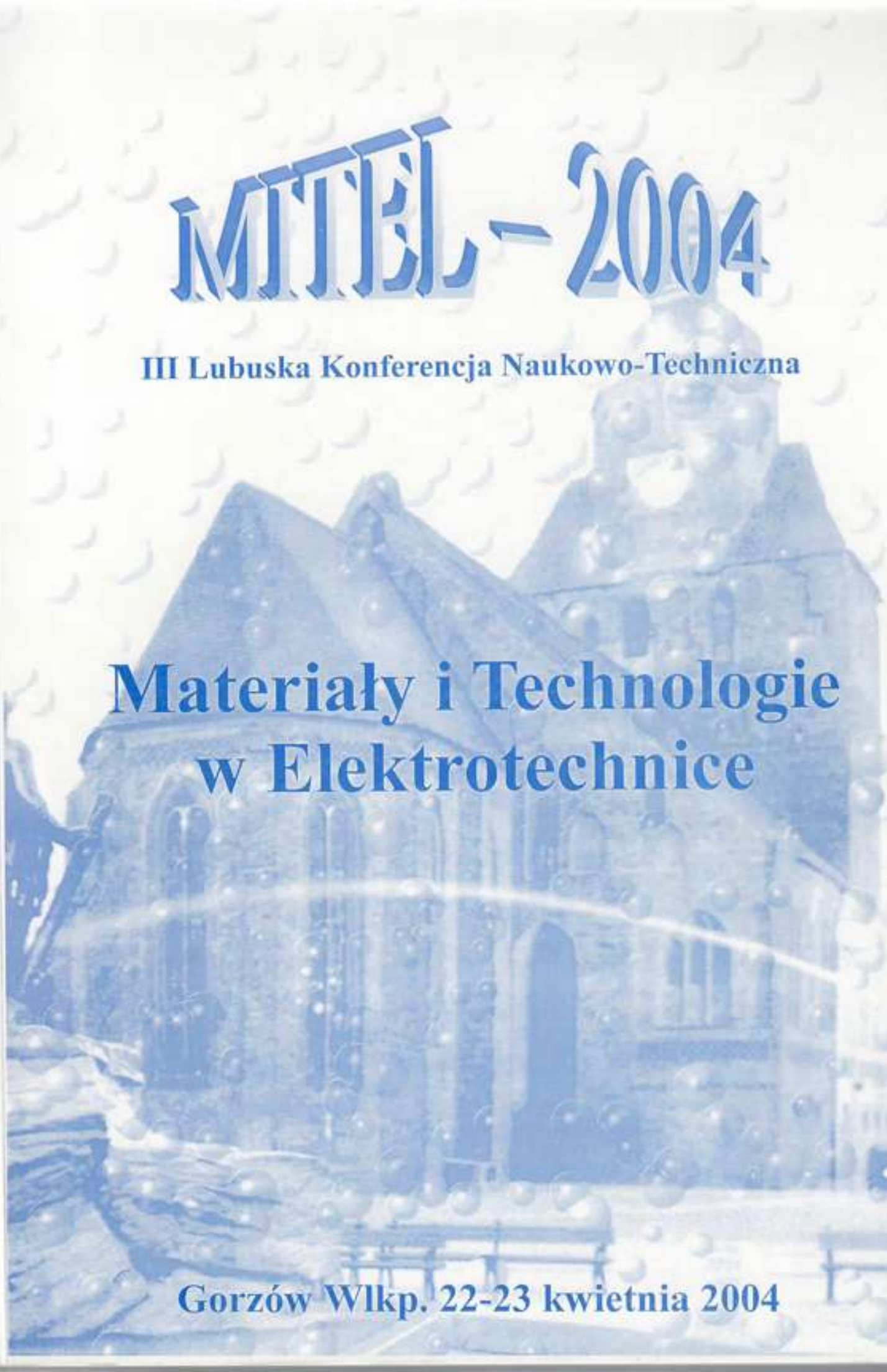
MTEL-2004

III Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna

Materiały i Technologie w Elektrotechnice

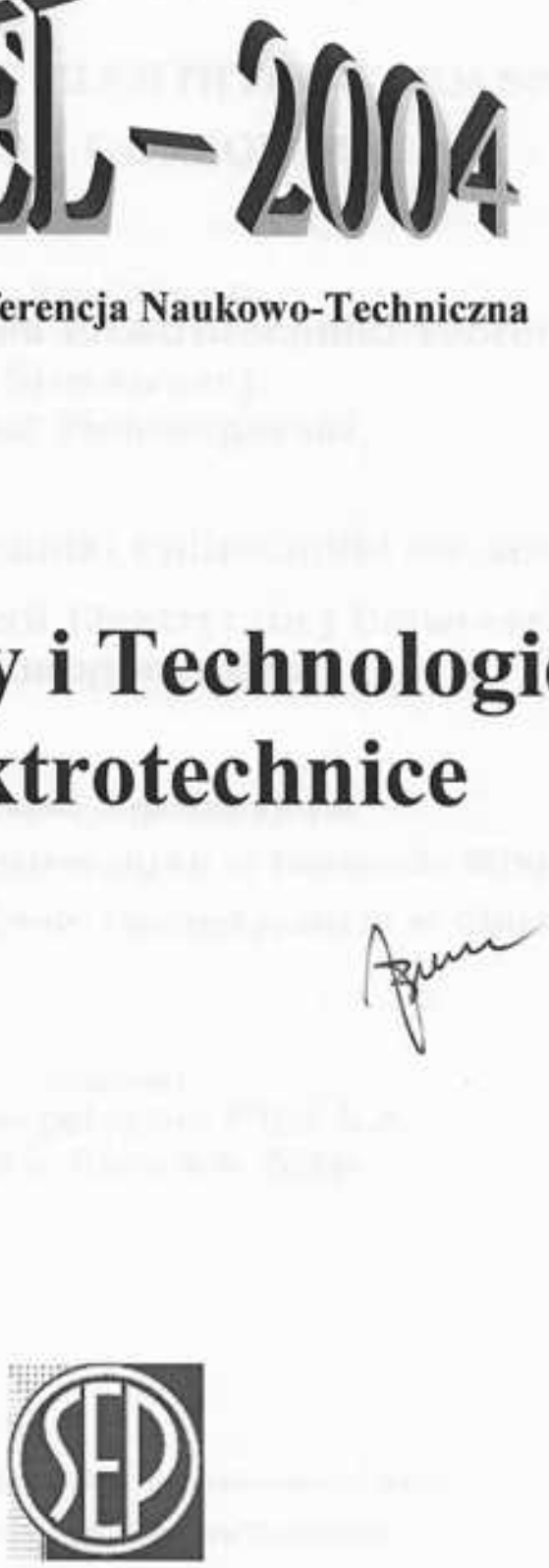


Gorzów Wlkp. 22-23 kwietnia 2004

MITEL - 2004

III Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna

Materiały i Technologie w Elektrotechnice



Gorzów Wlkp. 22 – 23 kwietnia 2004

ORGANIZATORZY

STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH
ODDZIAŁ GORZOWSKI

we współpracy z:

Polskim Towarzystwem Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej Oddział Zielonogórski

Instytutem Elektrotechniki Politechniki Szczecińskiej

Instytutem Inżynierii Elektrycznej Uniwersytetu Zielonogórskiego

przy wysiłku organizacyjnym

Zespołu Szkół Elektrycznych w Gorzowie Wlkp.

Koła SEP nr 7 przy Rejonie Energetycznym w Choszcznie

Patronat

Grupa Energetyczna ENEA S.A. Oddział w Gorzowie Wlkp.

Opracowanie materiałów mgr Stanisława Cadler

Wydano po recenzji Komitetu Naukowego

z materiałów nadesłanych przez autorów

nakładem Oddziału Gorzowskiego SEP w ilości 150 egz.

Współwydawca: Drukarnia Koma Druk, tel. 0609 331 444

KOMITET HONOROWY

Andrzej Korski – Wojewoda Lubuski

Henryk Szałek – Grupa Energetyczna ENEA S.A.
Dyrektor Oddziału w Gorzowie Wlkp.

Grażyna Wojciechowska – v-ce Przewodnicząca Rady Miejskiej m. Gorzowa Wlkp.

Bogusław Andrzejczak – v-ce Marszałek Województwa Lubuskiego

Jacek Wieczorek – Grupa Energetyczna ENEA S.A.
Dyrektor Techniczny Oddziału w Gorzowie Wlkp.

Stanisław Jodko – Dyrektor Zespołu Szkół Elektrycznych w Gorzowie Wlkp.

Eugeniusz Kaczmarek – Prezes Oddziału Gorzowskiego SEP

KOMITET NAUKOWY

prof. dr hab. inż. Ryszard Strzelecki – przewodniczący

prof. dr hab. inż. Lech Subocz – v-ce przewodniczący

dr inż. Janusz Michalski – sekretarz

prof. dr hab. inż. Anatolij Afonin

prof. dr hab. inż. Sergiej German-Gałkin

prof. dr hab. inż. Edward Greczko

prof. dr hab. inż. Franciszek Mosiński

prof. dr hab. inż. Borys Sidelnikow

prof. dr hab. inż. Michał Zeńczak

dr inż. Jan Mućko

KOMITET ORGANIZACYJNY

Edward Cadler – przewodniczący

Stanisława Cadler – sekretarz

Andrzej Łagoda

Sławomir Guss

Piotr Wersty

SPIS TERŚCI

1. **Paweł ANDRUSZKIEWICZ** Porównanie metod badania zjawisk relaksacyjnych za pomocą pomiarów w dziedzinie czasu i częstotliwości 1
2. **Szymon BANASZAK** Badania trakcyjnych izolatorów porcelanowych 6
3. **Piotr BEGIER** Program Polskiego Towarzystwa Przemysłu i Rozwoju Energii Elektrycznej „Bezpieczniej z prądem" 12
4. **Jan BURSA, Maciej KRUPCZYŃSKI** Wpływ tlenków azotu o dużym stężeniu na właściwości elektryczne elastomerów silikonowych 18
5. **Edward CADLER** Praktyczne aspekty poprawy parametrów jakości energii elektrycznej w obwodach oświetlenia zewnętrznego 22
6. **Marcin CUDZIŁO, Adam NOCULAK** Wpływ odkształceń napięcia i prądu na błędy liczników energii czynnej 29
7. **Henryk DĘBICKI** Możliwości zastosowania kondycjonerów energii w systemach zasilania rozproszonych obiektów telekomunikacyjnych 33
8. **Antoni DMOWSKI** Współpraca odnawialnych źródeł energii z ogniwami paliwowymi jako nowoczesnymi zasobnikami energii 40
9. **Andrzej DREAS, Maciej KOZAK** Sterowanie indukcyjnej klatkowej prądnicy wałowej 48
10. **Józef GALCZAK** Wpływ celowo implantowanych „słabych punktów" na wytrzymałość układu izolowany płaskownik nawojowy-płyta w oleju transformatorowym 54
11. **Sergiej GERMAN-GAŁKIN, Eugenin OCHIN** The development of computer training course on electrotechynical disciplines with use of macromedia technologies 60
12. **Andrzej GIL** Jednofazowa przetwornica DC/AC o napięciu sinusoidalnym 66
13. **Zygfryd GŁUCHY, Michał GWÓŹDŹ, Ryszard PORADA** Energoelektryczny filtr aktywny AAF2003 rodziny ecocurrent 72
14. **Edward GRECZKO** Właściwości falowników napięcia o modulacji nadążnej 77
15. **Edward GRECZKO, Emil KOT** Trójfazowe falowniki napięcia o modulacji amplitudowo-impulsowej 83
16. **Jacek GROCHOWALSKI** Przyrząd do wyznaczania drgań ruchu obrotowego 89
17. **Lucya HEMKA, Lech PIOTROWSKI** Podstawowe parametry funkcjonalne i bezpieczeństwa użytkowania sprzętu oświetleniowego i stosowanych w nim źródeł światła przy zmianie wartości napięcia sieciowego z 220 V na 230 V 95
18. **Kazimierz HERLENDER** Sposoby magazynowania energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym 103
19. **Jarosław HRYNKIEWICZ, Maciej KOZAK** Zintegrowane zabezpieczenie silników AC do długookresowej eksploatacji bez dozoru 109
20. **Maciej JANKOWSKI** Trójfazowy szeregowy regulator napięcia przemiennego z bipolarnym sterownikiem matrycowo-reaktancyjnym o topologii Ćuk B2 113
21. **Tomasz JENDRZEJCZAK** Dobór sieci neuronowej do identyfikacji zagrożenia przeciwpożarowego 119
22. **Włodzimierz KAMIŃSKI** Mieszanie elektromagnetyczne w technologiach metalurgicznych 127
23. **Radosław KASPEREK** Symetryzacja układów impulsowych sterowników prądu przemiennego 133

24. **Joanna KLEMIŃSKA** Izolacja gazowa czy powietrzna? 141
25. **Michał KRASODOMSKI** Możliwości rozszerzania zastosowań małych sterowników programowalnych 148
26. **Łukasz LEMIESZEWSKI** Opracowanie systemu zdalnej komunikacji do nauczania elektroniki z wykorzystaniem zjawiska MATLAB 154
27. **Janusz MICHALSKI, Marian MICHALCZUK** Płyn do mycia elementów i urządzeń elektroenergetycznych w pracach remontowych 160
28. **Jan MUĆKO** Tranzystorowy sterownik napięcia przemiennego-przyjazny sieci przekształtnik o cechach autotransformatora 164
29. **Adam NOCULAK, Marcin CUDZIŁO** Wpływ zmian napięcia znamionowego sieci z 220/380 V na 230/400 V na dokładność pomiaru indukcyjnych liczników czynnej energii elektrycznej 172
30. **Maciej PAWLIK** Technologie Wytwarzania energii elektrycznej na rynku rozszerzonej Unii Europejskiej 176
31. **Aleksandra PIETRZAK-MANTIUK** Wpływ napełniaczy na wybrane parametry elektryczne mieszanek polimerowych w funkcji starzenia w komorze klimatycznej WGS i urządzeniu typu xenotest 182
32. **Lech PIOTROWSKI, Lucyna HEMKA** Efektywność energetyczna źródeł światła powszechnego użytku, parametry funkcjonalne 188
33. **Jerzy POMIANOWSKI** Polaryzowalność jako kryterium oceny właściwości elektroizolacyjnych żywic epoksydowych 195
34. **Aleksandra RAKOWSKA** Eksploatacja elektroenergetycznych linii kablowych - doświadczenia zagraniczne 203
35. **Heinz-H. SCHRAMM** Electric Power Systems 2020 A prospective view 211
36. **Łukasz SIKORKI, Franciszek MOSIŃSKI, Jacek KARPIŃSKI, Wojciech ŚWITALSKI, Andrzej WIRA** Analiza wytrzymałości elektrycznej muf kablowych do kabli 6kV z izolacją polwinitową 215
37. **Przemysław SMERECZYŃSKI** Międzysystemowe sterowniki przesyłu energii – ocena właściwości energetycznych 223
38. **Ryszard STRZELECKI** Właściwości i zastosowania kompensatorów dynamicznych STATCOM i D-STATCOM 229
39. **Ryszard STRZELECKI, Grzegorz BENYSEK** Koncepcje i właściwości urządzeń sprzęgających rozproszone systemy elektroenergetyczne 241
40. **Lech SUBOCZ** Badania kombinezonu nurka w związku z zagrożeniem porażeniem prądem elektrycznym 249
41. **Lech SUBOCZ** Starzenie izolacji papierowej transformatorów najwyższych napięć 253
42. **Piotr SZYMCZAK, Tomasz PIEŃKOWSKI, Krzysztof MICHALSKI, Bartłomiej STANKIEWICZ** Przegląd współczesnych materiałów magnetycznych twardych stosowanych w maszynach elektrycznych 259
43. **Piotr SZYMCZAK, Marcin WARDACH, Sebastian SZKOLNY, Tomasz PIEŃKOWSKI** Nowe technologie w obiektach podwodnych 265
44. **Arlen VOLOZHYN** Functionalized pilyimides for micro and-optoelectronics 271
45. **Krzysztof WINCENCIK, Jan STRZAŁKA** Ograniczanie przepięć czynnikiem poprawy jakości energii elektrycznej 275
46. **Michał ZEŃCZAK** Pola elektromagnetyczne wokół linii elektroenergetycznych na tle nowych przepisów 279

Paweł ANDRUSZKIEWICZ[1]

PORÓWNANIE METOD BADANIA ZJAWISK RELAKSACYJNYCH ZA POMOCĄ POMIARÓW W DZIEDZINIE CZASU I CZĘSTOTLIWOŚCI

Badania zjawisk relaksacyjnych są coraz częściej stosowane w diagnostyce urządzeń energetycznych takich jak np. transformatory energetyczne dużej mocy i kable energetyczne wysokiego i średniego napięcia. Można za ich pomocą oceniać takie parametry jak: zawartość wody w izolacji papierowo-olejowej, stopień degradacji izolacji polimerowej i papierowej, rozwój drzewienia wodnego. Zaletami tej metody jest ich nie niszczący charakter oraz stosunkowo proste wykonanie pomiarów. Oceny zjawisk relaksacyjnych można dokonać w oparciu o pomiary zespolonej stałej dielektrycznej w szerokim zakresie częstotliwości przy napięciu przemiennym lub przez pomiar prądów polaryzacji i depolaryzacji przy napięciu stałym. Każda z tych metod jest lepsza do innego typu układów izolacyjnych. W niniejszej pracy sprawdzono możliwość ich zamiennego stosowania w układach izolacyjnych o niesymetrycznym układzie elektrod z występującą rozłożoną stałą czasową.

1. WPROWADZENIE

Na skutek oddziaływania pola elektrycznego, przemiennego lub stałego, w materiałach izolacyjnych zachodzi zjawisko polaryzacji. W zależności od budowy materiału i badanego przedziału częstotliwości lub czasu można obserwować ich jeden lub kilka rodzajów. Do badań materiałowych i diagnostyki izolacji stosuje się przedział częstotliwości, w którym występuje polaryzacja ładunku przestrzennego i polaryzacja dipolowa. Zjawiska te są opisane równaniami Debye'a w dziedzinie częstotliwości (1) i czasu (2). Badania wykazały jednak, że równania te nie zawsze można zastosować do analizy rzeczywistych

$$\varepsilon(\omega)=\frac{\varepsilon_0-\varepsilon_\infty}{1+j\omega\tau}+\varepsilon_\infty \qquad (1) \qquad i(t)=A\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \qquad (2)$$

$$\varepsilon(\omega)=\frac{\varepsilon_0-\varepsilon_\infty}{1+(j\omega\tau)^\alpha}+\varepsilon_\infty \qquad (3) \qquad \varepsilon(\omega)=\frac{\varepsilon_0-\varepsilon_\infty}{(1+j\omega\tau)^\beta}+\varepsilon_\infty \qquad (4)$$

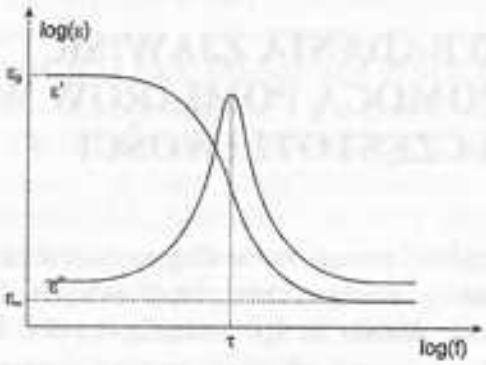
$$\varepsilon(\omega)=\frac{\varepsilon_0-\varepsilon_\infty}{\left(1+(j\omega\tau)^\alpha\right)^\beta}+\varepsilon_\infty \qquad (5)$$

ε_∞ - przenikalność dielektryczna dla częstotliwości dążącej do nieskończoności, ε_0 – przenikalność dielektryczna dla częstotliwości dążącej do 0, τ – uogólniona stała czasowa relaksacji o pewnym, zależnym od α, β, rozkładzie wartości, α, β, A – stałe, ω - pulsacja, t – czas.

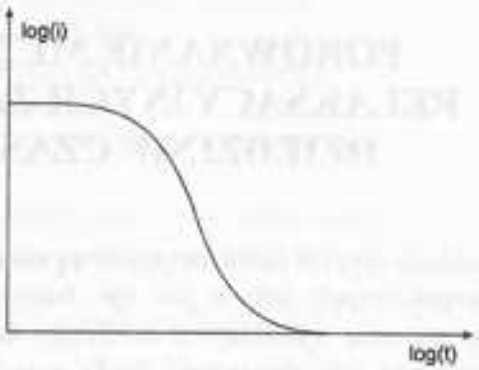
przebiegów. Jest to spowodowane tym, że zostały one wyprowadzone z założeniem, że dipole i jony mogę swobodnie przemieszczać w przestrzeni. Założenie takie jest słuszne dla gazów i cieczy, jednak dla ciał stałych powoduje już duże rozbieżności. W związku z tym

[1] Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki, 70-313 Szczecin, ul. Sikorskiego 37, tel. (0-91) 4494323, e-mail: andrut@ps.pl

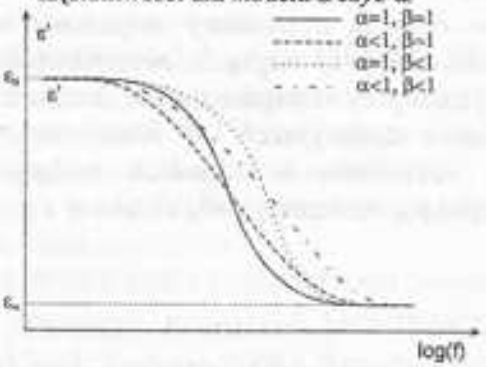
zaczęto do tych równań wprowadzać dodatkowe współczynniki oparte o badania empiryczne, lecz nie mające bezpośredniego wytłumaczenia fizycznego. W ten sposób powstały zależności Cole'a–Cole'a (3), Davidsona–Cole'a (4) i Havriliaka–Negami'ego (5).



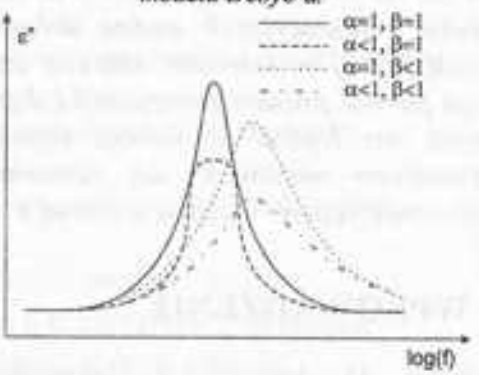
Rys. 1. Zależności ε' i ε'' od częstotliwości dla modelu Debye'a.



Rys. 2. Zależność prądu od czasu dla modelu Debye'a.



Rys. 3. Zależności ε'(f) dla modelu Debye'a (α=1, β=1), Cole'a–Cole'a (α<1, β=1), Davidsona–Cole'a (α=1, β<1) i Havriliaka–Negami'ego (α<1, β<1).



Rys. 4. Zależności ε''(f) dla modelu Debye'a (α=1, β=1), Cole'a–Cole'a (α<1, β=1), Davidsona–Cole'a (α=1, β<1) i Havriliaka–Negami'ego (α<1, β<1).

Równania Debye'a można zapisać w dziedzinie czasu i częstotliwości z zachowaniem tych samych parametrów. Oznacza to, że pomiarów można dokonywać zamiennie w dziedzinie czasu i częstotliwości, a ich wyniki są tożsame. Ze względów praktycznych korzystniejsze jest wykonywanie pomiarów w dziedzinie czasu, bo:

- do pomiarów wykorzystuje się napięcie stałe, które jest łatwiejsze do uzyskania niż przemienne o regulowanej w szerokim zakresie częstotliwości
- wykonuje się pojedynczy pomiar zamiast całej serii
- układ pomiarowy jest prostszy, a co za tym idzie tańszy i mniej zawodny.

Niestety po wprowadzeniu dodatkowych współczynników równania te nie mają odpowiedników w dziedzinie czasu co uniemożliwia bezpośrednie porównanie wyników. Jedyną możliwością pozostaje w takim przypadku przekształcenie numeryczne danych pomiarowych przed dokonaniem analizy.

2. Metodyka badań.

Do badań przyjęto model izolacji przedstawiony na Rys. 5. Kondensator C_2 odwzorowuje pojemność geometryczną układu izolacyjnego, R_2 i C_1 odpowiadają za polaryzację makroskopową, a R1 odpowiada za przewodnictwo jonowe. C_1=1μF,

C_2=1,5nF i R_2=10 MΩ są elementami dyskretnymi, natomiast jako R_1 zastosowano układ złożony z elektrody miedzianej, nieutwardzonej żywicy epoksydowej i elektrody grafitowej. Tak zbudowany element wykazuje przewodnictwo jonowe zależne od kierunku przepływu prądu i umożliwia obserwację zjawisk przyelektrodowych zależnie od materiału, z którego są zbudowane. Dodatkowo występujące w nim zjawiska polaryzacyjne odbiegają od modelu Debye'a. Przedstawiony model odzwierciedla pod względem jakościowym parametry izolacji pręta generatora synchronicznego o budowie przedstawionej na rys. 6. Jego budowa wymusza dokonywanie pomiaru w niesymetrycznym układzie elektrod, którymi są miedziana żyła robocza i grafitowa osłona przeciwjarzeniowa.

Pomiary zespolonej stałej dielektrycznej zostały wykonane za pomocą systemu pomiarowego ULFAS przy napięciu o wartości skutecznej 20V, w zakresie częstotliwości 10^{-4}-10 Hz, a następnie aproksymowane równaniem Havriliaka–Negami'ego z uwzględnieniem przewodnictwa stałoprądowego (6). Następnie charakterystki częstotliwościowe zostały przekształcone numerycznie do dziedziny czasu. Pomiary prądów polaryzacji przy napięciach +28V i –28V zostały wykonane elektrometrem Keithley 6517A przy częstotliwości próbkowania 10Hz. Wyniki pomiarów aproksymowano równaniami (7) i (8).

$$\varepsilon(\omega) = -j\left(\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0 \omega}\right)^N + \sum_{K=1}^{2}\left(\frac{\Delta\varepsilon_K}{\left(1+(j\omega\tau_K)^{\alpha_K}\right)^{\beta_K}} + \varepsilon_{\infty K}\right) \tag{6}$$

σ_0- parametr wyrażający stałoprądowe przewodnictwo materiału, ε_0- przenikalność elektryczna próżni (8,81e-12), N- wykładnik potęgowy określający nachylenie zależności przewodnictwa stałoporądowego od częstotliwości, ε_∞ – (epsilon optyczne) przenikalność dielektryczna dla częstotliwości dążącej do nieskończoności, Δε- różnica między wartością stałej dielektrycznej ε` dla prądu stałego, a ε` dla nieskończenie dużej częstotliwości, τ- stała czasowa dla określonej struktury polaryzacyjnej, α, β- parametry odpowiadające za rozkład stałych czasowych.

$$i(t) = A1 \cdot exp\left(-\frac{t}{t1}\right) + A2 \cdot exp\left(-\frac{t}{t2}\right) + Y0 \tag{7}$$

$$i(t) = A1 \cdot exp\left(-\frac{t}{t1}\right) + A2 \cdot exp\left(-\frac{t}{t2}\right) + A3 \cdot t^{-n} \tag{8}$$

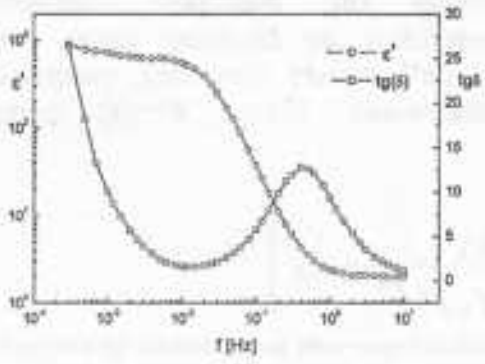
A1, A2, A3 – wartości początkowe dla poszczególnych funkcji zaniku, t1, t2 – stałe czasowe, n – współczynnik nachylenia krzywej zaniku, Y0 – składowa stała

3. Wyniki pomiarów.

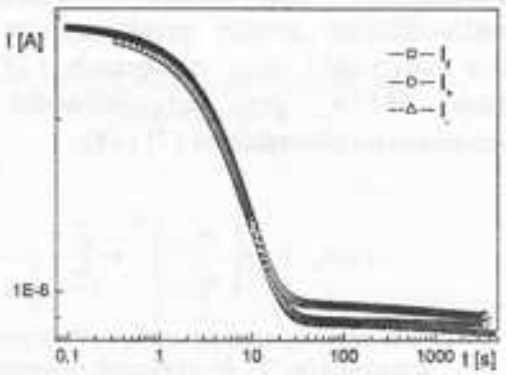
Wyniki pomiarów w dziedzinie częstotliwości (Rys. 7) wskazują na występowanie w badanym modelu dwóch struktur polaryzacyjnych i przewodnictwa jonowego. Pierwsza z nich ma charakter czysto Debye'owski i jest związana z elementami C_1 i R_2. Potwierdza to aproksymacja równaniem Havriliaka–Negami'ego, w której wartości parametrów α=1 i β=1. Druga struktura (α=0,925 i β=1) jest typowym przykładem symetrycznego rozkładu czasów relaksacji. Jest ona wynikiem polaryzacji wielu struktur o zbliżonych parametrach, takich jak odcinki łańcucha polimeru o długości leżącej w stosunkowo wąskim przedziale. W badanym modelu jest ona związana z żywicą epoksydową. Podobną genezę ma w badanym modelu przewodnictwo.

Porównanie przebiegów prądów polaryzacji uzyskanych z pomiarów w dziedzinie czasu i z przekształcenia wyników pomiarów w dziedzinie częstotliwości przedstawia Rys. 8. Największe różnice występują dla czasów powyżej 11s, gdzie decydujące znaczenie

mają parametry żywicy. Występują tam zarówno różnice pomiędzy pomiarami w dziedzinie czasu wykonywanymi dla różnych polaryzacji, jak i uzyskanym z przekształceń. Dla czasów poniżej 10s, gdzie decydujące znaczenie mają elementy R_2 i C_1, przebiegi prądów polaryzacji zmierzone bezpośrednio są praktycznie takie same, niewielka różnica pojawia się jedynie w przebiegu uzyskanym z przekształcenia. Obserwacje te potwierdzają uzyskane wyniki aproksymacji równaniami (7) i (8) (Tab. 1.) W każdym przypadku uzyskano dość dobrą (około 10%) zgodność wyników dla parametrów Y0, A1, t1. Rozbieżności dla parametrów A2, t2 zależą od przyjętego do aproksymacji równania i wynoszą nawet ponad 100%. Dla równania (7) występują mniejsze różnice dla różnych polaryzacji napięcia, które dla (8) są ponad dziesięciokrotne. W każdym przypadku największe różnice występują dla wyników przekształconych z pomiarów częstotliwościowych.



Rys. 7. Charakterystyki tgδ i ε' od częstotliwości.



Rys. 8. Prądy polaryzacji uzyskane z pomiarów w dziedzinie czasu przy napięciu +28V (I_+) i -28V (I_-) oraz uzyskany z przekształcenia przebiegów w dziedzinie częstotliwości (I_f).

Tab. 1.

	Wyniki aproksymacji uzyskane w dziedzinie:						
	czasu				częstotliwości		
polaryzacja napięcia	dodatnia		ujemna		po przekształceniu		bezpo-średnio
równanie	7	8	7	8	7	8	6
y0	9,09E-07		8,82E-07		8,43E-07		
A1	1,86E-06	1,83E-06	1,92E-06	1,90E-06	2,02E-06	1,99E-06	
t1	6,38E+00	6,30E+00	6,53E+00	6,48E+00	6,66E+00	6,67E+00	6,67E+00
A2	3,61E-08	8,37E-07	1,16E-08	8,45E-07	3,79E-08	6,54E-07	
t2	5,77E+02	1,66E+05	4,08E+02	7,99E+06	1,57E+03	3,31E+05	3,73E+03
A3		1,46E-07		6,52E-08		2,48E-07	
n		7,81E-02		7,56E-02		2,40E-02	

4. WNIOSKI.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że parametry zjawisk relaksacyjnych uzyskane z pomiarów w dziedzinie czasu i częstotliwości są porównywalne tylko dla układów izolacyjnych, które zachowują się zgodnie z modelem Debye'a. Modele Cole'a–Cole'a, Davidsona–Cole'a i Havriliaka–Negami'ego nie mają swoich bezpośrednich odpowiedników w dziedzinie czasu, a przekształcenie wyników pomiarów do dziedziny czasu metodą numeryczną i następnie aproksymacja daje zbyt duże rozbieżności by wyniki można było stosować w diagnostyce.

Dla układów izolacyjnych o niesymetrycznym układzie elektrod występują rozbieżności między pomiarami wykonywanymi w dziedzinie czasu dla różnych polaryzacji napięcia. W takim przypadku bardziej odpowiednie jest stosowanie pomiarów w dziedzinie częstotliwości.

5. LITERATURA

1. Andruszkiewicz P., Michalczuk M.: *Modele dielektryków w ultraniskich częstotliwościach*, VIII Sympozjum Problemy eksploatacji układów izolacyjnych wysokiego napięcia EUI'01. Zakopane, 18-20 październik 2001 s. 25-29.
2. Chełkowski A.: *Fizyka dielektryków*, PWN, Warszawa, 1979
3. Havriliak S., Havriliak S. J.: *Dielectric and Mechanical Relaxation in Materials*, Hanser Publishers, New Jork, 1997
4. Houhanessian V., Zaengl W. S.: *Time domain measurements of dielectric response in oil-paper insulation systems*, Conf. IEEE International Symposium on Electrical Insulation., Montreal, Quebec, 16-19,06.1996.
5. Jonscher A. K.: *The Universal Dielectric Response and its Physical Significance*, IEEE Transaction on Electrical Insulation, Vol. 27 No. 3, June 1992, p 407-423

COMPARIZON OF TIME AND FREQUNCY DOMAIN METHODS OF EXAMINATION RELAXATION PHENOMENA

Relaxation phenomena examination is commonly used in diagnostics of power equipment, like power transformers, high and medium voltage cables. They give information about e.g. moisture content in oil-paper insulation, degradation degree of paper and polymer insulation, water treeing. Advantage of this method is non-destructive nature and quite simple measurement technique. Estimation of relaxation phenomena can be done by measurement of complex dielectric constant in wide frequency spectra with AC voltage or by measurement of polarization and depolarization currents with DC voltage. Each method is better for certain isolation system. In this paper possibility of they alternate use in insulation systems with non-symmetrical electrodes and distribution of time constant was examined.

Szymon BANASZAK[1]

BADANIA TRAKCYJNYCH IZOLATORÓW PORCELANOWYCH

W artykule przedstawiono wyniki badań trakcyjnych izolatorów liniowych pod kątem występowania na nich wyładowań zabrudzeniowych. Prowadzić one mogą do nadmiernego nagrzewania okuć izolatorów powodując ich osłabienie przez przegrzewanie spoiwa. Zaprezentowano również zmiany niektórych właściwości elektrycznych izolatorów, na przykład obniżenie się napięcia przeskoku pod sztucznym deszczem o ok. 1 – 2 kV/rok eksploatacji. Jednak zmiany te są zbyt małe i dlatego nie stanowią realnego zagrożenia dla izolacji liniowej.

1. Warunki eksploatacji izolatorów trakcyjnych

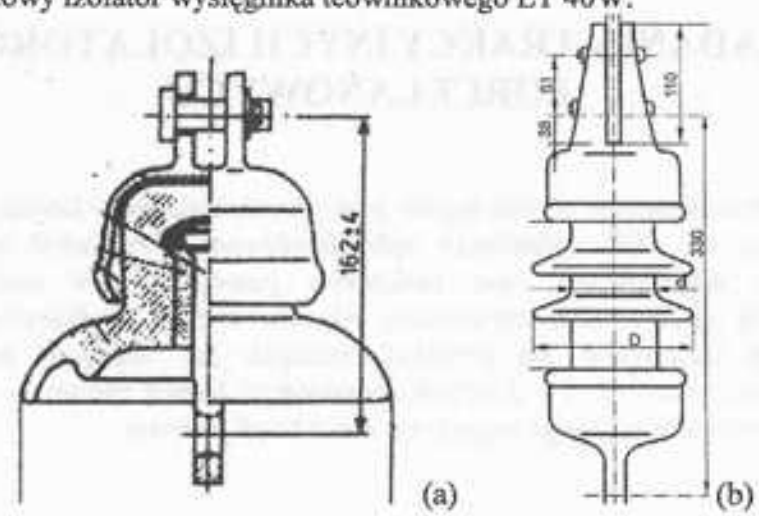
Na pracę izolatorów wpływ znaczny wpływ mają warunki środowiskowe, do których zaliczyć można czynniki klimatyczne oraz ilość i konduktywność zanieczyszczeń, a także naprężenia elektryczne i mechaniczne. Z danych na temat zabrudzeniowych warunków eksploatacji izolacji, udostępnionych przez Enea Szczecin na rok 1976 wynika, że na obszarowo podobnym do terenu działania Pomorskiej DOKP Szczecin występowały na ogół III i IV strefy zabrudzeniowe, określone normą PN-79/E-6303. Jednakże pamiętać należy iż stan środowiska naturalnego uległ w międzyczasie poprawie, zmieniły się także normy dotyczące ochrony środowiska jak i określające pomiary stanu środowiska.

W zasadzie wytyczne tej normy odnoszą się do sieci elektrycznych 50 Hz. Jednakże napięcie stałe 3 kV stosowane w trakcji jest szczególnie niekorzystne dla izolacji elektrycznej ponieważ procesy starzeniowe oraz korozyjne zachodzące przy tym rodzaju napięcia są intensywniejsze niż przy napięciu przemiennym [1-3]. Ponadto przy napięciu stałym akumulacja zanieczyszczeń na powierzchni izolatorów może być nawet dwukrotnie wyższa [4]. Poza środowiskowymi warunkami eksploatacji izolacji wysokonapięciowej ważnym czynnikiem jest mechaniczne obciążenie izolatorów, które w praktyce trakcyjnej na ogół nie jest większe od około 20 kN, to jest nieco mniej od przyjętych długotrwałych obciążeń izolatorów trakcyjnych wynoszących wg BN-79/9317-46, BN-82/9317-128, BN-79/9317-45 nie mniej niż 20 kN lub 25 kN zależnie od typu izolatora. Dla niektórych typów izolatorów trakcyjnych poza osiowymi siłami rozciągającymi mogą występować siły zginające (łamiące) jako skutek wystąpienia daleko posuniętej korozji w miejscach luźnego mocowania okuć, które pod dłuższym okresie eksploatacji mogą się stawać połączeniami sztywnymi. Wówczas wytrzymałość mechaniczna tego rodzaju połączeń może być większa od wytrzymałości usztywnionych izolatorów co na ogół jest powodem zerwania takich izolatorów.

[1] Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, tel. (091) 449 43 23, e-mail: szymon.banaszak@ps.pl

2. Obiekt badań i metodyka pomiarowa

Rysunek 1. przedstawia kołpakowy izolator odciągu nr katalogowy 7120 oraz nowszy, dwukloszowy pniowy izolator wysięgnika teownikowego LT 40W.



Rys. 1. Izolator trakcyjny odciągu starego typu (a) oraz izolator ukośnika rurowego nowego typu (b).

Biorąc pod uwagę wymienione wyżej główne czynniki starzeniowe izolatorów trakcyjnych przyjęto metodykę badań uwzględniającą skutki ich oddziaływania na izolatory. Pominięto niektóre wskaźniki jakościowe izolatorów określone przez normę PN-87/E-91112 jako mało przydatne do określenia stopnia zestarzenia tych izolatorów. W metodyce tej za najważniejsze do oceny stanu technicznego izolatorów trakcyjnych w czasie ich eksploatacji przyjęto następujące wielkości:

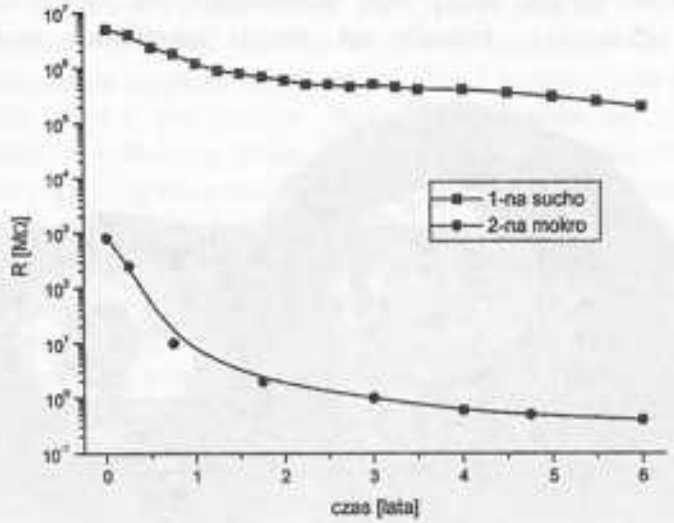
1. w zakresie właściwości elektrycznych:
   a) napięcie przeskoku 50 Hz na sucho (U_P) wg. PN- 92 /E-04060,
   b) napięcie przeskoku 50 Hz na mokro (U_{pm}) wg. PN-92 /E-04060,
   c) napięcie przeskoku przy udarze normalnym 1,2/50 μs (U_u) wg w/w normy,
   d) rezystancję powierzchniową dla izolatora suchego (R_S), po zmoczeniu wodą wodociągową i suszeniu w warunkach pokojowych przez 1 min. (R_m) oraz dla izolatora w warunkach roszenia wilgoci przy 40°C (R_w)
2. w zakresie właściwości mechanicznych :
   statyczna wytrzymałość na rozciąganie (R_r).

Badania w podanym wyżej zakresie przeprowadzono na izolatorach trakcyjnych zdemontowanych z wybranych miejsc trakcji po różnych okresach eksploatacji. Celem tych badań było określenie tempa zmian właściwości elektrycznych i mechanicznych podczas eksploatacji izolatorów trakcyjnych oraz prognoza niezawodności dalszej ich eksploatacji. Dodatkowo podjęto próbę określenia przyczyn nie wyjaśnionych uszkodzeń izolacji liniowej występujących szczególnie w ostatnim okresie.

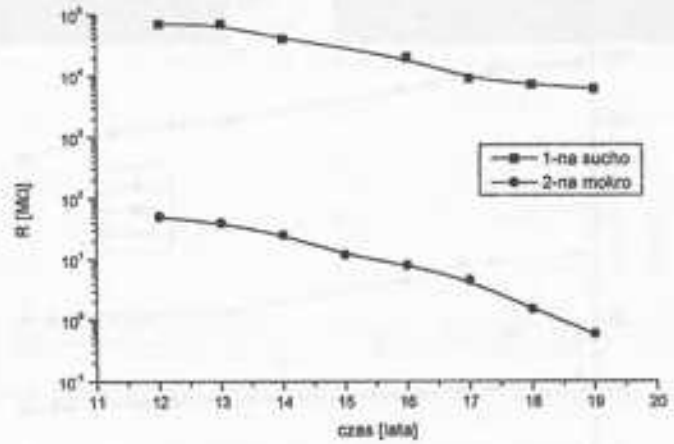
Na starym izolatorze odciągu ze zniszczonym kloszem i znacznymi ubytkami korozyjnymi na trzonku i mierzono w ciągu kilku godzin prąd upływu przy napięciu stałym 3 kV oraz wykonano zdjęcia kamerą termowizyjną.

3. Wyniki badań

Rysunek 2. i 3. przedstawia zmierzone wartości rezystancji na suchych izolatorach R_S (przy napięciu stałym 3 kV, w warunkach pokojowych), po zmoczeniu wodą wodociągową i osuszeniu w warunkach normalnych R_m oraz dla izolatorów w warunkach roszenia wilgoci w temperaturze 40°C - R_w. Różnice między wartościami pomierzonych rezystancji na sucho (R_s) oraz na mokro (R_m) osiągają od 4 do 5 rzędów wielkości.



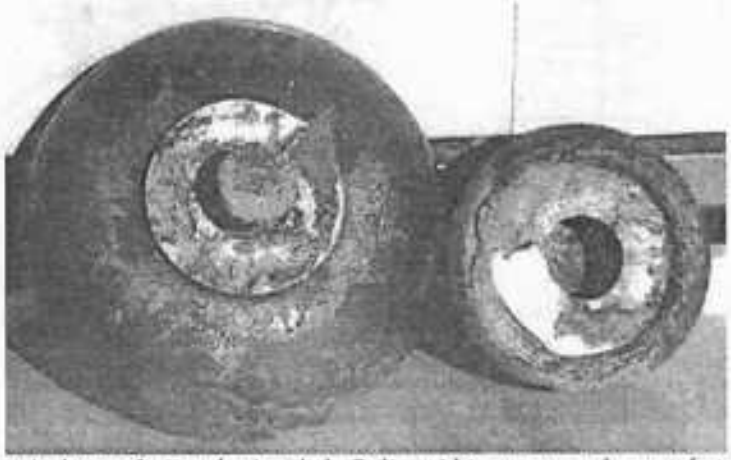
Rys. 2. Rezystancja powierzchniowa R w czasie eksploatacji izolatorów LT40 dwukloszowych (1- na sucho, 2- na mokro).



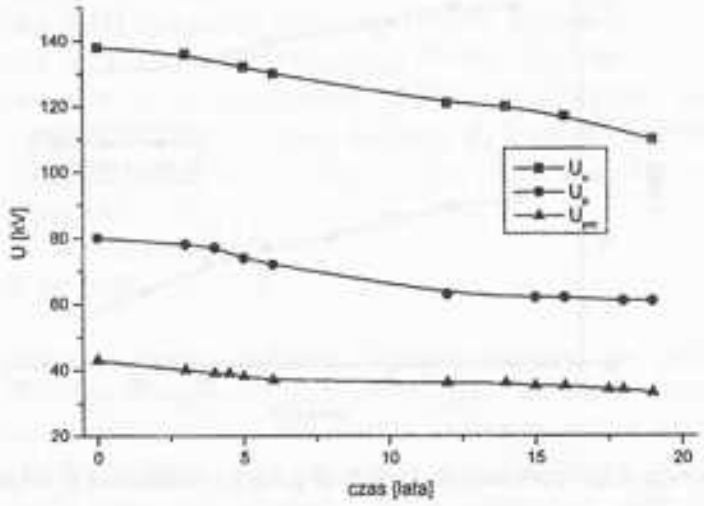
Rys. 3. Rezystancja powierzchniowa R w czasie eksploatacji izolatorów LT40 jednokloszowych.

Równocześnie obserwuje się wpływ czasu eksploatacji na wartość rezystancji powierzchniowej, która po dłuższym okresie eksploatacji może osiągać wartości poniżej 1MΩ. Tak małe wartości spowodowane są systematyczną akumulacją zabrudzeń co prowadzi do rozwoju wyładowań powierzchniowych podczas deszczu, we mgle, po wystąpieniu kondensacji. Wyładowania te przy nominalnym napięciu trakcji 3 kV_{DC} nie stanowią na ogół poważnego zagrożenia dla izolacji gdyż są zbyt krótkie aby doprowadzić

do przeskoku zabrudzeniowego. Jednak podczas znacznego zawilgocenia powierzchni izolatorów mogą występować długotrwałe, stabilne wyładowania powierzchniowe [5]. W resultacie temperatura izolatora może znacznie wzrosnąć. Na niektórych izolatorach typu LT40W (jednokloszowych) zauważalne są ślady wyładowań, szczególnie na wewnętrznej żebrowanej powierzchni izolatorów. Powstawały one wskutek gromadzenia się zabrudzeń na powierzchni chronionej przed bezpośrednim opadem deszczu. Na jednym z dostarczonych izolatorów tego typu, rozerwanym w czasie eksploatacji, stwierdzono obecność śladów spoiwa, które wypłynęło spod okucia. Pokrywa ono przełom pnia izolatora z wyjątkiem bardzo małej jego powierzchni na której nastąpiło ostateczne zerwanie izolatora (rys. 4) . Ponadto na innych izolatorach widoczne były ślady przegrzania szkliwa.



Rys. 4. Uszkodzony izolator z linii trakcyjnej koło Polic, widoczne szare plamy wskutek wycieku spoiwa siarkowego.

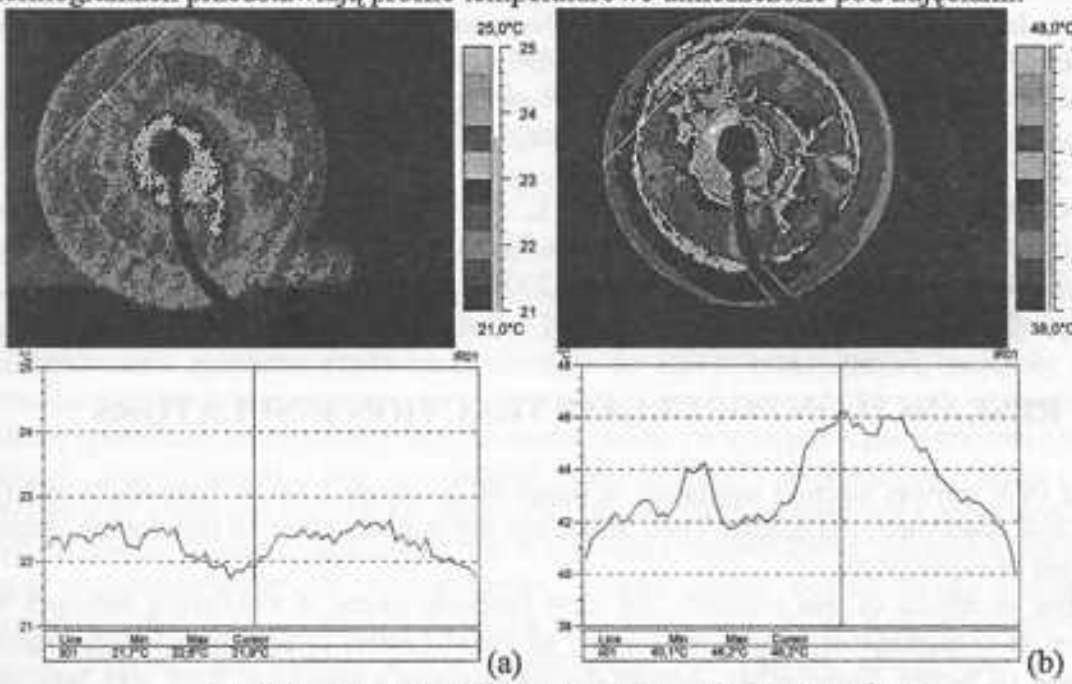


Rys. 5. Napięcie przeskoku U izolatorów LT40 (U_u - udarowe 1,2/50 μs, U_p - na sucho, U_{pm} - na mokro) w czasie eksploatacji.

Wyniki pomiarów napięć przeskoku na sucho (U_p), na mokro w warunkach sztucznego deszczu (U_{pm}) oraz przy udarach normalnych (U_u), pozwalają przypuszczać, że izolacja liniowa w czasie eksploatacji w różnych warunkach środowiskowych zachowuje znaczny zapas wytrzymałościowy (rys. 5).

Biorąc pod uwagę różnorodne warunki eksploatacji izolatorów średni spadek wytrzymałości izolacji trakcyjnej w ciągu roku wynosi około 1kV/rok. Przy czym nawet po 20 latach eksploatacji wartości tych napięć są większe od normatywnych. Właściwości mechaniczne są równie ważne dla trwałości izolacji jak właściwości elektryczne. W celu sprawdzenia wytrzymałość na zerwanie R_r wytypowaną reprezentatywną próbkę 16 izolatorów poddano próbom mechanicznym. Wytrzymałość na zerwanie 16 porcelanowych izolatorów liniowych różnych typów wynosiła od 32 do 86,5 kN . Wyniki tych prób należy uznać za zadawalające ponieważ jest to wartość na ogół większa od wymagań normatywnych dla nowych izolatorów trakcyjnych oraz sił naciągu trakcji.

Wykonane termogramy wykazały, że rozkład temperatury zmieniał się w czasie. Po kilku minutach od załączenia napięcia temperatura wokół trzonka była o 1°C wyższa od temperatury pozostałej części próbki (rys. 7a). Spowodowane to jest koncentryczną budową układu i większą gęstością prądu przy wewnętrznej elektrodzie. Jednakże po dwóch godzinach próby rozkład temperatury zmienił się. Wokół trzonka nadal obserwuje się najwyższą temperaturę 48°C jednakże bardzo wysoka temperatura 44°C w postaci cienkiego pierścienia panuje przy okuciu (rys. 7b). Jednocześnie widoczne są jeden szeroki i dwa cienkie kanały wyższej temperatury rozchodzące się promieniście od trzonka do okucia. Wzrost temperatury i jej nierównomierności wzdłuż linii prostych zaznaczonych na termogramach przedstawiają profile temperaturowe umieszczone pod zdjęciami.



Rys.6. Termogramy i profile temperaturowe uszkodzonego izolatora.

4. Wnioski

Wyniki badań właściwości elektrycznych i mechanicznych porcelanowych izolatorów trakcyjnych dowodzą, że ulegają one systematycznemu obniżeniu. Najbardziej prawdopodobnym powodem uszkodzeń tych izolatorów jest zerwanie okucia wskutek silnego nagrzewania przez wyładowania zabrudzeniowe i ubytki spoiwa siarkowego. Awariom tego rodzaju ulegają głównie kołpakowe izolatory trakcyjnych starszego typu Mimo zapisania w przepisach eksploatacji trakcji elektrycznej konieczności czyszczenia izolatorów, zalecenie to nie jest w praktyce realizowane z powodu braku technicznych

możliwości służb kolejowych do wykonywania takich czynności. Skutecznym sposobem ograniczenia ilości uszkodzeń trakcji spowodowanych awariami izolatorów jest sukcesywna ich wymiana na nowe pniowe izolatory dwukloszowe. W dalszej perspektywie korzystnie jest stosowanie izolatorów kompozytowych, które pozbawione są wad izolatorów porcelanowych, szczególnie w warunkach silnych zabrudzeń [6-8].

5. Literatura

1. Cherney E.A., *Cement growth failure of porcelain suspension insulators*. IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, August 1983, pp. 2765-2774;
2. Crabtree I.M., Mackey K.J., Kito K., naito K., Watanabe A., Irie T., *Studies on electrolytic corrosion of hardware of DC line insulators*. IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems March 1985, pp. 645-654;
3. Task Force 33.04.02 of Study Committee 33, *Failure of cap and pin insulators subjected to HVDC*. Electra No. 153, April 1994;
4. Wu D., Su Z., *The correction factor between DC and AC pollution levels: review and proposals*. 10th Int. Symp. On HV Engineering, Montreal 1997, pp. 253-256;
5. Chrzan K.L., *Skoncentrowane wyładowania elektryczne i strefy suche na zabrudzonej izolacji napowietrznej*. Wiadomości Elektrotechniczne, 2001, nr 11;
6. Subocz L., *Zmiany właściwości izolacyjnych porcelanowych izolatorów trakcyjnych podczas eksploatacji*. Konferencja Napowietrzna izolacja wysokonapięciowa w elektroenergetyce NIWE'97, Wrocław 1997, s. 89-93;
7. Banaszak S., Michalski J., *Właściwości elektryczne napełnianych nowych kompozytów epoksydowych*. VI Ogólnopolskie Sympozjum INŻYNIERIA WYSOKICH NAPIĘĆ IW-2002. Poznań-Kiekrz 2002, s. 10-13.
8. Chrzan K.L., Banaszak Sz., Subocz L. – Problemy eksploatacyjne porcelanowych izolatorów trakcyjnych. V Konferencja Naukowa Postępy w Elektrotechnologii. ISSN 0324-9441, Jamrozowa Polana, 8-10.09.2003 r., s.25-30.

RESEARCH ON PORCELAIN TRACTION INSULATORS

Most of PKP railway traction insulation is based on porcelain LT40W (one-shed) and LT40K and LT40R (two-shed) insulators. Their reliability depends on place of installation, period and conditions of exploitation.

According to results of this research, the most probable cause of insulator's damages is flashover in contaminated conditions leading to metal frames overheating which causes weakening of binder. Some other changes during insulator's operation were also noticed, but they have little influence on insulators performance

Piotr BEGIER[1]

PROGRAM POLSKIEGO TOWARZYSTWA PRZESYŁU I ROZDZIAŁUENERGII ELEKTRYCZNEJ „BEZPIECZNIE Z PRĄDEM"

Wśród celów statutowych powstałego w 1990 roku Stowarzyszenia wskazano także dotyczące rozwoju techniki, postępu technicznego i organizacyjnego. Po trzynastu latach działalności lista dokonań w tym obszarze jest całkiem długa. A że obcowanie z infrastrukturą elektroenergetyczną i korzystanie z energii elektrycznej wiąże się z zagrożeniem dla zdrowia, a czasem życia ludzi od kilku lat realizowany jest program „Bezpiecznie z prądem". W jego ramach powstały filmy edukacyjne, wydawnictwa tematyczne, odbyły się seminaria i szkolenia. Przeprowadzono ogólnopolski konkurs plastyczny dla dzieci. Częścią działalności w ramach tego programu są publikacje prasowe, audycje radiowe i telewizyjne. W działalność dotyczącą bezpiecznego korzystania z energii elektrycznej i odpowiedzialnego obchodzenia się z urządzeniami elektrycznymi wpisuje się także współpraca przy redagowaniu norm technicznych i instrukcji technologicznych.

WSTĘP

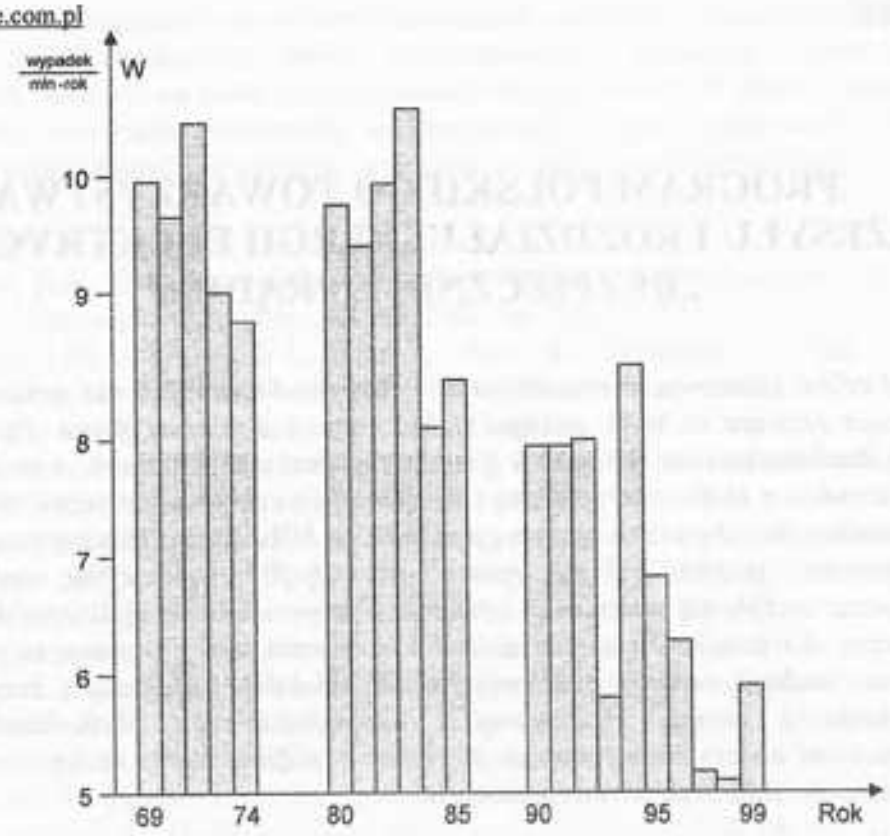
Z postępem technicznym i cywilizacyjnym nierozerwalnie związane jest negatywne zjawisko wypadków, w których ludzie doznają przejściowego lub trwałego uszczerbku na zdrowiu, a skrajnych przypadkach ponoszą śmierć. Przed ponad stu laty, wraz z rozpoczęciem wykorzystywania zjawiska prądu elektrycznego do celów praktycznych, pojawiły się nowe zagrożenia. Odnotowania wymaga, że wraz z rozwojem elektrotechniki rosła w społeczeństwie wiedza o zjawiskach elektrycznych oraz o zagrożeniach związanych z korzystaniem z instalacji i urządzeń elektrycznych. Na przestrzeni dziesięcioleci doskonalono także technikę, wprowadzając coraz bezpieczniejsze materiały i doskonalsze rozwiązania konstrukcyjne. Proces zmian, zarówno w sferze materialnej jak i mentalnej, spowodował, że mimo wzrostu ilości energii wykorzystywanej we współczesnym świecie, mimo powszechnego wzrostu liczby urządzeń elektrycznych, z których korzysta przeciętny członek ludzkiej społeczności, mimo wzrostu długości przewodów, którymi przesyłana jest energią elektryczna do urządzeń poprawiających warunki życia ludzi, liczba wypadków związanych z prądem elektrycznym maleje.

WYPADKI PORAŻEŃ PRĄDEM ELEKTRYCZNYM W POLSCE

Niełatwo z rozproszonych danych sporządzić statystyki wypadków porażeń prądem elektrycznym. Główny Urząd Statystyczny nie publikuje takich danych. Od lat zajmuje się tą statystyką dr inż. Lech Danielski z Politechniki Wrocławskiej. W swoim opracowaniu [4] zamieścił zestawienie, którego graficznym przedstawieniem jest zaprezentowany niżej wykres. Wskaźnik wypadków W określony jest jako liczba wypadków w roku odniesiona do 1 mln mieszkańców.

