się, że powinna ona być większa od $\frac{1}{T_d''}$ [1]. W obliczeniach wykorzystano

częstotliwość 300Hz. W celu obliczenia X''_d oraz X''_q prądy zostały tak samo zdefiniowane jak w przypadku obliczeń reaktancji przejściowej.

6. STAŁE CZASOWE

Stała czasowa uzwojenia wzbudzenia T'_{do} jest wyrażona za pomocą (14) i została wyznaczona z rozkładu pól magnetostacyjnych. Symulację przeprowadzono przy znamionowym prądzie wzbudzenia oraz przy otwartym uzwojeniu twornika.

$$T'_{do} = \frac{L_f}{R_f} \quad (14)$$

Indukcyjność uzwojenia wzbudzenia to stosunek strumienia wzbudzenia oraz prądu wzbudzenia. Dodatkowo ta indukcyjność jest powiększona o indukcyjność połączeń czołowych L_{cf} uzwojenia wzbudzenia.

$$L_f = \frac{\psi_f}{i_f} + L_{cf} \quad (15)$$

Znając wartość T'_{do} oraz reaktancji synchronicznej podłużnej X_d i reaktancji przejściowej podłużnej X'_d , stałą czasową przejściową można wyznaczyć z uproszczonej zależności (16).

$$T'_d \approx T'_{do} \frac{X'_d}{X_d} \quad (16)$$

Stała czasowa przejściowa w osi podłużnej jest wyrażona w sposób uproszczony za pomocą równania (17).

$$T''_d \approx T''_{do} \frac{X''_d}{X'_d} \quad (17)$$

Stała czasowa tłumienia T''_{do} wyliczono z mocy czynnej i biernej w przewodzących częściach wirnika przy rozkładzie pól sinusoidalnie zmiennych. Obliczenia wykonano dla częstotliwości 3Hz. Taka częstotliwość została wykorzystana w celu wyeliminowania efektu naskórkowości w litej stali wirnika oraz w klinach wirnika. Metoda ta została wykorzystana wielu pracach, między innymi w [1,2].

$$T''_{do} \approx \frac{Q}{P\omega} \quad (18)$$

7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W pracy przedstawiono obliczenia połowo-obwodowe oraz połowe turbogenerators, które mogą posłużyć do projektowania i optymalizacji nowo powstających, niestandardowych konstrukcji. Dodatkowo można ich użyć do zweryfikowania obliczeń analitycznych w fazie projektowania. Różnice między wyznaczonymi, a zmierzonymi parametrami zestawiono w tabeli 3. Największe różnice odnotowano dla stanu przejściowego. Przyczyną tej rozbieżności może być brak uwzględniania w obliczeniach indukcyjności połączeń czołowych uzwojenia wirnika.

Połączenie obliczeń numerycznych wraz z obliczeniami analitycznymi takimi jak: zastępcza długość rdzenia oraz indukcyjność czół stojana pozwala w dokładny sposób odzwierciedlić zjawiska zachodzące w turbogeneratorach i w dokładny sposób wyznaczyć podstawowe parametry elektromagnetyczne.

Wyznaczanie reaktancji synchronicznej, podprześciowej i przejściowej metodą połową znacznie skraca długość symulacji w stosunku do wyznaczenia tych parametrów metodą połowo-obwodową przy wykorzystaniu udarowego zwarcia trójfazowego [7].

Tabela 3. Porównanie parametrów turbogenerators otrzymanych z symulacji połowej z parametrami badanej maszyny

Table 3. The comparison of turbogenerator parameters achieved in field simulation with parameters coming from researched machine

Parametr	Jednostka	Wartość zmierzona	Wartość wyliczona z symulacji połowej	Błąd [%]
$X_d(\text{nienasycona})$	[j. w.]	2.112	2,116	0,19
$X_d(\text{nasycona})$	[j. w.]	2.000	2,020	1,00
X'_d	[j. w.]	0,345	0,320	7,25
X''_d	[j. w.]	0,275	0,276	0,36
T'_{do}	[j. w.]	8,1	8,067	0,41
T'_d	[s]	1,250	1,2903	3,22
T''_{do}	[s]	-	0.0522	-
T''_d	[s]	0.041	0.0408	0,49
$X_q(\text{nienasycona})$	[j. w.]	-	2,090	-
$X_q(\text{nasycona})$	[j. w.]	-	1,740	-
X''_q	[j. w.]	0,383	0,380	0,78

LITERATURA

- [1] BAN D., ŽARKO D., MALJKOVIĆ Z., *The application of finite element method for more accurate calculation and analysis of turbogenerator parameters*, Electric Power Components and Systems, Volume 26, Issue 10, 1998, 1081-1093.
- [2] BERHAUSEN S., BOBOŃ A., *Polowa metoda wyznaczania parametrów i charakterystyk maszyny synchronicznej*, Zeszyty problemowe - Maszyny Elektryczne, nr 91, 2011, 43-49.
- [3] IEC 60034-3, Specific requirements for synchronous generators driven by steam turbines or combustion gas turbines.
- [4] IEC 60034-4, Methods for determining synchronous machine quantities from tests.
- [5] LATEK W., *Turbogenerator*, WNT, 1973, 153-180.

- [6] KISIELEWSKI P., ANTAL L., *Model polowo-obwodowy turbogenerators*, Prace Nauk. IMNiPE PWr, nr 59, SiM nr 26, 2006, 53–60.
- [7] KISIELWSKI P., ANTAL L., *Wyznaczanie parametrów turbogenerators z symulacji polowo-obwodowej*, XLII Międzynarodowe Sympozjum Maszyn Elektrycznych, Kraków 2006.
- [8] KISIELWSKI P., ANTAL L., *Zjawiska zachodzące w turbogenerators przy udarowym zwarciu symetrycznym*, Prace Nauk. IMNiPE PWr, nr 59, SiM nr 26, 2006.
- [9] THORNTON-JONES R., GODLIGHTLY I., GUTTERIDGE N., HUIZER C., NAVRATIL D., Review of generator and excitation system specification and test requirements to satisfy multiple international grid code standards, Power and Energy Society General Meeting, 2012 IEEE.
- [10] TUROWSKI J., *Obliczenia elektromagnetyczne maszyn i urządzeń elektrycznych*, Warszawa, WNT 1982, 143-165.

**IDENTIFICATION AND VERIFICATION OF THE TURBOGENERATOR
PARAMETERS DETERMINED FROM THE FIELD AND FIELD-CIRCUIT
SIMULATION**

Presented article shows the computation results of turbogenerator electromagnetic parameters by using finite element method. Two-dimensional field model of the turbogenerator was used during the simulations. Obtained results were compared with the parameters coming from the real machine for unsaturated state.

DFOC, sterowanie wektorowe,
silnik indukcyjny, polowo-zorientowane

Kamil KLIMKOWSKI*, Patryk KLIMKOWSKI**

PRZEGLĄD METOD STEROWANIA SILNIKAMI INDUKCYJNYMI - STRUKTURA BEZPOŚREDNIEGO STEROWANIA POŁOWO ZORIENTOWANEGO

W artykule przedstawiono metody sterowania układami napędowymi z silnikiem indukcyjnym z uwzględnieniem metod skalarnych oraz wektorowych. Omówiono zasadę działania metody polowo zorientowanej oraz przedstawiono wyniki symulacyjne pracującego napędu. Model został wykonany w środowisku *MATLAB/SimPowerSystems*.

1. WPROWADZENIE

1.1. METODY STEROWANIA SILNIKAMI INDUKCYJNYMI

W ostatnim 20-leciu obserwuje się dynamiczny rozwój zaawansowanych metod sterowania napędami elektrycznymi wykorzystującymi silniki prądu przemiennego i jest on związany głównie z bardzo dużym postępem w dziedzinie techniki mikroprocesorowej oraz energoelektroniki. Złożone napędy elektryczne, które pracują w szerokim zakresie prędkości obrotowej, zasilane są za pomocą przemienników częstotliwości. Układy regulacji i sterowania można podzielić na:

- układy zewnętrzne – sygnały sterujące decydujące o częstotliwości przemiennika częstotliwości przekazywane są przez urządzenia zewnętrzne, bez udziału silnika;

*Politechnika Wroclawska, Katedra Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych,
ul Smoluchowskiego 19, 50-372 Wrocław, kamil.klimkowski@pwr.edu.pl

**Politechnika Wroclawska, Katedra Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych,
Stowarzyszenie Naukowe Studentów SYNCHRON, pklimkowski1@gmail.com

- układy wewnętrzne – sygnały sterujące przekazywane są z udziałem silnika poprzez pomiar odpowiednich wielkości (np. strumienia magnetycznego lub prędkości kątowej).

Metody sterowania silnikami indukcyjnymi wynikają z ogólnej zależności określającej moment elektromagnetyczny silnika [1]:

$$m_e = k|x_{1e} \times x_{2e}| \text{sign}(x_{1e} \times x_{2e}) \quad (1)$$

W zależności od wyboru zmiennych stanu moment elektromagnetyczny można regulować na wiele sposobów. Wielkości wykorzystywane do sterowania momentem dobiera się ze względu na wymagania stawiane układom napędowym.

Analizując metody sterowania silników prądu przemiennego można wyróżnić dwa podstawowe rodzaje metod sterowania prędkością: skalarne oraz wektorowe. Sterowanie skalarne jest stosowane wszędzie tam, gdzie występują małe wymagania dotyczące dynamiki, ceny czy zaawansowania. Najczęściej stosowana jest metoda sterowania z wymuszeniem napięcia stojana, potocznie znana jako sterowanie $U/f=const$. Duże zainteresowanie, spowodowane głównie większymi możliwościami sterowania i regulacji, zdobywają tzw. wektorowe metody sterowania, dzięki którym napędy elektryczne z regulacją prędkości lub momentu stosowane są coraz powszechniej. Jedną z najbardziej znanych jest metoda polowo-zorientowana.

1.2.1. STRUKTURA BEZPOŚREDNIEGO STEROWANIA POLOWO-ZORIENTOWANEGO

Idea sterowania polowo – zorientowanego została opracowana przez Blaschke'ego na początku lat 70-tych [1]. Dzięki bardzo dobrym właściwościom dynamicznym oraz statycznym, sterowanie to jest bardzo często stosowane w układach napędowych. Pozwala na wydzielenie składowej czynnej wektora prądu stojana decydującej o momencie elektromagnetycznym oraz składowej biernej odpowiedzialnej za strumień. Dokonuje się tego na podstawie informacji o położeniu wektora strumienia skojarzonego wirnika. Głównym celem układu sterowania jest odpowiednie zadawanie wartości składowych prądu stojana, w taki sposób, aby uzyskiwane wartości momentu elektromagnetycznego i strumienia wirnika były jak najbardziej zbliżone do wymaganych. Na rysunku 1 został przedstawiony schemat strukturalny metody polowo-zorientowanej. Składowe wektora prądu stojana i_{sx} i i_{sy} potrzebne do sprzężeń zwrotnych są uzyskiwane po transformacji prądów fazowych uzwojeń stojana do układu α - β , a następnie do układu x - y według zależności (2):

oba tory sterowania składowymi wektora napięcia są ze sobą sprzężone. Zatem nie jest możliwe niezależne wymuszenie składowych i_{sx} i i_{sy} wektora prądu stojana. Konieczna jest autonomizacja tych równań poprzez człony odprzęgające [1]:

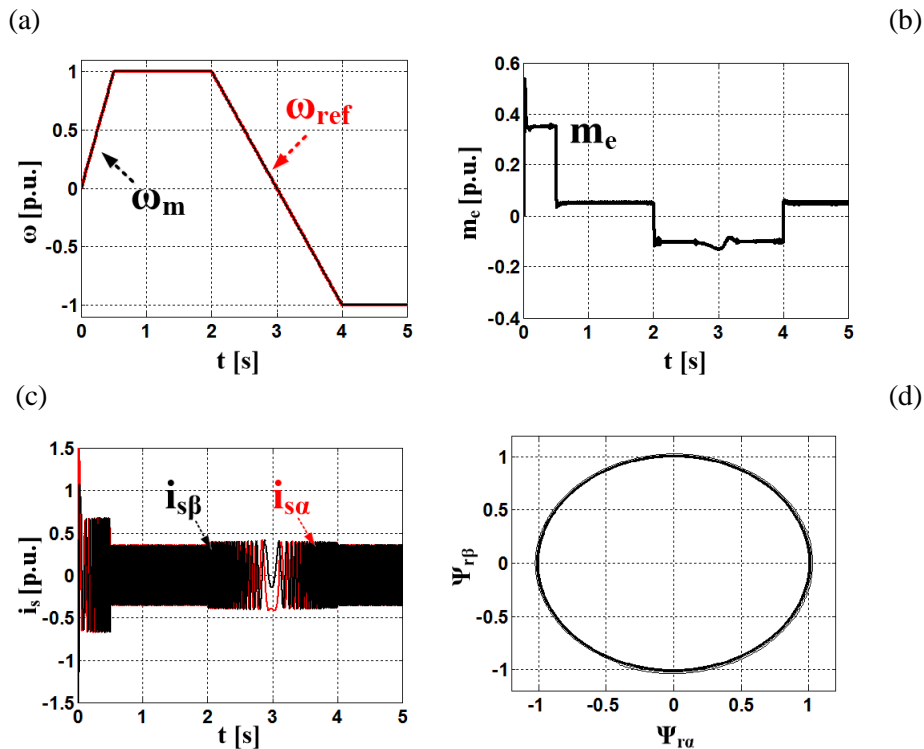
$$\begin{aligned} u_{sx} &= r_s(f_x + e_x) \\ u_{sy} &= r_s(f_y + e_y) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} e_x &= \omega_{s\psi} \sigma T_s \Omega_N i_{sy} - \frac{x_M}{x_r x_s} T_s \frac{d\Psi_r}{dt} \\ e_y &= - \left(\omega_{s\psi} \sigma T_s \Omega_w i_{sx} + \frac{x_M}{x_r x_s} \Omega_w T_s \Psi_r \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Wielkościami wejściowymi bloku autonomizującego są wartości mierzone składowych prądu stojana, moduł strumienia wirnika oraz prędkość kątowna silnika.

2. WYNIKI SYMULACYJNE

Badania symulacyjne zostały wykonane dla silnika indukcyjnego STG 80x4C o mocy znamionowej 1,1 kW. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki symulacji dla napędu pracującego z prędkością znamionową obciążonego połową znamionowego momentu mechanicznego.



Rys. 2. Przebiegi prędkości zadanej oraz mierzonej (a), momentu elektromagnetycznego (b), składowych prądu stojana (c) oraz hodograf wektora strumienia wirnika (d)

Fig. 2. Transience reference speed and measured (a), the electromagnetic torque (b), the stator current components (c) and the rotor flux vector transience

Napęd w ciągu 0,5 sekundy uzyskał zadaną prędkość, a w chwili $t=2,0$ sekundy nastąpił nawrót, który trwał 2,0 sekundy. Przy rozruchu oraz zmianie kierunku obrotów silnika zauważalny jest wzrost amplitudy prądów stojana oraz momentu elektromagnetycznego. Zastosowanie sterowania wektorowego pozwoliło na zwiększenie dynamiki napędu z silnikiem indukcyjnym, czego dowodem jest mały uchyb prędkości mechanicznej. Użycie regulatorów typu PI oraz zastosowanie odpowiednich nastaw umożliwiło wyeliminowanie przeregulowań oraz oscylacji zmiennych stanu.

3. PODSUMOWANIE

W artykule omówiono metody sterowania silnikami indukcyjnymi. Przedstawiono działanie struktury bezpośredniego sterowania polowo-zorientowanego dla silnika indukcyjnego. Zaprezentowane wyniki wskazują na poprawne wykonanie modelu symulacyjnego, a analiza uzyskanych przebiegów dowodzi, że metody wektorowe pozwalają na zwiększenie dynamiki układów napędowych z silnikami elektrycznymi, a tym samym wydajności pracy procesów technologicznych, w których są stosowane.

LITERATURA

- [1] ORŁOWSKA-KOWALSKA T., *Bezczujnikowe układy napędowe z silnikami indukcyjnymi*, Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, (2003).
- [2] DYBKOWSKI M., *Estymacja prędkości kątowej w złożonych układach napędowych – zagadnienia wybrane*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej nr 67, seria Monografie nr 20, Wrocław 2013.
- [3] KLIMKOWSKI K., DYBKOWSKI M., *Wpływ uszkodzenia wybranych czujników pomiarowych na pracę napędu sterowanego metodą wektorową*, ZKwE 2014, Poznań University of Technology, Academic Journals, Electrical Engineering nr 77, str. 185-192, 2014.
- [4] KLIMKOWSKI K., DYBKOWSKI M., *Analiza wektorowego układu napędowego z silnikiem indukcyjnym odpornego na uszkodzenia wybranych czujników pomiarowych*, ZKwE 2014, Poznań University of Technology, Academic Journals, Electrical Engineering nr 77, str. 193-200, 2014.

REVIEW OF CONTROL OF METHODS INDUCTION MOTORS - DIRECT FIELD ORIENTED CONTROL STRUCTURE

In the paper methods of controlling the induction motor drive including scalar and vector methods are presented. The principle of the field-oriented method was discussed and results of simulation of the working drive are included. The simulation tests carried out in Matlab/Sim Power System software.

Energia elektryczna, analiza bibliometryczna, analiza cytowań
literatura naukowa z zakresu energii elektrycznej

Olga KONATOWSKA-CISZEK*

ZAGADNIENIE ENERGII W POLSKIEJ LITERATURZE NAUKOWEJ Z 2013 ROKU – ANALIZA BIBLIOMETRYCZNA I ANALIZA CYTOWAŃ

Zbadano obecność artykułów naukowych dotyczących energii elektrycznej w wybranych polskich czasopismach naukowych z zakresu nauk technicznych. Sprawdzone autorów oraz podawane afiliacje. Dokonano próby klasyfikacji słów kluczowych charakteryzujących wybrane artykuły. Przeanalizowano wymieniane w pracach cytowania pod kątem zasięgu autorskiego, językowego i chronologicznego. Prześledzono także udział zakwalifikowanych do badania artykułów w ogólnościatowej komunikacji naukowej.

1. WSTĘP

Od wielu lat liczba publikacji naukowych rośnie. Wykorzystanie najnowszych technologii informacyjnych dodatkowo spotęgowało ten wzrost. Aktualnie żaden pracownik nauki nie jest w stanie dowiedzieć się o istnieniu, a tym bardziej dotrzeć do wszystkich publikacji z tej dziedziny nauki, którą uprawia. Dlatego, dla autorów, kluczowym zagadnieniem powinna być odpowiednia charakterystyka własnych publikacji – z wykorzystaniem słów kluczowych i abstraktów – bo dzięki temu ich prace będą miały szansę zostać zauważone i wykorzystane przez innych naukowców. Wychodząc z takiego założenia, w niniejszym artykule postanowiono sprawdzić jak ta sytuacja wygląda w przypadku artykułów poświęconych energii elektrycznej i ich udziale w komunikacji naukowej.

Energia elektryczna, jako zagadnienie znajdujące się w kręgu zainteresowań nauk ścisłych jest problematyką badań, których omówienie wykracza poza ramy tego

* Uniwersytet Wrocławski, Instytut Informatyki i Bibliotekoznawstwa, pl. Uniwersytecki 9/13, 50-137Wrocław.

artykułu. Ciekawym ich uzupełnieniem może być humanistyczne spojrzenie na energię elektryczną będącą przedmiotem publikacji naukowych.

W niniejszej pracy, artykuły poświęcone energii elektrycznej stanowią obiekt dociekań z punktu widzenia ich obecności w polskim czasopiśmiennictwie naukowym. Celem było zbadanie intensywności występowania tego zjawiska na gruncie polskim oraz jego ewentualnych powiązań z nauką światową.

Podstawą źródłową przeprowadzonych badań były artykuły naukowe opublikowane w renomowanych polskich periodykach naukowych¹, które wśród poruszanych zagadnień wymieniały właśnie energię elektryczną. Kryterium doboru materiału badawczego był przede wszystkim opis tytułu dokonany przez wydawcę wymieniający zakres tematyki poruszanej na łamach czasopisma. Spośród tak wyodrębnionych tytułów wybrane zostały jedynie te, uwzględnione na aktualnie obowiązującym wykazie czasopism naukowych nieposiadających współczynnika wpływu *Impact Factor* [2]. Listę tytułów objętych badaniem tworzą następujące pozycje²:

1. „Archives of Electrical Engineering” (ISSN 0004-0746; 10 punktów)
2. „AUTOMATYKA, ELEKTRYKA, ZAKŁÓCENIA” (ISSN 2082-4149; 3 punkty)
3. „elektro.info” (ISSN 1642-8722; 5 punktów)
4. „Energetyka, problemy energetyki i gospodarki paliwowo-energetycznej”³ (ISSN 0013-7294; 4 punkty)
5. „Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal” (ISSN 1429-6675; 6 punktów)
6. „Przegląd Elektrotechniczny” (ISSN 0033-2097; 10 punktów).
7. „Rynek Energii” (ISSN 1425-5960; 9 punktów)
8. „Wiadomości Elektrotechniczne : Miesięcznik Stowarzyszenia Elektryków Polskich”⁴ (ISSN 0043-5112; 5 punktów)

W przeprowadzonej analizie nie uwzględniono prac naukowych wydawanych przy współpracy instytutów czy wydziałów polskich uczelni wyższych z uwagi na ryzyko preferowania prac własnych pracowników. Jednym z podstawowych założeń badania

¹ Kryterium formalnym było miejsce wydania oraz instytucja sprawcza. Wybrane czasopisma ukazują się na terytorium Polski, a ich wydawcami są instytucje nie będące uczelniami czy szkołami wyższymi.

² Pozycje wymienione w kolejności alfabetycznej; w nawiasach podano numery ISSN czasopism pozwalające na ich jednoznaczną identyfikację oraz liczbę punktów, jakie otrzymuje autor artykułu za swoją publikację.

³ W tekście wykorzystano wersję skróconą tytułu: „Energetyka”.

⁴ W tekście wykorzystano wersję skróconą tytułu: „Wiadomości Elektrotechniczne”.

było przeprowadzenie analizy bibliometrycznej i analizy cytowań w oparciu o wskazane wyżej czasopisma naukowe.

Z uwagi na dynamikę rozwoju nauk ścisłych oraz ogrom materiału badawczego zdecydowano się na ograniczenie zasięgu chronologicznego badania do 2013 roku. Ogółem w zgromadzonym materiale znalazły się artykuły z 67 numerów wymienionych wyżej periodyków. W 2013 roku najwięcej numerów ukazało się w ramach „Przeglądu Elektrotechnicznego” – 15 (w tym trzy pierwsze zostały podzielone na dwa tomy oznaczone odpowiednio literami „a” i „b”), nieco mniej, bo 12 numerów wyszło w ramach „Energetyki”, „Wiadomości Elektrotechnicznych” oraz „elektro.info” (dwa numery łączone). Na kolejnych miejscach pod względem liczby numerów znalazły się dwumiesięcznik „Rynek Energii” oraz kwartalniki „Archives of Electrical Engineering”, „AUTOMATYKA, ELEKTRYKA, ZAKŁÓCENIA” oraz „Polityka Energetyczna”.

Ograniczony został również zasięg autorski. Zakwalifikowane zostały jedynie te artykuły, których przynajmniej jeden z autorów związany jest z Polską poprzez narodowość bądź podaną afiliację. Narodowość czy afiliacja innych autorów, chociaż uwzględniona w badaniu nie miała wpływu na zakwalifikowanie bądź odrzucenie publikacji. Bez znaczenia był także język publikacji.

Spośród wszystkich opublikowanych artykułów, spełniających wymienione wyżej kryteria wybrano jedynie te, poruszające zagadnienia energii elektrycznej. Z perspektywy humanistycznego spojrzenia na problem oraz z uwagi na praktykę nauki o informacji kwalifikacja artykułu do dalszych badań następowała na podstawie obecności terminu „energia elektryczna” w tytule, abstrakcie lub słowach kluczowych. Pracownicy usług informacyjnych i bibliotekarze, wykonujący zleconą kwerendę bądź opracowujący zestawienie tematyczne wykorzystują słowa w tytule i inne elementy aparatury pomocniczej do oceny przydatności publikacji do przeprowadzanej kwerendy.

Wszystkie artykuły naukowe spełniające wymienione wymagania zostały wprowadzone do bazy danych, w której każde czasopismo podzielono na numery, a w ramach numerów zawarto informacje o publikacji. Charakterystyka pozycji zawiera: opis bibliograficzny w drugim stopniu szczegółowości⁵, słowa kluczowe w języku polskim oraz liczbę cytowanych w pracy dokumentów. W osobnych plikach zgromadzono informacje o afiliacjach autorów, nazwiska wraz z inicjałem imienia

⁵ Opis bibliograficzny w drugim stopniu szczegółowości uwzględnia: tytuł z dodatkiem do tytułu; autorów bądź redaktorów; tytuł czasopisma; rok wydania; oznaczenie rocznika/tomu/numeru/zeszytu; numery stron.

autorów prac cytowanych, język cytowanych publikacji oraz rok ich wydania. Badaniem objęte zostały także słowa kluczowe, co umożliwiło uszeregowanie ich wg częstotliwości występowania, co przynajmniej częściowo stanowi odwzorowanie szczegółowej tematyki tekstów.

2. MATERIAŁ BADAWCZY

2.1 ARTYKUŁY

W celu dobrania materiału badawczego przeanalizowano 1 843 tytuły i streszczenia autorskie artykułów oraz ponad 5 000 słów kluczowych⁶. Szczegółowy rozkład liczby artykułów poświęconych energii elektrycznej, przypadających na jeden numer poszczególnych czasopism przedstawia Tabela 1, stanowiąca załącznik do tekstu.

Najwięcej artykułów ukazało się na łamach „Przeglądu Elektrotechnicznego” – 1 168 tekstów stanowi aż 63,37% wszystkich sprawdzonych artykułów naukowych. Spośród pozostałych czasopism, największy udział miały artykuły z „Energetyki” – 8,90% oraz „Wiadomości Elektrotechnicznych” – 8,19%. Natomiast najmniejszy przypadł czasopismu „AUTOMATYKA, ELEKTRYKA, ZAKŁÓCENIA” – 1,41%⁷.

Ze wszystkich publikacji zaledwie 71 zostało wprowadzonych do bazy i poddanych analizie. Artykuły te stanowią 3,85% ogółu opublikowanych w wymienionych czasopismach. Co ciekawe wynik ten został znacznie zaniżony przez „Archives of Electrical Engineering” (w czasopiśmie nie znaleziono ani jednego artykułu poświęconego energii elektrycznej) oraz „Przegląd Elektrotechniczny” (zaledwie 1,11% artykułów było poświęconych energii elektrycznej). W przypadku pozostałych czasopism udział artykułów poświęconych energii elektrycznej waha się od 19,23% w „AUTOMATYCE, ELEKTRYCE, ZAKŁÓCENIACH” do 6,62% w „Wiadomościach Elektrotechnicznych”.

Z racji tego, że materiał badawczy wyłoniony został na podstawie tytułów, zawartości abstraktów oraz podanych przez autorów słów kluczowych, z dużym prawdopodobieństwem należy stwierdzić, że nie stanowi pełnej reprezentacji tematyki z zakresu energii elektrycznej poruszanej na łamach wybranych czasopism. Jednak to właśnie te artykuły zostałyby zaproponowane użytkownikowi przez bibliotekarza czy

⁶ Liczba podana w przybliżeniu, wyliczona na podstawie średniej liczby słów kluczowych przypadających na jeden zakwalifikowany artykuł.

⁷ Procentowy udział pozostałych czasopism: „Rynek energii” – 6,40%, „Elektro.info” – 5,64%, „Polityka energetyczna” – 3,42%; „Archives of electrical engineering” – 2,66%.

pracownika informatorium, jako najbliższe postawionemu zapytaniu. Słuszne wydaje się także założenie, że pozostałe artykuły nie traktują zagadnienia energii elektrycznej jako centralnego stanowiącego punkt wyjścia do opisywanych zjawisk, dlatego w ich opisie nie położono akcentu na energię elektryczną.

2.1.1. AUTORZY I ICH AFILIACJE

Pierwszym z badanych elementów byli autorzy artykułów naukowych stanowiących materiał badawczy. Ogółem za 71 publikacji odpowiedzialnych było 98 osób⁸, z czego 11,22% przypadło w udziale kobietom. Natomiast odsetek obcokrajowców w ogólnej liczbie autorów wynosi zaledwie 5,10%.

Autorem największej liczby publikacji jest Józef Paska, wymieniony w opisach bibliograficznych aż ośmiu pozycji. Za ponad połowę mniej, trzy artykuły, odpowiedzialni są: Mariusz Kłos oraz Piotr Marchel. Dwie publikacje ma na swoim koncie 9 autorów. Pozostali występują tylko jeden raz. Nazwiska wszystkich, w kolejności alfabetycznej, zamieszczone zostały w Tabeli 2. Dodatkowo pogrubioną czcionką wyróżniono wszystkie autorki.

Tabela 2. Autorzy wraz z liczbą opublikowanych artykułów
Table 2. The authors with number of published articles

Liczba artykułów	Nazwisko i imię autora
8	Paska Józef
3	Kłos Mariusz, Marchel Piotr
2	Badyda Krzysztof, Kuczyński Karol, Malko Jacek, Michalski Łukasz, Rosłaniec Łukasz, Sroczan Eugeniusz, Surma Tomasz, Szczerbowski Radosław, Szkutnik Jerzy
1	Babś Adam, Bałuka Grzegorz, Bartnik Ryszard, Bątkiewicz-Pantula Marta , Bielecki Sławomir, Blintsov Aleksander V., Blintsov Volodymyr S., Borkowski Piotr, Borowik Lech, Borucki Sebastian, Bukowski Przemysław, Butyn Zbigniew, Ceran Bartosz, Chmielowiec Krzysztof, Cichoń Andrzej, Czapp Stanisław, Dams Bogdan, Dołęga Waldemar,

⁸ Liczba ta obejmuje tylko różne nazwiska. Każda osoba, niezależnie od liczby napisanych artykułów, policzona została tylko raz. Ogółem, w opisach bibliograficznych pojawiło się 120 autorów.

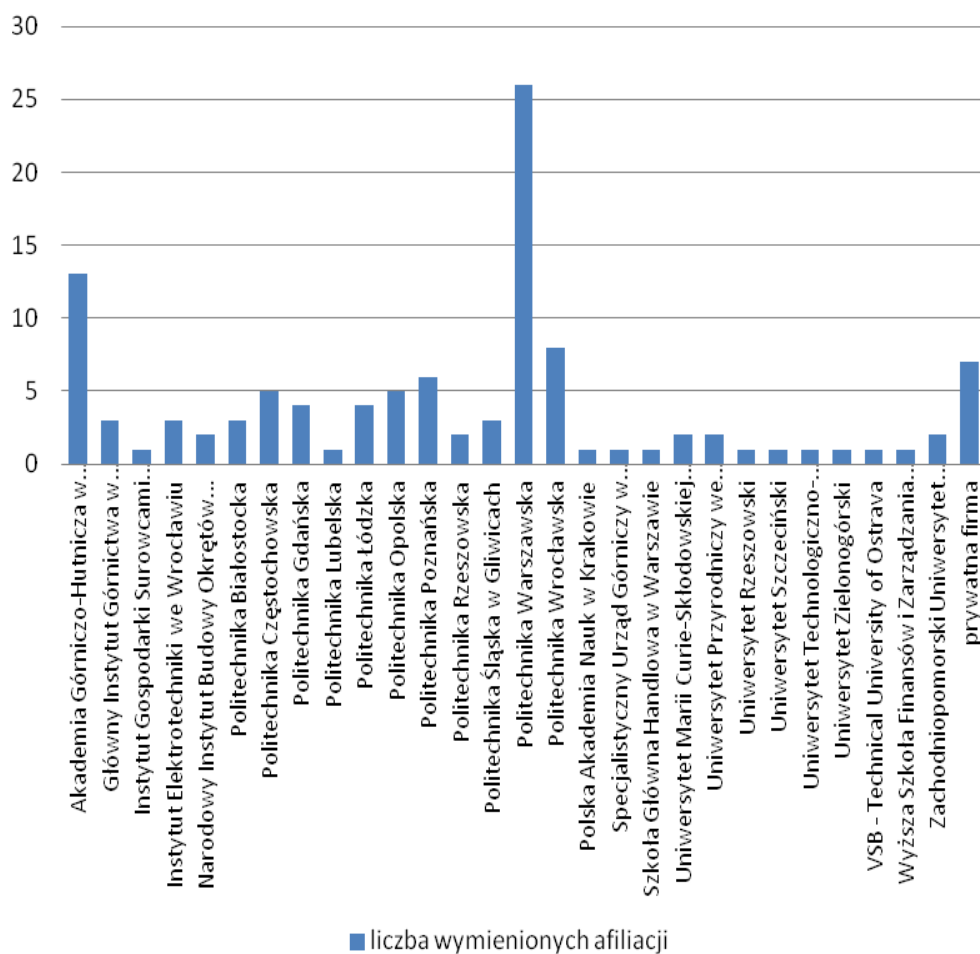
	<p>Dryjańska Aleksandra, Dyjakon Arkadiusz, Dzikuć Maciej, Filipek Piotr, Firlit Andrzej, Frączek Paweł, Gawlak Anna, Głowacki Franciszek, Goño Miroslava, Goño Radomir, Grzybowski Józef, Hanzelka Zbigniew, Hausner Joanna, Herlender Kazimierz, Hołdyński Grzegorz, Iwanicki Marek, Janas Katarzyna, Jaskólski Marcin, Jędrysik Eugeniusz, Jędrzejczyk Jarosław, Kaczmarek Michał, Kaczmarek Radomir, Kamiński Jacek, Kamrat Waldemar, Kaproń Henryk, Karolewski Bogusław, Kiernicki Jacek, Klajn Antoni, Klempka Ryszard, Kłosok-Bazan Iwona, Kocot Henryk, Kordos Damian, Koseda, Henryk, Krakowski Tomasz, Krykowski Krzysztof, Krzemień Joanna, Kudelko Mariusz, Kurkowski Marek, Kuta Jerzy, Kwaśniewski Jerzy, Kyncl Miroslav, Lejdy Brunon, Maciejewski Zygmunt, Milewski Jarosław, Mirowski Tomasz, Musiał Edward, Okulski Tadeusz, Oziemski Andrzej, Pawlak Karol, Pawłęga Andrzej, Pawłowski Marek, Primus Arkadiusz, Sułkowski Marcin, Suska-Szczerbicka Magdalena, Szablowski Łukasz, Szmaja Aleksandra, Szubzda Bronisław, Szurlej Adam, Szymczak Piotr, Tkaczyk Jacek, Tomczyk Piotr, Weiss Elżbieta, Widerski Rafał, Wilczyński Artur, Worek Cezary, Wroński Adam, Zaporowski Bolesław</p>
--	--

Ogółem 12 najaktywniejszych autorów odpowiada za 47,89% wszystkich artykułów naukowych stanowiących przedmiot analizy. Ciekawe jest również to, że tylko 7 z nich posiada publikacje bez współautorów⁹. W przypadku Karola Kuczyńskiego, Jacka Malko, Eugeniusza Srocza oraz Jerzego Szkutnika są to wyłącznie prace sygnowane tylko jednym nazwiskiem. Po jednym artykule bez współautorów opublikowali także Józef Paska, Krzysztof Badyda oraz Radosław Szczerbowski oraz 30 innych autorów, którzy pojawiają się tylko raz. Łącznie artykułów posiadających tylko jednego autora jest 41, co daje 57,75% ogólnej liczby. Zostały one napisane przez 37,76% wszystkich autorów.