[1] Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej, ul. Wołyńska 22, 60-637 Poznań,

begier@ptpiree.com.pl



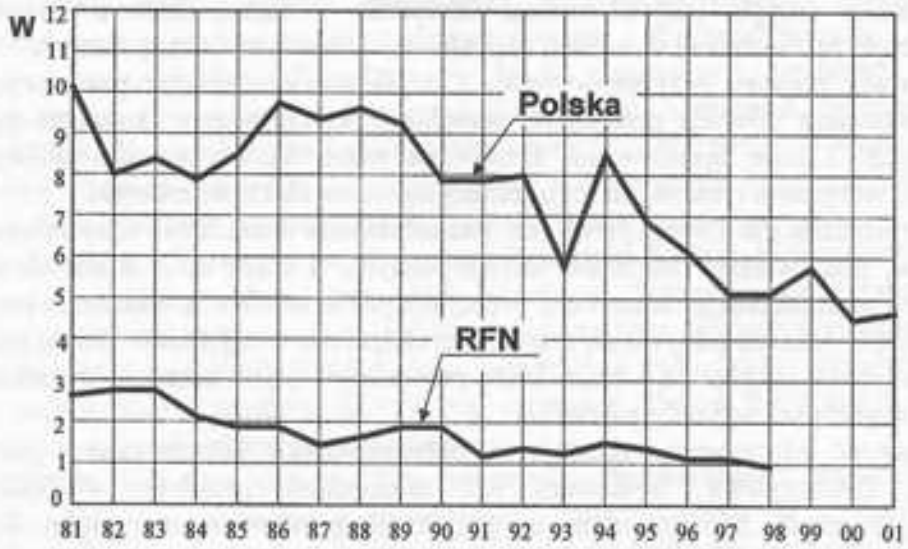
Rys.1. Wypadki śmiertelnych porażeń prądem elektrycznym w Polsce w latach 1969-1999

W celu przygotowania programu dalszego działania w obrębie zagadnienia „bezpieczeństwa z prądem", zmierzającego do zmniejszenia liczby wypadków, może być także przydatne porównanie wskaźnika śmiertelnych wypadków porażeń prądem elektrycznym w Polsce i w innych krajach.

Kraj	Rok	Wskaźnik W
1. Norwegia	**1978-80**	**1,0**
2. Holandia	**1978-80**	**1,1**
3. RPA	**1978-80**	**1,8**
4. Finlandia	**1978-80**	**1,9**
5. Szwecja	**1978-80**	**2,0**
6. Irlandia	**1978-80**	**2,3**
7. Niemcy (RFN)	**1978-80**	**2,6**
8. Szwajcaria	**1978-80**	**2,9**
9. Austria	**1978-80**	**3,4**
10.Nowa Zelandia	**1978-80**	**4,3**
11. Australia	**1978-80**	**5,4**
12. Polska	**1969-75**	**9,5**
	1980-85	**9,5**
	1990-95	**7,5**
	1996-99	**5,6**
	2000-01	**4,6**

Rys. 2. Wypadki porażeń prądem elektrycznym na świecie i w Polsce

By zobrazować zadania zmierzające do obniżenia liczby porażeń, za dr. inż. Lechem Danielskim [2],[3], przedstawiono jeszcze jeden wykres, w którym porównano sytuację w Polsce w latach 1981-2001 z sytuacją w Republice Federalnej Niemiec w latach 1981-1988.



Rys. 3. Wskaźniki śmiertelnych wypadków porażeń prądem elektrycznym w Polsce w latach 1981-2001 i Republiki Federalnej Niemiec w latach 1981-1988

POLSKIE TOWARZYSTWO PRZESYŁU I ROZDZIAŁU ENERGEII ELEKTRYCZNEJ

W roku 1990 grupa osób związana z zakładami energetycznymi zawiązała stowarzyszenie pod nazwą Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej. W ustanowionym statucie zapisano podstawowe cele, wśród nich także dotyczące rozwoju techniki, postępu technicznego i organizacyjnego w elektroenergetyce. W trakcie trzynastoletniej historii pięciokrotnie odbywały się Zgromadzenia Krajowe, na których podsumowywano dokonania, planowano działalność w następnych latach i formułowano zamierzenia. Organizacja okrzepła, jest znaczącym partnerem dla firm sektora energetycznego i instytucji życia publicznego. Wyróżnia się obszary tematyczne, w ramach których rozwiązywane są szczegółowe zadania. Tymi obszarami są:

- analiza aktów prawnych,
- public relations,
- restrukturyzacja elektroenergetyki,
- regulacja,
- rynek energii elektrycznej,
- dystrybucja energii elektrycznej,
- współpraca z organizacjami branżowymi,
- systemy informatyczne,
- bezpieczeństwo i higiena pracy.

Pracami Towarzystwa kieruje Zarząd. Swą działalność Towarzystwo prowadzi głównie poprzez prace w komisjach problemowych, zespołach roboczych stałych i doraźnie powoływanych zespołach zadaniowych. Bardzo istotnym organem Stowarzyszenia jest Rada Towarzystwa, stanowiąca ciało doradcze Zarządu. Jej skład stanowią szefowie Zakładów Energetycznych. Wiele decyzji podejmowanych w Polskim Towarzystwie Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej istotnych dla podsektora dystrybucji energii elektrycznej jest podejmowanych w ramach Rady.

Na dorobek Towarzystwa składają się dokonania w różnych płaszczyznach działalności dystrybucyjnej. Spopularyzowano linie napowietrzne izolowane. Opracowano technologicznie

prace pod napięciem, zarówno w sieciach niskich, jak i średnich napięć, które wdrożono w spółkach dystrybucyjnych. Wydano ponad 120 pozycji albumów typizacyjnych, unifikujących stosowane rozwiązania przy budowie i modernizacjach infrastruktury elektroenergetycznej. Poprawa jakości energii, jakości obsługi odbiorców i zmniejszanie awaryjności sieci jest łatwiejsze dzięki prowadzonej w ramach działalności Towarzystwa bazy danych.

Towarzystwo, poprzez przygotowywanie i uzyskiwanie ekspertyz prawnych i współpracę przy przygotowaniu nowych przepisów, wspomaga kształtowanie otoczenia przedsiębiorstw energetycznych. Liczne opracowania firmowane przez Stowarzyszenie wzbogaciły wiedzę niezbędną do wdrażania rynkowych reguł funkcjonowania elektroenergetyki.

Charakterystyczna dla Towarzystwa jest wszechstronna działalność szkoleniowa, skierowana do członków, pracowników zakładów energetycznych, a także osób z innych firm. Co roku organizowane są konferencje tematyczne i specjalistyczne seminaria. Szkolenia prowadzą uznani specjaliści, część szkoleń odbywa się z udziałem ekspertów z zagranicy. Wśród organizowanych przez Towarzystwo szkoleń są i takie, które prowadzone są na zasadzie warsztatów. Niekiedy szkoleniom towarzyszą wyjazdy zagranicę.

Na działalność informacyjną składają się przedsięwzięcia skorelowane z głównymi celami statutowymi Towarzystwa. Wydawany jest miesięcznik „Biuletyn PTPiREE – Klient, Dystrybucja, Przesył". Monitorowane są publikacje prasowe o energetyce. Prowadzone są badania opinii publicznej dotyczące postrzegania przedsiębiorstw elektroenergetycznych. Wydawane są okazjonalne wydawnictwa upowszechniające wiedzę o branży, o przedsiębiorstwach energetycznych, o Towarzystwie i jego działaniach. Na konferencjach prasowych prezentowane są dziennikarzom zamierzenia przedsiębiorstw energetycznych i wyniki ich działalności. Za pośrednictwem artykułów w dziennikach i czasopismach oraz audycji w radio i telewizji przekazywane są informacje interesujące społeczeństwo.

PROGRAM „BEZPIECZNIE Z PRĄDEM"

Najczęstszą przyczyną porażeń jest ludzka lekkomyślność i brak znajomości podstawowych zasad bezpieczeństwa. Zagrożenia są spowodowane niewłaściwym stanem instalacji elektrycznych w Polsce oraz niebezpieczeństwem związanym z niewłaściwą ich eksploatacją, z przeprowadzaniem remontów i wykonywaniem nowych instalacji przez osoby nie posiadające niezbędnej wiedzy fachowej, często na zamówienie niezamożnych inwestorów. Odnotowywane są liczne przypadki porażeń prądem elektrycznym podczas napraw sprzętu gospodarstwa domowego przez niefachowców, bardzo często nie dysponujących odpowiednimi, a niezbędnymi, narzędziami. Inną przyczyną nieszczęśliwych wypadków są kradzieże prądu lub elementów infrastruktury energetycznej, które skutkują nie tylko poważnymi stratami finansowymi Zakładów Energetycznych, ale często wiążą się z przypadkami śmierci lub utraty zdrowia ludzi.

Polskie zakłady energetyczne skupione w PTPiREE od wielu lat prowadzą działania mające na celu przekazanie odbiorcom energii wiedzy o bezpiecznym korzystaniu z energii elektrycznej i urządzeń nią zasilanych [1]. W ubiegłych latach ogólnopolska akcja edukacyjna skierowana była głównie do dzieci w wieku szkolnym. W ramach tego programu wyprodukowano m.in. filmy edukacyjne i zorganizowano ogólnopolski konkurs plastyczny. Przed kilku laty rozpoczęto edukowanie dzieci i młodzieży. Zachowanie dzieci często wynika z obserwacji otoczenia i dlatego akcja edukacyjna jest również adresowana do osób dorosłych.

W ramach akcji założone zostały specjalne podstrony poświęcone tej tematyce www.ptpiree.com.pl/bezpiecz. Aby zyskać dostęp do kompendium wiedzy o bezpiecznym korzystaniu z energii elektrycznej wystarczy – dysponując dostępem do Internetu - wybrać adres www.ptpiree.com.pl i uruchomić zakładkę *Bezpieczeństwo*. W serwisie znalazły się m.in.: zasady bezpieczeństwa i profilaktyki (dział „Jak bezpiecznie korzystać z energii elektrycznej i urządzeń elektrycznych?"), informacje o zagrożeniach, jakie niesie z sobą niewłaściwe korzystanie z energii elektrycznej (dział „Kiedy prąd jest niebezpieczny?") oraz skierowane do

rodziców porady związane z przekazywaniem dzieciom od najmłodszych lat odpowiedniej wiedzy i nawyków (dział „Naucz tego swoje dziecko").

Oprócz wiadomości związanych z profilaktyką i wskazówek dotyczących właściwego i bezpiecznego korzystania z energii elektrycznej, w serwisie zawarto również informacje dotyczące: udzielania pierwszej pomocy ofiarom porażeń („Pierwsza pomoc. Liczy się każda minuta"), opinie specjalistów („Doradztwo – forum ekspertów"), wydarzeń związanych z realizacją programu *Bezpiecznie z prądem* („Konferencje, seminaria, briefiengi") i oferty współpracy PTPiREE z podmiotami zainteresowanymi uczestnictwem w realizacji programu. Serwis zawiera również odsyłacze do innych stron poświęconych bezpieczeństwu, archiwum prasowe oraz dział opisujący programy edukacyjne zakładów energetycznych.

Staraniem Polskiego Towarzystwa Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej zrealizowano adresowane do młodzieży dwa filmy pod wspólnym tytułem „Niebezpieczne zabawy". Przedstawiają pożądane zachowania w pobliżu infrastruktury elektroenergetycznej i pokazują zagrożenia. W jednych z tych filmów, jako ostrzeżenie była także sposobność pokazania skutków wypadku, który, niestety, zdarzył się naprawdę. Ponad 2000 kopii filmu znalazło nabywców. Doczekały się także emisji w telewizji.

Dla dzieci natomiast przygotowano film rysunkowy „Bezpieczniej z prądem". Jego forma i środki wyrazu były konsultowane z pedagogami i psychologami. W atrakcyjny dla dzieci sposób, może być wykorzystany do ostrzeżenia przed czyhającymi na dzieci „elektrycznymi" niebezpieczeństwami. Najczęściej nabywcami kopii filmu były zakłady energetyczne, które przekazywały je placówkom wychowawczym i szkolnym. W ten sposób rozprowadzono ok. 3000 kopii.

Dla młodzieży szkolnej zorganizowano ogólnopolski konkurs plastyczny. Okazało się to bardzo trafionym pomysłem. W sposób zabawowy, przygotowując prace konkursowe, uczniowie szkolni dowiadywali się o pojęciach z zakresy energetyki. Dla laureatów ogromnym przeżyciem była impreza finałowa w Teatrze „Guliwer" w Warszawie.

W ramach programu *Bezpiecznie z prądem*, pod hasłem „Kieruj się rozsądkiem i zasadami bezpieczeństwa, kiedy korzystasz z energii elektrycznej" nakładem Polskiego Towarzystwa Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej w listopadzie br. wydane zostały kalendarz i specjalna broszura informacyjna. Wydawnictwa są eksponowane w Biurach Obsługi Klientów zakładów energetycznych oraz w zakładach opieki zdrowotnej, urzędach miast, gmin i urzędach użyteczności publicznej w całej Polsce.

Kalendarz, oprócz części użytkowej, zawiera również podstawowe informacje dotyczące zasad bezpiecznego korzystania z energii elektrycznej. Te same, lecz o znacznie rozszerzonej treści, zamieszczono w broszurze. Opisano w niej m.in. podstawowe zasady prawidłowego i bezpiecznego projektowania, wykonywania oraz eksploatowania instalacji elektrycznych w budynkach mieszkalnych, zasady bezpiecznego korzystania z domowych urządzeń elektrycznych, zawarto informacje o zagrożeniach wynikających z niewłaściwego obchodzenia się z infrastrukturą energetyczną oraz zasady udzielania pierwszej pomocy w przypadku porażenia.

Dużym zainteresowaniem cieszyły się seminaria naukowo - techniczne adresowane do projektantów, wykonawców instalacji elektrycznych oraz przedstawicieli samorządów lokalnych administrujących komunalnymi zasobami mieszkaniowymi. Seminaria pt. „Jak prawidłowo projektować, wykonywać i eksploatować instalacje elektryczne" odbyły się w ostatnim czasie w Poznaniu i Katowicach. W obradach uczestniczyli przedstawiciele świata nauki, członkowie SEP, zakładów energetycznych, spółdzielni mieszkaniowych oraz zarządcy nieruchomości, projektanci i wykonawcy instalacji elektrycznych. Na spotkaniach dyskutowano m. in. o przyczynach, skutkach, a przede wszystkim o sposobach zapobiegania porażeniom. Planuje się zorganizowanie takich seminariów także w innych rejonach kraju.

ZAKOŃCZENIE

Trzeba wyraźnie podkreślić, że każdy wypadek porażenia prądem elektrycznym, podobnie jak każdy wypadek w ogóle, jest wypadkiem zbędnym i trzeba robić wszystko, by liczbę ich zmniejszyć. Konieczne są zmiany w mentalności społeczeństwa. Zacząć trzeba od edukacji na poziomie przedszkola. Niezbędne są zmiany w prawie i poprawa sytuacji materialnej społeczeństwa. Potrzeba doskonalenia instalacji i urządzeń technicznych. Choć modernizacje kosztują, jeżeli weźmie się pod uwagę, że można komuś ocalić życie, to wszystkie rozliczenia, rachunki i kwoty przestają mieć znaczenie.

Dlatego prowadzone przez zakłady energetyczne w ramach Polskiego Towarzystwa Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej działania edukacyjne będą kontynuowane. Wszystkim, którzy będą je w jakikolwiek sposób wspierać satysfakcją będzie zwiększanie szansy na uniknięcie kolejnych przypadków porażeń prądem elektrycznym.

LITERATURA

1. Begier P., Działania edukacyjne i informacyjne Zakładów Energetycznych zrzeszonych w PTPiREE, materiały seminaryjne „Bezpiecznie z prądem", Katowice, 9.12.2003,
2. Danielski L., Analiza wypadków porażeń prądem elektrycznym jako podstawa oceny środków ochrony przeciwporażeniowej. Konferencja Naukowo-Techniczna „Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektrycznych o napięciu do 1 kV", Łódź 1987,
3. Danielski L., Śmiertelne wypadki porażeń prądem elektrycznym w Polsce w latach 1990-1995. Materiały XI Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Bezpieczeństwo Elektryczne", Wrocław 1997,
4. Danielski L., Wypadki porażeń prądem elektrycznym w Polsce w latach 1996-1999, materiał niepublikowany, udostępniony przez autora, 2004

"SAFELY WITH ELECTRIC CURRENT" AN EDUCATIONAL PROGRAM OF THE POLISH POWER TRANSMISSION AND DISTRIBUTION ASSOCIATION

Among statutory goals of the Association established in 1990 there are also those related to technology and organizational development. After 13 years of activity there is a long list of achievements in this area. Since few years the program "Safely with Electric Current" has been realized. As usage of power infrastructure and electric energy is sometimes related to threat for human health and life. The program consists of such products as: educational films, prints, seminars and training courses on the issue; a national artistic competition for children was organized last year. Many press publications as well as radio and media programs have been generated. Activity of the Association in the field of cooperation in elaboration of technical regulations is also closely related to the educational program.

Jan BURSA[1]
Maciej KRUPCZYŃSKI[1]

WPŁYW TLENKÓW AZOTU O DUŻYM STĘŻENIU NA WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRYCZNE ELASTOMERÓW SILIKONOWYCH

W pracy przedstawiono wyniki badania odporności tworzywa silikonowego na działanie stężonych tlenków azotu. Opisano metodykę badań, a w niej materiał badawczy i technologię przygotowania tego materiału oraz sposób jego starzenia. Efekty starzenia przedstawiono na wykresach zależności wybranych wielkości od czasu trwania starzenia. Pracę kończą negatywne wnioski co do możliwości pracy badanego materiału w atmosferze tlenków azotu.

1. WSTĘP

Zwiększenie mocy przesyłowej, przy jednoczesnych minimalnych stratach, wiąże się ze zwiększeniem napięcia przesyłowego. Stosowanie coraz wyższych napięć w liniach przesyłowych, miniaturyzacja urządzeń, spowodowały konieczność znalezienia nowych układów i materiałów elektroizolacyjnych, spełniających coraz wyższe wymagania w zakresie niezawodności, trwałości, odporności na czynniki zewnętrzne, a przy tym takich, by ich produkcja i stosowanie było ekonomicznie uzasadnione. Rezultatem tych poszukiwań jest coraz szersze stosowanie różnego rodzaju materiałów syntetycznych (polimerowych) w miejsce klasycznych materiałów elektroizolacyjnych (np. porcelany).

Każdy materiał izolacyjny, po dłuższym okresie użytkowania w różnych warunkach, zmienia swoje właściwości elektroizolacyjne na skutek oddziaływania szeregu czynników klimatycznych, zabrudzeniowych, elektrycznych i mechanicznych. Tworzywa sztuczne wykazują dużą wrażliwość na te czynniki i nawet najlepsze z nich ulegają systematycznym zmianom destrukcyjnym.

Poszukuje się więc materiałów elektroizolacyjnych o nowych, lepszych właściwościach odpowiadających najbardziej rygorystycznym wymaganiom technicznym, także ekologicznym, a jednocześnie w miarę możliwości najmniej kosztownych. Ze względu na właściwości, przede wszystkim hydrofobowość powierzchni oraz zdolność jej regeneracji, co umożliwia pracę w warunkach dużego zabrudzenia, jako najbardziej przyszłościowe tworzywa sztuczne do zastosowań m.in. w napowietrznej izolacji elektrycznej, postrzegane są elastomery silikonowe. Niestety i one podatne są na działanie czynników atmosferycznych, szczególnie promieniowania ultrafioletowego, a także mieszaniny gazów utleniających – ozonu i tlenków azotu [1].

Niezwykle ważne w tej sytuacji są badania wpływu działania czynników zewnętrznych na materiały izolacyjne. Umożliwiają one określenie przydatności materiałów do pracy w różnych warunkach środowiskowych, oraz czas, podczas którego zachowają właściwości pozwalające na ich dalszą eksploatację bez obaw o zniszczenie.

Poznanie wpływu związków azotu na elastomery silikonowe jest tematem niniejszej pracy.

[1] Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, e-mail: bursa@ps.pl

2. OPIS BADAŃ

Jako materiał badawczy wykorzystano dwuskładnikowy kauczuk silikonowy sieciujący bez ogrzewania Gumosil WW, wyprodukowany przez Zakład Chemiczny „Silikony Polskie" Sp. z o.o. w Nowej Sarzynie.

Gumosil WW jest elastomerem (kauczukiem) silikonowym w formie lepkiej cieczy, który ulega sieciowaniu do postaci gumy silikonowej w temperaturze pokojowej, pod wpływem ciekłego katalizatora 60 R. Jest przeznaczony do wyrobu bardzo elastycznych form, prototypów i elementów do sprawdzania wycieków i korozyjności, modeli, dekoracji itp.

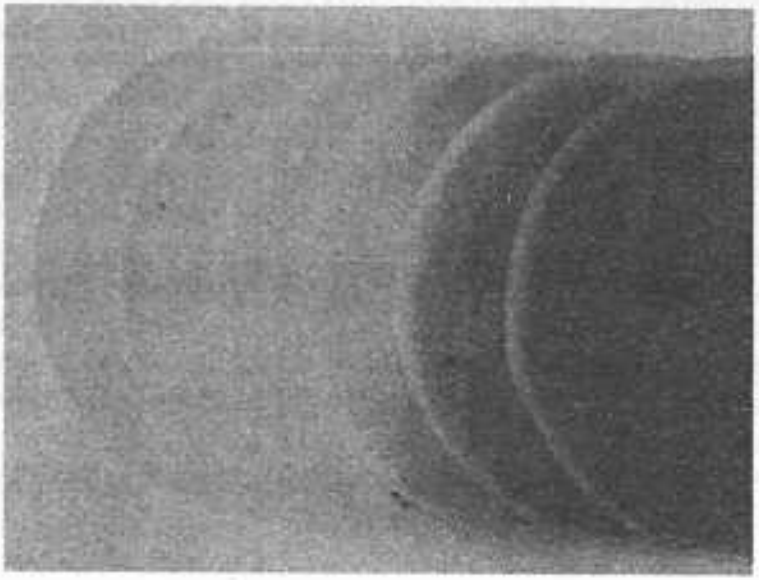
Właściwości mechaniczne po utwardzeniu:

– pomiary wykonane po upływie 48 godzin od utwardzenia w temperaturze 25 °C i przy wilgotności względnej wynoszącej około 50 %. Badania na próbkach o grubości 6 mm: twardość – ok. 30 °Sh (Shore'a). Badania na próbkach o grubości 2 mm: wytrzymałość na rozciąganie – ok. 4,0 MPa, wydłużenie względne przy zerwaniu – ok. 400 %. Gumosil WW i katalizator 60 R powinny być przechowywane w oryginalnie zamkniętych opakowaniach w temperaturze poniżej 30 °C i muszą być zużyte w całości po ich otwarciu. Przed użyciem Gumosil WW należy dokładnie wymieszać, by usunąć efekt sedymentacji [3]. W celu ułatwienia procesu wiązania kauczuku z katalizatorem, dodano do niego toluenu w stosunku objętościowym: jedna część oryginalnego katalizatora na cztery części toluenu. Wykonane zostały kołowe próbki o średnicy 108 ÷ 118 mm oraz grubości 2,4 ÷ 3,1 mm.

Do badania wykorzystano szczelną komorę. Umieszczono w niej dwa szklane naczynia wypełnione kwasem azotowym HNO_3 o stężeniu 35 ÷ 38 % w ilości ok. 5–6 dm^3 co dało stężenie tlenków azotu w komorze zawierające się w granicach 3 ÷ 60 mg/m^3.

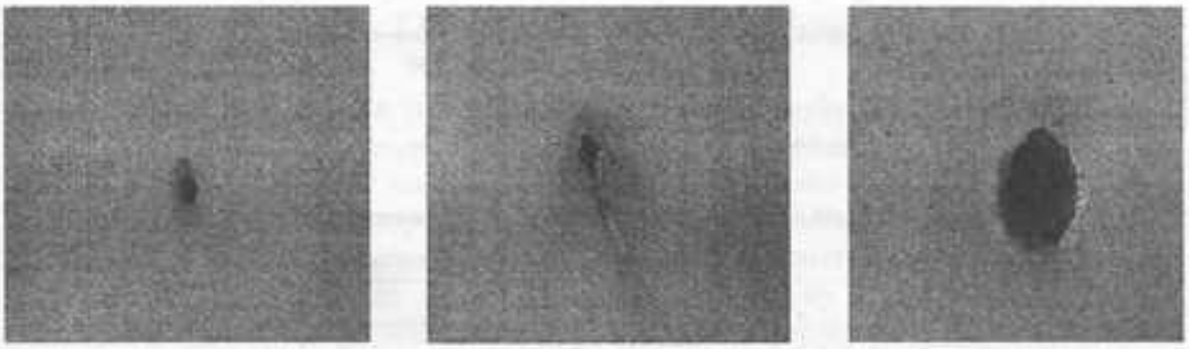
3. REZULTATY I PODSUMOWANIE

Badania trwały 35 dni od rozpoczęcia starzenia [2]. Po tym czasie materiał stał się miękki i podniesienie w całości próbki było niemożliwe, elastomer rozrywał się i w końcu zyskał konsystencję smaru. Narażanie związkami azotu, oprócz zmian właściwości elektrycznych, objawiało się zmianą barwy. Początkowo mlecznobiały elastomer po 35 dniach stał się brązowo-żółty (rys 1). Co ciekawe, nawet zdegradowany, miękki materiał, który utracił w czasie starzenia właściwości mechaniczne, zachował hydrofobowość.



Rys. 1. Zmiana barw próbek w czasie starzenia (z lewej – badanie wstępne)

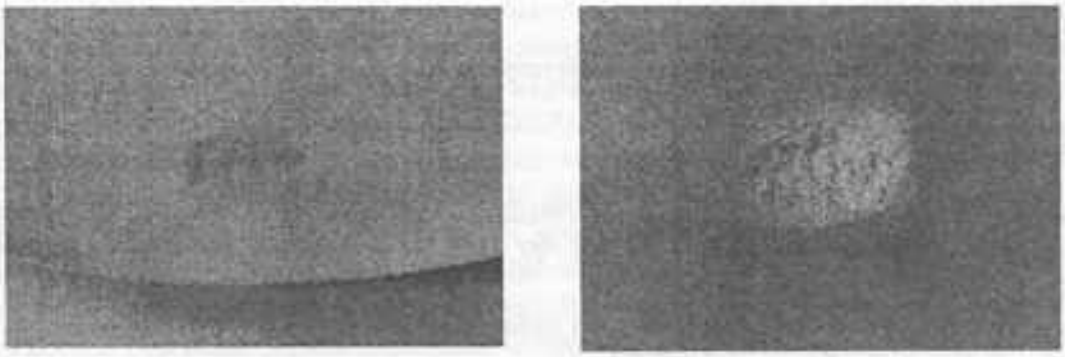
Degradacja nastąpiła na poziomie struktury chemicznej elastomeru, doszło prawdopodobnie do rozerwania wiązań, a także do rozpuszczenia części materiału. Pomiary właściwości tak zniszczonego silikonu były niemożliwe. Próbki poddane działaniu tlenków azotu o wysokim stężeniu utraciły właściwości mechaniczne. Przykładem utraty sprężystości materiału może być kanał przewodzący, powstały po badaniu wytrzymałości elektrycznej, która spadła w trakcie badania z wartości 12 kV/mm do poziomu 4 kV/mm (rys. 2).



a) b) c)

Rys. 2. Zdjęcia kanału po przebiciu wykonane po badaniu wytrzymałości elektrycznej próbek (powiększenie 1 : 1) przed starzeniem (a) i starzonych 8 (b) i 14 (c) dni

Przykładem utraty właściwości elektrycznych badanego materiału może być ślad po badaniu odporności na działanie łuku elektrycznego, która spadła ze 160 s do wartości 90 s (rys. 3).

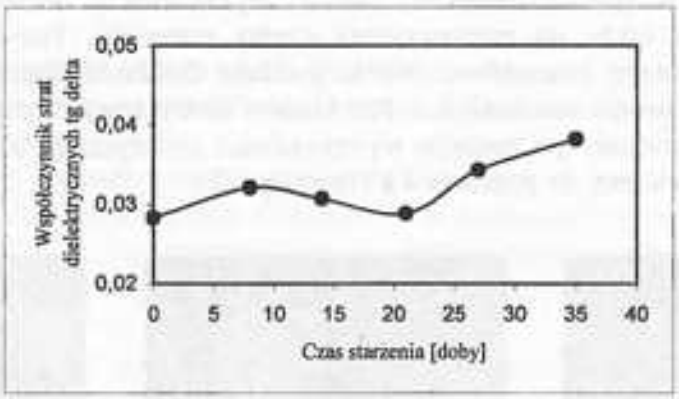


a) b)

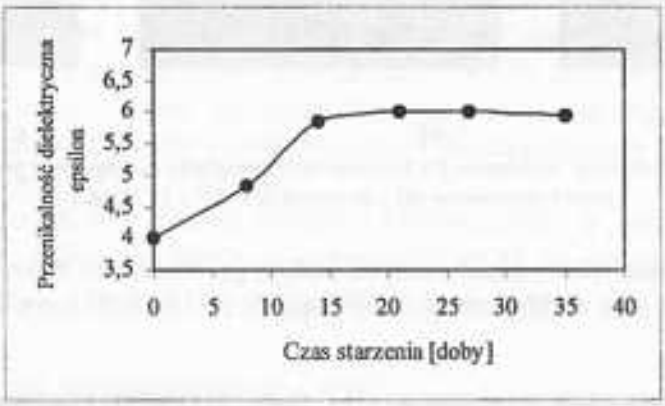
Rys. 3. Zdjęcia śladu łuku elektrycznego wykonane po badaniu odporności na łuk elektryczny (powiększenie 1 : 1) próbek przed starzeniem (a) i starzonej 21 dni (b)

Stratność dielektryczna (rys. 4) oraz przenikalność dielektryczna (rys. 5) charakteryzowały się nieregularnym przebiegiem. Zaobserwowano wahania tych wielkości. Stratność pogorszyła się w niewielkim stopniu, przenikalność nieznacznie wzrosła. Obydwa te pomiary nie odzwierciedlają rzeczywistego stanu materiału, ponieważ w rzeczywistości tlenki stężonego kwasu azotowego powodują postępującą degradację chemiczną materiału aż do całkowitego jego zniszczenia.

Przedstawione badania wyraźnie świadczą o bardzo dużym, niszczącym wpływie związków azotu na tworzywa silikonowe mimo, że użytym czynnikiem starzącym były tlenki azotu o bardzo dużym stężeniu, a materiał badawczy był zwykłym, niemodyfikowanym silikonem. Niniejsza praca sygnalizuje konieczność badania wpływu związków azotu na izolację silikonową, jeśli w miejscu pracy izolacji można spodziewać się obecności takiego czynnika starzącego.



Rys. 4. Zależność stratności dielektrycznej od czasu starzenia tlenkami azotu.



Rys. 5. Zależność przenikalności dielektrycznej od czasu starzenia tlenkami azotu.

4. LITERATURA

[1] Bursa J., *UV Radiation effect on electroinsulating silicone coatings*, 11th International Symposium on High Voltage Engineering ISH '99, 23 ÷ 27. 08 1999, Londyn, Wielka Brytania, no. 4.139.

[2] Krupczyński M., *Wpływ związków azotu na izolację silikonową*, praca dyplomowa magisterska, Politechnika Szczecińska 2002.

[3] *Silikonowe kauczuki dwuskładnikowe*, materiały producenta, Zakład Chemiczny „Silikony Polskie" Sp. z o.o. w Nowej Sarzynie.

INFLUENCE OF HIGH CONCENTRATION NITROGREN OXIDES ON PROPERTIES OF ELECTRIC SILICONE ELASTOMERS

The paper presents the results of testing the resistance of silicone synthetic material to concentrated nitrogen oxides. There have been described the testing methods, testing materials and sample preparation technology as well as the ageing methods applied. The effects of ageing process have been presented in form of graphic charts, representing the relationships between the selected parameters and ageing time. Finally, the paper reveals the negative conclusions on the tested material applicability to operate in conditions of nitrogen oxide atmosphere.

Edward CADLER[1]

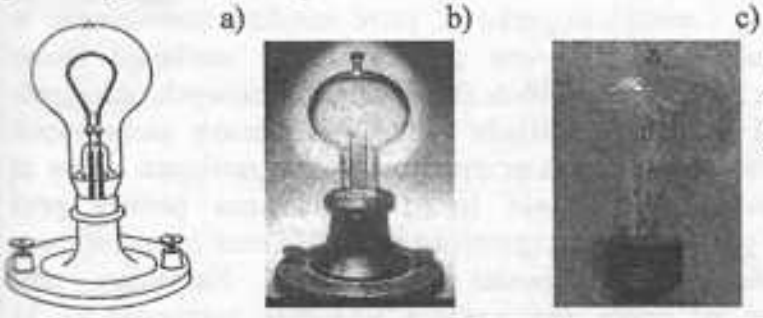
PRAKTYCZNE ASPEKTY POPRAWY PARAMETRÓW JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W OBWODACH OŚWIETLENIA ZEWNĘTRZNEGO

Na podstawie wykonanych pomiarów na oprawach oświetleniowych w warunkach laboratoryjnych oraz oprawach pracujących w warunkach sieciowych, autor referatu podjął się próby wskazania praktycznej możliwości poprawy parametrów jakości energii elektrycznej w obwodach oświetlenia zewnętrznego. Mając na uwadze rosnące wymagania klientów, w zakresie jakości energii elektrycznej, należałoby przeanalizować zależności występujące między nimi. Szczególnie w obwodach, gdzie relacja obciążenia odbiornikami nieliniowymi (energooszczędne oprawy oświetleniowe) do pozostałej części obciążenia jest znacząca (wspólne sieci).

1. WSTĘP

Źródła światła mają bogatą i długą historię. Przez wiele tysiącleci rozwój źródeł światła opierał się na wykorzystaniu tego samego zjawiska fizycznego-płomienia. Od pierwszego łuczywa, poprzez najróżniejsze konstrukcje lamp z knotami lub z modyfikacjami palników, przy wykorzystaniu różnych materiałów konstrukcyjnych oraz materiałów służących do spalania źródła światła udoskonalały się. Pierwsze odkrycia i wynalazki z dziedziny elektryczności w XIX w. umożliwiły rozwiązanie zagadnienia oświetlenia na zupełnie nowej zasadzie działania, z wykorzystaniem prądu elektrycznego. Ze względu na sposób powstawania światła, źródła elektryczne można podzielić najogólniej na źródła wyładowcze i żarowe. Iskrę elektryczną, jako krótkotrwałe źródło światła, obserwowano już w wieku XVIII. W połowie XIX w. francuski fizyk L. Foucault, stosując rozsuwane twarde elektrody węglowe, uzyskał długotrwałe palenie się łuku elektrycznego. Taka lampa łukowa wymagała nieustannej ręcznej regulacji odstępu elektrod. Paweł Nikołajewicz Jabłoczkow zbudował w 1875 roku lampę łukową z równoległymi elektrodami węglowymi oddzielonymi wkładką koalinową (znana pod nazwą świecy Jabłoczkowa). Francišek Křižik opracował lampę łukową z samoczynną (elektromagnetyczną) regulacją odstępu elektrod, umożliwiającą wielokrotne zapalanie i gaszenie. Patent niemiecki na omawianą lampę przyznany został w 1880 roku. Za twórcę praktycznego oświetlenia żarowego jest uznawany Thomas Alva Edison. Datę 1 października 1879 roku uznaje się za dzień narodzin żarówki do praktycznego wykorzystania (ze skrętką z włókna węglowego, a dokładniej z zwęglonego włókna drzewa bambusowego) [1]. W ciągu dwóch miesięcy jego laboratorium w Menlo Parku wyprodukowało kilkaset żarówek do oświetlenia parowca Columbia i podjęło produkcję na dużą skalę.

a) b) c)



Rys. 1. Żarówka Edisona [1, 2]:
a) budowa,
b) widok,
c) z pierwszego dwudziestolecia XX wieku

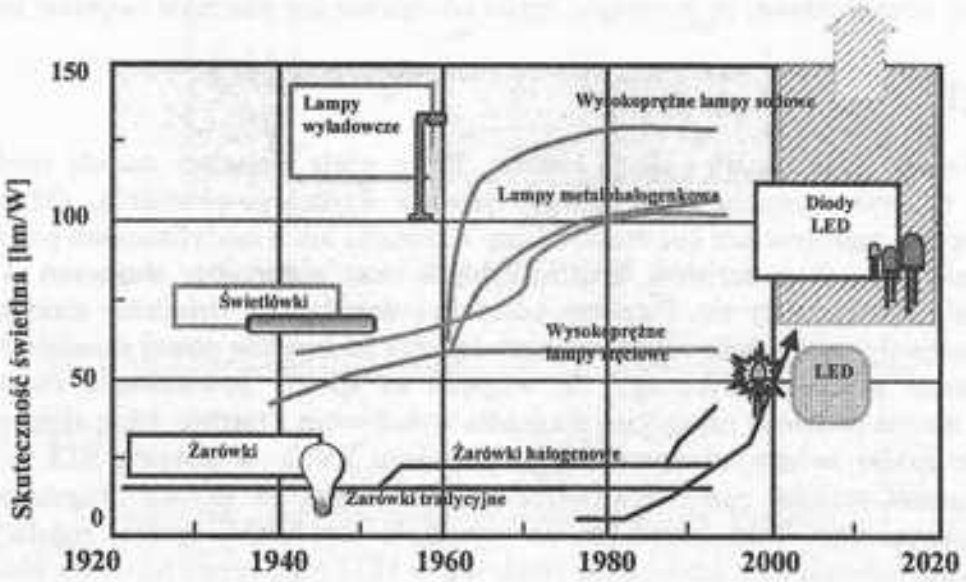
[1] Grupa Energetyczna ENEA S.A. Oddział w Gorzowie Wlkp., 66-400 Gorzów Wlkp., ul. Sikorskiego 37, tel. (095) 7689302, e-mail: edward.cadler@choszczno.gorzow.enea.pl

Światło jest ważnym czynnikiem wpływającym na wrażenia wzrokowe i zachowanie ludzi przebywających w pomieszczeniach. Dobrze dobrane może przystosowywać miejsce pracy, wprowadzać odpowiedni nastrój lub podkreślać efektywność wnętrza. Systemy sztucznego oświetlenia zewnętrznego pełnią kilka funkcji związanych z optymalnym kształtowaniem środowiska świetlnego.

2. RODZAJE ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA

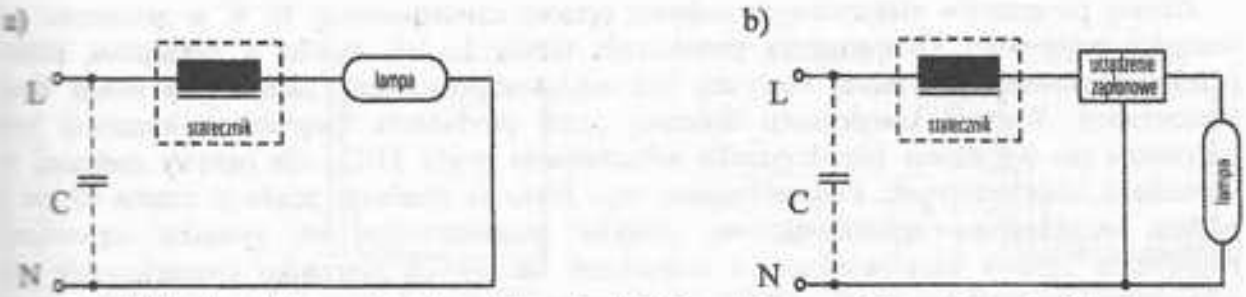
Do oświetlenia zewnętrznego i wewnętrznego ogólnego przeznaczenia najczęściej stosuje się następujące źródła światła:
- lampy żarowe (żarówki tradycyjne ogólnego przeznaczenia),
- lampy halogenowe,
- lampy fluorescencyjne,
- świetlówki kompaktowe,
- lampy wyładowcze o dużej intensywności.

Rysunek 2 obrazuje rozwój skuteczności świetlnej w różnych lampach w okresie stu lat.



Rys. 2. Historia rozwoju źródeł światła [3]

Na podstawie badań przeprowadzonych w drugiej połowie lat dziewięćdziesiątych stwierdzono, że oprawy rtęciowe stanowią 83 % wszystkich opraw. Pozostałe to oprawy sodowe-7 % i wycofywane oprawy żarowe-10 %. Po licznie przeprowadzonych modernizacjach oświetlenia zewnętrznego (oświetlenie drogowe, osiedlowe, parkowe, itp.) proporcje wyraźnie uległy zmianie, na rzecz lamp wyładowczych dużej intensywności (High Intensity Discharge-HID). Są to lampy, w których łuk wytwarzający światło jest stabilizowany temperaturą ścianki, a obciążenie termiczne ścianki wynosi więcej niż 3 W/cm^2. Do lamp HID zaliczamy wysokoprężne lampy sodowe, rtęciowe i metalohalogenkowe, które znajdują zastosowanie w oświetleniu zewnętrznym i przemysłowym. Omawiane poniżej układy zasilające lampy wyładowcze składają się z szeregowo połączonych dwóch elementów nieliniowych (statecznik indukcyjny i lampa), a w przypadku kompensacji układu z trzech elementów nieliniowych połączonych szeregowo-równolegle. W każdym z tych przypadków układy zasilające lampy są także nieliniowe. Każdy układ, w którym pracuje lampa wyładowcza pobiera prąd niesinusoidalny tj. zawiera składową podstawową o częstotliwości 50 Hz oraz harmoniczne o częstotliwościach będących krotnościami częstotliwości podstawowej. Najwyższy rząd harmonicznych, branych pod uwagę w czasie analizowania wyników pomiarów to 31 harmoniczna [4].



Rys. 3. Układ połączeń lampy: a) rtęciowej, b) sodowej; L i N–zaciski przewodów zasilających, C-kondensator kompensacyjny

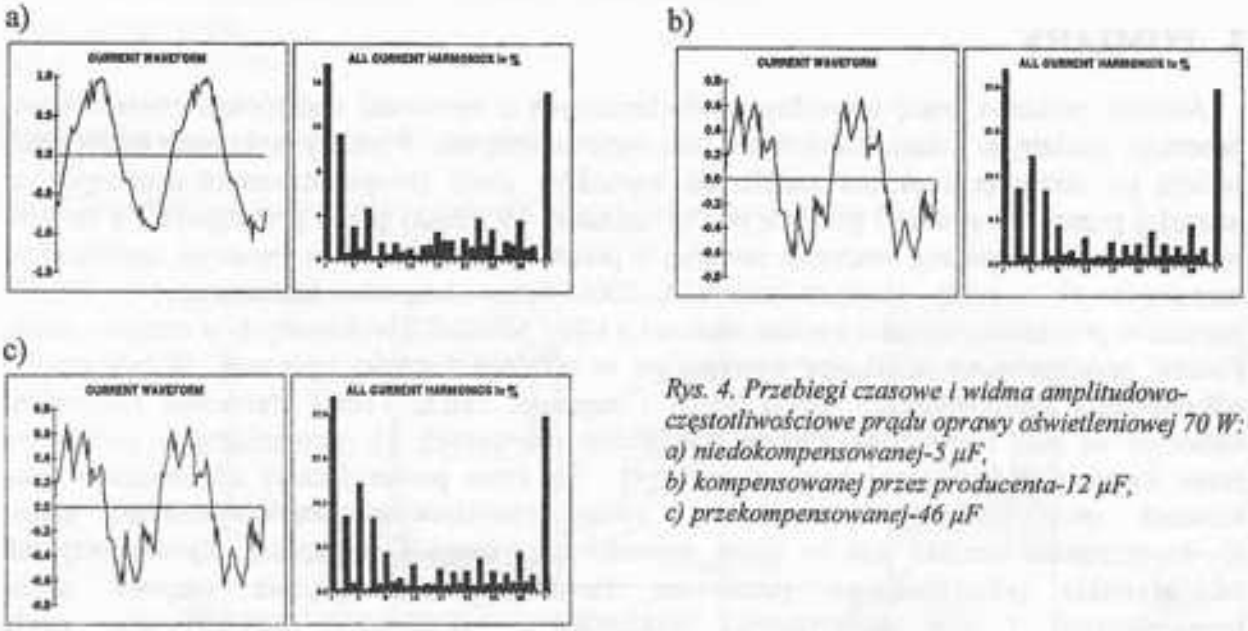
3. POMIARY

Analizie poddano pracę obwodów oświetleniowych z oprawami energooszczędnymi nowej generacji, zasilanych liniami kablowymi oraz napowietrznymi. Pomiary wykonano na źródłach światła po osiągnięciu okresu stabilizacji warunków pracy (eksploatowanych-starzonych co najmniej przez 100 godzin i pracujących co najmniej 15 minut) przed przystąpieniem do serii pomiarów w temperaturze otoczenia zawartej w przedziale (10÷27) °C przenośnym analizatorem harmonicznych i mocy Harmonalyzer HA 2000 firmy Amprobe Instrument [4]. Wyniki pomiarów przedstawiono jako średnie wartości z kilku pomiarów wykonanych w różnym czasie. Poniżej przedstawiono wielkości występujące w tabelach i części opisowej. Współczynniki odkształcenia harmonicznych prądu THD_I i napięcia THD_U (Total Harmonic Distorsion) obliczane są jako pierwiastek z sumy kwadratów pierwszych 31 harmonicznych podzielony przez kwadrat podstawowej harmonicznej [4]. TP_F (true power factor) zdefiniowany jako stosunek mocy czynnej do pozornej, zwany prawdziwym współczynnikiem mocy. K_S-współczynnik szczytu jest to iloraz wartości szczytowej i skutecznej. K_F-współczynnik oddziaływania odkształconego prądu na transformator (uwzględnia wagowy udział harmonicznych i jest syntetycznym wskaźnikiem szkodliwego oddziaływania prądu odkształconego na transformator. Wskazuje, ile razy wzrosną straty dodatkowe w transformatorze przy danym obciążeniu nieliniowym. W przypadku braku harmonicznych K=1, im bardziej K jest większe od jedności, tym wpływ harmonicznych jest większy). Słupkowy wykres charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej opisuje względne wartości harmonicznych nieparzystych oraz współczynnika zniekształceń harmonicznych prądu THD_I wyrażonych w procentach harmonicznej podstawowej. Znaki na osi rzędnych opisują poszczególne harmoniczne: F-harmoniczna podstawowa, 3-trzecia harmoniczna (150 Hz), 5-piąta harmoniczna (250 Hz) itd., T-współczynnik odkształcenia harmonicznych prądu THD_I; U, I, P,Q, S-odpowiednio: napięcie i prąd zasilający oraz moc czynna, bierna i pozorna układu zasilanego.

Tab. 1. Wpływ wielkości kompensacji na parametry elektryczne opraw oświetleniowych

oprawa-lampa typ-producent	kompensacja	C [μF]	TP_F	J_{rms} [A]	THD_I [%]	K_F	K_S	P [W]	Q [VAr]	S [VA]
oprawa: typ – A producent-X 70 W lampa: typ – A producent-X 70 W	indywidualna	0	0,41	0,92	7,39	1,08	1,48	81,23	180,8	198,7
		5	0,60	0,66	15,11	4,88	1,61	87,80	116,2	147,3
		10	0,80	0,47	28,29	14,27	1,49	83,20	56,38	104,6
		12	***0,94***	***0,40***	***36,59***	***17,03***	***1,69***	***85,60***	***4,38***	***91,0***
		13	0,89	0,42	38,61	18,36	1,80	83,40	27,23	93,6
		19	0,54	0,69	36,64	29,25	1,73	84,86	122,6	157,8
		27	0,31	1,17	27,91	19,39	1,59	81,37	240,6	262,4
		38	0,19	1,94	20,08	7,12	1,59	79,93	413,2	427,8

Zmianę parametrów elektrycznych sodowej oprawy oświetleniowej 70 W w zależności od wartości pojemności kompensatora przedstawia tabela 1. Jak wynika z pomiarów, układ przekompensowany jest mniej korzystny niż niedokompensowanie układu, czy nawet brak kompensacji. Wartość kompensacji dobranej przez producenta (pogrubiona kursywa) jest optymalna (za wyjątkiem współczynnika odkształcenia prądu THD_I) dla oprawy zasilanej w warunkach laboratoryjnych. Potwierdzeniem tego faktu są przebiegi prądu w czasie 40 ms i widma amplitudowo-częstotliwościowe prądów przedstawione na rysunku czwartym. Pojedyncze oprawy eksploatowane w warunkach sieciowych nierzadko charakteryzuję się odmiennymi parametrami w stosunku do tego samego typu opraw i wartości mocy badanych w laboratorium [5].

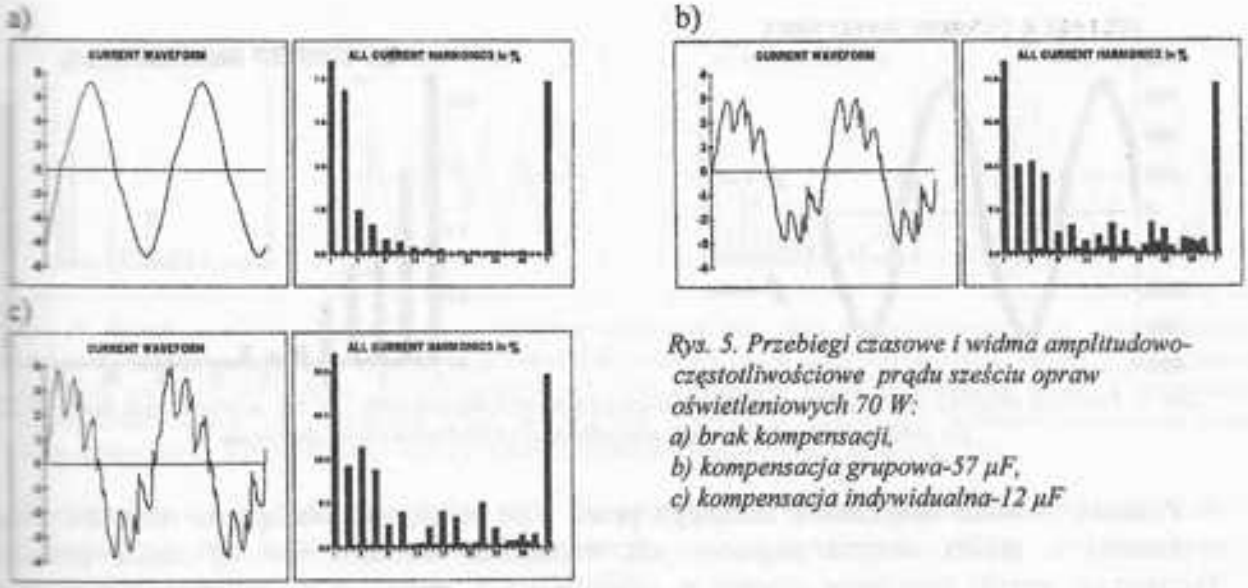


Rys. 4. Przebiegi czasowe i widma amplitudowo-częstotliwościowe prądu oprawy oświetleniowej 70 W:
a) niedokompensowanej-5 μF,
b) kompensowanej przez producenta-12 μF,
c) przekompensowanej-46 μF

Tab.2. Rodzaj kompensacji a parametry elektryczne obwodu oświetleniowego

oprawa-lampa producent - typ	kompensacja	U [V]	C [μF]	TP_F	J_{rms} [A]	THD_I [%]	K_F	K_S	P [W]	Q [VAr]	S [VA]
oprawy: 6 szt. typ – A producent – X 70 W lampy: 6 szt. typ – A producent – X 70 W	brak	224,7	0	0,40	4,80	7,40	1,07	1,49	432,3	985,5	1079
	grupowa	***219,7***	***57***	***0,95***	***1,95***	***32,06***	***10,66***	***1,56***	***404,8***	***50,4***	***427,8***
		223,3	67	0,92	2,04	37,17	14,87	1,74	417,2	95,3	454,7
		222,3	76	0,82	2,28	36,05	13,23	1,80	415,7	240,4	507,9
		217,2	85	0,69	2,62	33,37	11,45	1,68	393,8	374,3	569,8
		222,7	95	0,59	3,18	32,59	12,07	1,63	415,9	533,0	706,9
	indywidualna	**224,4**	**12**	**0,94**	**2,38**	**37,11**	**14,07**	**1,68**	**501,8**	**3,9**	**534,0**

W tabeli drugiej przedstawiono wyniki pomiarów otrzymanych w czasie kompensacji mocy biernej obwodu oświetleniowego w warunkach sieciowych złożonego z sześciu opraw sodowych 70 W. Odpowiednia wielkość kompensacji grupowej (pogrubiona kursywa), wykonana w punkcie zasilania obwodu oświetleniowego, spowodowała osiągnięcie porównywalnego współczynnika mocy, zmniejszenie prądu obciążenia oraz współczynników THD_I, K_F i Ks, przy wzroście mocy biernej. Harmoniczne rzędu 3, 5 i 7 (rys. 5) w sposób zdecydowany dominują w obwodach z kompensacją grupową i indywidualną (przy braku kompensacji dominuje 3 harmoniczna), z korzystniejszym oddziaływaniem w obwodzie z kompensacją grupową. W obwodzie nieskompensowanym wyeksponowana jest harmoniczna rzędu trzeciego, lecz o małej wartości. Pozostałe harmoniczne są tłem w porównaniu z nią.

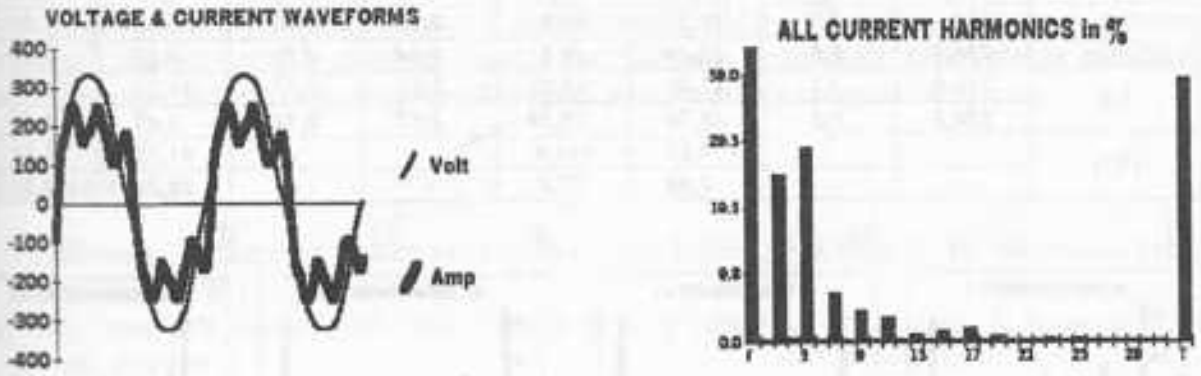


Rys. 5. Przebiegi czasowe i widma amplitudowo-częstotliwościowe prądu sześciu opraw oświetleniowych 70 W:
a) brak kompensacji,
b) kompensacja grupowa-57 μF,
c) kompensacja indywidualna-12 μF

W tabeli 3 przedstawiono wyniki pomiarów wykonanych na szynach głównych w kablowej szafie oświetleniowej w czasie normalnej pracy oświetlenia ulicznego (po ustabilizowaniu się prądu zapłonu lamp sodowych).

Tab. 3. Wyniki pomiarów obwodu oświetleniowego w normalnym układzie zasilania

Przewód	THD_U [%]	I_{rms} [A]	THD_I [%]	Harmoniczne prądu [%]				K_F	K_S	TP_F
				3	5	7	9			
L1	3,5	11,83	35,03	23,9	21,8	10,4	6,9	3,61	1,44	0,94
L2	3,7	17,95	38,36	24,3	28,1	7,1	4,4	3,78	1,40	0,93
L3	3,7	22,59	39,88	24,0	29,4	8,3	7,7	4,20	1,46	0,91
PEN	-	10,70	144,5	126,4	55,1	7,6	40,4	12,8	2,15	-

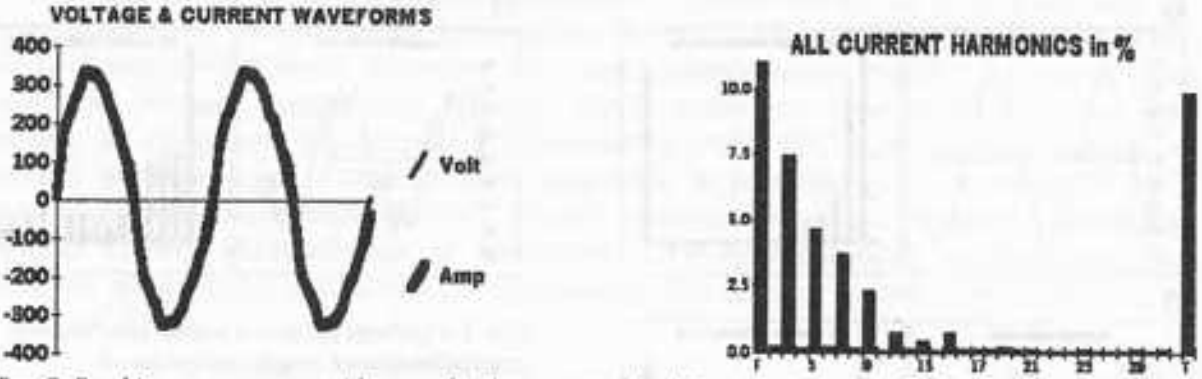


Rys. 6. Przebieg czasowy oraz widma amplitudowo-częstotliwościowe napięcia i prądu w przewodzie fazowym L2 w normalnym układzie zasilania obwodu oświetleniowego

Do istniejącego obwodu oświetleniowego (tabela 3) w okresie świąteczno-noworocznym podłączono oświetlenie o rezystancyjnym charakterze obciążenia (bardzo duża ilość żarowych źródeł światła o znikomej mocy jednostkowej)-wyniki przedstawia tabela 4. Obciążenie wzrosło o ponad 100%. Przebieg czasowy prądu praktycznie pokrywa się z przebiegiem napięcia - rys 7.

Tab. 4. Wyniki pomiarów po dołączeniu oświetlenia o rezystancyjnym charakterze obciążenia

Przewód	THD_U [%]	I_{rms} [A]	THD_I [%]	Harmoniczne prądu [%]				K_F	K_S	TP_F
				3	5	7	9			
L1	2,6	25,37	12,77	8,6	6,3	3,9	5,1	1,63	1,42	0,99
L2	2,2	47,26	9,87	7,5	4,6	3,7	2,3	1,23	1,41	0,99
L3	2,7	50,83	12,13	7,9	7,5	2,3	4,4	1,49	1,41	0,99
PEN	-	21,33	42,5	34,2	12,5	7,6	19,9	5,67	1,81	-



Rys. 7. Przebieg czasowy oraz widma amplitudowo-częstotliwościowe napięcia i prądu w przewodzie fazowym L2 po załączeniu dodatkowego oświetlenia o charakterze rezystancyjnym

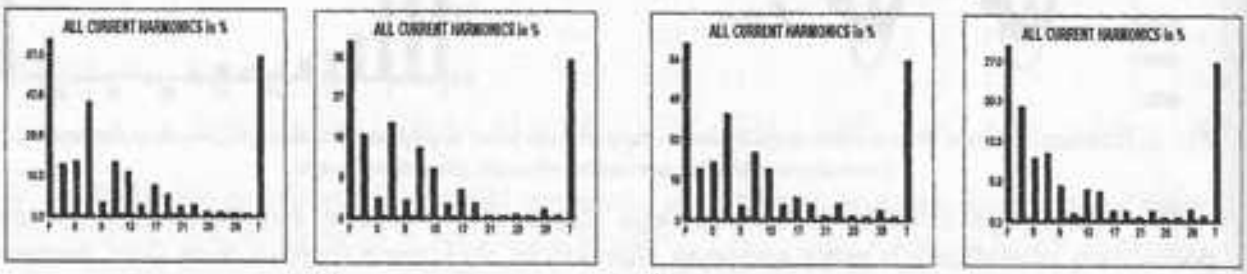
Pomiary obwodu oświetlenia ulicznego przed i po załączeniu obciążenia rezystancyjnego wykonano w takich samych napięciowych warunkach zasilania i o tej samej godzinie. Porównując wyniki pomiarów zawarte w tabelach 3 i 4, stwierdza się zdecydowaną poprawę współczynników THD zawartości harmonicznych prądu pobieranego z sieci i napięcia zasilającego obwód oraz współczynników: K_S, K_F, TP_F. Efekty dodatkowego obciążenia rezystancyjnego o dużej wartości porównywalne są z oddziaływaniem filtru wyższych harmonicznych [6].

Poniżej przedstawiono wyniki pomiarów wykonanych na szynach głównych w kablowej szafie oświetleniowej z wykorzystaniem jednofazowego filtru aktywnego FA-2000 [7]. Wyniki pomiarów otrzymane po załączeniu filtru zapisane są czcionką pogrubioną.

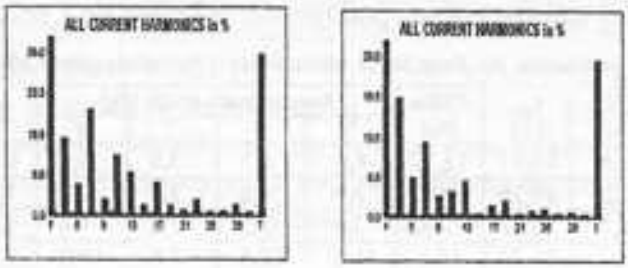
Tab. 4. Porównanie wyników pomiarów przed i po załączeniu filtra aktywnego FA-2000

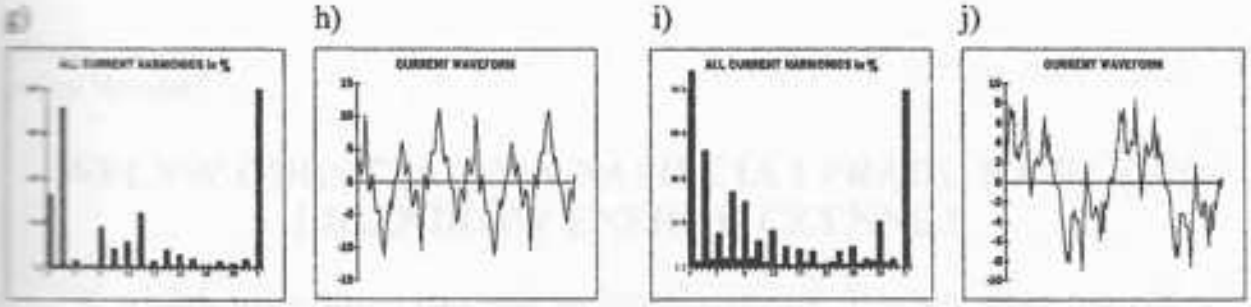
Przewód	U	THD_U	I_{rms}	THD_I	P	TP_F	K_F	K_S
	[V]	[%]	[A]	[%]	[kW]			
L1	237,9	5,0	16,70	56,4	2,73	0,66	20,48	2,02
	238,2	***2,4***	***15,36***	***35,5***	***2,72***	***0,74***	***9,74***	***1,98***
L2	236,3	4,2	13,22	63,5	2,18	0,70	25,42	1,76
	236,7	***1,8***	***12,44***	***26,8***	***2,24***	***0,76***	***4,17***	***1,68***
L3	238,6	3,1	17,43	38,67	3,01	0,72	11,29	1,98
	238,3	***1,6***	***16,74***	***25,34***	***2,97***	***0,74***	***3,43***	***1,75***
PEN	-	-	4,82	246,4	-	-	41,33	2,31
	-	-	***4,06***	***77,6***	-	-	***15,2***	***2,17***

a) b) c) d)



e) f)





Rys. 8. Wyniki pomiarów zmierzonych wielkości w kablowym obwodzie oświetleniowym oraz charakterystyki widmowo-częstotliwościowe w: a), c), e) przewodach fazowych przed załączeniem filtra, b), d), f) przewodach fazowych po załączeniu filtra, g) przewodzie ochronno-neutralnym przed załączeniem filtra, i) przewodzie ochronno-neutralnym po załączeniu filtra, h) przebieg czasowy w przewodzie ochronno-neutralnym przed załączeniem filtra, j) przebieg czasowy w przewodzie ochronno-neutralnym załączeniu filtra

W obwodzie oświetleniowym obciążonym niesymetrycznie (praca oświetlenia w układzie cało- i północnym) po załączeniu filtru aktywnego, najkorzystniejsze efekty uzyskano przy nominalnym obciążeniu przewodu fazowego L2.

4. PODSUMOWANIE

Obecnie stosuje się wiele nowoczesnych rozwiązań technicznych w zakresie zasilania układów oświetlenia zewnętrznego. Istnieje również wiele metod poprawy parametrów opisujących jakość energii elektrycznej zużywanej przez energooszczędne oświetlenie. Przy wyborze metody określającej poprawę parametrów energii należy uwzględnić poniesienie nakładów finansowych w stosunku do spodziewanych efektów technicznych. W określonych obwodach skutecznym sposobem poprawy parametrów jakości energii elektrycznej jest zastąpienie indywidualnej kompensacji mocy biernej opraw kompensacja grupową, nie koniecznie wykonaną w punkcie zasilania. W rozpatrywanych przykładach najkorzystniejsze efekty uzyskano po załączeniu filtru aktywnego, który zmniejszył również zawartość wyższych harmonicznych oraz wartość szczytową i skuteczną prądu pobieranego przez układy oświetleniowe-odbiorniki nieliniowe. W rozległych obwodach oświetleniowych zastosowanie więcej niż jednej metody kompensacji wyższych harmonicznych powinno spełnić oczekiwania w zakresie zapewnienia standardów jakości energii elektrycznej zarówno odbiorcom jak i dostawcy energii elektrycznej.

5. Literatura

1. Heřman J.: Prukopnicy elektrickeho svetla: T. A. Edison, F. Křižik, P. N. Jabločkov. Elektro (Praha) 1997 nr 5.
2. The General Electric Story 1876-1986 A Hall of Historyk. Publication, Schenectady, New York, 1989.
3. Ślęk B.: Układy stabilizacyjno-zapłonowe w oświetleniu zewnętrznym. Konferencja Naukowo-Techniczna Elektroenergetyczne urządzenia rozdzielcze. Oświetlenie zewnętrzne. Kołobrzeg 9-10 maja 2003 r.
4. Instrukcja obsługi analizatora harmonicznych i mocy. Harmonalyzer HA 2000 firmy Amprobe Instrument. 1997 r.
5. Cadler E., Kaczmarek E.: Lighting systems as nonlinear receivers and their influence on quality of electric energy. 3rd International Scientific Workshops Compatibility in Power Electronics-CPE 2003. Gdańsk 28-30 maja 2003 r.
6. Cadler E.: Nowoczesne urządzenia oświetlenia zewnętrznego jako odbiorniki nieliniowe. VI Szkoła - Konferencja Elektrotechnika-Prądy Niesinusoidalne EPN'2002. Lubiatów 11÷13 czerwca 2002r.
7. Instrukcja fabryczna filtra aktywnego FA-2000 firmy MEDCOM Sp. z o.o. 1999 r.

Marcin Cudziło[1]
Adam Noculak[1]

WPŁYW ODKSZTAŁCEŃ NAPIĘCIA I PRĄDU NA BŁĘDY LICZNIKÓW ENERGII CZYNNEJ

W artykule omówiono normatywne wymagania stawiane licznikom czynnej energii elektrycznej w zakresie błędów dodatkowych wywołanych odkształceniami napięcia i prądu. Omówiono wyniki eksperymentu polegającego na porównaniu wskazań liczników indukcyjnych i statycznych w warunkach rzeczywistych.

1. WSTĘP

Szerokie wykorzystanie półprzewodnikowych przyrządów mocy powoduje z jednej strony racjonalniejsze wykorzystanie energii elektrycznej z drugiej strony pogorszenie środowiska pracy systemu elektroenergetycznego. Coraz więcej urządzeń, także wykorzystywanych w gospodarstwach domowych, zawiera układy energoelektroniczne powodujące, że są one odbiornikami nieliniowymi generującymi wyższe harmoniczne prądu. Wobec powyższych zjawisk w środowisku energetyków trwa dyskusja na temat wpływu odbiorników nieliniowych na wskazania liczników energii elektrycznej.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie i przeanalizowanie wymogów jakie, w tym zakresie, powinny spełniać liczniki energii czynnej w świetle obowiązujących norm. Omówiono także wyniki eksperymentu przeprowadzonego w GE ENEA O/Gorzów.

2. WYMAGANIA NORMATYWNE

Liczniki elektryczne powinny spełniać wymagania określone w [1],[2],[3]. W Tabelach 1-3 przedstawiono wymagania stawiane licznikom w zakresie wpływu odkształceń napięcia i prądu na błąd pomiaru.

Tab. 1.Liczniki indukcyjne [3]

Zmiana wartości wielkości wpływającej w stosunku do wartości odniesienia	Wartość prądu (obciążenie symetryczne)	Współczynnik mocy	Granica błędów dodatkowych w procentach Dla liczników klasy dokładności		
			0,5	1	2
Kształt krzywej prądu:10% 3. harm. przy THD_U poniżej 1 %	I_b	1	0,5	0,6	0,8

Tab. 2.Liczniki statyczne 0,2S i 0,5S [1]

Zmiana wartości wielkości wpływającej w stosunku do wartości odniesienia	Wartość prądu (obciążenie symetryczne)	Współczynnik mocy	Granica błędów dodatkowych w procentach dla liczników klasy dokładności	
			0,2	0,5
Kształt krzywej prądu:10% 3. harm. przyTHD napięcia poniżej 1 %. Pomiar dla dwóch przypadków: wartość szczyt. 3 h.w fazie z prądem, wartość szczyt. w fazie przeciwnej	$0,05I_n \le I \le I_{max}$	1	0,1	0,1

[1] G.E. ENEA S.A. Oddział w Gorzowie Wielkopolskim, Gorzów Wlkp. ul. W. Sikorskiego 37, e-mail: Adam.Noculak@enea.gorzów

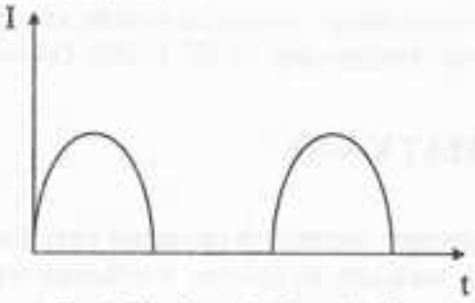
Tab. 3. Liczniki statyczne klasy1 i 2 [3]

Wielkość wpływająca	Wartość prądu		Współczynnik mocy	Granica błędów dodatkowych w procentach dla liczników klasy dokładności	
	Liczniki przyłączone bezpośrednio	Liczniki przyłączone przez przekładniki		1	2
Składowa harmoniczna w torach prądowych i napięciowych[2]	$0,5I_{max}$	$0,5I_{max}$	1	0,8	1
Składowa stała i parzyste harmoniczne w torze prądowym[1,3]	$\frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$	-	1	3,0	6,0
Nieparzyste harmoniczne w torze prądowym[1,4]	$0,5I_b$	$0,5I_n$	1	3,0	6,0
Podharmoniczne w torze prądowym [1]	$0,5I_b$	$0,5I_n$	1	3,0	6,0

[1] THD napięcia poniżej 1 %;

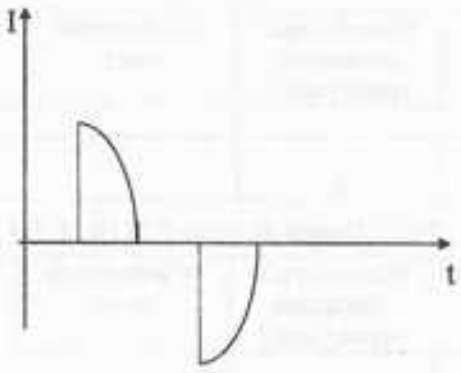
[2] zawartość 5. h. w napięciu $5\%U_n$; zawartość 5. h. w prądzie 40% prądu podstawowego; współczynnik mocy harmonicznych równy 1;

[3] kształt prądu przedstawiono na Rys.1.



Rys.1.Kształt prądu dla próby [3]

[4] kształt prądu przedstawiono na Rys.2.



Rys.2.Kształt prądu dla próby [4]

Rozważając powyższe wymagania należy przeanalizować wnioski płynące z zależności (1) definiującej moc czynną w obwodzie prądu przemiennego. Moc czynną wytwarzają jedynie składowe napięcia i prądu o tej samej częstotliwości (2).

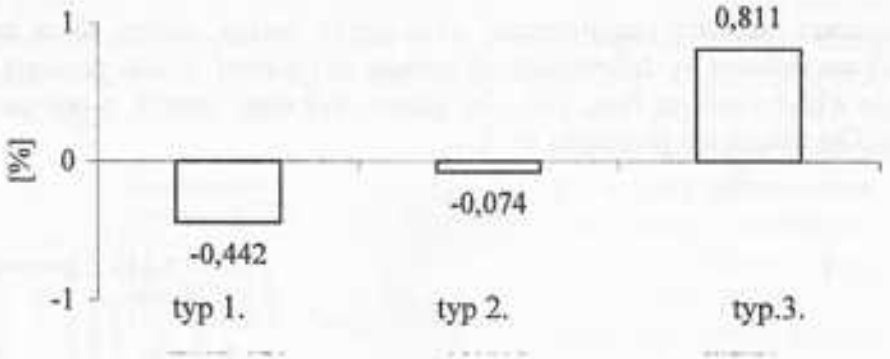
$$P = \int_0^T \sum_0^n u_n(t) \cdot i_n(t) dt \quad (1)$$

$$P = \sum_0^n U_n \cdot I_n \cdot \cos\varphi_n \quad (2)$$

W przedstawionych wyżej wymogach normatywnych odkształcenie prądu, przy braku odkształcenia napięcia, ma charakter nieaktywny (z wyjątkiem próby z aneksem [2] opisanej w Tab. 3.), w związku z czym próby te należy traktować jako wpływ zakłócenia, jakim jest odkształcenie 3. harmoniczną prądu, na dokładność wskazań. Należy stwierdzić, że najbliższy stanowi rzeczywistemu, tj. pomiarom energii w obwodach o silnie odkształconym prądzie i niewielkim odkształceniu napięcia, jest jedynie zakres prób dla liczników statycznych klasy 1 i 2.

3. EKSPERYMENT

W GE ENEA Oddział w Gorzowie Wielkopolskim przeprowadzono pomiar porównawczy wskazań liczników energii elektrycznej mierzących energię pobieraną przez obwód oświetlenia drogowego. Próbę przeprowadzono w następujący sposób: sprawdzono uchyby liczników w warunkach odniesienia, następnie zainstalowano na badanym obwodzie, spisano stany liczydeł. Po 3 tygodniach ponownie spisano stany liczydeł. Wyniki przedstawiono na Rys.3.



Rys.3. Procentowe różnice wskazań względem licznika indukcyjnego.

Należy stwierdzić, że w badanym przypadku wpływ nieliniowości odbiornika na wskazania liczników jest praktycznie niezauważalny (różnica wskazań jest rzędu różnic błędów liczników w warunkach odniesienia).

Tak więc, wbrew opiniom producentów liczników elektronicznych, nie zawsze liczniki te wykazują wyższość nad licznikami indukcyjnymi w związku z czym należy ostrożnie podchodzić do systemowej wymiany liczników indukcyjnych na elektroniczne w obwodach nieliniowych, bowiem wymiana taka nie musi oznaczać wzrostu wskazań zużytej energii.

4. WNIOSKI

Często w praktyce można spotkać się z pytaniem „Czy licznik mierzy wyższe harmoniczne?". W rzeczywistych układach mamy do czynienia przeważnie z przypadkiem znacznego odkształcenia prądu (THD_I rzędu kilkudziesięciu procent) przy znacznie mniejszym odkształceniu napięcia (THD_U rzędu kilku procent). Tak więc moc czynna wyższych harmonicznych zdefiniowana jako (3) jest niewielka. (wykonane przez autorów pomiary na wybranych obwodach oświetlenia drogowego dały wynik P_{wh}/P_{1h} na poziomie 0,01).

$$P_{wh} = \sum_{2}^{n} U_n \cdot I_n \cdot \cos\varphi_n \qquad (3)$$

W świetle przytoczonego wcześniej rozumowania właściwsze jest pytanie „W jaki sposób zakłócenie, jakim dla licznika energii czynnej jest odkształcenie prądu, wpływa na błędy licznika?".

LITERATURA
[1] – PN-EN 60687 Liczniki statyczne energii elektrycznej czynnej prądu przemiennego (klasy 0,2S i 0,5S).
[2] – PN-EN 61036 Liczniki statyczne energii czynnej prądu przemiennego (klasy 1 i 2).
[3] – PN-93/E-06504 Liczniki indukcyjne energii czynnej prądu przemiennego klasy 0,5, 1 i 2.

THE INFLUENCE OF DEFORMATION OF VOLTAGE AND CURRENT ON ERRORS OF ACTIVE ENERGY METERS

The article discusses standard requirements that active energy meters must met, as far as additional errors are induced by deformation of voltage and current. It also presents the results of an experiment in which readouts from inductive meters and static meters in real conditions have been compared. The results are presented in Fg.1.

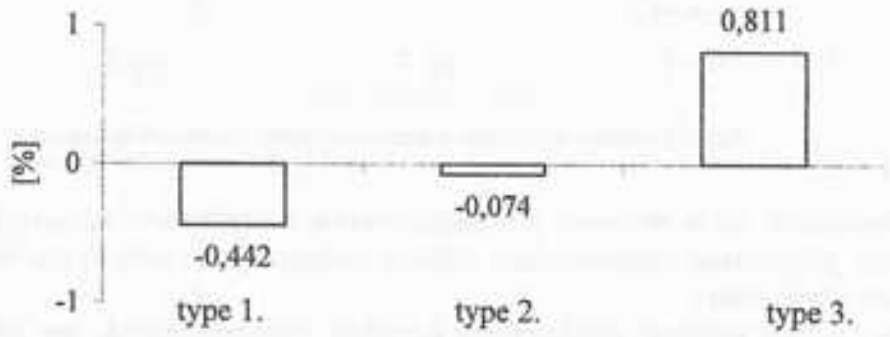


Fig.1. The differences between the readouts [%] with reference to an inductive meter.

Henryk DĘBICKI[1]

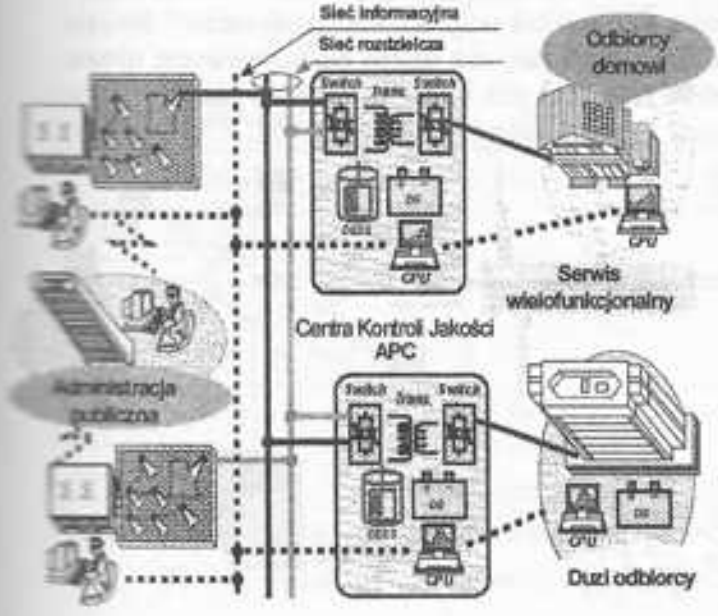
MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA KONDYCJONERÓW ENERGII W SYSTEMACH ZASILANIA ROZPROSZONYCH OBIEKTÓW TELEKOMUNIKACYJNYCH

Referat dotyczy wybranych aspektów wykorzystania kondycjonerów energii elektrycznej w rozproszonych systemach zasilania, w szczególności obiektów telekomunikacyjnych. Przedstawiono schemat dedykowanej sieci DCN, której zastosowanie pozwala na racjonalne wykorzystywanie zasobów źródeł alternatywnych .Omówiono ogólne właściwości kondycjonera 1-fazowego, w tym zasady doboru jego buforowego zasobnika energii.

1. WSTĘP

Tradycyjna elektroenergetyka jest niezdolna do wymuszenia optymalizacji wykorzystania zasobów czy też do minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko. Z tych powodów zostały zapoczątkowane zmiany, ukierunkowane na budowę rozproszonych systemów elektroenergetycznych o istotnym udziale źródeł alternatywnych [1,2,3]. Tylko takie systemy pozwalają skutecznie wykorzystywać mechanizmy rynkowe w różnych aspektach elektroenergetyki.

Cechą elektroenergetycznych systemów rozproszonych są [1,2,4]: a) różnorodność źródeł i parametrów energii elektrycznej; b) względnie małe moce pojedynczych źródeł; c) nierównomierna w czasie wydajność. Z uwagi na to, w celu zapewnienia: wymaganej niezawodności, współpracy źródeł, wyrównywania obciążeń, dopasowywania odbiorów i minimalizacji ich oddziaływania, w systemach rozproszonych muszą być stosowane odpowiednie układy dopasowujące. W przypadku, jeśli są to układy energoelektroniczne mówi się o tzw. aktywnych kondycjonerach energii elektrycznej –APC (Activ Power Conditioner) [3,5,6,7,9]. Dąży się przy tym, aby te układy w systemie rozproszonym były nadzorowane i sterowane za pomocą sieci komputerowej. W tym przypadku mamy tzw. system FRIENDS (Flexible Reliable Intelligent Electrical eNergy Delivery System), których koncepcję wg. [10] przedstawia rys.1. Powyższe dotyczy również systemów rozproszonego zasilania obiektów telekomunikacyjnych.



Rys.1. Koncepcja systemu FRIENDS

[1] Telekomunikacja Polska S.A., Obszar Telekomunikacji w Zielonej Górze, 66-100 Sulechów- Krężoły ul.Pszenna 3, e-mail: Henryk.dembicki@telekomunikacja.pl

2. ROZPROSZONE ZASILANIE OBIEKTÓW TELEKOMUNIKACYJNYCH

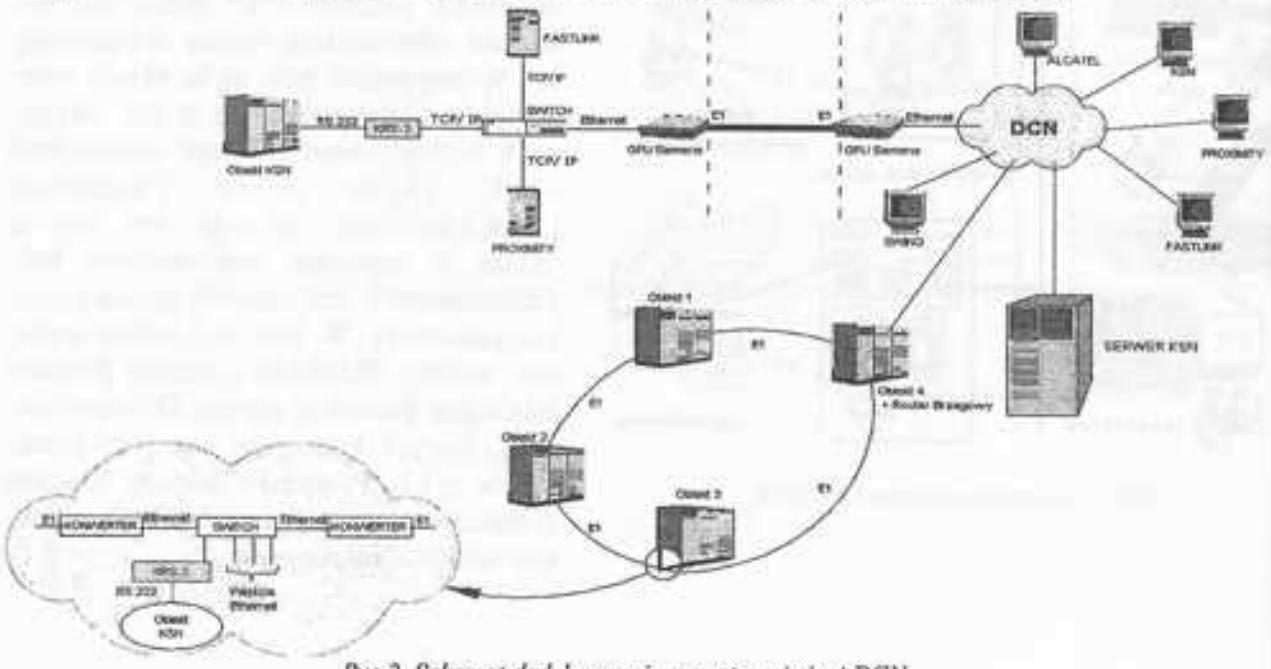
Obecnie systemy telekomunikacyjne są zasilane z krajowego systemu elektroenergetycznego, w przeważającej większości liniami niskich napięć, a w pojedynczych przypadkach liniami średnich napięć. Jako rezerwowe źródła zasilania zawsze stosuje się baterie akumulatorowe, a w zależności od wagi obiektu dodatkowo zespoły prądotwórcze. Te źródła w przyszłości planuje się uzupełnić w ogniwa fotowoltaiczne, ogniwa paliwowe, wiatraki i agregaty prądotwórcze wysokoczęstotliwościowe. Współpraca z systemem elektroenergetycznym może być przy tym realizowana poprzez:

a) włączanie źródeł rezerwowego zasilania w okresach niedoboru energetycznego,
b) sprzęganie dużych (ok. 1MVA) i średnich (ok. 0,1MVA) zespołów prądotwórczych w okresach niedoboru energetycznego,
c) sprzęganie i dopasowywanie innych alternatywnych źródeł energii zasilania rezerwowego z systemem elektroenergetycznym.

Różne układy APC w systemach rozproszonego zasilania obiektów telekomunikacyjnych powinny więc spełniać razem następujące funkcje:

a) sprzęgać i dopasowywać z systemem elektroenergetycznym źródła rezerwowego zasilania: baterie akumulatorów stacyjnych, ogniw paliwowych i generatorów prądotwórczych itp [5,6];
b) poprawiać jakość energii w otoczeniu rozproszonych odbiorców [4,9];
c) kontrolować i sterować przepływem energii w systemach, w szczególności w przypadku dużego udziału źródeł alternatywnych (odnawialnych) [10].

Ostatnia z wymienionych funkcji jest trudna do realizacji bez sieci komputerowej, nadzorującej, zarządzającej i obsługującej obiekty telekomunikacyjne, lub innych mediów transmisyjnych współpracujących z centrami nadzoru. Przykładowo, można w tym celu wykorzystać dedykowaną wewnętrzną sieć DCN o przepustowości 2 Mb, obejmującą cały obszar i umożliwiającą dostęp do każdego obiektu (rys.2). Stosując taką sieć można wypracować „optymalne" decyzje dotyczące przepływów energii elektrycznej między obiektami na całym nadzorowanym obszarze, z uwzględnieniem bieżących zasobów źródeł rezerwowych i alternatywnych. Na tej podstawie, już na obiektach, jest realizowane sterowane zainstalowanymi układami APC.

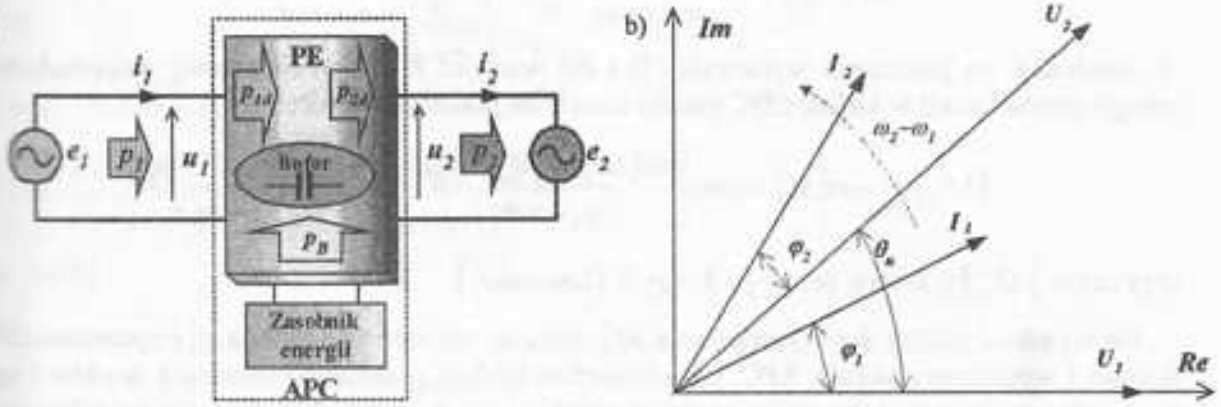


Rys.2. Schemat dedykowanej wewnętrznej sieci DCN.

3. JEDNOFAZOWY KONDYCJONER ENERGII ELEKTRYCZNEJ

W celu minimalizacji przepływów energii elektrycznej sterowanie układem APC zainstalowanym na obiekcie powinno w szczególności uwzględniać wydajność lokalnego zasobnika (źródła) energii elektrycznej. Bardzo ważne są przy tym jego właściwości dynamiczne [8]. Często zdarza się, że w przypadku skoku obciążenia, wydajność energetyczna zasobnika (nawet jeśli jest jej zapas) nie nadąża za wymaganymi zmianami. W tym przypadku należy stosować dynamiczne „bufory", uzupełniające zapotrzebowanie w energię w procesie przejściowym. Pobór energii z takiego bufora nie jest więc stały, a ponadto może charakteryzować się pulsacjami wpływającymi na jego żywotność. Pulsacje te, w istotny sposób wpływające na wybór parametrów bufora, są największe w 1-fazowych układach APC [11].

3.1. Model



Rys. 3. Układ APC: a) uogólniony model; b) wykres wskazowy.

Tablica 1. Prądy i napięcia w układzie APC

$i_1 = I_{1m}\sin(\omega_1 t + \varphi_1)$; $e_1 = u_1 = U_{1m}\sin(\omega_1 t)$	prąd i napięcie wejściowe
$i_2 = I_{2m}\sin(\omega_2 t + \theta_u + \varphi_2)$; $e_2 = u_2 = U_{2m}\sin(\omega_2 t + \theta_u)$	prąd i napięcie wyjściowe;
U_{1m}, I_{1m} / U_{2m}, I_{2m}	amplitudy napięcia i prądu $e_1,i_1/e_2,i_2$

Tablica 2. Moce chwilowe w układzie APC

$p_1 = u_1 \cdot i_1 = P_1 - P_1 \cdot \cos(2\omega_1 t) + Q_1 \cdot \sin(2\omega_1 t)$	wejściowa
$p_2 = u_2 \cdot i_2 = P_2 - P_2 \cdot \cos(2\omega_2 t + 2\theta_u) + Q_2 \cdot \sin(2\omega_2 t + 2\theta_u)$	wyjściowa
$p_B = P_B = P_2 - P_1$	zasobnika energii

gdzie: $P_1 = S_1 \cdot \cos\varphi_1$, $Q_1 = S_1 \cdot \sin\varphi_1$, $S_1 = U_{1m} \cdot I_{1m}/2$ - *moce wejściowe: czynna, bierna i pozorna*

$P_2 = S_2 \cdot \cos\varphi_2$, $Q_2 = S_2 \cdot \sin\varphi_2$, $S_2 = U_{2m} \cdot I_{2m}/2$ - *moce wyjściowe: czynna, bierna i pozorna*

Na rys.3 przedstawiono model i wykresy wskazowe prądów i napięć w 1-fazowym układzie APC z buforem kondensatorowym i zasobnikiem energii o wydajności mocowej P_B. Odpowiednie prądy i napięcia oraz moce chwilowe w tym układzie opisują zależności zestawione w tabl.1 i tabl.2. Wyznaczone na ich podstawie tętnienia mocy dostarczanej/pobieranej z bufora w stanie ustalonym wyrażają się zależnością:

$$\tilde{\Delta p} = p_1 + p_B - p_2 = -P_1\cos(2\omega_1 t) + Q_1 \cdot \sin(2\omega_1 t) + P_2 \cdot \cos(2\omega_2 t + 2\theta_u) - Q_2 \sin(2\omega_2 t + 2\theta_u)$$

Ta zależność, po prostych przekształceniach przyjmuje postać:

$$\tilde{\Delta}p = P_2\left[\frac{\cos(2\omega_2 t + 2\theta_u + \varphi_2)}{\cos\varphi_2} - (1-\chi)\frac{\cos(2\omega_1 t + \varphi_1)}{\cos\varphi_1}\right] \quad (1)$$

gdzie: $\chi = P_B/P_2$, $\varphi_1 = arctg(Q_1/P_1)$, $\varphi_2 = arctg(Q_2/P_2)$

3.2. Tętnienia energii w buforze napięcia stałego

Uwzględniając wzór (1) składową zmienną energii magazynowanej w obwodzie bufora DC układu APC obliczamy na podstawie zależności:

$$\tilde{\Delta}E = \int\tilde{\Delta}p\,dt = P_2\left[\frac{1}{\cos\varphi_2}\int\cos(2\omega_2 t + 2\theta_u + \varphi_2)dt - (1-\chi)\frac{1}{\cos\varphi_1}\int\cos(2\omega_1 t + \varphi_1)dt\right]$$

Stąd otrzymujemy:

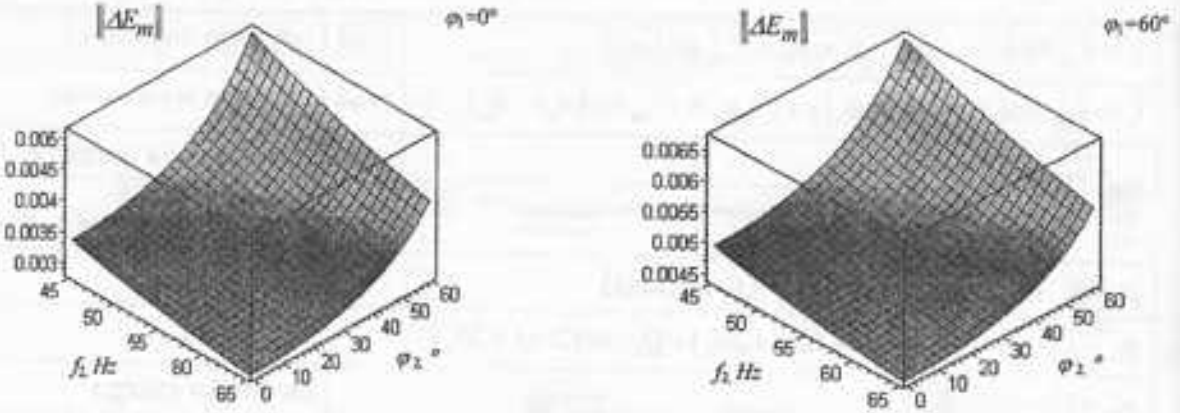
$$\tilde{\Delta}E = \frac{P_2}{2}\left[\frac{\sin(2\omega_2 t + 2\theta_u + \varphi_2)}{\omega_2\cos\varphi_2} - (1-\chi)\frac{\sin(2\omega_1 t + \varphi_1)}{\omega_1\cos\varphi_1}\right] \quad (2)$$

W rezultacie, na podstawie wyrażenia (2) i dla wartości $P_2=1$ pu (per unit), amplitudę zmian energii gromadzonej w buforze DC można ocenić na podstawie wzoru:

$$\|\Delta E_m\| = \max\left|\tilde{\Delta}E\right| = \max\left|\frac{\sin(2\omega_2 t + 2\theta_u + \varphi_2)}{2\omega_2\cos\varphi_2} - (1-\chi)\frac{\sin(2\omega_1 t + \varphi_1)}{2\omega_1\cos\varphi_1}\right| \quad (4)$$

przy czym $\|\Delta E_m\| \le |1/(2\omega_2\cos\varphi_2)| + |1-\chi|\cdot|1/(2\omega_1\cos\varphi_1)|$

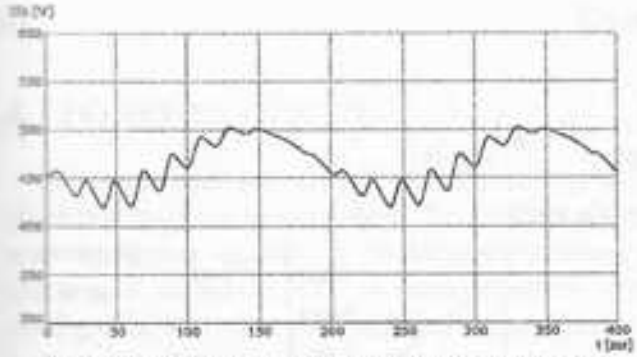
Jak wynika z zależności (4) amplituda ΔE_m zmienia się zarówno w funkcji częstotliwości wejściowej i wyjściowej układu APC, jak również w funkcji przesunięć fazowych prądów i napięć φ_1, φ_2 oraz przesunięcia fazowego napięcia wyjściowego θ_u względem napięcia wejściowego. Te zmiany w przypadku częstotliwości wejściowej $f_1=50$ Hz dla dwóch kątów φ_1 ilustruje rys.4



Rys.4. Zależność amplitudy ΔE_m w funkcji częstotliwości f_2 i kąta φ_2 dla dwóch wartości kąta φ_1 (współczynnik $\chi=0$)

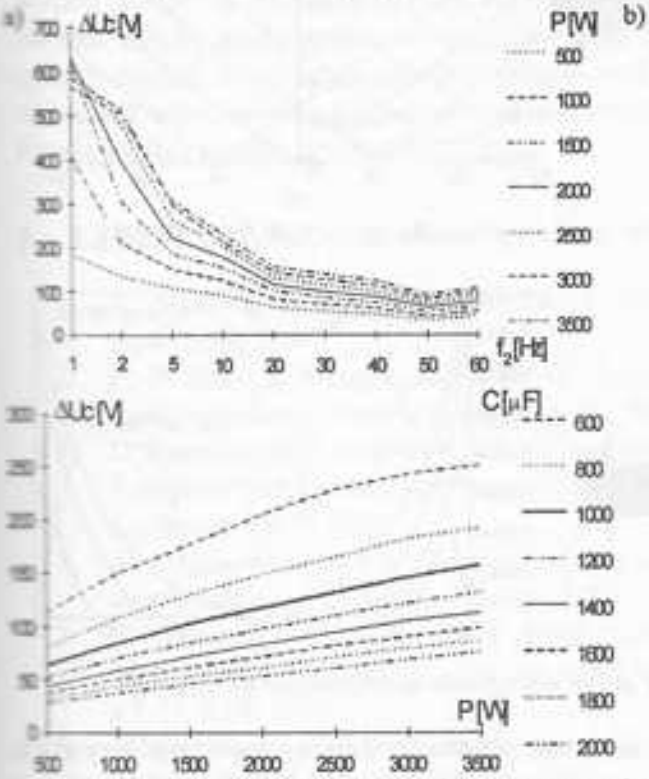
Z amplitudą ΔE_m zmian energii gromadzonej w buforze DC w oczywisty sposób związane są tętnienia napięcia na tym elemencie, najczęściej kondensatorze. Dla przykładu przeprowadzono symulacje 1-fazowego układu jednofazowego APC składającego się z dwóch mostków tranzystorowych w przypadku gdy $\chi=0$, $\varphi_1=0$ i $\cos\varphi_2=0{,}93$, dla różnych wartości: pojemności C kondensatora buforującego, obciążenia, częstotliwości wyjściowej.

Na rys.5 pokazano przykładowy przebieg napięcia na kondensatorze buforującym C. Widać duży i wyjściowej.



Rys.4. Przykładowy przebieg napięcia kondensatora w przypadku: C = 2200 μF, f_2 = 5 Hz i I_2 = 4A

Oczywisty jest także znaczny wpływ mocy obciążenia i pojemności kondensatora C. Te zależności potwierdzają wyniki wszystkich symulacji, zebrane w postaci charakterystyk pokazanych na rys.5. Jak widać z rys.5a częstotliwość $f_2 = 20$ Hz jest częstotliwością graniczną, poniżej której tętnienia napięcia bardzo szybko wzrastają. W przypadku zmian mocy odbiornika zmiany amplitudy tętnień są prawie liniowe.



Rys.5. Tętnienia napięcia ΔU_C w funkcji: a) częstotliwości wyjściowej f_2; b) mocy wyjściowej - f_2=50 Hz

3.3. Optymalizacja tętnień buforowego napięcia stałego

W układach APC, które umożliwiają regulację wejściowego współczynnika mocy, możliwe jest osiągnięcie różnych kątów φ_1. Z zasady, najczęściej możemy także niezależnie regulować kątem θ_u przesunięcia fazowego między napięciami wejściowym i wyjściowym. Uwzględniając wzór (4) można więc tak dobrać wartości φ_1 i θ_u, aby tętnienia buforowego napięcia DC przy określonym udziale zasobnika energii w energii dostarczanej do odbiornika (wyrażanego współczynnikiem χ) były jak najmniejsze. Ma to znaczenie przede wszystkim wtedy, gdy częstotliwości wejściowa f_1 i wyjściowa f_2 są równe. Wówczas wzór (4) przyjmuje postać:

$$\left\|\Delta E_m\right\| = \max\left|\Delta E\right| = \max\left|\frac{1}{2\omega}\left[\frac{\sin(2\omega t + 2\theta_u + \varphi_2)}{\cos\varphi_2} - (1-\chi)\frac{\sin(2\omega t + \varphi_1)}{\cos\varphi_1}\right]\right| \qquad (5)$$

Zależność (5), gdy układ APC pracuje z jednostkowym wejściowym współczynnikiem mocy i $f_1=f_2$, ilustruje rys.6.

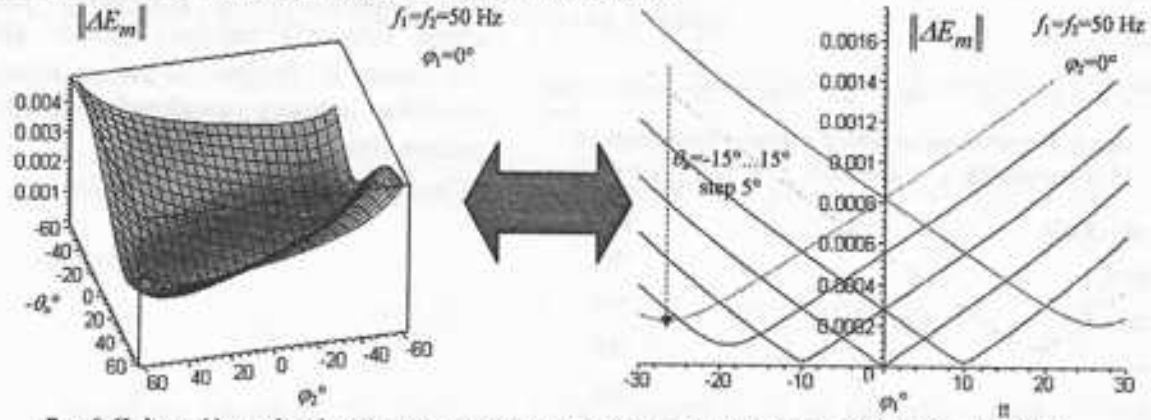
Jak widać i co nietrudno zauważyć na podstawie równania (5), amplituda tętnień energii w buforze 1-fazowego APC osiąga wartość minimalną wtedy, gdy napięcie wyjściowe jest przesunięte względem napięcia wejściowego o kąt równy:

$$\theta_u = (\varphi_1 - \varphi_2)/2 \tag{6}$$

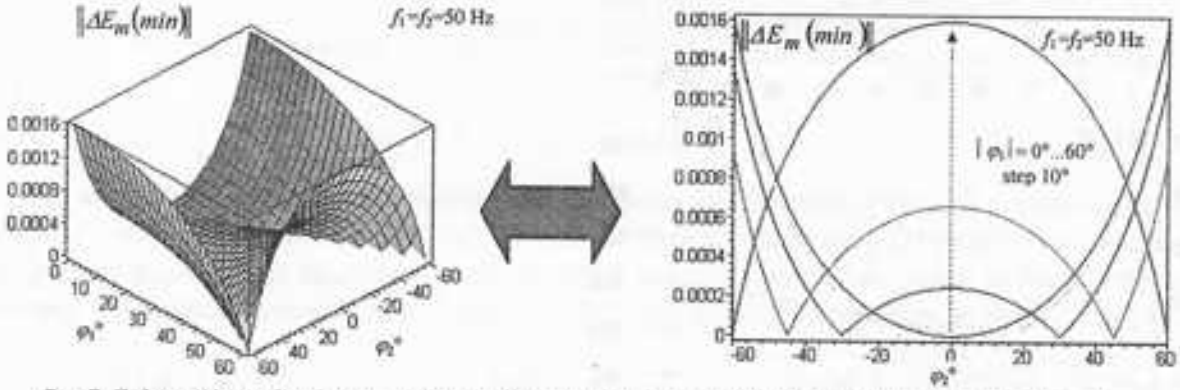
W tym przypadku

$$\|\Delta E_m(\min)\| = \frac{1}{2\omega} \cdot \left| \frac{1}{\cos\varphi_2} - (1-\chi)\frac{1}{\cos\varphi_1} \right| \tag{7}$$

Powyższą zależność, w przypadku $\chi=0$ przedstawia rys.7.



Rys.6. Zależność amplitudy ΔE_m w funkcji kątów φ_2 i θ_u, w przypadku $\varphi_1 = 0°$ gdy $f_1 = f_2 = 50$ Hz.



Rys.7. Zależność amplitudy ΔE_m w funkcji kątów φ_2 i φ_1, w przypadku optymalnego kąta θ_u, gdy $\chi=0$.

Jeśli dopuszcza się pracę układu APC z zaniżoną wartością wejściowego współczynnika, (np. z uwagi na instalację dodatkowych kompensatorów w systemie zasilania), to tętnienia w obwodzie bufora można dalej zmniejszyć, dobierając kąt φ_1 na podstawie zależności:

$$\cos\varphi_1/\cos\varphi_2 = (1-\chi) \tag{8}$$

Gdy ten współczynnik musi być równy 1, ale gdy dopuszcza się jednoczesne zasilanie odbioru z zasobnika energii i sieci zewnętrznej, to wskazany jest dobór współczynnika χ wg. wzoru

$$1/\cos\varphi_2 = (1-\chi) \tag{9}$$

Minimalizacja tętnień energii w obwodzie bufora układu APC, przeprowadzana na podstawie powyższych zależności (7), (8) lub (9) i uwzględniająca zasoby wszystkich i lokalnych źródeł, pozwala zmniejszyć wymaganą wartość pojemności C bufora zgodnie za zależnością:

$$\|\Delta E_m\| = C \cdot U_{C(0)} \cdot \Delta U_{C(\max)} = C \cdot U_{C(0)}^2 \cdot \varepsilon_U \tag{6}$$

gdzie: $U_{C(0)}=(U_{C(\max)} + U_{C(\min)})/2$ – wartość średnia napięcia bufora (kondensatora); $\Delta U_C=(U_{C(\max)} - U_{C(\min)})/2$ – amplituda tętnień napięcia bufora U_C ; $\varepsilon_U = \Delta U_C/U_{C(0)}$ – zadana względna wartość dopuszczalnej amplitudy tętnień.

4. PODSUMOWANIE

W najbliższej przyszłości oczekiwane są duże zmiany i rekonstrukcje systemów zasilania obiektów telekomunikacyjnych. Przewiduje się powszechne zastosowanie rozproszonych systemów zasilania, w których, praktycznie zawsze, konieczne jest zastosowanie indywidualnych i zbiorczych układów APC i rozproszonych systemów nadzoru. Układy APC są przy tym szczególnie ważne w przypadku dużego udziału drobnych źródeł alternatywnych/odnawialnych w ogólnym bilansie energetycznym.

Koncepcja systemów FRIENDS, w tym z wykorzystaniem dedykowanych sieci komputerowych (np. DCN) do nadzorowania rozproszonego systemu zasilania, pozwala uwzględniać na bieżąco zasoby energetyczne wszystkich źródeł z rozbiciem na zasoby źródeł lokalnych. W ten sposób można w prosty względnie sposób realizować optymalizacyjne algorytmy sterowania obiektami telekomunikacyjnymi oraz zainstalowanymi na nich układami APC, łącznie z minimalizacją tętnień energii w obwodzie bufora.

5. LITERATURA

1. R. Messenger, and J. Ventre: *Photovoltaic Systems Engineering*, CRC Press LLC, New York, 2000.
2. H.-P. Beck, J. Wenske, and A. Wolf: *Power Conditioning in Network with High Wind Energy Systems*, Electrical Engineering, Vol. 81, Nr.6, pp.395-407, 1999.
3. D. Casadei et all: *Active AC Line Conditioner for a Cogeneration Systems*, in Proc. 8th European Conference on Power Electronics and Applications - EPE '99 (CD-ROM), Lausanne, 1999, 10 p.
4. A. Ghosh, G.Ledwich: *Power Quality Enhancement Using Custom Power Devices*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.
5. R. Strzelecki: *Aktywne układy kondycjonowania energii – nowa moda czy jakość ?*, w Materiałach Konferencji „Nowoczesne urządzenia zasilające w energetyce", Kozienice, s.1.14-9.14, 2002.
6. R. Strzelecki: *Aktywne układy kondycjonowania energii – APC*, Przegląd Elektrotechniczny, Nr 2, s.196-202, 2002
7. D. Casadei, G.Grandi, and C.Rossi: *A Parallel Conditioning Systems with Energy Storage Capability for Power Quality Improvement in Industrial Plants*, in Proc. 8th European Conference on Power Electronics and Applications - EPE '01 (CD-ROM), Graz, 2001, 8p.
8. B.Kras: *Układ hybrydowy ogniwa paliwowego z ogniwem chemicznym do zasilania rozproszonych odbiorników odbiorników dużej dynamice zmian obciążenia*. Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, 2003, 235 s.
9. R. Strzelecki and J. Kukluk: *Single phase active power line conditioners*, in Proc. 3-th International Symposium All Electric Ship Civil or Military - AES 2000, Paris, 2000, pp.379—384
10. http://svr.huee.hokudai.ac.jp/friends/
11. G. Meckien: *Oszczędnościowe układy kondycjonowania energii*. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Zielonogórski, 2003, 134 s.

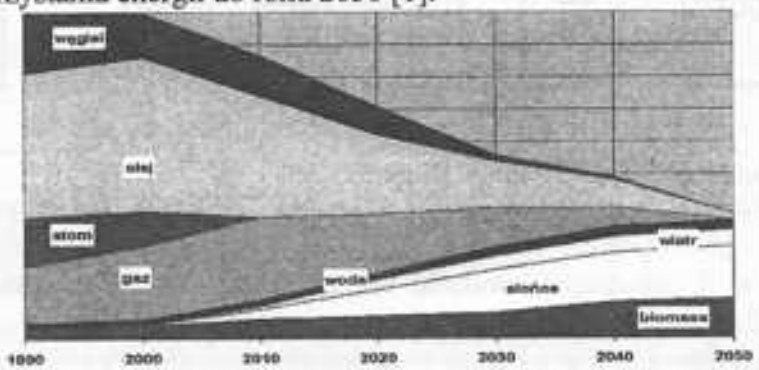
PROF. DR HAB. INŻ. ANTONI DMOWSKI,
Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroenergetyki, 00-662 Warszawa, ul Koszykowa 75,tel. (0-22) 660 7366, admowski@ee.pw.edu.pl
MGR. INŻ. TOMASZ DZIK
Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroenergetyki, 00-662 Warszawa, ul Koszykowa 75,tel. (0-22) 660 5613, tdzik@op.pl

WSPÓŁPRACA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII Z OGNIWAMI PALIWOWYMI JAKO NOWOCZESNYMI ZASOBNIKAMI ENERGII

Streszczenie: W referacie omawiane są zagadnienia dotyczące odnawialnych źródeł energii i ich wykorzystania w aplikacjach elektroenergetycznych w Polsce i na świecie. Poruszane są problemy dołączania i współpracy tych źródeł z siecią za pośrednictwem energoelektronicznych urządzeń przetwarzania energii. Przedstawiona jest technologia ogniw paliwowych jako nowego zasobnika energii oraz jego wykorzystania w energetyce.

1. WSTĘP

W ostatnim czasie rola odnawialnych źródeł energii bardzo wzrasta. Dyskutuje się czy w przyszłości źródła odnawialne będą zdolne w pełni pokryć zapotrzebowanie energetyczne ludzkości. Istnieje wiele scenariuszy, które przedstawiają sposoby rozwiązania tego problemu w przyszłości. Rysunek nr 1 przedstawia jeden z możliwych scenariuszy wykorzystania energii do roku 2050 [1].



Rys nr 1 Jeden z możliwych scenariuszy wykorzystania energii do roku 2050

Scenariusz ten zakłada, że w roku 2050 podstawowymi źródłami energii staną się źródła odnawialne. Można się zgadzać lub nie z różnymi informacjami przedstawionymi na rysunku nr 1, ale parę spostrzeżeń jest godnych zastanowienia:

1. W roku 2050 koszt wydobycia podstawowych nośników energii znacznie wzrośnie.

2. Należy się zastanowić, czy nie lepszym rozwiązaniem będzie wykorzystanie podstawowych nośników energii (węgla, ropy naftowej, gazu ziemnego) jako surowca dla przemysłu chemicznego, farmaceutycznego itp. niż je zużywać w przemianach energetycznych szczególnie przy niskiej sprawności energetycznej.

3. Scenariusz, że ludzkość zrezygnuje z energii jądrowej wydaje się mało prawdopodobny.

Jedyną informacją przedstawioną na powyższym rysunku, z którą można się w pełni zgodzić jest to, że rola źródeł odnawialnych wykorzystujących do produkcji energii elektrycznej wodę, słońce i wiatr będzie stale rosła.

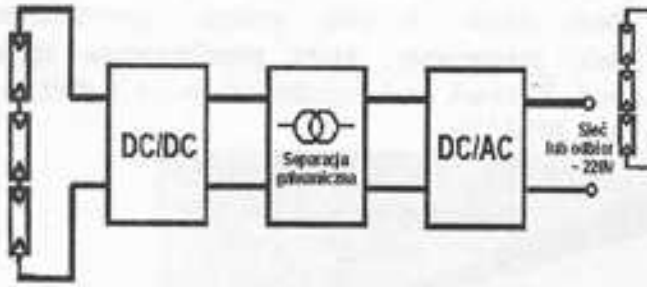
2. RODZAJE ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII WYKORZYSTYWANE DO PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W POLSCE.

- Energia promieniowania słonecznego (konwersja fotowoltaiczna)
- Energia wiatru
- Energia wody przepływającej

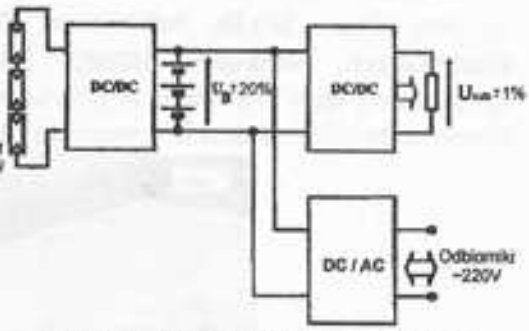
Wydaje się, że inne rodzaje odnawialnych źródeł energii takie jak: energia geotermalna, energia biomasy i biogazu, zostaną wykorzystane w większym stopniu do produkcji energii cieplnej niż elektrycznej. Z tego powodu nie będziemy się nimi dalej zajmowali.

3. ENERGIA POCHODZĄCA ZE ŹRÓDEŁ FOTOWOLTAICZNYCH I WIATROWYCH

Rysunek nr 2 przedstawia schemat blokowy elektrowni fotowoltaicznej współpracującej z siecią energetyczną. Rysunek nr 3 przedstawia schemat elektrowni fotowoltaicznej pracującej na sieć wydzieloną [2].

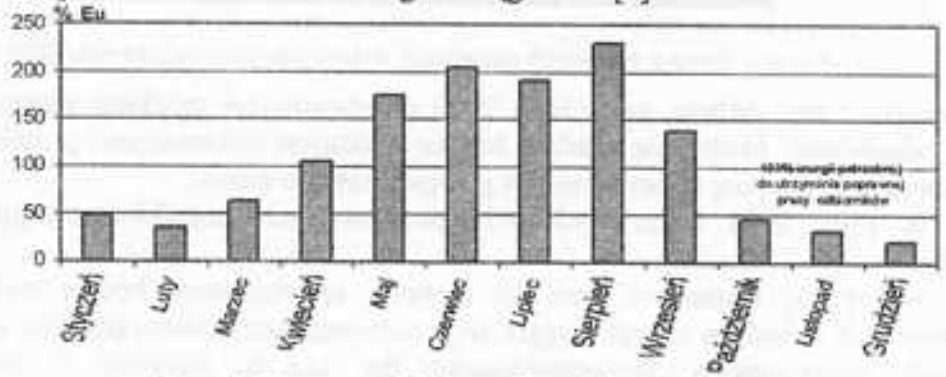


Rys. nr 2. Schemat blokowy elektrowni słonecznej współpracującej z siecią energetyczną.



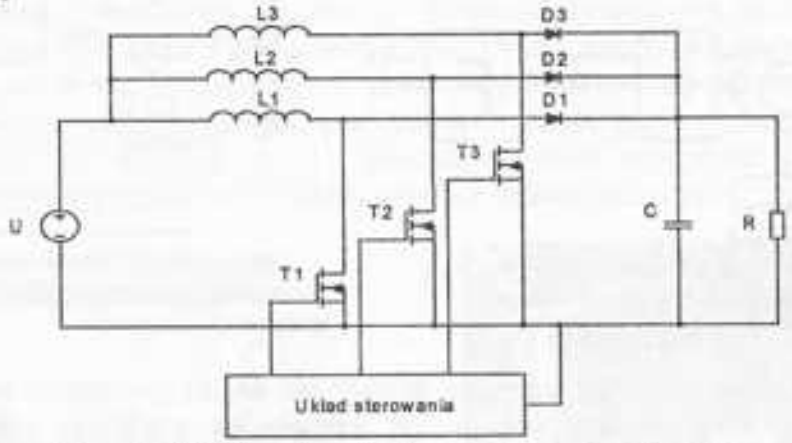
Rys. nr 3. Schemat blokowy elektrowni słonecznej.

Rysunek nr 4 przedstawia wartość energii uzyskiwaną z tej elektrowni w funkcji intensywności promieniowania słonecznego w ciągu roku [2].



Rys. nr 4. Roczna produkcja energii w elektrowni słonecznej

W przypadku elektrowni sieciowej fluktacja produkowanej energii może być pokrywana z systemu energetycznego. Jeśli system taki nie będzie dostatecznie duży w stosunku do mocy elektrowni fotowoltaicznej to niestabilność wartości produkowanej energii przez elektrownie fotowoltaiczne może się odbić na stabilnej pracy tego systemu (wahania napięć). W przypadku energetyki rozproszonej do współpracy z ogniwem fotowoltaicznym konieczny jest chwilowy magazyn energii np: ogniwo chemiczne (akumulator). Akumulator jest także niezbędny do pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną w godzinach nocnych. Na przedstawionym rysunku nr 4 wykresie średniej produkcji energii przez elektrownię fotowoltaiczną można zauważyć wyraźny deficyt energii w miesiącach zimowych. Rozwiązaniem problemu byłby tu „magazyn" energii, który mógłby zmagazynować nadmiar energii w miesiącach letnich i oddać tę energię w miesiącach zimowych. Sprawność tego typu układów zależy, w znacznym stopniu, od sprawności zastosowanych urządzeń energoelektronicznych. Sprawności tą można poprawić dobierając odpowiedni typ urządzenia przetwarzającego energię do danej instalacji oraz poprawiając sprawność samego układu energoelektronicznego. Takim przykładowym układem jest wielołącznikowa, beztransformatorowa przetwornica podwyższająca napięcie, współpracująca z baterią słoneczną. Pokazana jest na rysunku nr 5. Urządzenie zostało zaprojektowane i wykonane na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej [5].



Rys. nr 5. Wielołącznikowa, beztransformatorowa przetwornica podwyższająca napięcie.

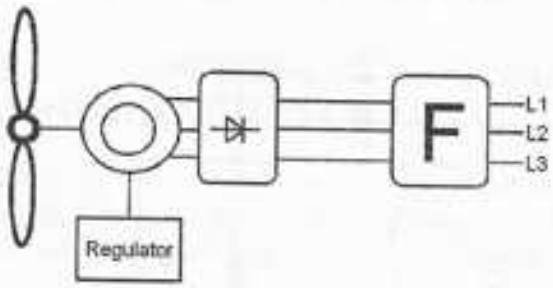
4. ENERGIA ELEKTRYCZNA POCHODZĄCA Z MAŁYCH ELEKTROWNI WODNYCH

Z uwagi na bezpieczeństwo powodziowe i dający się odczuć brak wody w wielu regionach kraju stanie się konieczna odbudowa i budowa nowych małych zbiorników wodnych. Woda z tych zbiorników może być użyta jednocześnie do produkcji energii elektrycznej. Produkcja tej energii będzie możliwa, jeśli woda nie będzie potrzebna jednocześnie do produkcji rolnej, zwierzęcej lub dla celów konsumpcyjnych. Jest to wadą omawianego źródła energii, ponieważ lokalni właściciele zbiorników wodnych będą sami decydować o przeznaczeniu wody, która dopiero, jeśli będzie jej w nadmiarze zostanie użyta do produkcji energii elektrycznej. Z tego powodu energetyka zawodowa może w małym stopniu liczyć na dostarczanie w sposób planowy energii z tych źródeł. Może to prowadzić do określonych niestabilnych stanów w pracy systemu energetycznego, który będzie współpracował z wieloma małymi elektrowniami wodnymi. Opisaną poprzednio wadę małych elektrowni wodnych można by znacznie ograniczyć lub całkowicie

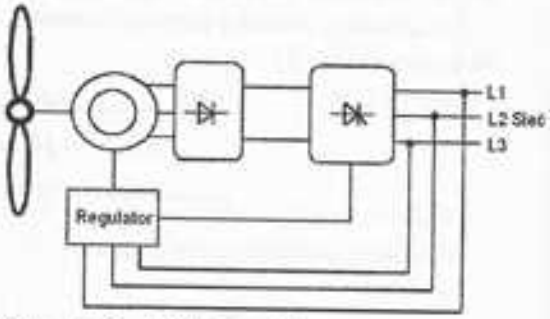
zlikwidować gdyby udało się opracować długookresowy magazyn energii elektrycznej. Energia pobierana z tego magazynu mogła w sposób stały być doprowadzona do odbiornika niezależnie od stanu wody. W przypadku nadmiaru energii wodnej, wytworzona w tym czasie energia elektryczna, mogłaby być magazynowana.

5. ELEKTROWNIE WIATROWE

Obecnie instalowane elektrownie wiatrowe mają znacznie większe moce niż elektrownie fotowoltaiczne (0,1 - 4,5 MVA). W warunkach polskich elektrownie wiatrowe charakteryzują się czasem wykorzystania mocy zainstalowanej około 1500 - 2000 h na rok. Podobnie jak jest to w elektrowniach fotowoltaicznych, w wyniku zmian prędkości wiatru następują znaczne zmiany w ilościach produkowanej energii. W przypadku dołączania dużej liczby elektrowni wiatrowych do sieci energetycznej mogą powstać problemy związane z niestabilnością systemu energetycznego (wahania napięć). Problem ten można częściowo złagodzić stosując w elektrowni wiatrowej złożone systemy maszyn elektrycznych pracujące w połączeniu z układami energoelektronicznymi jak przedstawiają to rysunki nr 6 i nr 7. [2]



Rys. nr 6. Turbina wiatrowa z prądnicą synchroniczną, prostownikiem i falownikiem.

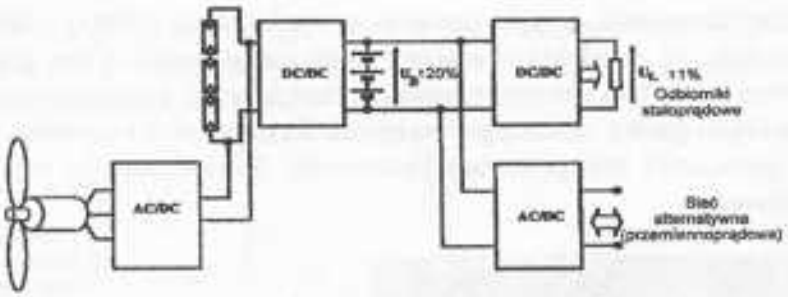


Rys. nr 7. Turbina wiatrowa z maszyną dwustronnie zasilaną (pierścieniową) i układem energoelektronicznym.

Są to jednak rozwiązania znacznie droższe niż układy z maszyną asynchroniczną i tylko częściowo rozwiązują problem. Ze względu na negatywny wpływ elektrowni wiatrowych, wraz z wzrastającą ich mocą, na sieć energetyczną w Polsce koniecznym jest włączenie tych elektrowni do sieci WN. Jednak w tym przypadku wzrasta koszt aparatury łączeniowej. Najlepszym rozwiązaniem problemu w tym przypadku jest wyposażenie sieci elektrycznej w tzw. lokalne zasobniki energii, które mogłyby w sposób natychmiastowy magazynować nadwyżki energii z elektrowni wiatrowych i oddawać te nadwyżki do sieci w przypadku braku energii z elektrowni wiatrowych.