Poza nazwiskami autorów zgromadzono dane dotyczące instytucji, z którymi byli związani w momencie składania tekstu w redakcji. Łącznie wyróżniono 38 instytucji, wśród których znalazły się zarówno uczelnie państwowe i szkoły wyższe (23), instytuty badawcze (8), jak i firmy prywatne (7). Najczęściej wymienianą w publikacjach instytucją była Politechnika Warszawska – 26 razy. Drugie miejsce, z dwukrotnie mniejszą liczbą zajęła Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie – wymieniona łącznie

⁹ Wprawdzie w przypadku nauk technicznych zdecydowanie dominują publikacje wieloautorskie, co jednak nie znajduje potwierdzenia w badanym materiale.

13 razy. Na trzecim miejscu z wynikiem 8 afiliacji pojawiła się Politechnika Wroclawska. Następnie Politechnika Poznańska (6), Politechniki: Opolska i Częstochowska (po 5). Czterokrotnie wymieniono 2 instytucje, trzykrotnie – cztery, zaś dwukrotnie aż osiem różnych uczelni, instytutów i firm. Wszystkie afiliacje, wraz z przypisaną im liczbą zostały umieszczone na Rys. 1.



Rys. 1. Instytucje z afiliacji z informacją ile razy się pojawiają

Fig. 1: The institutions of affiliation with the information how many times they appear

Analizując zasięg geograficzny podanych afiliacji widać, że na pierwszym miejscu pozostaje Warszawa, następnie Kraków, potem Wrocław. Powodem takiego

rozkładu jest fakt, że są to miasta w których działają najprężniejsze i najlepiej finansowane ośrodki badawcze w Polsce.

Sprawdzając afiliacje występujące przy artykułach opublikowanych w czasopismach naukowych nie wyłania się żadna zależność między miejscem wydawania periodyku a środowiskiem naukowym i zawodowym autorów. Jest to, z dużym prawdopodobieństwem, efekt wyboru artykułów spełniających kryteria stawiane przez redaktorów naukowych oraz recenzentów.

2.1.2. SŁOWA KLUCZOWE

Ostatnim z analizowanych elementów prac cytujących były słowa kluczowe. Do ich tworzenia wykorzystywane są wyrazy lub zlepki wyrazów dowolnego języka naturalnego, niepołączone ze sobą żadną gramatyką. Z tej dowolności, pozwalającej na niemal nieograniczone charakteryzowanie tekstów, chętnie korzystają autorzy.

To stosowanie w opisie publikacji słów języka naturalnego powoduje ogromną różnorodność słów kluczowych, utrudniając tym samym wszelkie próby ich klasyfikacji.

Na początku należy zaznaczyć, że artykuły opublikowane na łamach „elektro.info” nie posiadają słów kluczowych. W związku z tym, w tej części analizy podstawę będzie stanowiło 66 artykułów z łączną liczbą 244 słów kluczowych, co średnio daje prawie 4 słowa kluczowe na jeden artykuł (dokładnie 3,7).

Mimo dużej różnorodności wymienianych słów kluczowych, są słowa pojawiające się więcej niż jeden raz. Ogółem aż 23 słowa kluczowe występują co najmniej dwukrotnie. W tej liczbie 11 słów kluczowych zostało zdublowanych¹⁰, 6 podano po trzy razy¹¹, czterokrotnie powtórzyły się 4 kolejne słowa¹² i po jeden raz dane słowo/połączenie podano 6 i 11 razy¹³.

Podjęto próbę przeprowadzenia klasyfikacji wszystkich słów kluczowych. Zgrupowano je wokół 11 tematów o różnym stopniu szczegółowości i różnej liczbie wypełniających je elementów. W obrębie tematu „źródła” pojawiają się takie słowa

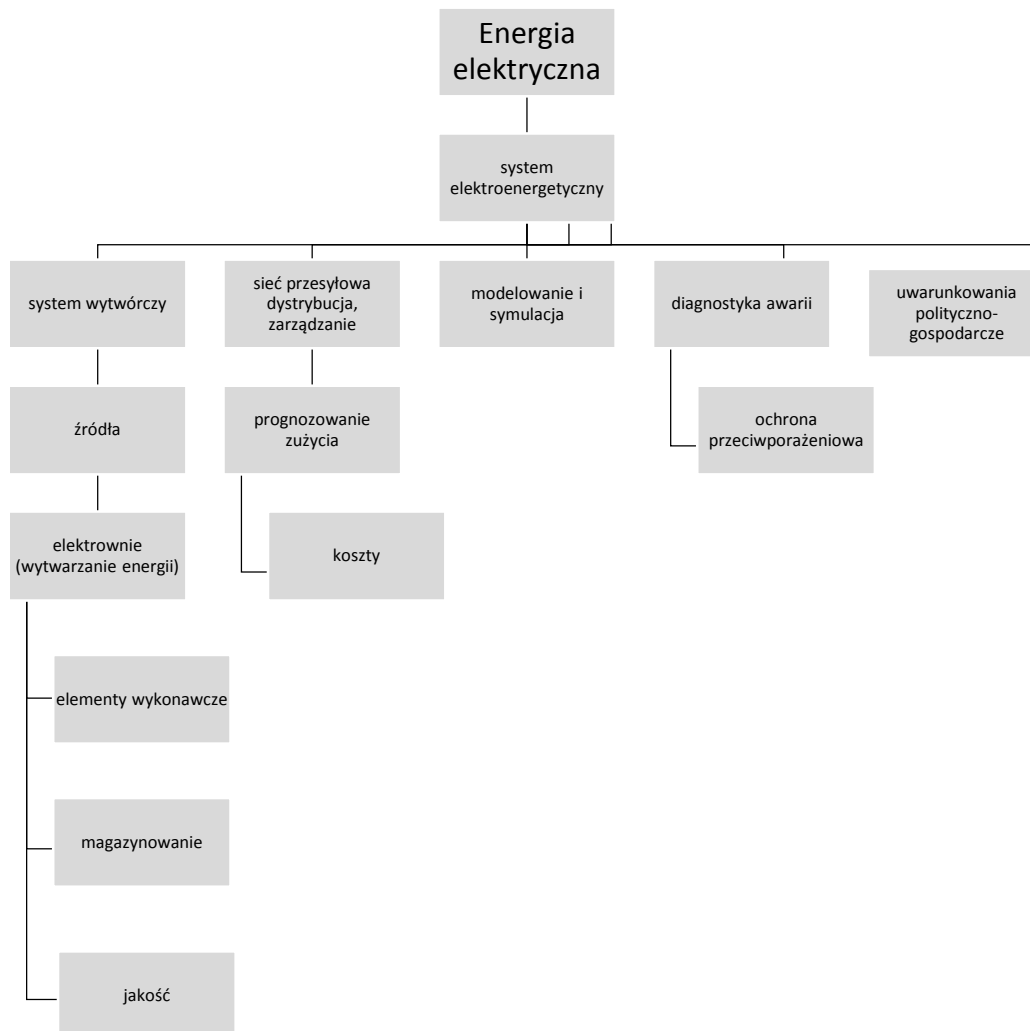
¹⁰ Są to, w kolejności alfabetycznej: gaz ziemny, instalacje elektryczne, optymalizacja, rynek energii, straty energii elektrycznej, superkondensatory, symulacja, usługi systemowe, węgiel kamienny, wyłączniki różnicowoprądowe, zasobniki energii elektrycznej.

¹¹ Są to, w kolejności alfabetycznej: elektroenergetyka, generacja rozproszona, jakość energii elektrycznej, Kogeneracja, ochrona przeciwporażeniowa.

¹² Są to, w kolejności alfabetycznej: efektywność energetyczna, polityka energetyczna, system elektroenergetyczny, zasobniki energii.

¹³ Energia elektryczna – 6 razy; odnawialne źródła energii – 11 razy.

kluczowe jak biogaz, niekonwencjonalne źródła energii i węgiel brunatny. W ramach „elektrowni”, przykładowymi słowami kluczowymi są: elektrownia falowa czy mała elektrownia wodna, a w „elementach wykonawczych” - blok energetyczny i silniki gazowe. W grupie odnoszącej się do „magazynowania” znalazły się m.in. technologie bateryjne i zasobniki energii, zaś w odniesieniu do „jakości” wymieniano chociażby certyfikację energetyczną i wskaźniki jakości. Wokół zagadnienia „sieć przesyłowa, dystrybucja, zarządzanie” zgrupowano np.: krajowy system elektroenergetyczny, sieci rozdzielcze oraz zarządzanie energią, natomiast wokół „prognozowania zużycia” podano profil odbiorcy czy wspomaganie decyzji. Kolejnymi tematami, do których przypisane zostały słowa kluczowe są: „koszty” (tu m.in. analiza ryzyka, korzyści i koszty), „modelowanie i symulacja” (tu m.in. model matematyczny i sztuczne sieci neuronowe), „diagnostyka awarii” (tu m.in. lokalizacja zaburzenia, niezawodność zasilania) oraz „ochrona przeciwporażeniowa” (tu m.in. audyt instalacji oświetleniowej, separacja ochronna). Ostatnim tematem związanym bezpośrednio z energią elektryczną są „uwarunkowania polityczno gospodarcze”, w ramach których znalazły się takie zagadnienia jak giełdy energii czy handel. Ponadto wyodrębniono „pojęcia ogólne” (stopień ogólności nie pozwolił na przypisanie do żadnego z tematów) oraz „pozostałe zagadnienia” (odnoszące się do innych zagadnień niż energia elektryczna, dla każdego należałoby stworzyć nową klasę). Poniżej przedstawiono propozycję schematu klasyfikacji wymienionych wyżej tematów (Rys. 2), szczegółowy rozkład słów kluczowych znajduje się w Załączniku 2 do niniejszego artykułu.



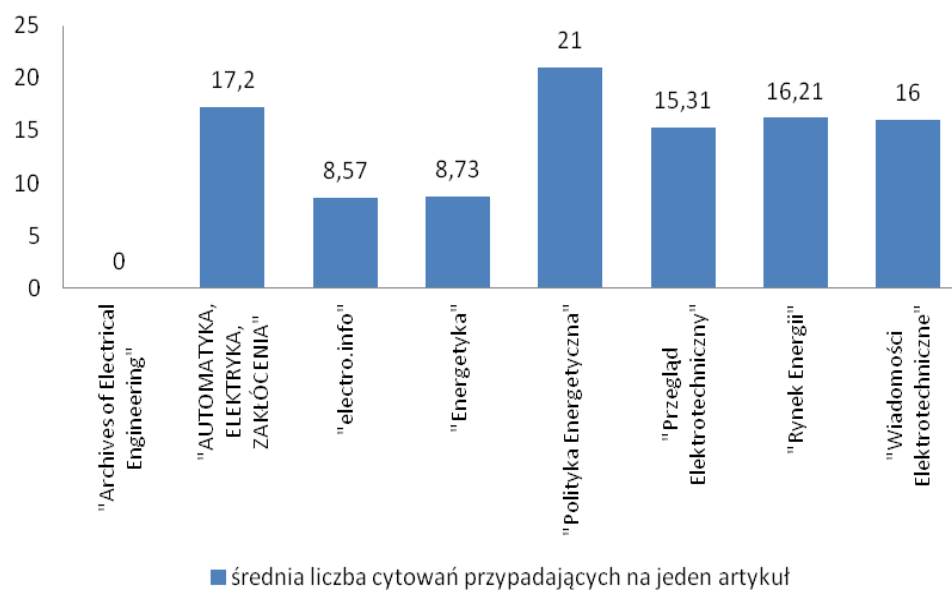
Rys. 2. Schemat klasyfikacji słów kluczowych
 Fig. 2. The keywords classification scheme

2.2. PRACE CYTOWANE

Analizując cytowania pojawiające się w pracach objętych badaniem wzięto pod uwagę wszystkie prace zacytowane w artykułach naukowych. Wypisano wszystkich

podanych w bibliografiach autorów oraz rok wydania danej pozycji bibliograficznej. Dodatkowo zaznaczono język publikacji ustalony na podstawie brzmienia tytułu oraz, w razie wątpliwości, materiałów w ramach których została wydana.

Ogółem analizie poddano 1 019 prac zacytowanych we wspomnianych wcześniej artykułach naukowych. Średnio na jedną pracę przypada 14 pozycji bibliograficznych (dokładnie 14,35), do których odesłania pojawiły się w tekście publikacji. Największą liczbę prac cytowanych ma artykuł autorstwa Zbigniewa Hanzelki [i in.]¹⁴ opublikowany w „Przeglądzie Elektrotechnicznym”, w którym powołano się na 58 publikacji. Czasopismem z najwyższą średnią liczbą cytowań przypadających na jeden artykuł jest „Polityka Energetyczna” – 21 publikacji, które autorzy wymieniają w swoim artykule. Natomiast najmniej, bo średnio mniej niż 9 publikacji (dokładnie 8,57) tworzyło bibliografię artykułów zamieszczanych w „electro.info”. dane dotyczące pozostałych tytułów czasopism zamieszczono na Rys. 3.



Rys. 3. Średnia liczba cytowań podanych w jednym artykule, z podziałem na czasopisma
Fig. 3. The average number of citations given in one article, divided into magazines

¹⁴ Hanzelka Z., Chmielowiec K., Firlit A., Świątek B., *New challenges for voltage quality studies*. „Przegląd Elektrotechniczny” 2013, nr 6, s. 17-25.

Poza publikacjami naukowymi, wśród prac cytowanych znalazło się 321 innych, w tym: aktów prawnych (ustawy, rozporządzenia), norm (zarówno krajowych jak i zagranicznych), sprawozdań i raportów (z działalności firm i instytucji, przeprowadzonych ekspertyz, raportów handlowych itp.). Cytowane były także dane ze stron internetowych, 26 razy podano jedynie adres strony WWW bez odwołania do konkretnego jej fragmentu czy nazwy podstrony. W ogólnej liczbie zmieściły się także, wymienione 1 raz: „materiały własne autorów” oraz „praca zbiorowa”.

2.2.1. AUTORZY

W osobnym indeksie zgrupowano nazwiska oraz inicjały imienia autorów wszystkich, podanych w bibliografiach załącznikowych przebadanych artykułów z 2013 roku, prac wraz z liczbą informującą ile razy pojawia się dany autor. Ułożona alfabetycznie lista liczy 853 nazwiska, z czego 154 występują co najmniej dwukrotnie. Największą liczbą cytowań może się poszczycić Józef Paska – aż 46 razy powoływano się na prace jego autorstwa. Dużo mniej cytowań – 16 - uzyskał Jacek Malko, a tuż za nim z 14 cytowaniami Marcin Kłos. Wymienione osoby są jedynymi, które przekroczyły liczbę 10 cytowań, poniżej tej granicy znaleźli się: J. Kotowicz (10), E.M. Sroczan (9), po 7 cytowań mieli A. Gawlak, J. Kamiński, Z. Maciejewski, T. Surma oraz J. Szkutnik. Jedno cytowanie mniej mieli: M. Kaczmarek, M. Kudełko, E. Musiał oraz W. Xu. Ponadto sześciu kolejnych autorów pojawiło się 5 razy na liście osób odpowiedzialny za prace cytowane, nazwiska dwudziestu kolejnych zostały powtórzone 4 razy, trzydzieści osób widnieje w indeksie 3 razy zaś aż 84 osoby po 2 razy. Pozostałe 703 osoby zdobyły tylko po jednym cytowaniu. Stosunek polskich autorów prac cytowanych do autorów zagranicznych wynosi 358:495. Jest on uzależniony w dużej mierze od języka publikacji, gdy artykuł jest w języku polskim dominują cytowania polskojęzycznych prac, natomiast jeśli jest w języku angielskim – występują wyłącznie cytowania prac obcojęzycznych.

W ogólnej liczbie cytowanych prac jest 6 publikacji, w opisach których nie podano autorów.

2.2.2. JĘZYK CYTOWANEJ POZYCJI

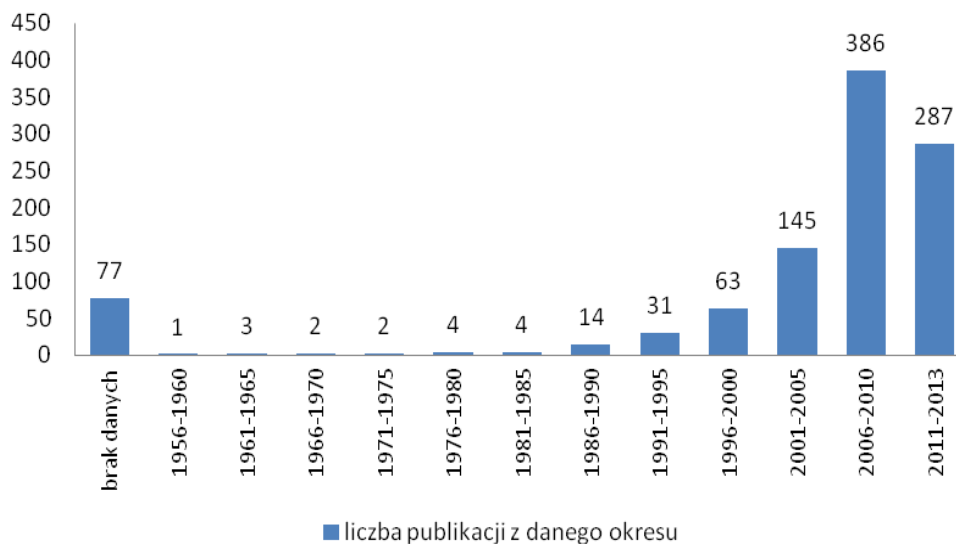
Niezależnie od typu dokumentu, zacytowanego w artykułach naukowych stanowiących materiał źródłowy do badań, ustalono jego język. Łącznie wyróżniono 6 języków, w jakich napisane były cytowane prace. Najczęściej, bo aż 576 razy

powoływano się na publikacje w języku polskim, drugi w kolejności jest język angielski 395 cytowań. Znacznie mniej mają pozostałe języki: niemiecki (22), francuski (7), rosyjski (6) i czeski (5). Warto zauważyć, że w przypadku dokumentów anglojęzycznych, ich zdecydowana większość pojawia się w artykułach naukowych opublikowanych właśnie w tym języku. W ani jednym (z branych pod uwagę 71) artykule naukowym anglojęzycznym nie powołano się na polskojęzyczną publikację. Natomiast w przypadku publikacji napisanych po polsku dominują materiały właśnie w tym języku. Powołania na prace czeskie i rosyjskie wystąpiły w przypadku, gdy współautorzy związani byli właśnie z tym obszarem językowym, podając afiliacje instytucji zagranicznych.

2.2.3. ROK WYDANIA

W badaniu uwzględniono także zasięg chronologiczny cytowanych publikacji, by określić czy autorzy powołują się jedynie na najnowsze piśmiennictwo, czy korzystają także z dorobku poprzedniego wieku.

Przedział czasowy, jaki reprezentują cytowane pozycje obejmuje ponad 50 lat, co jest o tyle ciekawe, że przyjmuje się, że czas starzenia się piśmiennictwa wynosi w naukach humanistycznych 50 lat, natomiast w naukach ścisłych tylko 30 lat. Dlatego też, można z dużym prawdopodobieństwem, przyjąć, że w przypadku starszych powołań opisywano historię zjawiska, porównywano stan badań dawniej i dziś. Najstarsza cytowana praca wydana została w 1956 roku, zaś najnowsze pochodziły z 2013 roku. Na Rys. 4 przedstawiono jak kształtowało się cytowanie piśmiennictwa w pięcioletnich przedziałach czasowych.



Rys. 4. Liczba cytowanych publikacji w poszczególnych przedziałach czasowych
 Fig.4. Number of cited publications in different time intervals

Widoczna jest tendencja do powoływania się na możliwie najnowsze piśmiennictwo, zdecydowany wzrost liczby cytowań przypada na prace wydane po 2006 roku. Szczególnie lata 2009-2012 kiedy to liczba cytowań dla każdego roku przekroczyła 100. Najwięcej cytowanych prac wydano w 2010 roku – 132 publikacje, stanowiące 12,95% całości. Nieco mniejszy udział przypadł publikacjom z 2011 roku – 12,07%, 2012 roku – 11,87% oraz 2009 – 10,70%. Te cztery lata uzyskały łącznie prawie połowę całej liczby – 47,59%. Tak duża koncentracja świadczy o jakości wydawanych wówczas prac oraz dążeniu do wykorzystywania możliwie najnowszej literatury i powoływanie się na możliwie najbardziej aktualne dane. Szybkość komunikacji naukowej w przypadku nauk ścisłych potwierdza również obecność w bibliografiach pozycji wydanych w tym samym roku co praca cytująca – aż 47 razy powoływano się na nie, czyli mniej więcej co druga praca zacytowała coś, co ukazało się w 2013 roku.

2.3 CYTOWANIA

Po sprawdzeniu, z jakich źródeł korzystają polscy naukowcy w swoich publikacjach sprawdzono czy publikacje stanowiące podstawę analizy zaczęły aktywnie uczestniczyć w piśmienniczej komunikacji naukowej.

Z uwagi na fakt, że żadne z przebadanych czasopism nie jest aktualnie indeksowane w bazie Web of Science tworzonej przez Thomson Reuters¹⁵ niemożliwe było sprawdzenie, czy wybrane do badania publikacje były cytowane w innych czasopismach z bazy Web of Science.

Zamiast tego wykorzystano bazę BazTech rejestrującą *artykuły z polskich czasopism z zakresu nauk technicznych oraz (w wyborze) nauk ścisłych i ochrony środowiska* [1]. Dzięki zamieszczaniu przy opisach artykułów bibliografii załącznikowych możliwe staje się sprawdzenie czy dana praca była już cytowana.

W ten sposób sprawdzono wszystkie z 71 artykułów. Łącznie, chociaż od daty publikacji niektórych artykułów nie minął jeszcze rok, zacytowano już 12 publikacji, co stanowi 16,90% wszystkich przebadanych. Jedynie w dwóch przypadkach było to więcej niż jedno cytowanie. Do tej pory w polskim piśmiennictwie naukowym 4 razy (2 w 2013 i 2 w 2014 roku) autor powołał na artykuł Macieja Dzikucia *Zastosowanie analizy cyklu życia (LCA) do oceny wpływu wytwarzania energii elektrycznej na środowisko* („Przegląd Elektrotechniczny” 2013, R. 89, nr 4, s. 33-35)¹⁶. Natomiast dwa razy pojawił się w bibliografii załącznikowej artykuł Krzysztofa Badydy *Energetyka wiatrowa. Aktualne trendy rozwoju w Polsce* opublikowany na łamach czasopisma „Energetyka” (nr 5, s. 393-398)¹⁷.

Analizując czasopisma, w których ukazały się prace artykuły cytujące należy stwierdzić, że stale napotkać można te same periodyki, z których pochodził materiał źródłowy przeprowadzonych badań. Jedynie w przypadku „Wiadomości Elektrotechnicznych” wszystkie prace cytujące były w tym samym czasopiśmie (5 przypadków), co prace cytowane. Ogólnie najczęściej publikacji cytowanych, poza czasopismem „Wiadomości Elektrotechniczne” miał „Rynek Energii” (4 artykuły). Z pozostałych tytułów bez cytowań pozostały publikacje, które ukazały się na łamach „elektro.info”.

¹⁵ W latach 2007-2011 roku w Journal Citation Reports znajdowało się czasopismo „Przegląd Elektrotechniczny”, jednak spadło z listy, a tym samym już nie jest indeksowane w bazie WoS.

¹⁶ Wszystkie cytowania są autocytowaniami.

¹⁷ Oba cytowania są autocytowaniami. Sytuacja autocytowania pojawia się jeszcze jeden raz w przypadku artykułu Aleksandry Dryjańskiej *Analiza sprawności elektrowni na parametry nadkrytyczne z cyrkulacyjnym kotłem fluidalnym typu oxy*. „Rynek Energii” 2013, nr 1, s. 11-15.

3. PODSUMOWANIE

Opisana w artykule analiza zawartości wybranych polskich czasopism naukowych poruszających zagadnienie energii elektrycznej pozwala stwierdzić, że jest to tematyka stale obecna, nawet jeżeli nie dominuje w żadnym z czasopism.

Wszystkie przebadane artykuły spełniają kryterium naukowości zarówno pod względem językowym, jak i obecnym aparatem pomocniczym jakim jest chociażby bibliografia załącznikowa¹⁸. Za niemal połowę artykułów odpowiedzialne są zespoły autorów, czasem związanych z różnymi instytucjami, co świadczy o istnieniu zespołów badawczych na poziomie ponadinstytucjonalnym.

Mimo, że zdecydowana większość artykułów napisana została w języku polskim, to jednak odwoływała się także do osiągnięć nauki światowej, przywołując artykuły zagranicznych twórców, co jednoznacznie informuje, o tym, że polska nauka nie funkcjonuje w oderwaniu od osiągnięć nauki światowej, ale często i chętnie z nich korzysta.

Co ciekawe, porównanie instytucji podawanych przez autorów jako afiliacje z rankingami uczelni wyższych pozwoliło stwierdzić, że w ścisłych czołówkach znalazły się te same uczelnie, z których pochodzą najaktywniejsi publikacyjnie autorzy. Wg rankingu stworzonego przez gazetę „Rzeczpospolita” za rok 2013, wśród uczelni akademickich 4 miejsce zajęła Politechnika Warszawska, tuż za nią Akademia Górniczo-Hutnicza i Politechnika Wrocławska, w przypadku uczelni technicznych pierwsze miejsce przypadło Politechnice Warszawskiej [4]¹⁹. Podobnie wygląda sytuacja w rankingu sporządzonym przez gazetę „Wprost”, gdzie pierwsze trzy miejsca jako szkoły wyższe, których absolwenci są najbardziej poszukiwani przez pracodawców, wymieniono: Politechnikę Warszawską, Politechnikę Wrocławską i Akademię Górniczo-Hutniczą [3].

¹⁸ Kryteria naukowości, patrz: E. Kulczycki, *Definicja artykułu naukowego – będą problemy*. Dostęp online: http://ekulczycki.pl/warsztat_badacza/definicja-artykulu-naukowego-beda-problemy/; K. Hyland, *Authority and invisibility: authorial identity in academic writing*. „Journal of Pragmatics” 2002, nr 34, s. 1091-1112.

¹⁹ Dokładnie tak samo prezentują się wyniki rankingu stworzonego przez tygodnik „Polityka”, zob. też: *Ranking naukowy polskich uczelni akademickich*. Dostęp online: http://www.polityka.pl/nauka/_resource/multimedia/20034494; oraz *Ranking polskich uczelni technicznych według indeksu Hirscha h*. Dostęp online: http://www.polityka.pl/nauka/_resource/multimedia/20034495. *Wyniki Rankingu Szkół Wyższych at a glance 2013*. Dostęp online: http://www.perspektywy.pl/portal/images/rsw2013/wyniki_rankingu_w_s_krocie.pdf

Są to także, te uczelnie, które w 40. konkursie grantów badawczych²⁰ zorganizowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w 2010 roku miały najwięcej rozpatrzonych pozytywnie wniosków, co ma bezpośrednie przełożenie na poziom dofinansowania prowadzonych badań, a tym samym ciąży na nich obowiązek opublikowania ich wyników. Jest to o tyle ważne dla niniejszych badań, że zdecydowana większość finansowanych projektów skończyła się właśnie w 2013 roku. Przykładem może być Akademia Górniczo-Hutnicza (55 sfinansowanych wniosków), Politechnika Warszawska (48), oraz Politechnika Wrocławska (39), Politechnika Poznańska (23)²¹.

Przeprowadzone badania stanowią zaledwie przyczynek do przeprowadzenia dalszych, które wykonane z większej perspektywy czasowej czy bez ograniczenia źródeł, z których zaczerpnięto materiał badawczy mogłyby dostarczyć kompleksowej informacji na temat obecności literatury naukowej odnoszącej się do energii elektrycznej w polskim piśmiennictwie naukowym i jej związków z innymi dziedzinami nauki. Pozwoliłoby to także wyodrębnić naukowców najaktywniejszych publikacyjnie i sprawdzić wpływ ich twórczości na pozostałych autorów i ustalić istniejące powiązania, niewidoczne w przypadku przebadanego, z konieczności ograniczonego, materiału badawczego.

Artykuł ten pokazuje również problem w takim konstruowaniu abstraktów oraz wyborze słów kluczowych, które pozwolą zainteresowanym daną tematyką dotrzeć do publikacji zwiększając jej zasięg i sprawiając, że ma rzeczywisty wpływ na naukę.

LITERATURA

[1] <http://baztech.icm.edu.pl/index.php/pl/>

[2] Komunikat Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 17 grudnia 2013 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych wraz z liczbą punktów przyznawanych za publikacje w tych czasopismach : Załącznik. Część B wykazu czasopism naukowych : czasopisma naukowe nieposiadające współczynnika wpływu Impact Factor (IF) wraz z liczbą punktów przyznawanych za publikację w tych czasopismach. Dostęp online: http://www.nauka.gov.pl/g2/oryginal/2013_12/49be0aea7facc022cd3db1fde4ff92be.pdf

[3] <http://szkoly.wprost.pl/>

²⁰ Postępowanie konkursowe stanowi postawę wyłonienia projektów badawczych własnych (w tym promotorskich i habilitacyjnych), które zostaną sfinansowane z budżetu państwa. Szczegółowe zasady zob. *Ustawa z dnia 30 kwietnia 2010 r. o zasadach finansowania nauki* (Dz. U. 210, nr 96, poz. 615).

²¹ Baza danych zawierająca Wnioski zakwalifikowane do finansowania w poprzednich konkursach projektów badawczych. <https://osf.opi.org.pl/app/aawi/wynikiKonkursow.do> [tu: wyniki 40. Konkursu]

- [4] Wyniki Rankingu Szkół Wyższych at a glance 2013. Dostęp online: http://www.perspektywy.pl/porta1/images/rsw2013/wyniki_rankingu_w_skrocie.pdf

**ENERGY ISSUE IN THE SCIENTIFIC POLISH LITERATURE OF THE YEAR 2013-
BIBLIOMETRIC AND CITATION ANALYSIS**

Presence of scientific papers on electricity in selected Polish scientific journals in the field of technical sciences was examined. Authors and served affiliations were checked. There have been attempts to classify keywords characterizing the selected articles. The citations mentioned in terms of extent of copyright, language, and chronological in the work were analyzed. Participation of the enrolled articles in the worldwide scientific communication was investigated.

Tabela 1. Liczba artykułów, w tym poświęconych energii elektrycznej, w poszczególnych numerach analizowanych czasopism
 Table 1. The number of articles, including devoted to the energy in particular numbers of the analyzed journals

„Przegląd Elektrotechniczny”			„Energetyka”			„Wiadomości Elektrotechniczne”			„elektro.info”			„Rynek Energii”			„Archives of Electrical Engineering”			„Polityka Energetyczna”			„AUTOMATYKA, ELEKTRYKA, ZAKŁÓCENIA”		
numer	l.a.	dot. e.e.	numer	l.a.	dot. e.e.	numer	l.a.	dot. e.e.	numer	l.a.	dot. e.e.	numer	l.a.	dot. e.e.	numer	l.a.	dot. e.e.	numer	l.a.	dot. e.e.	numer	l.a.	dot. e.e.
1a	70	1	1	13	0	1	8	2	1 i 2	11	2	1	20	5	1	12	0	1	6	3	1	5	2
1b	79	0	2	24	2	2	11	1	3	12	0	2	21	4	2	13	0	2	7	0	2	6	2
2a	70	0	3	20	0	3	19	0	4	10	0	3	20	2	3	13	0	3	26	6	3	8	0
2b	82	0	4	12	0	4	11	1	5	11	0	4	18	0	4	11	0	4	24	2	4	7	1
3a	65	1	5	11	2	5	12	1	6	11	1	5	19	1									
3b	91	1	6	11	1	6	8	0	7 i 8	10	1	6	20	2									
4	88	2	7	11	1	7	9	0	9	12	0												
5	75	0	8	11	1	8	10	2	10	9	1												
6	75	1	9	13	2	9	28	2	11	10	1												
7	84	1	10	9	1	10	9	0	12	8	1												
8	76	2	11	14	0	11	12	1															
9	69	1	12	15	1	12	14	0															
10	74	1																					
11	75	2																					
12	95	0																					

Legenda:

l.a. – łączna liczba artykułów opublikowanych w danym numerze czasopisma

dot. e.e. – liczba artykułów poświęconych energii elektrycznej opublikowanych w danym numerze czasopisma

DIAGNOSTYKA AWARII

analiza termodynamiczna
awaryjność i dyspozycyjność bloków
bezpieczeństwo elektroenergetyczne
bezpieczeństwo **energetyczne**
instalacje naturalnie bezpieczne
lokalizacja zaburzenia
niezawodność systemu elektroenergetycznego
niezawodność systemu elektroenergetycznego
niezawodność wytwarzania
niezawodność zasilania
ocena cyklu życia
przyrost temperatury
zwarciowa

ELEKTROWNIE (WYTWARZANIE ENERGII)

elektroenergetyka
elektrownia
elektrownia falowa
elektrownia na parametry nadkrytyczne
elektrownia wiatrowa
elektrownia wodna
elektrownie szczytowo-pompowe
energetyka jądrowa
energetyka odnawialna
energetyka odnawialna
energetyka wiatrowa
farma wiatrowa
generator indukcyjny
hybrydowe układy wytwórcze
hybrydyzacja
mała elektrownia wodna
oczyszczalnia ścieków
skojarzone wytwarzanie ciepła i elektryczności
stacja biogazowa
wiatrowe jednostki wytwórcze
zespoły prądotwórcze spalinowo-elektryczne

ELEMENTY WYKONAWCZE

blok **energetyczny**
badania transformatorów
bloki **energetyczne** opalane węglem brunatnym
kocioł fluidalny typu oxy
podobciążeniowe przełączniki zaczepów
przekładnik prądowy
przekształtniki energoelektroniczne
przetwornik **energii**

silniki **elektryczne**

silniki gazowe
szeregowo-równoległa LCLC przetwornica rezonansowa
śruba Archimedesesa
transformatory elektroenergetyczne

JAKOŚĆ

certyfikacja **energetyczna**
jakość dostawy **energii elektrycznej**
jakość **energii**
jakość energii elektrycznej
regulacja jakości
THD
transformacja prądów odkształconych
wskaźniki jakości
współczynniki kształtu i szczytu

KOSZTY

analiza ryzyka
analiza sprawności bloku oxy
analiza techniczno-ekonomiczna
cena **energii**
efektywność ekonomiczna
efektywność **energetyczna**
efektywność inwestowania
efektywność użytkowania **energii elektrycznej**
kogeneracja
korzyści i koszty
korzyści i koszty magazynowania
koszty dystrybucji **energii elektrycznej**
koszty kapitałowe
koszty zewnętrzne
kradzież **energii**
metodyka oceny opłacalności ekonomicznej
nielegalny pobór **energii elektrycznej**
ocena kosztów przerw i ograniczeń w zasilaniu
opłacalność przedsięwzięcia
optymalizacja
rentowność
sprawność wytwarzania **energii elektrycznej**
sprawność wytwarzania **energii elektrycznej** w bloku 858
straty energii elektrycznej

MAGAZYNOWANIE

dotatkowa **energia elektryczna**
dwukierunkowy przesył **energii**
magazynowanie ciepła

magazynowanie **energii elektrycznej**
SMES

superkondensatory
technologie bateryjne

technologie magazynowania **energii**
elektrycznej

zasobniki **energii**
zasobniki **energii elektrycznej**

MODELOWANIE I SYMULACJA

model matematyczny
modelowanie
modelowanie **energetyczne**
modelowanie niezawodności
sieci neuronowe
symulacja
sztuczne sieci neuronowe

OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA

audyt instalacji oświetleniowej
ochrona przeciwporażeniowa
ochrona przy uszkodzeniu w układzie IT
ochrona środowiska
ochrona w układzie IU
ochrona w układzie TN-S
separacja ochronna
wyłączniki różnicowoprądowe

POJĘCIA OGÓLNE

energia
energia elektryczna
klasyfikacja

POZOSTAŁE ZAGADNIENIA

bateria bezstykowa
budownictwo niskoenergetyczne
CEAS
ciepło odpadowe
dźwigi osobowe
elementy sprężyste
komutator elektroniczny
kriogeniczna separacja tlenu z powietrza
metoda emisji akustycznej
nanodruty
obszary aplikacji
parametry przewodu
podziemne zakłady górnicze (?)
polimery elektroprzewodzące
pseudopojemność
układ spalania tlenowego

układy pomiaru **energii elektrycznej**
usługi systemowe
zintegrowany system magnetyczny

PROGNOZOWANIE ZUŻYCIA

kontrola zużycia
MARKAL
obciążenie elektroenergetyczne
planowanie
praca długotrwała
predykcja
profil odbiorcy
prognoza
prognozowanie
prognozowanie zapotrzebowania na **energię**
elektryczną
rozdział obciążenia
wspomaganie decyzji
zapotrzebowanie na **energię elektryczną**
zużycie **energii**
zużycie **energii elektrycznej**

SIEĆ PRZESYŁOWA, DYSTRYBUCJA, ZARZĄDZANIE

dystrybucja
generacja rozproszona
infrastruktura elektroenergetyczna
instalacje **elektryczne**
inteligentne sieci elektroenergetyczne
krajowy system elektroenergetyczny
liberalizacja
możliwości współpracy sieci różnych prądów
przesył
sieci prądu stałego i przemiennego
sieci rozdzielcze
sieci smart grid
sieć dystrybucyjna
sieć niskiego napięcia
stacje transformatorowe
system dystrybucyjny
system elektroenergetyczny
wpływ elektrowni wiatrowych na pracę
systemu elektroenergetycznego
zarządzanie **energią**
zasilanie w **energię elektryczną**
zasilanie wyspowe

UWARUNKOWANIA POLITYCZNO- GOSPODARCZE

giełdy **energii**
globalizacja
gospodarka odpadami komunalnymi

handel
hierarchiczna analiza problemowa
polityka **energetyczna**
produkcja
produkt krajowy brutto
regionalizacja
rozwój
rozwój zrównoważony
rynek **energii**
sektor **energetyczny**
systemy kontroli
systemy wsparcia
taryfy
usługi
zintegrowany system gospodarki odpadami

ŹRÓDŁA
biogaz
energia fal
energia odnawialna z odpadów
energooszczędne źródła światła
gaz ziemny
niekonwencjonalne **źródła energii**
nowe źródła **energii elektrycznej**
nowe źródła wytwarzania **energii elektrycznej**
odnawialne źródła **energii** (OZE)
węgiel
węgiel brunatny
węgiel kamienny

Ocena jakości energii elektrycznej,
systemy monitorowania jakości energii,
interoperacyjność, integracja systemów

Beata KREDENC*, Tomasz SIKORSKI*

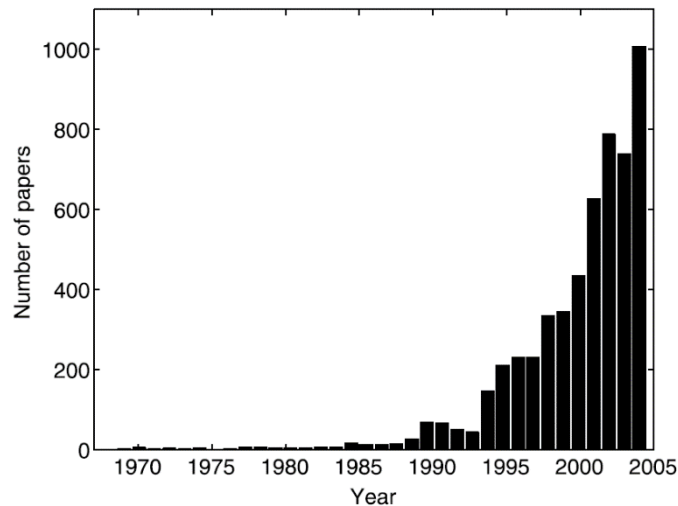
WSPÓLCZESNA PROBLEMATYKA OCENY JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

W artykule opisano zagadnienia dotyczące rozwoju jakości energii elektrycznej. Przedstawiono rozwój zainteresowania problematyką w odniesieniu do współczesnych aspektów pracy systemu elektroenergetycznego z uwzględnieniem elementów technicznych, handlowych, a także bezpieczeństwa energetycznego. W tym świetle wskazano konieczność rozwoju systemowego monitorowania parametrów jakościowych oraz postulowano o kontynuację raportów benchmarkingowych. Jednocześnie wskazano na nowe wyzwania związane między innymi z rozszerzeniem zakresu częstotliwości zaburzeń jakości energii elektrycznej, stosowaniem narzędzi analizy sygnałów do celów analizy danych długoterminowych i wielopunktowych, lokalizacji źródeł zaburzeń. Jako dodatkowy aspekt wskazano na konieczność włączenia systemów monitorowania jakości energii elektrycznej w proces interoperacyjności elementów sieci elektroenergetycznych i integracji systemów sterowania i nadzoru.

1. DEFINICJE I HISTORIA

Termin jakość energii elektrycznej został zapoczątkowany w latach 70-tych ubiegłego wieku. Samo słowo jakość oznacza poziom doskonalenia, jest zespołem cech wyróżniających daną rzecz. Znając powyższą definicję, można zająć się słowem energia elektryczna (będącą wynikiem pewnego procesu technologicznego) i połączyć wszystko w jedną całość. Jeśli o energii mówimy jak o produkcie należy poddać ją pewnej ocenie i standaryzacji [2],[3],[8],[9],[18].

* Politechnika Wroclawska, Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, 50-370 Wrocław, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, praca powstała w ramach działalności statutowej S40036.



Rys. 1. Wykorzystanie terminu jakość zasilania, 1968-2005 [3]

Fig. 1. Use of term power quality, 1968–2005 [3]

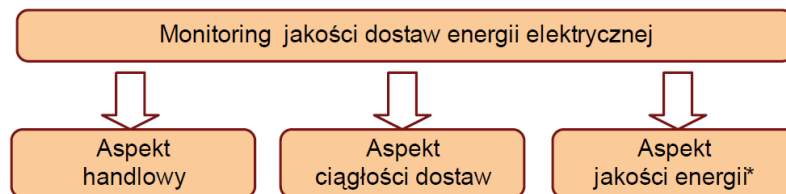
Jakość energii elektrycznej jest więc pojęciem szeroko rozumianym. Współcześnie zagadnienie to rozumiane jest najczęściej jako:

- jakość zasilania – pojęcie powszechnie używane, najbardziej znane,
- niezawodność dostaw energii elektrycznej – pojęcie nawiązujące do ciągłości zasilania,
- jakość energii elektrycznej – nawiązujące do aspektów technicznych opisywanych przez różne parametry.

O wzroście zainteresowań tematyką jakości energii elektrycznej świadczyć może zaczerpnięty z pracy [3] rys.1. Przedstawiona na rysunku statystyka opiera się na bazie INSPEC, gdzie termin jakość zasilania został użyty w tytułach, abstraktach oraz w słowach kluczowych. Jak widać znaczący wzrost omawianej tematyki można zaobserwować od roku 1995. Istnieją różne powody tak dużego zainteresowania jakością energii elektrycznej, między innymi [3],[8]:

- urządzenia stały się bardziej wrażliwe na zakłócenia w napięciu zasilającym,
- przemysł stawia coraz to wyższe wymagania odnośnie ciągłości dostaw energii,
- prywatyzacja przemysłu energii elektrycznej,
- stosowanie energooszczędnych rozwiązań,
- wzrost liczby urządzeń wyposażonych w przekształtniki energoelektroniczne, które generują zakłócenia typowe dla swojej klasy,

- wzrost dostępu do informacji o parametrach energii elektrycznej oraz wzrost świadomości odbiorców i dostawców,
- wprowadzenie odnawialnych źródeł energii do systemu elektroenergetycznego.



* – jakość technicznych parametrów zasilania, jakość napięcia

Rys. 2. Jakość energii jako element monitoringu jakości dostaw energii elektrycznej [19]

Fig. 2. Power quality monitoring as part of the quality of electricity supply [19]

Duże zainteresowanie tą dziedziną spowodowało dalszy rozwój w zakresie definicji, legislacji, technicznych środków analizy i oceny czy wreszcie systemów monitorowania. Obecnie rozważając zagadnienie monitoringu jakości dostaw energii elektrycznej, można wyróżnić trzy aspekty: handlowy, ciągłości dostaw, jakości energii [9],[19]. Ilustruje to rys. 2 zaczerpnięty z pracy [19].

- Aspekt handlowy mówi o relacji między użytkownikami a dostawcami energii (towaru).
- Aspekt ciągłości dostaw jest skierowany głównie do dostawców i opisuje ilość oraz czas przerw w dostawie energii.
- Aspekt jakości energii jest głównym wyznacznikiem parametrów technicznych np. poziomy napięcie, częstotliwość.

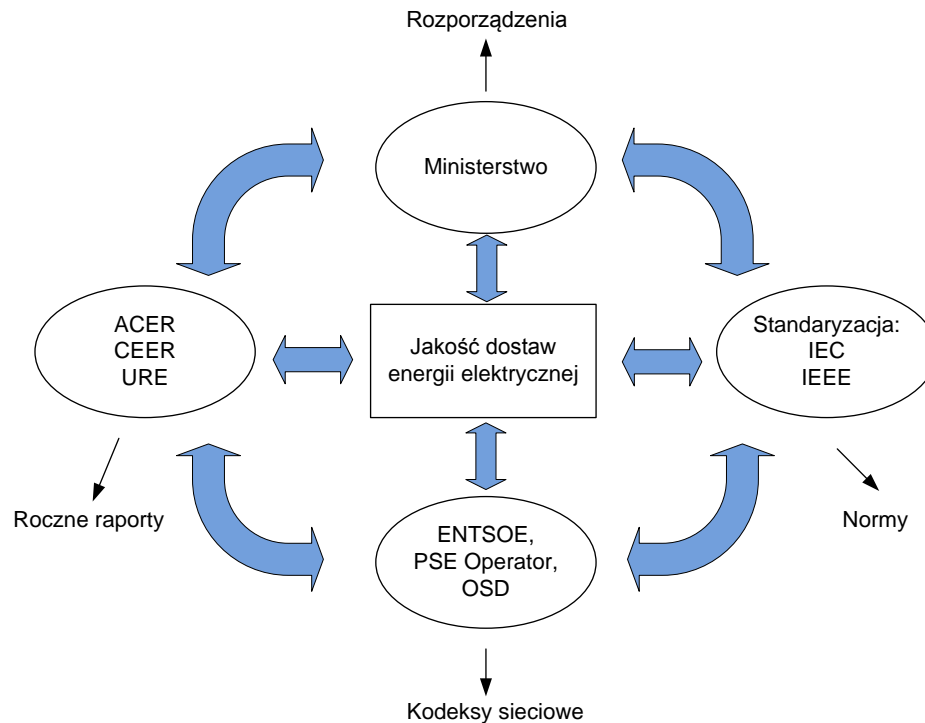
W najnowszym ujęciu jakość energii elektrycznej znajduje swoje odzwierciedlenie w szerszej problematyce związanej z bezpieczeństwem energetycznym kraju. Stawiane problemy dotyczą jakości zasilania strategicznych odbiorców, strat związanych z niewystarczającymi parametrami jakościowymi energii, wpływem źródeł rozproszonych na stabilność pracy systemu. Dodatkowym aspektem są zagadnienia związane z funkcjonowaniem rynku energii a parametrami jakościowymi energii elektrycznej. Dyskutowany jest element uwzględnienia poziomów parametrów jakościowych w systemie taryf, bonifikat bądź umów indywidualnych [9],[21].

Parametry pracy systemu elektroenergetycznego podlegają ciągłej zmianie, niektóre zjawiska, które zachodzą w systemach są krótkotrwałe i pojawiają się w sposób losowy. Aby je zaobserwować i przeanalizować potrzebne jest stosowanie

odpowiednich przyrządów pomiarowo – rejestrujących (analyzerów, rejestratorów), których zadaniem jest kontrola i ocena zespołu parametrów jakościowych energii elektrycznej. Do grupy ocenianych parametrów zaliczamy obecnie [2],[3],[8],[9],[14],[18]:

1. częstotliwość zasilania, zmiany częstotliwości,
2. zmiany amplitudy napięcia, powolne zmiany napięcia, poziom napięcia
3. wahania napięcia, wskaźnik migotania światła
4. nagłe zmiany napięcia
5. niesymetria (asymetria)
6. harmoniczne, interharmoniczne, subharmoniczne, składowa stała
7. zdarzenia napięciowe:
 - 7a. zapady,
 - 7b. krótkie przerwy,
 - 7c. długie przerwy,
 - 7d. wzrost,
 - 7e. szybkie stany przejściowe, oscylacyjne, impulsowe,
 - 7f. załamanie komutacyjne,
8. sygnały sterująco-kontrolne.

Przy omawianiu zagadnień związanych z oceną jakości energii elektrycznej należy nawiązać do dokumentów prawnych regulujących powyższe zagadnienie. Rys. 3 ilustruje powiązania pomiędzy instytucjami związanymi z procesem legislacji dokumentów mających bezpośredni wpływ na rozwój aktywności dotyczących ocen jakości elektrycznej. Warto zauważyć, że w proces ten zaangażowane są wszystkie podmioty, zarówno tworzące odpowiednie legislacje (prawo energetyczne, rozporządzenia), rekomendujące standardy (towarzystwa standaryzacyjne), operatorzy przesyłowi i dystrybucyjni, jak również urzędy regulacji.



Rys. 3. Wpływ instytucji (gremiów) na jakość energii elektrycznej
 Fig. 3. The influence of institutions (bodies) on the power quality

Jako przykład podstawowych dokumentów regulującymi zagadnienie związane z jakością energii elektrycznej w kraju podano:

- ustawa – prawo energetyczne [22],
- rozporządzenia ministra [17],
- normy w zakresie kompatybilności elektroenergetycznej [14],
- kodeksy sieciowe, instrukcje ruchu i eksploatacji sieci przesyłowej i dystrybucyjnej.

Jako element dyscyplinujący można uznać raporty benchmarkingowe wydawane przez urzędy regulacji międzynarodowe CEER/ACER [5] jak i krajowe URE [23].

2. WSPÓŁCZESNE PROBLEMY OCENY JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Do celów oceny jakości energii elektrycznej stosuje się obecnie wieloparametrowe rejestratory jakości energii elektrycznej, których zadaniem jest mierzenie i gromadzenie wyników pomiarowych. Obecnie na rynku dostępne jest wiele przyrządów pomiarowych, urządzeń cyfrowych wyposażonych w coraz to nowsze procesory i większą pojemność pamięci. W pracy [16] zebrano przegląd oferty dostępnych na rynku rejestratorów jakości energii elektrycznej.

Zauważa się rosnące oczekiwania pod względem funkcjonalności rejestratorów. O wyborze odpowiedniego rejestratora nie decyduje już wyłącznie ilość oraz klasa dokładności mierzonych parametrów jakościowych, ale również dodatkowe możliwości odpowiedniej selekcji danych zawierających ważne informacje o zaburzeniach. Przykładem mogą być aplikacje metod dających możliwość określenia kierunkowości danego zaburzenia, co wykracza poza klasyczną ocenę parametrów jakościowych.

Coraz powszechniej wprowadza się stacjonarne systemy monitoringu jakości energii elektrycznej, uzupełniając tym samym doraźne pomiary z użyciem rejestratorów mobilnych. Podstawową zaletą systemów monitoringu jest archiwizacja danych uzyskanych z wielu punktów pomiarowych w zunifikowanej bazie danych. Tak zagregowane dane dają dalsze możliwości rozszerzenia analizy. Podstawowe założenia dotyczące struktury oraz funkcjonalności systemów monitoringu jakości energii elektrycznej zamieszczono między innymi w pracach [6],[7],[15],[19].

Przy wyborze rejestratora dedykowanego do pracy w systemie monitoringu należy zwrócić uwagę na możliwość danego urządzenia:

- wstępna obróbka pomiarów według parametrów zadanych przez użytkownika,
- komunikacji z bazą danych,
- standaryzację przesyłanych danych.

W rejestratorach do komunikacji z bazą danych stosuje się różne media do transmisji danych, w związku z tym w urządzeniu należy zainstalować np.:

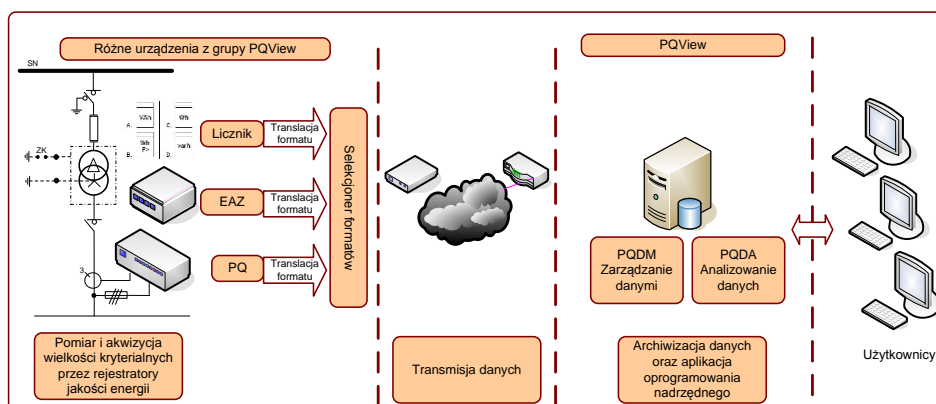
- serwery portów równoległych,
- modem GSM,
- sieć bezprzewodowa Wi-Fi,
- modemy analogowe itp.

Biorąc pod uwagę transmisję danych na odległość najlepszym rozwiązaniem jest wykorzystanie protokołów TCP/IP, w których komunikacja odbywa się poprzez modemy GSM lub wewnętrzną sieć internetową stacji elektroenergetycznych.

Na podstawie informacji znajdujących się w bazie danych program nadrzędny powinien stwarzać możliwości:

- tworzenie wykresów, np. diagramów dobowych, tygodniowych, miesięcznych a nawet rocznych,
- statystyczną analizę wyników z różnych punktów pomiarowych,
- przygotowanie raportów,
- tworzenie wskaźników do analizy zapadów i wzrostów napięcia itp.

Pomimo zdefiniowanych zadań dla systemu monitoringu jakości energii elektrycznej problemem wciąż pozostaje integracja rejestratorów różnych producentów w jednolity system. W tym celu został zaproponowany ujednolicony format danych jakości energii elektrycznej PQDIF (ang. *Power Quality Data Interchange Format*) [12]. Do pobierania, analizy i archiwizacji danych w tym formacie opracowany dedykowany system PQView. Powyższe oprogramowanie może również integrować urządzenia rejestrujące różne parametry techniczne, jeśli urządzenia te zostaną wyposażone w moduł translacji formatu danych. Ideę integracji urządzeń w ujednoliconym formacie danych przedstawia (rys.4), zaczerpnięty z pracy [19]. Stosowanie ujednoliczonego formatu danych zapewniłoby szersze możliwości oceny jakości energii elektrycznej w różnych obszarach systemu elektroenergetycznego.



Rys. 4. Integracja różnych urządzeń w jeden system zarządzany środowiskiem PQView [19]
 Fig. 4. The integration of different devices in one system managed environment PQView [19]



W obecnym czasie bardzo wyraźnym kierunkiem rozwoju sieci elektroenergetycznych jest koncepcja inteligentnych sieci elektroenergetycznych tzw. „smart grids”. Podstawowym założeniem jest możliwość integracji

i interoperacyjności elementów systemu elektroenergetycznego. Jako przykład rozszerzenia możliwości monitoringu parametrów jakości energii w idei „smart grid” jest wykorzystanie funkcji elektronicznych liczników energii elektrycznej pozwalających na zdalną transmisję danych jak również implementację różnych algorytmów oceny parametrów jakości energii elektrycznej. Innym przykładem jest wykorzystania infrastruktury sterowania i nadzoru. Jako przykład dyskusji można podać prace [1],[4],[9],[20],[24].

Jednak główny nurt aktywności związany ze standaryzacją pracy sieci elektroenergetycznych w kierunku ich informatyzacji skupia się wokół komitetów standaryzacyjnych takich jak IEC czy IEEE. Przykładem mogą tu być opracowane zagadnienia integracji zawarte w projekcie standardu IEEE 2030 [13] dedykowanego inteligentnym sieciom elektroenergetycznym. Głównym celem prac nad tymi standardami jest wprowadzenie ujednoczonych protokołów komunikacyjnych dla podmiotów będących elementami inteligentnej sieci elektroenergetycznej, zwiększających możliwości ich wzajemnej interoperacyjności. Inne prace tego Komitetu zaowocowały serią standardów oraz referencji związanych bezpośrednio z problematyką współpracy generacji rozproszonej z siecią. Standardy z serii IEEE 1547 dotyczą między innymi testów jednostek wytwórczych, wpływu źródeł na lokalną oraz obszarową pracę sieci, monitoringu oraz standaryzacji formatu wymiany danych czy organizacji pracy wyspowej. Równoległe prace prowadzi komitet IEC wprowadzając unormowany protokół komunikacyjny dla elementów teleinformatyki stacyjnej IEC 61850. Na szczególną uwagę zasługują starania opracowywane w standardzie IEC 61970 służące wprowadzeniu wspólnego systemu CIM (ang. *Common Information Model*) i jego aplikacji na poziomach dystrybucyjnych, w tym układach generacji rozproszonej. Zestawienie wybranych norm podejmujących omawianą tematykę zebrano w tabeli 1. Jako przykład ilustrujący proces integracji standardów komunikacyjnych na rys. 5 przedstawiono koncepcję standardów z grupy IEC [10].

Tabela 1. Zestawienie wybranych norm dedykowanych obszarom monitoringu jakości energii oraz komunikacji elementów systemu elektroenergetycznego wg. towarzystw normalizacyjnych IEC oraz IEEE, [20]

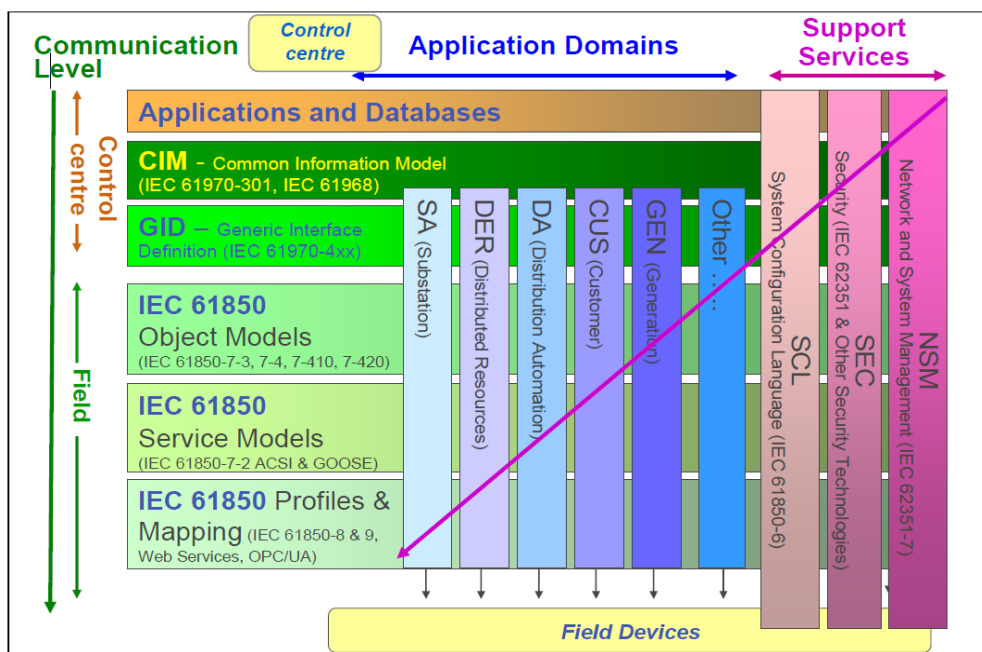
Table 1. Summary of the selected norms of dedicated areas of power quality monitoring and communication of power system components by societies standards of IEC and IEEE, [20]

	TC 77 Electromagnetic compatibility TC 57 Power systems management and associated information exchange
<p>IEC 61000: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) w tym przede wszystkim: PN-EN 61000-4-30: Metody pomiaru jakości energii PN-EN 61000-4-13: Harmoniczne i interharmoniczne wraz z sygnałami sieciowymi w przyłączy zasilającym prądu przemiennego PN-EN 61000-4-15:2011: Miernik migotania światła - Specyfikacja funkcjonalna i projektowa IEC 61000-3-6 (7) (13): Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems IEC CEI 61000-4-16: Testing and measurement techniques - Test for immunity to conducted, common mode disturbances in the frequency range 0 Hz to 150 kHz. PN-EN 50160: Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych</p>	
<p>PN-EN 61850: Systemy i sieci komunikacyjne w stacjach elektroenergetycznych (410 – Elektrownie wodne, 420 - Systemy komunikacyjne dla rozproszonych źródeł energii) PN-EN 60870: Urządzenia i systemy telesterowania (Elektroenergetyczne Systemach Sterowania i Nadzoru)</p>	
	IEEE SCC22 Standards Coordinating Committee on Power Quality IEEE SCC21 Standards Coordinating Committee on Fuel Cells, Photovoltaics, Dispersed Generation, and Energy Storage
<p>IEEE Std 519-1992: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems IEEE Std 1159-2009: IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality IEEE Std 1159.3-2003: IEEE Recommended Practice for the Transfer of Power Quality Data (PQDIF) IEEE Std 1250-2011: IEEE Guide for Service to Equipment Sensitive to Momentary Voltage Disturbances IEEE Std 1453-2011: IEEE Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility with Electronic Process Equipment</p>	
<p>Standard P1547 Distributed Resources Interconnected with Electric Power Systems Standard P2030 Smart Grid Interoperability Series of Standards</p>	

Innym problemem jest rozszerzenie zakresu częstotliwości zaburzeń traktowanych jako zaburzenia jakości energii elektrycznej. Obecnie szeroko dyskutowanym dokumentem jest projekt standardu IEC 61000-4-16 [11] postulujący włączenie do zakresu oceny jakości energii tzw. zaburzeń przewodzonych, (ang. *conducted*

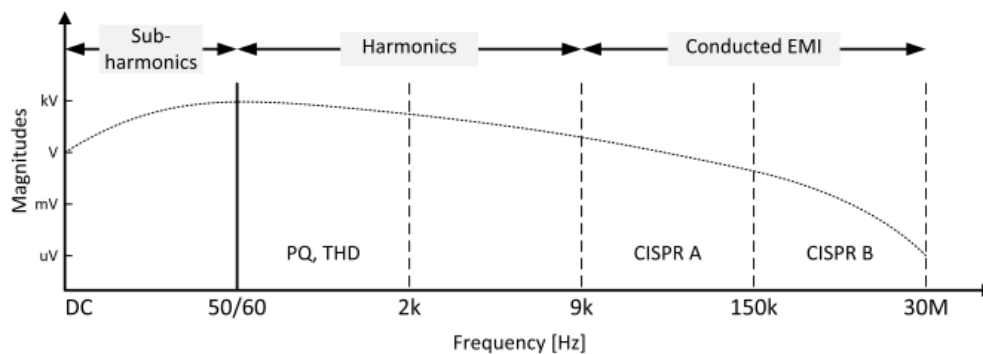
disturbances) w zakresie częstotliwości od 0 do 150 kHz stosowanych przy zasilaniu, sterowania sygnałów i linii komunikacyjnych. W dyskusji wyróżnia się następujące pasma częstotliwości:

- 50 Hz÷2.0/2.5 kHz (np. harmoniczne sieciowe, zakres oceny jakości energii),
- 2.5÷9.0 kHz (zakres niesprecyzowany przepisami),
- 9 kHz÷150 kHz (np. harmoniczne częstotliwości przełączania układów komutacyjnych).



Rys. 5. Koncepcja integracji standardów wg IEC [10]

Fig. 5. The concept of the integration of standards according to IEC[10]



Rys. 6. Koncepcja rozszerzenie zakresu częstotliwości obejmującego zaburzenia jakości energii elektrycznej wg IEC, [11]

Fig. 6. The concept of the wide frequency range included to power quality disturbances referring to IEC, [11]

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono zagadnienia dotyczące współczesnych problemów oceny jakości energii elektrycznej. Omówiono podstawowe pojęcia standardy, narzędzia oraz kierunki rozwoju monitorowania jakości energii elektrycznej. Z przeprowadzonej analizy oraz przywołanych aktywności w środowiskach powiązanych z rozwojem jakości energii elektrycznej obserwuje się przeniesienie realizacji oceny jakości energii z pomiarów mobilnych, wykonywanych nierzadko doraźnie na zgłoszenie odbiorcy, w kierunku stosowania obszarowego monitoringu jakości energii elektrycznej. W działalności operatorów zauważa się planowe rozszerzanie instalowanych systemów monitoringu. Objęcie monitorowaniem i ciągłą analizą wydzielonych fragmentów sieci elektroenergetycznych stwarza nowe możliwości dla diagnostyki pracy sieci, lokalizacji źródeł zaburzeń, a także predykcji stanu pracy sieci. Tak postawiony horyzont stawia przed funkcjonalnością systemów monitoringu jakości energii elektrycznej nowe wyzwania, które będą wymagać wsparcia poprzez zastosowanie matematycznych narzędzi oceny statystycznej, algorytmów przetwarzania sygnałów. Jako element aktualizacji stanu rzeczy należy postulować cykliczne wykonywanie krajowych raportów benchmarkingowych jako kontynuację I-go krajowego raportu benchmarkingowego nt. jakości dostaw energii elektrycznej do odbiorców przyłączonych do sieci przesyłowej i dystrybucyjnej z roku 2009.

LITERATURA

- [1] BANSIDHAR E. K., ASHOK A. G., SUMIT K. Development of web based power quality monitoring system for handling user custom power quality query and auto power quality monitoring report notification via email, ICTES, 2007
- [2] BOLLEN M.H.J., Understanding Power Quality Problems. Voltage sags and interruptions, IEE Press Series on Power Engineering, 2000.
- [3] BOLLEN M.H.J., GU Y.H.I., Signal processing of power quality disturbances, John Wiley & Sons, 2006.
- [4] BOLLEN M.H.J., BAHRAMIRAD S., KHODAEI A., Is there a Place for Power Quality in the Smart Grid?, IEEE, 2014
- [5] CEER – Council of European Energy Regulator, 5th Benchmarking report on quality of electricity supply, 2011.
- [6] FILRIT A., Ciągły monitoring i analiza jakości energii elektrycznej, Elektroenergetyka nr 4 (10) / 2011
- [7] GUBAŃSKI A., JANIK P., KOSTYŁA P., REZMER J., SIKORSKI T., SZYMAŃDA J., WACŁAWEK Z., „Analiza porównawcza funkcjonalności rozproszonych systemów monitoringu jakości energii” Energetyka. 2012,
- [8] HANZELKA Z., Jakość energii elektrycznej: wczoraj, dziś i jutro, Materiały, Twelve Electric.
- [9] HANZELKA Z., Jakość energii w warunkach rynku energii, Biuletyn URE 5/2003
- [10] IEC Smart Grid Standardisation Road Map SMB Smart Grid Strategic Group (SG3) June 2010; Edition 1.0
- [11] IEC CEI 61000-4-16, Testing and measurement techniques - Test for immunity to conducted, common mode disturbances in the frequency range 0 Hz to 150 kHz.
- [12] IEEE Std. 1159 - Monitoring Electric Power Quality, IEEE Working Group on Monitoring Electric Power Quality reports to the Power Quality Subcommittee of the IEEE Power Engineering Society, 2003-2009.
- [13] IEEE Std. 2030 - Smart Grid Interoperability Series of Standards, IEEE SCC21 Standards Coordinating Committee on Fuel Cells, Photovoltaics, Dispersed Generation, and Energy Storage, 2011.
- [14] PN-EN 50160 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych, 2010.
- [15] Głowacki F., Koseda H., Systemy monitoringu jakości energii elektrycznej, Biuletyn Polskiego Towarzystwa Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej, Energia Elektryczna, <http://www.e-elektryczna.pl/?d=2&s=art0909#> dostępność 30.10.2014
- [16] Magdziak R. Analizatory jakości energii elektrycznej - polscy producenci i dystrybutorzy, Portal ternetowy: <http://elektronikab2b.pl/raporty/1979-analizatory-jakosci-energii-elektrycznej-polscy-producenci-i-dystrybutorzy?limitstart=0#.VF0uvmG8io>, dostępność 31.10.2014
- [17] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, ze zmianami 21 sierpnia 2008 r. (Dz.U. 2008 nr 162 poz. 1005).
- [18] SANKARAN C., Power Quality, CRC Press, 2002
- [19] SIKORSKI T., Monitoring i ocena jakości energii w sieciach elektroenergetycznych z udziałem generacji rozproszonej, Politechnika Wrocławska, 2013

- [20] SIKORSKI T., SZYMAŃDA J., ZENGER M.: „Monitoring i analiza stanów zakłóceń w sieciach elektroenergetycznych” *Przegląd Elektrotechniczny*. 2012, R. 88, nr 11b, s. 178-181, 3 rys., bibliogr. 12 poz., Summ.
- [21] *Strategia Bezpieczeństwo Energetyczne i Środowisko – perspektywa do 2020r.*, Ministerstwo Gospodarki, Ministerstwo Środowiska, Warszawa, kwiecień 2014.
- [22] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (Dz.U. z 1997, nr 54, poz. 348) z późniejszymi zmianami, jednolity tekst ustawy w Dz.U. 2006, nr 89, poz. 625, oraz ostatnie zmiany w Dz.U. z 2007 r., nr 21, poz. 124, Dz.U. z 2007 r., nr 52, poz. 343, Dz.U. z 2007 r., nr 115, poz. 790, Dz.U. z 2007 r., nr 130, poz. 905.
- [23] URE – Urząd Regulacji Energetyki, I Krajowy raport benchmarkingowy nt. jakości dostaw energii elektrycznej do odbiorców przyłączonych do sieci przesyłowej i dystrybucyjnej, 2009.
- [24] ZAVODA F., *Advanced Distribution Automation (ADA) Applications and Power Quality in Smart Grids*, ICED 2010

MODERN PROBLEM OF POWER QUALITY ASSESSMENT

This paper describes the development of power quality. Discussed issues stay in relation to aspects of present power systems, taking into consideration technical aspects, energy market and energy security. It was suggested the need to develop of power quality monitoring systems and continue benchmarking reports. Additionally a new challenges was highlighted including extension of the frequency range of power quality disturbances, use of new signal analysis tools for the analysis of long-term and multi-point data, locating sources of disturbance. Next aspect pointed out the need to integrate power quality monitoring in the process of the interoperability of power systems.

maszyny elektryczne, silniki synchroniczne,
magnesy trwałe, napędy pomp, sprawność

Szymon LIPIŃSKI*, Jan ZAWILAK*

SILNIK SYNCHRONICZNY Z MAGNESAMI TRWAŁYMI W NAPĘDZIE POMPY WIROWEJ

Przedstawiono możliwości budowy i zastosowania silników synchronicznych wzbudzanych magnesami trwałymi do napędów pomp dużej mocy np. w pompowniach głównego odwodnienia kopalni podziemnej. Porównano parametry eksploatacyjne silnika synchronicznego z magnesami trwałymi i energooszczędnego silnika indukcyjnego. Wykazano korzyści wynikające z zastosowania tego typu silników w napędach pomp w porównaniu do najlepszych energetycznie silników indukcyjnych.