6. ELEKTROWNIE HYBRYDOWE

Pewnym rozwiązaniem w miarę stabilnego przekazywania energii do odbiornika lub sieci energetycznej wydaje się łączenie elektrowni wykorzystujących źródła odnawialne w elektrownie hybrydowe. Rysunek nr 9 przedstawia schemat blokowy hybrydowej elektrowni słoneczno - wiatrowej.

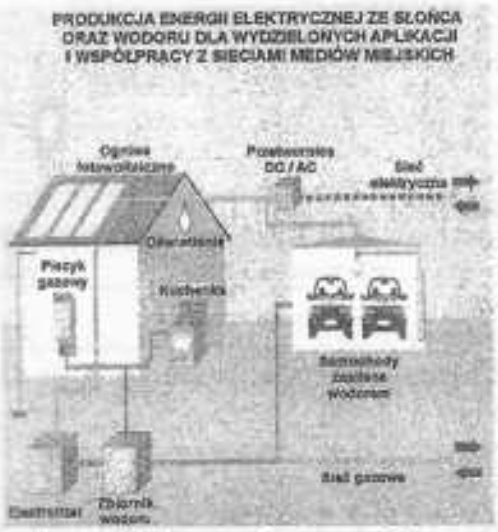


Rys. nr 9. Hybrydowa elektrownia tłoczno - wiatrowa

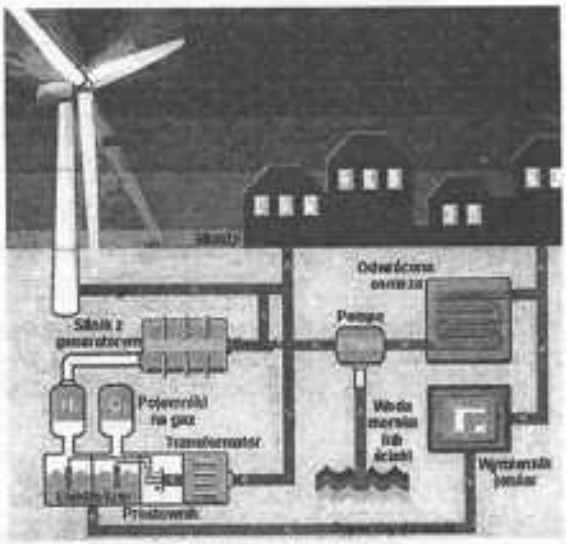
Przeprowadzone badania wykazały, że w układzie jest stosunkowo łatwo realizować zasadę „maksimum energii ze źródła najtańszego". Niestety system nie pokrywa zapotrzebowania na energię przez cały czas. Wynika to z faktu, że w warunkach polskich występują znaczne przedziały czasu, w których brak jest jednocześnie dostatecznego promieniowania słonecznego i wiatru.

5. MAGAZYNY DO DŁUGOTRWAŁEGO PRZECHOWYWANIA ENERGII

Rysunek nr 10 przedstawia blokowy schemat układu, który zapewnia zapotrzebowania w energię domu mieszkalnego. Maksymalne wykorzystanie energii produkowanej przez elektrownię fotowoltaiczną jest możliwe w wyniku wprowadzania „magazynu wodoru". Pełne zaopatrzenie w energię budynku jest jednak możliwe przy współpracy z siecią elektryczną i gazową. Rysunek nr 11 przedstawia inny przypadek zastosowania „magazynu - wodoru" dla usprawnienia pracy układu z turbiną wiatrową.



Rys nr 10 Zaopatrzenie w energię domu mieszkalnego

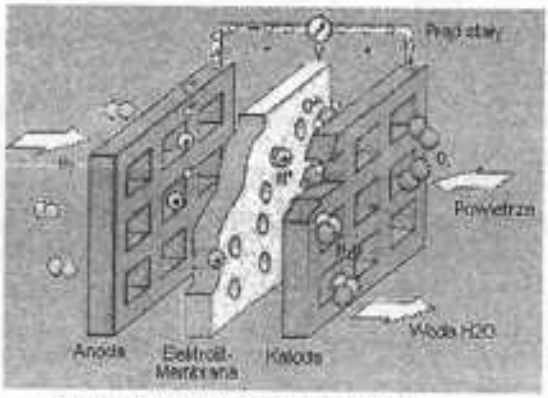


Rys nr 11 Elektrownia wiatrowa z magazynem wodorowym

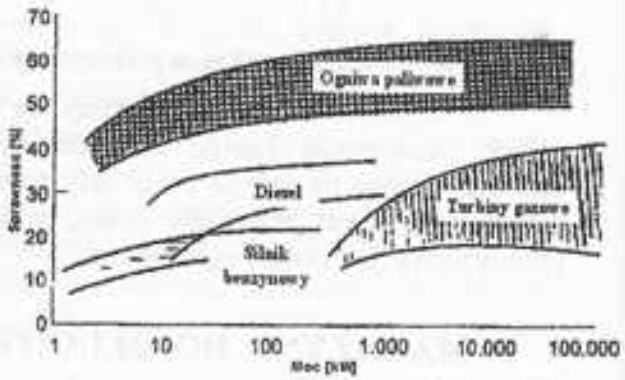
8. OGNIWA PALIWOWE

Na rysunku nr 11 przedstawiono elektrownie wiatrową, w której dla wydłużenia czasu wykorzystania energii elektrycznej produkowanej przez turbinę wiatrową użyto elektrolizera, zbiornika wodoru i turbiny napędzanej wodorem sprzężonej z generatorem energii elektrycznej. Na obecnym etapie rozwoju ogniw paliwowych turbinę gazową i elektrolizer można zastąpić rewersyjnym ogniwem paliwowym. Ogniwo paliwowe może

pracować jako przetwornik energii zawartej w wodorze na energię elektryczną lub jako ogniwo rewersyjne tzn. produkując wodór i zamieniając wodór w energię elektryczną. Ta zamiana odbywa się w tym samym ogniwie. Rysunek nr 12 przedstawia schemat blokowy najprostszej wersji ogniwa zasilanego wodorem. Rysunek nr 13 przedstawia przykładowe porównania sprawności energetycznej elektryczną. Porównanie to wypada na korzyść ogniwa paliwowego.



Rys nr 12 Zasada działania ogniwa paliwowego



Rys nr 13 Porównanie sprawności różnych przetworników energii

Sprawność układu można zwiększyć wykorzystując ogniwo paliwowe w tak zwanym układzie skojarzonym.

Przez zastosowanie odpowiedniego przemiennika chemicznego zwanego reformerem ogniwo paliwowe zasilane wodorem może być zasilane np: gazem ziemnym lub metanolem. Tabela nr 1 zawiera zestawienie różnego rodzaju ogniw paliwowych.

Tabela 1 Porównanie różnych typów ogniw paliwowych

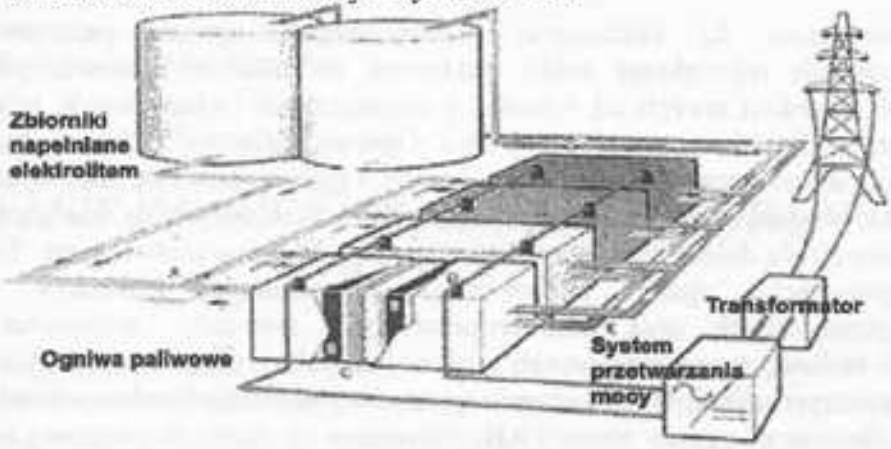
Typ ogniwa paliwowego	„Zestalone tlenki"	Stopione węglany	Kwasowy	Zasadowy	Z membraną wymiany protonów
Elektrolit	Ceramika	Stopiona sól	H_3PO_4	KOH	Polimer
Temperatura pracy	1000 °C	650 °C	190 °C	80 – 120 °C	80 – 140 °C
Paliwo	Wodór Tlenek węgiel Produkty reformowania	Wodór Produkty reformowania	Wodór Produkty reformowania	Wodór	Wodór Produkty reformowania
Reformowanie	Zewnętrzne, wewnętrzne	Zewnętrzne, wewnętrzne	Zewnętrzne		Zewnętrzne
Sprawność	> 60%	> 60%	40 – 50 %	40 – 50 %	40 – 50 %
Zakres mocy	> 100MW	> 100MW	200kW do 10MW	100W do 20kW	10W do 10MW

9. OGNIWA PALIWOWE – PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ

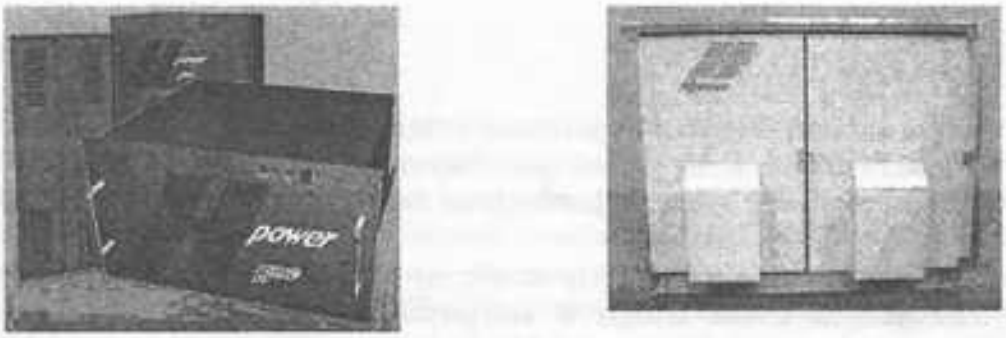
Ogniwa paliwowe znalazły już bardzo dużo zastosowań. Ogniwa paliwowe są obecnie stosowane jako:

- źródła zasilania w telekomunikacji
- źródła zasilania pomocniczego w energetyce
- źródła energii elektrycznej i energii cieplnej w systemach energetyki rozproszonej
- źródła energii dla pojazdów samochodowych, łodzi podwodnych itp.
- źródła energii dla szeregu innych zastosowań a w szczególności jako długoczasowe magazyny energii dla układów energetyki ze źródłami odnawialnymi.

Rysunki nr 14 i nr 15 przedstawiają dwa przykłady zastosowania ogniw paliwowych. Rysunek nr 14 przedstawia schemat blokowy elektrowni szczytowej o mocy 15 MVA. Dla celów zasilania układów telekomunikacji – rysunek nr 15.



Rys nr 14 Elektrownia szczytowa z ogniwem paliwowym



Rys nr 15 Ogniwa paliwowe w systemach zasilania telekomunikacji

10. UKŁADY ELEKTRONICZNE W SYSTEMACH ZE ŹRÓDŁAMI ODNAWIALNYMI I OGNIWAMI PALIWOWYMI

W skład układów ze źródłami odnawialnymi i ogniwami paliwowymi wchodzi dzisiaj wiele urządzeń energoelektronicznych i elektronicznych (układy energoelektroniczne) umożliwiających współpracę odnawialnych źródeł między sobą z układami energetyki rozproszonej lub z siecią energetyczną.

Rysunek nr 16 przedstawia opracowany wspólnie Instytut Energetyki PW oraz firmę APS Energia przykładowy zasilacz z wodorowym ogniwem paliwowym. [2] Przyjęta modułowa koncepcja zasilacza umożliwia bezprzerwowe zasilanie odbiorników energii o mocy od 2,5 do kilkudziesięciu kilowatów. Układ nie wymaga stosowania baterii chemicznych jak i też źródeł energii elektrycznej z silnikami spalinowymi.

Rys nr 16. System zasilania z ogniwem paliwowym typu PULSTAR

11. PODSUMOWANIE

Wprowadzone do zastosowań przemysłowych ogniwo paliwowe umożliwi wyeliminowanie największej wady elektrowni ze źródłami odnawialnymi jaką jest zależność produkcji energii od warunków zewnętrznych (intensywność promieniowania słonecznego, siła wiatru, ilości wody itp.). Ogniwo paliwowe będzie w tym przypadku pełniło rolę długookresowego magazynu energii. Ogniwa paliwowe jako wysokosprawne i bez części wirujących przetworniki energii paliw chemicznych na energię elektryczną i cieplną umożliwią dalsze lepsze wykorzystanie energii paliw pierwotnych. Wprowadzenie wysokosprawnych ogniw paliwowych, niezawodnych układów przetwornic energoelektronicznych oraz mikroprocesorowych systemów sterowania i nadzoru umożliwi budowę wysokosprawnych i niezawodnych systemów cieplnej i elektrycznej energetyki rozproszonej. Wprowadzenie systemów sterowania i nadzoru współpracujących z siecią telekomunikacyjną, siecią LAN, Internetem itp. umożliwi budowę niezawodnych systemów energetyki rozproszonej przy jednoczesnej możliwości zapewnienia centralnego sterowania i lepszego serwisu.

12. LITERATURA

1. Europa auf dem Weg zur Energiewende Solarbrief 1/98
2. Dmowski, Biczel, Kras: „Stand-alone telecom power system supplied by PEM fuel cell and renewable sources". International Fuel Cell Workshop 2001, str.244, Kofu, Japonia, 12-13 listopada 2001
3. Dmowski, Biczel, Kras: Aspekty techniczno-ekonomiczne wykorzystania wybranych odnawialnych źródeł energii w energetyce. Ekologiczne Aspekty Wytwarzania Energii Elektrycznej, Warszawa, 14-16.11.2001
4. Christian Wunderlich and Franz Reichenbach, PEM Fuel Cell Cogeneration Power Plant Optimization – On the way to a commercial product, Fuel Cell Home, Lucerne/Switzerland, 2001
5. Szczupak: Optymalizacja układów energoelektronicznych hybrydowej elektrownii z baterią słoneczną i turbiną wiatrową. Rozprawa doktorska Politechniki Warszawskiej, Warszawa, kwiecień 2001

ABSTRACT

The paper considers problems connected with development of renewable energy sources. Predictable scenarios are shown. Importance of renewable energy sources is discussed. Polish renewable energy sources and problems connected with its cooperation with public grid are characterized. Fuel cells as a new energy sources in power industry are also described.

mgr inż. Maciej KOZAK Akademia Morska Szczecin;
mgr inż. Andrzej DREAS Akademia Morska Szczecin.

STEROWANIE INDUKCYJNEJ KLATKOWEJ PRĄDNICY WAŁOWEJ

Przedstawiono układy generatorów indukcyjnych z przekształtnikami energoelektronicznymi stosowanymi do sterowania wzbudzeniem generatorów oraz do sterowania i przekształcania energii wyjściowej z generatora. Omówiono metody i algorytmy sterowania przekształtnikowych układów generatorów indukcyjnych. Przedstawiono wybrane wyniki badań symulacyjnych tych układów.

1. WPROWADZENIE

W dążeniu do praktycznej realizacji prądnic elektrycznych o możliwie najlepszych własnościach eksploatacyjnych można zauważyć tendencje do stosowania generatorów indukcyjnych. Obecnie generatory indukcyjne są używane przede wszystkim w elektrowniach wodnych i elektrowniach wiatrowych. W większości przypadków prądnice takie wykonane są jako maszyny pierścieniowe. Chęć uzyskania generatorów o jak najprostszej konstrukcji, nadających się do eksploatacji w miejscach trudno dostępnych poddaje pomysł zastosowania generatorów indukcyjnych klatkowych.

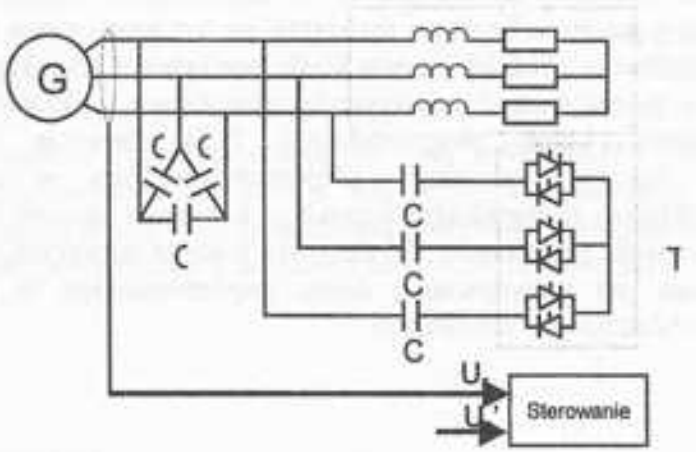
Obecnie do wytwarzania dużych mocy (hydrogeneratory) jako układ wzbudzenia generatorów indukcyjnych stosuje się baterie kondensatorów, które dołącza się w czasie działania układu w zależności od zapotrzebowania na moc czynną i bierną. Skokowe zmiany ilości mocy biernej dostarczanej do generatora spowodowane załączaniem kolejnych sekcji kondensatorów powodują, że układ nie pracuje przy optymalnym wydatku mocy we wszystkich stanach pracy. Innym rozwiązaniem jest obłożenie stojana generatora magnesami trwałymi, które zapewniają stały strumień wzbudzający prądnice. Lepszym rozwiązaniem jest zapewnienie takiej ilości mocy biernej, przy której wzbudzenie prądnicy można ściśle powiązać z charakterem i wielkością obciążenia. Warunek ten można spełnić wykorzystując nowoczesne, mikroprocesorowe układy sterowania lub elementy logiki programowalnej PLD sterujące przekształtnikami energoelektronicznymi. Rozwój technologii półprzewodnikowych w ostatnich latach spowodował, że moc układów energoelektronicznych o komutacji twardej bardzo wzrosła i należy spodziewać się rozwoju generatorów indukcyjnych o coraz większych mocach. W pracy zaprezentowano istniejące już rozwiązania i nową, implementowaną w praktyce metodę sterowania generatorów indukcyjnych klatkowych.

2. PRZEKSZTAŁTNIKOWE UKŁADY Z PRĄDNICAMI INDUKCYJNYMI

W zależności od rodzaju zastosowanego przekształtnika energoelektronicznego i realizowanych przez niego funkcji wyróżnić można trzy podstawowe grupy przekształtnikowych układów generatorów indukcyjnych:

1) Generatory indukcyjne o konwencjonalnym wzbudzeniu kondensatorowym, z zastosowaniem łączników energoelektronicznych do załączania i wyłączania sekcji kondensatorów oraz sterowania mocą bierną doprowadzaną do generatora,
2) Generatory indukcyjne z przekształtnikiem energoelektronicznym, przyłączonym do zacisków generatora i równolegle do obwodów obciążenia generatora. Przekształtnik ten pracuje jako sterowane źródło mocy biernej dostarczanej do generatora,
3) Generatory indukcyjne z przekształtnikiem energoelektronicznym, włączonym szeregowo między generator i obwody obciążenia generatora. Przekształtnik ten pracuje zarówno jako sterowane źródło mocy biernej dostarczanej do generatora oraz dokonuje przekształcania energii elektrycznej wytwarzanej przez generator do innej postaci, bardziej dogodnej do wykorzystania lub dalszego przesyłu.

Należący do pierwszej grupy przekształtnikowy układ generatora indukcyjnego z zastosowaniem trójfazowego tyrystorowego łącznika prądu przemiennego przedstawiono na rys. 1. W układzie tym występuje stała bateria kondensatorów C, zapewniająca wzbudzenie generatora w stanie jałowym oraz sekcja kondensatorów regulacyjnych C_s załączanych i sterowanych przez łącznik tyrystorowy T. Stosowane mogą być również układy z kilkoma sekcjami kondensatorów regulacyjnych współpracujących z oddzielnymi łącznikami tyrystorowymi. Algorytm sterowania łącznikiem jest dobierany najczęściej dla warunków zapewnienia stabilizacji napięcia wyjściowego z generatora, przy zachowaniu stałej lub zmiennej częstotliwości tego napięcia. Przy projektowaniu i doborze tych łączników należy uwzględnić, że ich praca występuje przy częstych przełączeniach i konieczności komutowania naładowanych kondensatorów. Tego rodzaju układy generatorów indukcyjnych pozwalają na uzyskanie stabilizacji napięcia wyjściowego z dokładnością do kilku procent i są zalecane dla generatorów autonomicznych o małej i średniej mocy.

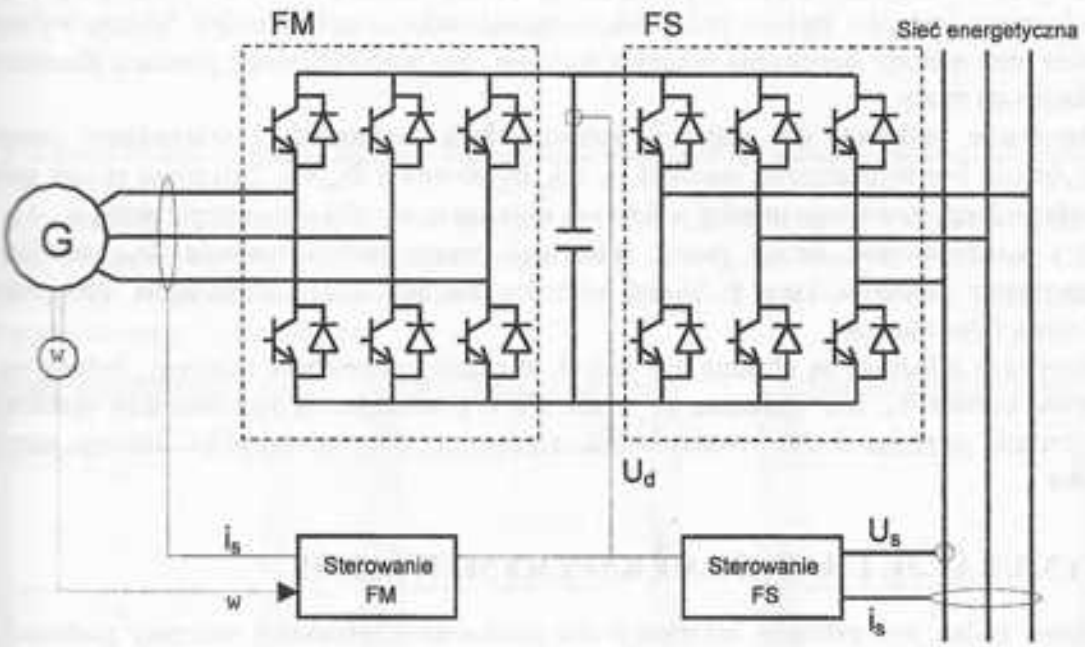


Rys. 1. Generator indukcyjny z zastosowaniem łącznika prądu przemiennego do sterowania sekcją baterii kondensatorów i sterowania mocą bierną wzbudzenia.

Stosowane są przekształtniki energoelektroniczne z obwodem pośredniczącym i o topologii falownika napięcia lub falownika prądu. W zależności od topologii w obwodzie pośredniczącym przekształtnika występuje odpowiednio albo kondensator o dostatecznie dużej pojemności lub dławik o dostatecznie dużej indukcyjności. Obecnie dominujące zastosowanie znajdują układy z tranzystorowym falownikiem napięcia sterowanym metodą MSI. Przedstawione układy przekształtnikowe charakteryzują się możliwością dużej częstotliwości przełączeń zaworów oraz możliwością stosowania różnych algorytmów sterowania. Tego rodzaju przekształtnikowe układy generatorów indukcyjnych pozwalają na uzyskanie stabilizacji napięcia wyjściowego z bardzo wysoką dokładnością, kształtowanie przebiegów napięć i prądów generatora, poprawę jakości generowanej energii elektrycznej oraz sterowanie procesem wzbudzenia generatora.

Generatory indukcyjne często pracują jako układy autonomicznego zasilania energią elektryczną odbiorników tej energii. Obecnie dąży się do zapewnienia również możliwości współpracy tych generatorów z lokalną siecią energetyczną.

Układ generatora indukcyjnego, który należy do trzeciej grupy przedstawiono na rys.2. Falownik przyłączony do zacisków generatora pełni rolę sterowanego źródła mocy biernej dostarczanej do generatora oraz dokonuje przekształcenia wytwarzanej przez generator energii elektrycznej prądu przemiennego na energię prądu stałego ładującego kondensator pośredniczący. Energia kondensatora przetwarzana jest następnie przez falownik sieciowy i dostarczana do sieci energetycznej. Stosowane są przekształtniki energoelektroniczne z obwodem pośredniczącym o topologii falownika napięcia lub falownika prądu.



Rys. 2. Układ generatora indukcyjnego sterowanego prądowo współpracującego z siecią energetyczną trójfazową

Przy zastosowaniu odpowiednio szybkich przyrządów pomiarowych i algorytmów obliczeniowych możliwa jest rezygnacja z pomiaru prędkości obrotowej i wykorzystanie do tego celu obserwatorów. W omamianym rozwiązaniu całość energii jest przetwarzana przez układ energoelektroniczny, co pozwala na pełną kontrolę przepływu energii, lecz niesie ze sobą ograniczenia związane z technologią przyrządów półprzewodnikowych.

3. STEROWANIE PRĄDNICĄ

Moment elektromagnetyczny maszyny dany jest zależnością:

$$M = \frac{3}{2}\frac{L_m}{L_w}\mathrm{Im}[I_1\Phi_w^*]$$

gdzie I_1 jest prądem wyjściowym falownika zasilającym generator a Φ_w to strumień wirnika. W celu uzyskania optymalnej wartości momentu należy wyznaczyć odpowiednie wartości I_1 i Φ_w. Z powyższego równania wynika, że można wyznaczyć nieskończenie wiele par parametrów spełniających założenia dotyczące momentu. Zakładając, że $\Phi_{wq}=0$ otrzymuje się parametry, przy których zachodzi odprzężenie między wektorem strumienia wirnika i prądem stojana. Uwzględniając to otrzymujemy zależność na moment:

$$M = \frac{3}{2}\frac{L_m}{L_w} i_q \Phi_w .$$

Częstotliwość poślizgu prądu wyjściowego falownika równa jest wówczas:

$$\omega_1 = i_q \frac{L_m}{T_w \Phi_w},$$

gdzie L_m to indukcyjność wzajemna a T_w oznacza stałą czasową wirnika. Wykorzystana w pracy metoda znana jest jako metoda pośrednia orientacji wektora pola wirnika. Można wykorzystać również inne metody sterowania prądnicy wałowej, np. bezpośredniego pomiaru strumienia lub regulacji kąta mocy.

Sterowanie odbywa się poprzez kontrolę kąta wektora Φ_w. Warunkiem utrzymania odsprzężenia jest wyznaczenie wartości ω_2 tak, by strumień $\Phi_{wq}=0$. Zależność ta jest spełniona dla kąta prostego zawartego miedzy wektorem strumienia wirnika a osią poprzeczną q.

Przy kontrolowaniu zmian znaku składowej poprzecznej strumienia Φ_{wq} możliwe jest utrzymywanie wartości kąta ϕ blisko wartości zadanej $\pi/2$ i sterowanie częstotliwością wyjściową falownika ω_2.

Wszystkie założenia są słuszne dla stałych w czasie parametrów maszyny, jednak np. stała czasowa wirnika T_w jest zmienna, co wiąże się z koniecznością zastosowania uproszczeń w algorytmach sterowania lub zastosowania algorytmu uwzględniającego zmiany rezystancji wirnika.

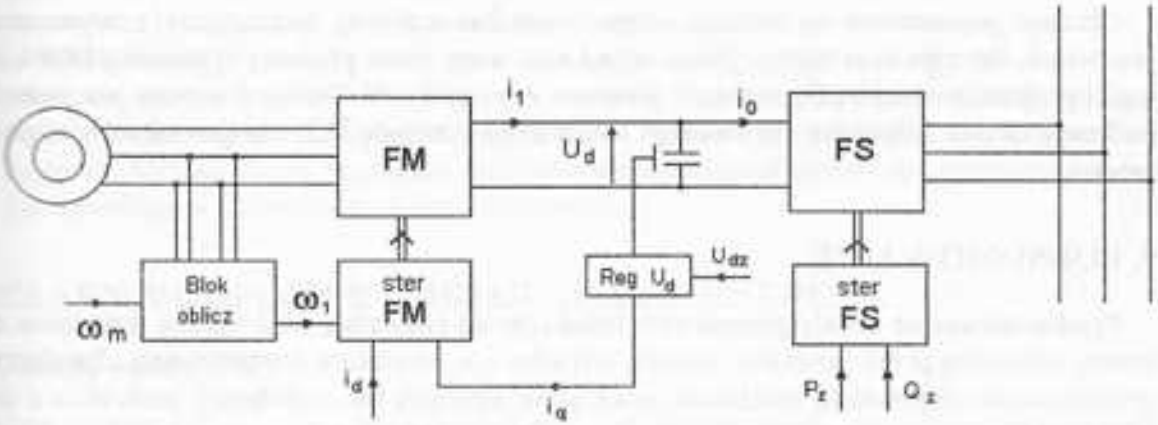
5. SYMULACJE I BADANIA EKSPERYMENTALNE

Celem badań jest zebranie informacji dla porównania własności maszyny poddanej kilku różnym sposobom sterowania. Wybrano następujące sterowania:

- proste sterowanie U/f
- prądowe sterowanie z orientacją strumienia wirnika
- prądowe sterowanie z orientacją strumienia stojana
- napięciowe sterowanie z orientacją strumienia wirnika
- napięciowe sterowanie z orientacją strumienie stojana
- prądowe sterowanie odsprzężone wg. zasady PLL

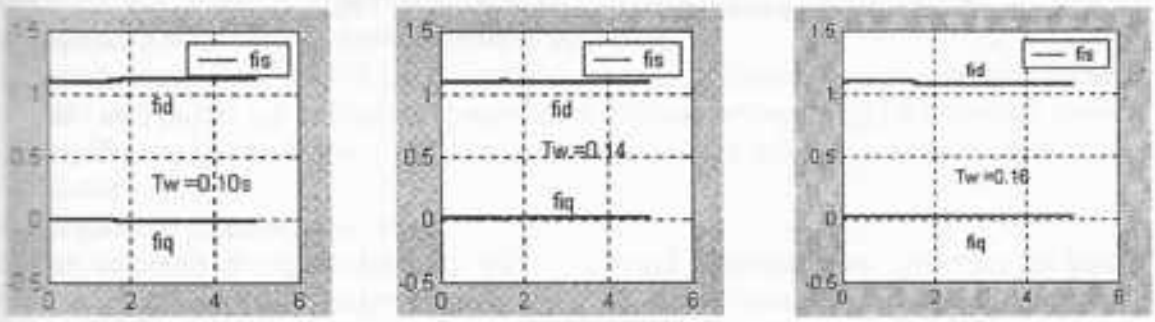
Zmienność stałej czasu wirnika powoduje zmiany stosunków fazowych w maszynie, pojawienie się drugiej składowej strumienia. Zmiany te zachodzą w różnym stopniu zależnie od metody sterowania. Interesującym sposobem sterowania jest metoda pętli fazowej (PLL, phase-locked loop),w którym ortogonalność strumienia i prądu utrzymywana jest przez regulator kąta. Wyjściem regulatora jest częstotliwość poślizgu maszyny.

Dla porównania własności sterowania różnymi metodami przeprowadzono badania symulacyjne i w części badania eksperymentalne. Pokazane jest porównanie przebiegów przy załączeniu obciążenia w maszynie sterowanej prądowo i napięciowo oraz w sytuacji zmiany w czasie pracy stałej czasu wirnika.

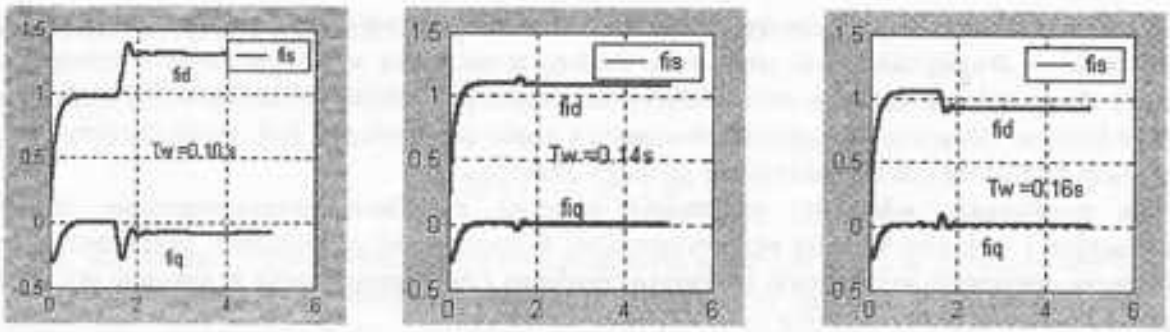


Rys. 3. Schemat blokowy elektrowni wałowej z maszyną indukcyjną klatkową i pośredniczącym obwodem prądu stałego.

Struktura składa się z maszyny klatkowej i kaskady falowników napięciowych. Jeden falownik (maszyny, FM) przyłączony jest od strony trójfazowej do stojana maszyny klatkowej , drugi (sieciowy, FS) wyjściem trójfazowym do sieci. Oba falowniki mają po stronie prądu stałego wspólny kondensator elektrolityczny.



Rys. 4. Wyniki symulacyjne sterowania maszyny przy wymuszeniach: prądowym, napięciowym i pętli PLL przy stałym obciążeniu.



Rys. 5. Wyniki symulacyjne sterowania maszyny przy wymuszeniach: prądowym, napięciowym i pętli PLL przy zmianie obciążenia.

Obecnie prowadzone są badania eksperymentalne maszyny indukcyjnej z wymuszeniem prądowym. Do tego celu wykorzystano układ sterowany przez procesor sygnałowy DSP i układ logiki programowalnej PLD zasilające generator o mocy 5 kW. Dalszym etapem jest praktyczna realizacja układu falownika sterowanego napięciowo i metodą PLL dla generatorów większych mocy.

5. PODSUMOWANIE

Przekształtnikowe układy generatorów indukcyjnych pozwalają na dokładne sterowanie mocą bierną, pobieraną przez generator, energią wyjściową z generatora, kształtowanie charakterystyk generatora oraz zapewniają możliwość pracy autonomicznej lub współpracy generatora z siecią. Układy te stwarzają nowe możliwości budowy układów zasilania i sterowania.

6. LITERATURA

1. Wierzejski M. : *Wybrane zagadnienia sterowania maszyn elektrycznych*, Prace Seminaryjne Instytutu Elektrotechniki i Elektroniki Okrętowej WSM, Szczecin 2001.
2. Drury B. : *The Control Techniques Drives and Controls Handbook*, IEE Power and Energy Series 35, London, 2001.
3. Alakula. M. : *Power electronic control*, Lund University, 2002.

Józef GALCZAK[1]

WPŁYW CELOWO IMPLANTOWANYCH „SŁABYCH PUNKTÓW" NA WYTRZYMAŁOŚĆ UKŁADU IZOLOWANY PŁASKOWNIK NAWOJOWY-PŁYTA W OLEJU TRANSFORMATOROWYM

W artykule przedstawiono wyniki badań nad wpływem celowo implantowanych osłabień układu izolowany transformatorowy płaskownik nawojowy-płyta na jego wytrzymałość przy udarach piorunowych. Miejsca inicjacji wyładowań ustalano na zdjęciach wykonanych metodą cieniową w świetle lasera o komutacji dobroci Analiza statystyczna wyników badań ujawniła, że wpływ osłabień jest maskowany przez „wrodzone" słabe punkty układu, a sztucznie wprowadzone dają o sobie znać dopiero przy napięciach wyższych od pewnego napięcia krytycznego odmiennego dla obu biegunowości udaru. To napięcie krytyczne jest mniejsze w przypadku udaru ujemnego niż dodatniego, co przesądza małą przydatność tego drugiego do detekcji „słabych punktów w układach papierowo-olejowych.

1. UKŁADY MODELOWE I METODYKA PROBIERCZA

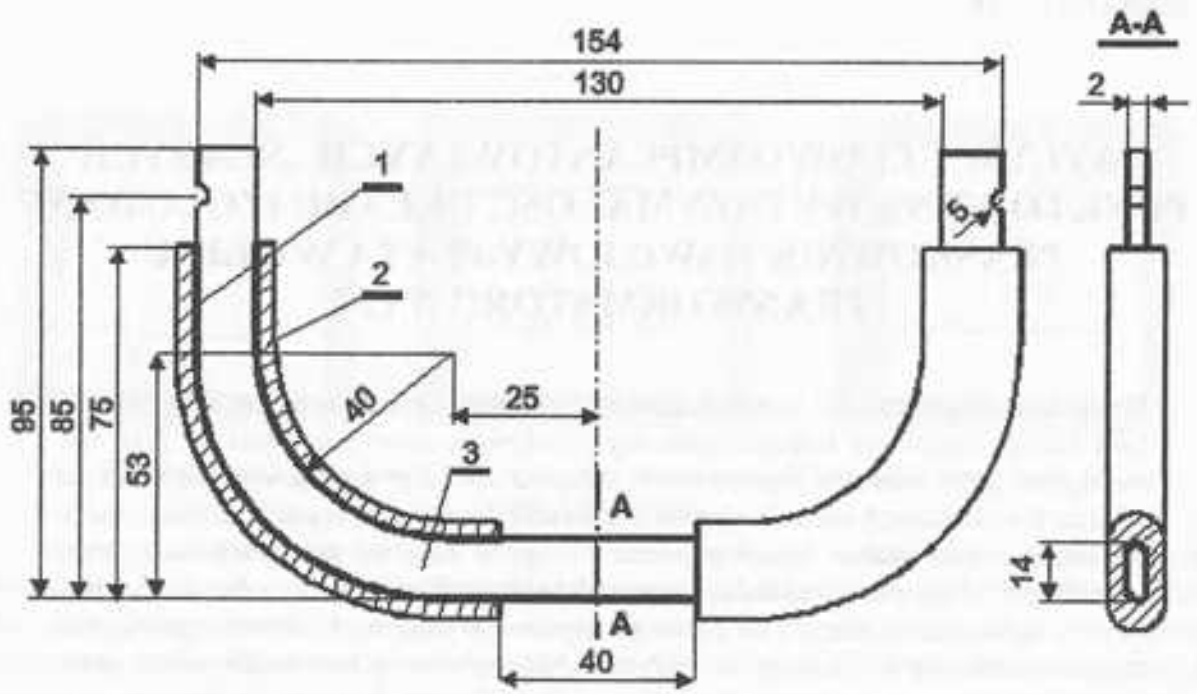
1.1 Układy modelowe

Elektrody WN zostały wykonane z płaskownika nawojowego izolowanego papierem i wygiętego w kształt płaskiej litery U. Części zaokrąglone zostały grubo zaizolowane papierem marszczonym, aby ograniczyć miejsca występowania wyładowań do „roboczej" części elektrody o długości B=40 mm i posiadającej fabryczną izolacje o grubości 0,2 mm (Rys.1). Elektroda WN została powieszona 25 mm ponad elektrodą płaską pokrytą płytką z transformerboardu o grubości 10mm tak, że fabrycznie izolowana część „robocza" była do niej równoległa. Elektroda płaska – aluminiowy dysk o średnicy Φ=183 mm - pokryta była płytką z transformerboardu o grubości 10mm tak, że wolna przestrzeń olejowa miała wysokość 15 mm. W przekroju osiowym A-A elektrody WN, u dolnej jej krawędzi, umieszczono następujące „słabe punkty":

a opaskę z miedzianego drutu o średnicy 0,13 mm;
b pasek ziaren FeCr o ϕ<50 μm o szerokości 1 mm naniesiony na powierzchnię papieru;
c taki sam pasek, ale umieszczony pomiędzy dwiema zewnętrznymi warstwami papieru;
d szpilka zagięta na końcu i wprowadzona pod izolację powodująca jej miejscowe wybrzuszenie;
e przekłucie papieru stalową igłą.

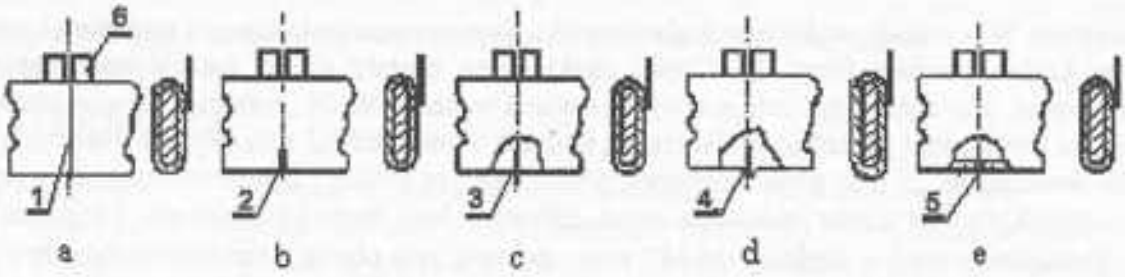
Szkice centralnych części elektrody WN z powyżej wymienionymi „słabymi punktami" pokazano na Rys.2. Każda z elektrod posiadała trójznakowe oznaczenie: numer kolejny w serii, rodzaj „słabego punktu" według powyższego zestawienia oraz biegunowość udaru probierczego. I tak 8a+ oznacza ósmą elektrodę z opaską z drutu badaną udarem dodatnim. Aby na zdjęciach móc określić czy wyładowanie wyrastało ze „słabego punktu" czy spoza niego, naklejono nad nim, na każdej elektrodzie z Rys.2, płytkę z cienkiego transformerboardu z pionowym nacięciem, przypominająca szczerbinkę karabinu.

[1] Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki, ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, tel. (0-42) 6312676, e-mail: jgalczak@mail.p.lodz.pl



Rys.1 Elektroda WN: 1-izolacja fabryczna; 2-izolacja dodatkowa; 3-płaskownik miedziany

Liczby elektrod z każdego rodzaju „słabym punktem" zestawiono w Tab.1. Wszystkie elektrody WN oraz płytki z transformerboardu zostały poddane obróbce próżniowo-termicznej opisanej w szczegółach w [1].



Rys.2 Centralne części elektrody z Rys.1: 1-opaska z drutu; 2-zewnętrzny pasek z pyłu FeCr; 3-wewnętrzny pasek z pyłu FeCr; 4-wybrzuszenie izolacji; 5-otwór w izolacji; 6-szczerbinka.

1.2. Metodyka probiercza

Do badań użyto udaru piorunowego 0,83/50μs. Zdjęcia przestrzeni międzyelektrodowej wykonywano w świetle lasera rubinowego o komutacji dobroci. Czas ekspozycji, to znaczy szerokość czasowa impulsu światła - 50μs [2] Każda z elektrod używana była tylko raz, ponieważ niemal po każdym przeskoku następowało przebicie izolacji papierowej. Napięcie probiercze podwyższano skokowo co 4,8 kV od wartości gwarantującej brak przeskoku aż do napięcia U_0, przy którym następowała inicjacja wyładowań, która w tym układzie elektrod kończyła się nieodmiennie przeskokiem.

2. WYNIKI BADAŃ

Liczby wyładowań ze słabych punktów zestawiono w Tab.1. Ponieważ badania wykonywano w ciągu trzech lat używając różnego gatunku olejów transformatorowych, porównywanie ze sobą bezwzględnych wartości U_0 byłoby bezcelowe. W każdym roku obliczano zatem średnią

wartość U_0 elektrod pozbawionych „słabych punktów" ($\overline{U}_0$) odnosząc do niej wszystkie bezwzględne wartości U_0 (zarówno elektrod zdrowych, jak i z „osłabioną" izolacją). Ten sposób prezentacji wyników pozwala na porównywanie ze sobą wartości napięć przeskoku w poszczególnych latach.

Tab.1 Liczby elektrod ze „słabymi punktami" i liczby wyładowań biorących z nich początek

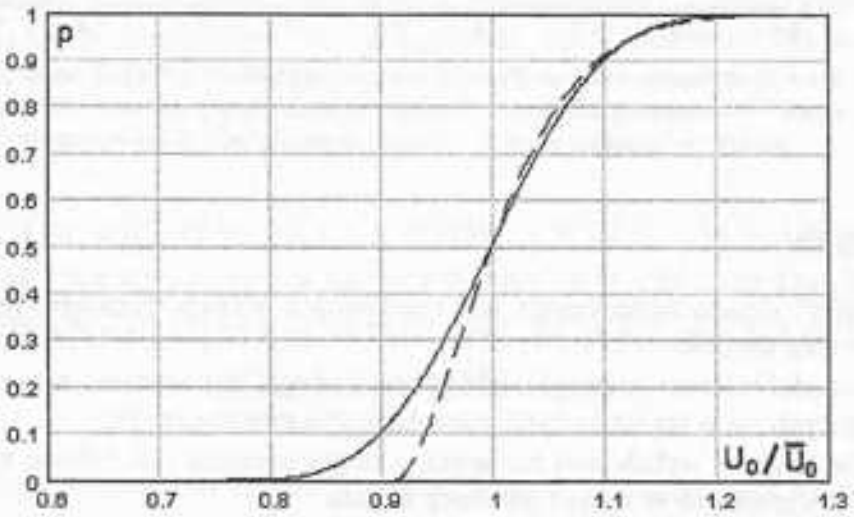
„Słaby punkt"	Liczby elektrod		Liczba wyładowań wyrastających ze "słabych punktów"	
	+	-	+	-
a (opaska z drutu)	20	20	3	8
b (zewn. pasek FeCr)	10	10	2	4
c (wewn. pasek FeCr)	10	10	3	2
d (wybrzuszenie)	10	10	2	4
e (przekłucie)	10	10	2	2
bez "słabego punktu"	60	60	-	-

Ponieważ liczby wyładowań ze „słabych punktów były niewielkie (z wyjątkiem opaski z drutu przy udarze ujemnym), sensowna obróbka statystyczna wartości U_0 w ramach każdej kategorii była niemożliwa; dokonano jej zatem biorąc pod uwagę wszystkie te wartości U_0, które dotyczyły wyładowań ze „słabych punktów" dla każdej biegunowości udaru osobno. We wszystkich przypadkach napięcia U_0 posiadały rozkład Weibulla. Wyniki oszacowań statystycznych dla przypadku dodatniego udaru probierczego zestawiono w Tab.2.

Tab.2 Parametry rozkładów napięć początkowych wyładowań w jednostkach względnych dla udaru dodatniego

Miejsce inicjacji wyładowań	Liczba wyładowań	Parametry rozkładu Weibulla		
		U_{00}	U_{01}	k
zdrowa izolacja	78	0.7578	1.0243	3.4222
"słabe punkty"	12	0,9108	1.0196	1.6112

Na Rys.3 pokazano krzywe Weibulla o parametrach zestawionych w Tab.2.



Rys.3 Dystrybuanty rozkładu Weibulla wartości względnych dodatnich napięć przeskoku: —— elektrody zdrowe; – – – elektrody ze „słabymi punktami"

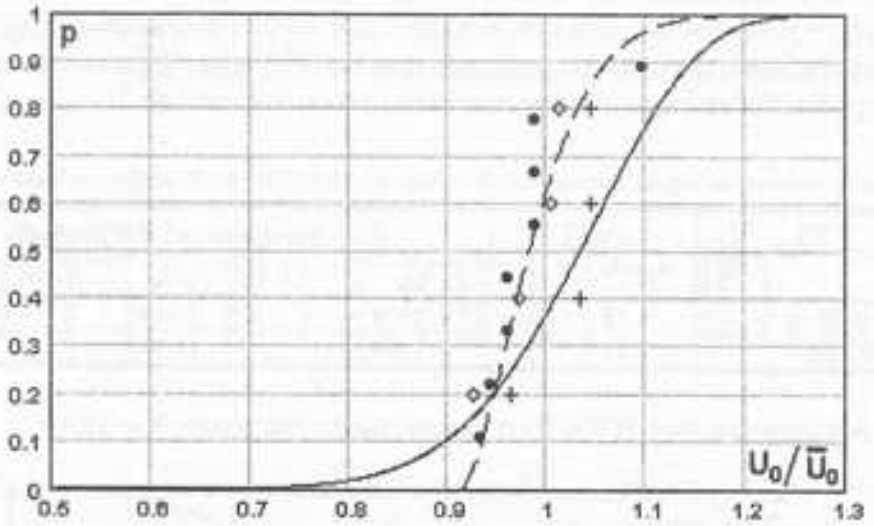
Że współczynnik kształtu k krzywej przerywanej jest mniejszy, niż krzywej ciągłej, nie jest zaskoczeniem; zaskoczeniem jest natomiast powiększenie parametru przesunięcia U_{00} elektrod ze „słabymi punktami" w porównaniu do elektrod zdrowych, co oznacza, że - statystycznie rzecz biorąc - układ "osłabiony" jest w pewnym zakresie napięć probierczych bardziej wytrzymały, niż układ zdrowy [2]. Nie ulega natomiast zmianie parametr skali U_{01}, co zresztą charakterystyczne jest także dla wyników pomiarów przy udarze ujemnym (patrz Tab.2 i Tab.3).

W Tab.3 zamieszczono parametry rozkładów Weibulla układów elektrod badanych udarem ujemnym.

Tab.3 Parametry rozkładów napięć początkowych wyładowań w jednostkach względnych dla udaru ujemnego

Miejsce inicjacji wyładowań	Liczba wyładowań	Parametry rozkładu Weibulla		
		V_{00}	V_{01}	k
zdrowa izolacja	69	0.5127	1.0656	6,2986
"słabe punkty"	20	0,9134	0.9997	1.5331

Ilustracją danych z Tab.3 jest wykres z Rys.4. Oprócz krzywych rozkładu Weibulla naniesiono nań także punkty odpowiadające wyładowaniom z trzech rodzajów „słabych punktów" najbardziej ważących na wytrzymałości układu elektrod.



Rys.4 Dystrybuanty rozkładu Weibulla wartości względnych ujemnych napięć przeskoku: —— elektrody zdrowe; – – – elektrody ze „słabymi punktami". Naniesione punkty: • - opaska z drutu; + - zewnętrzny pasek FeCr; ◊ -wybrzuszenie.

3. DYSKUSJA

„Słaby punkt" układu izolacyjnego jest rzeczywiście słabym punktem, jeżeli spełnione są równocześnie dwa warunki:

- prawdopodobieństwo rozwoju wyładowań z niego jest wyższe, niż z innych punktów znajdujących się w takich samych warunkach elektrostatycznych;
- napięcie inicjacji wyładowań biorących z niego początek jest niższe, niż napięcie wyładowań inicjowanych w innych punktach układu.

Pierwszy warunek jest we wszystkich przypadkach spełniony, co łatwo wykazać na przykładzie zewnętrznego paska z pyłu FeCr. Posiada on szerokość 1 mm, a stał się miejscem inicjacji wyładowań przy udarze ujemnym czterokrotnie (patrz Tab.1), zatem prawdopodobieństwo z próby bycia słabym punktem równe jest 0,4. Geometryczne prawdopodobieństwo wyładowania

z paska zdrowej izolacji o szerokości 1 mm równe jest 1/40=0,025; pierwszy warunek został więc spełniony (spełniłoby go zresztą nawet jedno wyładowanie na 10 z paska FeCr).

Wykresy z Rys.3 i Rys.4 pokazują, w jakim stopniu spełniony jest drugi warunek. W pewnych zakresach napięć probierczych „osłabiony" układ elektrod jest bardziej wytrzymały niż zdrowy, co oznacza, że „wrodzone" słabe punkty układu w większym stopniu go osłabiają, niż sztucznie implantowane. W przypadku udaru dodatniego obie krzywe przecinają się w punkcie, którego odciętą jest mediana; choć przy napięciach wyższych od mediany krzywa przerywana przebiega nieco powyżej, niż krzywa ciągła, to różnice są tak niewielkie, iż można uważać, że obie one się pokrywają. Efektywność dodatnich udarów w procesie detekcji słabych punktów układów izolacyjnych jest zatem znikoma. Gdy udarem probierczym jest udar ujemny, wzajemne położenie obu krzywych jest bardziej korzystne, gdyż przecinają się w punkcie o odciętej 0,94, co odpowiada prawdopodobieństwu p=0,2; obszar napięć probierczych nieskutecznych z punktu widzenia ujawniania słabych punktów jest w tym przypadku węższy. Udar ujemny jest zatem bardziej przydatny w praktyce probierczej. Wydaje się, że „słabe punkty" użyte w niniejszej pracy byłyby skuteczniej ujawnione podczas próby napięciem przemiennym.

4. WNIOSKI

1. Sztucznie implantowane „słabe punkty" stają się rzeczywiście słabymi punktami układu izolacyjnego dopiero powyżej pewnej wartości napięcia probierczego; poniżej tej wartości są zdominowane przez „wrodzone" osłabienia izolacji. Jest to szczególnie dobrze widoczne w przypadku ujemnych udarów probierczych.
2. Ujemne udary piorunowe są znacznie bardziej przydatne w procesie detekcji osłabień układu izolacyjnego, niż dodatnie.

5. LITERATURA

1. Galczak J.: *Electrical discharges in transformer oil in a set-up of paper covered electrodes.* Archives of Electrical Engineering, vol. XLVIII, no.1-2, pp.155-172.
2. Galczak J.: *Laboratorium do badania rozwoju wyładowań elektrycznych w oleju transformatorowym.* Materiały II Ogólnopolskiego Sympozjum nt.„Inżynieria Wysokich Napięć IW-94", Poznań-Kiekrz, 25-28 września, 1994, str. 263-266.
3. Mosiński F., Galczak J.: *Niektóre problemy izolacji transformatorów olejowych.* Materiały II Sympozjum Technicznego i Naukowego nt. Materiały i Układy Elektroizolacyjne w Przemyśle Elektrotechnicznym, Ustroń-Jaszowiec, 26-28 kwietnia, 1985, str. 181-185.

EFFECT OF ARTIFICIALLY IMPLANTED „WEAK POINTS" ON LIGHTNING IMPULSE STRENGTH OF AN INSULATED TRANSFORMER WIRE-TO-PLANE SET-UP IN TRANSFORMER OIL

Results of investigations on lightning impulse strength of an insulated transformer wire-to-plane set-up in mineral oil containing artificially implanted "weak points" are presented in the paper. The points the discharges stemmed from were read out from photographs of the interelectrode space taken out by means of the shadowgraph method using a Q-switched laser as a flash lamp. Results of statistical processing of the breakdown voltages revealed that at a voltage lower than a critical one the influence of the "weak points" is overshadowed by inherent impairments

of the insulation system i.e. the apparently weaker set-ups are actually stronger than the sound ones. At higher voltages the "weak points" used to take, however, the upper hand. The critical voltage is different for both impulse polarities; for the negative one is much lower than for the positive one, which precludes the positive lightning impulses from being efficient in detection of insulation faults.

Sergiej GERMAN-GALKIN, Technical University of Szczecin, 71-210 Szczecin, Żołnierska 49, Ph.+(4891) 434-4226, fax +(4891) 433-8123, E-mail:sgalkin@wi.ps.pl.
Eugenij OCHIN, Technical University of Szczecin, 71-210 Szczecin, Żołnierska 49, Ph.+(4891) 449-5587, E-mail: eochin@wi.ps.pl.

THE DEWELOPMENT OF COMPUTER TRAINING COURSE ON ELECTROTECHYNICAL DISCIPLINES WITH USE OF MACROMEDIA TECHNOLOGIES

In the abstract one of possible ways of the organization of distance learning is submitted. This way is based on use of package Authorware which is developed by firm Malromedia. The komputer training kourse is developed for electrotechnical disciplines. It contains a theoretical material, tests, tasks and laboratory works.

1. THE ORGANIZATIONALSRUKTURE OF THE TUTORS CREATION.

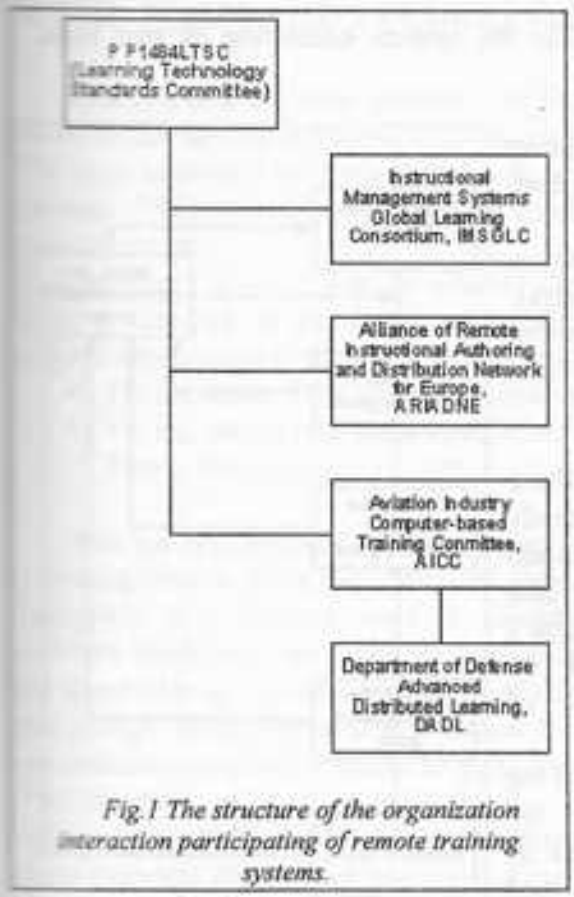


Fig.1 The structure of the organization interaction participating of remote training systems.

Now a lot of the international organizations, consortia, national committees of the separate countries closely cooperate in a sphere of the training systems development functioning on the basis of information technologies [3].
Among these organizations the leading part belongs accredited IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) committee P1484LTSC (Learning Technology Standards Committee), which supervises work of the following organizations:

- Instructional Management Systems Global Learning Consortium, IMSGLC;
- Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Network for Europe, ARIADNE;
- Aviation Industry Computer-based Training Committee, AICC;
- Department of Defense Advanced Distributed Learning, DADL.

There are also other organizations participating in creation of remote systems of training.
The interaction structure of the listed organizations is shown on fig. 1.

2 THE REQUREMENTS TO COMPUTER TRAINING PROGRAMS.

The application of computer tutors gives a lot of advantages in comparison with a usual way of training. The basic advantages of computer training programs [3,4]:

- ✓ The combination of information's granting forms (text, graphics, animation, audio, video);
- ✓ Granting of the right to operate the size and portions sequence of a teaching material;
- ✓ Opportunity of an any choice of a place and time for work above a teaching material;
- ✓ Maintenance of a technological basis for flexible interaction between the student and the teacher.

However the development's level of computer facilities and Web-technology yet is not a sufficient condition for creation of effective training programs. The main thing in the decision of this problem was and remains:

- ✓ The contents of a training course;
- ✓ The maintenance of a feedback's necessary level with a student.

By development of a training course contents it is necessary to define precisely circle of potential *users* and those *purposes* which are pursued with a training course.

The maintenance of feedback with a student is the major condition of an effective tutor creation. If in the program it is not stipulated reactions to student's actions, then training *will not be*.

Thus, the tutor should be projected and developed as the system consisting of two basic subsystems:

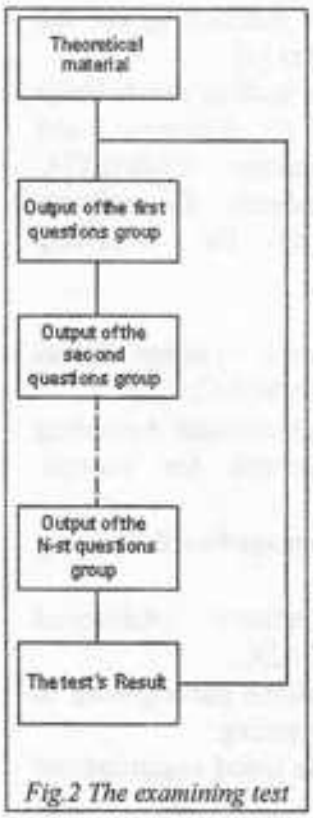


Fig.2 The examining test

1. The subsystem of training providing distribution of a teaching material.

2. The subsystem of diagnostics (testing, the control of knowledge), gathering and data processing about a student's work, and efficiency of a tutor.

The interaction's algorithm of these subsystems can be extremely difficult or very simple. Realization of algorithm should take into account features *of a student's contingent* and is directed on achievement *of the purpose* of training.

There are no rigid algorithms of the tutor's organization. There are general circuits of interaction of subsystems training and diagnostics which can be taken as a basis. Such circuits of interaction can be two [3]:

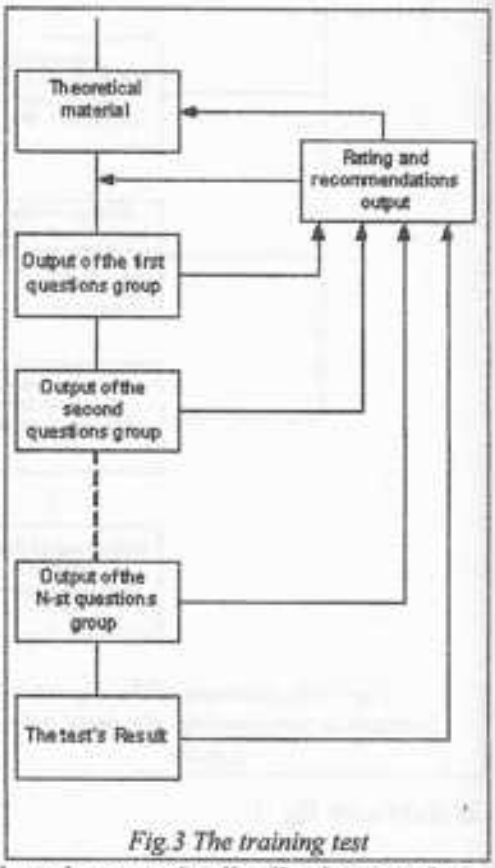


Fig.3 The training test

1. The examining test (fig. 2). This system of training is based on test's distribution on the investigated section. The test can contain:

- ✓ the list of answers, one or several of which are correct;
- ✓ the answer as a word or phrase;
- ✓ the answer as mathematical expression;
- ✓ the answer as number or several numbers.

2. The training test (fig. 3) is based on a recommendations distribution. Such test has for an object to teach the student to think logically with reference to a concrete subject domain.
Each of the considered circuits interaction provides the own level of training.