1. WSTĘP

Duże zużycie energii w procesach produkcyjnych powoduje wzrost kosztów oraz uszczuplenia zasobów mocy w systemie elektroenergetycznym. Związane to jest jednocześnie z większym zanieczyszczeniem środowiska spowodowanym zwiększoną emisją CO₂. W wielu zakładach produkcyjnych zainstalowane są pompy i wentylatory. Do napędu tych urządzeń zastosowane są silniki elektryczne o niezadowalającej sprawności. Najczęściej są to silniki indukcyjne. Przy dużej ilości tego typu urządzeń o pracy ciągłej, już niewielka poprawa sprawności napędu sumarycznie pozwoli na duże oszczędności energii. Dlatego wiele ośrodków badawczych zajmuje się poszukiwaniami nowych, energooszczędnych rozwiązań konstrukcyjnych maszyn elektrycznych.

Celem pracy jest poszerzenie wiedzy nt. energooszczędnych układów napędowych z silnikami elektrycznymi o nowych strukturach obwodów magnetycznych wzbudzanych magnesami trwałymi, których wdrożenie pozwoli na znaczne zmniejszenie zużycia energii.

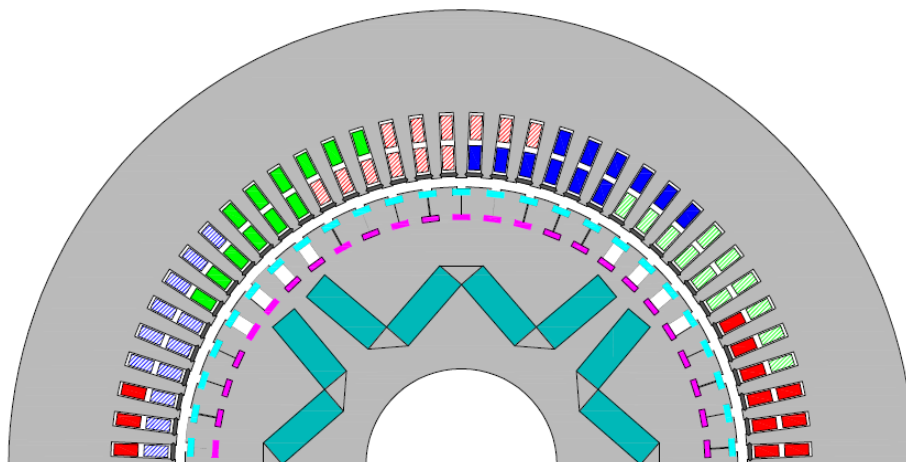
* Politechnika Wrocławska, Katedra Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych

Poszukiwanie nowych struktur maszyn elektrycznych zdeterminowane jest postawionym celem, a mianowicie uzyskaniem napędów energooszczędnych i niezawodnych. Uzyskanie silników napędowych o sprawności większej niż sprawność obecnie stosowanych energooszczędnych silników indukcyjnych wymaga użycia w ich strukturach nowoczesnych materiałów, a w szczególności magnesów trwałych. Ponadto silniki powinny być przystosowane do zmiennego trybu pracy napędów np. wentylatorów i pomp czyli umożliwiać skokową lub ciągłą regulację prędkości obrotowej pozwalającą na racjonalizację zużycia energii. Niezawodność silników powinna być nie mniejsza i eksploatacja nie gorsza niż silników indukcyjnych co oznacza możliwie najprostszą konstrukcję poszukiwanych nowych struktur maszyn elektrycznych.

2. PORÓWNANIE SILNIKA SYNCHRONICZNEGO WZBUDZANEGO MAGNESAMI TRWAŁYMI Z WYSOKOSPRAWNYM SILNIKIEM INDUKCYJNYM

W wielu ośrodkach badawczych opracowywane i doskonalone są konstrukcje silników synchronicznych z magnesami trwałymi, które mają bardzo dobre właściwości statyczne i dynamiczne. Dzięki możliwości rozruchu bezpośredniego (przez bezpośrednie przyłączenie napięcia) stanowią obiecującą alternatywę dla powszechnie stosowanych silników indukcyjnych. Ich zaletą jest większa sprawność i praca ze współczynnikiem mocy bliskim jedności. [3, 4, 5]. Do chwili obecnej wyprodukowano kilka egzemplarzy silników synchronicznych z magnesami trwałymi dużej mocy (ok. 1000 kW, 500 obr/min) z rozruchem bezpośrednim. Zastosowano je do napędów wentylatorów w kopani węgla kamiennego. Bardzo interesujące jest zastosowanie takich silników w napędach pomp dużej mocy, w których obecnie stosowane są silniki indukcyjne klatkowe.

Wykorzystując metody obliczeń MES (program Maxwell) opracowano konstrukcję silnika synchronicznego wzbudzanego magnesami trwałymi do napędu pompy głównego odwodnienia kopalni. Przekrój poprzeczny modelu obliczeniowego pokazano na rysunku 1. W wirniku silnik ten ma zabudowane uzwojenia dwukłatkowe o specjalnym rozkładzie i rozmiarach prętów zapewniające uzyskanie odpowiedniej charakterystyki rozruchowej momentu (również odpowiedni moment synchronizujący) oraz minimalizację prądu rozruchowego. Uzwojenie klatki górnej zaprojektowano z brązu, dolnej z mosiądzu. Magnesy trwałe umieszczone wewnątrz wirnika w grupach w kształcie litery **W**. Są to magnesy neodymowe o oznaczeniu N42SH.



Rys. 1. Model symulacyjny silnika synchronicznego z magnesami trwałymi

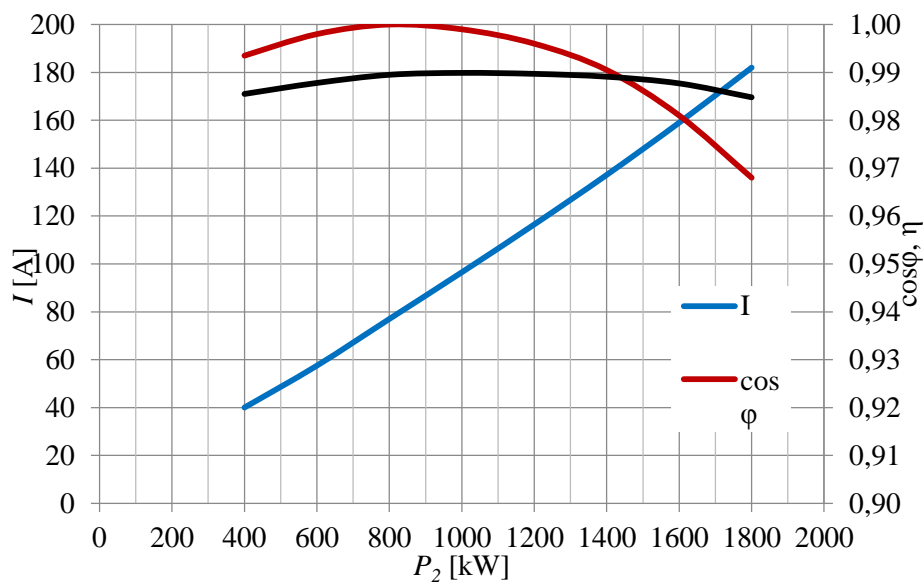
Do napędu analizowanej pompy zastosowany może być alternatywnie silnik indukcyjny typu Sh 560 H4A, który oferowany jest jako najnowszy, energooszczędny wyrób fabryki.

Wyniki obliczeń parametrów technicznych silnika synchronicznego z magnesami trwałymi oraz indukcyjnego typu Sh 560 H4A zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie parametrów silnika synchronicznego z magnesami trwałymi i energooszczędnego indukcyjnego

typ silnika	napięcie znamionowe	prędkość obrotowa	moc znamionowa	prąd znamionowy	współczynnik mocy	współczynnik sprawności
	V	obr/min	kW	A	-	-
synchroniczny z magnesami trwałymi	6 000	1500	1600	159	0,98	0,988
indukcyjny Sh 560 H4A	6 000	1495	1600	178	0,89	0,976

Na rysunku 2 pokazano obliczone charakterystyki obciążenia silnika synchronicznego w magnesami trwałymi.



Rys. 2. Charakterystyki obciążenia silnika synchronicznego z magnesami trwałymi

Z przedstawionych wykresów współczynnika mocy i sprawności wynika, że ich wartości są duże a zmniejszanie obciążenia powoduje zwiększanie tych współczynników. Maksymalna wartość współczynnika mocy wynosi $\cos\varphi=1$ natomiast współczynnika sprawności $\eta=0,99$.

3. ANALIZA PRACY UKŁADU POMPOWEGO

W pracy analizowana jest praca zespołu pompowego jednej z kopalń podziemnych. W analizie pracy układu pompowego uwzględniono napęd za pomocą silnika synchronicznego z magnesami trwałymi oraz energooszczędnego silnika indukcyjnego. Ponieważ prędkości obrotowe układu pompowego są różne przy napędzaniu silnikiem asynchronicznym i synchronicznym dlatego wyznaczono parametry pracy układu pompowego przy napędzie obu typów silników.

Do obliczeń założono prosty układ pompowy przedstawiony na rysunku 3, w którym przyjęto: geometryczną wysokość podnoszenia $H_z=720$ m, długość rurociągu $l=1000$ m, średnica rurociągu $d=300$ mm, chropowatość rury $e=1$ mm. Duża chropowatość e wynika z faktu wieloletniej eksploatacji tego układu i osadzania się

kamienia na ściankach rury. Analizowany układ składa się z pompy wirowej typu HK200-750x8 napędzanej przez silnik indukcyjny bądź synchroniczny z magnesami trwałymi.

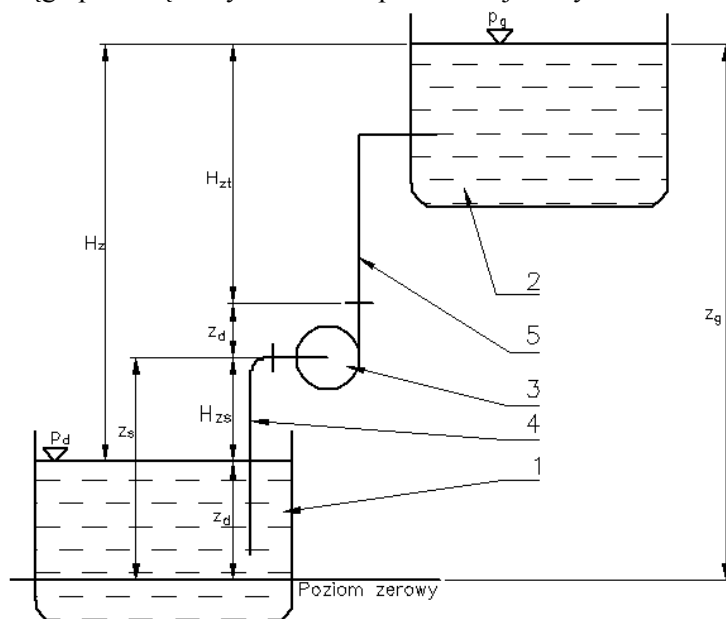
Do wyznaczenia punktu pracy układu pompowego niezbędna jest znajomość charakterystyki rurociągu, która wyznaczana jest następująco:

$$H = H_z + \Delta h \quad (1)$$

gdzie Δh to wysokość strat ciśnienia wynikająca z przepływu cieczy. Wyraża się ona wzorem według metody Darcy'ego-Weisbacha [2]

$$\Delta h = rQ^2 + mQ^2 \quad (2)$$

Wartości r oraz m są to zastępcze współczynniki oporów liniowych i miejscowych natomiast symbolem Q oznaczono przepływ cieczy. Opory miejscowe powstają na przeszkodach w rurociągu takich jak zawory, filtry, zwężki pomiarowe itp. Opory liniowe powstają w wyniku tarcia płynu o ścianki rurociągu. W rozpatrywanym rurociągu pominięto wyznaczanie oporów miejscowych.



Rys. 3. Schemat analizowanego układu pompowego: 1 – zbiornik dolny, 2 – zbiornik górny, 3 – zestaw pompowy, 4 – rurociąg ssawny, 5 – rurociąg tłoczny

Podobny wynik obliczenia wysokości start ciśnienia można uzyskać poprzez przyjęcie odpowiednio większej długości rurociągu i może być wyznaczony z zależności:

$$\Delta h = \lambda \frac{16l}{2\pi^2 g d^5} Q^2 \quad (3)$$

w której: g – przyspieszenie ziemskie, λ – współczynnik strat liniowych. Współczynnik strat liniowych można obliczyć z wzoru Colebrooka-White'a

$$\lambda = \left(-2 \log \left(\frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{e}{3,72} \right) \right)^{-2} \quad (4)$$

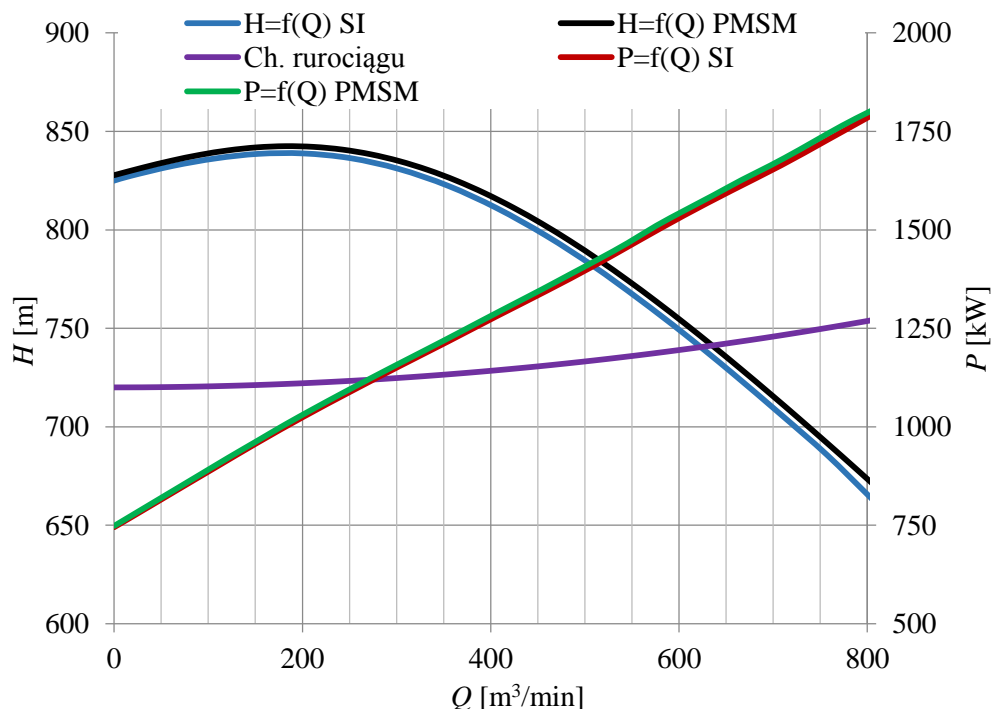
Efekt iteracyjnych obliczeń jest wyznaczenie charakterystyki rurociągu pokazanej na rysunku 4.

Punkt pracy rurociągu dla obu typów silników napędowych wyznaczono z obliczonych charakterystyk przedstawionych na rysunku 4. [1] W obliczeniach wykorzystano charakterystykę pompy typu HK200-750x8 podaną przez jej producenta. Zgodnie z powszechnie znanymi zależnościami wykorzystującymi podobieństwo przepływów można uwzględnić zmianę prędkości obrotowej układu wg następujących zależności:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (5)$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad (6)$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \quad (7)$$



Rys. 4. Charakterystyki układu pompowego napędzanego silnikiem indukcyjnym oraz synchronicznym z magnesami trwałymi

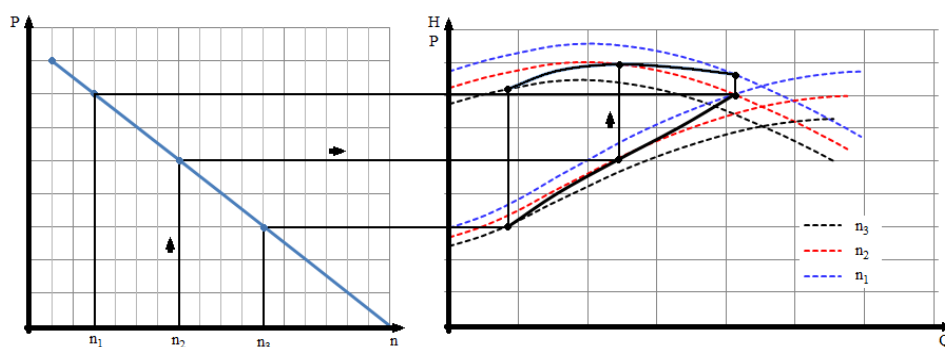
Podczas pracy układu napędzanego silnikiem synchronicznym przyjęto stałą (synchroniczną) prędkość obrotową. Obliczanie charakterystyki zestawu pompowego napędzanego silnikiem indukcyjnym jest bardziej złożone. Zmiana obciążenia powoduje zmianę prędkości obrotowej a to skutkuje pracą przy innych parametrach układu pompowego. Sposób wykreślenia charakterystyk roboczych zespołu pompowego dla różnych prędkości obrotowych pokazano na rysunku 5.

4. ZUŻYCIE ENERGII I EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA ZESTAWU POMPOWEGO

Zużycie energii elektrycznej można obliczyć na podstawie charakterystyki zestawu pompowego (rys. 4). Punkt pracy zestawu pompowego (wysokość pompowania cieczy

H i przepływu Q) określa się jako punkt przecięcia się charakterystyki rurociągu z charakterystyką wysokości pompowania zestawu. Dla wyznaczonego natężenia przepływu Q , moc P_s pobieraną przez pompę odczytuje się z charakterystyki mocy. Wyznaczoną moc pobieraną przez pompę P_s należy podzielić przez współczynnik sprawności silnika napędowego i dodać straty elektryczne w układzie zasilającym. Obliczona moc elektryczna pobierana przez zespół napędowy wynosi

$$P_{el} = \frac{P_s}{\eta} + RI^2 \quad (8)$$



Rys. 5. Sposób wyznaczania charakterystyki zespołu pompowego

Jednostkowe zużycie mocy elektrycznej tj. moc potrzebna do wypompowania 1 m^3 wody wyraża się zależnością:

$$e_j = \frac{P_{el}}{Q} \quad (9)$$

W pracy podjęto próbę obliczenia efektywności wynikającej z zastosowania silnika synchronicznego wzbudzanego magnesami trwałymi o większej sprawności.

Na podstawie informacji uzyskanych u producentów maszyn elektrycznych cena silnika synchronicznego z magnesami trwałymi jest większa o ok. 50 000 zł od porównywalnego energooszczędnego silnika indukcyjnego.

Objętość wody, która musi być wypompowana by skompensować dodatkowe koszty zakupu silnika synchronicznego i opłatę za zużytą energię, opisana jest zależnością:

$$V = \frac{50\,000}{(e_{j1} - e_{j2})c} \quad (10)$$

w której e_{j1} , e_{j2} – jednostkowe zużycie energii dla silnika indukcyjnego oraz synchronicznego, c – koszt energii elektrycznej (przyjęto 0,26 zł/kWh).

Przepływy w obu zestawach są różne dlatego czasy potrzebne do wypompowania określonej objętości cieczy są inne dla napędu z silnikiem indukcyjnym oraz silnikiem synchronicznym. Czasy te można obliczyć z zależności:

$$t_i = \frac{V}{Q_i} \quad (11)$$

W tabeli 2 pokazano obliczone czasy pracy zestawów pompowych potrzebne na wypompowanie określonej objętości cieczy. Zastosowanie silnika synchronicznego z magnesami trwałymi zmniejsza jednostkowe zużycie energii ok. 1,5% a jednocześnie sprawność zestawu pompowego wzrasta o 0,3 punktu procentowego.

Tabela 2. Obliczenie czasu wypompowania określonej objętości cieczy przez zestawy pompy z różnymi silnikami napędowymi

rodzaj silnika	Q	H	P _{el}	η _{pompy}	e _j	t	V
	m ³ /h	m	kW	%	kWh/m ³	h	m ³
indukcyjny Sh 560 H4A	623,0	740,5	1612	80,8	2,60	7447	4 639 627
synchroniczny z magnesami trwałymi	635,5	741,3	1618	81,1	2,55	7301	

5. WNIOSKI

Na podstawie analizy wykonanych obliczeń dotyczących pracy pompowni głównego odwodnienia kopalni podziemnej pracującej z silnikiem synchronicznym wzbudzonym magnesami trwałymi lub indukcyjnym o największej sprawności można stwierdzić, że:

- zastosowanie silników synchronicznych z magnesami trwałymi jest bardziej oszczędne, wypompowanie określonej objętości cieczy odbywa się w krótszym czasie przy mniejszym zużyciu energii elektrycznej,
- silniki synchroniczne z magnesami trwałymi pobierają znacznie mniej energii biernej od silników indukcyjnych a można je tak zaprojektować, że ich moc bierna będzie skompensowana (współczynnik mocy $\cos\varphi=1$),

- większa sprawność i współczynnik mocy powodują zmniejszenie prądu pobieranego przez silniki z magnesami trwałymi o ok. 8% w porównaniu do obecnie stosowanych maszyn indukcyjnych co umożliwia zmniejszenie strat przesyłowych w układzie zasilania o ok. 16%.

LITERATURA

- [1] JĘDRAL W., *Pompy Wirowe*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2001
- [2] SKOWROŃSKI M., *Układy pompowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009
- [3] ZAWILAK J., ZAWILAK T., *Energooszczędne silniki synchroniczne z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim*, Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, Politechnika Wroclawska, 2013
- [4] ZAWILAK J., ZAWILAK T.: *Energooszczędne silniki synchroniczne z magnesami trwałymi*. Napędy i Sterowanie. 2014, R. 16, nr 2, s. 102-105,
- [5] ZAWILAK J., ZAWILAK T.: Energooszczędne silniki synchroniczne z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim. *Górnictwo Odkrywkowe*. 2014, R. 55, nr 1, s. 29-33

PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR AS A DRIVE OF CENTRIFUGAL PUMP

In this paper is presented opportunity of deployment permanent magnet synchronous motor as a drive of high power centrifugal pump, e.g. in pump station for underground mining. Operating properties of PMSM and energy-saving asynchronous motor are collated. Profits of application PMSM as a pump drive are shown in comparison to the best high-performance induction motor.

nanorurki węglowe, CNTs,
przewodnictwo elektryczne,
materiały przewodzące prąd

Łukasz MACKIEWICZ*, Katarzyna OWODZIN**

NOWE MATERIAŁY PRZEWODZĄCE NA PRZYKŁADZIE NANORUREK WĘGLOWYCH

Jednym z nurtów współczesnych badań naukowych jest tematyka materiałów nanometrycznych. Dla nas najważniejsze są wysoce przewodne i wydajne nowe materiały. Jednym z nich są nanorurki węglowe (CNTs), które cechuje szereg właściwości od mechanicznych po przewodzące czy magnetyczne. W poniższej pracy przedstawimy krótką charakterystykę tych materiałów oraz ich przewodnictwo elektryczne.

1. WSTĘP DO TEMATYKI

1.1. HISTORIA NANORUREK WĘGLOWYCH

Tematyka "włóknistych" struktur węgla pojawiła się już pod koniec XIX wieku, kiedy zaczęto badania w tym kierunku. Huges i Chambers [1] w 1889 roku opatentowali metodę produkcji "włóknin" węglowych. Metoda ich polegała na kondensacji gazowej stałych produktów w wysokotemperaturowej pirolizie mieszaniny wodoru i metanu w tyglu żelaznym. W roku 1890 Shtzenbergerom [1] udało się otrzymać włókniste depozyty węglowe podczas kontaktu gazu zawierającego węgiel (dwucyjan) z rozgrzaną do czerwoności porcelaną. Kilka lat później Pelebon uzyskał podobne struktury.

Pod koniec XIX i na początku XX wieku nie było możliwości bliższego zbadania tych tworów węglowych. Dopiero wynalazek mikroskopu elektronowego w latach 50-tych XX w. pozwolił na lepsze ich poznanie[4].

* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Akademickie Koło SEP przy Wydziale Elektrycznym ZUT w Szczecinie.

** Akademickie Koło SEP przy Wydziale Elektrycznym ZUT w Szczecinie.

Magazyn "Nature" opublikował zdjęcia "niezwykłych form węgla" (ang. an unusual form of carbon) w roku 1953, na których widoczne były struktury nanometryczne składników sadzy pozyskanej ze ścian pieca metalurgicznego. W roku 1955 Hofer [1] i inni opublikował informacje o powstawaniu cienkich warstw węglowych, których struktury można było nazwać "rurkowe" (ang. tubules), a powstający produkt miał "charakter przędzy" (ang. thread-like) o rozmiarach 10-200 nm[4].

Formalnie odkrycie nanorurek przypisuje się Japończykowi, Iijimie z NEC Fundamental Research Laboratory w Tsukuba, Japonia [1]. Opublikował on w roku 1991 zdjęcia (HR TEM – transmisyjna mikroskopia elektronowa o wysokiej rozdzielczości) przedstawiające wydłużone, wielościennie, cylindryczne formy węgla o średnicy od 10 do 30 nm. Długości nie udało się określić, ponieważ otrzymane formy węgla wychodziły poza obszar widoczności urządzenia. Odkryte nanorurki zawarte były w depozycie węglowym osadzone na katodzie, powstałym podczas syntezy fulerenów metodą elektrołukową [1, 4].

1.2. BUDOWA NANORUREK WĘGLOWYCH

Nanorurki węglowe (CNTs - ang. carbon nanotubes) zbudowane są z arkuszy grafenowych. Po zwinięciu takiej warstwy grafenowej otrzymujemy nanorurkę, która jest zamknięta na końcach i pusta w środku, o ściankach złożonych z jednej (SWCNTs - ang. single-walled carbon nanotubes) lub wielu warstw (MWCNTs - ang. multi-walled carbon nanotubes). Połączenie brzegów arkusza grafenowego może następować na różne sposoby, a to, z jakim typem połączenia mamy w danym przypadku do czynienia (tzw. chiralność nanorurki) wywiera bardzo istotny wpływ na jej właściwości, zwłaszcza elektryczne.

Swoją nazwę nanorurki zawdzięczają rozmiarom - ich średnica nie przekracza kilku nanometrów, natomiast długość może sięgać kilkudziesięciu mikrometrów.

Nanorurki posiadają szereg właściwości. Charakteryzują się odpornością chemiczną, mechaniczną (duża wytrzymałość, sztywność), posiadają właściwości optyczne, elektryczne (duże przewodnictwo elektryczne i cieplne) i magnetyczne. Niektóre rodzaje nanorurek wykazują właściwości metaliczne, większość zaś - półprzewodnikowe [5].

1.3 WŁAŚCIWOŚCI NANORUREK WĘGLOWYCH

Nanorurki węglowe coraz częściej bada się pod kątem wykorzystania w elektronice, medycynie, ochronie środowiska, w przemyśle tworzyw sztucznych i w wielu innych dziedzinach [1, 2, 3, 4]. Wymienione wyżej własności czynią z nanorurek węglowych bardzo atrakcyjny składnik kompozytów polimerowych, wpływający na poprawę

jednocześnie: przewodnictwa elektrycznego i wytrzymałości mechanicznej, a także zmniejszający palność. Zawierające nanorurki węglowe kompozyty przewodzące mogą znaleźć zastosowanie jako materiały antystatyczne, ekranujące szkodliwe promieniowanie lub zakłócenia elektromagnetyczne [5].

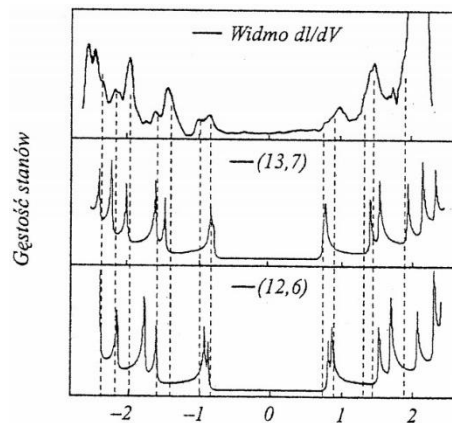
2. WŁAŚCIWOŚCI PRZEWODZĄCE NANORUREK WĘGLOWYCH

2.1.1. PODZIAŁ NANORUREK WĘGLOWYCH

Ze względu na przewodnictwo, nanorurki węglowe dzielą się na:

- 1) metaliczne;
- 2) półprzewodnikowe.

SWCNTs, czyli jednościenne nanorurka węglowa może być metaliczna jak i półprzewodząca. Mieszanina jednościennej nanorurek może stanowić półmetal, który ma przewodność rzędu około 10^5 S/m. Wielościenne nanorurki węglowe są przewodnikami prądu o dwuwymiarowym kształcie[3].



Rys. 1. Widmo stanów elektronowych. Funkcja I(V)
Fig. 1. The spectrum of electron states. Function I(V)

Nanorurki węglowe, które mają średnicę $\geq 0,7\text{nm}$ przypominają strukturę grafitu, zaś nanorurki o średnicy $\leq 0,7\text{nm}$ charakteryzują się przewodnictwem metalicznym. Średnica i chiralność mają wpływ na właściwości elektronowe nanorurek węglowych. Gdy zmieniamy średnicę oraz chiralność, zmienia się nam gęstość widma stanów elektronowych. Chiralne nanorurki różnią się od achiralnych nanorurek przy podobnej średnicy, gdyż mają więcej plików V. Plik V jest to osobliwość van Hove'a. W nanorurce węglowej, która jest przewodnikiem metalicznym, występuje różna od zera wartość gęstości stanów elektronowych wokół zerowego potencjału[1].

2.1.2 CHARAKTERYSTYKA NANORUREK WĘGLOWYCH

Jedna trzecia wszystkich nanorurek (szczególnie te co mają budowę fotełową) mają taką średnicę i skrętność, że poziom Fermiego jest dozwolony, czyli najwyżej obsadzony przez elektrony orbital w temperaturze około zera bezwzględnego, przy osadzeniu połowy najniższych orbitali.

Okolo trzech czwartych nanorurek węglowych wykazuje, że są półprzewodnikami. Oznacza to, że są one w stanie przewodzić prąd. Warunkiem spełniającym przewodność określa się, że elektrony z pasma walencyjnego zostają przetransportowane do pasma przewodnictwa pod wpływem oświetlenia, bądź nagrzania. Wymogiem jest jedynie energia, która musi spełniać warunki, różnica między maksymalnym pasmem walencyjnym, a minimalnym pasmem przewodzenia. Energia ta nazywa się pasmo energii wzbronionej albo przerwa elektryczna półprzewodnika. W przypadku nanorurek, przerwa ta znajduje się w granicach 0-1,14 eV[3].

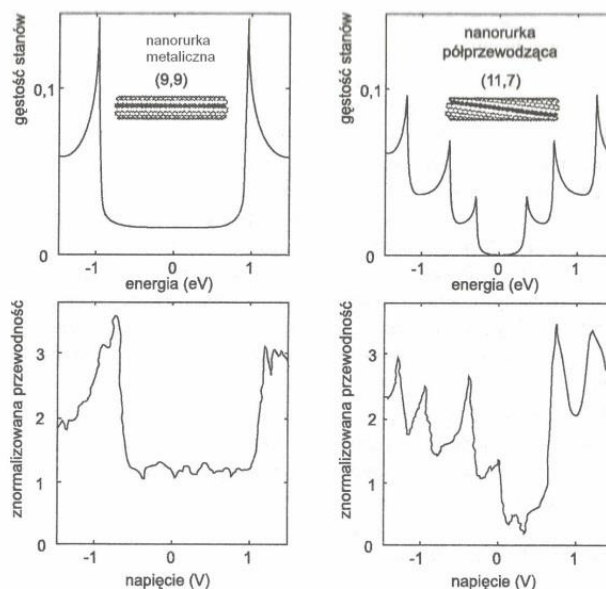
SWCNTs nie mają niestabilności Peierls'a, czyli wartość przerwy energetycznej jest mała, w porównaniu z wartością $k \cdot T$ (gdzie, k – stała Boltzmanna = $1,38065 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$, T – temperatura). Prawidłowa nierówność występuje wtedy, gdy nie jest w zakresie niskich temperatur[1].

Nanorurki węglowe traktujemy jako druty kwantowe, ponieważ chcemy dokonać analizy elektronowej. Zdefiniowane stany elektronowe określają nam ich przewodnictwo.

Gdy odcinek długości przewodzenia jest mniejszy niż średnia droga swobodna elektronu, to transport ma charakter balistyczny. Oznacza to, że elektrony przemieszczają się, nie tracąc energii podczas rozpraszania na defektach sieci krystalicznej[3].

Najczęściej rozproszeniu towarzyszy emisja kwantu energii. Ruch elektronów nie ma oporu. Również nie ma podwyższonej temperatury w skutek rozpraszania energii

przy wysokim natężeniu prądu osiągającego 1 mA. To dowodzi że w nanorurkach jest skwantowane przewodnictwo o charakterze metalicznym[6].



Rys. 2. Obliczone i eksperymentalne właściwości elektronowe nanorurki metalicznej i półprzewodzącej[1]

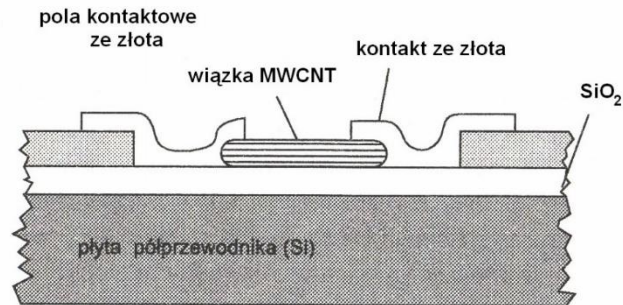
Fig. 2. Calculated and experimental electronic properties of metallic and semiconducting nanotubes[1]

Wykresy, które znajdują się u góry, przedstawiają zależność gęstości w funkcji energii, natomiast na dole wykresy przedstawiają zależność przewodnictwa od struktury nanorurek.

2.2 BADANIE WŁAŚCIOWŚCI PRZEWODZĄCYCH

Wielościennie nanorurki węglowe rozprawdane są na półprzewodnikowej powierzchni krzemowej, w której znajduje się układ elektrod zrobionych ze złota. Przy użyciu sondy tunelowej dokonuje się pomiaru przewodnictwa oraz oporności[6].

Strukturę elektronową można zaobserwować gdy przeprowadzimy modulację pasm przewodzenia. W środku nanorurki wkładamy fulereny o wysokich wymiarach, co sprawia zmiany naprężeń i wymiary ładunku w nanorurce, gdzie występuje fuleren. W skutek czego nanorurka dzieli się na kawałki o długości rzędu 10 nm[6].