3 THE INTERNATIONAL STANDARTS OF DEVELOPMENT OF TRAINING RATES.

By present time the following elements of development and application technology of computer training systems are considered standardized:

- ✓ The Content Management Information Model-CMIM) describes the general requirements to performance of a teaching material, the basic purpose is maintenance of correct interaction between client and server parts of a tutor;
- ✓ The Content Package Information Model – CPIM defines the form and structure of a training course at his transfer by users;
- ✓ The Question and Test Interoperability – QTI describes the general requirements to test questions and tasks.

The important component of all named specifications is the circuit of the description of corresponding information model in language XLM (eXtensible Markup Language).

4. THE FORM AND STRUCTURE OF A COMPUTER TUTOR.

Selection of a teaching material, development of the form and structure of his performance is based on the specialized tools which are used at creation of educational computer courses.
The most advanced specialized tool now is Authorware from company Macromedia. Specialized package Authorware allows to reduce considerably the designing time of the user interface of a training course.
It is necessary to note, that the ideology of interactive tutors development in many respects is close to ideology of the Web-publications creation. In the modern program systems using the graphic user interface, three kinds of interactivity are possible:

- ✓ On the basis of the standard management elements (buttons, menu, lists, etc.);
- ✓ On the basis of the links mechanism;
- ✓ Direct manipulation by virtual objects (technology drag-and-drop).

With the help of standard management elements the student can choose a route of moving on a training course, enter the additional data, respond on a test questions. Links allow to carry out navigation on a teaching material, navigation on an additional material and to address to the software supporting the given training course. The techniques of a direct manipulation assumes the direct change of some properties of researched virtual object and supervision over results at this change. With reference to technical disciplines it can be studying of parameters influence of researched system on its basic characteristics.
The structure of a tutor includes the following elements: text, visual, audio and video information. Well worked training courses should contain all listed elements. Proportions of these elements should take into account mental and physiological properties of students.
There are some recommendations of experts in the field of pedagogical physiology about efficiency of perception of a material. Efficiency of perception of various training modes is distributed as follows [3]:

- ✓ Reading of a text material - 10 %;
- ✓ Perception of the hearing information - 20 %;
- ✓ Perception of the visual information – 30 %;
- ✓ Combination of the visual and audio information – 50 %.

5. THR ARCHITECTURE OF REMOTE TRAINING SYSTEMS.

The remote training system will consist of two parts – client (the environment of execution) and server. The basis of the user interface is made with the Web-browser interface. The structure of a client part of training system includes two considered above component – a training subsystem and (in part) a diagnosing subsystem. The server part of training system (Learning Management System – LMS) includes three basic subsystems:

- ✓ The registration subsystem, providing entering of data about students in database, and also initialization of the current session for students, registered earlier;
- ✓ The routing subsystem, providing passage of the student through the tutor's sections;
- ✓ The report formation subsystem, providing reception of data on the achieved results, and also about efficiency of the tutor.

6 CREATION OF A COMPUTERof TRAINING RATE ON ELEKTRICAL ENGINEERING IN PACKAGE AUTHORWARE.

The construction algorithm of a training course with help of Authorware includes the following basic steps:

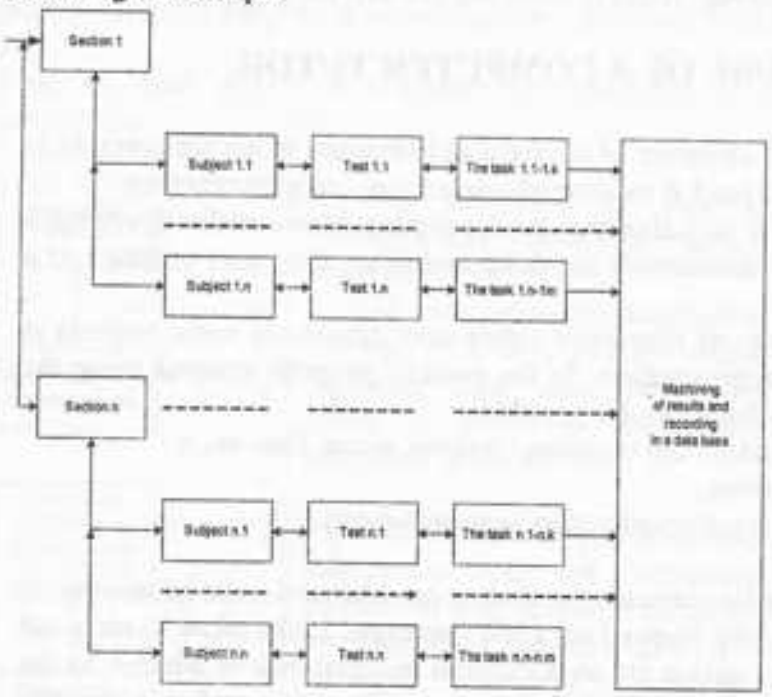


Fig. 4. The Structure of a training course.

- ✓ The definition of the general concept of a course, his purposes and level which should be achieved;
- ✓ The development of the block diagram of a course;
- ✓ The filling by the contents of the block diagram;
- ✓ The creation of navigation means between blocks of a course;
- ✓ The creation of a testing subsystem;
- ✓ The development of a site for the publication of a course.

The block diagram of the general technical course of the electrical engineering, taking into account the listed requirements, is shown on fig. 4. The course contains some semantic sections, each of which contains theoretical subitems (subjects) and polling tests on subjects. Each test contains some questions. The results of testing processed by a computer. Arrows on the block diagram show the navigation ways between various parts of a course.

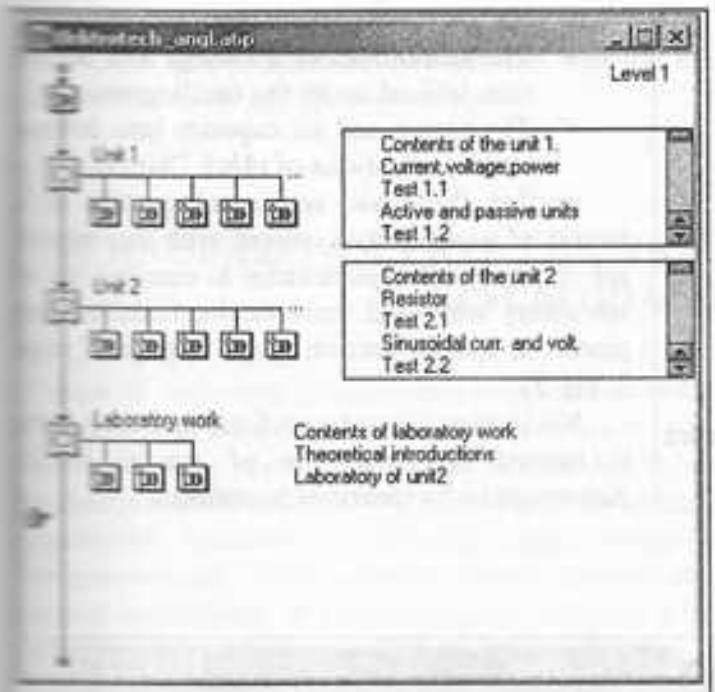


Fig.5 The block diagram of the general technical course of the electrical engineering

By the way of illustration the example of creation of the general technical course on electrical engineering is below considered. The structure of the two first sections of a training course is submitted on fig. 5.

The contents of each subject is placed in the separate block - the menu. Navigation inside the unit is carried out from the menu. Fig. 5 shows the menu of the first unit.

The section contains:

- the theoretical material consisting of three subjects, devoted to the basic concepts and laws of electrical engineering;
- the test containing four lists of questions (the quantity of questions in the list is not limited);
- rating of the test passage.

Example of a question with the list of answers, a little from which are correct, it is submitted on fig. 6. In the same place reaction of the program to the student's answer is shown.

The example of a question with the answer as expression is resulted on fig. 7.

What statement is right?

1. **Power is a product of a current on voltage.**
2. **Electrical voltage express in watt.**
3. **Electrical power express in watt.**
4. **Electrical voltage express in volt.**
5. **Electrical current express in watt/volt.**
6. **Electrical current express in watt/amper.**

Fig. 6. Question with the answers list.

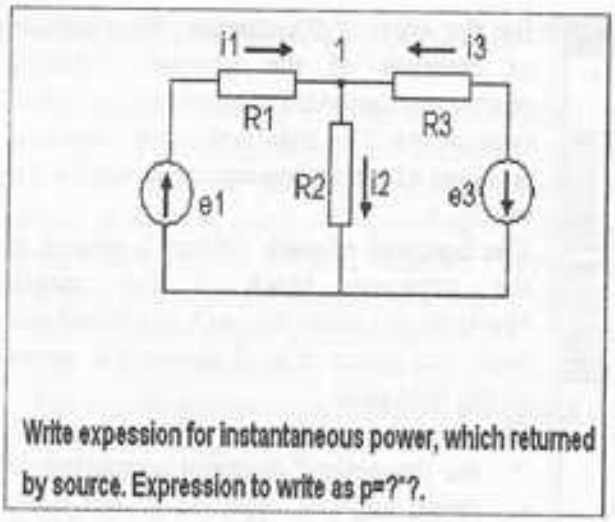
The virtual laboratory works executed in packages Simulink-Power System [1,2], are included in the second section. Methodically laboratory works are carried out after studying a theoretical part. This part includes three subjects (fig. 5). As well as the first, second section comes to an end the test and a rating of test passage.

The second section can be referred to training test (fig. 3) as at carrying out of virtual laboratory work the student should make necessary calculations under indications of devices. These calculations demand knowledge of a theoretical part.

On the fig.8 the virtual laboratory for the resistor research in circuits of a sine wave current and results of modeling are shown.

By results of modeling the table is filled:

- ✓ The working current and voltage (are defined in a window of the block powergui);
- ✓ The initial phases and difference of phases between a pressure(voltage) and a current (are defined(determined) in a window of the block powergui);
- ✓ The period and frequency of a voltage and current (are defined under the oscillogram);



- ✓ The amplitudes of a voltage and current (are defined under the oscillogram);
- ✓ The active and jet capacity (are defined under indications of block Display).

Further the basic settlement parities in a circuit of a sine wave current with the resistor are checked. All explanatories to carrying out of laboratory work and theoretical calculations are placed in special section (page 1, page 2, page 3, fig. 5)

Navigation between sections and their parts is carried out with use of special blocks Autorware or by means of hyperlinks.

Fig. 7. The question with an answer as expression

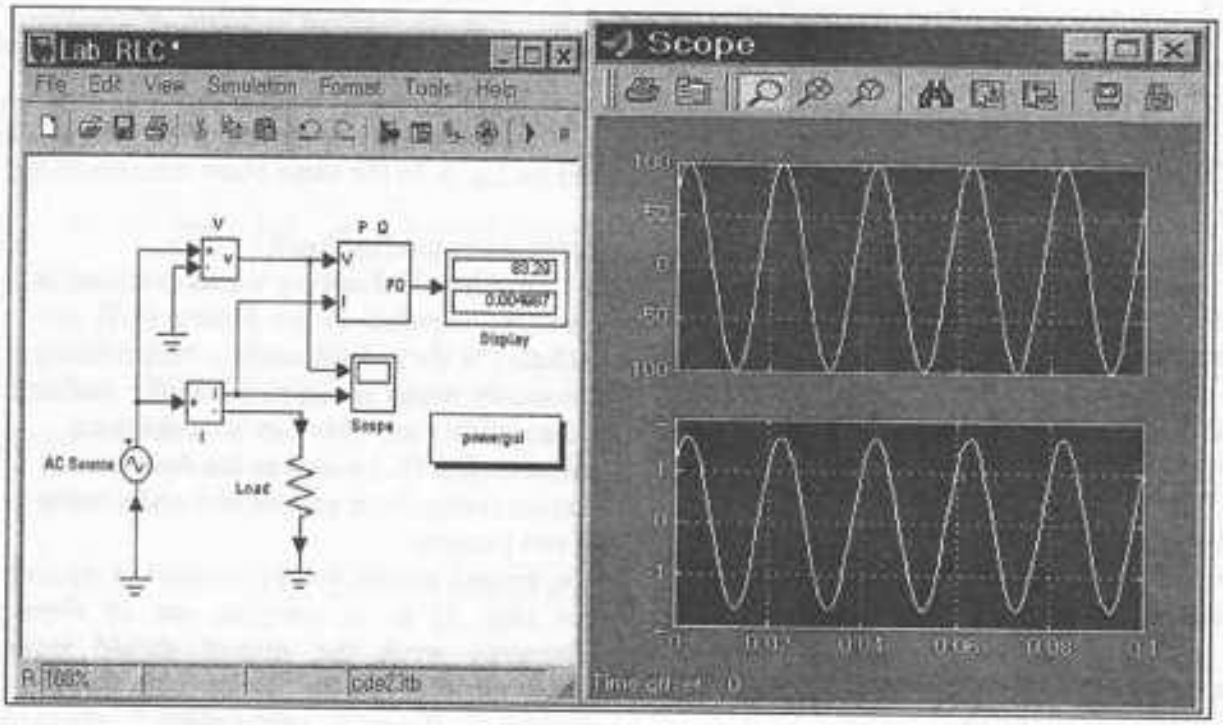


Fig. 8. The virtual laboratory for resistor's research in a circuit of a sine wave current

7. THE LITERATURE.

1. S.German-Galkin. Modeling of semi-conductor systems. Matlab 6.-SPb.: "Crown print", 2001, - 310 with ill.
2. S.German-Galkin. Linear electric circuits.-SPb.: "Crown print", 2002, - 192 with ill.
3. A.Gultjaev. Macromedia AUTHORWARE 6.0. Development of multimedia educational courses.-Sankt-Petersburg: "Crown print", 2002,-399 with ill.
4. A.Gultjaev. Web-design from Macromedia. Flash 5.0. Sankt-Petersburg: "Crown print", 20021,-475 with ill.
5. B. Mrozek, Z. Mrozek. MatLab 6 poradnik użytkownika. Warszawa 2001-239.

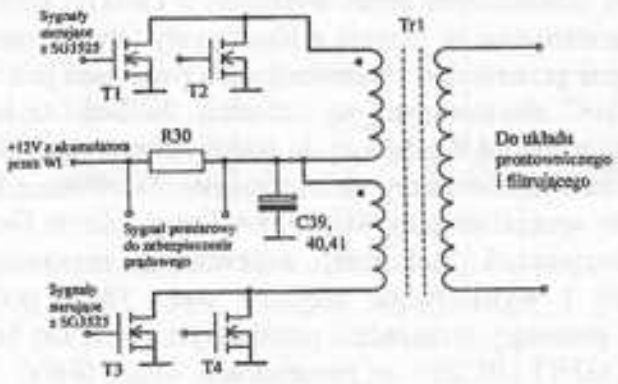
ANDRZEJ GIL. Akademia Morska ul. Morska 81 81-225 Gdynia Katedra Automatyki Okrętowe e-mail: agil@am.gdynia.pl.

JEDNOFAZOWA PRZETWORNICA DC/AC O NAPIĘCIU SINUSOIDALNYM

W artykule omówiono przetwornice częstotliwości DC 12V/AC 220V 50 Hz. Cechą szczególną tej przetwornicy w stosunku do dotychczasowych rozwiązań jest dwustopniowe przetwarzanie napięcia z dużą częstotliwością 33 kHz, o kształcie fali sinusoidalnej napięcia za pomocą modulacji impulsowej MSI. Przedstawiono uproszczony schemat blokowy układu: omówiono zagadnienia związane z realizacją części energetycznej oraz układu sterowania kluczy tranzystorowych. Układ zawiera również ujemne sprzężenie zwrotne stabilizujące amplitudę napięci wyjścioweg. W końcowej części artykułu przedstawiono przebiegi uzyskane z badań laboratoryjnych układu.

1. WPROWADZENIE

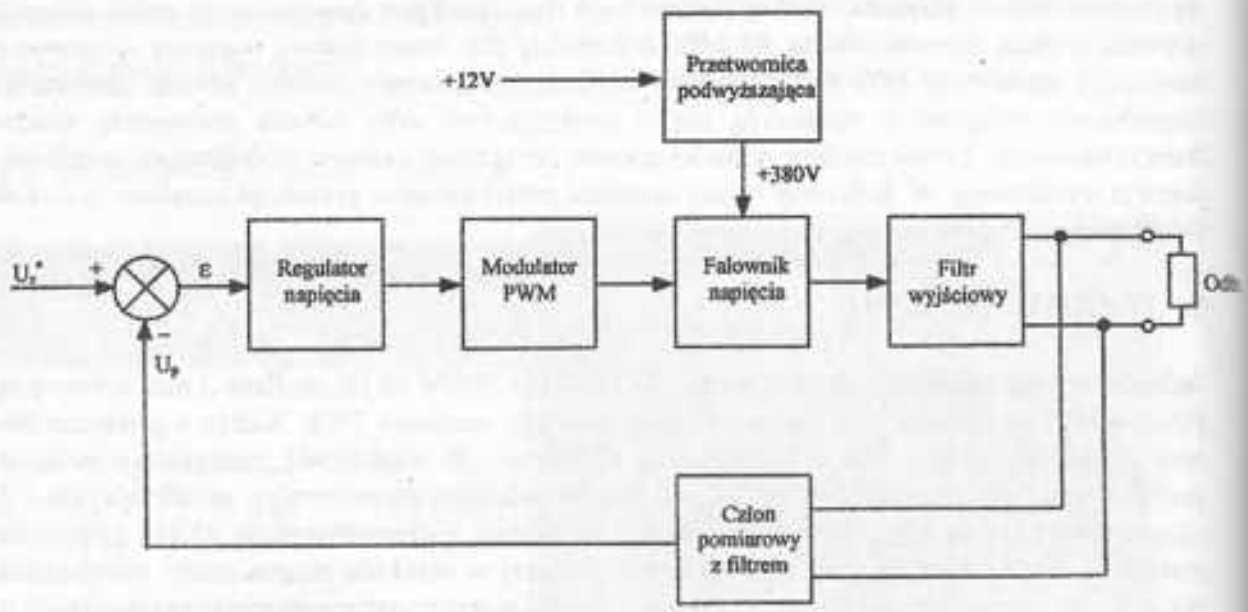
Jednofazowe przetwornice częstotliwości DC 12V/AC 220V 50 Hz zasilane z akumulatora są powszechnie stosowane jako układy bezprzerwowego zasilania UPS. Każdy z producentów tych urządzeń stosuje własne rozwiązania układowe. W większości znanych rozwiązań przetwarzanie napięcia odbywa się za pomocą dwutaktowej przetwornicy składającej się z 2 kluczy tranzystorowych , które przełączają cyklicznie z częstotliwością 50 Hz uzwojenia pierwotne transformatora. Schemat blokowy opisanej w artykule przetwornicy przedstawia rys.2. Cześć energetyczna układu składa się z dwutaktowej transformatorowej przetwornicy o częstotliwości przetwarzania 33 kHz rys.1 podwyższającej napięcie, oraz prostownika z filtrem. Układ ten podwyższa napięcie z 12V na 380V. Dzięki przetwarzaniu napięcia z dużą częstotliwością wymiary transformatora i jego ciężar są znacznie mniejsze niż w klasycznych przetwornicach pracujących z częstotliwością 50Hz. Następny etap przetwarzania napięcia stałego na sinusoidalny realizuje jednofazowy falownik z modulacją szerokości impulsów MSI pracujący w układzie mostkowym. Na wyjściu układu zastosowano specjalny filtr LC (małych wymiarów), który z napięcia zmodulowanego impulsowo przenosi przebieg sinusoidalny o częstotliwości 50 Hz. Przetwornica zawiera układ stabilizacji napięcia wyjściowego.



Rys. 1 Schemat przetwornicy dwutaktowej

2. UPROSZCZONY OPIS POSZCZEGÓLNYCH CZĘŚCI UKŁADU PRZETWORNICY

Przetwornica DC/DC podwyższająca napięcie stałe z 12V na 380V pracuje w układzie przeciwsobnym (ang. push-pull converter) rys.2. Klucze przełączające realizują dwa tranzystory MOSFET 3RF P150 o parametrach:U_{DSO}=100V, I_D=41A, t_{ON}=136 ns, t_{OFF}=141 ns, P_{TOT}=230W. Każdy z kluczy przełączających składa się z dwu tranzystorów połączonych równolegle, w celu zmniejszenia spadku napięcia w stanie nasycenia. Z uwagi na małą indukcyjność uzwojenia pierwotnego transformatora zrezygnowano z układów przepięciowych RC).

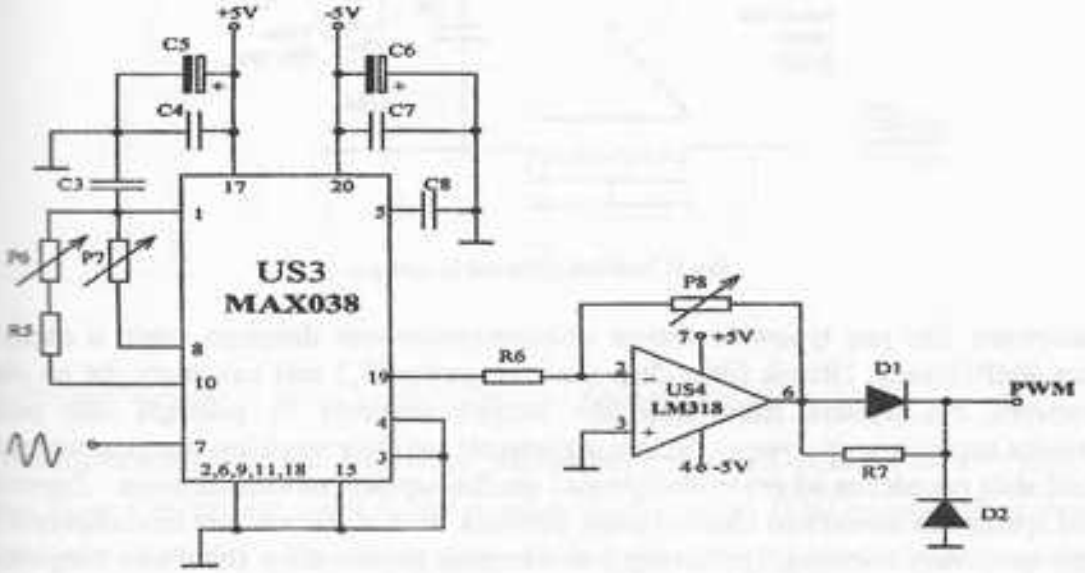


Rys..2. Schemat blokowy przetwornicy

Do budowy transformatora napięcia użyto rdzeń ferrytowy firmy Polter, typu EC 52 wykonany z materiału FERROXYD F-807 o przenikalności początkowej m_i = 2000. Ilość zwoi uzwojenia pierwotnego wynosi 3 i wykonane jest z folii miedzianej o przekroju S_{1CU} = 10mm^2 (20 x 0,5 mm), natomiast uzwojenie wtórne nawinięte jest drutem nawojowym o przekroju S_{2CU} = 0,385 mm^2. W celu zminimalizowaniu zakłóceń między uzwojeniem pierwotnym a wtórnym umieszczono ekran wykonany z cienkiej folii miedzianej o grubości 0,15 mm. Podobnie umieszczono w ekranie z blachy cały transformator. Ekrany podłączono do masy układu. Napięcie przemienne z transformatora podawane jest na prostownik diodowy w układzie mostkowym, zbudowanym na czterech diodach szybkich BYT56J. Proces filtrowania i gromadzenia energii niezbędnej do podtrzymania ciągłości napięcia zasilającego falownik, zapewniają duże kondensatory elektrolityczne. Sterowanie kluczy tranzystorowych zapewnia układ scalony specjalizowany SG 3525A firmy Silicon General [5] . Zawiera on niezbędne obwody zabezpieczeń i stabilizacji, zapewniające niezawodną pracę przetwornicy DC-DC. Stabilizowane i wyfiltrowane napięcie stałe 380V podawane jest dalej na jednofazowy falownik pracujący w układzie mostkowym rys.3. Do budowy falownika użyto tranzystory mocy MOSFET BU290 o parametrach U_{DSO}=600V, I_D=4,5A, t_{ON}=70ns t_{OFF}=150ns Do sterowania tranzystorów wykorzystano specjalizowany wzmacniacz calony IR2113 (tzw.driver) firmy International Rectifier [6]. Po dodaniu kilku elementów jest on w

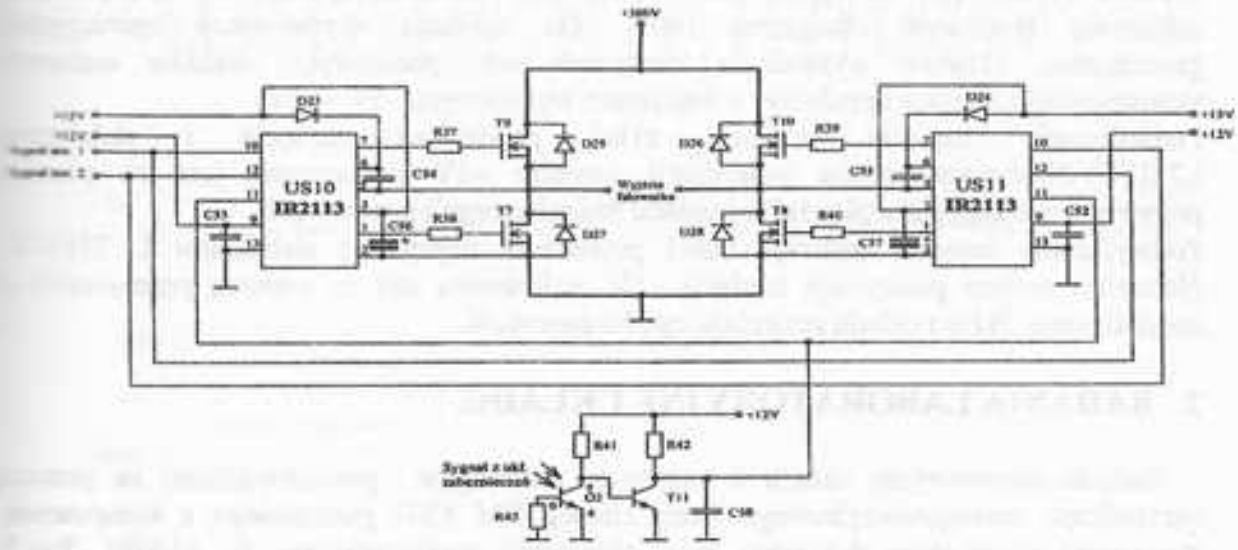
stanie dostarczyć bardzo szybkich impulsów przełączających z niskimi stratami mocy tranzystory kluczujące. Układ zapewnia zwłokę czasową 10us między impulsami tranzystorów w jednej gałęzi mostka falownika oraz blokadę impulsów przy rozładowaniu akumulatora.

Sygnały sterujące podawane są na drivery z generatora funkcyjnego MAX 038 firmy Maxim [2]. Ten specjalizowany układ scalony sterowania falownika stanowi najważniejszą część układu (serce falownika). Sposób podłączenia elementów zewnętrznych i dopasowanie impulsów wyjściowych do tego układu przedstawia rys.4.



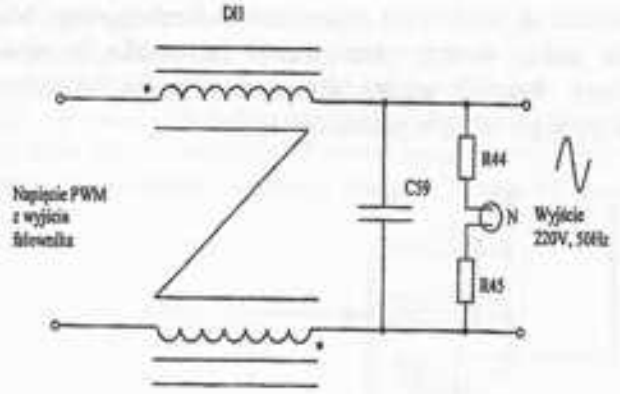
Rys.4. Schemat połączeń generatora funkcyjnego

Na wejście układu scalonego (pin 7) podawany jest sygnał sinusoidalny o częstotliwości 50 Hz i amplitudzie 2,5V wytwarzany przez generator scalony ICL 8038 firmy Intersil. Na wyjściu układu otrzymujemy ciąg impulsów prostokątnych o częstotliwości 20 kHz o zmiennym współczynniku wypełnienia odwzorowującym podawany na wejściu sygnał sinusoidalny, modulacja PWM. Potencjometry P6 , P7 ustalają częstotliwość przetwarzania sygnału (20 kHz). Sygnał wyjściowy z modulatora podawany jest na układ wzmocnienia operacyjnego LM318 i przetwornika zbudowanego na diodach Schottky'ego D1, D2.



Rys.3. Schemat falownika

Ostatnim członem części energetycznej przetwornicy stanowi filtr dolnoprzepustowy zbudowany z elementów LC rys.5.



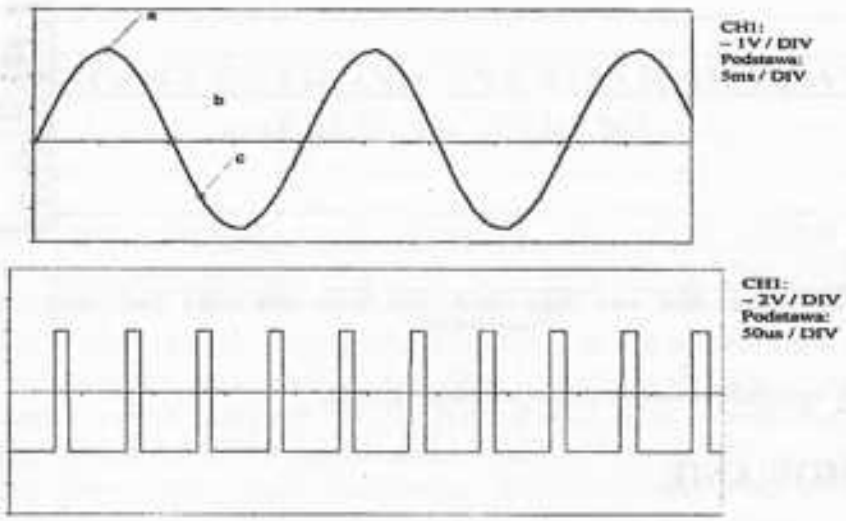
Rys.5. Schemat filtru napięciowego.

Zastosowany filtr jest typowym filtrem dolnoprzepustowym drugiego rzędu o nachyleniu zbocza 40dB/dekady. Dławik filtru DŁ1 o indukcyjności 27,2 mH nawinięty jest na rdzeniu ferrytowym. Na wyjściu filtru włączono lampkę neonową N, pełniącą rolę prostego wskaźnika napięcia wyjściowego. Skuteczna wartość napięcia wyjściowego przetwornicy ma wartość stałą niezależną od prądu obciążenia i spadku napięcia na akumulatorze. Zapewnia to obwód sprzężenia zwrotnego obejmującego falownik wraz z generatorem modulującym MSI. Sygnał sprzężenia zwrotnego pobierany jest z wyjścia przetwornicy (obniżony i separowany za pomocą transformatora),dalej podawany na przetwornik napięcia skutecznego na napięcie stałe (True RMS-to-DC) ADJ36JN firmy Analog Dewice . Sygnał z wyjścia przetwornika porównywany jest w węźle sumującym z sygnałem zadanym. Uchyb regulacji podawany jest na regulator P-I. Sygnał z regulatora steruje pracą wzmacniacza o regulowanym wzmocnieniu AD6333JN firmy Analog Dewice ,na drugie jego wejście podawany jet sygnał z generatora zadającego sinusoidalnego o częstotliwości 55Hz. Sinusoidalny sygnał z wyjścia tego wzmacniacza modyfikuje głębokość modulacji impulsów odwzorowujących sinusoidę na wyjściu generatora funkcyjnego MAX 038. Skuteczność układu stabilizacji i jego parametry potwierdziły badania laboratoryjne. Na rys. 7 przestawiony jest przebieg napięcia wyjściowego na wyjściu przetwornicy oraz ustalanie się amplitudy napięcia przy załączeniu skokowym obciążenia 100W. Do zasilania wzmacniaczy operacyjnych generatorów, układów wyzwalania tranzystora oraz pozostałych układów scalonych skonstruowano zasilacz impulsowy o napięciach wyjściowych –5V +15V.
Podwyższanie napięcia realizuje układ powielacza napięcia i stabilizator L7815CV.Natomiast zmiana polaryzacji napięcia –5V realizowana jest za pomocą przetwornicy o częstotliwości 5kHz i układu zmieniającego biegunowość.
Podwyższanie napięcia realizuje układ powielacza napięcia i stabilizator L 7815CV. Natomiast zmiana polaryzacji napięcia –5V realizowana jest za pomocą przetwornicy o częstotliwości 5kHz i układu zmieniającego biegunowość.

2. BADANIA LABORATORYJNE UKŁADU.

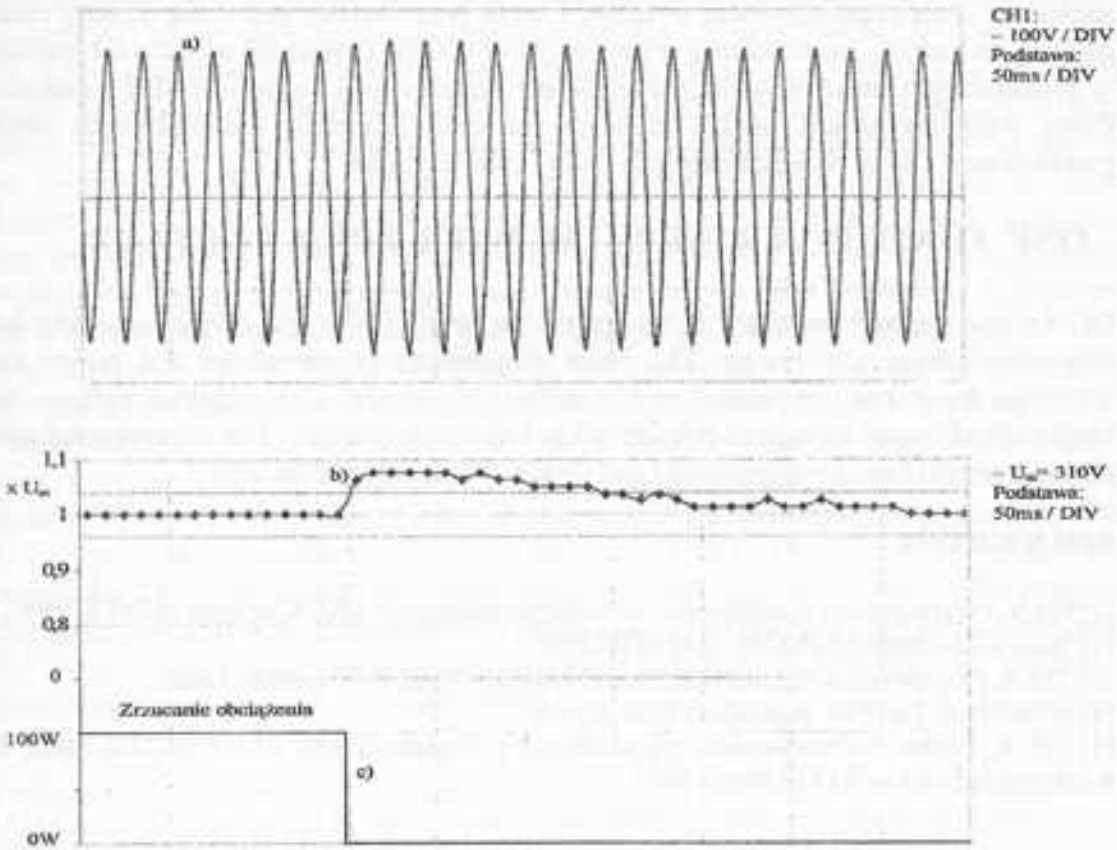
Badania laboratoryjne układu i rejestrację przebiegów przeprowadzono za pomocą oscyloskopu analogowo-cyfrowego firmy Hameg HM 1507 połączonego z komputerem. Rejestracje przebiegów dokonano przy obciążeniu rezystancyjnym P_o =100W. Rys.7.

przedstawia sygnał sinusoidalny wejściowy modulatora MSI (Max 038) oraz sygnały impulsowe wyjściowe (MSI) dla wybranego punktu sinusoidy. Widoczny jest charakter przebiegów z zmodulowanych MSI o częstotliwości 20 kHz.

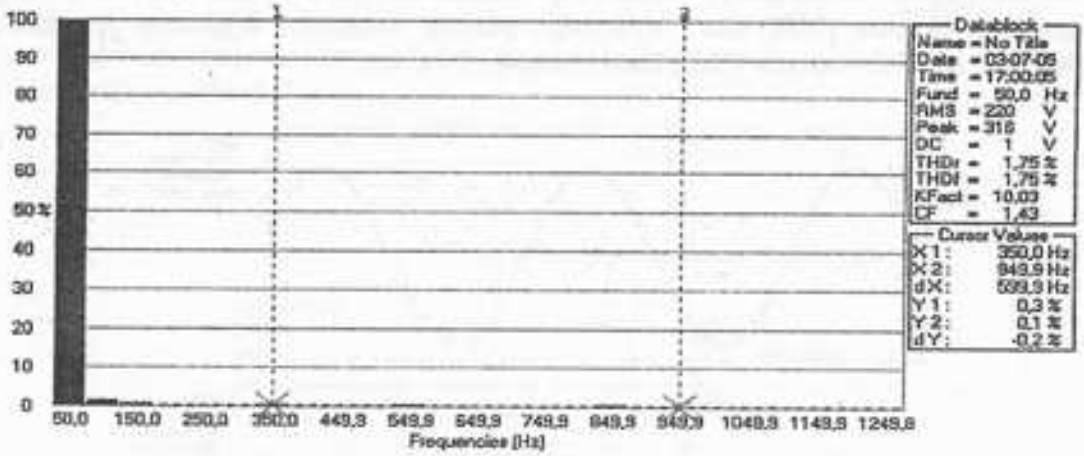


Rys. 6. Przebiegi sygnałów na wejściu i wyjściu generatora funkcyjnego w punkcie c

Rys.7 przedstawia przebieg napięcia wyjściowego, przy skokowym załączeniu obciążenia 100W. Z przebiegów amplitudy napięcia wyjściowego można określić parametry układu regulacji. Układ regulacji cechuje niewielkie przeregulowanie około 10% a czas regulacji około 300 ms. Dobór nastaw regulator dokonano doświadczalnie. Zawartość harmonicznych w przebiegu wyjściowym przedstawia rys. 8 , THD =1,75%



Rys.7. Przebiegi sygnałów na wyjściu przetwornicy, przy skokowym załączeniu obciążenia



Rys. 8 Zawartość wyższych harmonicznych w przebiegu napięcia.

4. PODSUMOWANIE.

Zaproponowana i zrealizowana koncepcja przetwornicy DC12V/AC220MHz stanowi nowoczesne, tanie i niezawodne rozwiązanie układu. Główną innowacją przedstawionego układu w stosunku do dotychczas stosowanych, jest wykorzystanie układu scalonego generatora funkcyjnego MAX038, do generacji impulsów z modulacją MSI sterujących klucze tranzystorowe falownika. Przetwornica zawiera wszystkie niezbędne zabezpieczenia przepięciowe, przeciążeniowe i przeciwzakłóceniowe. Dopuszczalna moc wyjściowa przetwornicy zależy wyłącznie od parametrów użytych tranzystorów mocy i transformatora podwyższającego napięcia, sterowanie nie zależy od mocy wyjściowej . Dzięki przetwarzaniu napięcia z dużą częstotliwością wymiary i waga przetwornicy jest mała. Koszty materiałów użytych do budowy przetwornicy wynoszą około 400 zł. Zawartość wyższych harmonicznych w generowanym napięciu wyjściowym dzięki zastosowanej modulacji MSI i zastosowanym filtrze wyjściowym jest bardzo mała co ma duże znaczenie dla niektórych zastosowań przetwornicy. Układ wymaga dalszych badań i udoskonaleń

ONE FHASE INVERTER DC/AC WITH SINUS VOLTAGE

DC/AC inverter and presented in this paper the new idea of the voltage converter based on two-stage voltage conversion. The block diagram circut operations and power switchies aplication have been presented and describes in details. The negative voltage feedback amplitude of ouput voltage stabilisation has bin also presented. The experimental circut and research results have been presented and dissesed in this paper as well

BIBLIOGRAFIA

[1] Gil A. *Przetwornica częstotliwości z modulacją analogową MSI.* Konferencja PPEE, 1995, Ustroń.
[2] Spezial Electronics MAXIM CD-ROM2000.
[3] Gil A. *Przetwornica częstotliwości DC12V/AC220 50Hz,* PPEE, 2000, Łódz.
[4] Intrnational Rectifier Aplication Note AN978
[5] Gil A, Fobke .S *Przetwornica częstotliwości z modulacją MSI DC12V/AC220 50Hz,* Krajowa Konferencja Elektroniki Kołobrzeg 2003

Michał GWÓŹDŹ[1]
Zygfryd GŁUCHY[2]
Ryszard PORADA[3]

ENERGOELEKTRONICZNY FILTR AKTYWNY AAF03 ECOCURRENT

W artykule przedstawiono zasadę działania oraz wyniki badań prototypu przemysłowego, 1-fazowgo filtru aktywnego opracowanego w firmie ALFINE P.E.P. przy współpracy z Zakładem Energoelektroniki i Sterowania Politechniki Poznańskiej. Filtr realizuje kompensację dynamiczną prądu różnicowego w szerokim paśmie częstotliwości i o dużej dokładności odwzorowania prądu wzorcowego, optymalnego w sensie energetycznym, w prądzie sieci. Moc podstawowego modelu typoszeregu wynosi 1,2 kVA a prąd kompensowalny 15 A (wartość szczytowa). Czas identyfikacji parametrów prądu wzorcowego nie przekracza 30 ms. W konstrukcji filtru wykorzystano m.in. zmiennoprzecinkowy procesor sygnałowy firmy Analog Devices oraz inteligentny moduł mocy IPM 5-tej generacji (MITSUBISHI ELECTRIC) z elementami IGBT. Opcjonalnie filtr może być wyposażony w moduł monitorowania jakości energii z funkcją zdalnej transmisji danych w standardzie GSM/GPRS/Ethernet.

1. WPROWADZENIE

Do kompensacji oddziaływania odbiorników energii na sieć elektroenergetyczną stosowane są powszechnie układy złożone z elementów biernych LC (kompensatory pojemnościowe, pasywne filtry rezonansowe wyższych harmonicznych, filtry o strukturach i parametrach określanych metodami optymalizacyjnymi). W warunkach coraz większego odkształcenia przebiegów napięć, a szczególnie prądów, będącego wynikiem szerokiego zastosowania układów energoelektronicznych, skuteczność takiej kompensacji, szczególnie w stanach dynamicznych, jest na ogół niewystarczająca. Dla zwiększenia efektywności kompensacji proponuje się coraz częściej alternatywne struktury kompensatorów w postaci filtrów aktywnych (tzn. wykorzystujących przekształtniki energoelektroniczne) lub układów hybrydowych (połączenie filtrów aktywnych z układami pasywnymi typu LC) [m.in. 2,3,6,7,8,9,11].

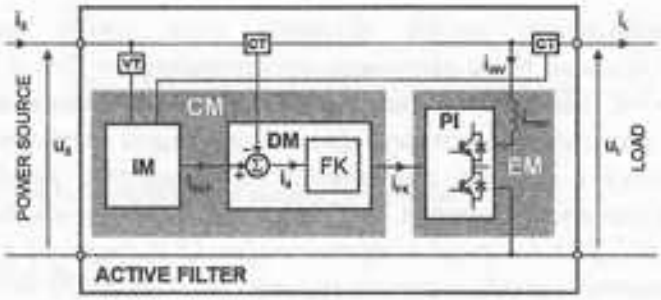
Obecne tendencje rozwoju metod kompensacji oddziaływania odbiorników na sieć zmierzają do opracowania filtrów aktywnych (kompensatorów) realizujących kompensację dynamiczną (w czasie rzeczywistym), o krótkim czasie reakcji na zmianę wartości parametrów sieci lub odbiornika, a jednocześnie odporniejszych na zakłócenia. Obejmują one również optymalizację energetycznych warunków pracy źródeł energii (sieci energetycznej). Kompensacja taka, zgodnie z propozycją S. Fryzego [5] i jej rozwinięciami [4,10,12,13], wymaga eliminacji prądu różnicowego źródła. Eliminacja prądu różnicowego możliwa jest za pomocą źródła prądowego dostarczającego taki prąd w przeciwfazie. Realizacja kompensatora tego typu jest, ze względu na warunki pracy, trudna i wymaga zastosowania układów aktywnych w postaci np. energoelektronicznych sterowanych źródeł prądu.

[1] ALFINE P.E.P., ul. Gronowa 22, 61-680 Poznań, tel.: 061/8205811, e-mail: dsp_support@alfine.pl
[2] ALFINE P.E.P., ul. Gronowa 22, 61-680 Poznań, tel.: 061/8205811, e-mail: gluchy@alfine.pl
[3] Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań, tel.: 061/6652630, e-mail: porada@put.poznan.pl

2. ZASADA DZIAŁANIA

Prezentowany filtr aktywny realizuje zasadę kompensacji optymalnej z wykorzystaniem szerokopasmowego sterowanego źródła prądu. Układ pracuje w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego.

Założonym celem pracy układu jest dynamiczna kompensacja prądu, będącego różnicą między aktualnym prądem odbiornika $i_L(t)$ i prądem wzorcowym $i_{ref}(t)$ (optymalnym prądem aktywnym wyznaczanym metodą zaproponowaną w pracy [10]). Strukturę blokową układu pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Schemat ideowo- blokowy energoelektronicznego filtru aktywnego AAF03 ECOCURRENT

Energoelektroniczny filtr aktywny (kompensator prądu różnicowego) składa się z następujących podstawowych modułów:

- identyfikacji (IM) – będącego częścią modułu sterowania CM, realizującego identyfikację częstotliwości ω_{ref}, fazy φ_{ref} i amplitudy A_{ref} prądu wzorcowego;
- decyzyjnego (DM) – będącego częścią modułu sterowania CM;
- wykonawczego (EM) w postaci energoelektronicznego źródła prądu zrealizowanego w oparciu o przekształtnik energoelektroniczny (PI);
- przetworników pomiarowych napięcia (VT) i prądu (CT).

Proces sterowania kompensatorem przebiega w dwóch fazach:

- wyznaczania przebiegu prądu wzorcowego $i_{ref}(t)$;
- dynamicznego kształtowania przez układ wykonawczy prądu (różnicowego) kompensatora w postaci $i_{INV}(t)=i_L(t)-i_{ref}(t)$.

Jakość i właściwości dynamiczne procesu kompensacji zależą przede wszystkim od przyjętej metody wyznaczania wielkości wzorcowej. Do realizacji algorytmów sterowania energetycznych filtrów aktywnych wykorzystuje się na ogół tzw. teorię chwilowej mocy biernej Akagiego [1]. Nie spełnia ona jednak, zdaniem autorów, wymagań związanych z aktywną optymalizacją pracy układu źródło energii – odbiornik. Z tego względu wzorcowy (optymalny aktywny) prąd źródła wyznaczono metodą wariacyjną [10]. Jest on określony następującym wyrażeniem analitycznym:

$$i_{ref}(t) = {}_a i(t) = {}_e k(t)\, {}_e G(t)\, e(t) = A_{ref}(t)\, e(t) \tag{1}$$

gdzie: $e(t)$ – napięcie źródła, ${}_e G(t)$ – konduktancja zastępcza wyrażona zależnością ${}_e G(t) = {}_a P(t) / E^2(t)$, przy czym ${}_a P(t)$, $E(t)$ – chwilowe wartości mocy czynnej i skutecznego napięcia źródła. Wielkość ${}_e k(t)$ jest współczynnikiem związanym z parametrami schematu zastępczego impedancji wewnętrznej źródła energii [10]. Częstotliwość i faza sygnału wzorcowego $i_{ref}(t)$ są zgodne z odpowiednimi wielkościami podstawowej harmonicznej napięcia tego źródła.

3. PARAMETRY TECHNICZNE ORAZ STRUKTURA SPRZĘTOWA UKŁADU

Podstawowe parametry techniczne filtru aktywnego AAF03 ECOCURRENT, którego widok ogólny pokazano na rys. 2, są następujące:

- liczba faz: 1;
- zasilanie: sieć przemysłowa 230V(±10%)/ 50 Hz;
- moce odbiornika wg typoszeregu: 1,2; 2,3; 6 oraz 12 kVA;
- prąd kompensowalny (wartość szczytowa): 15; 25; 50; 100 A;
- stała czasowa identyfikacji parametrów prądu odbiornika: <25 ms;
- stała czasowa synchronizacji generatora prądu wzorcowego: <30 ms.

Rys. 2. Widok ogólny układu prototypowego o mocy obciążenia 1,2 kVA (ALFINE P.E.P.)

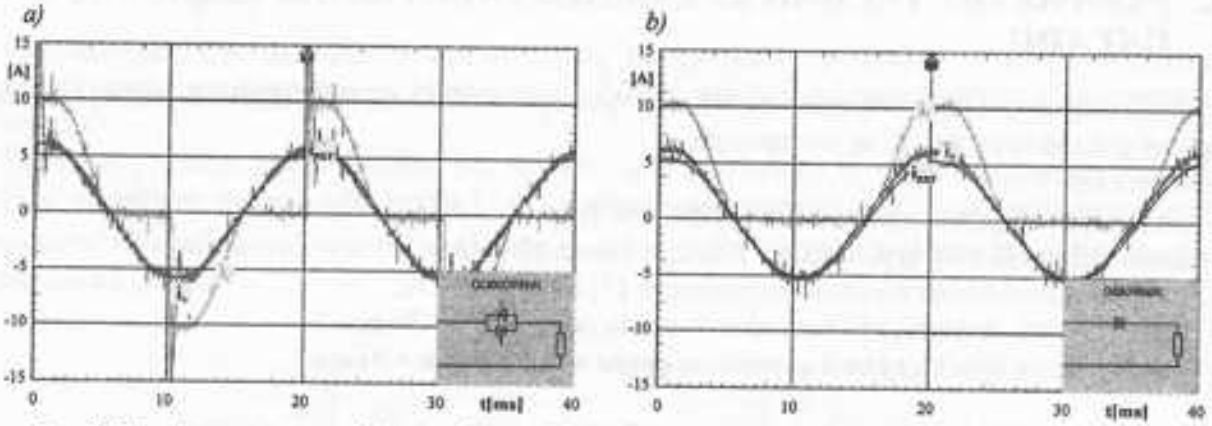
Z uwagi na znaczne wymagania co do mocy obliczeniowej układu sterowania, zastosowano tutaj dwuprocesorowy system mikrokomputerowy zbudowany w oparciu o cyfrowy procesor sygnałowy (Analog Devices). W wersji podstawowej filtru, jako procesor główny zastosowano zmiennoprzecinkowy ADSP–21065L. Rolę koprocesora pełni kontroler DSP do zastosowań w energoelektronice typu ADMCF326. Zasadniczym zadaniem koprocesora jest generacja przebiegu PWM o wysokiej rozdzielczości czasowej. Docelowo, rolę koprocesora przejmie również procesor główny – o większej mocy obliczeniowej (ADSP–21161N).

Procesory komunikują się za pomocą szybkiej magistrali szeregowej synchronicznej. Możliwa jest ponadto komunikacja systemu (w trybie „on–line") z komputerem nadrzędnym (HOST PC) poprzez interfejs RS-232, który obsługiwany jest przez dedykowany kontroler. Opcjonalnie filtr może być również wyposażony w moduł monitorowania jakości energii z funkcją zdalnej transmisji danych w standardzie GSM/GPRS/Ethernet.

W części silnoprądowej filtru zastosowano przekształtnik zbudowany w oparciu inteligentne moduły mocy (IPM) 5 – tej generacji (MITSUBISHI ELECTRIC) z elementami IGBT. Do generacji wielkości wyjściowej przekształtnik wykorzystuje modulację szerokości impulsów (MSI) o stałej wartości częstotliwości nośnej, co ułatwia spełnienie warunku zachowania kompatybilności elektromagnetycznej.

4. WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH PROTOTYPU

Model prototypowy o mocy 1,2 kVA testowano ze względu na jakość realizacji funkcji kompensujących, tzn. możliwość uzyskania prądu sieci zgodnego w fazie z przebiegiem napięcia sieci, co oznacza redukcję tzw. mocy biernej oraz wyższych harmonicznych – dla różnych typów odbiorników. Badania układu przeprowadzono przy zasilaniu z przemysłowej sieci elektroenergetycznej 230 V / 50 Hz. Ich wybrane wyniki w postaci przebiegów charakterystycznych wielkości pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Charakterystyczne przebiegi prądów w układzie: sieć elektroenergetyczna – filtr aktywny AAF03 – odbiornik nieliniowy – dla dwóch rodzajów odbiornika w postaci 2 – połówkowego regulatora napięcia (rys. a)) oraz 1 – pulsowego prostownika (rys. b)) z obciążeniem typu R; oznaczenia: i_L – prąd odbiornika, i_S – prąd sieci, i_{REF} – prąd odniesienia; częstotliwość nośna MSI: 12 kHz

Rezultaty kompleksowych badań typoszeregu wskazują na prawidłową, zgodną z założeniami projektowymi, pracę układu dla różnych typów odbiorników. I tak np. prąd sieci był zgodny w fazie z przebiegiem napięcia sieci (kompensacja tzw. mocy biernej) a wartości jego wyższych harmonicznych zostały znacząco, 4– do 15– krotnie, zredukowane (kompensacja odkształceń prądu odbiornika), jakkolwiek stopień redukcji harmonicznych zależy od widma prądu odbiornika i maleje dla harmonicznych o wysokich rzędach (20 – 30 i wyższych). Np. widoczny na rys. 3 a) impuls w prądzie sieci i_S wynika z ograniczeń dynamiki układu spowodowanej skończonymi wartościami napięcia w obwodzie pośredniczącym przekształtnika oraz obecności na wyjściu źródła prądu cewki indukcyjnej (L_{INV}) zwiększającej jego impedancję.

5. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono przemysłowy prototyp energoelektronicznego filtru aktywnego realizującego w czasie rzeczywistym kompensację optymalną poprzez eliminację prądu różnicowego. Do tego celu zastosowano energoelektroniczne szerokopasmowe źródło prądu sterowane w systemie MSI. Przedstawiono schemat ideowy, zasadę pracy oraz wyniki badań układu prototypowego sterowanego zmiennoprzecinkowym procesorem sygnałowym Analog Devices typu ADSP–21065L SHARC™.

Uzyskane wyniki badań doświadczalnych dowodzą, że opracowany układ filtru aktywnego zapewnia dobre odwzorowanie przebiegu wzorcowego w prądzie wyjściowym (t.j. sieci) i w efekcie – skuteczną redukcję harmonicznych prądu źródła – również dla skrajnie nieliniowych odbiorników, generujących jednocześnie tzw. moc bierną. Badania wykazały również bardzo dobre właściwości dynamiczne układu w postaci szybkiej (nie przekraczającą półtora okresu napięcia sieci) odpowiedzi na skokowe zmiany obciążenia oraz zadawalającą stabilność pracy.

Rozszerzone wyniki badań laboratoryjnych oraz eksploatacyjnych układu prototypowego przedstawione zostaną na Konferencji.

6. LITERATURA

1. Akagi H., Kanazawa V., Nabae A.: *Generalized theory of the instantanous reactive power in three-phase circuits*. Proc. of JIEE, IPEC Tokyo, 1983, 1375-1386.
2. Bayod Rujula A.A., Sanz Badia M.: *A new approach to harmonic compensation with hybrid active filters*. Proceedings of the 6-th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE'95, 1995, 1, 925-928.

3. Blajszczak G.: *Non-active power compensation using time-window method.* ETEP'92, Sept./Oct. 1992, 2, No. 5, 285-290.
4. Czarnecki L.S.: *Interpretacja, identyfikacja i modyfikacja własności energetycznych obwodów jednofazowych z przebiegami odkształconymi.* Monografia, ZN Pol. Śl., Elektryka, Z. 91, Gliwice 1984.
5. Fryze S.: *Moc rzeczywista, urojona i pozorna w obwodach o przebiegach odkształconych prądu i napięcia.* Przegląd Elektrotechniczny, 1931, No. 7, ss. 193÷203.
6. Gwóźdź M., Porada R.: *Eliminacja prądu różnicowego za pomocą kompensatora parametrycznego.* Proc. of XIX SPETO'96, Ustroń, maj 1996, 383-386.
7. Gwóźdź M., Porada R.: *Energoelektroniczny kompensator prądu różnicowego.* Materiały XX Seminarium z Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów, , Gliwice-Ustroń, 1997, 2, 341-344.
8. Koozehkanani Z.D., Mehta P., Darwish M.K.: *Active symmetrical lattice filter for harmonic current reduction.* Proccedings of the 6-th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE'95, 1995, 1, 869-873.
9. Piróg S.: *Three-phase active filter with sliding-mode control.* Proceedings of 7-th International Power Electronic & Motion Control Conference and Exhibition, PEMC'96, Budapest, Hungary, 2-4 September, 1996, 1, 363-367.
10. Porada R.: *Minimal active current in circuits with real sources.* Proc. of 7-th PEMC'96, Budapest, September 1996, 1, 405-409.
11. Pasko M.: *Dobór kompensatorów optymalizujących warunki pracy źródeł napięć jednofazowych i wielofazowych z przebiegami okresowymi odkształconymi.* Monografia, ZN. Pol. Śl., Elektryka, Z. 135, Gliwice 1994.
12. Siwczyński M.: *Metody optymalizacyjne w teorii mocy obwodów elektrycznych.* Inżynieria Elektryczna, Nr 183, Kraków 1995
13. Walczak J.: *Optymalizacja energetyczno-jakościowych właściwości obwodów elektrycznych w przestrzeni Hilberta.* Monografia, ZN. Pol. Śl., Elektryka, Z. 125, Gliwice 1992.

POWER ELECTRONICS ACTIVE FILTER AAF03 ECOCURRENT

The paper presents fundamentals of operation, structure and investigation results of industrial prototype of the new 1 – phase power electronics active filter (shunt compensator) ECOCURRENT Family designed by ALFINE P.E.P. in co–operation with Poznań University of Technology.

The active filter realises accurate, wide–band compensation of differential current on basis of energy optimal reference current. The Control Module of active filter uses two processors microcomputer system on basis of Analog Devices floating point DSP (ADSP–21065L) as well as DSP micro–controller (ADMCF326) for power electronics applications. The Execution Module uses highly integrated 5th generation of IGBT Intelligent Power Module (MITSUBISHI ELECTRIC). The filter works in closed feedback loop and uses PWM strategy with constant carrier frequency, what increases the electromagnetic compatibility. Basic version of the filter offers output power of 1,2 kVA, maximum value of compensated current equal 15 A (maximum value). The delay time of reference current identification parameters not exceeds 30 ms.

The optional equipment of filter is Module of Power Quality Monitoring with remote data transmitting on basis of GSM/GPRS/Ethernet hardware and protocols.

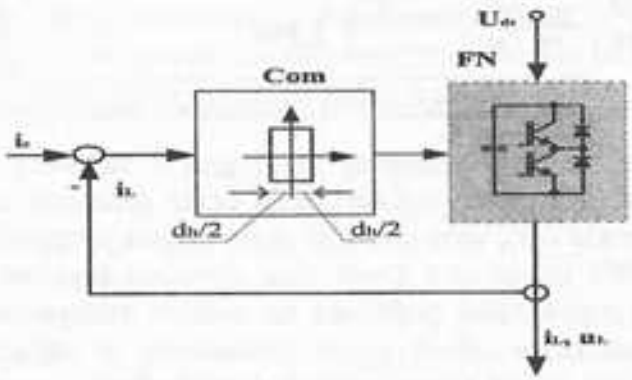
Edward GRECZKO[1]

WŁAŚCIWOŚCI FALOWNIKÓW NAPIĘCIA O MODULACJI NADĄŻNEJ

W pracy przeprowadzono analizę porównawczą falowników napięcia o nadążnych sposobach kształtowania sinusoidalnych prądów wyjściowych na podstawie modeli wirtualnych. Do badań wykorzystano proste struktury jednofazowych półmostkowych falowników.

1. WSTĘP

W układach przekształtnikowych, szczególne w falownikach napięcia (FN), znajdują zastosowanie nadążne sposoby kształtowania prądów wyjściowych [1,2]. Zasadniczą właściwością falowników napięcia z zamkniętym nadążnym sposobem kształtowania prądu wyjściowego z obciążeniem o charakterze rezystancyjno-indukcyjnym jest wywołanie w odbiorniku takiej wartości prądu, jaka założona jest w sygnale sterującym. Dlatego sygnał różnicy między wartością zadaną prądu i wartością mierzoną prądu odbiornika jest podawany na wejście komparatora z histerezą *Com*, który formuje impulsy sterujące łącznikami falownika napięcia. Istotę modulacji ilustruje funkcjonalny schemat blokowy przedstawiony na Rys.1.



Rys.1. Schemat blokowy układu kształtowania przebiegu prądu wyjściowego falownika

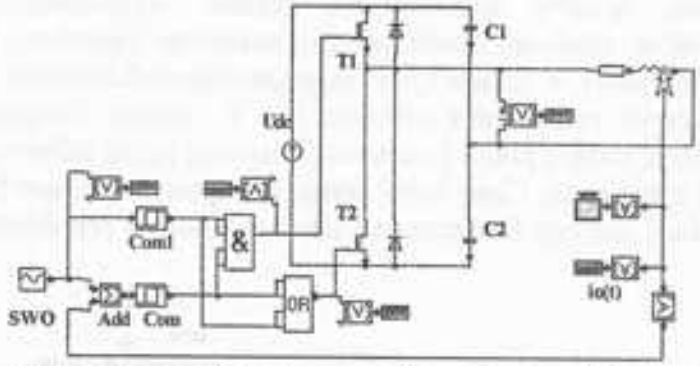
Zgodnie z Rys.1, kształtowanie przebiegu prądu wyjściowego falownika odbywa się w nieliniowym zamkniętym obwodzie. Aby ograniczyć częstotliwość przełączeń łączników FN, stosowany jest komparator o określonej wartości histerezy $d_h/2$. W wyniku prąd wyjściowy falownika pulsuje wokół sygnału sterującego w granicach szerokości histerezy od $+d_h/2$ do $-d_h/2$. Częstotliwość przełączeń w przypadku ogólnym zależy od wielu parametrów (szerokości strefy histerezy, wartości stałej czasowej parametrów odbiornika, wartości napięcia zasilania falownika U_d, jak również siły elektromagnetycznej indukowanej w odbiorniku i in.).