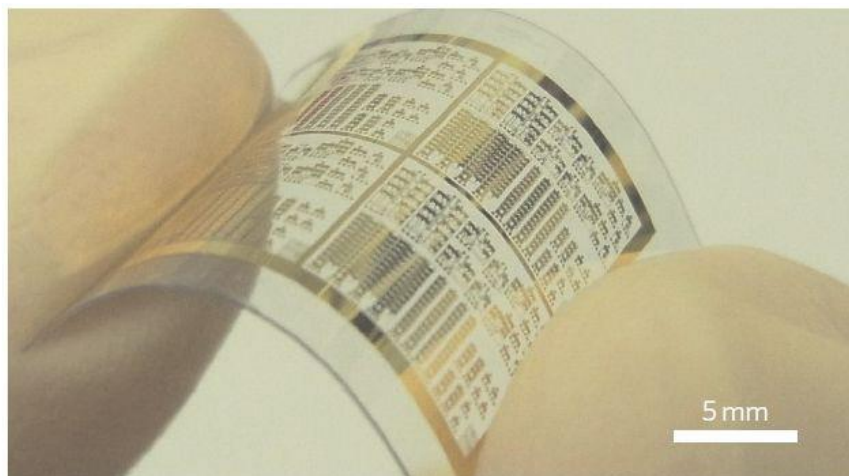
Rys. 3. Schemat układu do pomiaru przewodnictwa elektrycznego[1]
 Fig. 3. Diagram of measuring the electrical conductivity[1]

Nanorurki węglowe mają zdolność do wysyłania elektronów ze swoich krańców. Emisja nanorurek zależy od ich budowy, którą można regulować poprzez zmianę parametrów procesu wzrostu. Poprzez odpowiednią budowę końców można osiągnąć wysokie natężenia pola elektrycznego, co za tym idzie można osiągnąć wysoką gęstość stabilnej emisji elektronów[6].

Przykładem może być płaskoekranowy wyświetlacz FED oraz układ elektroniczny.



Rys. 4. Prototypowy wyświetlacz FED firmy Sony[8]
 Fig. 4. The prototype display FED Sony[8]



Rys. 5. Elastyczny układ elektroniczny wydrukowany przy pomocy tuszu na bazie jednościennej nanorurek węglowych[7]

Fig. 5. The flexible electronic circuit printed with ink on the basis of single-wall carbon nanotubes[7]

Przeprowadzone badania na nanorurkach węglowych pokazały, że najlepsze są niezdefektowane wielościenne nanorurki posiadające zamknięte końce[1].

LITERATURA

- [1] Huczko A., *Nanorurki Węglowe. Czarne diamenty XXI wieku*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2004.
- [2] Przygocki W., Włochowicz A., *Fuleryny i nanorurki – Właściwości i zastosowanie*, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa, 2001.
- [3] Iijima S., Carbon nanotubes: past, present, and future, *Physica B*, 323, 2002, 3.
- [4] Owodźń K., *Badanie modyfikacji nanorurek węglowych* - praca magisterska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin, 2010 .
- [5] Pietrzak Ł., Jeszka J. K., Nanokompozyty polilaktyd/wielościenne nanorurki węglowe – otrzymywanie i właściwości elektryczne, „*Polimery*” 2010, nr 7-8, 524.
- [6] Bachmatiuk A., *Badania nad technologią otrzymywania i własnościami nanorurek węglowych* - praca doktorska, Politechnika Szczecińska, Szczecin, 2008 .
- [7] Łukaszczyk P., *Badania nad technologią separacji i dyspersji jednościennej nanorurek węglowych na metaliczne i półprzewodnikowe* - praca doktorska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin, 2013 .
- [8] Karbowniczek M., *Przegląd nowoczesnych technik wyświetlania Encyklopedia epoki obrazu*, aktualizacja 24 marca 2010, Dostępny w Internecie: <<http://pclab.pl/art41370-19.html>>.

NEW CONDUCTIVE MATERIALS ON THE EXAMPLE OF CARBON NANOTUBES

The article presents and describes the history and construction of carbon nanotubes. The mentioned properties are related to electrical, medical and environmental properties. In the article also mentioned about two types of nanotubes : metallic and semiconductor. The authors showed in details nature and use of conductive carbon nanotubes. On graphs which are included are presented their properties. This is described as the study of conductive properties. Carbon nanotubes are distributed on a semiconductor in order to measure conductivity and resistance. The nanotubes were also applied in electrical engineering. The research on carbon nanotubes have shown that the best are nondefected multiwall nanotubes with closed ends.

Piotr NOWAK*

ZALETY TOPOLOGII BOOST I BUCK OPARTYCH O BLOKI ZAPEWNIAJĄCE ŚLEDZENIE PUNKTU MAKSYMALNEJ MOCY (MPPT) W SYSTEMACH FOTOWOLTAICZNYCH

Instalacje elektryczne wykorzystujące ogniwa słoneczne jako źródła energii są zaprojektowane tak, aby pracować przy śledzeniu punktu maksymalnej mocy ogniw słonecznych. Punkt promieniowania słonecznego i temperatury różnią Maximum-Power-Point-Tracker (MPPT). Najczęściej MPPT oparty jest na przetwornicy DC-DC rodzaju BUCK lub BOOST. W tym artykule porównano wydajności energetyczne tych konwerterów i wykazano, że MPPT bazuje na przetwornicy podwyższającej (BOOST), wyniki konfiguracyjne uzyskane w wyższej mocy wyjściowej, tym samym lepsze wykorzystanie komórek słonecznych.

1. WSTĘP

Ogniwo fotowoltaiczne (PV) przemienia energię, system może wykorzystywać konwerter DC-DC w wielu aplikacjach zaleca się m.in. bloki zapewniające śledzenie punktu maksymalnej mocy (maximum power point tracking – MPPT) do przesyłania maksymalnej dostępnej energii z PV do tablicy obciążenia.

MPPT mogą być zaprojektowane w oparciu zarówno o topologie BUCK lub BOOST [1-5]. Przetwornica BUCK na ogół stosuje się w celu obniżenia napięcia wyjściowego. Przetwornica BOOST używa się do uzyskania wyższego napięcia wyjściowego. W większości przypadków BUCK zaletą jest większa wydajność. Inną różnicą między tymi dwoma konfiguracjami jest taka, że dla przetwornicy BUCK czasami, prąd nie płynie do zacisków wejściowych, natomiast dla przetwornicy BOOST prąd płynie stale do portu wejściowego.

Różnica między energią konwencjonalną i źródłem energii fotowoltaicznej jest taka, że podczas gdy w konwencjonalnych źródłach energii, energia, która nie jest

* Politechnika Wroclawska, Akademickie Koło SEP przy Politechnice Wroclawskiej, 50-372 Wrocław, ul. Janiszewskiego 8, piotr.nowak@sep.com.pl

dostarczana obciążeniu nie jest zużywana i pozostaje w źródle światła fotowoltaicznego, energia ta jest marnowana. Dlatego MPPT służy w systemie PV do podejmowania działań przy mocy maksymalnej.

Pomimo wyższej efektywności topologii BUCK w przypadku konwencjonalnych systemów źródła energii, topologia BOOST może bardziej nadawać się do zastosowania w systemach PV w tym MPPT konwerter działa w bieżącym trybie ciągłym wydobywa tyle mocy, jak to możliwe z energii słonecznej komórki. Stąd efektywności energetycznej przetwornic BOOST może być większa niż w przetworniku BUCK.

Niniejszy artykuł zajmuje się analizą MPPT bazującej na topologii BUCK i BOOST i pokazuje zalety topologii BOOST dla maksymalnego transferu energii w systemach fotowoltaicznych.

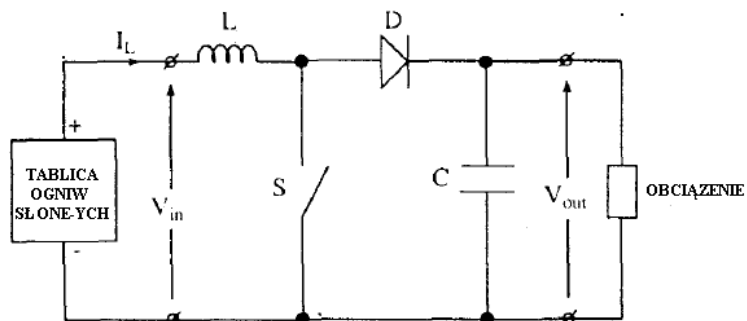
2. PRZETWORNICE BOOST

2.1 PODSTAWOWE OPERACJE PRZETWORNIC BOOST

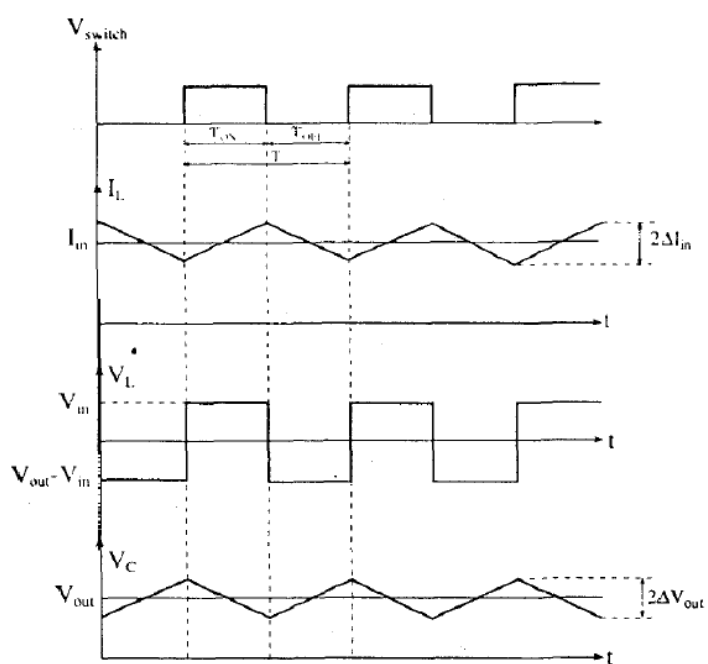
Gdy przełącznik S jest zwarty (rys.1.) prąd przepływa tylko od zasilacza (tablica ogniw słonecznych) przez cewkę L. Jednocześnie obciążenie jest zasilane z wyjścia kondensatora C. Gdy S jest otwarty, prąd płynie od zasilania przez cewkę i diodę D do ładowania kondensatora wyjściowego, a jednocześnie do zasilania obciążenia. Typowy przebieg widać na rys.2.

Aby ułatwić analizę przyjmujemy, że:

- wszystkie elementy są idealne,
- obciążenie jest czysto rezystancyjne,
- czas przełączania jest znacznie krótszy niż stała czasowa obwodu elektrycznego, a zatem używamy liniowe przybliżenie.



Rys.1. Podstawowa przetwornica BOOST
Fig. 1. Basic converter BOOST



Rys.2. Typowe przebiegi przetwornicy BOOST
Fig. 2. Typical waveforms of the converter BOOST

2.2 RÓWNANIE NAPIĘCIA WYJŚCIOWEGO

W pracy w stanie ustalonym konwertera, średnie napięcie cewki indukcyjnej jest równe zero na pełne okres przełączania T (tj. volt-sekunda prób ponad zero w okresie przełączania T). Z tego uzyskujemy wyjściowe (obciążenia) napięcie:

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (1)$$

gdzie:

V_{out} : napięcie wyjściowe (obciążenia),

V_{in} : napięcie wejściowe (tablicy ogniwa słonecznego),

D : zmienny cykl ($D=T_{on} / T$),

T_{on} : czas zamknięcia przełącznika.

2.3 WARTOŚĆ KONDENSATORÓW I CEWEK

Opiera się na energii zgromadzonej energii, absolutorium podczas T_{on} i T_{off} czasie i wymaga fali napięcia i prądu, możemy obliczyć wymagane wartości kondensator i cewek:

$$C = \frac{V_{out}TD}{2\Delta V_{out}R_{obc}} \quad (2)$$

$$L = \frac{2CV_{out}\Delta V_{out}}{2I_{in}\Delta I_{in}} \quad (3)$$

gdzie:

C : wyjście kondensatora,

T : czas przełączenia,

R_{out} : obciążenie wyjścia,

ΔV_{out} : tętnienie napięcia wyjściowego,

L : indukcyjność wejściowa,

ΔI_{in} : tętnienie prądu wejściowego,

I_{in} : prąd wejściowy.

2.4 REZYSTANCJA OBCIĄŻENIA

Relacja pomiędzy napięciem wyjścia i wejścia zależy od cyklu pracy. Zakładając sprawność równą 100% oraz, że przetwornica jest typu POPI (moc wyjściowa = moc wejściowa) otrzymujemy optymalne obciążenie.

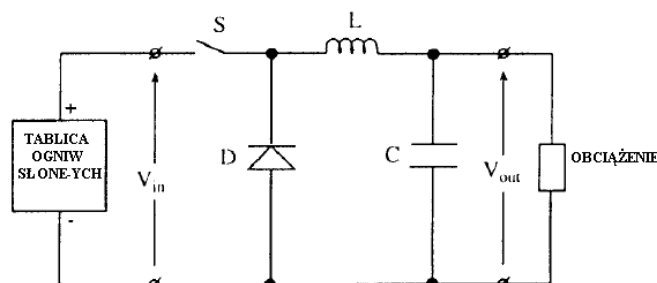
$$R_{out} \frac{V_{in}}{I_{in}(1-D)^2} \quad (4)$$

3. PRZETWORNICE BUCK

3.1 PODSTAWOWE OPERACJE PRZETWORNIC BUCK

Przetwornica (Rys.3.) składa się z dwóch części:

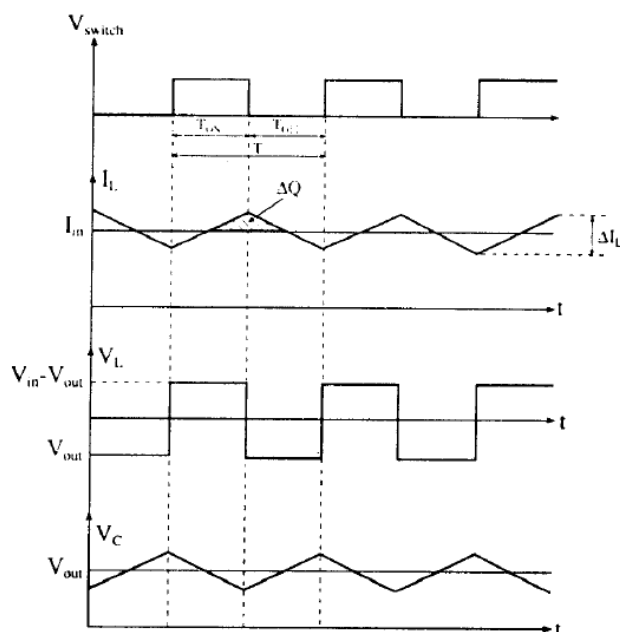
- blok generator fal o zmiennym cyklu pracy,
- filtr dolnoprzepustowy LC z 40 dB/dec tłumienie. Graniczna częstotliwość $f_c=1/2\pi\sqrt{LC}$ jest zaprojektowany, aby uzyskać niskie tętnienia wyjściowe.



Rys.3. Podstawowa przetwornica BUCK

Fig. 3. Basic converter BUCK

Dobrym założeniem pracy konwertera jest to, że tętnienia napięcia wyjściowego jest znacznie mniejsza od napięcia wyjściowego, w związku z tym, możemy pobrać stały prąd obciążenia, a tętnienia prądu wytwarzane przez cewkę płyną do kondensatora z którego może być obliczane tętnienie napięcia. Typowe napięcia i prądy są pokazane na Rys.4.:



Rys.4. Typowe przebiegi przetwornicy BUCK
Fig. 4. Typical waveforms of the converter BUCK

3.2 RÓWNANIE NAPIĘCIA WYJŚCIOWEGO

Ponieważ w analizie przetwornicy podwyższającej napięcie, napięcie cewki jest równe zero na pełnym okresie przełączania T , zatem możemy napisać:

$$V_{out} = V_{in}D \quad (5)$$

3.3 PROJEKTOWANIE RÓWNANIA KONDENSATORA I CEWKI

Ponieważ napięcie na cewce indukcyjnej jest dowolne, czas ten może być obliczony na podstawie:

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} \quad (6)$$

wartość cewki można policzyć z:

$$\Delta I_L = \frac{V_{out}(1-D)T}{L} \quad (7)$$

Aby obliczyć wartość kondensatora możemy skorzystać z faktu, że na obszarze tętnienia prądu cewki indukcyjnej odpowiada przechowywanej za ΔQ , a zatem kondensatora można obliczyć:

$$C = \frac{T\Delta I_L}{8C\Delta V_{out}} \quad (8)$$

3.4 REZYSTANCJA OBCIĄŻENIA

Relacja pomiędzy napięciem wyjścia i wejścia zależy od cyklu pracy. Zakładając sprawność równą 100% oraz, że przetwornica jest typu POPI, otrzymujemy:

$$R_{obc} = \frac{V_{in}}{I_{in}} D \quad (9)$$

4. MAXIMUM POWER POINT TRACKER (mppt)

Podczas pracy w stanie ustalonym wartość napięcia wyjściowego nie ma pierwszorzędного znaczenia, ponieważ głównym celem jest, aby wyodrębnić maksymalną możliwą energię ze źródła i dostarczyć ją do wyjścia. W związku z tym, że chcemy pracować z wejściem.

4.1 SPRAWNOŚĆ PRZETWORNICY

Maksymalna moc dostępna dla tablicy ogniw słonecznych:

$$P_{max} = V_{max} I_{max} \quad (10)$$

moc dostarczana przez przetwornik:

$$P = \frac{1}{T} \int_T V_{in} I_{in} dt$$

$$\approx \frac{1}{T} (V_{in}(T_{on}) I_{in}(T_{on}) T_{on} + V_{in}(T_{off}) I_{in}(T_{off}) T_{off}) \quad (11)$$

Sprawność katalizatora (pomijając wszystkie straty):

$$\eta = P/P_{max} \quad (12)$$

5. WNIOSKI

MPPT w układzie systemu fotowoltaicznego musi bazować na przetwornicy BUCK lub BOOST. Artykuł pokazuje, że przetwornica BOOST posiada większą wydajność energetyczną niż BUCK. W przetwornicy BUCK napięcie wyjściowe zależy od napięcia wejściowego a BOOST odwrotnie. Jeśli wymagane napięcia MPPT bazujące na przetwornicy BOOST jest większe niż pożądane napięcie wyjściowe, można skorzystać z przetwornicy BUCK jako drugiego stopienia obniżenia. W ten sposób uzyska się wyższe wydajności energetyczne niż w przypadku, gdyby MPPT były tylko oparte na przetwornicy BUCK. Tylko dla cyklu pracy dążącego do 100%, przetwornica BUCK dąży do wydajności energetycznej przetwornicy BOOST. Jednak w tym przypadku zdolność sterowania (kontrolowanie cyklu pracy) jest bardzo ograniczona dla przetwornicy BOOST i wydajność energetyczna zmienia się nieznacznie do cyklu pracy.

LITERATURA

- [1] B. M. T. Ho and H. S.-H. Chung, *An integrated inverter with maximum power tracking for grid-connected PV systems*, IEEE Trans. Power Electron., vol. 20, no 4, 2005.
- [2] Q. Li, P. Wolfs. A review of the single phase photovoltaic module integrated converter topologies with three different DC link configurations, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 23, no 3, 2008.
- [3] G. R. Walker, P. C. Sernia, *Cascaded DC-DC converter connection of photovoltaic modules*, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 19, no 4, 2004.
- [4] M. Veerachary, T. Senjyu, and K. Uezato, *Maximum power point tracking of coupled inductor interleaved boost converter supplied PV system*, Proc. Inst. Electr. Eng.—Electric Power Applications, vol. 150, no 1, 2003.
- [5] Edward S. Yang, *Microelectronic Devices*, Mc Graw Hill, 1988.
- [6] K. Chomsuwan, P. Prisuwana, V. Monyakul, Photovoltaic grid-connected inverter using two-switch buck-boost converter, in Proc. IEEE PVSC, 2002.
- [7] Abraham I. Pressman, *Switching Power Supply Design*, McGraw Hill, 1991.
- [8] H.W. Whilington, B.W. Flynn, D.E. Macpherson, *Switching Mode Power Supplies Design and Construction*, John Wiley & Sons, 1992.
- [9] W. Janke, *Techniki opisu impulsowych przetwornic napięcia stałego*, Politechnika Koszalińska, Przegląd Elektrotechniczny , ISSN 0033-2097, 2012 .

**ADVANTAGES OF BUCK AND BOOST TOPOLOGY BASED ON BLOCKS
ENSURING MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) IN PHOTOVOLTAIC
SYSTEMS**

Impulse voltage inverters are an extensive group of electronics systems. One of the main aspects of analysing and designing, this kind of systems, is creation model of the main blocks, which are useful in the design of a control blocks. The main goal of the article is to compare BUCK and BOST inverters.

Piotr NOWAK*, Gracjana SKWIRA*

OMÓWIENIE ROZWIĄZAŃ MIKROELEKTROWNI FOTOWOLTAICZNYCH STOSOWANYCH W GOSPODARSTWACH DOMOWYCH PROPONOWANYCH PRZEZ PRODUCENTÓW

Mikroelektrownie fotowoltaiczne na świecie bazują na dwóch systemach Off-grid i On-grid. Ogniwo fotowoltaiczne jest podstawowym przyrządem elektronowym stosowanym do konwersji energii słonecznej na elektryczną z wykorzystaniem zjawiska fotowoltaicznego. W tym artykule omówiono rozwiązania proponowane przez firmy i stwierdzono, jakie rozwiązanie jest najbardziej korzystne z perspektywy kosztów inwestycji oraz maksymalnego wykorzystania energii słonecznej czy też sprawności.

1. WSTĘP

1.1. WPROWADZENIE DO ZAGADNIENIA

W Polsce w celach energetycznych wykorzystuje się głównie paliwa stałe takie jak węgiel, dlatego wraz z upływem czasu cena energii systematycznie rośnie, stąd popularniejsze jest pozyskiwanie energii odnawialnej w gospodarce domowej. Głównie stosowane są panele fotowoltaiczne PV montowane na dachach domów, bloków, szkół, szpitali. Wynika to z faktu wspierania ekologii jak również ze względów ekonomicznych. Koszty wytwarzania energii odnawialnej są znacznie niższe w porównaniu do dotychczas stosowanych rozwiązań. Biorąc pod uwagę dzisiejsze zapotrzebowanie na energię elektryczną, jak i skończoną ilość zapasów paliw, konieczne jest znalezienie lepszych rozwiązań z punktu widzenia energetyki.

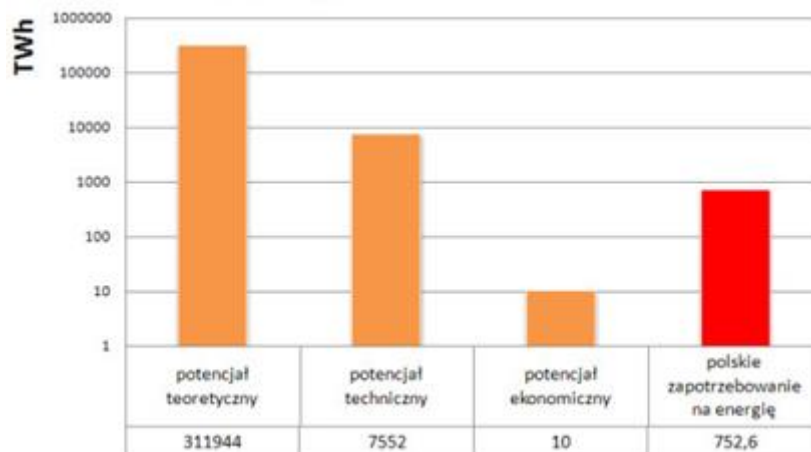
Celem pracy jest zebranie, porównanie oraz omówienie informacji na temat proponowanych rozwiązań systemów małych elektrowni słonecznych. Oprócz tego

* Politechnika Wroclawska, Akademickie Koło SEP przy Politechnice Wroclawskiej, 50-372 Wrocław, ul. Janiszewskiego 8, piotr.nowak@sep.com.pl, gracjana.skwira@gmail.com

praca obejmuje przegląd najnowszych technologii stosowanych w dziedzinie paneli fotowoltaicznych.

1.2. ENERGETYKA SŁONECZNA W POLSCE

Polska jest krajem, który leży w rejonie, gdzie warunki naturalne i klimatyczne nie są optymalne do zastosowania paneli słonecznych, jednak pozwalają na szersze niż obecnie wykorzystanie energii słońca. Średnie nasłonecznienie w Polsce to około 1000 kWh/m^2 rocznie [11]. Jednym z najbardziej uprzywilejowanych rejonów Polski pod względem napromieniowania słonecznego jest południowa część województwa lubelskiego. Centralna część Polski, tj. około 50% powierzchni kraju, uzyskuje napromieniowanie rzędu $1022\text{-}1048 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$, a południowa, wschodnia i północna część Polski - $1000 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$ i mniej. Najmniejszy w skali roku dopływ energii obserwuje się w rejonie Śląska oraz w obszarze znajdującym się na styku Czech, Niemiec i Polski, do niedawna nazywanym "Czarnym Trójkątem", z uwagi na wysokie zanieczyszczenie powietrza. Do obszarów słabo nasłonecznionych należy również rejon północny obejmujący pas wybrzeża z wyjątkiem Wybrzeża Zachodniego. Rejony nadmorskie wyróżniają się najbardziej przezroczystą dla promieniowania atmosferą. Obecnie energia słoneczna wykorzystywana jest w Polsce głównie, jako źródło ciepła poprzez instalacje kolektorów słonecznych ogrzewających powietrze lub wodę. Baterie słoneczne wykorzystujące promieniowanie słoneczne do produkcji energii elektrycznej, ze względów ekonomicznych, wykorzystywane są wyłącznie w instalacjach małych mocy, zasilających głównie obiekty wolnostojące oddalone od sieci elektroenergetycznych, np. znaki drogowe, lampy oświetleniowe, itp.



Rys. 1. Zasoby energii słonecznej w Polsce [11]
 Fig. 1. Electric solar energy resources in Poland [11]

2. KONWERSJA ENERGII ZE SŁOŃCA NA ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ

2.1. WPROWADZENIE

Jeśli chodzi o promieniowanie słoneczne jest ono przetwarzane bezpośrednio na energię elektryczną na zasadzie zjawiska fotowoltaicznego. Zjawisko to zostało zaobserwowane podczas badań elektrod chlorkowo-srebrowych zanurzonych w elektrolicie przez A.C. Becquerela w 1839 roku, lecz sam rozwój fotowoltaiki rozpoczął się w XX wieku, przez badania kosmiczne oraz kryzys naftowy [2]. Fotowoltaika jest obecnie jedną z najszybciej rozwijających się dziedzin w energetyce, a sprawność ogniw fotowoltaicznych z roku na rok wzrasta.

Mechanizm zjawiska fotowoltaicznego polega na zmianie właściwości elektrycznych ciała stałego, głównie półprzewodnika pod wpływem padania światła (promieniowania elektromagnetycznego). Ogniwo fotowoltaiczne jest podstawowym przyrządem elektronowym stosowanym do konwersji energii słonecznej na elektryczną z wykorzystaniem zjawiska fotowoltaicznego.

2.2 SCHEMAT ZASTĘPCZY OGNIWA FOTOWOLTAICZNEGO

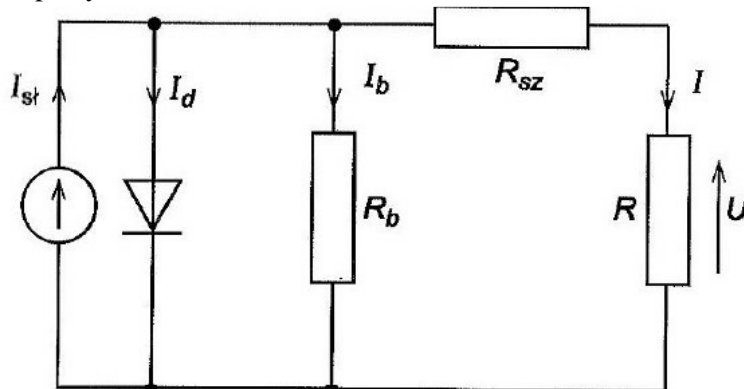
Na rys. 1 został przedstawiony zastępczy schemat rzeczywistego ogniwa fotowoltaicznego. Poniżej opisane zostały wartości charakteryzujące ogniwo. Do parametrów, które stanowią, o jakości ogniwa należą rezystancje:

R_b – rezystancja bocznikowa – reprezentuje drogi upływu prądu wzdłuż krawędzi ogniwa,

R_{sz} – rezystancja szeregową – składa się na nią rezystancja bazy oraz inne warstwy ogniwa,

R – rezystancja obciążenia – powinna być tak dobrana, aby moc w niej wydzielona miała wartość optymalna ze względu na maksimum sprawności [1].

Ogniwo idealne charakteryzuje się tym, że R_b dąży do nieskończoności, a R_{sz} do zera. Przy projektowaniu należy, zatem dążyć do osiągnięcia jak największej wartości R_b oraz zminimalizować wartość R_{sz} . Jeżeli rezystancja szeregową nie jest dostatecznie mała, może to spowodować zmniejszenie fotoprądu, przy czym wpływ R_{sz} na parametry ogniwa jest znacznie większy przy większym natężeniu nasłonecznienia oraz wyższej temperaturze pracy.



Rys. 2. Schemat zastępczego ogniwa fotowoltaicznego [2]

Fig. 2. Replacement diagram photovoltaic cell [2]

gdzie: I_{st} – prąd powstający w wyniku nasłonecznienia, I_d – prąd diody, I_b – prąd płynący przez rezystancję bocznikową R_b , R_b – rezystancja bocznikowa, R_{sz} – rezystancja szeregową, I – prąd płynący przez obciążenie R i rezystancję szeregową R_{sz} , R – obciążenie, U – spadek napięcia na obciążeniu.

Prąd uzyskany w wyniku konwersji energii słonecznej na elektryczną, wyrażony w amperach:

$$I_{st} = I_{st0} \left(\frac{S}{1000} \right) + J_0 (T - T_{odn}) \quad (1)$$

gdzie: I_{st0} i T_{odn} – odpowiednio prąd zwarcia (w amperach) i temperatura (w kelwinach) w warunkach testu standardowego, S – gęstość mocy promieniowania słonecznego, J_0 – współczynnik temperaturowy.

Prąd diody w amperach:

$$I_d = I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(U + R_{sz}I)}{\alpha k_\beta T} \right] - 1 \right\} \quad (2)$$

przy czym:

$$I_0 = I_{d0} \left(\frac{T}{T_{odn}} \right)^3 \exp \left[\frac{qE_q m}{\alpha k_\beta} \left(\frac{1}{T_{odn}} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (3)$$

gdzie: R_{sz} – rezystancja szeregową, Ω , U – spadek napięcia na obciążeniu, V, I – prąd obciążenia, A, I_{d0} – prąd „ciemny” diody, A, $q = 1,602 \cdot 10^{-19}$ – ładunek elementarny, C, E_q – bariera energetyczna potencjału, zależnie od materiału diody, V, m – liczba szeregowo połączonych ogniów, $k_\beta = 1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K – stała Boltzmanna, α – współczynnik jakości diody (dla ogniwa idealnego $\alpha = 1$, w rzeczywistości $1 < \alpha < 2$), T – temperatura pracy ogniwa, K [2].

Prąd (w amperach) płynący przez rezystancję bocznikującą:

$$I_b = \frac{U + R_{sz}I}{R_b} \quad (4)$$

Pomiędzy prądami ze schematu zastępczego z rys.1 zachodzi zależność:

$$I = I_{st} - I_d - I_b \quad (5)$$

Przyjęcie do rozważenia uproszczonego schematu (idealne ogniwo) pozwala w prosty sposób wyznaczyć charakterystykę ogniwa.

2.3 ZALETY I WADY OGNIW SŁONECZNYCH

Patrząc pod kątem użytkowania energii elektrycznej pochodzenia słonecznego przez odbiorców ciężko jest jednoznacznie stwierdzić, czy jest ona korzystna. Najlepiej takiej analizie dokonać przez porównanie wad i zalet.

Zalety:

- konwersja bezpośrednia promieniowania słonecznego na energię elektryczną,
- wysoka niezawodność,
- zbędny transport,
- brak zanieczyszczeń oraz produktów ubocznych np. hałasu.

Wady:

- sprawność elektrowni fotowoltaicznych ocenia się na 4-8% [2], jest więc nieduża w porównaniu do innych źródeł energii odnawialnej,
- dodatkowe koszty instalacji zwiększają koszty urządzeń, które wchodzi w skład systemu,
- stosowanie toksycznych pierwiastków przy tworzeniu ogniw,
- wysoki koszt, który należy obniżyć przy spadku sprawności.

3. PROPONOWANE ROZWIĄZANIA

Ten punkt ma na celu przedstawienie rozwiązań, jakie proponują firmy oraz producenci paneli fotowoltaicznych. Omawiając poszczególne rozwiązania skupimy się na parametrach proponowanych paneli fotowoltaicznych sprawdzając, jakim napięciem jałowym i sprawnością się charakteryzują. Naszym celem będzie stwierdzenie, który z paneli fotowoltaicznych o mocy znamionowej 250 W jest lepszy oraz które z proponowanych rozwiązań jest najbardziej korzystne.

3.1 ENLAB SA

Jest to firma zarejestrowana w Polsce i proponuje ona dwa rozwiązania dla domów jednorodzinnych jedno typu On-grid, drugie Off-grid.

3.1.1. ENLAB BASIC HOME (OFF-GRID)

Jest to rozwiązanie dla użytkowników przyłączonych do sieci energetycznej, ale niechcących sprzedawać wyprodukowanej nadwyżki energii. Może ono być także

stosowane przez użytkowników nieposiadających przyłącza do sieci energetycznej np. w altanach. Rozwiązanie to wymaga zamontowania baterii akumulatorowych, które zmagazynują nadwyżki energii elektrycznej wytworzonej przez panele fotowoltaiczne. System ten składa się z trzech głównych elementów paneli fotowoltaicznych, inwertera oraz baterii akumulatorowych. Takie połączenie pozwala w ciągu dnia na korzystanie z produkowanej energii i magazynowaniu nadwyżki, a wieczorem na zużywanie zmagazynowanej energii z baterii akumulatorowych. Podczas niedoboru energii, można korzystać z energii elektrycznej dostarczanej z sieci energetycznej. Do całego układu można dołączyć inteligentny moduł zarządzający, który zdalnie będzie monitorował i zarządzał domową elektrownią fotowoltaiczną.

3.1.2. ENLAB SMART HOME (ON-GRID)

Jest to rozwiązanie dla użytkowników przyłączonych do sieci energetycznej. W porównaniu z wyżej wymienionym nie są tu stosowane baterie akumulatorowe, dlatego koszt całego układu jest mniejszy, co pozwala na szybszy zwrot zainwestowanych pieniędzy. Układ w porównaniu do wyżej wymienionego jest prostszy i dzięki podpięciu urządzeń elektronicznych za licznikiem, pozwala najpierw konsumować energię wytworzoną przez panele fotowoltaiczne, a w przypadku niedoboru, korzystać z sieci energetycznej. Proponowane rozwiązanie ma jedną znaczącą wadę, przez wyeliminowanie baterii akumulatorowych, gdy dostawca energii odetnie dopływ prądu, ze względu na bezpieczeństwo, inwerter sieciowy spowoduje zaprzestanie produkcji energii elektrycznej.

3.1.3. PANEL FOTOWOLTAINCZY 250W

Firma Enlab SA proponuje w swojej ofercie rozwiązania ogniwo fotowoltaiczne firmy REC. Jest to panel fotowoltaiczny o mocy znamionowej 260 W, aby móc porównać parametry z propozycjami innych firm sprawdzimy dane panelu fotowoltaicznego tej samej firmy o mocy znamionowej 250 W. REC-250PE jest to panel fotowoltaiczny charakteryzujący się napięciem jałowym 37,4 V i jak podaje producent, sprawnością rzędu 15,1%.



Rys. 3. Panel fotowoltaiczny REC-250PE [4]
Fig. 3. Photovoltaic panel REC-250PE [4]

3.2 SUN SOL

Jest to firma zarejestrowana w Polsce i proponuje ona dwa typy systemów: sieciowy i autonomiczny, gdzie dla systemu autonomicznego posiada rozwiązanie hybrydowe.