[1] Instytut Informatyki i Elektroniki Uniwersytetu Zielonogórskiego
ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra, Polska,
E-mail: E.Greczko@iee.uz.zgora.pl

2. SYMULACJA FN O ZMNIEJSZONYCH STRATACH DYNAMICZNYCH

Jednym ze sposobów dwukrotnego zmniejszenia liczby przełączeń tranzystorów siłowych w okresie wyjściowego napięcia jest modernizacja wyżej opisanego nadążnego sposobu kształtowania prądu wyjściowego falownika w ten sposób, aby doprowadzać do tranzystorów impulsy wyzwalający powiązane tylko ze wzrostem wartości prądu. Osiąga się to podczas kształtowania dodatniej półfali prądu wyjściowego poprzez wytworzenie impulsów sterujących tylko na załączenie tranzystora T1 (eliminując doprowadzenie impulsów wyzwalających na tranzystor T2) a w przypadki kształtowania ujemnej półfali prądu wyjściowego poprzez wytworzenie impulsów wyzwalających tylko na załączanie tranzystora T2 (eliminując doprowadzenie impulsów wyzwalających na tranzystor T1).

Przeprowadzono symulację danego sposobu modulacji w układzie nadążnym. Na Rys. 2. przedstawiono model wirtualny jednofazowego półmostkowego niezależnego falownika napięcia ze zmodernizowanym nadążnym sposobom kształtowania prądu sinusoidalnego w obwodzie *RL* – obciążenia o następujących parametrach: napięcie zasilania U_{dc}=510*V*, obciążenie *RL* (przy *f*=50*Hz*): L_L=0,013*H*, R_L=8,77*Ω*, $cos\varphi$=0,906.



Rys.2. FN z nadążną modulacją oraz zmniejszonych stratach dynamicznych

Na wejście komparatora *Com* podawany jest sygnał z sumatora *Add*, będący wynikiem sumowania sinusoidalnego sygnału, wytwarzanego przez generator zadania *SWO*, i sygnału sprzężenia zwrotnego prądu $i_L(t)$, wytwarzanego przez czujnik sprzężenia zwrotnego. Poza tym układ sterowania zawiera komparator *Com*1 oraz elementy logiczne *AND* i *NOR*, których sygnały wyjściowe są odpowiednio podawane na wejścia tranzystorów T1 i T2 falownika. Komparator *Com*1 przekształca zadany sygnał sinusoidalny w napięcie prostokątne, którego dodatnia półfala służy jako sygnał pozwalający na doprowadzenie impulsów wyzwalających na załączanie tranzystora T1 (nie pozwalając na przejście impulsów wyzwalających na tranzystor T2), natomiast ujemna półfala pozwala na kształtowanie impulsów sterujących na załączenie tylko tranzystora T2.

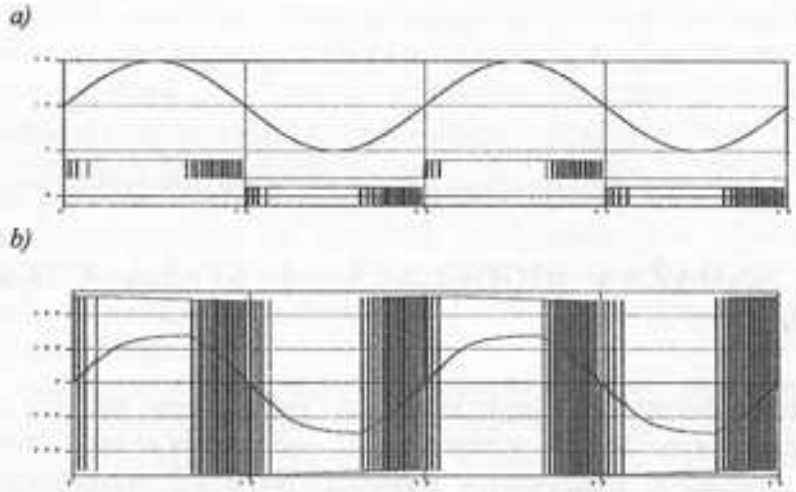
Sygnały z wyjścia komparatora *Com* przełączają tranzystory przy osiągnięciu przez prąd obciążenia górnej lub dolnej granicy wartości histerezy d_h. Częstotliwość przełączeń zależy od tego, jak szybko prąd przechodzi od dolnej do górnej granicy histerezy i odwrotnie, dlatego zależy od wielkości napięcia zasilania falownika U_{dc} oraz od wielkości indukowanej *SEM* w obciążeniu falownika, jak również od indukcyjności obciążenia.

Na Rys.3,a,b przedstawiono sygnały wyjściowe modelu: a) bloków układu sterowania *SWO(t)*, *AND* i *NOR*, b) napięcia $u_L(t)$ i prądu $i_L(t)$ obciążenia.

Sygnały wyjściowe bloków *AND* i *NOR* potwierdzają przeprowadzoną korektę kształtowania impulsów wyzwalających tranzystory, które związane jest tylko z nasileniem prądu i tym samym powodują zmniejszenie ilości przełączeń tranzystorów siłowych za okres napięcia wyjściowego.

Opisana wyżej modulacja należy do modulacji asynchronicznych, w których czas pomiędzy kolejnymi przełączeniami tranzystorów może być dowolnie mały i nie zawsze możliwa jest

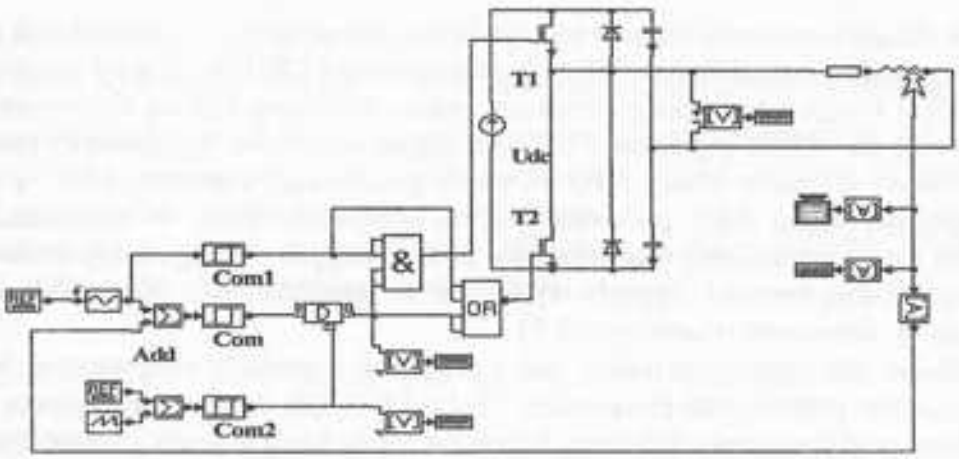
realizacja takich przełączeń za pomocą półprzewodnikowych przełączników z powodu określonej wartości czasu przełączania. Te niedociągnięcia ograniczają zastosowanie danego sposobu modulacji szerokości impulsów w FN.



Rys.3,a,b. Sygnały wyjściowe: a) bloków układu sterowania SWO(t), AND i NOR, b) napięcia $u_L(t)$ i prądu $i_L(t)$ obciążenia

3. FN Z NADĄŻNĄ MODULACJĄ I UBEZPIECZENIEM $\Delta_r = const$

Zapewnienie minimalnego czasu pomiędzy kolejnymi przełączeniami tranzystorów falownika $\Delta_r const$ nazywane jest w literaturze „delta-modulacją". W odróżnieniu od schematu falownika napięcia z *Rys.2* dodatkowo w skład układu sterowania falownikiem wprowadzony został przerzutnik typu D oraz kanał kształtowania impulsów synchronizacji (patrz *Rys.4*). Impulsy synchronizacji o zadanej częstotliwości kształtowane przez komparator *COM2* i podawane są bezpośrednio na wejście synchronizujące przerzutnika typu D.

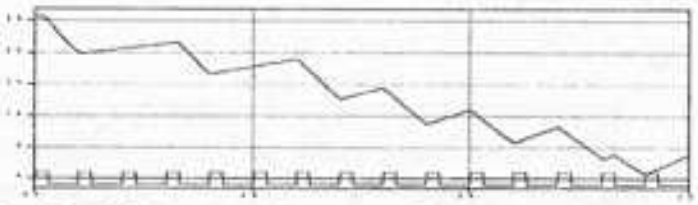


Rys.4. Falownik napięcia z nadążną delta-modulacją

Zmiana stanów pracy tranzystorów falownika zależy od poziomu sygnału wyjściowego komparatora *Com*1 i pojawienia się impulsów synchronizujących z komparatora *Com*2. Dlatego czasy trwania pomiędzy kolejnymi przełączeniami tranzystorów T1 i T2 falownika nie mogą być mniejsze niż długość impulsów Δ_r. Bezpośrednio sygnały sterujące są formowane na wyjściu przerzutnika D, wykorzystując efekt zatrzasku przerzutnika. W efekcie sygnały sterujące oraz momenty przełączeń są zsynchronizowane impulsami synchronizującymi z komparatora *Com*2.

Dla zilustrowania tego efektu na *Rys.5* został pokazany odcinek krzywej prądu obciążenia i impulsy synchronizacji Δ_r. Jak widać przełączenia kluczy są dokonywane synchronicznie

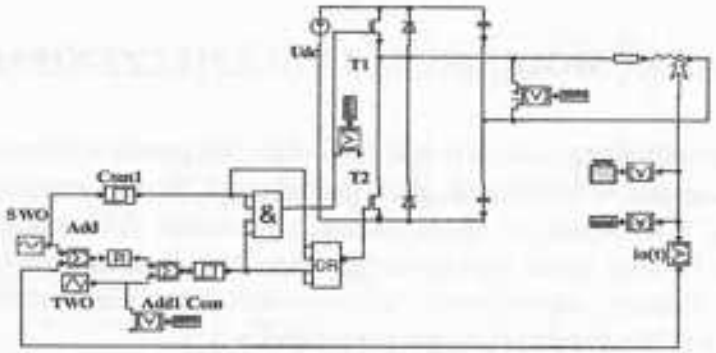
względem dodatnich połówek impulsów Δ_r. W wyniku tego czas minimalny pomiędzy następującymi przełączeniami nie może być mniejszy niż czas trwania impulsów Δ_r.



Rys.5. Prąd obciążenia $i_L(t)$ i ciąg impulsów Δ_r na wyjściu Com2

4. FN Z NADĄŻNĄ MODULACJĄ I STAŁĄ CZĘSTOTLIWOŚCIĄ PRZEŁĄCZEŃ

W niezależnych falownikach napięcia znajdują zastosowanie nadążne sposoby kształtowania przebiegów prądu sinusoidalnego w obwodzie *RL* –obciążenia ze stałą częstotliwością modulacji f_{mod} = *const* przełączeń tranzystorów siłowych. Na *Rys.6* przedstawiono model wirtualny jednofazowego półmostkowego falownika napięcia z danym sposobem MSI, tzn. f_{mod} = *const*.

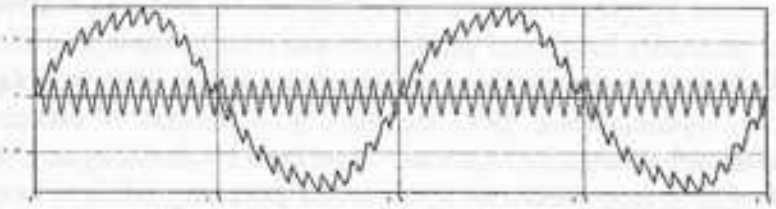


Puc.6. FN z f_{mod} =const

W склад układu sterowania rozpatrywanego falownika napięcia są wprowadzone regulator *PI* i generator sygnału piłokształtnego *TWO* (o częstotliwości 1200*Hz*). Sygnał generowany przez generator *SWO* i sygnał sprzężenia zwrotnego prądu obciążenia $i_L(t)$ są sumowane przez blok *Add* i wpływają na wejście regulatora *PI*. Zatem sygnał wyjściowy regulatora *PI* jest sumowany z piłokształtnym sygnałem bloku *TWO* za pomocą kolejnego sumatora *Add*1, a wypadkowy sygnał wyjściowy bloku *Add*1 podawany jest na komparator *Com*. W rezultacie na wyjściu komparatora *Com* otrzymujemy ciąg impulsów modulowanych według zasady sinusoidalnej i ze stałą częstotliwością nawrotu. Sygnały wyjściowe z elementów logicznych *AND* i *NOR* służą odpowiednio do sterowania tranzystorami T1 i T2.

W rezultacie jak sygnały sterujące, tak i momenty komutacji tranzystorów falownika są zsynchronizowane przez sygnał piłokształtny bloku *TWO*. Dla ilustracji tego efektu na Rys.7 są przedstawiono prąd obciążenia $i_L(t)$ i ciąg impulsów z generatora sygnału piłokształtnego *TWO*.

Widać, że przełączenia tranzystorów odbywają się synchronicznie z częstotliwością modulacyjną zadawaną przez sygnał bloku *TWO*.



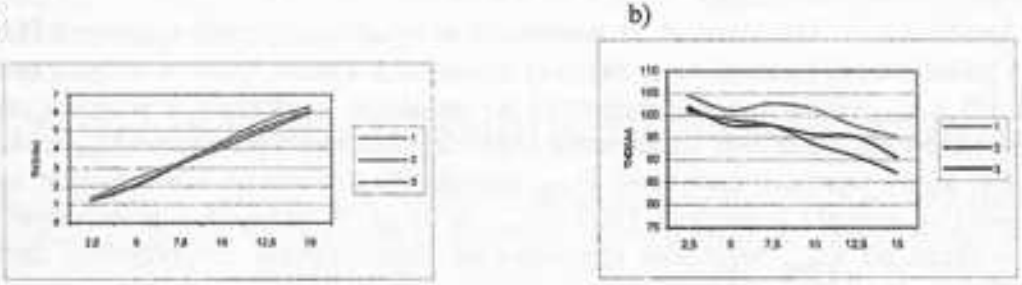
Rys.7. Prąd odbiornika $i_L(t)$ i sygnał piłokształtny bloku TWO

5. ANALIZA PORÓWNAWCZA FALOWNIKÓW NAPIĘCIA O NADĄŻNYCH SPOSOBACH MODULACJI

Chcąc przeprowadzić analizę porównawczą wyżej przedstawionych układów należy zauważyć zasadnicze różnice pomiędzy poszczególnymi algorytmami sterowania. Pierwszy z przedstawionych algorytmów sterowania jest nazywany klasycznym a często także jako metoda komparatorowa. Zmieniając strefę pętli histerezy wpływamy tym samym na ilość przełączeń tranzystorów kluczujących a co za tym idzie na sinusoidalność przebiegu prądu wyjściowego. W drugim przypadku rozważanych typów sterowań mamy do czynienia z modulacją typu delta. Charakteryzuje się ona kanałem impulsów synchronizujących przełączenia tranzystorów mocy. Trzecia z metod sterowania opiera się na modulacji, która powstaje w wyniku porównania sygnału modulowanego (nośnego) o kształcie trójkątnym z sygnałem modulującym, w efekcie przełączenia tranzystorów odbywają się synchronicznie z częstotliwością modulacyjną zadawaną przez sygnał bloku piłokształtnego.

Mając na uwadze zasadnicze różnice pomiędzy badanymi układami można wyróżnić kilka wspólnych wskaźników na podstawi których można przeprowadzić analizę porównawczą. Do tych wskaźników należą $THD(U_0)$, $THD(I_0)$ oraz współczynnik wykorzystania napięcia zasilającego U_{01}^* (przekładnię napięciową falownika, definiowaną jako stosunek wartości skutecznej podstawowej harmonicznej napięcia wyjściowego do napięcia zasilania falownika).

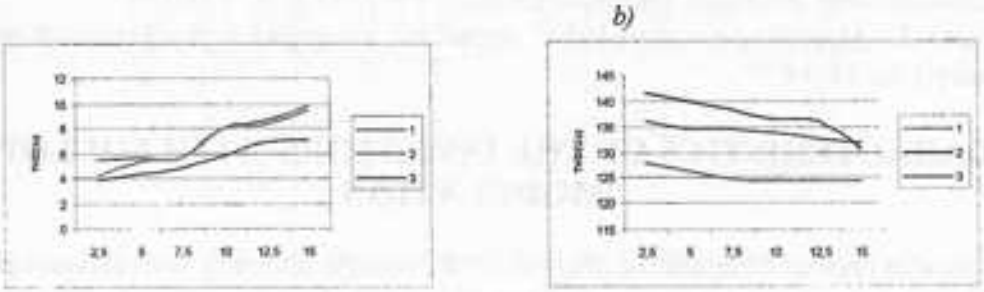
Na podstawie szeregu badań symulacyjnych wykonanych przy pomocy programy *Tcad* 6.22 można wyciągnąć następujące wnioski co do właściwości przedstawionych powyżej falowników i metod ich sterowania. Przy badaniu FN z *Rys.1* o klasycznej nadążnej MSI sprawdzono wpływ szerokości pętli histerezy d_h na wskaźniki jakości energii elektrycznej (patrz *Rys.8*).



Rys.8. Dla cos φ: 1 – 0,996 , 2 – 0,906 , 3 – 0,707 zależności: a) THD $(I_0)=f(d_h)$; b) THD $(U_0)=f(d_h)$

Jak widać z przedstawionych wykresów wpływ szerokości pętli histerezy d_h jest stosunkowo niewielki na *THD* prądu i napięcia ale nie do pominięcia. Widać, że wraz ze zmniejszeniem wartości d_h sinusoidalność prądu wzrasta a napięcia maleje.

Zatem sprawdzono wpływ wartości pętli histerezy d_h na wskaźniki jakości energii elektrycznej w przypadku delta modulacji (patrz *Rys.9*).



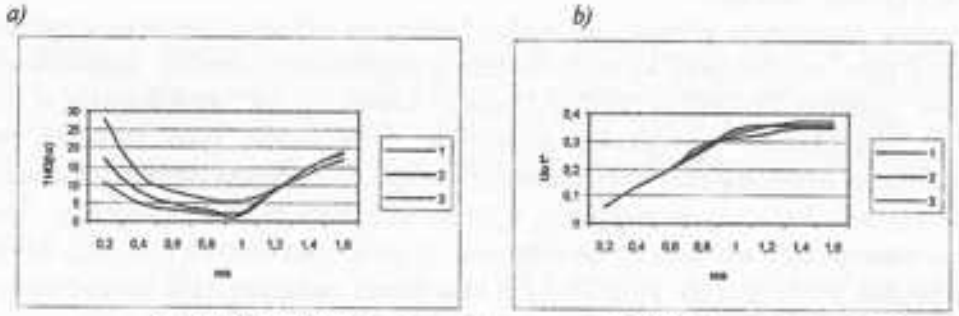
Rys.9. Dla delta –modulacji oraz cos φ: 1 – 0,996 , 2 – 0,906 , 3 – 0,707 zależności: a) THD $(I_0)=f(d_h)$; b) THD $(U_0)=f(d_h)$

Biorąc pod uwagę specyfikę układu o modulacji typu „delta" w porównaniu z klasycznym sterowaniem przedstawionym powyżej, nie można stwierdzić na podstawie wskaźników jakości

energii który z algorytmów sterowania jest lepszy. Jednak należy pamiętać iż „delta" modulacja daje możliwość ingerowania w minimalny czas przełączania kluczy, co jest bardzo istotną zaleta tego typu falownika.

Jak widać z przedstawionych wykresów rozbieżność pomiędzy wartościami *THD* napięcia i prądu zależna jest w znacznym stopniu od wartości współczynnika *cos φ* odbiornika.

W kolejnym badanym układzie mamy do czynienia z nadążną metodą kształtowania prądów wyjściowych o stałej częstotliwości impulsowania $f_{mod} = const$. W tym przypadku wykresy zostały sporządzone w funkcji głębokości modulacji m_a. Sygnał generatora *TWO*, zwany sygnałem nośnym bądź modulowanym, ma kształt trójkątny o wartości zmieniającej się periodycznie i liniowo w czasie. Wartość szczytową tego sygnały oznaczmy przez $U_{trój}$, a wartości graniczne sygnałów wyjściowych regulatora PI - przez U_{prog}. Współczynnik m_a definiowano jako stosunek wielkości U_{prog} do $U_{trój}$. Na Rys.10 przedstawiono zależności $THD(I_o)$ oraz przekładni napięciową U_{o1}^* w funkcji m_a dla trzech różnych wartości *cos φ*.



Rys10. Dla MSI z f_{mod} =const oraz cos φ: 1 – 0,996 , 2 – 0,906 , 3 – 0,707: a) $THD(I_o)$ w funkcji m_a ; b) U_{o1}^* w funkcji m_a

Z wykresów $U_{L1}^* = f(m_a)$ widać, że wartość szczytowa U_{prog} sygnału regulatora PI decyduje o wartości podstawowej harmonicznej napięcia odbiornika. Zatem, tylko w stanach nadmodulacji $\mathbf{m_A \geq 1}$ FN c f_{mod}=*const* może ubezpieczyć na zaciskach wyjściowych wartości znamionowe napięć wyjściowych. Poza tym, zachowanie stałej częstotliwości przełączeń f_{mod}=*const* możliwe jest wtedy, kiedy wartości szczytowe U_{prog} sygnału PI jest równe lub mniejsze od wartości szczytowej $U_{trój}$ sygnału generatora *TWO* ($U_{prog} \leq U_{troj}$). W przypadku przeciwnym, gdy U_{prog} będzie większe od $U_{trój}$, względna częstotliwość impulsowania tranzystorów siłowych f_{imp} zmniejszy się z powodu przepuszczenia pojedynczych przełączeń.

Zakres regulacji napięcia wyjściowego w funkcji m_a jest dość znaczący, co powoduje wyższość tego typu sterowania nad pozostałymi, jeśli chodzi o ten aspekt.

6. LITERATURA

[1] Kaźmierkowski M., Sulkowski W.: *Napęd z silnikiem klatkowym sterowanym metodą polowo zorientowaną*, Przegląd Elektrotechniczny, 1987, Nr 6, ss. 154-155.

[2] Nowacki Z.: *Modelowanie szerokości impulsów w napędach przekształtnikowych prądu przemiennego*, ss. 51-54.

CHARACTERISTICS OF THE INVERTORS WITH FOLLOW-UP MODULATION

In article was present comparative analysis of the voltage invertors with follow-up methods of sinusoidal output currents rise on base of virtual models. For research simple structures of the single-phase semi-bridge invertors were apply.

Edward GRECZKO[1],
Emil KOT[2]

TRÓJFAZOWE FALOWNIKI NAPIĘCIA O MODULACJI AMPLITUDOWO – IMPULSOWEJ

W pracy przeprowadzono analizę porównawczą podstawowych wskaźników jakości przetwarzania energii elektrycznej w trójfazowych falowników napięcia z powiększoną 12-fazową liczbą faz pośrednich i kształtowaniem napięć wyjściowych za pomocą modulacji MAI, stosując dwa różne algorytmy sterowania.

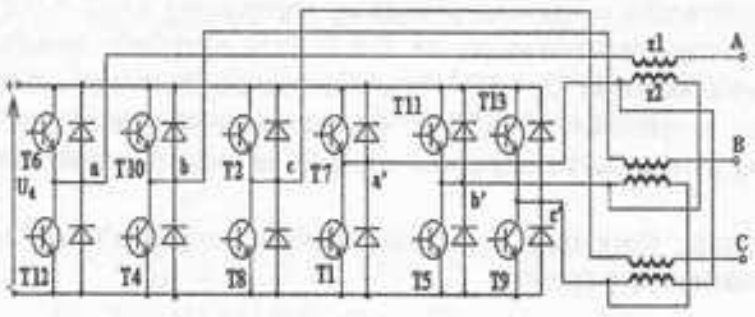
1. WPROWADZENIE

W falownikach napięcia (FN) m - fazowych, ze wzrostem liczby faz można uzyskać zmniejszenie wartości energii biernej wymienianej między źródłem zasilania i odbiornikiem oraz uzyskać poprawne wyniki w kształtowaniu krzywych napięcia wyjściowego opartego na modulacji amplitudowo - impulsowej (MAI) [1,3].

Celem pracy jest analiza właściwości trójfazowych falowników napięcia z powiększoną 12-fazową liczbą faz pośrednich i jednoczesnym kształtowaniem napięć wyjściowych za pomocą modulacji MAI, stosując dwa różne algorytmy sterowania.

2. POWSTAWANIE TRÓJFAZOWEGO NAPIĘCIA SCHODKOWEGO

Ze względu na liczbę zaworów półprzewodnikowych oraz wskaźniki masowe i gabarytowe transformatorów wyjściowych najkorzystniejsze są falowniki złożone, realizowane na bazie trójfazowych FN. Na *Rys.1* przedstawiono schemat złożonego falownika. W zależności od sposobów sterowania przedstawionym falownikiem krzywe napięć wyjściowych mogą być realizowane w trzech różnych postaciach, a mianowicie: kształtowanych za pomocą modulacji schodkowej (MS), amplitudowo – impulsowej zwykłej oraz zmodernizowanej MAI.



Rys.1. Trójfazowy falownik napięcia z 12- fazową liczbą faz pośrednich

[1] Instytut Informatyki i Elektroniki Uniwersytetu Zielonogórskiego
ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra, Polska,
E-mail: E.Greczko@iie.uz.zgora.pl
[2] Instytut Inżynierii Elektrycznej Uniwersytetu Zielonogórskiego
E-mail: E.Kot@iee.uz.zgora.pl

W przypadku zwykłej MAI na każdym z 12-u przedziałów powtarzalności pracy falownika o długości $\pi/6$ kształtujemy po jednemu impulsu napięcia o tej samej regulowanej szerokości $\tau = \gamma\pi/6$, gdzie γ - współczynnik wypełnienia, $0 \le \gamma \le 1$. W wyniku, przy zwykłej MAI realizuje się niezależna regulacja częstotliwości wyjściowej i wartości napięć wyjściowych. Można zauważyć, że przy MS i zwykłej MAI lepszy skład widmowy można uzyskać tylko poprzez zwiększenie liczby schodków krzywych napięcia wyjściowego, co jest powiązane ze wzrostem złożoności obwodów siłowych falownika.

Zmodernizowana MAI polega na kształtowaniu w ciągu każdego przedziału powtarzalności pracy falownika λ impulsów napięcia (gdzie λ = 1, 2, 3, ...) równych co do amplitudy i sterowanej szerokości. W wyniku tego zmodernizowana MAI posiada dodatkową zaletę związaną z ulepszeniem widm harmonicznych krzywych napięć wyjściowych przez zwiększenie częstotliwości impulsowania.

Odpowiednio dla danej modulacji okres impulsowania τ_{imp} oraz długości trwania impulsów napięciowych τ wynoszą:

$$\tau_{imp} = \frac{2\pi}{12 \cdot \lambda} = \frac{\pi}{6 \cdot \lambda} \quad , \qquad \tau = \frac{\pi}{6 \cdot \lambda} \cdot \gamma \tag{1}$$

Stosując krzywą sinusoidalną w charakterze funkcji budowy $f(\omega t) = U_m \sin\omega t$ i dzieląc półokres krzywej sinusoidalnej na i = 6 przedziałów o równej długości trwania, parametry schodków można określić na podstawie następnego wyrazu:

$$U_{sk} = U_m \sin \pi(k - 0{,}5)/6, \tag{2}$$

gdzie k = 1, 2, 3, .., 6 – numer przedziału taktowego. W wyniku amplitudy względnie schodków wynoszą:

$$U_{s3}^{*} = 1,\ U_{s2}^{*} = 0{,}7321,\ U_{s1}^{*} = 0{,}2679. \tag{3}$$

Kształtowanie napięcia wyjściowego 12 –fazowym falownikiem napięcia z jednym transformatorem trójfazowym sumującym, przedstawionym na *Rys.1*, może być zrealizowane na podstawie dwóch algorytmów sterowania [2].

Według pierwszego algorytmu wyjściowe napięcie trójschodkowe przewodowe U_{AB} jest kształtowane w następujący sposób :

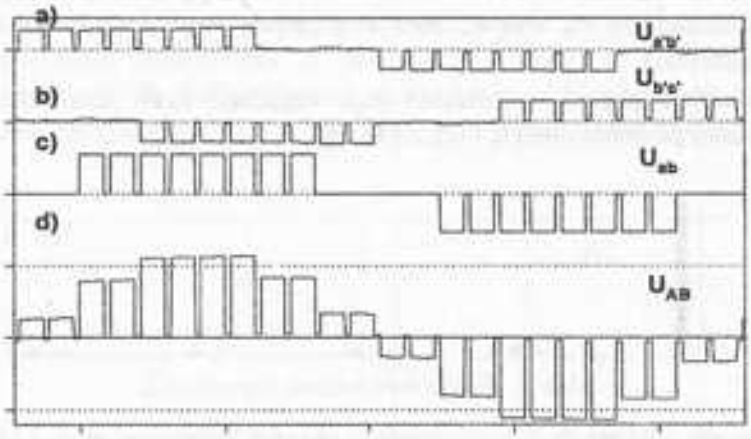
$$U_{AB} = U_{ab} + 0{,}577\,[U_{a'b'} - U_{b'c'}], \tag{4}$$

gdzie U_{ab}- napięcie przewodowe falownika F1, $U_{a'b'}$, $U_{b'c'}$- napięcia przewodowe falownika F2, a,b,c - wyprowadzenia falownika F1, a',b',c' - wyprowadzenia falownika F2, A,B,C - wyprowadzenia falownika 12-fazowego. Zgodnie z (4), napięcie wyjściowe przewodowe otrzymuje się przez dodanie do napięcia liniowego 1-go falownika różnicy dwóch napięć liniowych 2-go falownika o wartości przekładni napięciowej $z1/z2$ = 0,577. Sposób powstania napięcia schodkowego przedstawiono na *Rys.2*. Przy symulacji zostały przyjęte następujące parametry: napięcie zasilania U_d= 27V, moc pozorna trójfazowego odbiornika 1 *kVA*, $\cos\varphi$ = 0,8, częstotliwość wyjściowa f = 400*Hz*, współczynnik wypełnienia γ = 0,8, przy realizacji zmodernizowanej MAI z liczbą impulsów napięcia na każdym przedziale powtarzalności pracy falownika λ = 2.

Według drugiego algorytmu wyjściowe napięcie trójschodkowe przewodowe U_{AB} jest kształtowane w następujący sposób :

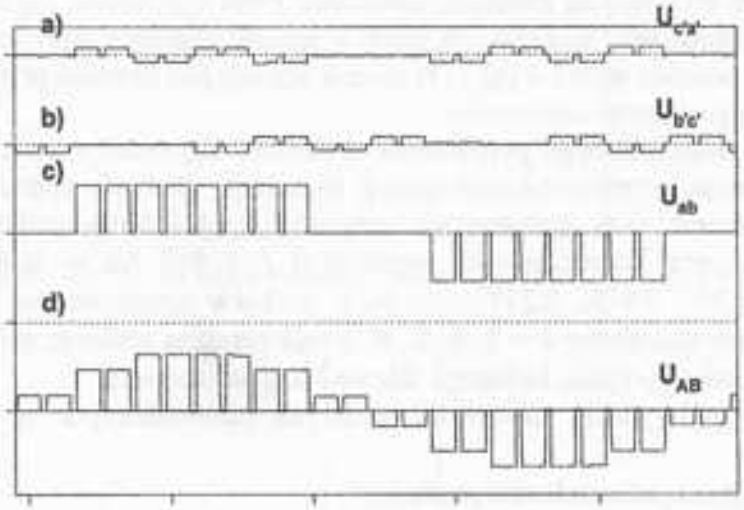
$$U_{AB} = U_{ab} + 0{,}155\,[U_{b'c'}, U_{c'a'}] \tag{5}$$

a sposób powstania napięcia schodkowego przedstawiono na *Rys.3*. Zgodnie ze wzorem (5), napięcie wyjściowe przewodowe również otrzymuje się przez dodanie do napięcia przewodowego 1-go falownika różnicy dwóch napięć przewodowych 2-go falownika., lecz napięcia wyjściowe falownika F2 ukształtowane przez algorytm specjalny i przekładnia napięciowa transformatora sumującego równa się $z1/z2$= 0,155.



Rys.2. Przebiegi napięć $u_{a'b'}$, $u_{b'c'}$, u_{ab} oraz u_{AB} przy 1-ym algorytmie sterowania

Amplitudy schodków wynoszą: przy pierwszym algorytmie sterowania U_{z3} =58,158 *V*, U_{z2} = 42,577 *V*, U_{z1} = 15,579 *V*, a przy drugim algorytmie sterowania U_{z3} = 31,185 *V*, U_{z2} = 22,185 *V*, U_{z1} = 8,37 *V*. Sprawdzając wartości odnośnie amplitud schodków można upewnić się w ich całkowitej zgodności ze wzorem (3), co daje możliwość wnioskować o kształtowaniu optymalnym krzywych napięć wyjściowych złożonym 12 - fazowym falownikiem przy sterowaniu obydwóch algorytmów sterowania.



Rys.3. Przebiegi napięć $u_{b'c'}$, $u_{c'a'}$, u_{ab} oraz u_{AB} przy 2-im algorytmie sterowania

Wyjściowe napięcie przewodowe (*Rys.2.c* oraz *Rys.3.c*) w postaci szeregu Fouriera dla λ = 1,2,... w funkcji współczynnika wypełnienia γ (γ =0 ÷1) przyjmuje postać:

dla 1-go algorytmu sterowania

$$u_{ab}(\omega t) = \frac{4U_d}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}\frac{\sin\frac{\pi n\gamma}{6\lambda}}{\sin\frac{\pi n}{6\lambda}}\cos\frac{\pi n}{6}\left[1+\frac{2}{\sqrt{3}}\cos\frac{\pi n}{6}\right]\sin n\omega t. \tag{6}$$

dla 2-go algorytmu sterowania

$$u_{AB}(\omega t) = \frac{12{,}35U_d\sec\frac{\pi}{12}}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}\frac{\sin\frac{\pi n\gamma}{12\lambda}}{\sin\frac{\pi n}{12\lambda}}\sin\frac{\pi n}{12}\sin n\omega t. \tag{7}$$

W wyniku napięcia wyjściowe przewodowe w obuch przypadkach zawierają podobne widmo harmoniczne, przedstawione na *Rys.4.*, lecz o różnych wartościach amplitud występujących wyższych harmonicznych.

W widmie takiego napięcia w procesie jego regulacji brak jest harmonicznych leżących najbliżej harmonicznej podstawowej tj. 3,5,7 i 9-tej.

Rys. 4. Widmo harmoniczne napięcia u_{AB}

Numery występujących wyższych harmonicznych określa zależność $n_w = 12k \pm 1$, gdzie k= 1,2,... W wyniku numery występujących wyższych harmonicznych przyjmują wartość n_w = 11,13,23,25,35,37,...

3. BADANIA SYMULACYJNE

Opisane powyżej algorytmy sterowania trójfazowym falownikiem złożonym różnią między sobą tym, że ich stosowanie powiązane z różnymi wartościami przekładni napięciowej U_1^*, którą można zdefiniować, jako stosunek wartości skutecznej podstawowej harmonicznej napięcia fazowego falownika do napięcia zasilania falownika. Poza tym różnią się także mocą pozorną trójfazowych transformatorów sumujących, która w sposób znaczący wpływa na gabaryty i masę przekształtnika. Za pomocą wzorów (6) i (7) można analityczne określić przekładnie napięciowe U_1^* dla obydwóch algorytmów sterowania.

W celu bardziej rozszerzonego porównania obydwóch algorytmów sterowania trójfazowym falownikiem złożonym przeprowadzono szereg symulacji. Badania symulacyjne falowników zostały przeprowadzone przy parametrach zasilania i obciążenia podanych wyżej. Pracę falowników badano przy częstotliwości wyjściowej f = 400 *Hz* w funkcji współczynnika wypełnienia γ = 0,95; 0,475; 0,237 oraz przy liczbach impulsów na każdym przedziale powtarzalności pracy falownika λ = 2, 4, 8. W wyniku można obliczyć następujące wskaźniki energetyczne na wejściu i wyjściu badanego falownika, a mianowicie:

THD_U, THD_I - współczynniki zawartości wyższych harmonicznych w napięciu i prądzie wyjściowych,

$\nu_I = I_{A1}/I_A$ – współczynnik odkształcenia prądu $i_z(t)$;

$\lambda_p = P/S = \nu_I \cos\varphi_1$ - współczynnik mocy na wyjściu falownika;

$\lambda_{pDC} = P/S = I_{dc}/I_d$ – współczynnik mocy w obwodzie prądu stałego;

U_1^* - przekładnią napięciową falownika;

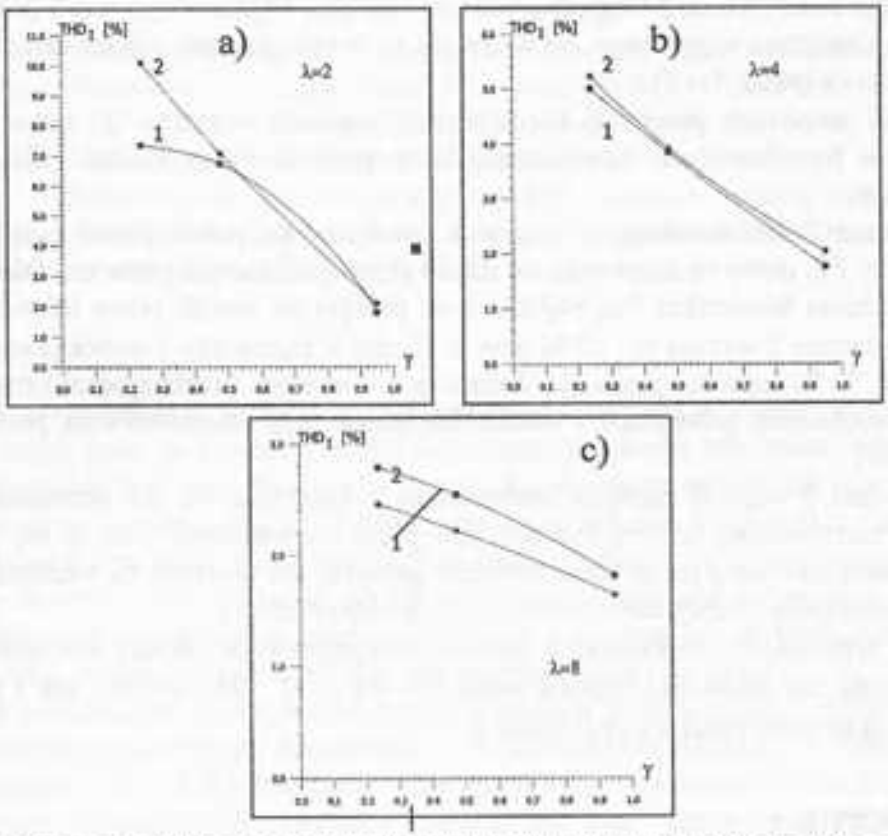
$S_{Tr}^* = 3\,U_{z2}\,I_A / 3\,UI_A = U_{z2}/U$ – moc pozorną względną transformatora sumującego;

$S_{dcF2}^* = S_{dcF2} : S_{dc} = I_{dF2}/I_d$ - moc pozorną względną pobieraną wyłączne falownikiem F2 oraz szereg innych wskaźników.

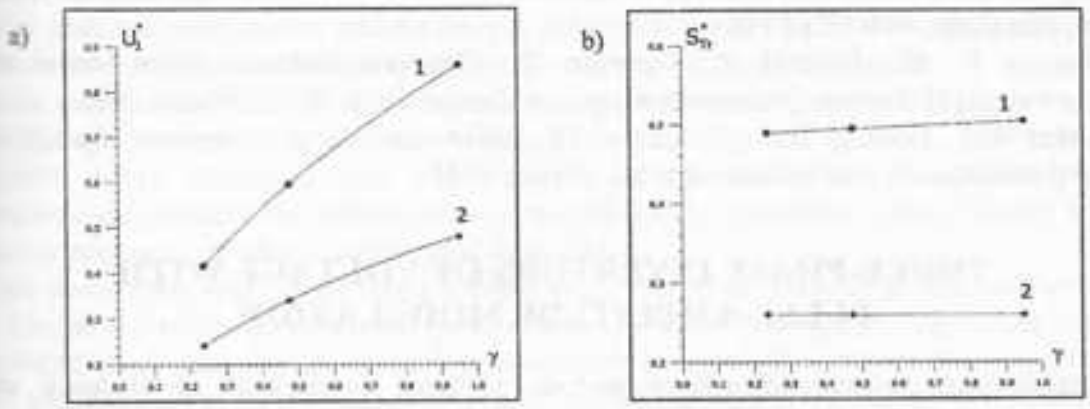
Najpierw z otrzymanych rezultatów można zauważyć liniową zależność wartości skutecznej podstawowej harmonicznej napięcia fazowego wyjściowego U_{A1} w funkcji γ dla obydwóch algorytmów. Poza tym, zmniejszeniu współczynnika wypełnienia odpowiada liniowe opadanie wielkości U_{A1}.

Uwzględniając, że jednym z podstawowych wskaźników jakości przetwarzania energii elektrycznej w falownikach jest współczynnik zawartości wyższych harmonicznych w prądzie wyjściowym, niżej przedstawiono najpierw na *Rys.5* zależności THD_I od współczynnika wypełnienia γ dla: a) λ = 2, b) λ = 4, c) λ = 8, a na *Rys.6* wykresy przekładni napięciowej falownika U_1^* oraz względnej mocy pozornej transformatora sumującego S_{Tr}^* w funkcji współczynnika wypełnienia γ, używając indeksów 1 lub 2 dla falowników sterowanych

algorytmom 1 lub 2.W rozpatrywanym falowniku przekładnia napięciowa U_1^*, jak widać z *Rys.* 6.a, przy algorytmie sterowania 1 jest dwukrotnie większą niż przy algorytmie sterowania 2, a poza tym przy algorytmie sterowania 2 wartość U_1^* jest o 8-10 % większa niż w konwencjonalnych trójfazowych falownikach z sinusoidalną MSI. Oprócz tego względna moc pozorna transformatora sumującego S_{Tr}^* (*Rys.6,b*) jest dwukrotnie większą przy algorytmie sterowania 1.



Rys. 5. Zależności THD_I od współczynnika wypełnienia γ dla: a) λ = 2, b) λ = 4, c) λ = 8



Rys. 6. Zależności od współczynnika wypełnienia γ: a) przekładni napięciowej falownika U_1^*; b) względnej mocy pozornej transformatora sumującego S_{Tr}^*

Z *Rys. 5* można wnioskować, że wyniki kształtowania krzywych napięć wyjściowych w postaci wieloschodkowych krzywych uzyskuje się znaczne wyższą jakość przetwarzania energii elektrycznej niż w konwencjonalnych trójfazowych falownikach z sinusoidalną MSI, bo np. w całym zakresie zmian współczynnika wypełnienia w badanym falowniku współczynnik zawartości wyższych harmonicznych w prądzie wyjściowym THD_I odpowiednio przy λ= 2, 4, 8 nie przekracza 10 %, 5,2 % lub 2,7 %.

Z powyższego również można zauważyć, że:

- dla rosnącej liczby λ poprawia się widmo harmoniczne napięcia a z tym i prądu, tzn. przy większej liczbie λ znaczące wyższe harmoniczne napięcia przesuwają ku wyższym rzędom, a tym samym zmniejsza się współczynnik zawartości wyższych harmonicznych THD_I;
- wartości skuteczne napięć przewodowych jak i amplitudy pierwszych harmonicznych owych napięć wyjściowego dla dwóch algorytmów uzyskiwania napięcia o MAI posiadają niezmienne wartości przy różnych liczbach powtarzalności impulsów, np. λ=2, 4, 8;
- dla algorytmu sterowania 2 względna wartość napięcia wyjściowego jest o połowę mniejsza a niżeli dla algorytmu pierwszego, co wiąże się ze zmniejszeniem o tyleż samo mocy pozornej transformatora (patrz *Rys. 7*);
- na wartość amplitudy pierwszej harmonicznej napięcia wyjściowego ma znaczący wpływ przekładnia transformatora sumującego, która posiada różną wartość dla analizowanych algorytmów;
- w algorytmie 2 dla wzrastającej liczby λ zmniejsza się pobór prądu I_{dcF2} przez falownik pomocniczy F2, przez co zmniejsza się udział przepływu energii przez ten falownik (mniejsze gabaryty i masa falownika). Największa ilość przepływu energii przez falownik pomocniczy F2 dla algorytmu 2 wynosi ok. 20 % przy λ=2, zaś w algorytmie 1 pobór prądu dla rożnych λ wynosi ok. 50 % wartości prądu , co świadczy o większym przekazywaniu energii przez F2 a z tym o większych gabarytach i wadze falownika przy stosowaniu za pomocą algorytmu sterowania 1;
- dla algorytmu 2 wartość napięcia dodawanego z falownika F2 jest mniejsza, a najbardziej znaczącą harmoniczną w tym napięciu jest piąta harmoniczna, znaczy to, że pomocniczy transformator sumujący może mieć mniejsze gabaryty (ze względu na większą częstotliwość) przy porównywalnej mocy transformatora jak w algorytmie 1;
- najlepsze właściwości wskaźników jakości energetycznych badany falownik uzyskuje się przy rosnącej częstotliwości impulsowania $f_i = 6\lambda = 12$, 24 , 48 itp., jak i przy większych wartościach współczynniku wypełnienia γ.

4. LITERATURA

[1]. Greczko E.: *Falowniki trójfazowe o ulepszonych charakterystykach* Zielona Góra, IV EPN'98, tom II, str. 165-172, 1998.

[2]. Greczko E., Gientkowski Z., Kurowski T.: *Półprzewodnikowe autonomiczne układy zasilania energią elektryczną prądu przemiennego* Zielona Góra, WSI, 209str. , 1996.

[3]. Tonkal W.J., Greczko E.N., Kuleszow J.J.: *Optimalnyj sintez inwertorow s amplitudno-impulsnoj modulacijej,* Kijów: Nauk.dumka, 220str., 1987.

THREE-PHASE INVERTORS OF VOLTAGE WITH PULSE-AMPLITUDE MODULATION

In article was present comparative analysis of basic coefficients of electrical energy conversion quality in the three-phase invertors of voltage with increased count (12-phase) of intermediate phases and creation of output voltages by means of PAM, using two various control algorithms.

Jacek GROCHOWALSKI[1]

PRZYRZĄD DO WYZNACZANIA DRGAŃ RUCHU OBROTOWEGO

W artykule przedstawiono budowę i zasadę działania przyrządu do badania ruchu obrotowego elementów i wałów maszyn napędowych i roboczych. Przyrząd skonstruowano w oparciu o transformator położenia kątowego (resolwer). Do zobrazowania przebiegów chwilowych położenia wału i chwilowej prędkości obrotowej wykorzystywano oscyloskop cyfrowy lub komputer z kartą pomiarową. Przyrząd przydatny jest do diagnozowania maszyn roboczych i układów napędowych z silnikami elektrycznymi i spalinowymi.

1. WSTĘP

W praktyce przemysłowej spotyka się niesprawności maszyn o ruchu obrotowym, które prowadzą do drgań wału w kierunku ruchu lub zmian prędkości obrotowej rozciągniętej na dłuższe odcinki czasu. Podczas gdy drgania poprzeczne do osi ruchu powodujące drgania całej maszyny są łatwe do wyznaczenia to chwilowe zmiany prędkości w kierunku ruchu są trudno wykrywalne. Przykładem może być kompresor w którym jeden z cylindrów traci szczelność a także silnik spalinowy w którym jeden lub kilka cylindrów chwilami nie pracuje. Diagnostyka takich przypadków jest trudna dostępnymi metodami, a w porę nie wykryte, uszkodzenia są powodem dalszych, postępujących degradacji, np. szybszego zużycia łożysk.
Również we współczesnych przekształtnikowych napędach elektrycznych – pęknięcie pręta w wirniku silnika asynchronicznego klatkowego lub uszkodzenie jednego z elementów mocy spośród kilkunastu lub kilkudziesięciu pracujących w przekształtniku nie powoduje natychmiastowego wypadnięcia napędu z ruchu, ale ma negatywny wpływ na pracę współpracującej maszyny roboczej i np. na pogorszenie jakości produkcji kabli poprzez nierównomierne nakładanie izolacji na przewody. W tym konkretnym przypadku producent poniósł znaczne straty zanim usterka została zidentyfikowana ponieważ w zautomatyzowanym systemie produkcyjnym żaden z przyrządów nie wskazywał błędu w układzie.
Drgania w kierunku ruchu w wyniku nieprawidłowo dobranego falownika dużej mocy, podczas modernizacji maszyny papierniczej uniemożliwiały utrzymanie jakości produkcji i były powodem wielu stresów i strat materialnych ponieważ maszyna ze zmodernizowanym, nowoczesnym napędem nie utrzymywała parametrów które zapewniał „stary" napęd. Diagnoza przyczyn przy pomocy klasycznych metod była trudna.
Do bez inwazyjnej diagnostyki ruchu obrotowego w szerokim zakresie prędkości obrotowych i obu kierunków ruchu przeznaczony jest opisany w artykule przyrząd. Jego dużą zaletą jest możliwość pracy przy bardzo małych prędkościach obrotowych – nawet zbliżonych do zera. Małe prędkości eliminują zastosowanie prądnic tachometrycznych często stosowanych przy wykrywaniu zmian prędkości obrotowej. Przy małych prędkościach obrotowych na niewielkie wzbudzone napięcie rotacji nakładają się wyższe harmoniczne napięcia z komutatora, przepięcia

[1] Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, tel. (91) 4494340, e-mail: jgroch@we.ps.pl.

komutacyjne oraz pulsacje napięcia pochodzące od niestabilności styku szczotek i komutatora. Filtracja tych sygnałów zakłócających jest trudna co powoduje niejednoznaczność interpretacji przebiegów z prądnicy pomiarowej. Również stosowanie współczesnych przetworników cyfrowych i impulsowych sprawia wiele problemów, szczególnie w przypadku chwilowej zmiany kierunku ruchu wału.

2. ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE PRZYRZĄDU

Przyrząd do diagnostyki ruchu obrotowego został skonstruowany w Instytucie Elektrotechniki Politechniki Szczecińskiej w wyniku niekonwencjonalnych potrzeb pomiarowych przy badaniach nad optymalizacją regulowanych napędów z przekształtnikami częstotliwości.
Przyrząd umożliwia:

- diagnostykę ruchu obrotowego w zakresie od zera do około 6000 obr/min,
- wykrywanie nierównomierności biegu wału zarówno dla pojedynczego obrotu jak również dla wybranego okienka czasowego obejmującego większą ilość obrotów,
- wizualizację ruchu obrotowego na łatwo dostępnych oscyloskopach cyfrowych lub przyrządach wirtualnych budowanych w oparciu o komputer i odpowiednią kartę pomiarową,
- odwzorowanie jednego obrotu wału $\alpha = 2\ \pi$ na oscyloskopie jako pojedynczego zęba piły w którym kierunek narastania wyznacza kierunek ruchu wału , liniowość zbocza określa równomierność ruchu wału w ramach jednego obrotu a różnica czasu trwania kolejnych zębów pozwala wyznaczyć zmianę prędkości rozciągniętą na większą ilość obrotów.
- nierównomierność rozciągnięta na jeszcze dłuższe odcinki czasu wizualizowana jest w postaci zmian amplitudy sygnału na dodatkowym kanale przyrządu,
- poprzez zastosowanie oscyloskopu wielokanałowego jednoczesne zestawienie różnych sygnałów z przebiegami ruchu wału, co zdecydowanie ułatwia identyfikację przyczyn nierównomierności ruchu.

3. TRANSFORMATOR POŁOŻENIA KĄTOWEGO - RESOLWER

Jak wspomniano jako przetwornik ruchu obrotowego zastosowano transformator położenia kątowego (tpk) – nazywany również resolwerem.
Tpk są małymi maszynami indukcyjnymi o zwartej i mocnej budowie, wytrzymałej na drgania i przyspieszenia mechaniczne, mało czułymi na oddziaływanie zewnętrznych sygnałów zakłócających.
Tpk są stosowane jako przetworniki [2, 4] w:
- precyzyjnych przesuwnikach kąta fazowego napięć,
- precyzyjnych łączach typu selsynowego,
- układach przeliczających współrzędne prostokątne na biegunowe,
- układach do otrzymywania funkcji trygonometrycznych.

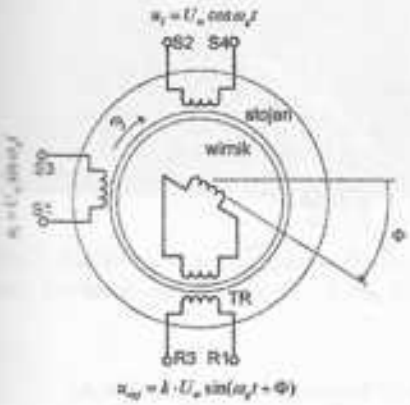
W konstruowanym urządzeniu tpk pracował jako przesuwnik kąta fazowego napięć.
Schemat ideowy tpk przedstawiono na rys.1. Stojan ma dwa dwubiegunowe uzwojenia przesunięte o 90°. Uzwojenia te zasilane są napięciami przemiennymi o znamionowej wartości U = 10 V oraz częstotliwości f_g = 2000 Hz przesuniętymi również o 90°.

Wirujące, kołowe pole magnetyczne wzbudza napięcie w pojedynczym uzwojeniu dwubiegunowym wirnika. Napięcie to jest przenoszone z wirnika w sposób bezstykowy – poprzez transformator wirujący. Jedno z uzwojeń transformatora połączone jest z uzwojeniem wirnika i znajduje się na wirniku a drugie otacza je i znajduje się obok stojana, w obudowie tpk. Obwód magnetyczny transformatora będący kubkiem ferrytowym polepsza sprzężenie magnetyczne między uzwojeniami. Transformator pierścieniowy znajduje się poza zasięgiem pola magnetycznego stojana. Bezstykowe wyprowadzenie sygnału z wirującego wirnika eliminuje znane wady pierścieni ślizgowych i szczotek. Napięcie na wyjściu transformatora pierścieniowego wyraża się wzorem:

$$U_{R1R3} = k\, U_m \sin(\omega t + \Phi)$$

gdzie: k – współczynnik zależny od przekładni zwojowej stojana i wirnika oraz transformatora pierścieniowego,

Φ – kąt fazowy między napięciem uzwojenia stojana i wirnika zgodny z kątem położenia wirnika względem uzwojenia stojana.



Rys.1. Schemat ideowy transformatora położenia kątowego (tpk) resolwera.

Poprzez pomiar kąta fazowego między napięciem zasilającym jedno uzwojenie stojana a napięciem wyjściowym wyznacza się aktualne położenie wirnika. Właściwość ta została wykorzystana w budowanym przyrządzie. Duża dokładność wykonania przetwornika, przez zastosowanie odpowiedniej technologii i materiałów, pozwala na jego stosowanie w precyzyjnych urządzeniach automatycznej regulacji oraz przyrządach pomiarowych. Chętnie stosowany jest w różnych urządzeniach o przeznaczeniu militarnym. Standardowe dokładności tpk są następujące: - błąd odwzorowania funkcji 0,2–0,3%, - asymetria uzwojeń 3 – 5 minut kątowych, - maksymalne całkowite napięcie zerowe 10 mV .

4. OPIS KONSTRUKCJI PRZYRZĄDU

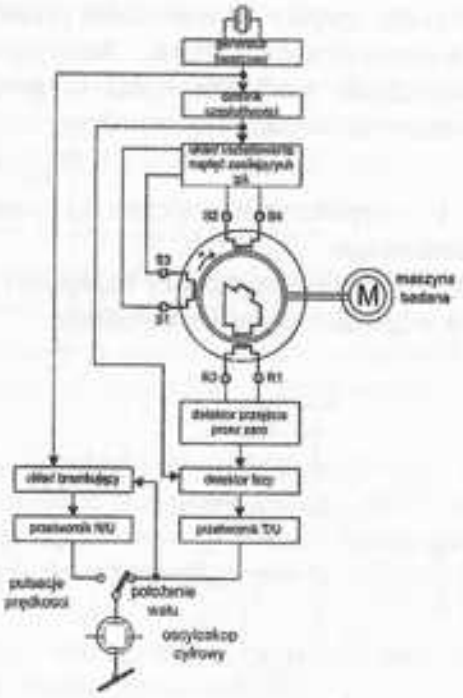
Schemat blokowy przyrządu przedstawiono na rys.2. Wymagane sinusoidalne napięcia zasilające uzwojenia tpk – S1S3 i S2S4 otrzymywane są w układzie kształtowania napięć, który jest sterowany z generatora kwarcowego poprzez dzielnik częstotliwości na układach CMOS małej i średniej skali integracji. Napięcie na uzwojeniu wyjściowym R1R3 jest przesunięte względem wybranego napięcia wejściowego o kąt elektryczny Φ równy aktualnemu kątowi obrotu wałka tpk względem rozpatrywanego uzwojenia stojana. Napięcie to jest kształtowane w układzie detektora przejścia przez zero i porównywane z napięciem dzielnika częstotliwości. Na wyjściu z detektora fazy otrzymywane są przebiegi prostokątne napięć. Szerokość tych impulsów jest proporcjonalna do kąta położenia wału Φ.

W przetworniku T/U czas trwania impulsu wyjściowego jest przetwarzany na proporcjonalne napięcie. Napięcie to jest aktualizowane 2000 razy na sekundę (jest to częstotliwość napięcia zasilającego).

Czas przetwarzania wynosi zatem 0,5 ms i jest podstawowym ograniczeniem dokładności wyznaczania położenia wału.

Układ przetwornika T/U jest tak zestrojony, aby pełnemu obrotowi wałka tpk: $2\pi = 360^{\circ}$ odpowiadało napięcie U = 3,6 V. Chwilowa wartość napięcia po prostym przeliczeniu wyznacza aktualne położenie wałka tpk i sprzężonego z nim wału maszyny badanej. Napięcie z przetwornika podane na płytki odchylania pionowego oscyloskopu cyfrowego daje przebieg piłokształtny w którym jeden „ząb" odpowiada jednemu pełnemu obrotowi wałka tpk. Przy stałej wartości podstawy czasu przebieg jest linią prostą, a jej kąt nachylenia jest tym większy im większa jest prędkość chwilowa wału. Nierównomierność biegu wału powoduje odkształcenie zbocza przebiegu od linii prostej. Liczba obrotów jednocześnie oglądana na ekranie wybierana jest przyciskiem podstawy czasu oscyloskopu.

Do wyznaczania pulsacji prędkości obrotowej, rozciągniętej na wiele obrotów wału, wykorzystano przebieg z przetwornika T/U. Stanowi on po przekształceniu w impuls prostokątny bramkę czasową dla przebiegu z generatora o podwyższonej częstotliwości stabilizowanego kwarcem.



Rys.2. Schemat blokowy układu do badania ruchu obrotowego z wykorzystaniem resolwera.

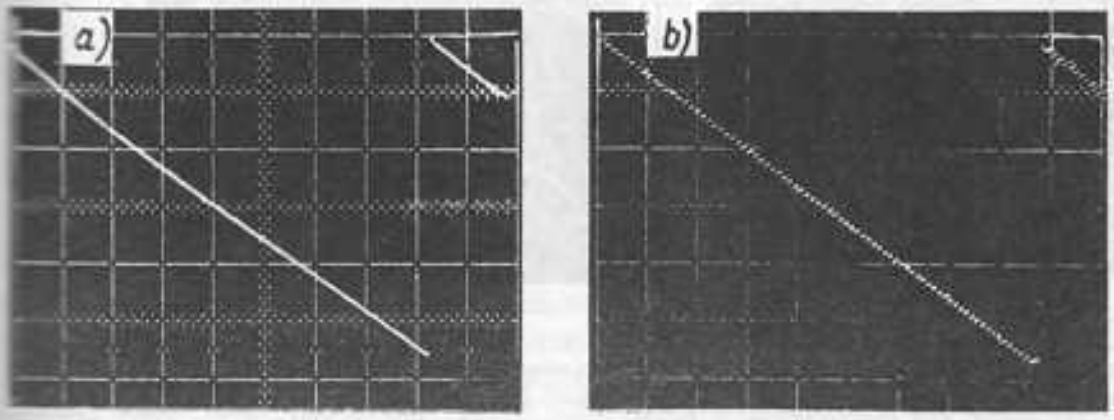
Paczki o różnej liczbie impulsów podawane są do przetwornika N/U (liczba impulsów/napięcie). Zastosowano przetwornik, w którym napięcie wyjściowe jest odwrotnie proporcjonalne do liczby impulsów w bramce czasowej.

Sygnał oglądany na ekranie oscyloskopu tworzy ciąg impulsów prostokątnych, których amplitudy są proporcjonalne do średniej prędkości wału badanej maszyny w czasie jednego obrotu wałka tpk. Wybór odpowiedniej podstawy czasu oscyloskopu pozwala wykryć okres ewentualnej pulsacji prędkości rozciągniętej na większą liczbę obrotów wału badanej maszyny.

Jak wspomniano, zastosowanie cyfrowego oscyloskopu wielokanałowego umożliwia obserwację na pozostałych kanałach przebiegów, również sterujących, z różnych bloków układu badanego. Jednoczesne ich powiązanie oraz wpływ na przebieg chwilowego położenia wału maszyny zdecydowanie ułatwia diagnozę przyczyn niesprawności układu napędowego.

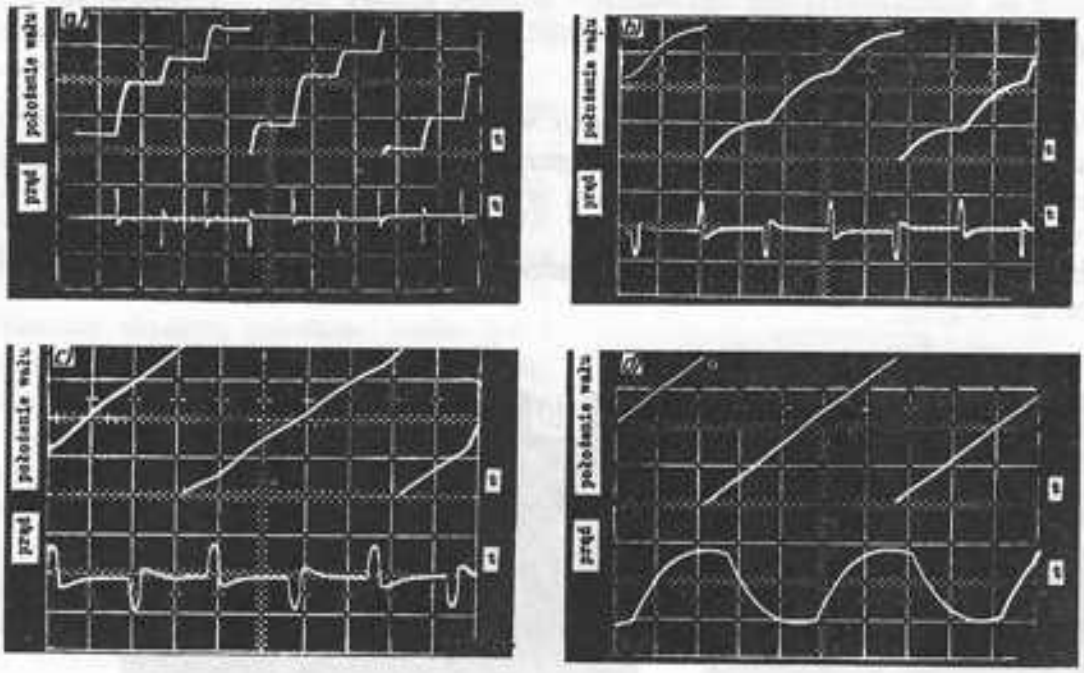
5. WYNIKI BADAŃ

Badania dokładności przyrządu przeprowadzono w stanie statycznym, tzn. przez pomiar napięcia na wyjściu przyrządu przy wałku sprzężonym z precyzyjnym kątomierzem pomiarowym. Przeprowadzona analiza dokładności wykazała, że maksymalny błąd graniczny wynosi 0,6 %.
Przebiegi położenia wału badanej maszyny dla jednego obrotu, przy równomiernym biegu przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Przebiegi chwilowego położenia wału dla jednego obrotu równomiernie obracającego się wału; kierunek obrotów - lewy: a) y = 65 deg/dz, t = 50 ms/dz, n = 150 obr/min, b) y = 65 deg/dz, t = 5 ms/dz, n = 1500 obr/min

Przy prędkości obrotowej ω_2 = 157,08 1/s (1500 obr/min) wyraźnie jest widoczny schodkowy przebieg napięcia będący wynikiem czasu przetwarzania informacji. Jest on jednak niewielki w stosunku do czasu jednego obrotu wału maszyny badanej. Ustalono, że do prędkości obrotowej ok. 6000 obr/min wpływ dyskretyzacji przebiegu będzie miał niewielki wpływ na błąd wyznaczania chwilowego położenia wału.
Kolejne rysunki przedstawiają wizualizacje położenia wału silnika elektrycznego prądu przemiennego zasilanego przebiegami impulsowymi z falownika o prostokątnym napięciu wyjściowym. Fotografie przedstawiają badania wykonane dla następujących warunków: amplituda napięcia zasilającego U_m = 150 V = const., czas trwania impulsu napięcia zasilającego: t_{on} = 30 ms = const., moment na wale silnika: M_w = const., moment bezwładności układu: J = const.
Widoczny jest wyraźnie wzrost nierównomierności biegu wału przy mniejszych prędkościach obrotowych. Na gładkość przebiegów przy większych prędkościach obrotowych wpływ ma bezwładność silnika i maszyny obciążającej. Wyraźnie widoczna jest zależność momentów czasowych zwiększonych odchyleń w ruchu wału od przebiegów zasilających silnik.



Rys.4. Przebiegi ruchu obrotowego wału i prądu fazowego silnika asynchronicznego zasilanego z falownika napięcia; kierunek obrotów - prawy. Położenie wału y = 100 deg/dz, prąd fazowy i = 30 A/dz: a) t = 1 s/dz, n = 15 obr/min, b) t = 0.2 s/dz, n =75 obr/min, c) t = 0,1 s/dz, n = 150 obr/min, d) t = 0,01 s/dz, n = 1500 obr/min.

6. WNIOSKI

Przedstawiono budowę i właściwości przyrządu wyznaczającego chwilowe położenie wału i prędkość chwilową w ruchu obrotowym. Przyrząd jest szczególnie przydatny przy poszukiwaniu trudno identyfikowalnych przyczyn obniżenia jakości produkcji. Szczególnie cenną właściwością jest możliwość wykonania badań i pomiarów bez przerywania procesu produkcyjnego. Przyrząd był bardzo przydatny w pracach rozwojowych i zleconych z przemysłu prowadzonych przez autora. Jest chroniony patentem RP Nr 306514.

7. LITERATURA

1. Kunger K., Schubert N.,: *Messeeinrichtung fur die Messung der Ungleichformigkeit der Drehbewegung elektrischer Maschinen*, Elektrie, 1983, pp.75-76.
2. Praca zbiorowa pk J. Owczarka: *Elektryczne maszynowe elementy automatyki*, Warszawa, 1999.
3. Rosenthal W., Zenkel D.,: *Gerat zur Messung der Ungleichformigkeit der Drehbewegung*, Elektrie, 1994, pp. 90-91.
4. Materiały informacyjne i katalogi różnych firm dotyczące transformatorów położenia kątowego – resolwerów.
5. Grochowalski J.,: *Przyrząd do wyznaczania nierównomierności pulsacji prędkości wałów maszyn elektrycznych*, patent RP P306514.

Autorzy referatu:
mgr Lucyna Hemka, Tel.+48 22 812-33-92, e-mail: L.Hemka@iel.waw.pl
mgr Lech Piotrowski, Tel. +48 22 812 34 03, e-mail: L.Piotrowski@iel.waw.pl
Instytut Elektrotechniki, 04 – 703 Warszawa, ul. M. Pożaryskiego 28, Zakład NTS

PODSTAWOWE PARAMETRY FUNKCJONALNE I BEZPIECZEŃSTWA UŻYTKOWANIA SPRZĘTU OŚWIETLENIOWEGO I STOSOWANYCH W NIM ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA PRZY ZMIANIE WARTOŚCI NAPIĘCIA SIECIOWEGO Z 220V NA 230V

W referacie omówiono zagadnienia dotyczące wpływu zmian napięcia zasilającego na parametry eksploatacyjne sprzętu oświetleniowego oraz stosowanych w nim źródeł światła. Poruszono problemy związane z bezpieczeństwem użytkowania dotychczas stosowanego, a przystosowanego do pracy przy napięciu 220V, sprzętu oświetleniowego po zmianie wartości napięcia sieci, oraz omówiono skutki tych zmian w odniesieniu do powstałych zagrożeń bezpieczeństwa użytkowania. Zagadnienia rozpatrzono w oparciu o szeroki wachlarz prac eksperymentalnych.

1. WSTĘP

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 5.07.2001 Dz. U. 74/2001 wprowadziło do obowiązkowego stosowania normę europejska IEC 60038:1999 „Napięcia znormalizowane IEC". Norma ta zaleciła doprowadzenie istniejącego napięcia sieci 220/380V do wartości 230/400V.

Zmiana napięcia znamionowego sieci wymaga dostosowania wszystkich urządzeń elektrycznych do nowych wartości. Dotyczy to oczywiście również wszystkich urządzeń oświetleniowych, zarówno w zakresie stosowanego osprzętu (oprawy, stateczniki, układy zapłonowe itp.) jak i samych źródeł światła.

W Laboratorium Badawczym Sprzętu Oświetleniowego Zakładu NTS Instytutu od lat zajmującym się różnorodnymi badaniami sprzętu oświetleniowego przeprowadzono szereg badań, które pozwoliły zwrócić uwagę na wiele problemów i zjawisk, nie zawsze pożądanych, mogących wystąpić przy praktycznej eksploatacji urządzeń oświetleniowych zasilanych podwyższonym napięciem.

Stwierdzono m.in. ze podwyższona wartość napięcia zasilającego ma wpływ na parametry zainstalowanych źródeł światła, bezpieczeństwo pracy opraw, pobór mocy, trwałość, zakłócenia elektromagnetyczne wprowadzone do sieci oraz niezawodność systemów oświetleniowych.

Tematem niniejszego opracowania jest pokazanie wpływu zmiany napięcia zasilającego na parametry elektryczne, świetlne, funkcjonalne i bezpieczeństwa użytkowania urządzeń oświetleniowych będących aktualnie w eksploatacji a przystosowanych do pracy przy napięciu znamionowym 220V.

2. ZMIANY PARAMETRÓW ELEKTRYCZNYCH, ŚWIETLNYCH I BARWOWYCH LAMP WYŁADOWCZYCH W ZALEŻNOŚCI OD WARTOŚCI NAPIĘCIA SIECI

Praca lampy przy zmianie napięcia zasilającego wiąże się ze zmianami wielkości elektrycznych i promienistych. Stopień tej zależności uwarunkowany jest wielkością zmian temperatur w lampie i związanych z tym zmian stanu plazmy – gęstości i ciśnienia składników.
Dla każdego typu lampy istnieje pewna wartość optymalna mocy, na którą ta lampa została obliczona. Tę wartość optymalną wyznaczają oprócz wymiarów gabarytowych jarznika (średnica i odległość między elektrodami) i rodzaju napełnienia również warunki wyładowania.
Zmianie napięcia zasilającego, a tym samym mocy dostarczonej do lampy, towarzyszy zmiana warunków wyładowania, a więc ustalenie się nowych stanów termicznych i odpowiadających im gęstości i ciśnienia pary, jak również wzrost gęstości prądu przepływającego przez jarznik oraz zmiana wielkości spadku potencjału na elektrodach.
W miarę wzrostu gęstości prądu rośnie gęstość powierzchniowa strumienia świetlnego (jaskrawość łuku) i całkowity strumień świetlny lampy.
W lampach wyładowczych wysokoprężnych zarówno rtęciowych, sodowych jak i metalohalogenkowych wzrost strumienia świetlnego na wskutek wzrostu gęstości prądu spowodowany jest m.in. zwiększeniem liczby aktów wzbudzenia w związku ze wzrostem liczby cząstek naładowanych oraz wskutek powstawania nowych procesów wtórnych związanych ze wzrostem gęstości cząstek przy wzroście temperatury lampy. Te nowe procesy (samoabsorbcja fotonów rezonansowych i zderzenia drugiego rodzaju) odpowiedzialne są za powstawanie nowych linii widmowych w efekcie wzbudzeń kolejnych stanów atomowych.
Jeżeli powstają one w widzialnej części widma to całkowita wydajność świetlna wyładowania rośnie. Z kolei jeżeli pojawienie się procesów wtórnych pociąga za sobą pojawienie się linii w niewidzialnych częściach widma kosztem względnego osłabienia natężenia rezonansowych linii w obszarze widzialnym, wówczas procesy te są zjawiskiem niepożądanym.
W lampach niskoprężnych – świetlówkach emisja promieniowania jest efektem wzbudzenia, pokrywającego ścianki rurki wyładowczej, luminoforu. Luminofor wzbudzany wysokoenergetycznymi liniami rezonansowymi (λ=253,7 nm lub 185 nm) emituje, zgodnie z prawem Stoksa, wtórne widma pasmowe m.in. w obszarze bliskiego nadfioletu oraz światła widzialnego.
Zwiększenie mocy elektrycznej dostarczonej do lampy powoduje początkowo wzrost emisji linii rezonansowych i tym samym zwiększoną emisję promieniowania wtórnego aż do momentu nasycenia, kiedy to dalsze zwiększenie mocy nie powoduje już wzrostu emisji promieniowania. Spowodowane jest to, wspomnianymi już wyżej procesami wtórnymi, zachodzącymi w plazmie wyładowania, w efekcie których energia osłabionych samoabsorpcją stanów rezonansowych zostaje spożytkowana na wzbudzenie mniej prawdopodobnych wyższych stanów, co przejawi się pojawieniem się emisji linii w obszarze fal dłuższych w obrębie widma pierwotnego. Natomiast wskutek osłabienia intensywności linii rezonansowych natężenie emitowanego przez wzbudzony luminofor widma wtórnego ulegnie zmniejszeniu, co przy zwiększonej mocy lampy zaskutkuje zmniejszeniem wydajności świetlnej świetlówki.
W ramach przeprowadzonych prac eksperymentalnych zbadano zmiany zachodzące w parametrach elektrycznych, promienistych i barwowych w następujących typach lamp:
- wysokoprężne lampy metalohalogenkowe 400 watowe o różnym składzie chemicznego napełnienia jarznika oznaczone symbolami LRJD – 400W i LRJ – 400W;
- wysokoprężna lampa sodow WLS - 400W;
- świetlówka 36 W ozn. TL – 36W/54.

Badania parametrów elektrycznych i świetlnych przeprowadzono na stanowisku fotometrycznym, metodą porównawczą z wykorzystaniem wzorców strumienia świetlnego. Parametry elektryczne i świetlne lamp określano dla różnych wartości napięcia zasilającego w granicach określonych w PN-IEC 60038:1999 „Napięcia znormalizowane IEC". Lampy

pracowały ze statecznikami odniesieniowymi przystosowanymi do pracy przy napięciu zasilania 220V. Wyniki zaprezentowano w tabeli nr 1.

Pomiary parametrów barwowych wykonano metodą porównawczą z iluminantem A na stanowisku spektroradiometrycznym.

Wartości temperatury barwowej najbliższej i ogólnego wskaźnika oddawania barw poszczególnych typów lamp w zależności od napięcia zasilającego przedstawiono w tabeli 1

TABELA NR 1

Parametry elektryczne i świetlne lamp wyładowczych w zależności od zmian napięcia zasilającego

Typ lampy	Napięcie zasilania [V]	Temperatura barwowa, najbliższa [K]	Ogólny wskaźnik oddawania barw	Moc lampy [W]	Strumień świetlny [lm]	Skuteczność świetlna [lm/W]
LRJD-400W	200	6500	76,80	300	18439	61,5
	220	5600	88.19	360	23580	65,5
	230	5300	90,88	400	32108	80,3
	253	4800	95,91	475	39290	82,7
LRJ - 400W	200	3900	59,01	315	21175	67,2
	220	3600	63,65	380	27666	72,8
	230	3800	67,14	415	35135	84,7
	253	3550	66,98	480	44570	92,9
WLS – 400W	200	1800	7,6	310	32822	105,9
	220	1800	16,58	400	48309	120,7
	230	1800	22,23	445	63258	142,2
	253	1800	33,95	550	82410	149,8
TL- 36W/54	200	6250	76,27	32	2166	67,7
	220	6250	75,47	36	2494	69,3
	230	6250	75,32	38	2654	69,9
	253	6250	75,26	42	2817	67,1

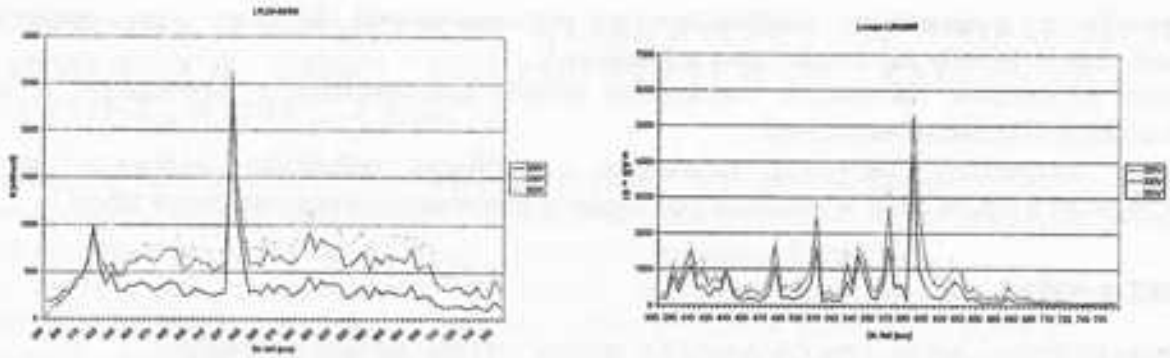
Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że oba typy lamp metalohalogenkowych miały napełnienie chemiczne jarznika takie, że wzrost mocy lampy powodował wzrost emisji strumienia świetlnego i wzrost skuteczności świetlnej. Zachowanie się poszczególnych części rozkładu widmowego obu lamp w zależności od wartości przyłożonego napięcia przedstawiono na rys 1 i 2.

W wysokoprężnej lampie sodowej obserwuje się względne osłabienie linii rezonansowych sodu w wyniku charakterystycznego zjawiska jakim jest odwrócenie się linii D – sodu i pojawienie się skrzydeł „niebieskiego" od strony fal krótszych i „czerwonego" od strony fal dłuższych - obrazuje to rys.4. W świetlówce wzrost mocy lampy powoduje powolny wzrost strumienia i spadek skuteczności świetlnej przy wzroście wartości napięcia . Rozkład widmowy świetlówki dla różnych wartości napięcia zasilającego przedstawiają rys. 3 .

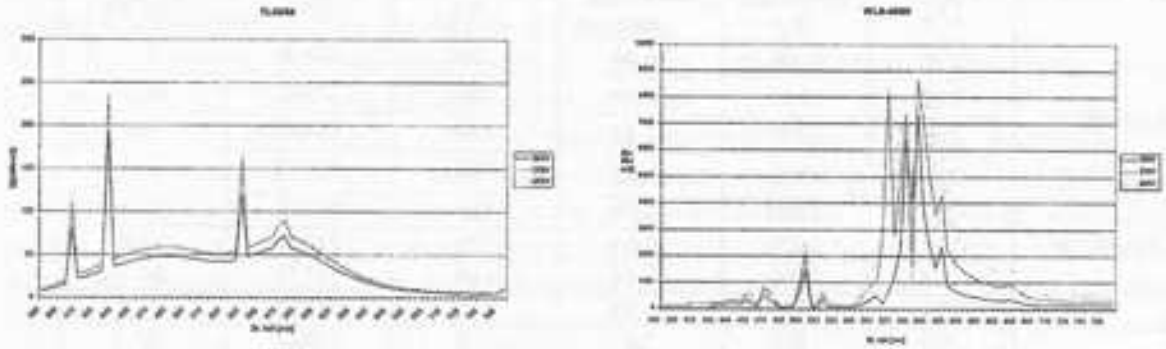
Z kolei jak wynika z powyższej tabeli, zmiana napięcia zasilającego w różnym stopniu wpływa na parametry barwowe poszczególnych typów lamp. Zmiana składu widmowego w poszczególnych zakresach długości fal w lampach metalohalogenkowych w istotny sposób wpływa na barwę emitowanego przez nie światła (różnica 1700K w temperaturze barwowej najbliższej między skrajnymi wartościami sieci dla lampy LRJD – 400W).

Odwrócenie się linii D-sodu i zwiększona emisja na krańcach linii (pojawienie się „skrzydeł") poprawia oddawanie barw przez wysokoprężną lampę sodową.

Natomiast zmiana wartości napięcia zasilającego praktycznie nie wpływa na charakterystyki barwowe świetlówek.



Rys. 1 i 2 Rozkłady widmowe lamp LRJD-400W i LRJ-400W przy różnych wartościach napięcia zasilania



Rys. 3 i 4 Rozkłady widmowe lamp TL-36W/54 i WLS-400W przy różnych wartościach napięcia zasilania

3. WPŁYW ZMIANY NAPIĘCIA SIECI NA WARUNKI BEZPIECZEŃSTWA SPRZĘTU I URZĄDZEŃ OŚWIETLENIOWYCH.

3.1. Oprawy oświetleniowe

Jednym z zasadniczych elementów każdego urządzenia oświetleniowego jest oprawa oświetleniowa. Jej głównym zadaniem jest właściwe wykorzystanie strumienia świetlnego źródła światła. Stosowane w oprawach oświetleniowych źródła światła przyłączone są do instalacji sieci elektrycznej bądź bezpośrednio (oprawy żarówkowe) bądź za pośrednictwem urządzeń pomocniczych (stateczniki) jak w przypadku opraw z lampami wyładowczymi.
Norma PN-EN 60598 – 1 „Oprawy Oświetleniowe. Wymagania ogólne, badania" oraz normy szczegółowe określają wymagania dotyczące konstrukcji opraw, sposobu badania oraz wymogi związane z zachowaniem bezpieczeństwa użytkowania opraw.
Jednym z najważniejszych parametrów odpowiedzialnych za zachowanie bezpieczeństwa oprawy jest wielkość temperatury w poszczególnych częściach oprawy. Jej przekroczenie obniża stopień bezpieczeństwa oraz może prowadzić do uszkodzenia oprawy.
W ramach eksperymentu poddano badaniom termicznym oprawę zewnętrzną, uliczną z lampą WLS 150W (sodowa) oraz oprawę wnętrzową, świetlówkową, obie zaopatrzone w osprzęt przystosowany do pracy przy napięciu 220V. W trakcie pomiarów termicznych w obu oprawach mierzono przebieg zmian parametrów elektrycznych.
Wyniki pomiarów temperatur oraz parametrów elektrycznych przy napięciach znamionowych 220V i 230V oraz w warunkach normalnych i nienormalnych dla oprawy ulicznej podano w tabeli nr 2, a dla oprawy wnętrzowej w tabeli nr 3.

TABELA nr 2

Wartości temperatur zmierzone w miejscach charakterystycznych oraz parametry elektryczne oprawy ulicznej

	Wyniki pomiarów temperatur odniesione do t_a = 15°C					
	Warunki znamionowe		Warunki normalne		Warunki nienormalne	
	U_{zn}		U_z = 1,06 U_{zn}		U_z = 1,1 U_{zn}	
	220V	230V	233,2V	243,8V	242V	253V
Izolacja przewodu przyłączeniowego w pobliżu statecznika	44	46	47	49	48	51
Korpus układu zapłonowego od strony statecznika	31	33	33	34	34	36
Przepust gumowy pomiędzy komorą osprzętu a komorą lampy	39	41	41	44	43	46
Podkładka gumowa pod oprawką ceramiczną lampy	56	59	60	64	63	67
Izolacja przewodów w odległości 1 cm od zacisków oprawki lampy	63	67	68	72	71	76
Korpus złączki statecznika	52	56	56	59	58	61
Trzonek lampy	99	105	106	113	112	119
Temperatura uzwojeń statecznika	85	88	-	-	92	120
I_z [A]	0,853	0,9	0,915	0,975	0,965	1,03
P [W]	165	184,4	190,8	215,6	211	235
Cosφ [współczynnik mocy]	0,88	0,89	0,89	0,9	0,9	0,9

Tabela nr 3

Wartości temperatur zmierzone w miejscach charakterystycznych oprawy wnętrzowej oraz uzyskiwane przez nią parametry elektryczne

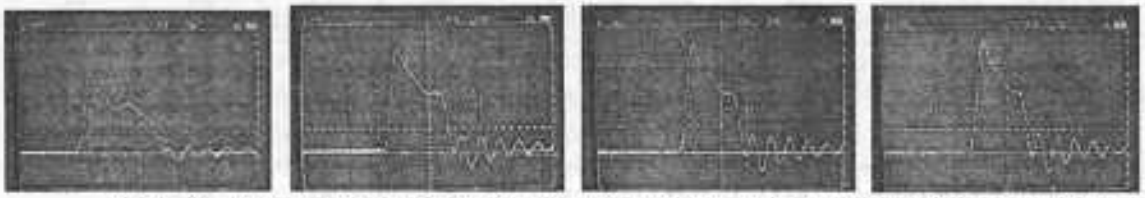
Miejsce pomiaru		$1,0\ U_{zn}$	$1,0U_{zn}$	$1,06U_{zn,230}$	$1,1U_{zn,220}$		$1,06U_{zn230}$	$1,1U_{zn,230}$	
		220V	230V	233V	242V	242V* zwarcie	244V	253V	253V* zwarcie
Złączka statecznika 2		71	77	79	84	102	86	93	117
Oprawka świetlówki 2		66	69	69	71	92	72	74	94
Oprawka zapłonnika 2		55	58	59	61	72	62	64	75
Przewody wewnętrzne w pobliżu statecznika 2		66	71	72	76	91	78	83	103
Trzonek świetlówki		81	84	85	87	117	88	91	121
Sufit nad statecznikiem 2		58	64	65	70	87	71	78	101
Temperatura uzwojenia statecznika 1		65,86	68,89	-	71,2	64,83	-	73,6	66,64
Temperatura uzwojenia statecznika 2		108,23	121,33	-	139,6	192,7	-	157,55	234,8
Parametry elektr.	U_z	220V	230V	233V	242V	242V	244V	253V	253V
	I_z	0,39A	0,41A	0,42A	0,45A	0,6A	0,46A	0,50A	0,65A
	P_z	75W	81W	82W	87W	89W	89W	95W	97W
Cos φ		0,87	0,86	0,84	0,8	0,61	0,79	0,75	0,59

** Zgodnie z wymaganiami normy próbę uszkodzenia wykonano przy zwarciu zapłonnika w obwodzie świetlówki, w którym występują wyższe temperatury w warunkach normalnych.*

W przypadku oprawy ulicznej pomiary wykazały znaczną różnicę temperatur na niektórych elementach osprzętu przy skrajnych napięciach zasilających.
Największy przyrost temperatury zaobserwowano na uzwojeniu statecznika i na trzonku lampy oraz na złączkach, podkładkach i przewodach leżących w ich pobliżu.(tab. Nr 2)
Dla oprawy wnętrzowej pomiary temperatur wykonano podobnie jak w przypadku oprawy ulicznej, w najbardziej charakterystycznych miejscach oprawy zgodnie z warunkami podanymi w odnośnej normie szczegółowej.
W trakcie badań oprawa była zamocowana bezpośrednio do sufitu. Pomiary temperatur oraz parametrów elektrycznych przy różnych napięciach zasilających oraz w warunkach zwarcia jednego z zapłonników podano w powyższej tabeli.
Poddana eksperymentowi oprawa wnętrzowa jako źródło światła posiadała dwie świetlówki o mocy 36W każda.
Z tabeli jasno wynika, że podobnie jak w przypadku oprawy ulicznej, w badanej oprawie wnętrzowej stwierdzono znaczny przyrost temperatur przy wzroście wartości napięcia zasilającego, na statecznikach, oprawkach i trzonkach lamp.
Szczególnie uwidacznia się to przy symulowanym uszkodzeniu zapłonnika (zwarcie), które często występuje podczas normalnego użytkowania oprawy.
Temperatura uzwojeń statecznika w obwodzie lampy przy zwartym zapłonniku oraz temperatura sufitu nad tym statecznikiem wzrasta prawie dwukrotnie. (tab. Nr 3)
Z powyższego wynika, ze oprawa ta przyłączona do napięcia zasilającego 230V, nie spełnia wymagań bezpieczeństwa użytkowania.
W trakcie badań w obu oprawach sprawdzano również przebieg zmian parametrów elektrycznych oprawy w zależności od wartości napięcia sieciowego.
Analizując otrzymane wyniki zaobserwowano zwiększony pobór prądu i mocy a także duże zmiany współczynnika cosφ.

3.2. Elektroniczne układy zapłonowe

Montowane w oprawach z wysokoprężnymi lampami wyładowczymi elektroniczne układy zapłonowe powinny generować, zależnie od mocy lampy, maksymalny impuls zapłonowy do 5 kV. Do takiego impulsu zapłonowego dostosowany jest osprzęt zamontowany w oprawie (przewody, oprawki). Przy wzroście napięcia sieciowego wzrasta wartość napięcia szczytowego układu zapłonowego w sposób pokazany na rys. 5 i w tabeli 4.



Rys5. *Zmiany wartości napięcia szczytowego przykładowego układu zapłonowego w zależności od zmian napięcia zasilającego*

Tabela 4

Zależność zmian wartości napięcia układu zapłonowego od zmian wartości napięcia sieciowego

$U_{zasilania}$ [V]	V_{max} [kV]
200	4,687
210	4,969
220	5,219
230	5,500
250	6,000

Powyższe wyniki wykazują wzrost impulsu szczytowego o blisko1000V w górnym przedziale zmienności sieci a więc znaczne przekroczenie napięcia bezpiecznego dla danego typu osprzętu. Wymaga to wymiany oprawki zastosowanej w oprawie i przewodu łączącego układ zapłonowy z oprawką o większej wytrzymałości elektrycznej.

Aby spełnić wymagania bezpieczeństwa powyżej opisanych opraw należy bezwzględnie wymienić stateczniki oraz w przypadku oprawy ulicznej, elektroniczny układ zapłonowy na dostosowane do pracy przy napięciu sieci 230V. Z wieloletnich doświadczeń eksperymentatorskich zachodzi również, w przypadku znacznego wzrostu temperatur w oprawie, konieczność wymiany kondensatora kompensacyjnego na dostosowany do wyższych temperatur oraz zastosowania bardziej odpornych na temperaturę elementów wykonanych z tworzywa (złączki, opaski, uszczelki).
Jako przykład można podać zastosowanie niewłaściwego (nieodpornego na działanie podwyższonej temperatury) materiału uszczelki, co może doprowadzić do rozszczelnienia komory lampowej, a tym samym nie spełnienie deklarowanego przez producenta stopnia IP.

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy uzyskanych wyników eksperymentalnych można stwierdzić, że zmiana wartości napięcia znamionowego sieci w odniesieniu do urządzeń i sprzętu oświetleniowego przystosowanych do napięcia zasilającego 220V może spowodować bardzo różne skutki.

- Lampy metalohalogenkowe zwiększają całkowity strumień świetlny i skuteczność świetlną, chociaż na podstawie analizy teoretycznej zjawisk można założyć, że w zależności od rodzaju napełnienia chemicznego jarznika lampy, może zajść również zjawisko odwrotne. Obserwuje się natomiast znaczną zmianę charakterystyk barwowych, co nie zawsze jest zjawiskiem pożądanym.
- Wysokoprężne lampy sodowe poprawiają swoje parametry barwowe wskutek „odwrócenia się" linii rezonansowej sodu.
- W lampach niskoprężnych (świetlówki) pod wpływem wzrostu napięcia zasilającego zmniejsza się skuteczność świetlna.
- We wszystkich typach zbadanych lamp obserwuje się niepokojący, z punktu widzenia zarówno energooszczędności jak i warunków eksploatacji sprzętu oświetleniowego, duży dochodzący nawet do 35% wzrost mocy lamp.
- W oprawach oświetleniowych zarówno wnętrzowych jak i zewnętrznych z zamontowanym osprzętem dostosowanym do pracy przy 220 V można zaobserwować znaczny wzrost temperatury na niektórych elementach oprawy, co prowadzi do obniżenia stopnia jej bezpieczeństwa.
- Elektroniczne układy zapłonowe generują impuls zapłonowy o napięciu znacznie przewyższającym wartości dopuszczalne określone wytrzymałością elektryczną danego osprzętu (przewody, oprawki) zwiększając tym samym niebezpieczeństwo elektrycznego przebicia izolacji i zagrożenie porażeniem elektrycznym użytkowników.

LITERATURA

1. PN-IEC 60038:1999 *„Napięcia znormalizowane IEC"*
2. J Waymouth " *Electric discharge lamps* "
3. L. Hemka, M, Rafałowski *„Wpływ chemicznego napełnienia i geometrii jarznika na charakterystyki widmowe i eksploatacyjne wysokoprężnych lamp wyładowczych"* Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej Nr 144
4. PN 65 /N 01253 *„Metoda wyznaczania barw"*
5. L. Hemka *„Zmiany parametrów eksploatacyjnych i świetlnych lamp wyładowczych w zależności od napięcia sieci"* Referat wygłoszony na XI Krajowej Konferencji Oświetleniowej listopad 2002r
6. PN EN 60598 - 1 *„ Oprawy oświetleniowe. Wymagania ogólne i badania"*
7. PN – EN 60598 – 2 –3 *„Oprawy oświetleniowe drogowe i uliczne"*
8. PN - EN 60598 –1 –1 *„ Oprawy oświetleniowe stałe ogólnego przeznaczenia"*

"Basic parameters functional and safety of illumination equipment and light s0urces with reference to the change of the mains nominal voltage from 220V to 230V"

Problems associated with necessity of adapting the value of supply voltage to Europe requirements relative to the operating parameters of lighting equipment used under supply conditions existing hitherto. Moreover an expected influence of the change of the mains voltage upon the electric, illumination and colour parameters of typical light sources designed for nominal voltage 220V.

Kazimierz HERLENDER[1]

SPOSOBY MAGAZYNOWANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

W referacie opisano wybrane technologie magazynowania energii elektrycznej ze szczególnym uwzględnieniem ich zaawansowania oraz funkcji jakie pełnią lub mogą pełnić w przyszłości w systemie elektroenergetycznym. Bardziej szczegółowo opisano strukturę bateryjnego zasobnika energii typu BES ponieważ obecnie obok elektrowni szczytowo-pompowych jest to najbardziej dojrzała technologia magazynowania energii elektrycznej. Tworzące się obecnie lokalne rynki energii, zarówno w Europie jak i w Polsce, otwierają nowe możliwości wykorzystania niekonwencjonalnych zasobników energii.

1. WPROWADZENIE

Ciągłe zmiany zachodzące w polskiej energetyce dążącej w kierunku decentralizacji sektora energetycznego powodują, że coraz większego znaczenia będą nabierały niewielkie, rozproszone źródła energii, które pozwolą lokalnym operatorom techniczno-handlowym na bezpieczne i razem ekonomiczne sterowanie i regulację przesyłem i rozdziałem energii elektrycznej [2], [3], [8]. Urządzeniami, które mogą w znaczny sposób wspomóc operatorów na tak powstałym rynku energii mają być niekonwencjonalne źródła energii, do których można zaliczyć: bateryjne zasobniki energii (BES – Battery Energy Storage), koła zamachowe, nadprzewodnikowe zasobniki energii (SMES – Superconducting Magnetic Energy Storage) oraz kondensatory mocy.

Bateryjne zasobniki energii typu BES są obecnie jedyną obok elektrowni szczytowo-pompowych dojrzałą technologią magazynowania energii elektrycznej, co potwierdza kilkanaście już praktycznych realizacji tych urządzeń [6], [7]. Głównymi parametrami charakteryzującymi te urządzenia są moc i energia. Jednak wyznaczenie tych parametrów zasobników zależne jest od funkcji jaką mają pełnić w systemie elektroenergetycznym i przyjętego modelu [5].

Zasobniki energii mogą być instalowane bezpośrednio u odbiorców energii lub w węzłach sieci elektroenergetycznych należących do Zakładów Energetycznych (ZE). Zyski ekonomiczne i zalety ruchowe uzyskiwane w wyniku instalacji zasobników są spowodowane obniżeniem mocy szczytowej w węzłach sieci rozdzielczej ZE, obniżeniem mocy szczytowej u odbiorców, przesunięciem w czasie niezbędnych inwestycji, poprawą poziomów napięć, obniżeniem strat energii z ewentualną likwidacją przeciążeń elementów sieciowych w szczycie obciążenia oraz zwiększenie lokalnej rezerwy mocy [4].

Zastosowanie odpowiedniego rodzaju zasobników energii uwarunkowane jest funkcją jaką miałby spełniać taki zasobnik w określonym punkcie systemu elektroenergetycznego oraz jego parametrami [1]. Przy niewątpliwych zaletach eksploatacyjnych, wymienione zasobniki energii posiadają jedną podstawową wadę – duże koszty inwestycyjne. Jednak ciągły rozwój tych technologii pozwala sądzić, że już w niedalekim czasie znajdą one coraz powszechniejsze zastosowanie.

[1] Politechnika Wrocławska, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, tel. (071) 320 33 86, e-mail: kazimierz.herlender@pwr.wroc.pl

2. WYBRANE TECHNOLOGIE MAGAZYNOWANIA ENERGII

W obecnej chwili istnieje kilka technologii magazynowania energii elektrycznej, niektóre z nich są już dobrze znane, inne zaś są jeszcze w fazie prób i zastosowań laboratoryjnych. Do najważniejszych zaliczyć można [7]:

- elektrownie szczytowo-pompowe,
- bateryjne zasobniki energii typu BES,
- koła zamachowe (zasobniki magazynujące energię kinetyczną),
- nadprzewodnikowe zasobniki energii (SMES),
- kondensatory mocy.

Elektrownie szczytowo-pompowe są w użyciu od roku 1929 i jest to najstarsza technologia magazynowania energii, która praktycznie do roku 1970 była jedyną komercyjnie dostępną metodą magazynowania energii elektrycznej. Konwencjonalne elektrownie szczytowo-pompowe składają się z dwóch dużych zbiorników wodnych, z których jeden znajduje się na poziomie elektrowni, a drugi umieszczony może być na różnej wysokości powyżej zbiornika pierwszego. Woda pompowana jest do zbiornika znajdującego się na wyższym poziomie, gdzie jest gromadzona jako energia potencjalna. Na żądanie, woda jest wypuszczana z powrotem do niższego zbiornika, przechodząc przez turbiny wodne w elektrowni, które generują energię elektryczna. Moce uzyskiwane z elektrowni szczytowo-pompowych dochodzą do 1000 MW. Główne bariery do stosowania tej technologii na większą skalę to wysoki koszt inwestycyjny oraz duże ograniczenia geograficzne, geologiczne i środowiskowe związane z budową zbiorników wodnych.

Bateryjne zasobniki energii to technologia magazynowania energii elektrycznej wykorzystująca baterie akumulatorów. Aktualnie na rynku jest szeroki wybór baterii dostępnych komercyjnie, a jeszcze więcej nowych technologii akumulatorów jest dopiero w fazie projektowania. W konwencjonalnej baterii ładowanie powoduje reakcje w elektrochemicznych mieszaninach aby zgromadzić energię elektryczną w formie chemicznej. W razie potrzeby, odwrotne reakcje chemiczne powodują, że energia elektryczna oddawana jest z powrotem do sieci elektroenergetycznej. Pierwszą dostępną na rynku baterią była bateria ołowiowo-kwasowa i jest ona do tej pory najczęściej stosowana w różnego typu aplikacjach. Najnowszą wersją baterii ołowiowo-kwasowej jest bateria VRLA (z zaworem regulacyjnym), która jest baterią bezobsługową o dłuższym czasie życia i kompaktowej obudowie. Zainstalowane moce zasobników bateryjnych wahają się w szerokich granicach: od kilkudziesięciu kilowatów do modułowych zestawów sięgających kilka megawatów. Skutkiem tego jest możliwość stosowania baterii zarówno w obszarze generacji energii elektrycznej, przesyłu i dystrybucji jak również u odbiorców indywidualnych.

Koła zamachowe to zupełnie nowa technologia magazynowania energii elektrycznej uzyskiwana poprzez jej zamianę w energię kinetyczną wirujących mas. Obecnie urządzenia takie budowane są jako egzemplarze prototypowe do zastosowań studyjnych i laboratoryjnych. Zasobnik energii tego typu zbudowany jest z koła zamachowego, które wiruje z bardzo dużą prędkością i połączonego z nim generatora elektrycznego, który działa jednocześnie jako silnik. Użycie łożysk magnetycznych oraz komory próżniowej pomaga w zredukowaniu strat mechanicznych. Właściwe połączenie geometrii i właściwości użytych materiałów wpływają na optymalną konstrukcję koła zamachowego. Prace nad wykorzystaniem takich urządzeń w energetyce skupiają się głównie na użyciu ich do poprawy jakości energii elektrycznej.

Nadprzewodnikowy zasobnik energii (SMES) to układ, który gromadzi energię elektryczną w polu magnetycznym wywołanym przez przepływ prądu elektrycznego w cewce z materiału nadprzewodzącego. Aby utrzymać cewkę w stanie nadprzewodnictwa, zanurzona jest ona w ciekłym helu zawartym w kriostacie z izolacją próżniową. Wyprowadzenie energii z nadprzewodnikowych zasobników energii jest dużo mniej zależne od tempa rozładowania niż jest to w przypadku baterii. SMES charakteryzują się dużą liczbą cykli życia co powoduje, iż

nadają się one do aplikacji o pracy zarówno okresowej jak i ciągłej. Chociaż badania nad SMES były prowadzone na większych układach w zakresie od 10 do 100 MW, to ostatnio skupiono się na mniejszych systemach (od 1 do 10 MW) tzw. micro-SMES. Będą one dostępne na rynku jako urządzenia do poprawy jakości energii elektrycznej.

Kondensatory mocy jako zasobniki energii elektrycznej, są najmłodszą technologią magazynowania energii z wyżej opisanych. Kondensator elektrochemiczny posiada zarówno elementy kondensatora jak i baterii, w konsekwencji napięcie pojedynczego ogniwa jest ograniczone do kilku wolt. Ładowanie odbywa się za pośrednictwem jonów tak jak ma to miejsce w baterii lecz nie występują w nim żadne reakcje chemiczne (tak jak w konwencjonalnym kondensatorze). Kondensator elektrochemiczny składa się z dwóch przeciwnie ładowanych elektrod, separatora, elektrolitu i układu kontroli prądu. Obecnie bardzo małe superkondensatory o mocach 7-10 W są dostępne na rynku i znajdują szerokie zastosowanie głównie w urządzeniach gospodarstwa domowego do poprawy jakości energii elektrycznej.

W tabeli 1 zestawiono najważniejsze cechy wyżej wymienionych zasobników energii elektrycznej.

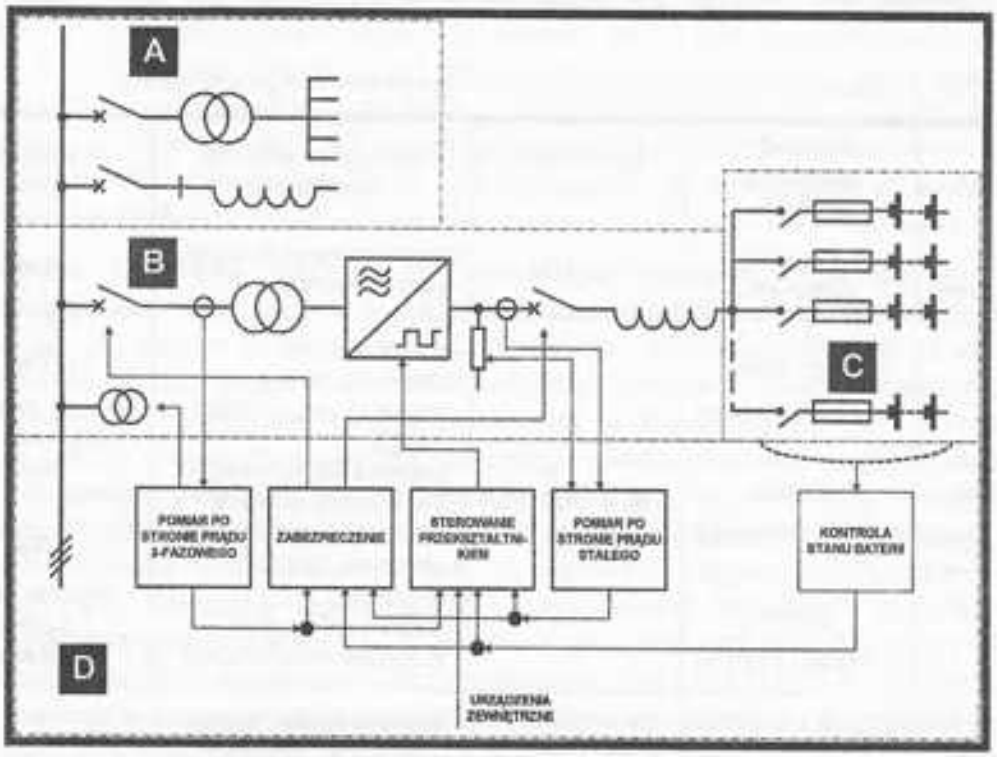
Tab. 1. Podstawowe cechy wybranych rodzajów zasobników energii elektrycznej

Rodzaj zasobnika	Przykłady istniejących aplikacji	Uzyskiwane moce	Potencjalne/aktualne zastosowania	Dostępność na rynku
Elektrownie szczytowo-pompowe	Elektrownia Żarnowiec	>2,1 GW	- wyrównywanie obciążeń, - gorąca rezerwa	**Tak**
Bateryjne zasobniki energii typu BES	Puerto Rico (20 MW/14 MWh) Alaska (70 MW/17 MWh) Berlin (17 MW/14 MWh)	(100 W-100 MW)	- gorąca rezerwa, - połączenie SEE z odnawialnymi źródłami energii, - poprawa jakości energii elektrycznej, pewność zasilania - obcinanie szczytów obciążeń, - instalowanie w sieci przesyłowo-rozdzielczej	**Tak** (baterie: ołowiowo-kwasowe, VRLA, Na-S) **Nie** (baterie: Zn-Br, Litowe, Polimerowe)
Koła zamachowe	1 lub 2 urządzenia demonstracyjne	w granicach kW	- poprawa jakości energii elektrycznej, pewność zasilania	**Nie**
Nadprzewodnikowe zasobniki energii (SMES)	5 urządzeń tego typu pracuje w USA (razem ok. 30 MW)	1-10 MW (micro-SMES) 10-100 MW	- instalowanie w sieci przesyłowo-rozdzielczej, - poprawa jakości energii elektrycznej	**Tak** (micro-SMES) **Nie** (większe jednostki)
Nowoczesne kondensatory elektrochemiczne - superkondensatory	Miliony jednostek do podtrzymywania zasilania w różnego rodzaju urządzeniach	7-10 W (komercyjnie) 10-20 kW (prototypy)	- poprawa pewności zasilania i jakości energii elektrycznej	**Tak** (nisko napięciowe do podtrzymywania zasilania i poprawy jakości energii elektrycznej) **Nie** (duże jednostki o mocach rzędu kW)

Nadprzewodnikowe zasobniki energii (SMES) oraz kondensatory mocy charakteryzują się dużo wyższą gęstością mocy na kg niż baterie elektrochemiczne, ale obecny poziom rozwoju technologicznego tych urządzeń oraz ich wysoka cena uniemożliwiają użycie tych rozwiązań technicznych w sieciach energetycznych. Pod względem kosztów inwestycyjnych jedynie elektrownie szczytowo-pompowe mogą współzawodniczyć z bateryjnymi zasobnikami energii, jednak te ostatnie przewyższają elektrownie szczytowo-pompowe: mniejszymi gabarytami, możliwością łatwego transportu, dużo prostszą konstrukcją i możliwością prawie dowolnej lokalizacji.

3. STRUKTURA BATERYJNEGO ZASOBNIKA ENERGII

Podstawowe elementy składowe bateryjnego zasobnika energii typu BES pokazano na rysunku 1 [6].



Rys. 1. Podstawowe elementy składowe bateryjnego zasobnika energii typu BES

Przedstawiony na rysunku 1 bateryjny zasobnik energii charakteryzuje się budową modułową. Do podstawowych modułów zalicza się:

A – blok zasilania pomocniczego, filtr prądu 3-fazowego (jeśli jest wymagany) oraz miejsce do ewentualnego podłączenia urządzeń obsługi,

B – transformator, nastawnik mocy z aktywnym układem przekształtnikowym,

C – bateria akumulatorów jako pasywny element magazynujący energię elektryczną,

D – blok sygnałowy (układ kontroli i sterowania).

Parametry baterii oraz układu przekształtnikowego muszą być dobrane bardzo dokładnie, tak aby zbudowany zasobnik był w stanie magazynować i oddawać wymaganą ilość energii elektrycznej w sposób określony przez realizowaną funkcję.

Zastosowanie nowoczesnych układów sterowania i zabezpieczeń pozwala stworzyć urządzenie spełniające wysokie kryteria niezawodności jakie są stawiane układom do poprawy jakości energii.

Tor prądu stałego łączy ze sobą baterie akumulatorów oraz układ przekształtnikowy. Kilka równolegle połączonych zestawów baterii wraz z przekształtnikami (prostownik/falownik) może być ze sobą sprzężone i podpięte do sieci elektroenergetycznej w jednym punkcie.

Bateryjny zasobnik energii może zostać podłączony do sieci energetycznej lub też bezpośrednio u odbiorcy na dowolny poziom napięcia. Aby dopasować napięcie 3-fazowej sieci elektroenergetycznej do napięcia wyjściowego przekształtnika potrzebny jest transformator. W praktyce bateryjne zasobniki energii (BES) najczęściej włączane są na poziom napięcia średniego lub niskiego.

Blok sygnałowy steruje układem przekształtnikowym w zależności od docierających do niego sygnałów z baterii. Sygnały sterujące takie jak napięcie i prąd mierzone po obu stronach przekształtnika zostają wymieniane bezpośrednio z nastawnikiem mocy. Możliwe jest również zdalne sterowanie pracą przekształtnika za pośrednictwem urządzeń zewnętrznych.

Układ przełączający nastawnika mocy zapewnia zasilanie przekształtnika poprzez transformator z punktu przyłączenia BES do sieci. Zastosowany przekształtnik pozwala na dwukierunkowy przepływ prądu w celu ładowania i rozładowywania baterii. Dławik wygładzający, zainstalowany po stronie prądu stałego, chroni baterie przed przepięciami, jak również wytłumia wyższe harmoniczne.

4. PODSUMOWANIE

Zastosowanie zasobników energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym może przynieść zyski ekonomiczne zarówno dla spółek dystrybucyjnych jak i dla indywidualnych odbiorców. Są to zyski związane zarówno ze zmniejszeniem obciążeń szczytowych jak i poprawą jakości energii (poprawa poziomów napięć i likwidacja ewentualnych przeciążeń elementów sieciowych w szczycie obciążenia, zwiększenie niezawodności zasilania poprzez utrzymanie pewnej rezerwy mocy). Zastosowanie zasobników w niektórych przypadkach może pozwolić na przesunięcie pewnych inwestycji w czasie.

Bateryjne zasobniki energii typu **BES** są obecnie obok elektrowni szczytowo-pompowych jedyną, dostępną na skalę przemysłową, technologią odnawialnego przechowywania energii elektrycznej. Zaletą BES jest możliwość instalacji ich w dowolnych węzłach systemu energetycznego. Znane są następujące zastosowania bateryjnych zasobników energii: regulacja częstotliwości, rezerwa energii, obniżanie mocy szczytowej, poprawa jakości energii [9].

Badanie efektywności ekonomicznej wykorzystania bateryjnych zasobników energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym w warunkach polskich jest zagadnieniem trudnym i złożonym, przynajmniej z dwóch powodów. Po pierwsze koszt bateryjnego zasobnika energii i zyski wynikające z jego zainstalowania związane są ściśle z funkcją jaką ma on pełnić, a zatem w każdym przypadku analiza ekonomiczna jego opłacalności wymaga rozpatrzenia różnych aspektów i często użycia różnych metod obliczeniowych. Po drugie, jak na razie nie ma żadnych krajowych doświadczeń w tej dziedzinie.

5. LITERATURA

1. Herlender K., Latuszek K, Stawski P: *Modelowanie dobowych krzywych obciążeń w węzłach sieci rozdzielczych średniego napięcia z wykorzystaniem bateryjnych zasobników energii,* Materiały 5 Konferencji Naukowej PE 2002. ***Prognozowanie w elektroenergetyce***. Częstochowa 2002.
2. Herlender K, Nazarko J, Styczyński Z.: *Zastosowanie zasobników energii w warunkach decentralizacji rynku energii elektrycznej*, Materiały konferencyjne Aktualne Problemy w Elektroenergetyce APE 1999, Jurata 1999.

3. Herlender K., Stawski P., Harasimowicz L.: *Wykorzystanie bateryjnych zasobników energii oraz małych układów generacji gazowo-parowej na zdecentralizowanym rynku energii elektrycznej,* Opracowanie wewnętrzne IASE, nr . 856, Wrocław 2001.
4. Herlender K., Stawski P., Harasimowicz L.: *Współpraca bateryjnych zasobników energii z siecią elektroenergetyczną,* Materiały konferencyjne Aktualne Problemy w Elektroenergetyce APE-2003, Jurata 2003.
5. Herlender K., Styczyński Z., Dominik H.: *Determination of a Battery Energy Storage Module Size for Distribution Network,* Proceedings International EESAT'98 Conference (Electrical Energy Storage Systems Applications and Technologies), Chester, June 1998.
6. Praca zbiorowa, *Batterie-Energiespeicher in der Elekktrizitaetsversorgung – Kompendium,* Verlag Mainz, Aachen 1996.
7. Proceedings of EU-Project ICOP-DISS-2140-96, *Distributed Energy Storage for Power Systems,* Pod red. Feser K., Styczyński Z. A., Verlag Mainz, Aachen 1998.
8. Stawski P., Herlender K.: *Zastosowanie bateryjnych zasobników buforowych w warunkach zdecentralizowanego rynku energii,* Materiały IV Konferencji naukowo-technicznej: ***Sieci elektroenergetyczne w przemyśle i energetyce. SIECI 2000,*** Wrocław, 5-7.07.2000.
9. Styczyński Z., Herlender K., Dominik H.: *Zasobniki energii w sieci rozdzielczej,* Energetyka 7/1996.

ENERGY STORAGE IN POWER SYSTEM

In the paper were different kinds of electrical energy storage described, such as: pumped hydro energy storage, Battery Energy Storage (BES), flywheel systems, Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) and ultra capacitors. Compared the main parameters this energy storage and given possible areas their applications. More detail was a structure of the battery energy storage (BES) described because nowadays this technology of energy storage is practically use. Local energy market in Europe and in Poland given new possibility utilisation of new technology energy storage.

Jarosław Hrynkiewicz em. prac. WSM
Maciej Kozak IEiAO AM Szczecin

ZINTEGROWANE ZABEZPIECZENIA SILNIKÓW AC DLA DŁUGOTRWAŁEJ EKSPLOATACJI BEZ DOZORU

Silniki AC zdominowały współczesne napędy, wiele z nich musi pracować miesiące bez przeglądów i dozoru. Występujące uszkodzenia powinny ograniczać się do łożysk. Mimo tego możliwe uszkodzenie instalacji i samego silnika wymagają skuteczniejszych, wielofunkcyjnych zabezpieczeń minimalizujących skutki awarii.

Słowa kluczowe: silnik AC, niezawodność pracy silników AC, zabezpieczenie maszyn AC, sterowanie elektroniczne maszyny AC.

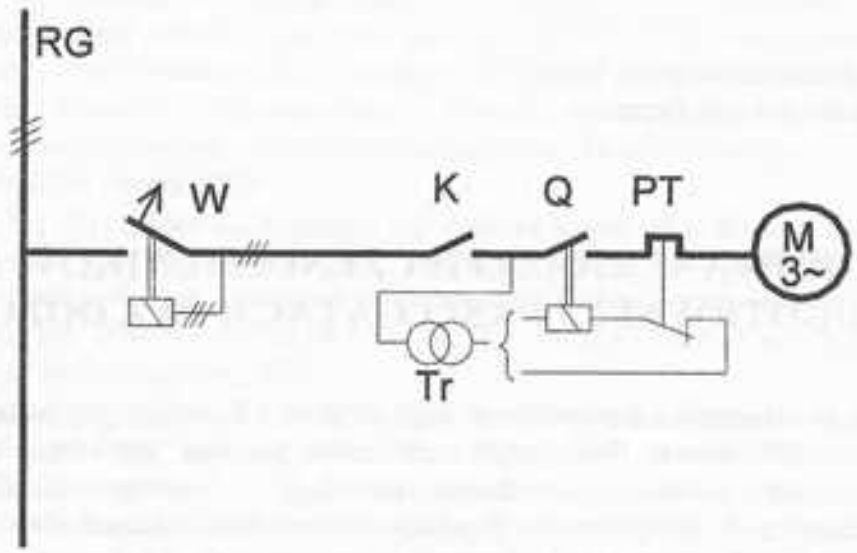
1. ZINTEGROWANE ZABEZPIECZENIE SILNIKÓW AC DLA DŁUGOTRWAŁEJ EKSPLOATACJI BEZ DOZORU

Silniki elektryczne AC wymagają szczególnie dobrze dobranych zabezpieczeń przeciążeniowych i zwarciowych do utrzymania wysokiej niezawodności pracy. Sprawa zabezpieczeń silników klatkowych (najczęściej stosowanych) od kilkudziesięciu lat należała do najbardziej kłopotliwych w elektrotechnice. Efektem są ciągle występujące przegrzania izolacji tych silników. Dopiero techniki mikroprocesorowe są w stanie sprostać narzuconym wymaganiom. Należy pamiętać, że silnik asynchroniczny zwarty charakteryzuje się następującymi parametrami technicznymi:

- prąd rozruchowy 5-8 I_n, w zależności od budowy wirnika,
- czas rozruchu 0,5-10 sekund zależnie od poziomu prędkości obrotowej i GD^2 napędu,
- zabezpieczenie od przeciążeń za pomocą wyzwalaczy termicznych działa wg charakterystyki pasmowej, a nie liniowej,
- zabezpieczenie zwarciowe musi być ustawione powyżej prądów rozruchowych – jest dobierane na wysokie wartości rzędu $10I_n$ lub więcej.

Obecnie eksploatowane duże silniki asynchroniczne są zasilane bezpośrednio z rozdzielnicy głównej RG gdzie w obwodzie montuje się wyłączniki zwarciowe W z podtrzymaniem napięciowym wyłącznika. Wyłącznik zostaje wyłączony:

- przy zwarciu w obwodzie,
- przy zaniku napięcia na RG, np. podczas przerwy w zasilaniu,
- przy działaniu układu Mayera – dla obwodów mniej ważnych,
- przy pożarze, gdy wyłączone są obwody ważne przed rozpoczęciem gaszenia CO_2.

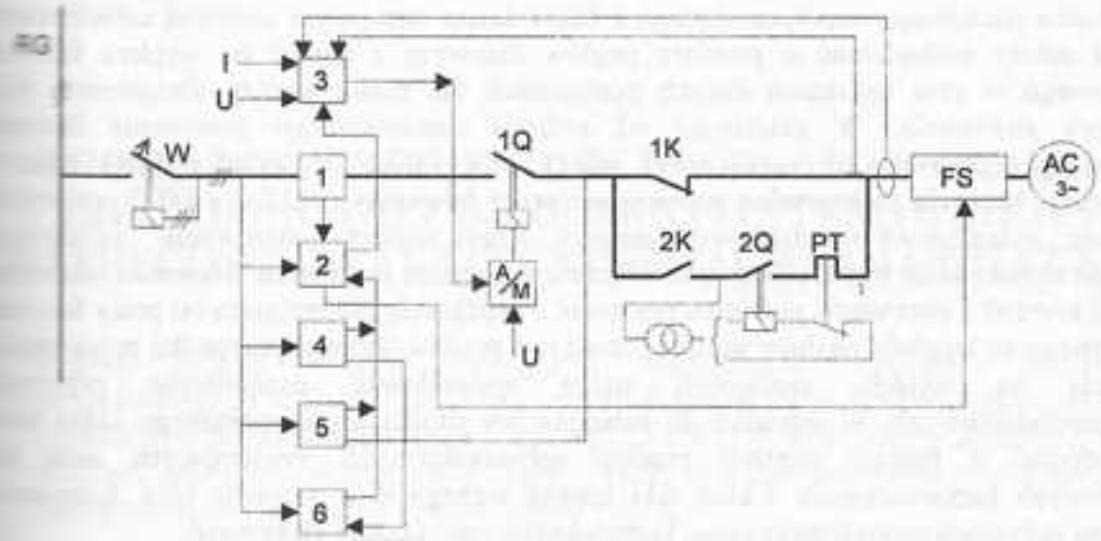


Rys.1 Zabezpieczenie silnika asynchronicznego na statku.
W- wyłącznik zwarciowy, K- łącznik, Q – stycznik, PT – wyzwalacz termiczny, Tr – transformator, M – silnik asynchroniczny.

Sieć elektryczna prądu przemiennego typu IT, jaka jest stosowana na statku, posiada układ pomiaru rezystancji izolacji z sygnalizacją alarmową przekroczenia dolnej granicy dopuszczalnego poziomu wartości oporności doziemnej.

Przy wystąpieniu stanu awaryjnego w obwodzie silnika elektrycznego, obwód powinien być wyłączony z pracy. Stan awaryjny jest groźny, gdy nastąpi zwarcie wewnątrz silnika pomiędzy dwiema lub trzema fazami, wówczas mają zadziałać zabezpieczenia zwarciowe lub przeciążeniowe. Wyłączniki główne W z wyzwalaczami zwarciowymi są fabrycznie nastawione na duże krotności prądu znamionowego I_n wyłącznika ($10I_n$, $15I_n$, $20I_n$), powoduje to zadziałanie ich dopiero przy dużych prądach. Zabezpieczenia przeciążeniowe PT dobrane do wartości prądów znamionowych silnika działają według charakterystyk pasmowych a nie liniowych – nie dają gwarancji wyłączenia obwodu zasilającego przed rozgrzaniem uzwojeń silnika powyżej poziomu dopuszczalnego klasą izolacji. Doprowadza to do wielokrotnego przegrzania, starzenia izolacji, zwarć międzyfazowych i ostatecznie spalenia uzwojeń podczas zwarcia międzyfazowego.

Proponowany przez autorów wielofunkcyjny układ zabezpieczenia nie dopuszcza do załączenia do sieci uszkodzonego silnika, a występujące w nim przeciążenia i zwarcia są analizowane przez elektroniczny system nadzoru, co wyklucza awarie silnika oraz przegrzanie uzwojeń przy przeciążeniach oraz wiele innych stanów awaryjnych.



Rys. 2. Wielofunkcyjny system zabezpieczenia silnika elektrycznego zasilanego z sieci typu IT. W – wyłącznik główny (zwarciowy), 1Q, 2Q – styczniki, 1K, 2K – wyłączniki, PT – wyzwalacz termiczny przeciążenia, 1 – blok analizy obciążenia, 2 – blok sterowania, 3 – blok nadzoru sterowania, 4 – blok analizy napięcia zasilania, 5 – blok analizy zagrożenia porażeniowego, 6 – blok pomiaru rezystancji izolacji.

Przedstawiony układ, oprócz omówionych wcześniej funkcji zabezpieczających, jest wyposażony w dodatkową aparaturę rozszerzającą funkcje zabezpieczające.

Blok 1 analizy obciążenia posiada:

- zabezpieczenie nadmiarowo-prądowe czasowe – model cieplny,
- zabezpieczenie nadmiarowo-prądowe czasowe – doziemne,
- zabezpieczenie nadmiarowo-prądowe czasowe od nierównomiernego obciążenia lub zaniku fazy,
- zabezpieczenie nadmiarowo-prądowe od zablokowanego wirnika,
- układ testowania i kasowania,
- układ sterowania pracy ręcznej i automatycznej,
- układ sygnalizacji,
- układ sterowania.

Blok 1 włączony jest do obwodu silnika bezstykowo poprzez nawleczenie trzech przewodów fazowych przez przygotowane otwory przekaźnika. Przekaźnik ma zwartą budowę i jest niewielkich rozmiarów.