3.2.1. SYSTEM FOTOWOLTAICZNY SIECIOWY

Jest to układ składający się z paneli fotowoltaicznych połączonych z inwerterem. Zmiana prądu DC na AC zachodzi w inwerterze. Wytworzona energia elektryczna wykorzystywana jest w gospodarstwie domowym, a nadwyżki energii elektrycznej „sprzedawane” są przez licznik dwukierunkowy do sieci energetycznej. Zaletą tego systemu jest prostota i nieprzerwany dostęp do energii, całodobowy dostęp do energii elektrycznej, a w nocy pobór z sieci energetycznej.

3.2.2 SYSTEM AUTONOMICZNY

Składa się z paneli fotowoltaicznych, inwertera, regulatora ładowania oraz baterii akumulatorowych. Zaletą tego układu jest całkowita samoobsługowość. Przy zastosowaniu tego typu systemu, że należy określić dni autonomii, czyli dni o niesprzyjających warunkach pogodowych, kiedy produkcja energii elektrycznej spada.

3.2.3.SYSTEM HYBRYDOWY

Jest to odmiana systemu autonomicznego, która składa się z paneli fotowoltaicznych wspartych zasilaniem z turbiny wiatrowej lub generatora prądu. Tego typu rozwiązania stosuje się w miejscach, w których poziom nasłonecznienia jest niski lub występują jego silne wahania.

3.2.4. PANEL FOTOWOLTAINCZY 250W

Firma ta posiada w swojej ofercie panel fotowoltaiczny Q-Cells Q.PRO G3 250W. Jest to panel fotowoltaiczny, którego maksymalna moc znamionowa jest rzędu 250 W, a sprawność na poziomie 15,0%. Charakteryzuje się on napięciem jałowym rzędu 37,87 V oraz ceną około 1200 zł.



Rys. 4. Panel fotowoltaiczny Q-Cells Q.PRO G3 250 W [6]

Fig. 4. Photovoltaic panel Q-Cells Q.PRO G3 250 W [6]

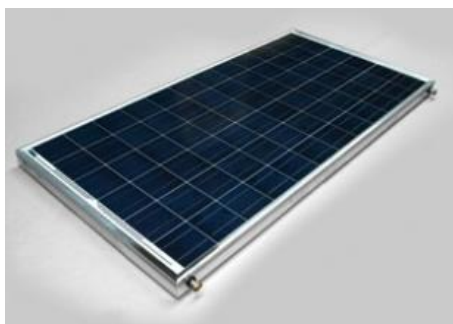
3.3. IMMERGAS S.P.A

Immergas jest to firma Włoska, która aktualnie posiada 30 oddziałów na całym świecie także w Polsce. Proponuje ona własny produkt, który jest rozwiązaniem hybrydowego połączenia panelu fotowoltaicznego z kolektorem słonecznym.

3.3.1. KOLEKTOR HYBRYDOWY I-PV 300W

Jest to moduł przeznaczony do podgrzania wody używanej w gospodarstwie domowym lub ogrzewania domu wraz z jednoczesną produkcją energii elektrycznej.

Połączenie panelu fotowoltaicznego z kolektorem słonecznym pozwala lepiej zagospodarować miejsce i użyteczniej wykorzystać ciepło odpadowe z ogniw PV. Dzięki takiemu rozwiązaniu rośnie efektywność wykorzystania energii słonecznej. Zastosowane połączenie zwiększa żywotność ogniw oraz wzmacnia ich chłodzenie, co poprawia sprawność. Rozwiązanie takie zmniejsza o ok. 30% koszt prac instalacyjnych. Układ ten pozwala na zwiększenie wydajności w zakresie produkcji energii elektrycznej o ok. 15 % w stosunku do standardowego kolektora PV.



Rys. 5. Kolektor hybrydowy I-PV 300W [7]

Fig. 5. Hybrid collector I-PV 300W [7]

3.4. IBC SOLAR

Jest to firma Niemiecka specjalizująca się w fotowoltaice, ma wiele spółek zależnych na terenie Uni Europejskiej a także w Azji. Proponuje ona dwa podstawowe rozwiązania systemowe On-grid i Off-grid.

3.4.1. SYSTEMY OFF-GRID

Jest to system fotowoltaniczny nie podłączony do sieci energetycznej. Energia elektryczna generowana przez panele fotowoltainczne jest magazynowana w bateriach akumulatorowych. Rozwiązanie to sprawdza się w regionach gdzie podłączenie do sieci energetycznej jest nieekonomiczne. Energia słoneczna jest wszędzie, dzięki czemu ma się gwarancję niezależności. Panele fotowoltaiczne magazynują wytworzoną energię w celu jej późniejszego wykorzystania. Ze zmagazynowanej energii można skorzystać w dowolnym czasie i miejscu.

3.4.2.SYSTEMY ON-GRID

W tym rozwiązaniu do panela fotowoltaicznego niezbędny jest inwerter, który zmieni prąd stały na prąd przemienny, wykorzystywany przez urządzenia użytku domowego. Nieodzowna będzie instalacja licznika do pomiaru dostaw energii zainstalowanego obok dotychczasowego licznika energii elektrycznej, pozwoli on na pomiar ilości energii elektrycznej oddanej (niezużytej) do sieci energetycznej, ponad to potrzebny będzie dwudrożny licznik energii, który odróżni czy energia pobierana jest z sieci, czy z panelu fotowoltaicznego. Ostatnim elementem instalacji koniecznym w tym rozwiązaniu jest urządzenie kontrolujące funkcjonalność i zysk, dzięki czemu będzie można odczytać wszystkie wartości.

3.4.3. PANEL FOTOWOLTAICZNY 250 W

Proponowanym rozwiązaniem z wykorzystaniem paneli fotowoltaicznych, jakie proponuje producent paneli fotowoltaicznych IBC SOLAR jest zastosowanie panelu IBC EcoLine – PolySol 250 DS. Maksymalna moc takiego panelu to 250 W, a sprawność jaką podaje producent to 15,3%. Jego napięcie jałowe jest na poziomie 37,6 V. Panel ten można sprzęgnąć z inwerterem tej samej firmy oraz można zainstalować urządzenie monitorujące, także produkcji IBC SOLAR. Firma ta proponuje pełen zakres produktów do instalacji On-grid i Off-grid, co daje nam pewną korelację urządzeń.

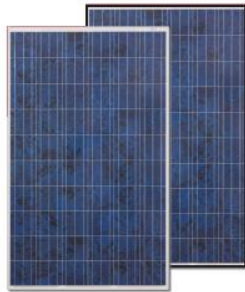


Rys. 6. Panel fotowoltaiczny IBC EcoLine – PolySol 250 DS [8]

Fig. 6. Photovoltaic panel IBC EcoLine – PolySol 250 DS [8]

3.5. CANADIA SOLAR INC.

Jest to Kanadyjska firma która zajmuje się energią odnawialną uzyskiwaną z promieniowania słonecznego. Posiada swoje oddziały w wielu krajach na całym świecie. Oferowane przez Canadia Solar systemy mogą pracować, jako systemy wyspowe (Off-grid), jak również w wariacie polegającym na połączeniu systemu z siecią energetyczną (On-grid). Jednym z proponowanych paneli fotowoltaicznych przez firmę jest CS6P-250P, jest to panel fotowoltaiczny charakteryzujący się maksymalną mocą znamionową na poziomie 250 W, sprawnością 15,54% oraz napięciem jałowym 37,2 V.



Rys. 7. Panel fotowoltaiczny CS6P-250P [9]

Fig. 7. Photovoltaic panel CS6P-250P [9]

3.6. ZIELONA-ENERGIA.COM

Jest to firma Polska Grupa CEDRO Klimczyk, Gregorczyk Sp. j., która opiera swoje realizacje na produktach firmy LOGITEX®.

Rozwiązaniem z wykorzystaniem paneli fotowoltaicznych, jakie proponuje Zielona-energia.com, jest zastosowanie panelu fotowoltaicznego 250Wp firmy Polycrystal. Maksymalna moc takiego panelu to 250 W, a sprawność, jaką podaje producent, to 15,35%. Napięcie jałowe wynosi 37,1 V. Panel ten można sprzęgnąć z inwerterem oraz WattRouterem proponowanym przez firmę. W takim przypadku koszt instalacji On-grid oscylowałby na poziomie od 4 do 8 tysięcy złotych. Należy oczywiście do tej ceny doliczyć koszt montażu oraz koszt liczników energii elektrycznej.



Rys. 8. Panel fotowoltaiczny 250 Wp polycrystal [5]

Fig. 8. Photovoltaic panel 250 Wp polycrystal [5]

Kolejnym proponowanym rozwiązaniem, jest zastosowanie hybrydowych bojlerów CWU firmy LOGITEX®. Jest to rozwiązanie zapewniające pełną niezależność od zakładu energetycznego. Budując instalację Off-grid konieczna jest akumulacja energii elektrycznej za pomocą baterii akumulatorowych. Bojlery grzeją wodę grzałką prądu stałego płynącego bezpośrednio z paneli fotowoltaicznych, a nadmiar energii przesyłany jest automatycznie do inwertera. Hybrydowe bojler LOGITEX® zapewniają grzanie CWU bezpośrednio prądem stałym DC z paneli fotowoltaicznych lub/oraz prądem zmiennym AC z sieci lub/oraz węzownicami z innych źródeł ciepła, a także dalsze wykorzystanie energii elektrycznej w sieci domowej.

4. WNIOSKI

Przy stosowaniu paneli fotowoltaicznych stosuje się dwa podstawowe systemy: On-grid i Off-grid. Wszystkie firmy korzystają z tych systemów lub z ich pochodnych, czyli układów hybrydowych, korzystających na przykład więcej niż z jednego źródła energii odnawialnej. Artykuł ten miał na celu omówienie rozwiązań systemowych do stworzenia mikroelektrowni fotowoltaicznej w domach. Głównym wnioskiem jest to, że aktualnie stosuje się dwie topologie systemowe On-grid i Off-grid. Różnice, jakie proponują firmy, polegają na redukcji lub zwiększaniu liczby elementów kontrolujących, czy też poprawiających komunikację i sprawność. W artykule dla każdej z firm sprawdziliśmy parametry paneli fotowoltaicznych i należy stwierdzić, że ich parametry sprawności i napięć dla tej samej mocy panelu nie różnią się znacznie. Należy więc stwierdzić, że jeśli chcemy osiągnąć jak największy zysk energetyczny powinno się stosować hybrydowe elektrownie fotowoltaiczne, lecz wiąże się to

z większym kosztem instalacyjnym i eksploatacyjnym. Żeby stwierdzić, które z wybranych rozwiązań jest najlepsze należałoby przeprowadzić badania w rzeczywistych warunkach, co wiązało by się z bardzo dużymi kosztami. Podsumowując, prostszy układ wiąże się z mniejszym zyskiem energetycznym, lecz gwarantuje szybszy zwrot kosztów instalacyjnych, bardziej rozbudowane układy to większy zysk energetyczny ale i tym samym wydłużony zwrot kosztów inwestycyjnych.

LITERATURA

- [1] Fredrychowicz-Jastrzębska G., The effect of parameters of a photovoltaic element and the light wave length on this quantum efficiency. Computer Applications in Electrical Engineering, Post Conference Monograph ZKwE 2004, published by Institute of Industrial Electrical Engineering, Poznań University of Technology 2005.
- [2] Jastrzębska G., *Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
- [3] Lewandowski W.M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010.
- [4] Katalog, <http://www.civicsolar.com>
- [5] Katalog, <http://www.enfsolar.com>
- [6] Katalog, <http://sunsol.pl>
- [7] Katalog, <http://pl.immergas.com>
- [8] Katalog, <http://radmo.pl/>
- [9] Katalog, <http://www.soldar.pl>
- [10] Produkty, <http://zielona-energia.com>
- [11] Zasoby energii słonecznej w Polsce i zapotrzebowanie energię, <http://www.zielonaenergia.eco.pl/>

AN OVERVIEW OF PHOTOVOLTAIC MICRO-POWER PLANTS SOLUTIONS USING IN HOUSEHOLDS PROPOSED BY PRODUCERS

In the using of photovoltaic panels harness two basic systems: On grid and Off-grid. All of the companies are employing these systems, their derivatives, or hybrid systems, that use, for example, more than one source of renewable energy. Differences suggested by companies consist of reduction or increase an amount of control elements, or by improving communication and efficiency. This article aims to discuss answers of system solutions for photovoltaic micro-power plants in homes. To draw, which of the selected solution is the best, should carried out a survey in real-life conditions, which entail very high costs. Summarizing, the simpler system involves lower energy gain, but ensures faster return of installation costs, as more complex system is, larger energy gains but also investment cost recovery is extended.

automatyka, elektroenergetyka, sterowanie, samoczynne załączanie rezerwy, sterowniki programowalne, wizualizacje, LabView, budynek jednorodzinny

Mateusz PIĄTEK*

PROJEKT INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ NISKIEGO NAPIĘCIA Z UKŁADEM SZR W BUDYNKU JEDNORODZINNYM

W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania automatyki Samoczynnego Załączania Rezerwy, jako układu zapewniającego bezprzerwowe zasilanie w budynkach umieszczonych w obszarze częstych przerw w dostawie energii elektrycznej, wyposażonych w odnawialne źródła energii. Poza samym pomysłem instalacji, zaprezentowano przykład programu do sterowania poszczególnymi funkcjami układu oraz programu umożliwiającego poprzez wizualizację śledzenie dostępności wybranych źródeł zasilania, symulację ich gotowości do działania. Skupiono się głównie na prostocie oraz intuicji w wykorzystaniu programów, które są dostępne dla przeciętnego użytkownika i mogą być używane oraz modyfikowane z pozycji np. komputera przenośnego. Do analizy założono fikcyjny projekt instalacji elektrycznej budynku mieszkalnego, w którym zainstalowano odnawialne źródła energii. Przy doborze odpowiednich urządzeń i zabezpieczeń, podzielono instalację odbiorczą na sekcje zasilania pod względem ważności zasilania, co uwzględniono przy sterowaniu.

1. WSTĘP

W ostatnich latach zaobserwowano zmiany w uwarunkowaniach projektowania i montażu instalacji elektrycznych. Podstawowym elementem wyposażenia budynków mieszkalnych, biurowych i produkcyjnych stały się różnego rodzaju systemy poprawiające ich funkcjonalność, komfort i bezpieczeństwo.

Od kilku lat coraz bardziej popularne stają się źródła odnawialne, tj. przydomowe elektrownie, natomiast dotychczasowy konsument energii stał się jej prosumentem, pozwala to na uzyskanie dodatkowych możliwości w sterowaniu zasilaniem z wybranych źródeł energii, z możliwością jej sprzedaży zakładowi energetycznemu. Ponadto wiele osób mieszka na terenach częstych przerw w dostawie energii

* Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i sterowania układów, 44-102 Gliwice, ul. Akademicka 2A, mateuszpiatek@z.pl

elektrycznej, którzy obecnie mają szansę zapewnienia bezprzerwowej dostawy energii w prosty sposób dzięki automatyce Samoczynnego Załączenia Rezerwy. Przed przejściem do fazy wykonawczej takiego systemu w budynku mieszkalnym, istotnym elementem jest wykonanie jego fazy projektowej, co prezentuje [1]. W artykule przedstawiono wyniki prac nad przykładowym projektem inteligentnej instalacji w budynku jednorodzinym, dokonano analizy funkcji programowania takich instalacji oraz odpowiednich wizualizacji z poziomu użytkownika.

2. PRZYKŁADOWY PROJEKT INSTALACJI

2.1 INSTALACJA ELEKTRYCZNA W BUDYNKU MIESZKALNYM

Opisywany budynek jednorodzinny połączony jest z odnawialnymi źródłami energii w postaci turbiny wiatrowej oraz paneli fotowoltaicznych, dla zoptymalizowania produkcji energii. W składzie instalacji znajdują się także akumulatory, w celu magazynowania produkowanej energii i wykorzystania jej, gdy brak jest odpowiednich warunków dla produkcji energii elektrycznej. Ponadto potrzebny będzie także regulator ładowania akumulatorów, który zapewni ich długotrwałe wykorzystanie poprzez odpowiedni prąd ładowania, który będzie większy, w przypadku gdy akumulatory są już wyczerpane i mniejszy, gdy osiągają swoją maksymalną pojemność. Do budowy odpowiedniego układu SZR potrzeba także kontrolera stanu naładowania akumulatorów, który będzie informował, kiedy poziom energii w ogniwach jest niski. Całość będzie dopełniać przetwornica napięć oraz częstotliwości, zamieniająca cechy energii elektrycznej stosowane w akumulatorach na te, które są użyteczne do zastosowania w budynku. W przypadku gdyby do zasilania urządzeń nie wystarczyła energia produkowana przez OZE, będzie możliwość przełączenia na energię dostarczaną przez zakład energetyczny a w najgorszym przypadku także odpowiedni generator prądotwórczy z elektronicznym rozrusznikiem.

2.2. KONCEPCJA ZASILANIA ORAZ PODZIAŁ NA SEKCJE

W rozdzielniczy głównej wewnętrzna linia zasilająca będzie podzielona na trzy sekcje zasilania, poprzez styczniki instalowane między sekcjami. Do poszczególnych sekcji przypisane będą poszczególne źródła zasilania:

– Sekcja I– zasilanie sieciowe,

–Sekcja II– źródła odnawialne, generator,

–Sekcja III– brak rezerwowych źródeł zasilania.

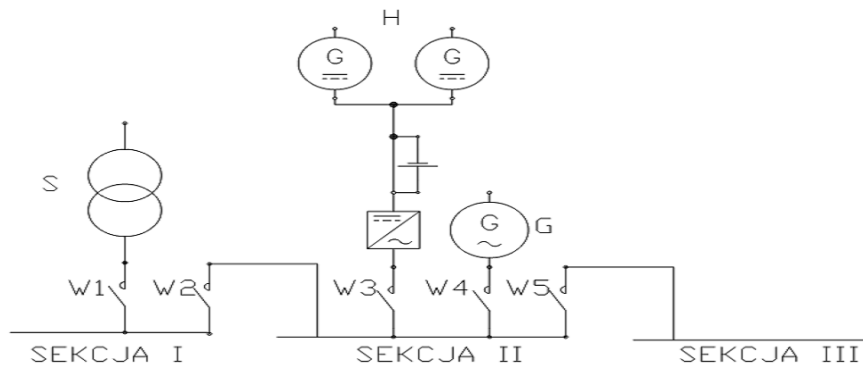
W nawiązaniu do zdefiniowanego podziału na sekcje, należy podzielić także odpowiednio urządzenia zainstalowane w domu, oświetlenie oraz gniazdka wtyczkowe. Zgodnie z powyższym posłużono się następującym schematem działania:

–Do pierwszej sekcji zasilania, która jest zasilana tylko w przypadku dostępności napięcia sieciowego sklasyfikowano odbiorniki trójfazowe oraz o największych mocach, których zasilanie z OZE nie miałyby sensu, ponieważ wiązałyby się z szybkim rozładowaniem dostępnej mocy.

–Do drugiej sekcji zasilania, która jest zasilana z OZE oraz generatora, który jest załączany w przypadku niskiej mocy OZE sklasyfikowano całe oświetlenie, które nie zużywa dużej mocy, urządzenia elektryczne, które są niezbędne w domu z punktu widzenia użytkownika oraz specjalne kluczowane gniazda, dla odbiorników o niskiej mocy. Ponadto do tej sekcji dołączono także zasilacz UPS, do którego dołączone będą odbiory, które nie tolerują przerw w napięciu na czas przełączeń układu oraz oświetlenie awaryjne.

–Do trzeciej sekcji zasilania, która jest zasilana docelowo z OZE sklasyfikowano odbiorniki, które są najmniej potrzebne z punktu widzenia użytkownika oraz większość gniazdek elektrycznych w pomieszczeniach. W przypadku niskiego stanu akumulatorów, sekcja ta jest odłączana całkowicie od wszystkich zasileń.

Poniżej zaprezentowano rysunek, wraz ze schematem łączy wybranego układu SZR, zaczerpnięto z [8].



Rys. 1. Schemat układu SZR przy użyciu [8]

Fig. 1. Diagram of the ATS from [8]

S	H	G	W1	W2	W3	W4	W5
1	1	0	Z	Z	Z	0	Z
0	1	0	0	0	Z	0	Z
0	0	1	0	0	0	Z	0

Rys. 2. Schemat łążeń układu

Fig. 2. Schematic switching system

gdzie:

S– sieć,

H– system hybrydowy(turbina i panele),

G– generator,

W– poszczególne styczniki,

O– styk otwarty,

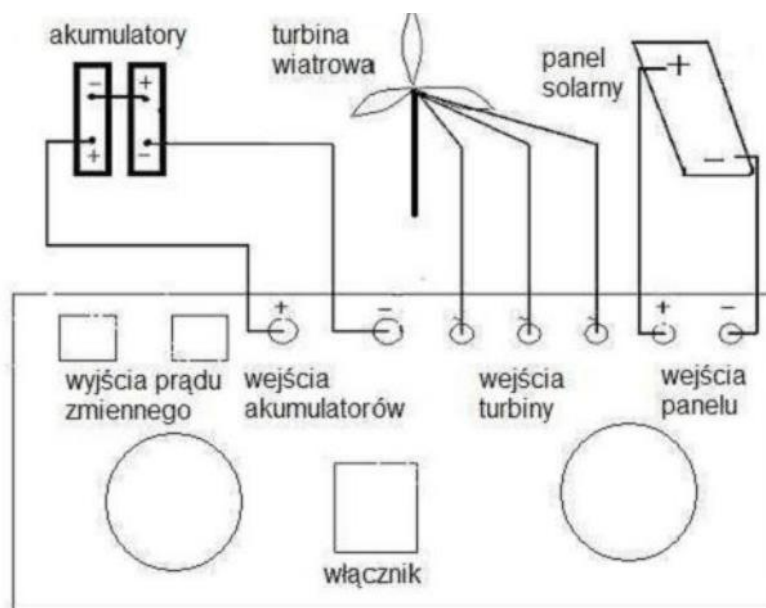
Z– styk zamknięty,

I– obecność napięcia ze źródła,

0– brak zasilania ze źródła.

2.3. ROZWIĄZANIA TECHNICZNE UKŁADU

Projekt instalacji elektrycznej wymaga także określenia mocy zapotrzebowania dla budynku, obliczeń zwarciovych, doboru przewodów, zabezpieczeń, sprawdzenia skuteczności ochrony porażeniowej, projektu uziomu, doboru przekładników prądowych celem rozliczania sprzedanej do sieci energii elektrycznej i projektu rozdzielnic oraz samego układu SZR [3]. Ważnym elementem jest dobór odpowiednich źródeł odnawialnych oraz ich akumulatorów, w zależności od potrzeb, czyli w tym przypadku mocy odbiorników zasilanych z danego źródła dla sekcji II i III. Poza tym istotny jest także dobór odpowiedniego generatora dla odbiorników, których zasilanie jest niezbędne oraz oświetlenia. Całość systemu powinna ze sobą integralnie współpracować. Na rys.3 przedstawiono przykładowy schemat podłączenia układu na podstawie [6]:



Rys. 3. Schemat podłączenia [8]

Fig. 3. Wiring diagram [8]

W analizowanym przykładzie układ SZR składa się z przekaźnika programowalnego typu EASY 819-DC-RC, styczników dobranych na podstawie [12] typu DILM115(RDC24) do sterowania sekcjami oraz zasilaniem sieci, stycznika typu

DILM25-10(RDC24) do sterowania układem hybrydowym oraz stycznika typu DILM12-10(RDC24) do sterowania agregatem. Za pomocą przekaźnika programowalnego Easy można dowolnie zaprogramować jego wyjścia sterujące stycznikami, w zależności od sygnałów na wejściach [11]. Do sygnałów wejściowych należeć będą sygnały pochodzące z przekaźników podnapięciowych typu REUVM, styków pomocniczych sterowanych styczników oraz kontrolera stanu naładowania akumulatorów VE.NET Battery Controller.

Aby spełnione były odpowiednie wymagania dotyczące ochrony przeciwporażeniowej, zapewniona musi być selektywność działania układu SZR, co wynika z [14]. Czasy przełączeń styczników muszą być większe niż czasy działania wyłączników zwarciovych, aby zapobiec załączeniu się dodatkowego źródła na zwarcie. Czas własny opóźnienia przekaźników podnapięciowych wynosi 500ms. Dodatkowo pomiędzy agregatem oraz siecią założono blokadę mechaniczną na styczniki uniemożliwiającą zasilanie sieci z własnego generatora, natomiast w przypadku gotowości zasilania sieciowego, założono chwilowe odłączenie przekształtnika poprzez stycznik oraz całkowite odłączenie generatora. Po odłączeniu zasilania sieci moc zwarciova jest generowana wyłącznie poprzez źródła odnawialne lub agregat, pracujące w układzie zasilania IT, co przy odpowiedniej wartości uziemienia odbiorników zapewnia ochronę przeciwporażeniową w układzie bez uziemionego punktu neutralnego sieci.

Na rozdzielniczy głównej zamontowane zostaną diody sygnalizujące, z którego źródła zasilania aktualnie korzysta użytkownik oraz które sekcje są zasilane. Poszczególne lampki oznaczone są symbolami H1-6.

Opis poszczególnych symboli lampek:

- H1- włączone zasilanie sieciowe,
- H2- włączone zasilanie sekcji II,
- H3- włączone zasilanie źródeł odnawialnych,
- H4- włączony agregat,
- H5- włączone zasilanie sekcji III,
- H6- włączony rozruch agregatu.

Podczas pracy projektowanego układu założono trzy sytuacje, przy których omówiono opis działania systemu:

a) **Sytuacja A**

W przypadku braku napięcia sieciowego przekaźnik wyśle sygnał do przekaźnika Easy, który następnie wysteruje odpowiednim stycznikiem otwierając styki na zasilaniu sieciowym oraz sprzęgle łączącym sekcje I i II. W razie powrotu napięcia na zasilanie z sieci, czyli przy braku sygnału z przekaźnika podnapięciowego, przekaźnik Easy

wyśle sygnał do zamknięcia styków oraz chwilowego otwarcia stycznika OZE na czas załączenia napięcia sieciowego, aby uniknąć udaru na przekształtniku.

b) Sytuacja B

W przypadku niskiego stanu naładowania baterii VE.NET Battery Controller wyśle sygnał do przełącznika Easy, który następnie otworzy stycznik pomiędzy sekcją II i III oraz zasilania ze źródeł odnawialnych. W razie powrotu napięcia, czyli gdy przełącznik podnapięciowy przestanie wysyłać impuls do wejścia Easy, styczniki zostaną ponownie zamknięte.

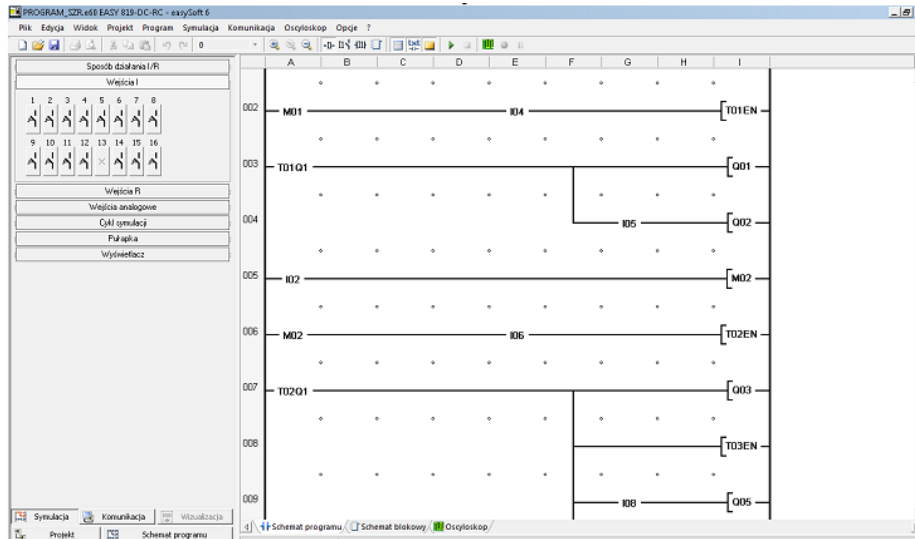
c) Sytuacja C

Po odpowiednim czasie zaniku napięcia ze źródeł podstawowych, jakimi są zasilanie sieciowe oraz źródła odnawialne, potrzebnym na uzyskanie 80% mocy generatora, przełącznik Easy wyśle impuls do zamknięcia stycznika na wyjściu generatora oraz podłączenie go do zasilania. W przypadku przerwy beznapięciowej ciągle zasilane będą urządzenia podtrzymywane przez UPS, natomiast chwilową przerwę w działaniu odnotują urządzenia bezpośrednio zasilane z generatora.

2.4. PROGRAMY UMOŻLIWIAJĄCE WSPÓLPRACĘ UŻYTKOWNIKA Z UKŁADEM

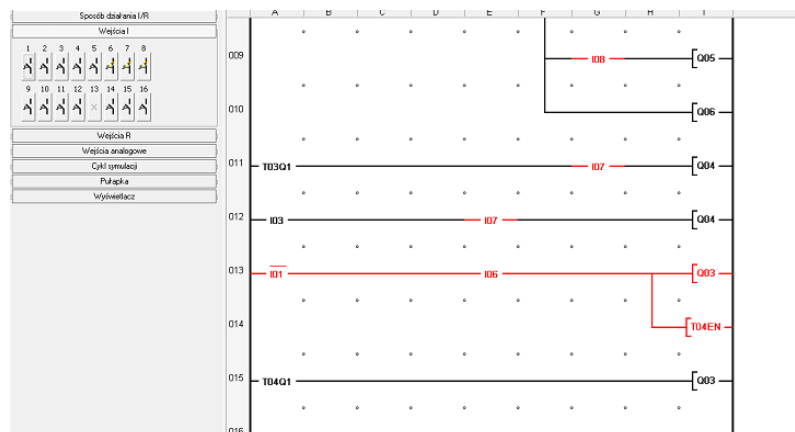
2.4.1. EASYSOFT PRO 6.9

Jednym z głównych założeń projektu było umożliwienie użytkownikowi inteligentnego budynku samodzielnego programowania oraz użytkowania przełącznika celem konfiguracji instalacji. Do tego celu wykorzystano oprogramowanie EasySoft Pro, firmy Eaton. Umożliwia on zupełnie dowolną konfigurację układu, celem dostosowania do odpowiednich warunków. W zależności od tego co chcemy osiągnąć, możemy dowolnie zmieniać program przełącznika, który następnie steruje stycznikami, które są elementami wykonawczymi zbudowanego w ten sposób systemu SZR. Poniżej przedstawiono przykładowy dla automatyki sterującej źródłami zasilania oraz sekcjami:



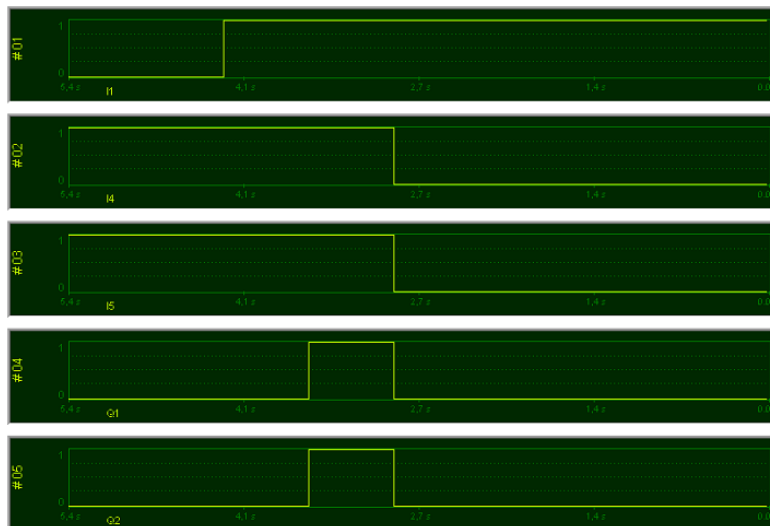
Rys. 4. Przykładowy program sterujący
Fig. 4. Sample control program

Dodatkowo program EasySoft umożliwia symulację działania wykonanego układu w zależności od sygnałów na wejściu przekaźnika. W ten sposób można sprawdzić poprawność programu oraz czy przekaźnik zachowa się w prawidłowy sposób. Symulację można wykonać zarówno na schemacie drabinkowym, w którym napisany jest program, co prezentuje rys. 5.



Rys. 5. Symulacja schemat drabinkowy
Fig. 5. Simulation of ladder diagram

Symulację możemy również wykonywać w dziedzinie czasu na wirtualnym oscyloskopie. Oprogramowanie to jest już dołączone do samego przekaźnika i umożliwia wizualizację jego działania.



Rys. 6. Symulacja we-wy oscyloskop
Fig. 6. Simulation I-O oscilloscope

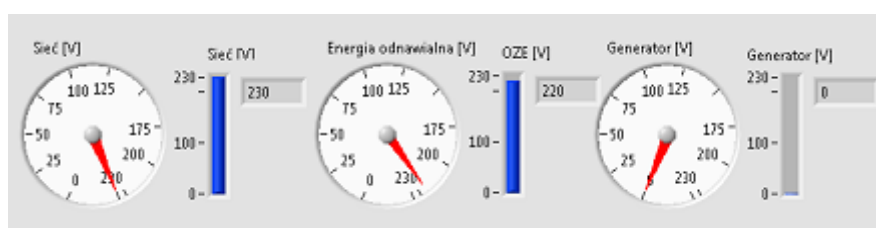
Po dokonaniu badań za pomocą oscyloskopu okazało się, że układ działa poprawnie, natomiast odpowiednie styczniki, którymi steruje przekaźnik do przełączania sekcji są aktywowane z odpowiednim opóźnieniem, które ustawiono na przekaźniku podnapięciowym, którego wejście jest w danym momencie aktywne. W ten sam sposób przeanalizowano wszystkie możliwe sytuacje zachowania się układu w różnych warunkach i odpowiedni program okazał się prawidłowy.

2.4.2. LABVIEW

Poza odpowiednią konfiguracją układu z pozycji użytkownika za pomocą np. domowego laptopa, możliwa jest także wizualizacja pracy danych źródeł czy nawet położenia styczników informujących o stanie pracy instalacji.

Wizualizację pracy źródeł przeprowadzono za pomocą programu LabView wraz z dołączoną do komputera kartą akwizycji danych z pomiarem poprzez przekładniki. Karta zostanie zamontowana w komputerze klasy PC umożliwiającą wizualizację

pracy źródeł w środowisku LabView. Interfejs firmy National Instruments Compact DAQ posłuży do przesyłu informacji z karty do komputera, oraz ich odczyt za pomocą funkcji "DAQ Assistant". Umożliwia on również pomiar napięcia oraz wizualizację działania źródeł. W celu potwierdzenia możliwości takiego systemu stworzono najprostszy program w środowisku LabView. Założono trzy kanały akwizycji danych z których za pomocą przekładników pozyskiwane są dane o napięciu mierzonym. Wyświetlane są one w postaci wskaźników numerycznych wraz z poziomem napięcia z danego źródła. Przykład takiej wizualizacji jest [rys. 7].



Rys. 7. Przykładowa wizualizacja programu
Fig. 7. Example visualization program

3. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonego projektu stwierdzono, że zastosowanie automatyki SZR opierającej się na stycznikach oraz sterującym nimi przekaźniku w budownictwie jest trafne pod warunkiem określenia jasnego podziału odbiorów. Wyróżniono odbiory potrzebujące zasilania ciągłego oraz te, które tak naprawdę są zbędne do funkcjonowania budynku.

W ten sposób możemy tworzyć bardziej zaawansowane systemy sterowania zarówno dostępnymi źródłami, jak i odbiorami. Dodatkowym atutem jest możliwość modyfikacji takiego systemu oraz tworzenia własnych wizualizacji z poziomu użytkownika. Ogranicza nas bowiem tylko nasza własna wyobraźnia. Przedstawione rozwiązanie wciąż jest jednak zbyt drogie, żeby stało się popularne, jednak czym są koszty takiego systemu, przy kosztach strat produkcji małej firmy, która położona jest np. w górach, gdzie prowadzona jest sieć napowietrzna i każda przerwa w dostawie prądu to straty dużo większe niż wydatek na podzespoły.

LITERATURA

- [1] MARKIEWICZ H: Instalacje elektryczne. WNT, Warszawa 2007.
- [2] PRACA ZBIOROWA pod redakcją PIEŚNIEWSKIEJ G.: Poradnik inżyniera elektryka. Tom III, WNT, Warszawa 2011.
- [3] NIESTĘPSKI S., PAROL M., WIŚNIEWSKI T. : Instalacje elektryczne budowa, projektowanie i eksploatacja. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
- [4] PN-IEC 60364-5-523 Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Obciążalność prądowa długotrwała przewodów.
- [5] PORADNIK ELEKTROINSTALATORA: Współczesne instalacje elektryczne w budownictwie jednorodinnym. COSiW, Warszawa 2006.
- [6] http://generatory-wiatrowe.pl/?page_id=19
- [7] PRACA ZBIOROWA: Vademecum elektryka. Wydanie III, COSiW SEP, Warszawa 2005.
- [8] WIATR J.: Uproszczony projekt układu automatyki SZR z funkcją wyłącznika ppoż. Elektro info, nr 118, ss. 70-72.
- [9] BISKUPSKI J.: System zasilania gwarantowanego dla budynku mieszkalnego. Elektro info, nr 105, ss. 28-31.
- [10] Moeller Książka połączeń układów elektrycznych, wydanie 02/05.
- [11] Moeller Przekładniki programowalne easy 800.
- [12] Eaton Aparatura i osprzęt elektryczny niskiego napięcia, Gdańsk 2012.
- [13] Eaton Aparatura przemysłowa, Gdańsk 2012.
- [14] WINKLER W., WISZNIEWSKI A.: Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych. WNT, Warszawa 2013.

LOW VOLTAGE INSTALLATION PROJECT WITH ATS SYSTEM

The article presents possibility of using automation for automatic switching provisions, as a system providing uninterrupted power which can supply buildings located in the area of frequent interruptions of power, equipped with renewable energy sources. In addition to the idea of the installation this is an example of a program which can control the various functions of the system and it allows to visualize tracking the availability of the selected power source, simulate their readiness to act. The main focus is directed on simplicity and intuition of using the programs that are available to the average user and can be used and modified for example by a use of laptop. The analysis assumes fictitious project of electrical installation in residential building in which you might install renewable energy sources. When selecting the appropriate equipment and security, the receiving installation is divided into sections concerning the validity of the power supply, which includes the control.

jednofazowy silnik indukcyjny, jednofazowy silnik synchroniczny

magnesy trwałe

Agata PIESIEWICZ*

BADANIE WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNYCH JEDNOFAZOWEGO SILNIKA SYNCHRONICZNEGO Z MAGNESAMI TRWAŁYMI

W artykule dokonano porównania wybranych właściwości eksploatacyjnych jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi z odpowiadającym mu silnikiem indukcyjnym.

1. WSTĘP

Ogólnoświatowy trend do zwiększania energooszczędności wszelakich maszyn i urządzeń rodzi zapotrzebowanie na nowe konstrukcje i rozwiązania, które mają na celu polepszenie właściwości eksploatacyjnych projektowanych maszyn. Lukę na rynku energooszczędnych silników jednofazowych mogą skutecznie zappełnić jednofazowe silniki synchroniczne z magnesami trwałymi. Silniki synchroniczne nie są tak szeroko stosowane jak silniki indukcyjne z powodu znacznie mniej korzystnych właściwości rozruchowych. Jednofazowy silnik synchroniczny z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim SPLSPMSM (ang. Single Phase Line Start Permanent Magnet Synchronous Motor) charakteryzuje się najkorzystniejszym spośród elektrycznych maszyn wirujących stosunkiem uzyskiwanego momentu i mocy znamionowej do objętości maszyny, dużą przeciążalnością momentem, pracą w szerokim zakresie prędkości obrotowych oraz wysoką sprawnością [6]. Ze względu na swoje właściwości eksploatacyjne silniki LSPMSM stanowią alternatywę dla silników indukcyjnych. W przeprowadzonych badaniach wykorzystano konstrukcję mechaniczną ogólnodostępnego silnika asynchronicznego.

*Studentka I roku studiów magisterskich Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej na kierunku Elektrotechnika ze specjalnością Elektroenergetyka.

186796@student.pwr.wroc.pl

Dane znamionowe wykorzystanego silnika:

- moc znamionowa $P_n=0,75$ kW,
- prędkość obrotowa $n_n=1370$ obr/min,
- napięcie $U_n=230$ V,
- prąd $I_n=4,9$ A,
- sprawność $\eta_n=0,73$;
- krotność prądu rozruchowego $k_r=2,5$;
- moment znamionowy $M_n=5,23$ Nm,
- moment maks./moment znam. 0,4;
- współczynnik mocy $\cos\varphi_n=0,92$;
- liczba par biegunów $p=2$.

W wyżej wymienionej konstrukcji zmianom uległ wirnik maszyny. Pomiary zostały przeprowadzone przy zastosowaniu dwóch różnych wirników z magnesami trwałymi osadzonymi wewnątrz magnetowodu, wyposażonych w aluminiową klatkę rozruchową. Moc znamionowa badanego silnika niezależnie od zastosowanego rozmieszczenia magnesów trwałych wynosiła $P_n=1,1$ kW.

Na rysunkach nr 1.2.2. i 1.2.3. pokazano widok badanych wirników.



Rys. 1.2.2. Wirnik nr 1 – rozmieszczenie magnesów w układzie W



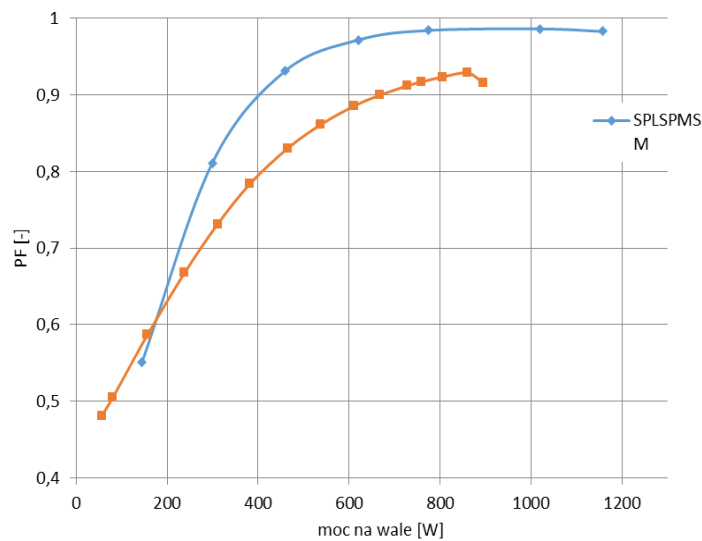
Rys. 1.2.3. Wirnik nr 2 – rozmieszczenie magnesów w układzie VV

2. WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNE BADANYCH SILNIKÓW

Dzięki zastosowaniu magnesów trwałych silnik SPLSPMSM rozwija większą moc przy tych samych gabarytach, co silnik indukcyjny, osiągając jednocześnie wyższą sprawność oraz współczynnik mocy. W silnikach indukcyjnych do powstania pola magnetycznego potrzebny jest prąd magnesujący, powodujący straty w miedzi stojana. [4]. Powoduje to straty energii i ma bezpośredni wpływ na sprawność silnika. Dzięki temu silniki SPLSPMSM charakteryzują się lepszymi właściwościami eksploatacyjnymi. Technologia wykonania stojanów silników SPLSPMSM jest analogiczna do technologii stosowanej w przypadku silników indukcyjnych, przez co ten etap produkcji silnika nie musi być opracowywany na nowo [5]. Zastosowanie magnesów ogranicza pobór mocy biernej, a tym samym wartość pobieranego prądu [4]. Wśród wad silników SPLSPMSM należy wymienić generowanie wyższych harmonicznych – silnik pobiera odkształcony prąd. Jest to spowodowane odkształceniami pola magnetycznego. Może to być źródłem większych drgań i hałasu maszyny [1]. Dodatkowo silnik SPLSPMSM jest źródłem mocy odkształceń, co może prowadzić do przeciążeń przewodów neutralnych, wzrostu strat w transformatorach, czy zakłóceń pracy odbiorników elektronicznych [3]. Ponadto, ze względu na moment hamujący generowany przez magnesy trwałe, wypadkowy moment rozruchowy silnika SPLSPMSM jest mniejszy niż w silniku indukcyjnym, co ogranicza jego stosowanie do napędów wymagających niewielkiego momentu rozruchowego w początkowej fazie rozruchu. Rozruch silnika SPLSPMSM jest dłuższy niż silnika indukcyjnego, a wartości ich prądów rozruchowych są podobne.

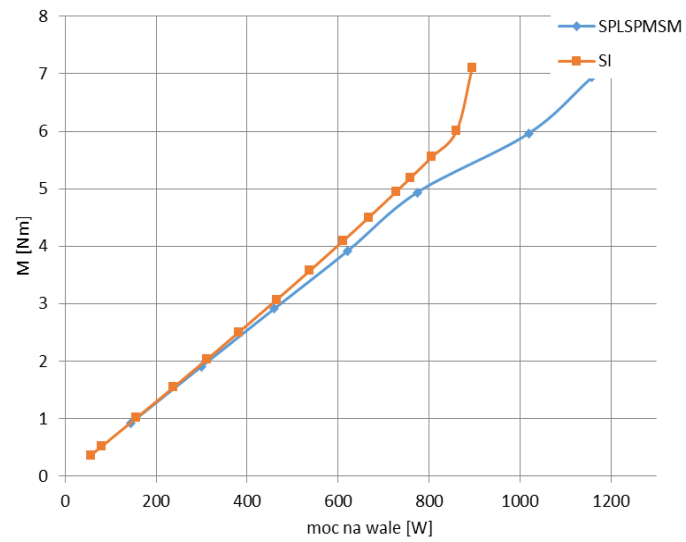
3. WYNIKI BADAŃ

Charakterystyki zawarte w rozdziale przedstawiają porównanie wybranych wielkości elektrycznych i mechanicznych badanego silnika SPLSPMSM z magnesami trwałymi rozmieszczonymi w układzie W z odpowiadającym mu silnikiem indukcyjnym. Obydwa silniki pracowały z kondensatorem pracy o pojemności $20 \mu\text{F}$.

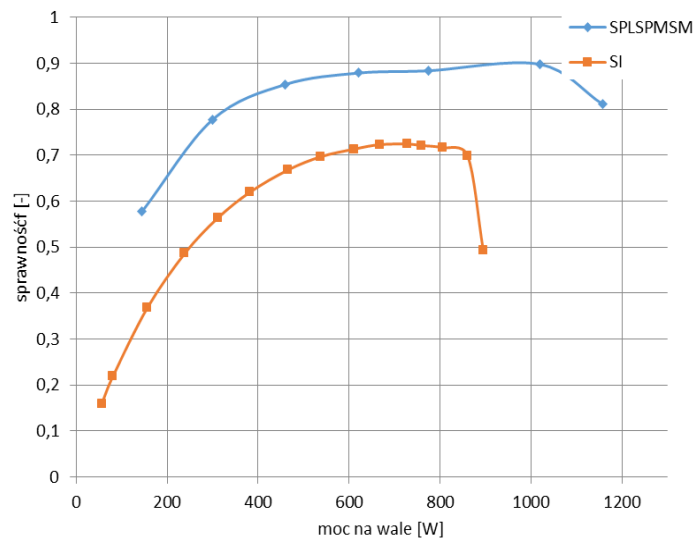


Rys. 5.3.1. Zależność współczynnika mocy PF od mocy na wale silnika SPLSPMSM oraz silnika indukcyjnego

Współczynnik mocy PF jest wyraźnie większy dla silnika SPLSPMSM. Przy mocy znamionowej silnika indukcyjnego równej 750 W, jego współczynnik mocy przyjmuje wartość 0,917; podczas gdy dla silnika SPLSPMSM znamionowy współczynnik mocy wynosi aż 0,983.

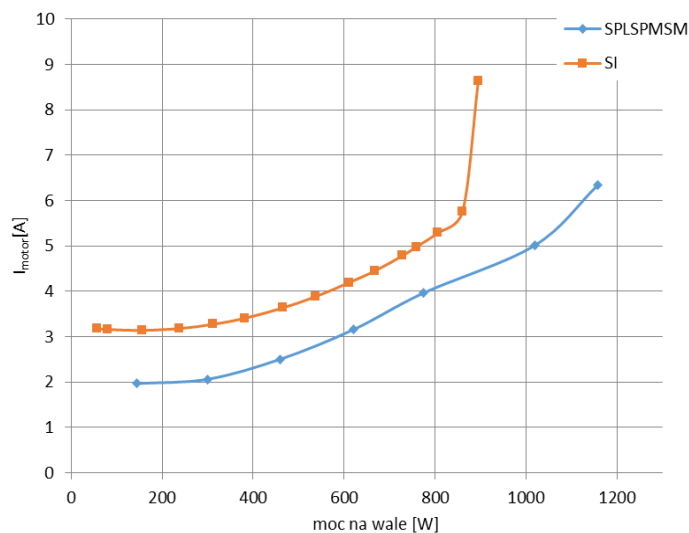


Rys. 5.3.2. Zależność momentu M od mocy na wale silnika SPLSPMSM oraz silnika indukcyjnego



Rys. 5.3.3. Zależność sprawności η od mocy na wale silnika SPLSPMSM oraz silnika indukcyjnego

Sprawności badanych silników to odpowiednio 72% dla silnika indukcyjnego i 81% dla silnika SPLSPMSM w ich znamionowych punktach pracy. Jest to bardzo duża zaleta i przewaga silników SPLSPMSM nad silnikami indukcyjnymi. Obydwa silniki osiągają dużo niższą sprawność w dolnym zakresie obciążenia.



Rys. 5.3.4. Zależność prądu pobieranego przez silnik I_{motor} od mocy na wale silnika SPLSPMSM oraz silnika indukcyjnego

Wartość wypadkowego prądu pobieranego przez silnik jest większa dla silnika SPLSPMSM i wynosi 6,3 A; a dla silnika indukcyjnego 5,0 A.

W tabeli nr 5.3.1. zamieszczono porównanie wybranych właściwości badanych silników.

Tab.5.3.1. Porównanie wybranych właściwości silnika SPLSPMSM z silnikiem indukcyjnym

		SPLSPMSM	silnik indukcyjny
właściwości rozruchowe	długość rozruchu	dłuższy rozruch	krótszy rozruch
	prąd rozruchowy	porównywalna wartość prądu rozruchowego	
właściwości eksploatacyjne	sprawność	80-90%	70-80%
	pobór mocy biernej	mniejszy pobór mocy biernej	większy pobór mocy biernej
	stosunek uzyskiwanej mocy i momentu do objętości maszyny	najlepszy spośród wszystkich maszyn wirujących	
	generacja wyższych harmonicznych	zdecydowanie większa niż w silniku indukcyjnym	
inne	cena	droższy	stosunkowo tani
	uniwersalność	ograniczone zastosowanie	bardzo uniwersalny

4. WNIOSKI

Z porównania badanego silnika SPLSPMSM z silnikiem indukcyjnym wynika, że żaden z silników nie jest jednoznacznie lepszy od drugiego. Różnice w ich właściwościach, a co za tym idzie w zastosowaniach, powodują, że wybór jednego z porównywanych silników zależy od konkretnej potrzeby użytkownika. Wykazano, że silniki SPLSPMSM charakteryzują się lepszymi właściwościami eksploatacyjnymi, a gorszymi rozruchowymi. Ze względu na swoje właściwości, silnik z magnesami trwałymi może z powodzeniem pracować w układach napędowych pomp, wentylatorów [2], gdzie jego niewielki moment rozruchowy nie będzie stanowił wady, a właściwości eksploatacyjne, wysoka sprawność, niskie straty energii i mały pobór mocy biernej, okażą się istotnymi zaletami. Do pracy w napędach wymagających większych momentów rozruchowych, o częstych rozruchach, z pewnością bardziej korzystny

okaże się wybór silnika indukcyjnego. Cena magnesów trwałych, a co za tym idzie - wyższa cena silników SPLSPMSM w stosunku do silników indukcyjnych, może z pozoru stanowić ich wadę, ale jest to inwestycja, która zwróci się w czasie zależnym od częstotliwości użytkowania maszyny.

LITERATURA

- [1] Antal L. D., Zawilak T., *Porównanie silnika indukcyjnego z silnikiem synchronicznym z magnesami trwałymi i rozruchem bezpośrednim*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej nr 58, Studia i Materiały, nr 25, 2005, s. 212-221.
- [2] Barański M., Jędrzycka C., Mikołajewicz J., Szelaż W., *Analiza silnika synchronicznego o rozruchu bezpośrednim i magnesach w wirniku rozłożonych w kształcie litery U*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej nr 66, Studia i Materiały, nr 32, 2012, s. 78-85.
- [3] Gwoździwicz M., *Ograniczanie wyższych harmonicznych w silnikach synchronicznych z magnesami trwałymi*, Interdyscyplinarność badań naukowych 2012: praca zbiorowa pod red. Jarosława Szreka. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2012. s. 217-222.
- [4] Gwoździwicz M., Zawilak J., *Jednofazowy silnik synchroniczny z magnesami trwałymi. Konstrukcja i parametry*. Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej nr 65, Studia i Materiały, nr 31, 2011, s. 24-34
- [5] Kisielewski P., Zalas P., *Zastosowanie magnesów trwałych w silnikach elektrycznych małej mocy*, Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych, PEMINE, Rytno, 25-27 maja 2011, Masz. Elektr. Zesz. Prob.. BOBRME Komeł, nr 91, s. 109-112.
- [6] Zalas P., *Magnesy trwałe w wirniku silnika synchronicznego małej mocy*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej nr 65, Studia i Materiały, nr 31, 2011, s. 99-106

THE INVESTIGATION OF RUNNING PROPERTIES OF SINGLE-PHASE PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR

The paper deals with comparison of selected properties of the single-phase synchronous motor with permanent magnets with the corresponding induction motor.

Energetyka jądrowa, elektrownie jądrowe,
rodzaje reaktorów, instalacje bezpieczeństwa

Igor SKOTNICZY*

ENERGETYKA JĄDROWA

Praktycznie cała masa atomu, niezależnie od rodzaju pierwiastka, jest skupiona w jego jądrze, z tego powodu reakcjom z udziałem jąder, czyli reakcjom jądrowym, towarzyszą znacznie większe zmiany masy i wyzwalaone są większe ilości energii niż przy reakcjach chemicznych np. spalaniu. Energia wyzwolana w reaktorze ma swoje podstawy u zjawiska deficytu masy, czyli zjawiska polegającego na tym, że masa każdego jądra jest mniejsza od sumy mas protonów i neutronów wchodzących w jego skład, co można opisać wzorem:

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_A \quad (1)$$

gdzie:

Z – liczba protonów (liczba atomowa),

N=A-Z – liczba neutronów,

A – liczba masowa,

m_p , m_n – masa protonu, masa neutronu,

m_A – masa jądra.

Zgodnie z prawem Einsteina deficytowi masy odpowiada pewna energii wiązania nukleonów w jądrze.

$$E_w = \Delta mc^2 \quad (2)$$

gdzie:

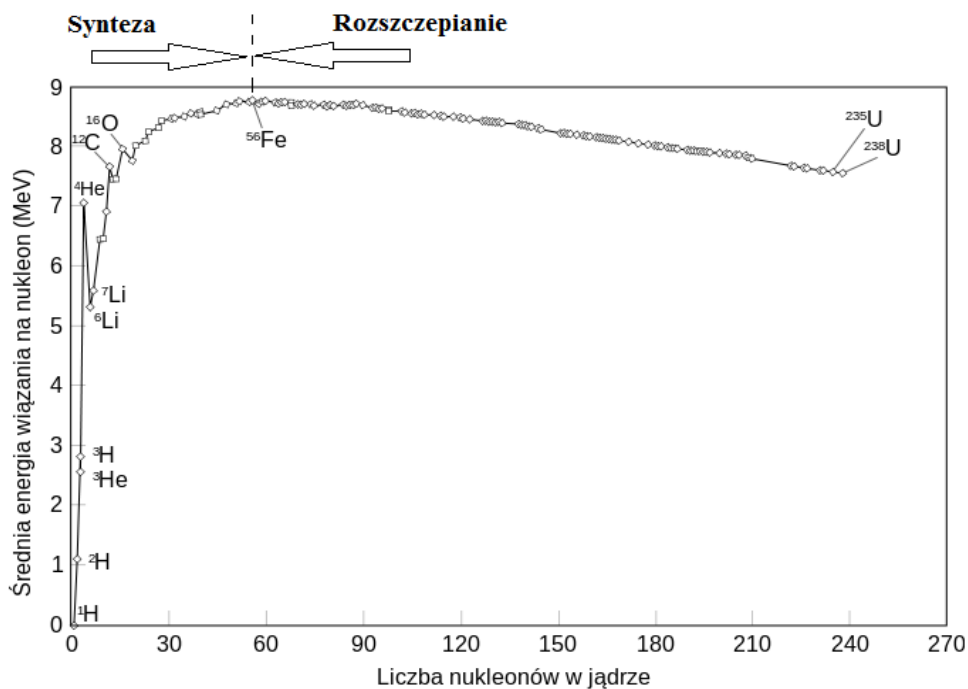
c – prędkość światła w próżni ($\sim 300\,000\,000$ km/s).

Jednostką energii w fizyce jądrowej jest elektronowolt – energia jaką uzyskuje ładunek elementarny w polu elektrycznym o różnicy potencjałów 1V.

$$1eV = 1,6021 \cdot 10^{-19} J$$

* Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów,
igor.skotniczy@gmail.com

Energia wynikająca z prawa Einsteina nie jest energią jaką ma jądro, a energią jaką potrzeba do rozbicia jądra atomu na poszczególne składniki – im większa jest różnica (deficyt) mas tym trwalsze jądro – potrzeba większej energii na jego rozbicie. Wprowadza się pojęcie średniej energii wiązania na jeden nukleon.



Rys. 1 Krzywa przedstawiająca średnią energię wiązania na nukleon; A curve showing the average binding energy per nucleon; . NYCZ C., *Energetyka jądrowa*

Widać, że początkowo krzywa bardzo rośnie [Rys. 1], osiąga maksimum ok. 8MeV/nukleon po czym lekko opada, najtrwalsze jądra są z zakresu liczby masowej 40-120 (szczególnie stabilne Fe-56). Wynika z tego, że atomy o liczbie masowej mniejszej od żelaza będą skuteczniej dostarczać energii w reakcjach syntezy, łączenia jąder pierwiastków lekkich w jądra pierwiastków ciężkich, a o liczbie masowej większej od żelaza w reakcji rozszczepienia jąder pierwiastków o bardzo dużej liczbie masowej na jądra pierwiastków lżejszych. Ilość wyzwolonej energii jest większa im bardziej

jądro jest oddalone od jądra żelaza. W energetyce jądrowej znaczenie mają tylko pierwiastki dostarczające bardzo dużą energię, a więc najlżejsze (wodór) i najcięższe (uran).

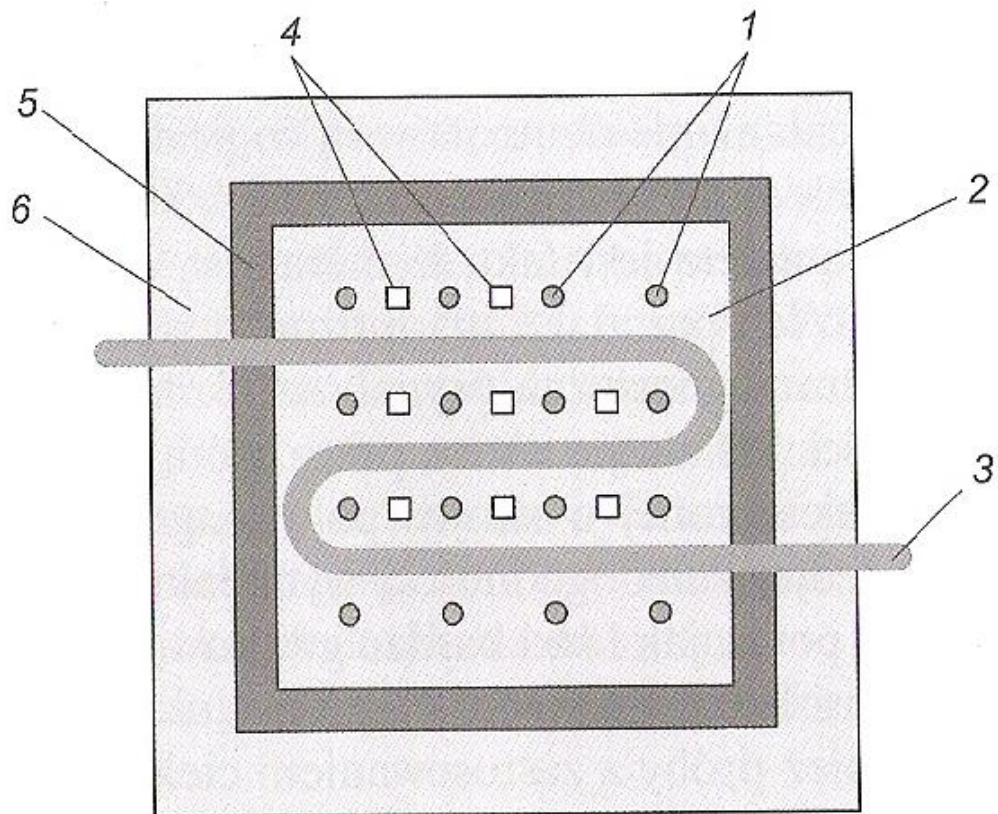
Pierwszą reakcję rozszczepienia dokonało w 1938 r. dwóch naukowców - Otto Hahn, niemiecki fizykochemik wraz z Fritzem Strassmanem. Energia wydzielona podczas reakcji rozszczepienia jest równa różnicy energii wiązania jąder pierwiastków otrzymanych w wyniku reakcji, a energii wiązania rozszczepionych jąder. Aby reaktor pracował poprawnie reakcja rozszczepienia musi zachodzić łańcuchowo, stanie się tak jeżeli masa rozszczepianej substancji będzie co najmniej równa masie krytycznej tej substancji, w efekcie każde jedno rozszczepienie jądra inicjuje dokładnie jedno następne. Masa krytyczna zależy od rodzaju materiału, jego czystości oraz gęstości. Do wytworzenia 1W mocy musi zajść w ciągu sekundy 30 miliardów rozszczepień.

Powszechnie w energetyce jądrowej wykorzystuje się reakcje rozszczepienia jąder izotopu uranu ${}^{235}_{92}\text{U}$ (Izotopy – odmiany pierwiastka chemicznego różniące się liczbą neutronów w jądrze atomu).

Występujący w przyrodzie uran składa się z trzech izotopów z czego zawiera tylko około 0,7% izotopu U-235, można tą zawartość zwiększyć do kilku procent tj. wzbogacić uran, nie można tego jednak zrobić metodami chemicznymi gdyż jest to jeden i ten sam pierwiastek, trzeba metody fizycznych bazujących na różnicy mas izotopów.

Reaktor musi zapewnić w sposób ciągły i kontrolowany reakcje rozszczepiania jąder atomów oraz odebranie i odprowadzenie wytworzonego ciepła. Głównymi elementami reaktora są:

- paliwo/pręty paliwowe, którego atomy ulegają rozszczepieniu wytwarzając ciepło i wolne neutrony podtrzymujące reakcję,
- elementy regulacyjne służące to podtrzymania intensywności reakcji na zadanym poziomie
- czynnik chłodzący, którego zadaniem jest odebranie wytworzonego w paliwie ciepła i wyprowadzenie do na zewnątrz gdzie może być użytecznie wykorzystany



Rys. 2 Uproszczony schemat reaktora jądrowego, 1 – kanały paliwowe, 2 – moderator, 3 – system chłodzenia, 4 – pręty sterujące i pręty bezpieczeństwa, 5 – reflektor neutronów, 6 – osłona biologiczna i bezpieczeństwa; Simplified diagram of a nuclear reactor, 1 - fuel channels, 2 - moderator, 3 - cooling system, 4 - control rods and safety rods, 5 - neutron reflector, 6 - Biological and security guard;

LAUDYN M., PAWLIK F., STRZELCZYK M., *Elektrownie*

Oprócz paliwa reaktor zawiera moderator, czyli lekki materiał służący do spowalniania neutronów - aż do osiągnięcia przez nie stanu tzw. neutronów termicznych. Powolne neutrony znacznie wydajniej powodują rozszczepienie jąder atomowych w materiale paliwa jądrowego. W większości przypadków moderatorem jest woda, ale można używać także grafitu bądź deuteru czyli ciężkiej wody, stabilnego izotopu wodoru – jest on szczególnie dobrym moderatorem, podczas zderzenia z jego cząsteczką neutron traci około 36% swojej energii. Deuter w przeciwieństwie do wody praktycznie nie pochłania neutronów, ale do otrzymania jednego litra potrzeba rozłożyć

165 ton zwykłej wody skąd większość obecnie eksploatowanych reaktorów jądrowych, z uwagi na koszt i dostępność, jako moderatora używa wody. Stosując dobrze spowalniający, ale nie pochłaniający neutronów moderator można zastosować naturalny uran, w przypadku wody potrzebny jest wzbogacony do około 3-5%. Ponadto we wnętrzu rdzenia reaktora znaleźć można elementy wykonane z materiału silnie pochłaniającego neutrony (np. związki boru czy kadmu) a służące do sterowania mocą reaktora. Są to m.in. pręty sterowania, bezpieczeństwa (pozwalające wygasić reaktor) oraz pręty kompensacyjne. Oprócz tego rdzeń reaktora otoczony jest reflektorem, który ma za zadanie odbicie części traconych neutronów z powrotem do rdzenia – polepsza to bilans neutronów, a zatem zmniejsza masę krytyczną. Chłodziwo – gaz lub ciecz musi być odporne na działanie strumienia neutronów, nie może zbyt mocno wpływać na bilans neutronów. Najprostszym jest zwykła woda, dużo lepszym ciężka woda. Z innych cieczy mogą być płynne metale np. gal, sód, potas, bizmut – mają dobrą przewodność cieplną, wysokie temperatury wrzenia (mogą być stosowane pod stosunkowo niskim ciśnieniem) i mogą być tłoczone przez pompy elektromagnetyczne, ale gwałtownie reagują z powietrzem i wodą co wymaga wysokiej szczelności obiegu. Cały reaktor jest otoczony osłoną biologiczną stanowiącą zewnętrzną obudowę reaktora, wykonaną z betonu z domieszkami silnie pochłaniającymi promieniowanie.

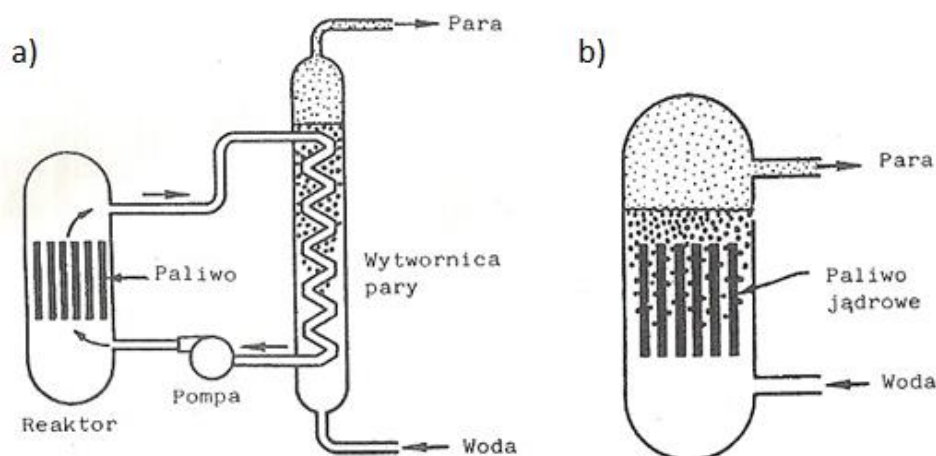
Reaktor jądrowy, z uwagi na wzbogacenie uranu oraz geometrię rdzenia, nie jest w stanie doprowadzić do wybuchu jądrowego. Wybuch jądrowy jest możliwy jedynie w bombie jądrowej.

Z uwagi na największe rozpowszechnienie reaktorów wodnych tylko one zostaną omówione bardziej szczegółowo, są one bowiem podstawą energetyki jądrowej i stanowią około 90% wszystkich pracujących reaktorów.

- Reaktory lekko wodne **LWR** (ang. light water reactor), uran wzbogacony (ponieważ wodór z wody pochłania neutrony, wzbogacenie 2-4%, chłodziwo, moderator i reflektor woda lekka, dzielą się na:

- Reaktory wodne ciśnieniowe **PWR** (ang. pressurized water reactor) lub **WWR** (ros. *Wodo-Wodianoj Energietyczeskij Reaktor* – wodno-wodny reaktor energetyczny), w których woda w stanie ciekłym znajduje się pod wysokim ciśnieniem uniemożliwiając wrzenie, ciśnienie nawet do 15 MPa, temperatura wody około 290°C przepompowywana do wytwornicy pary, która wytwarza parę o ciśnieniu około 4-6 MPa i temperaturze około 255°C, po ochłodzeniu woda wraca do reaktora stanowiąc największą grupę, z uwagi na niskie parametry pary osiągają sprawność rzędu 30-33%. Obecnie pracuje 212 reaktorów PRW i 51 reaktorów WWR, co stanowi ponad połowa wszystkich pracujących reaktorów.

- Reaktory wodne wrzące **BWR** (ang. boiling water reaktor) w których woda przemienia się w parę w wyniku wrzenia w samym reaktorze, powstała para gromadzi się u góry zbiornika skąd odprowadzana jest do turbiny, ciśnienie pary około 7,2MPa, wytworzone ciśnienie podnosi tak temperaturę wrzenia wody, że para ma około 286°C, stosunkowo prosty, niewiele urządzeń, lepsze odprowadzenie ciepła z reaktora gdyż woda wrze, połowę niższe ciśnienia pracy, wadą jest to, że promieniotwórcza woda przechodzi przez turbinę, skraplacz i inne urządzenia, jednak większość promieniowania pochodzi od krótkożyciowych nuklidów azotu, który czas rozpadu jest rzędu 7 sekund, ale niemniej zmusza to do zabezpieczenia ich urządzeń osłonami przed promieniowaniem, obecnie pracują 92 reaktory BWR.



Rys. 3 Układ wytwarzania pary z reaktorem chłodzonym wodą pod ciśnieniem (a), układ wytwarzania pary z reaktorem chłodzonym wodą wrzącą (b); The system for producing steam from the reactor cooled with water under pressure (a), the system for producing steam from boiling water cooled reactor (b); JEZIEŃSKI G., *Energia jądrowa wczoraj i dziś*

- Reaktory wodno-grafitowe **RBMK** (ros. *Reaktor Bolszoy Moszczynosti Kanalnyj*) - chłodzenie lekką wodą i moderacja grafitem umożliwiła stosowanie jako paliwa naturalnego uranu, bez jego uprzedniego wzbogacania. Czyni to z RBMK jeden z najekonomiczniejszych reaktorów, jednak kombinacja ta oznacza również wzrost reaktywności przy zwiększaniu się ilości pary w rdzeniu reaktora, która pochłania mniej neutronów niż woda, utrudnia to sterowanie i może doprowadzić do utraty stabilności reaktora. Właśnie ten defekt był jedną z przyczyn katastrofy w Czarnobylu.

- Reaktory ciężkowodne **HWR** (ang. Heavy Water Reactor) np. **CANDU** (ang. Canadian Deuterium Uranium Reactor) – moderatorem i chłodziwem jest ciężka woda (pozwala to na zastosowanie naturalnego uranu).
- Reaktory gazowe **GCR** (ang. Gas-Cooled Reactor) oraz **AGR** (ang. Advanced Gas-Cooled Reactor) – moderatorem jest grafit, a chłodziwem gaz np. dwutlenek węgla.
- Reaktory wysokotemperaturowe **HTR** (ang. High Temperature Reactor) – chłodziwo gazowe, najczęściej hel (bo nie pochłania neutronów), moderator grafit, temperatura gazu na wyjściu reaktora nawet 1000°C.

Kwestia bezpieczeństwa pracy oraz gospodarowania odpadami z elektrowni jądrowych jest najbardziej hamującym ich rozpowszechnianiem czynnikiem, jednakże nowoczesne elektrownie atomowe są dużo bardziej niezawodne i bezpieczniejsze niż te z przed 30 lat, które kojarzą się z katastrofą w Czarnobylu, która to stawia je w niekorzystnym świetle.

Obecnie standardem przyjętym na całym świecie jest system co najmniej 4 barier:

- postać paliwa jądrowego,
- koszulka elementu paliwowego,
- granice ciśnieniowego obiegu pierwotnego,
- obudowa bezpieczeństwa.

Pierwsza bariera – paliwo jądrowe - najczęściej w stanie stałym w postaci pastylek, zatrzymuje do 99% produktów rozszczepienia. Droga, jaką przebywają jądra izotopów powstających przy rozszczepieniu jest bardzo krótka, rzędu mikrometrów, co powoduje, że ponad 99% produktów rozszczepienia nie opuszcza pastylek paliwowych. Samo paliwo stanowi zatem pierwszą barierę, powstrzymującą uwalnianie produktów rozszczepienia.

Druga bariera – koszulka paliwowa - wykonana najczęściej ze stopu cyrkonu, stali lub aluminium, gazowo szczelna osłona paliwa, w normalnych warunkach produkty rozszczepienia wydostające się z materiału paliwowego nie przenikają do chłodziwa, lecz pozostają w szczelinie między pastylką paliwową, a koszulką.

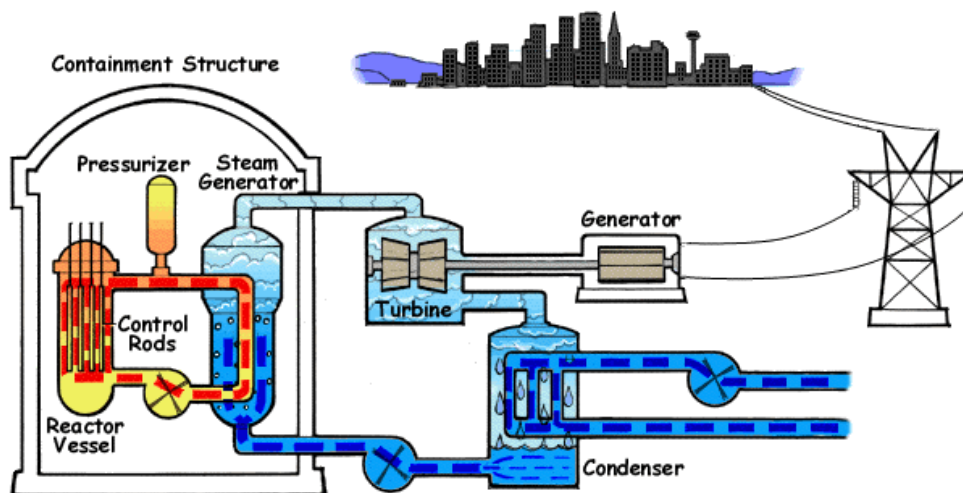
Trzecia bariera - granice ciśnieniowe obiegu pierwotnego - szczelny obieg pierwotny - produkty rozszczepienia nie mogą wydostać się do atmosfery, nawet w przypadku zaburzeń chłodzenia lub niekontrolowanego wzrostu mocy reaktora, prowadzącego do rozszczelnienia prętów paliwowych. Szczelność obiegu pierwotnego jest podstawowym elementem bezpieczeństwa reaktora jądrowego.

Czwarta bariera - obudowa bezpieczeństwa - chroni przed wydostaniem substancji radioaktywnych które mogły przedostać się poza obręb obiegu pierwotnego, Obudowa wykonana jest ze stali i betonu odporna na ciśnienie, jakie może wystąpić po rozerwaniu

obiegu pierwotnego, wyposażona w specjalne systemy pomocnicze: zraszania, chłodzenia, wentylacji.

Ponadto obecnie budowane elektrownie mają dobrze rozbudowany system awaryjnego zasilania, zespoły prądotwórcze z silnikami spalinowymi, baterie akumulatorów, dodatkowo np. inercja na wałach pomp powodująca ich ruch w przypadku chwilowych zaników napięcia.

Sam układ elektryczny elektrowni nie wiele różni się od tego w elektrowniach węglowych, ogólna zasada działania elektrowni zilustrowana jest poniżej [Rys. 3].



Rys. 3 Ilustracja działania elektrowni jądrowej; Illustration of a nuclear power plant operation;
<http://www.nrc.gov>

Pierwsza elektrownia jądrowa została wybudowana w mieście Obnińsk w 1954 r. ok. 100 km od Moskwy, wytwarzała moc elektryczną na poziomie 5 MW, została wyłączona w 2002 r. po, prawie pół wieku nieprzerwanej pracy. Reaktor był prototypową konstrukcją chłodzoną wodą oraz posiadającą grafitowy moderator. Następcami tej konstrukcji były reaktory zaliczane do grupy RBMK.

Pierwszą, polską elektrownie jądrową zaczęto budować w 1982 r., a przerwano w 1990 r. Miała się składać z czterech bloków napędzanych reaktorami WWER-440 o łącznej mocy 1600 MW, reaktory te były zaprojektowane w ówczesnym Związku Radzieckim, Jednak zmiana warunków ekonomicznych w Polsce po roku 1989 oraz sprzeciw okolicznych mieszkańców, który wzógł się szczególnie po katastrofie w Czarnobylu, powstała nawet nazwa „Żarnobyl”, spowodowały, że budowa została

przerwana, po zamknięciu budowy obiekty i urządzenia stały niszczyć, bądź zostały rozkradzione. W roku 2011 r. Żarnowiec został wytypowany przez PGE jako jedno z miejsc gdzie ma powstać pierwsza elektrownia jądrowa w Polsce do 2020 roku.

W krajach takich jak Francja, Belgia, Szwecja energetyka jądrowa stanowi podstawę systemu elektroenergetycznego, udział tych elektrowni przekracza 50%, a we Francji sięga nawet 70%. Obecnie w 35 krajach pracuje ponad 420 reaktorów, o łącznej mocy zainstalowanej ok. 330 GW, w budowie jest ponad 70 reaktorów (60 GW), najwięcej pracuje w Stanach Zjednoczonych - 109 (100 GW), następnie we Francji - 56 reaktorów (58 GW), udział elektrowni jądrowych w światowej produkcji energii ok 17%.

LITERATURA

- [1] NY CZ C., *Energetyka jądrowa*, Warszawa 1989
- [2] LAUDYN M., PAWLIK F., STRZELCZYK M., *Elektrownie*, WNT, 2000
- [3] JEZIERSKI G., *Energia jądrowa wczoraj i dziś*, WNT, 2005
- [4] *Poradnik Inżyniera Elektryka*, WTN, 2011

Przesył i rozdział energii, sieci SN, sieć o izolowanym punkcie neutralnym,
sieć kompensowana, sieć uziemiona przez rezystor

Rafał SZCZEPANKIEWICZ*, Barbara SOBIERAJ**

ANALIZA WPLYWU SPOSOBU POŁĄCZENIA PUNKTU GWIAZDOWEGO SIECI SN NA ZJAWISKA ZIEMNOZWARCIOWE

W artykule przeprowadzono analizę sposobu połączenia punktu gwiazdowego sieci SN pod kątem właściwości użytkowych, przedstawiono cechy i własności typów sieci w zależności od sposobu połączenia punktu gwiazdowego, wpływ rodzaju połączenia na wielkości zwarciove, przedstawiono podstawowe metody detekcji zwarć oraz zawarto przykładowe metody ograniczania skutków działania prądów zwarciowych.

1. WSTĘP

1.1. WPROWADZENIE DO ZAGADNIENIA

Sieci SN są szeroko stosowane w systemach elektroenergetycznych do przesyłania, rozdziału i dystrybucji energii. Sieci SN umożliwiają przesyłanie energii elektrycznej na średnie odległości oraz umożliwiają jej rozdział. Są uważane za „napięcie pośrednie” pomiędzy napięciem wysokim (wykorzystywanym do przesyłu energii na duże odległości, większe od sieci SN) oraz pomiędzy napięciem niskim, które pełni rolę napięcia dystrybucyjnego dla odbiorników końcowych, przy czym, należy tutaj dodać, że napięcie SN może pełnić rolę napięcia zasilającego odbiorców końcowych przemysłowych (np. fabryki, zakłady komunalne itp.). Charakterystyczną cechą tych sieci jest struktura promieniowa.

Linie elektroenergetyczne średniego napięcia, są wykonywane jako linie napowietrzne i kablowe o napięciu od 15 do 30 kV. Jeszcze do niedawna podstawowym

* Politechnika Wroclawska, Wydział Elektryczny, 50-370 Wroclaw, ul. Januszewskiego 8,
rafalszczepankiewicz@gmail.com

** Uniwersytet Przyrodniczy we Wroclawiu, Wydział Medycyny Weterynaryjnej, 50-375 Wroclaw,
ul. C.K. Norwida 31, sobierajbarbara@gmail.com

celem budowania linii SN było tylko i wyłącznie przesył mocy pochodzącej z Głównych Punktów Zasilających (GPZ) do stacji transformatorowo-rozdzielczych SN/nn. Obecnie w erze rozwoju odnawialnych źródeł energii (OZE) możemy mówić o sieciach SN jako o sieciach dwukierunkowych, których zadaniem jest nie tylko przesył energii z GPZ do stacji transformatorowych, ale również z przyłączania do sieci dystrybucyjnej źródeł energii odnawialnej, które mogą zmieniać kierunki przepływu mocy w sieciach SN. Napięciem dominującym obecnie w sieciach SN jest napięcie 15kV, co nie oznacza, że jest to jedyna wartość napięcia znamionowego występująca w światowych systemach elektroenergetycznych.

Oprócz dominującego napięcia 15kV spotyka się również napięcia rzędu: 3, 5, 6, 10, 20, 30, 40, 60 kV. Napięcia te możemy podzielić na dwie grupy napięć:

- napięcia znamionowe występujące w miejskich sieciach przesyłowych (3 do 10 kV),
- napięcia znamionowe występujące w terenowych sieciach przesyłowych (30 do 60 kV);

1.2. STRUKTURA SIECI SN W POLSCE

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż zarówno światowa jak i Polska gospodarka energetyczna dąży do unifikacji wartości znamionowego napięcia występującego w sieciach SN na poziomie 20 kV, ze względu na szkodliwe aspekty współistnienia wielu napięć znamionowych. Dlatego też, linie o napięciu znamionowym na poziomie 20kV są w Polsce uznawane za rozwojowe, pomimo, że stanowią jedynie ok. 9% łącznej długości linii SN (dane ankietyzacji zakładów energetycznych z 1998 r.). Nadal dominującym Polskim rynku energetycznym napięciem znamionowym pozostaje napięcie rzędu 15 kV. Linie o takim napięciu znamionowym stanowią aż ponad 85% łącznej długości linii SN.

Obecnie w Polsce zauważyć można trend polegający na modernizacji sieci uznawanych jako nierozwojowe (np. sieci o napięciu znamionowym 6 kV), które sukcesywnie wymieniane są na sieci rozwojowe, czyli sieci o napięciu 15 lub 20 kV.

2. ZWARCIA

2.1. DEFINICJA ZWARCIA

Z punktu widzenia elektrotechniki zwarcie to nagłe zmniejszenie rezystancji obwodu elektrycznego do bardzo małej wartości. Skutkiem tego jest płynięcie w obwodzie prądu zwarciovego, który jest wielokrotnie większy od prądu roboczego i może spowodować zniszczenie elementów systemu elektroenergetycznego. Do ochrony przed skutkami zwarcia służą zabezpieczenia elektryczne.

2.2. PRZYCZYNY WYSTĘPOWANIA ZWARĆ

Do podstawowych przyczyn powstawania zwarć, zarówno naturalnych jak i wywołanych działaniem ludzkim (zarówno świadomym jak i nieświadomym) należą:

- przebiecia atmosferyczne i łączeniowe,
- błędne operacje łączeniowe itp.,
- mechaniczne uszkodzenia elementów przewodzących,
- zawilgocenie lub zniszczenie izolacji,
- uszkodzenie elementów nośnych (izolatorów, słupów linii napowietrznych, itp.)
- dotknięcie dźwigów, gałęzi drzew, ludzi i zwierząt, itp.
- zarzutek na przewody gołe itp.

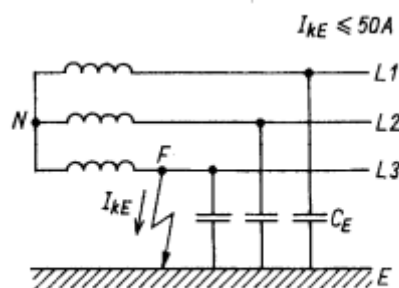
3. SPOSOBY PRACY PUNKTU GWIAZDOWEGO

Chcąc analizować wpływ poszczególnych sposobów pracy punktu gwiazdowego należy zdefiniować oraz wymienić cechy charakterystyczne dla każdego z wymienionych sposobów pracy punktu gwiazdowego, ponieważ charakterystyczną cechą tych sieci są różne sposoby uziemiania ich punktu neutralnego:

- sieci z izolowanym punktem neutralnym,
- sieci z punktem neutralnym uziemionym przez dławik kompensacyjny (z kompensacją ziemnozwarciową),
- sieci z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor.

3.1. SIEĆ O IZOLOWANYM PUNKCIE GWIAZDOWYM

Sieci o izolowanym punkcie neutralnym stanowią jedno z pierwszych stosowanych na szeroką skalę rozwiązanie. Obecnie wypierane są z użycia ze względu na fakt tworzenia coraz to dłuższych linii napowietrznych SN oraz powszechniejszego stosowania linii kablowych, co spowodowało wzrost pojemności sieci. Im większą pojemność sieci tym większy prąd zwarcia jednofazowego, który z reguły nie powinien przekraczać 50A. Stosowane są nadal w górnictwie, oraz tam gdzie ograniczenia co do maksymalnego prądu zwarcia jednofazowego nie są przestrzegane.



Rys. 1. Sieć o izolowanym punkcie gwiazdowym

Fig.1. Network with isolated neutral point

Podstawowymi zaletami tego typu sieci są względy ekonomiczne, eksploatacyjne oraz względy bezpieczeństwa. Sieci o izolowanym punkcie neutralnym jest tańsza w wykonaniu niż sieci z punktem uziemionym, ze względu na konieczność stosowania w sieciach z uziemionym punktem neutralnym skomplikowanych układów uziemiających. Do zalet eksploatacyjnych zaliczyć możemy małą wrażliwość na zwarcia oporowe oraz co bardzo ważne stosunkowo łatwą lokalizację zwarcia doziemnych oraz fakt, że nie wymaga jest do tego dodatkowa specjalistyczna aparatura. Do zalet należy także mniejsze w porównaniu do innych typów sieci zagrożenie porażeniem.

Niestety pomimo tych zalet sieci o izolowanym punkcie neutralnym posiadają również dużo wad, podstawowe z nich to:

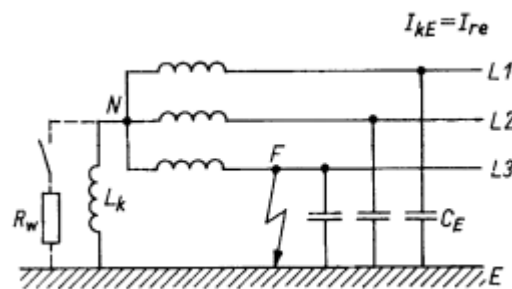
- duży współczynnik przepięć podczas doziemień (3.5-4.5)
- zmniejszona możliwość samolikwidacji zwarć przy znacznych wartościach prądu ziemnozwarciowego,

- wysoki poziom i wielokrotność przebiegów, prowadzących do zwarć podwójnych i wielokrotnych,
- utrudnienie lokalizacji doziemionej linii napowietrznej przy małych wartościach prądu ziemnozwarciowego,
- zagrożenie porażeniowe przy dłuższym doziemieniu w sieci napowietrznej.

3.1. SIEĆ Z PUNKTEM GWIAZDOWYM UZIEMIIONYM PRZEZ DŁAWIK KOMPENSACYJNY

Sieci z punktem neutralnym uziemionym przez dławik kompensacyjny powstały w wyniku modyfikacji sieci pracujących z izolowanym punktem neutralnym. Ten sposób uziemienia punktu neutralnego jest realizowany poprzez uziemienie punktu neutralnego transformatora po stronie średniego napięcia poprzez dławik gaszący. Dławik gaszący w takim układzie spełnia kilka funkcji:

- ogranicza prąd ziemnozwarciowy do poziomu resztkowego,
- wprowadza do sieci prąd indukcyjny płynący podczas zwarcia jednej fazy z ziemią, co powoduje zmniejszenie wartości wypadkowego prądu ziemnozwarciowego do wartości resztkowej,
- w większości przypadków uzwojenie transformatora zasilającego sieć SN po stronie wtórnej jest połączone w trójkąt, w związku z tym, w celu podłączenia dławików stosuje się dodatkowy transformator uziemiający, który jednocześnie jest wykorzystywany jako transformator potrzeb własnych.



Rys. 2. Sieć z punktem gwiazdowym uziemionym przez dławik kompensacyjny
Fig.2. Network with neutral point grounded by compensation choke

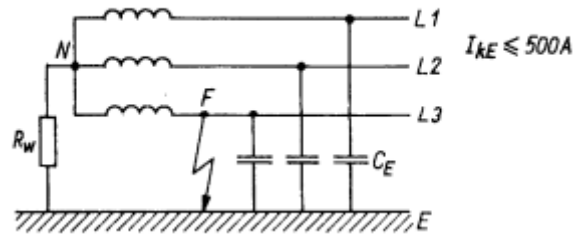
Do zalet tego typu sieci zaliczyć niewątpliwie można zmniejszanie wartości prądów ziemnozwarciowych dzięki zastosowaniu dławików gaszących, co za tym idzie, wraz ze zmniejszaniem prądów ziemnozwarciowych, zmniejszenie rozmiarów uszkodzeń kabli mogących wystąpić w czasie doziemienia. Zmniejszenie prądów zwarciovych to również zmniejszenie zagrożenia porażeniowego. Ze względu na możliwość likwidacji zwarć doziemnych przemijających samoczynnie jak i przy pomocy automatyki Samoczynnego Ponownego Załączenia (SPZ) znalazły one szerokie zastosowanie w sieciach napowietrznych. Do ciekawych cech tego typu sieci należy możliwość dalszego zasilania odbiorców w przypadku wystąpienia na linii pojedynczego doziemienia, co jest szczególnie ważne patrząc pod kątem zapewnienia ciągłości dostaw energii.

Główne wady sieci kompensowanych zależą od dokładności kompensacji, tj. wartości prądu resztkowego i zaliczamy do nich:

- niedokładną kompensację, której skutkami są duże wartości prądów resztkowych, co w konsekwencji prowadzi do braku możliwości samoistnej likwidacji doziemień,
- liczne przepięcia, które w konsekwencji powodują zwarcia wielokrotne.

3.2. SIEĆ Z PUNKTEM GWIAZDOWYM UZIEMIIONYM PRZESZYSTOR

Sieci uziemione przez rezystancję rozwinęły się (podobnie jak sieć kompensowana powstała w wyniku modyfikacji sieci o izolowanym punkcie neutralny) poprzez modyfikację sieci kompensowanych. Zastosowanie rezystora pozwoliło ograniczyć czas trwania i wyłumienie przepięć towarzyszących doziemieniom. Tego typu sposób uziemienia jest głównie stosowany w sieciach kablowych, gdzie można sobie pozwolić na duże prądy doziemienia nie powodując przy tym zagrożenia porażeniowego. Dodatkowo dzięki możliwości zastosowaniu żył powrotnych lub powłok metalowych w kablach elektroenergetycznych, wartości napięć rażeniowych są z reguły kilkukrotnie mniejsze od wartości dopuszczalnych.



Rys. 3. Sieć z punktem gwiazdowym uziemionym przez rezystor
 Fig.3. Network with neutral point grounded by resistor

3.3.1. DOBÓR REZYSTORA UZIEMIAJĄCEGO

Rezystory uziemiające dobierane są tak, aby stosunek prądu rezystora do prądu pojemnościowego sieci wynosił od 1 do 1,5. W wyniku zastosowanie rezystora uziemiającego prądy doziemne osiągają stosunkowo duże wartości (graniczna wartość to 500A), co stanowi zarówno wadę jak i zaletę tego typu sieci. Wadą jest wysoka wartość graniczna która ze względu na zagrożenie porażeniowe praktycznie uniemożliwia stosowanie tego typu uziemienia w liniach napowietrznych, z drugiej strony takie wysokie wartości prądów doziemienia są zaletą dla zabezpieczeń, ponieważ pozwala to na zastosowanie prostych, a co za tym idzie tanich rozwiązań, takich jak np. zabezpieczenia nadprądowe czy kierunkowe.

4. SPOSOBY DETEKCJI ZWARĆ DOZIEMNYCH W SIECIACH SN

Do wykrywania zwarć doziemnych stosowanych jest wiele kryteriów, najpopularniejsze z nich stosunkowo proste w realizacji to kryteria:

- nadprądowe zerowe,
- prądowe kierunkowe,
- admitancyjne.

4.1. KRYTERIUM NADPRĄDOWE ZEROWE

Kryterium to jest realizowane poprzez pomiar wartości ustalonego prądu zerowego. W celu uzyskania wartości prądu zerowego stosujemy przekładniki połączone w układ Holmgreena lub stosujemy specjalnie przeznaczone do tego typu pomiarów przekładniki Ferrantiego. W przypadku wystąpienia zwarcia doziemnego, w linii chorej płynie prąd zerowy całej sieci pomniejszony o wartość prądu zerowego linii chorej.

4.2. KRYTERIUM PRĄDOWE KIERUNKOWE

Polega na wyznaczeniu kierunku przepływu prądu zerowego w linii zabezpieczanej. Określenie kierunku przepływu prądu zerowego jest dokonywane na podstawie oceny wartości kąta fazowego pomiędzy prądem zerowym i napięciem zerowym (obie te wielkości muszą być mierzone). W linii zdrowej prąd pozostaje w fazie w stosunku do napięcia, natomiast w przypadku linii dotkniętej zwarcie prąd jest w opozycji do napięcia.

4.3. KRYTERIUM ADMITANCYJNE

Realizacja kryterium admitancyjnego polega na (podobnie jak w przypadku kryterium prądowego kierunkowego) pomiarze prądu zerowego, napięcia zerowego oraz dodatkowo kąta fazowego pomiędzy tym prądem i napięciem. Na podstawie tych trzech pomiarów wyznaczona zostaje admitancja linii, która jest zabezpieczana przez to zabezpieczenie. Decyzja w przypadku tego kryterium podejmowana jest na podstawie przekroczenia przez moduł admitancja wartości rozruchowej zabezpieczenia. Charakterystyka rozruchowa dla tego kryterium to okrąg położony na płaszczyźnie admitancja zerowej, którego środek położony jest w początku układu współrzędnych.

5. METODY OGRANICZANIA NEGATYWNYCH SKUTKÓW ODDZIAŁYWANIA PRĄDÓW ZWARCIOWYCH

Metody oddziaływania skutków działania prądów zwarciovych na sieć elektroenergetyczną możemy podzielić na trzy zasadnicze grupy:

- Stosowanie urządzeń do odłączania zwartych obwodów o bardzo krótkim czasie zadziałania- są to na ogół urządzenia które przerywają obwód prądu zwarciego w czasie krótszym niż $\frac{1}{4}$ okresu. Do przerywania prądów o niewielkiej wartości stosuje się szybkie bezpieczniki, natomiast do przerywania prądów zwarciegich do dużej wartości stosuje się najczęściej ograniczniki.

- Odpowiednie kształtowanie konfiguracji sieci – działania z tej grupy polegają głównie na tzw. „rozcinianiu” sieci elektroenergetycznych na mniejsze wycinki, które zasilane są z autonomicznych źródeł. Do tej grupy zaliczamy też rozcinanie połączeń równoległych i sekcjonowanie szyn.

- Wprowadzenie dodatkowej impedancji w obwód prądu zwarciego – zastosowanie dławików zwarciegich skutecznie ogranicza prądy zwarciegie. Obecnie jednak dławiki zwarciegie są skutecznie wypierane przez transformatory z podwyższonym napięciem zwarcia oraz sprzęgła rezonansowe.

6. WNIOSKI

Podsumowując, każdy ze ww. sposobów połączenia punktu gwiazdowego sieci SN posiada szereg cech charakterystycznych, które wyraźnie determinują zakres zastosowania danego typu układu. Z racji na powszechność i strategiczne znaczenie przesyłowych sieci SN, dobór odpowiedniego sposobu połączenia punktu gwiazdowego jest niezbędny w celu zapewnienia pewnej i niezawodnej pracy całego systemu elektroenergetycznego.

Zastosowanie wybranego układu uziemienia określa również w pewnym stopniu rodzaj zastosowanej aparatury zabezpieczeniowej, która powinna uwzględniać charakter pracy sieci o wybranym sposobie połączenia punktu gwiazdowego. Obecny rozwój w dziedzinie automatyki zabezpieczeniowej pozwala na zastosowanie coraz to dokładniejszej i szybszej aparatury zabezpieczeniowej, jednak w rzeczywistości stosowane są układy „sprawdzone”, tj. układy o prostszej budowie, niezawodne i atrakcyjniejsze pod względem ekonomicznym. Podczas modernizacji starych linii SN można zauważyć tendencję do częstszego stosowania metod mających na celu ograniczanie negatywnych skutków oddziaływania prądów zwarciegich, oszczędzając przy tym poprzez unikanie montowania drogich aparatury zabezpieczeniowej.

LITERATURA:

- [1] Hoppel W.: Układ równoległy rezystora i dławika dla uziemienia punktu neutralnego sieci SN, Politechnika Poznańska 2001.
- [2] Hoppel W., Lorenc J.: Wybrane zagadnienia uziemienia punktu neutralnego sieci średniego napięcia, Politechnika Poznańska 2002.
- [3] Juszczak A.: Zabezpieczenia ziemnozwarciowe. Zagadnienia ogólne., Schneider Electric Energy Poland Sp. z o.o.
- [4] Kacejko P., Machowski J.: Zwarcia w systemach elektroenergetycznych, WNT, Warszawa 2009.
- [5] Kujarczyk Z., Mińczuk A.: Elektroenergetyczne sieci rozdzielcze, Tom I, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.
- [6] Marzecki J.: Rozdzielcze sieci elektroenergetyczne, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [7] Marzecki J.: Terenowe sieci elektroenergetyczne, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Warszawa 2006.
- [8] Synal B., Rojewski W., Dzierżanowski W.: Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa, Skrypt Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
- [9] Winkler W., Wiszniewski A.: Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych WNT, Warszawa 1999.

**IMPACT ANALYSIS METHOD OF CONNECTION MV NETWORK NEUTRAL
POINT ON THE PHENOMENON OF EARTH FAULTS**

The article analyzes how to connect the star point MV network for performance, presented the characteristics and properties of network types, depending on how the connection point of the star, the impact of the type of connection on the size of the short-circuit, presents the basic methods of detection of short-circuits and contains examples of methods to reduce the effects of short-circuit currents.

Obecna sytuacja polskiego systemu elektroenergetycznego.
Zagrożenia związane z polityką klimatyczną.
Skutki dla naszego kraju.

Kamil WARIAN *

SYTUACJA KRAJOWEGO SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

Zwiększenie popytu na energię elektryczną wymusza wzrost produkcji energii elektrycznej. 30 lipca w poranny szczyt zapotrzebowanie na energię elektryczną wyniosło 21 800 MW. Końcem czerwca było ono o 500 MW niższe. Taki stan rzeczy ma miejsce w upalne dni podczas włączania klimatyzacji i wentylatorów. Podczas tegorocznego lata maksymalne obciążenia nie wywołały przerw w dostawach energii elektrycznej, lecz trzeba sobie zdać sprawę, że za kilka lat ustosunkowując się do pakietu klimatycznego Komisji Europejskiej, w Polsce zacznie brakować mocy. Polski Komitet Energii Elektrycznej wylicza, że w 2016 r. z systemu odłączone zostaną bloki energetyczne o mocy 3000 MW, a dalej do 2019 r. 6000 MW. Aby zaopatrzyć mieszkańców naszego kraju w dostawę energii elektrycznej, powinny powstać w Polsce nowoczesne elektrownie budowane zgodnie z dyrektywami Unii Europejskiej. Moc elektrowni powinna odpowiadać zapotrzebowaniu na energię w naszym kraju.

Na dzień dzisiejszy w przyszłym roku planowane jest uruchomienie dwóch nowych bloków gazowo-parowych w Salowej Woli i Włocławku. To jedyne z głównych inwestycji, które mają być gotowe w najbliższym czasie. W kolejnych latach przybędzie jeszcze mocy dzięki budowie nowych bloków węglowych w Opolu, Koźlenicach i Jaworznie.

Elektrownia Opole, budowane będą dwa bloki pyłowe o mocy 900 MW każdy, które powstaną podczas największej inwestycji przemysłowej Polski od 1989 roku w Brzeziu koło Opola. Roczna produkcja energii z dwóch bloków to około 13,5 TWh/a, a ich dyspozycyjność to 88%. Żywotność bloku (kocioł, turbozespoł) ma wynieść 35

* Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, 44-100 Gliwice, ul. Krzywoustego 2, kamil.sjz@o2.pl

lat. Pierwszy z bloków będzie mógł być eksploatowany w drugiej połowie 2018 r. natomiast drugi na początku 2019 r.

Kolejna inwestycja powstająca w naszym kraju to budowa najnowocześniejszego na skalę światową bloku węglowego o mocy 1075MW w Kozienicach. Spełniał on będzie wysoce restrykcyjne normy ekologiczne. Po zakończeniu budowy, która przypada na lipiec 2017 będzie tu powstawało 13% polskiej energii elektrycznej.

Budowa nowego bloku energetycznego, opalanego węglem, o mocy 910 MW w Elektrowni Jaworzno. Blok będzie wysokosprawną jednostką systemową, która spełniała będzie wszystkie wymagania określone w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej. Żywotność bloku szacowana jest na co najmniej 200 tysięcy godzin pracy lub 30 lat. Przyłączony będzie do nowej rozdzielni 400 kV. Planowane zakończenie inwestycji to rok 2019.

Ministerstwo Gospodarki przedstawiło bilans wycofywanych bloków energetycznych, z którego wynika, że w przyszło rocznym szczycie letnim deficyt mocy dyspozycyjnej może wynieść 520 MW a już rok później 680 MW.

Proponowane przez Komisję Europejską ograniczenia doprowadzą do zaburzenia bezpieczeństwa energetycznego w Polsce. W obowiązującym do 2020 r. pakiecie założono trzy cele: redukcji emisji CO₂ o 20 procent, zwiększenia udziału energii ze źródeł odnawialnych (OZE) do 20 procent i zwiększenia efektywności energetycznej o 20 procent. Dwa pierwsze cele są prawnie wiążące. Rynek energii powinien mieć zabezpieczenia inwestycyjne, które pozwolą na budowanie nowych mocy wytwórczych równocześnie pozwalając aby obecne bloki zapewniały bezpieczeństwo energetyczne w kraju. Tylko pomoc ze strony państwa pozwoli na niedopuszczenie wystąpienia braku mocy w Polsce.

Ustosunkowując się do nowej polityki klimatycznej przedstawionej przez KE w Polsce dojdzie do zmian, najważniejsza z nich to spadek PKB o 1,8 proc. W 2030 r., 2,9 proc. w 2040 r. i 5,1 proc. w 2050 r. w porównaniu do kontynuacji obecnej polityki klimatycznej. Kolejnym aspektem będzie zwiększenie nakładów inwestycyjnych w energetyce na źródła wytwarzania energii elektrycznej i ciepła o ok. 250 mld zł w porównaniu do kontynuacji obecnej polityki klimatycznej.

Skutkami takiej polityki dla polskiego przemysłu będzie:

- wzrost cen hurtowych energii elektrycznej prawie trzykrotny oraz ponad trzykrotny wzrost ciepła sieciowego,

- zwiększenie kosztów wytwórczych w przemyśle a co za tym idzie wzrost cen towarów produkowanych w kraju,

- zagrożenie rentowności produkcji przemysłu m.in. koksowniczego, chemicznego, papierniczego, wydobycia węgla, a przez co utrata pracy przez kilka set tysięcy osób,

- wzrost kosztu zakupu energii elektrycznej w gospodarstwach domowych.

Sytuacja, że zabraknie mocy i nastąpi blackout może wystąpić zawsze, najważniejszą kwestią jest to aby do tego nie dopuścić. Może być to jednak trudne w przeciągu najbliższych lat gdyż bilans mocy w naszym systemie może nie zaspokoić potrzeb energetycznych. W takiej sytuacji podczas największego zapotrzebowania na energię można przez pewien okres dopuścić pracę elektrowni z przeciążeniem i dzięki temu uzyskać więcej mocy niż normalnie to możliwe. Nie jest to jednak rozwiązanie na długi czas. Drugą opcją jest import energii od zagranicznych sąsiadów, jedynym problem może być połączenie np. połączenie z Litwą nie jest jeszcze gotowe. Poza tym należy pamiętać o tym, iż nie ma gwarancji, że kraje sąsiadujące będą posiadać odpowiednio większy zapas mocy.

Przedsiębiorstwa energetyczne mają do podjęcia ciężką decyzję decydując się na budowę nowych mocy węglowych muszą pamiętać, że przy wzroście ceny do uprawnień emisji CO₂ może okazać się, że produkują najdroższą energię a inwestycja okazała się nierentowna. Nie budując z kolei mogą doprowadzić do przerw w dostawach energii.

Rola rządu w tym wypadku jest bardzo istotna, która powinna przestawić plany inwestycje gospodarki energetycznej i zadbać o to żeby nigdy nie zabrakło nam energii elektrycznej.

SITUATION OF THE NATIONAL POWER SYSTEM

The current situation of the Polish power system.

Risks associated with climate policy.

Consequences for our country.



**Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej
są do nabycia w księgarni
plac Grunwaldzki 13, 50-377 Wrocław
bud. D-1 PWr., tel. 71 320 29 35
Prowadzimy sprzedaż wysyłkową
zamawianie.ksiazek@pwr.edu.pl**

ISBN 978-83-7493-879-2