Blok 2 jest blokiem sterowania – wypracowuje sygnał wyjściowy do sterowania zdalnego (komputerowego) odbioru. Steruje on układem Auto/Manual stycznika 1Q, załączającego zasilanie na silnik M.

Blok 3 jest blokiem zdalnego (komputerowego) sterowania.

Blok 4 jest układem analizy wartości napięć fazowych, pełniącym rolę zabezpieczenia od zaniku fazy lub zbyt dużych spadków napięć (upalenie się zacisków).

Blok 5 analizuje zagrożenie porażeniowe w obwodzie silnika M przed załączeniem napięcia zasilającego.

Blok 6 mierzy rezystancje doziemną silnika przed załączeniem go do sieci – przy niskich wartościach następuje blokada zasilania silnika.

2. UKŁAD ZABEZPIECZEŃ GENERATORA ASYNCHRONICZNEGO.

Przy zastosowaniu układu energoelektronicznego z maszyną asynchroniczną pracującą jako generator lub silnikproponowany układ w formie rozbudowanej może służyć jako całościowe rozwiązanie zabezpieczenia maszyny AC. Przy zasilaniu szyn sieci ogólnej z

falownika sieciowego współpracującego z falownikiem sterującym maszyną asynchroniczną układ należy rozbudować o pomiary prądów fazowych i napięć na wyjściu falownika sieciowego w celu uzyskania danych potrzebnych dla bloku analizy obciążenia i bloku nadzoru sterowania. W zależności od rodzaju zastosowanego sterowania falownika sieciowego (prądowe lub napięciowe) należy przewidzieć odpowiedni dobór nastaw i aparatury. Napięcia maksymalne generowane przez falowniki PWM czy DTC przekraczają wartości znamionowe standardowej aparatury. Część analizy i sterowania zabezpieczeń takiego układu może być zrealizowana włącznie z układem sterowania falownika sieciowego. Układ kontroli i sterowania powinien pracować z prędkością nie mniejszą od pracy falownika sieciowego ze względu na duże wartości chwilowe prądów, które w przypadku pojawienia się zwarcia na wyjściu sieciowym mogą spowodować uszkodzenie przyrządów półprzewodnikowych. W stosunku do zabezpieczeń silnika asynchronicznego układ należy rozbudować o funkcje kontroli prądów upływnościowych zawierających dużą ilość składowych harmonicznych. Układ taki można wzbogacić o aktywny blok kompensacji prądów upływnościowych otrzymując kompleksowe rozwiązanie elektrowni.

3. WNIOSKI

Proponowane rozwiązanie zabezpieczenia maszyn AC pomimo, że jest droższe od ogólnie stosowanych zapewnia wczesne ostrzeganie o awariach:

- instalacji zasilającej (kontrola styków i połączeń),
- kontroluje równomierność obciążenia faz,
- analizuje obniżanie stanu izolacji wyłączając urządzenie we wczesnym stanie awaryjnym,
- umożliwia pracę silnika synchronicznego w szerokich granicach od pracy prądnicowej do pracy silnikowej,
- umożliwia długotrwałą pracę silnika bez dozoru obsługi, gdyż stany awaryjne są sygnalizowane i uruchamiają działanie zabezpieczeń wczesnego ostrzegania.

4. LITERATURA

1. PRS: *Przepisy klasyfikacji i budowy statków morskich. Cz. VIII. Urządzenia elektryczne i automatyzacja*, PRS Gdańsk 2000.
2. ELESTER: *Elektroniczny przekaźnik przeciążeniowy EPS. Norma zakładowa ZN- 98/2-02-055*, Elester Łódź 1998.
3. Patent UP RP: *Układ kontroli i nadzoru obwodu odbiorczego w sieci elektrycznej prądu przemiennego*. Współautor: J. Hrynkiewicz, R. Żeludziewicz. Zgłoszenie patentowe 23.03.1999. Nr P 332213
4. J. Wyszkowski, S. Wyszkowski: *Elektrotechnika okrętowa. Napędy elektryczne*, Wyd. WSM Gdynia 1998
5. W. Latek: *Teoria maszyn elektrycznych*, WNT Warszawa 1982.

Maciej JANKOWSKI[1]

TRÓJFAZOWY SZEREGOWY REGULATOR NAPIĘCIA PRZEMIENNEGO Z BIPOLARNYM STEROWNIKIEM MATRYCOWO-REAKTANCYJNYM O TOPOLOGII ĆUK B2

Artykuł dotyczy nowego rozwiązania trójfazowego regulatora napięcia przemiennego. W układzie tym, zastosowano dwubiegunowy sterownik matrycowo-reaktancyjny prądu przemiennego o topologii Ćuk B2 i transformatory dodawcze. Na początku przedstawiono zasadę działania układu jednofazowego oraz trójfazowego, następnie wyniki ich badań symulacyjnych.

1. WSTĘP

W przypadkach, gdy występują nagłe zmiany napięcia zasilającego, zarówno „w dół" jak i „w górę", pojawia się ryzyko uszkodzeń urządzeń, które są wrażliwe na te zmiany, np.: sprzęt komputerowy, oświetlenie itp. Ten rodzaj urządzeń musi być zasilany ze źródeł, które mają stabilizowane napięcie.

Szeregowe regulatory napięcia przemiennego ze sterownikami o topologii mostkowej z transformatorem dodawczym były przedstawione w [6] a następnie jeden z nich szerzej w [5]. Takie rozwiązania dają możliwość kompensacji zmian napięcia zasilania zarówno w górę jak i w dół. Interesujące rozwiązanie do kompensacji zmian napięcia zasilania w dół, bez transformatora dodawczego, ze sterownikiem o topologii typu „boost" opisano w [4]. [1] stanowi przegląd wielu prac na przekształtnikami AC/AC. Tam są opisane ich topologie, modelowanie, funkcje układowe, właściwości i przykładowe zastosowania. W tej pracy jest wymieniony regulator napięcia, którego wyniki badań eksperymentalnych były przedstawione w [5]. To i jedna z topologii pokazana w [3], były inspiracją do badań nad jednofazowym regulatorem napięcia przemiennego, natomiast idea układu przedstawionego w [4] dała pomysł jego rozbudowy do układu trójfazowego, rozpatrywanego w niniejszym artykule.

Istotą artykułu jest przedstawienie zasady działania i wyników badań symulacyjnych proponowanego regulatora napięcia przemiennego. Jego zasada działania polega na dodawaniu napięcia kompensacyjnego do napięcia zasilania, tak, aby napięcie obciążenia miało znamionową wartość. Układ stabilizuje wartość chwilową napięcia obciążenia a tym samym jego wartość skuteczną, dla obu znaków zmian napięcia zasilania.

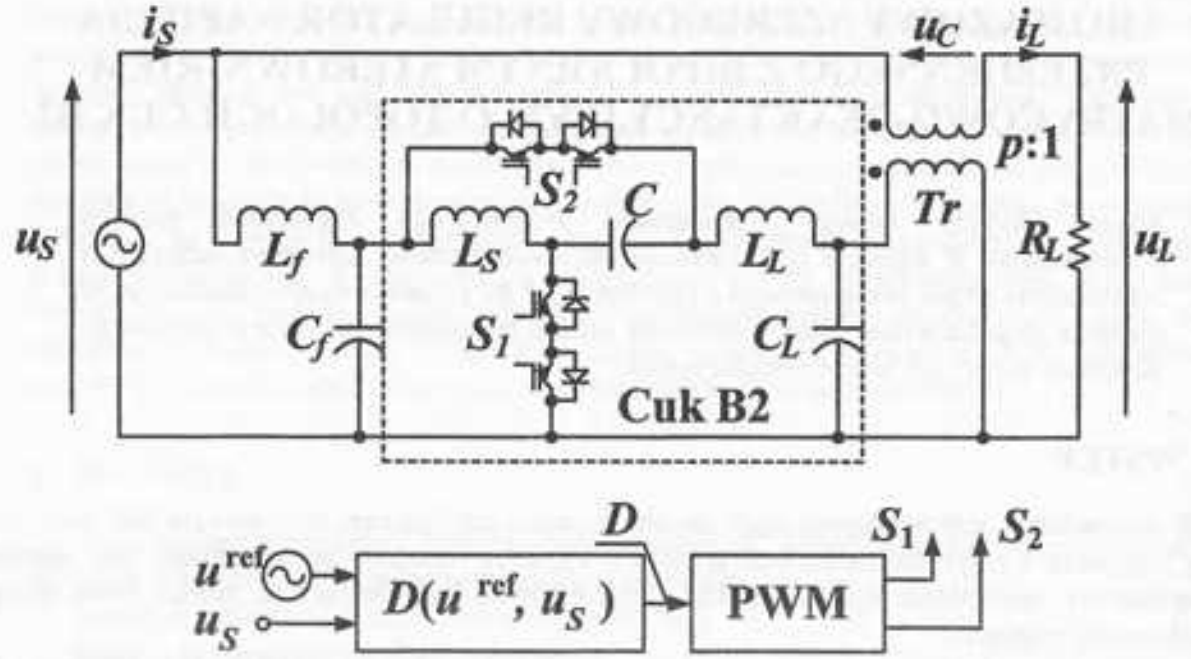
2. ZASADA DZIAŁANIA

2.1 Układ jednofazowy

Schemat jednofazowego regulatora napięcia przemiennego przedstawia rys. 1. Układ zawiera bipolarny sterownik matrycowo-reaktancyjny o topologii Ćuk B2. Idealizowana transmitancja napięciowa tego sterownika H_U^{B2} w funkcji współczynnika wypełnienia impulsu D przełączania łączników S_1 i S_2 opisana jest zależnością:

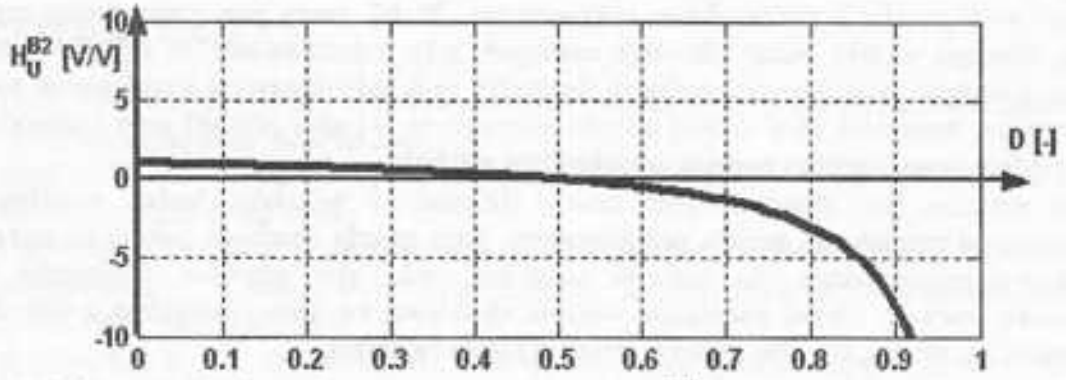
[1] Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Elektrycznej, 65-246 Zielona Góra, ul. Podgórna 50, tel. (0-68) 3282343, e-mail: M.Jankowski@iee.uz.zgora.pl

$$H_U^{B2}(D)=\frac{1-2D}{1-D}=p\frac{u_C}{u_S}. \tag{1}$$



Rys.1. Jednofazowy szeregowy regulator napięcia przemiennego z bipolarnym sterownikiem matrycowo-reaktancyjnym o topologii Ćuk B2

Wykres tej zależności przedstawia rys. 2.



Rys.2. Idealizowana charakterystyka transmitancji napięciowej H_U^{B2} bipolarnego sterownika matrycowo-reaktancyjnego o topologii Ćuk B2, w funkcji współczynnika wypełnienia D

We wzorze (1) widać jeszcze trzy zmienne, mianowicie u_C to napięcie kompensacyjne, które w przypadku zaistnienia zmian w napięciu zasilania u_S kompensuje jego spadek a p jest przekładnią napięciową transformatora dodawczego. Innymi słowy sterownik mocy przetwarza zmienione co do amplitudy napięcie zasilania w napięcie kompensacyjne, podawane poprzez transformator dodawczy *Tr*. W celu obliczania wartości współczynnika wypełnienia D dla sterownika wyprowadzono zależność na jego wartość w funkcji napięcia referencyjnego - obciążenia bądź zasilania - u^{ref} (dla sytuacji idealnej bez zmian amplitudy napięcia zasilania) i wartości aktualnej napięcia zasilania, która w poniższym wzorze odgrywa zasadniczą rolę:

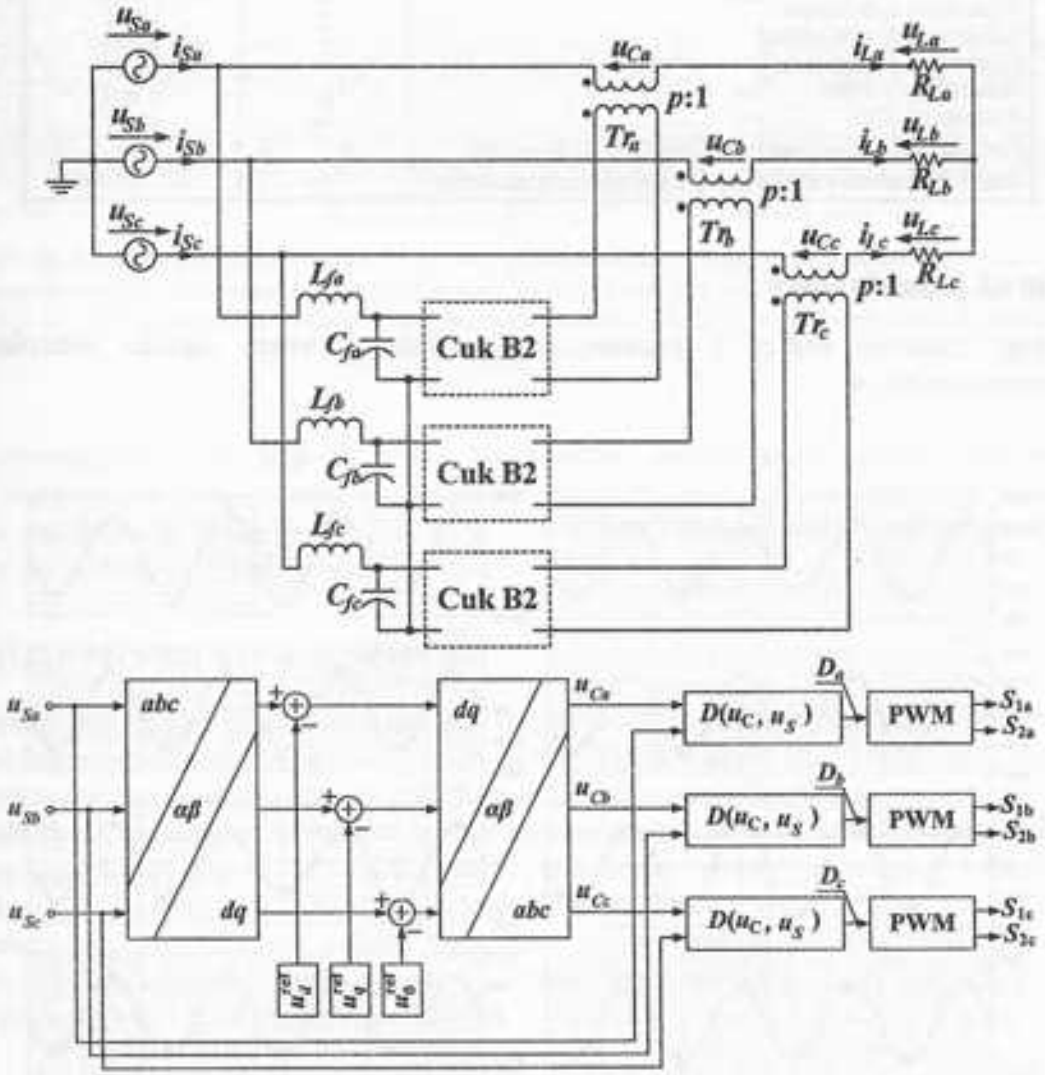
$$D\left(u^{ref},u_S\right)=\frac{1-H_U^{B2}}{2-H_U^{B2}}=\frac{1-p\dfrac{u_C}{u_S}}{2-p\dfrac{u_C}{u_S}}=\frac{1-p\left(1-\dfrac{u^{ref}}{u_S}\right)}{2-p\left(1-\dfrac{u^{ref}}{u_S}\right)}. \tag{2}$$

Na rys. 1 widać taki blok zaimplementowany w obwodzie sterowania układu. Na wyjściu tego bloku jest generowana wartość współczynnika wypełnienia impulsu D, która jest podawana na modulator PWM generujący sygnały logiczne załączenia łączników S_1 i S_2. W przypadku normalnej pracy sieci, tzn. $u_S = u^{ref}$ wtedy sterownik mocy nie pracuje, a jego transmitancja napięciowa jest bliska zeru. Uzwojenie wtórne transformatora dodawczego stanowi połączenie.

W celu filtracji nieciągłego prądu wejściowego sterownika, zastosowano filtr wejściowy L_f i C_f typu odwrócone Γ.

2.2 Układ trójfazowy

Schemat trójfazowego regulatora napięcia przemiennego przedstawia rys. 3.



Rys.3. Trójfazowy szeregowy regulator napięcia przemiennego z bipolarnym sterownikiem matrycowo-reaktancyjnym o topologii Ćuk B2

Składa się on z trzech regulatorów jednofazowych połączonych tak, że źródła napięcia zasilania u_{Sa}, u_{Sb} i u_{Sc} oraz obciążenie trójfazowe R_{La}, R_{Lb} i R_{Lc} nie mają przewodów neutralnych.

Obwód sterowania działa następująco: sygnały napięć zasilania są poddawane przekształceniu Clarca a następnie Parca. Stąd otrzymuje się ich składową zgodną, przeciwną i zerową. Te są porównywane ze stałymi wartościami referencyjnymi sygnałów napięcia zasilania u_d^{ref}, u_q^{ref} i u_0^{ref} na węzłach różnicowych. Ich błąd przetwarzany jest przekształceniu odwrotnemu Parca a następnie odwrotnemu Clarca. Stąd są otrzymywane sygnały napięć kompensujących u_{Ca}, u_{Cb} i u_{Cc}. Dalej te sterują blokami wyznaczania wartości współczynnika wypełnienia impulsu D_a, D_b i D_c. Te sterują modulatorami PWM w celu wytworzenia sygnałów logicznych załączenia łączników S_{1a}, S_{2a}, S_{1b}, S_{2b}, S_{1c} i S_{2c}.

3. BADANIA SYMULACYJNE

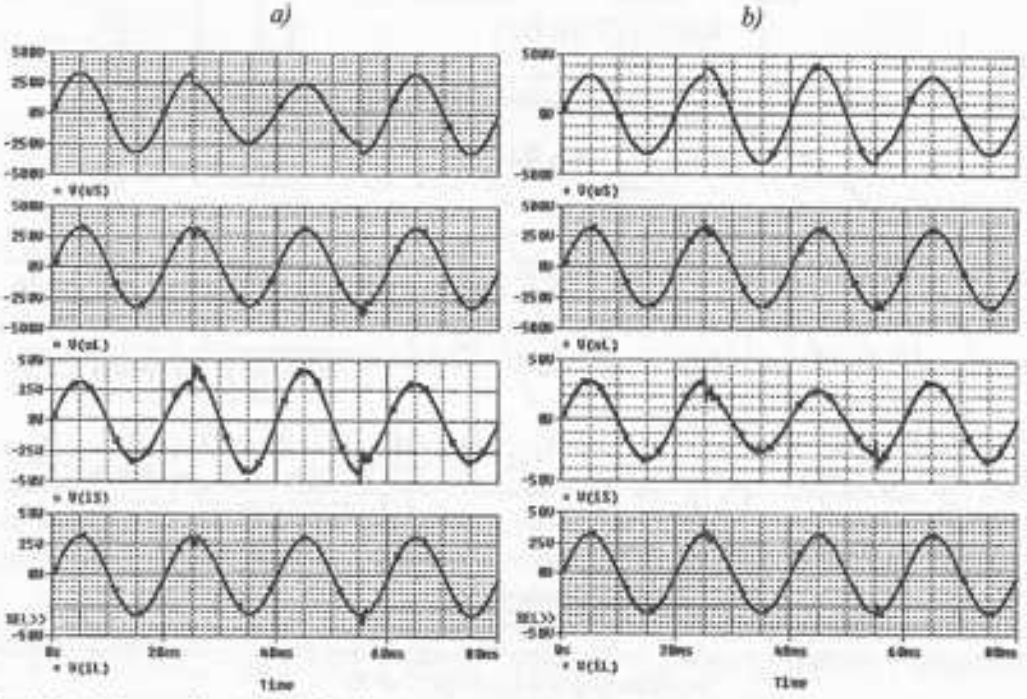
Obliczenia i parametry symulacji obu układów zestawiono w Tabeli 1.

Tab. 1. Obliczenia i parametry symulacyjne obwodu

Parametr	*Oznaczenie*	*Wartość*
Napięcie zasilania	$U_{S,max}$	325 V / 50 Hz
Rezystancja obciążenia	R_L	10 Ω
Częstotliwość przełączania	f_S	20 kHz
Rezystancja załączenia łącznika	R_{ON}	1 mΩ
Indukcyjność źródła	L_S	1 mH
Pojemność buforująca	C	10 µF
Indukcyjność obciążenia	L_L	1 mH
Pojemność obciążenia	C_L	10 µF
Indukcyjność filtru	L_f	1 mH
Pojemność filtru	C_f	10 µF
Przekładnia napięciowa transformatora dodawczego	p	1
Przedział czasowy skokowej zmiany napięcia zasilania	$t_{\Delta U}$	25 ÷55 ms

3.1 Układ jednofazowy

Przebiegi czasowe napięć i prądów w obwodzie głównym układu jednofazowego przedstawiono na rys. 4.

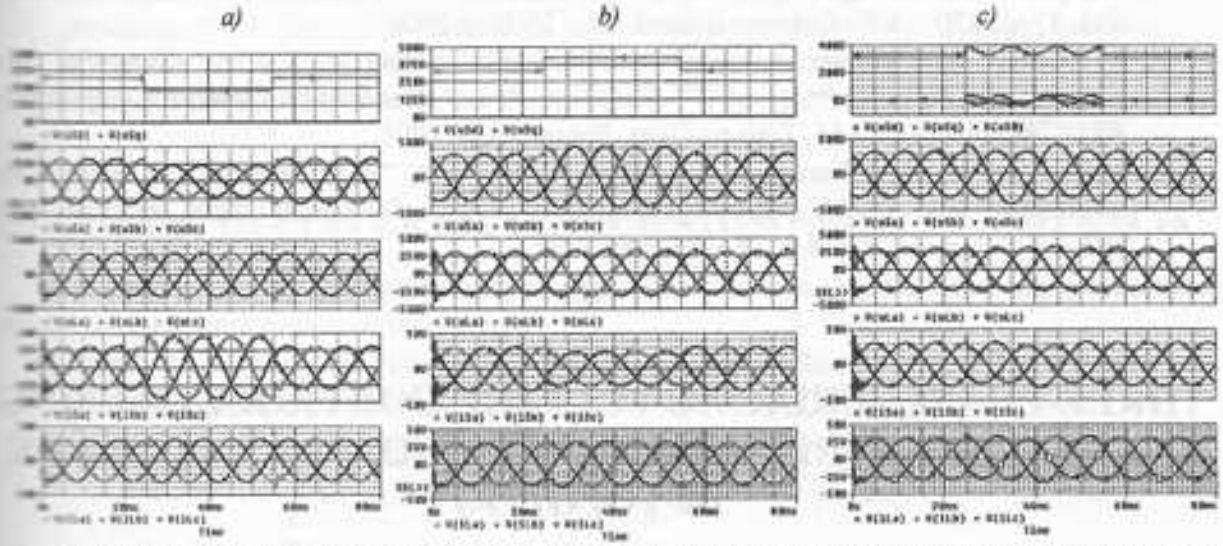


Rys.4. Wyniki badań symulacyjnych jednofazowego szeregowego regulatora napięcia przemiennego z bipolarnym sterownikiem matrycowo-reaktancyjnym o topologii Ćuk B2, a) dla 25% zmiany w dół napięcia zasilania, b) dla 25% zmiany w górę napięcia zasilania

Na rys. 4a widać 25% ujemną zmianę napięcia zasilania i można łatwo zauważyć, że napięcie obciążenia zachowuje stałą amplitudę, co świadczy o poprawnych właściwościach stabilizacyjnych układu. Zgodnie z obniżeniem napięcia zasilania w rozpatrywanym czasie zmiany napięcia, zwiększa się amplituda prądu źródła. Analogiczne spostrzeżenie można wysnuć dla przypadku z dodatnią 25% zmianą napięcia zasilania (Rys. 4b).

3.2 Układ trójfazowy

Przebiegi czasowe napięć i prądów w obwodzie głównym oraz sygnałów w obwodzie sterowania układu trójfazowego przedstawiono na rys. 5.



Rys.5. Wyniki badań symulacyjnych trójfazowego szeregowego regulatora napięcia przemiennego z bipolarnym sterownikiem matrycowo-reaktancyjnym o topologii Ćuk B2, a) dla 30% symetrycznej zmiany w dół napięcia zasilania, b) dla 25% symetrycznej zmiany w górę napięcia zasilania, c) dla 30% niesymetrycznej zmiany w górę w fazie a napięcia zasilania

Dla przypadków z rys. 5a i 5b widać, że składowe zgodne mają wartości stałe w czasie zmiany napięcia zasilania, natomiast przeciwne mają wartość zero, co wskazuje właśnie na symetrię napięcia zasilania. W przypadku z rys. 5c wszystkie składowe posiadają składowe zmienne, co oznajmia asymetrię napięcia zasilania.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W pracy zaprezentowano nowe rozwiązanie trójfazowego regulatora napięcia przemiennego z dwubiegunowym sterownikiem matrycowo-reaktancyjnym o topologii Ćuk B2. Zaproponowane rozwiązanie satysfakcjonuje zarówno dobrymi właściwościami energetycznymi jak i małą liczbą łączników, która jest tu dwa razy mniejsza niż w układach pełnomostkowych. Niniejszy układ jest lepszy od układu, który stabilizuje wartość skuteczną napięcia, gdyż przedstawiony w pracy układ stabilizuje wartość chwilową napięcia i może służyć też jako kompensator szybkozmiennych zapadów napięcia, niezależnie od ich biegunowości, a nawet jako przesuwnik fazowy lub filtr wyższych harmonicznych napięcia itp. W przyszłości planuje się przeprowadzenie badań eksperymentalnych.

5. LITERATURA

1. Z. Fedyczak, "PWM AC voltage transforming circuits" (In Polish), *Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego.* Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra, Poland, 2003.
2. Z. Fedyczak, "Steady state modelling of the bipolar PWM AC line matrix-reactance choppers based on the Cuk topologies", *Archive of Electrical Engineering*, Vol. LII, No 3, pp. 303-316, 2003.
3. A. Ikriannikov, S. Ćuk, "Direct AC/DC conversion without input rectification", *Proc. of IEEE 30th PESC'99*, Vol. 1, pp. 181 – 186. Sant Luis, USA. 18 – 23 June 1999.
4. O. C. Montero-Hernandez, P. N. Enjeti "Application of a boost AC-AC converter to compensate for voltage sags in electric power distribution systems", *IEEE 31st PESC'00*, Vol. 1, pp. 470 – 475. Galway, Ireland. 18 – 23 June 2000.
5. J. Mućko, " AC voltage stabilizer with sinusoidal output voltage and sinusoidal input current" (In Polish), *Proc. of 2nd Conf. on Power Electronics Devices Compatibility PEDC'01*, pp. 144 – 155, Zielona Góra, Poland, Sept 2001.
6. J. C. Oliveira, V. J. Farias, L. C Freitas, J. B. Vieira, "A serial regulator using a soft switching PWM AC/AC full bridge-converter", *Proc. of IEEE 30th PESC'99*, Vol. 1, pp. 193 – 198. Sant Luis, USA. 18 – 23 June 1999.

THREE-PHASE SERIAL AC VOLTAGE CONTROLLER USING BIPOLAR MATRIX-REACTANCE CHOPPER WITCH ĆUK B2 TOPOLOGY

This paper deals with a new solution of three-phase AC voltage controller. In this converter, the bipolar PWM AC-line Matrix-Reactance Chopper (MRC) based on Ćuk B2 topology and auxiliary transformer is applied. First detailed description of the single-phase and three-phase circuit, next their simulation test results are depicted.

Tomasz Jendrzejczak[1]

DOBÓR SIECI NEURONOWEJ DO IDENTYFIKACJI ZAGROŻENIA PRZECIWPORAŻENIOWEGO

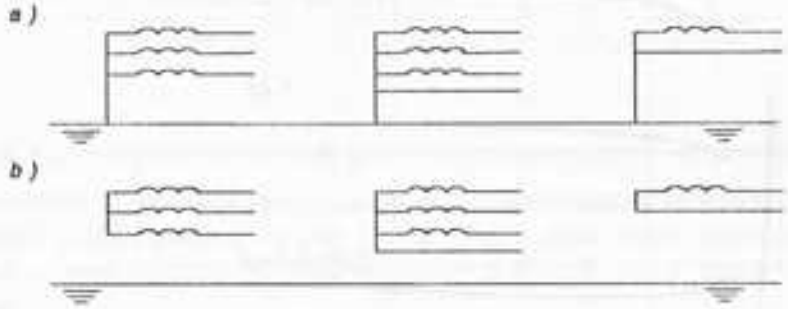
Streszczenie: W referacie przedstawione są typy sieci energetycznych oraz sposoby ochrony przeciwporażeniowej. Pokazane są rodzaje sieci neuronowych i ich przydatność do identyfikowania fazy dotkniętej przez człowieka. Referat zawiera schemat który został użyty do przeprowadzenia symulacji, rodzaje utworzonych sieci neuronowych oraz ich jakość.

1. RODZAJE SIECI ELEKTRYCZNYCH STOSOWANE NA STATKACH.

Większość towarzystw klasyfikacyjnych dopuszcza do stosowania na statkach handlowych i przemysłowych następujące rodzaje sieci:

a) układy TT, w których punkt zerowy jest galwanicznie połączony z kadłubem statku
b) układy IT z izolowanym od kadłuba punktem zerowym.

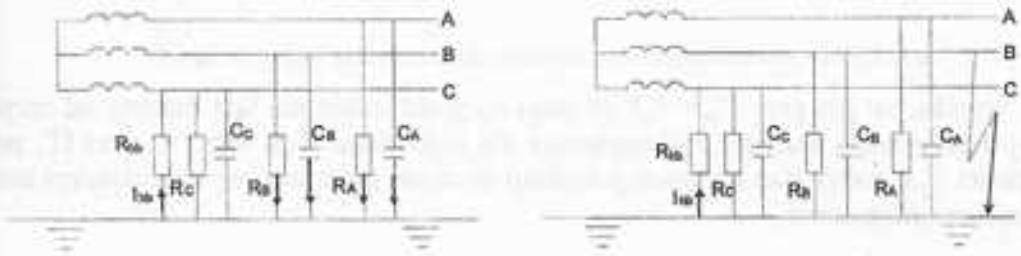
Uproszczone struktury tych układów zostały przedstawione na rys.1



Rys. 1. Struktury okrętowych sieci elektroenergetycznych a) układy typu TT, b) układy typu IT

Układy typu IT są stosowane na przeważającej (ponad 90%) ilości statków morskich różnego przeznaczenia. Dla oceny zagrożenia wynikającego przy jednofazowym dotknięciu człowieka do części przewodzących prąd w sieci z izolowanym punktem zerowym pracującej w stanie normalnym stosuje się schemat przedstawiony na rys. 2

a) b)



Rys. 2. Schemat zastępczy rażenia człowieka w sieci typu IT a)rażenie przy dotknięciu jednej fazy, b)rażenie przy dotknięciu jednej fazy przy jednoczesnym doziemieniu drugiej fazy

[1] Akademia Morska w Szczecinie,70-500 Szczecin Wały Chrobrego 1/2, tel. +48914809457, tomjen@wsm.szczecin.pl

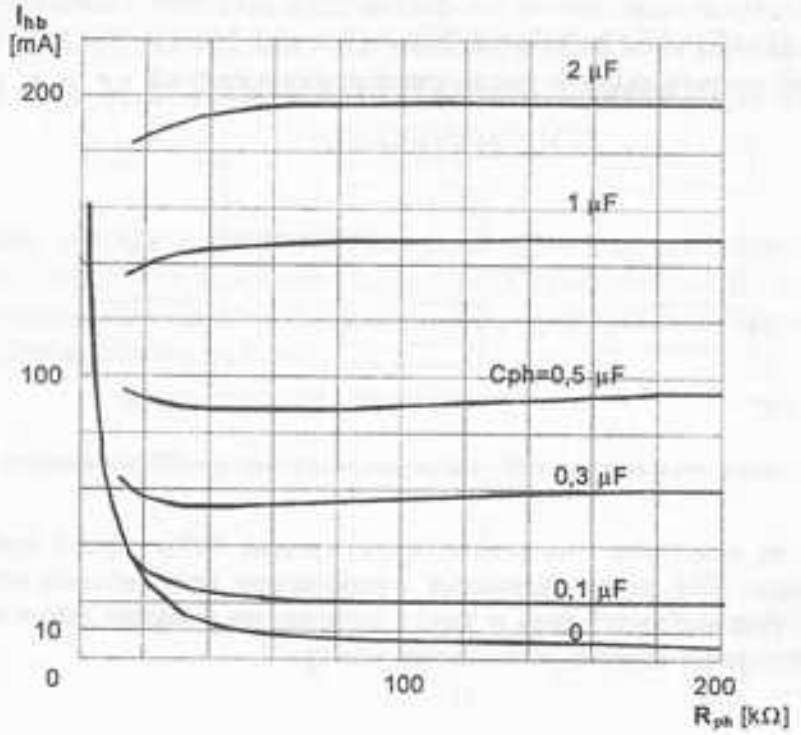
Przy pełnej symetrii układu i założeniu czysto rezystancyjnego charakteru oporności człowieka w stanie ustalonym znaleziono wartość skuteczną prądu rażenia I_{hb}

$$I_{hb} = \frac{U_{ph}}{R_{hb}} \frac{1}{\sqrt{1+\frac{R_{ph}(R_{ph}+6R_{hb})}{9(1+R_{ph}^{2}\omega^{2}C_{ph}^{2})R_{ph}^{2}}}} \tag{1}$$

gdzie:

U_{ph} - napięcie fazowe sieci
R_{ph} - rezystancja izolacji fazy względem kadłuba
C_{ph} - pojemność fazy względem kadłuba
R_{hb} - rezystancja ciała człowieka

Hiperboliczny charakter zależności $I_{hb} = f(R_{ph})$ wskazuje, że przy wartości $C_{ph} = 0$ wzrost rezystancji izolacji sieci zwiększa bezpieczeństwo przeciwporażeniowe. Współcześnie w przepisach towarzystw klasyfikacyjnych dla sieci typu IT jest uwzględniana tylko wartość rezystancji izolacji. Wymagania te opierają się na zależności przedstawionej krzywą 0 na rys. 3. Na rysunku tym umieszczono zależności prądu rażenia człowieka z uwzględnieniem wpływu pojemności fazowych sieci przy założeniu $U_{ph} = 220$ V, $R_{hb} = 1000$ Ω.



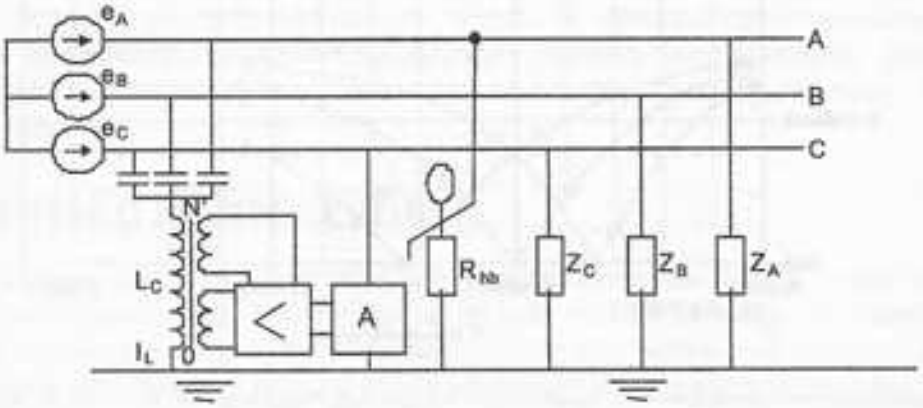
Rys. 3. Wpływ pojemności fazowych na prąd rażenia człowieka w sieciach typu IT

Z rys. 3. wynika, że już przy $C_{ph} = 0{,}3$ µF prąd I_{hb} praktycznie nie jest zależny od rezystancji izolacji fazy i przyjmuje wartości niebezpieczne dla człowieka. Tak więc w sieci IT, powyżej pewnej wartości C_{ph}, dobry stan rezystancji izolacji sieci nie może być wystarczającym środkiem ochrony przeciwporażeniowej.

2. SPOSOBY ROZWIĄZYWANIA PROBLEMÓW OGRANICZANIA PORAŻEŃ W OKRĘTOWYCH SYSTEMACH ELEKTROENERGETYCZNYCH Z KOMPENSOWANYM PUNKTEM ZEROWYM.

2.1 Kompensacja z konwertorem impedancji [1 2 3]

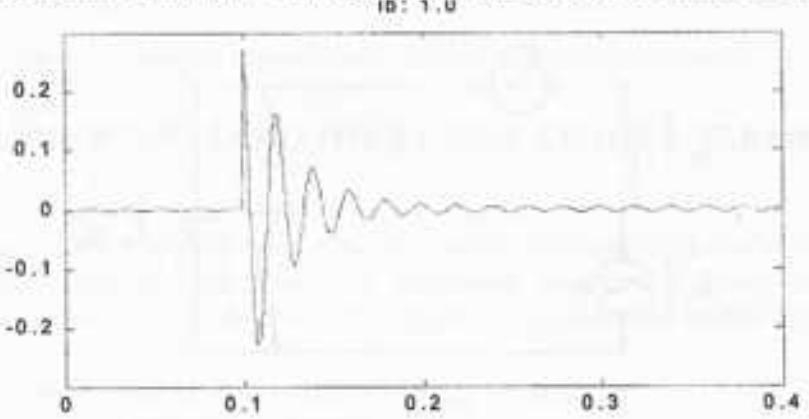
Praktyczna realizacja zmniejszenia składowej czynnej została wykonana w 1984 r. w Zakładzie Elektrotechniki i Elektroniki Okrętowej Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie przez zastosowanie układu kompensacji parametrycznej z konwertorem impedancji. Schemat funkcjonalny sieci upływnościowej z konwertorem impedancji został przedstawiony na rys. 4. W układzie tym przez zastosowanie dodatniego sprzężenia zwrotnego w dławiku kompensacyjnym osiągnięto znaczne zwiększenie dobroci dławika a tym samym zmniejszenie składowej czynnej prądu dławika I_L



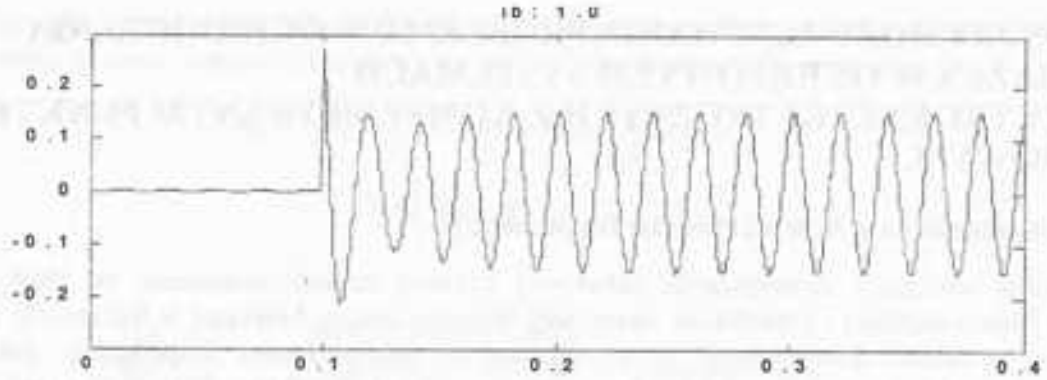
Rys. 4. Schemat funkcjonalny układu kompensacji parametrycznej z konwertorem impedancji.

Przebieg czasowy prądu rażenia w układzie z kompensacją parametryczną z konwertorem impedancji został przedstawiony na rys. 5. Jak widać, czas stanu nieustalonego wynosi około trzech okresów, a prąd ustalony nie jest większy od 10 mA, co w pełni odpowiada wymogom bezpieczeństwa.

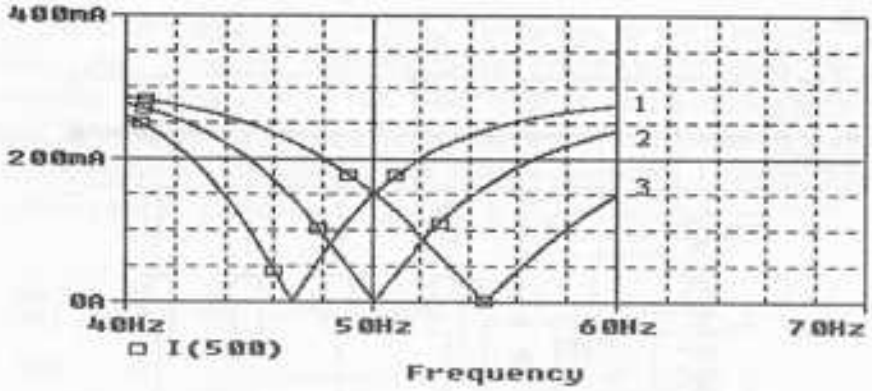
Jednak w układach rzeczywistych przy nastawie dławika na skompensowanie określonej pojemności w warunkach rezonansu, nawet niewielkie zmiany symetrycznych pojemności faz sieci powodują pogorszenie warunków kompensacji. Przykład przebiegu czasowego prądu rażenia przy zmianie pojemności faz o 20%, przedstawiony na rys. 6 wykazuje, że ustalony prąd rażenia wyraźnie przekracza wartość dopuszczalną przez IEC. Jednoczesny wpływ zmian symetrycznych wartości pojemności doziemnych oraz zmian częstotliwości na jakość kompensacji prądu rażenia człowieka ilustrują charakterystyki przedstawione na rys. 7.



Rys. 5. Przebieg czasowy prądu rażenia w sieci symetrycznej z konwertorem impedancji przy $C_{pb} = 3\ \mu F$, $L_C = 1.46\ H$, $R_{kb} = 1000\ \Omega$



Rys. 6. Przebieg czasowy prądu rażenia w sieci symetrycznej z konwertorem impedancji przy C_{ph} = 2,4 μF, L_C = 1,46 H, R_{ob} = 1000 Ω



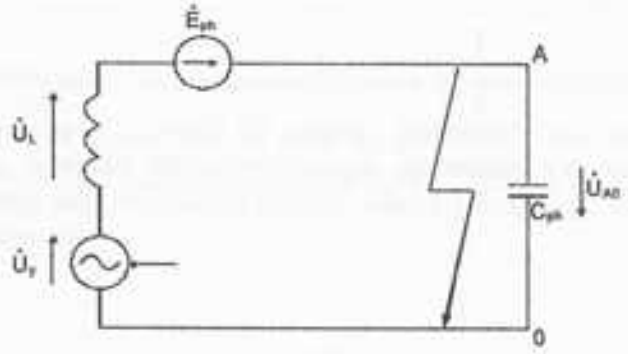
Rys. 7. Charakterystyki częstotliwościowe sieci symetrycznej z konwertorem impedancji przy L_C = 1,46 H i R_{ob} = 1000 Ω dla C_{ph} = 3,6 μF (1), C_{ph} = 3 μF (2) i C_{ph} = 2,4 μF (3)

Przytoczone charakterystyki świadczą o bardzo wysokiej czułości kompensatora na zmiany parametrów sieci. Urządzenia kompensacyjne z konwertorem impedancji zostały opracowane, wykonane, wdrożone i z powodzeniem nadal funkcjonują na statkach. Jednak urządzenia te wymagają ciągłego nadzoru, strojenia i regulacji. Wszystkie dalsze badania i opracowania były ukierunkowane na wykonanie autonomicznego układu zapewniającego bezpieczeństwo przeciwporażeniowe na statku.

Zaletą tego układu jest prostota obsługi i budowy, poprawne działanie. Wadą natomiast wrażliwość układu na niesymetryczną sieć.

2.2 Kompensacja parametryczno-aktywna. [4 5]

Dalsze badania zaowocowały opracowaniem nowej zasady kompensacji, nazwanej kompensacją parametryczno-aktywną. Idea kompensacji parametryczno-aktywnej została przedstawiona na rys. 8.



Rys. 8. Idea kompensacji parametryczno-aktywnej

W stanie ustalonym układ jest opisany równaniem:

$$E_{ph}=U_{A0}+U_y+U_L \tag{4}$$

Ponieważ dla ograniczenia prądu rażenia jest potrzebne aby napięcie uszkodzonej fazy było równe zeru zatem:

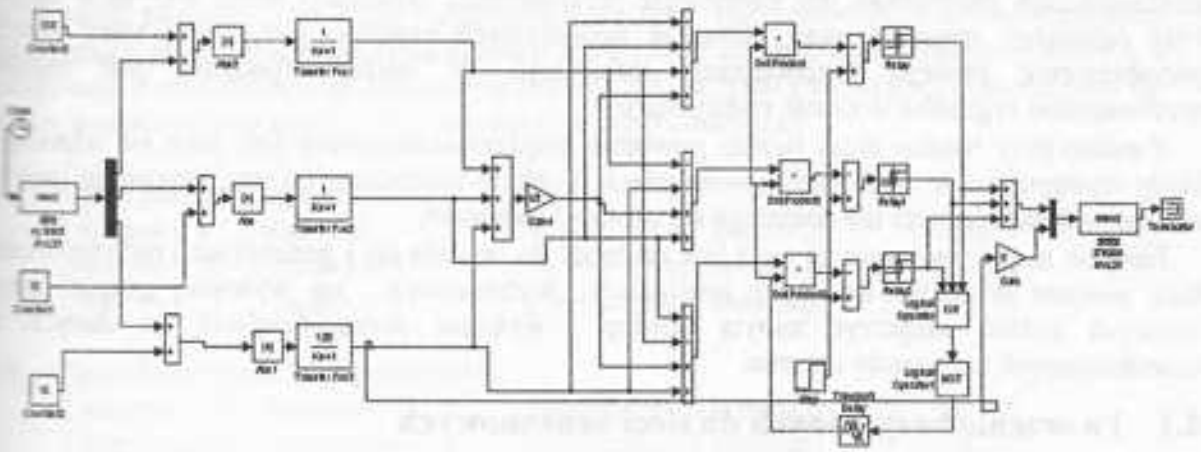
$$U_y=E_{ph}-U_L \tag{5}$$

Równanie (5) wykazuje, że napięcie dodatkowego, regulowanego źródła napięcia *Uy* powinno być określone różnicą sił elektromotorycznych fazy uszkodzonej i napięcia na dławiku. Opisywana metoda wymaga ustalenia (identyfikacji) uszkodzonej fazy i to zagadnienie jest najbardziej złożonym problemem wynikającym przy opracowywaniu kompensacji parametryczno-aktywnej. Rozwiązanie tego zagadnienia było zrealizowane w kilku wariantach w Instytucie Elektrotechniki i Automatyki Okrętowej WSM w Szczecinie.

Kończąc rozdział poświęcony badaniom zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym w okrętowych układach elektroenergetycznych można w podsumowaniu stwierdzić, że przy zastosowaniu kompensacji parametryczno-aktywnej problem bezpieczeństwa przed rażeniem prądami pojemnościowymi należy uznać za rozwiązany, przy precyzyjnej identyfikacji uszkodzonej fazy.

3 STANOWISKO KOMPUTEROWE

Obecnie istnieje stanowisko komputerowe przedstawione na rys. 9, które identyfikuje i kompensuje uszkodzoną fazę. Stanowisko to jeszcze nie wykorzystuje do identyfikacji fazy uszkodzonej sieci neuronowej, wykrywanie uszkodzonej fazy odbywa się za pomocą obserwacji, wartości chwilowych napięcia i poprzez starannie opracowany algorytm identyfikuje uszkodzoną fazę.



Rys. 9. Schemat istniejącego stanowiska komputerowego identyfikującego uszkodzoną fazę.

4 SIECI NEURONOWE JAKO IDENTYFIKATORY USZKODZONEJ FAZY. [6]

Sieci neuronowe stanowią gałąź sztucznej inteligencji wykorzystującą w przetwarzaniu sygnałów analogie do zjawisk zachodzących w neuronach organizmów żywych. Jednakże fundamentem sieci neuronowych są odkrycia biologów , którzy badali tajniki pracy naszego mózgu.

Obecne zastosowania sieci neuronowych to między innymi:

- diagnostyka układów elektronicznych,
- badania psychiatryczne,

- prognozy giełdowe,
- prognozowanie sprzedaży,
- interpretacja badań biologicznych,
- prognozy cen,
- analiza badań medycznych,
- sterowanie procesów przemysłowych.

Sposoby połączenia neuronów między sobą i ich wzajemnego współdziałania spowodowały powstanie różnych typów sieci. Każdy typ sieci jest z kolei ściśle powiązany z odpowiednią metodą doboru wag (uczenia). Z wielu opracowanych rodzajów sieci do najważniejszych należą:

- Sieci perceptronowe,
- Sieci RBF,
- Sieci samoorganizujące się poprzez konkurencję,
- Sieci samoorganizujące się poprzez korelację,
- Sieci rekurencyjne.

Jakkolwiek sieci neuronowe stanowią dziedzinę wiedzy całkowicie samodzielną, w rozwiązaniach praktycznych stanowią zwykle część sterującą procesem bądź część decyzyjną, przekazującą sygnał wykonawczy innym elementom urządzenia, nie związanym bezpośrednio z sieciami neuronowymi.

W zagadnieniach sterowania procesami dynamicznymi sieć neuronowa pełni zwykle kilka funkcji. Stanowi model nieliniowy tego procesu, identyfikując jego podstawowe parametry niezbędne do wypracowania odpowiedniego sygnału sterującego. Pełni funkcję układu śledzącego i nadążnego adaptując się do zmiennych warunków środowiskowych. Może również stanowić bezpośredni neuro-regulator typu PID zastępujący klasyczne rozwiązania. Ważną rolę, zwłaszcza w sterowaniu robotów stanowi klasyfikacja i podejmowanie decyzji co do dalszego przebiegu procesu.

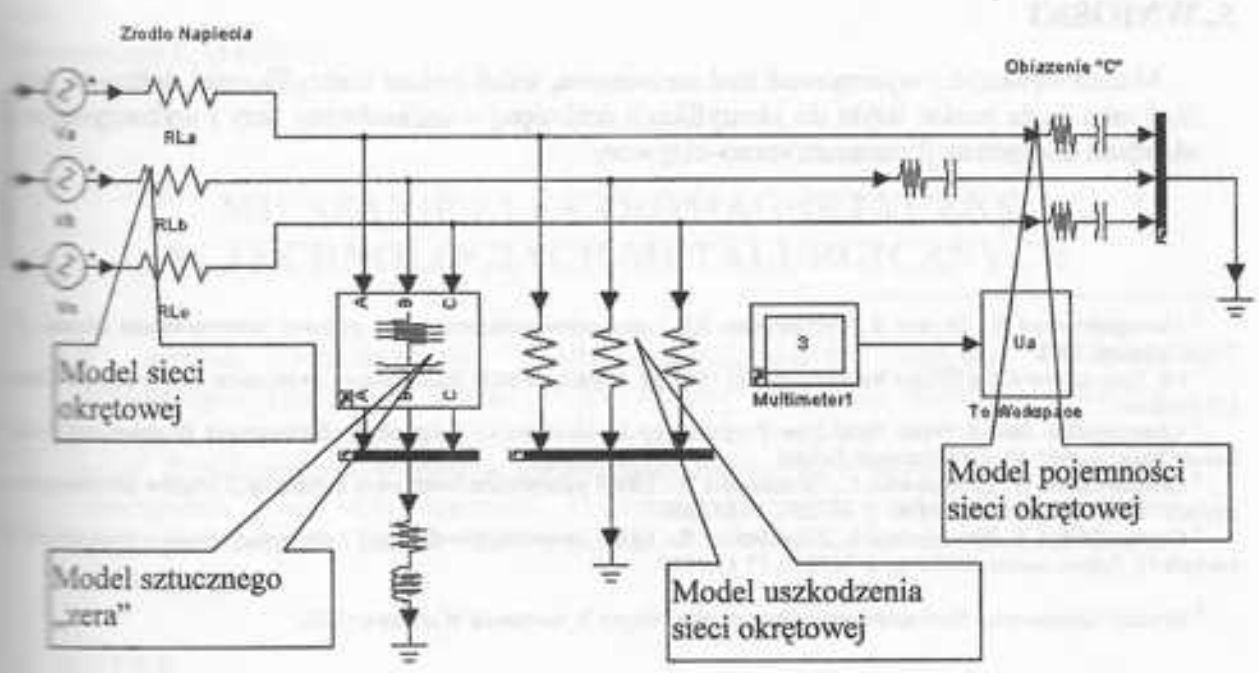
Najważniejszą cechą sieci neuronowych stanowiącą o jej ogromnych zaletach i szerokich możliwościach zastosowań jest równoległe przetwarzanie informacji przez wszystkie ogniwa. Przy ogromnej, masowej skali powiązań neuronowych możliwe jest dzięki temu znaczne przyspieszenie procesu przetwarzania informacji. W wielu wypadkach jest możliwe przetwarzanie sygnałów w czasie rzeczywistym.

Ponadto przy bardzo dużej liczbie powiązań między-neuronowych sieć staje się odporna na błędy występujące w niektórych powiązaniach. Funkcję uszkodzonych wag przejmują inne i w efekcie w działaniu sieci nie dostrzega się istotnych zaburzeń.

Inną nie mniej ważną cechą sieci jest zdolność do uczenia się i generalizacji nabytej wiedzy. Sieć posiada własność sztucznej inteligencji. Wytrenowana na wybranej grupie danych uczących potrafi skojarzyć nabytą wiedzę i wykazać dobre działanie na danych nie uczestniczących w procesie uczenia.

4.1 Tworzenie bazy danych do sieci neuronowych

Pierwszym etapie wyznaczono stany pracy sieci okrętowej. W Matlabie za pomocą funkcji FULLFACT określone zostały „przypadki" stanów pracy. Komendą *Fullfact([3 3 3 2 2 2])* – została utworzona baza przypadków jakie mogą wystąpić w eksperymencie. Pierwsze trzy parametry komendy *Fullfact* odpowiadają za trzy poziomy pojemności 3μF, 5μF, 10μF, kolejne trzy za wartość rezystancji doziemienia 1000Ω i 500000Ω. Tak przygotowana baza eksperymentów została odpowiednio przygotowana i przesłana do Matlaba, gdzie posłużyła do uzyskania wyników zachowania sieci zamodelowanej w Matlabie za pomocą Simulinka.
Schemat układu badawczego przedstawia rysunek 10.



Rys. 10. Model układu zastosowany do budowy bazy danych dla sieci neuronowych.

Wyniki wartości napięcia i kąta przesunięcia napięcia, dla zadanego układu i dla wszystkich wymienionych przypadków zostały wyznaczone za pomocą s-funkcji Matlaba. Z otrzymanych wyników uzyskujemy macierz odpowiedzi.

4.2 Tworzenie sieci neuronowej.

Z otrzymanych wyników stworzono i wytrenowano sieci neuronowe. Uzyskane wyniki zostały przetworzone za pomocą MatLaba i jego funkcji NNTool. Najpierw tworzono sieć neuronową o odpowiednich parametrach takich jak liczba warstw i ilość neuronów , następnym etapem było inicjownie sieci neuronowej. Końcowym etapem było uczenie i weryfikacja jakości sieci za pomocą współczynnika korelacji (0 sieć idealnie odpowiadająca).

EB – Elman Backpropagation

2 warstwy 1 / 1 neuronie	współczynnik korelacji	- 0,0756
2 warstwy 10 / 1 neuronów	współczynnik korelacji	- 0,0428
2 warstwy 20 / 1 neuronów	współczynnik korelacji	- 0,0074

CFB – Cascade-Forward Backpropagation

2 warstwy 1 / 1 neuronie	współczynnik korelacji	- 0,0756
2 warstwy 10 / 1 neuronów	współczynnik korelacji	- 0,0381
2 warstwy 100 / 1 neuronów	współczynnik korelacji	- 0,0660

FFB – Feed-fForward Backpropagation

2 warstwy 1 / 1 neuronów	współczynnik korelacji	- 0,0757
2 warstwy 10 / 1 neuronów	współczynnik korelacji	- 0,0364
2 warstwy 100 / 1 neuronów	***współczynnik korelacji***	***- 6,9e-24***

Perceptron

1 neuron	współczynnik korelacji	- 0,324

5. WNIOSKI

Można strwożyć i wytrenować sieć neuronową, która będzie identyfikować dotkniętą fazę. Sieć taka może zostać użyta do identyfikacji dotkniętej – uszkodzonej fazy i wykorzystana w układach kompensacji parametryczno-aktywnej.

---

[1] Никифоровский Н., Бруна Я., Татьянченко Ю. Электропожаробезопасность судовых электрических систем. Л.: Судостроение, 1978.

[2] LR Type Approval Certificate No 88/0348(E1) 1993-98. Capacitive earth fault current compensator UKPP-2 Type. Telzet Ltd Producer.

[3] Compensation Device Tester TUK Type Projected by Hrynkiewisz J., designed by Żeludziewicz R. Approved Polski Rejestr Statków 1995 W.: EPS-Szczecin Poland

[4] German-Galkin S., Hrynkiewicz J., Żeludziewicz R.: Układ parametriczno-aktywnej kompensacji prądów doziemnych w sieciach IT. Zgłosz. patent. UPRP nr. P-337299, 17.12.1999.

[5] German-Galkin S., Hrynkiewicz J., Żeludziewicz R.: Układ parametriczno-aktywnej kompensacji prądów doziemnych w sieciach IT. Zgłosz. patent. UPRP nr. P-337299, 17.12.1999.

[6] Ryszard Tadeusiewicz Sieci neuronowe Akademicka Oficyna Wydawnicza Warszawa 1993r.

Włodzimierz KAMIŃSKI[1]

MIESZANIE ELEKTROMAGNETYCZNE W TECHNOLOGIACH METALURGICZNYCH

W artykule przedstawiono krótką charakterystykę wpływu mieszania elektromagnetycznego na proces technologiczny odlewania metalu i pokazano celowość wykorzystania oddziaływania magnetohydrodynamicznego na odlewany metal. Przedstawiono również w uproszczonej formie różne historyczne propozycje rozwiązania konstrukcji mieszadeł elektromagnetycznych oraz podano sugestie dotyczące dalszych badań nad mieszadłami elektromagnetycznymi od strony elektrotechniki.

1. WSTĘP

Postęp naukowo-techniczny początku XXI wieku jest nierozerwalnie związany z rozwojem technologii, zabezpieczających z jednej strony uzyskanie nowych jakościowo materiałów i produktów, z drugiej strony pozwalających zmniejszyć energochłonność oraz czasochłonność niezbędne dla ich wytworzenia, a równocześnie takich technologii, które są ukierunkowane na poprawę ekologicznych aspektów działalności przemysłowej. Coraz większe znaczenie wśród nowych technologii uzyskują elektrotechnologie, co wynika z różnorodności jak również efektywności elektrofizycznych i elektrochemicznych zjawisk będących podstawą ich opracowania oraz możliwości stosunkowo łatwej kontroli i sterowania procesów elektrotechnologicznych przy równoczesnej ich pełnej automatyzacji. Możliwości te są rezultatem postępu w zakresie nowych konstrukcji maszyn i urządzeń elektrycznych, energoelektroniki, nowych technik pomiarowych i sterowania.

Wśród urządzeń elektrotechnologicznych można wymienić zarówno rozwiązania dotyczące techniki plazmowej, elementów pieców elektrycznych, nagrzewnic indukcyjnych jak i opracowania urządzeń magnetohydrodynamicznych, które wykorzystując sterowane oddziaływanie elektromechaniczne na płynne metale zapewniają intensyfikację procesów metalurgicznych, poprawę jakości wytapianych metali i stopów, przy równoczesnym zapewnieniu odpowiedniej ekonomiki ponoszonych nakładów.

Osobną grupą urządzeń elektrotechnologicznych są urządzenia będące wynikiem rozwiązywania zagadnień dotyczących ochrony środowiska, metod i oprzyrządowania wykorzystywanego w procesie przetwórstwa odpadów.

Bardzo istotnym kierunkiem rozwoju procesów elektrotechnologicznych jest wykorzystywanie różnego rodzaju oddziaływania magnetohydrodynamicznego w technologiach metalurgicznych. Możemy mówić tu o metodach i urządzeniach magnetohydrodynamicznych mających za zadanie sterowanie przepływem i obróbką płynnych metali z wykorzystaniem, uzyskanego poprzez przyłożenie zewnętrznych pól elektromagnetycznych, efektu magnetohydrodynamicznego w płynnym środowisku przewodzącym metali i stopów w fazie ciekłej. Wyróżniamy wśród nich różne typy pomp magnetohydrodynamicznych, regulatorów i zaworów służących do transportu, dozowania, mieszania stopów przy równoczesnym oddziaływaniu na strukturę krzepnącego metalu.

[1] Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki, 70-313 Szczecin, ul. Sikorskiego 37, tel. (0-91) 4494561, e-mail: kam@we.tuniv.szczecin.pl

2. NIEKTÓRE ROZWIĄZANIA KONSTRUKCJI MIESZADEŁ

Otrzymane w wyniku procesu metalurgicznego odlewy stanowią tylko półfabrykaty wymagające dalszej obróbki i z tego względu korzystne jest uzyskanie w procesie odlewania struktury optymalnej z punktu widzenia dalszej obróbki, a równocześnie poprawienie jakości materiału pod względem porowatości, ilości wtrąceń niemetalicznych, niejednorodności składu chemicznego. Można to osiągnąć między innymi wykorzystując różnorodne sposoby oddziaływania fizycznego na stop w krystalizatorze, powodujące ruch metalu w czasie krystalizacji [1].

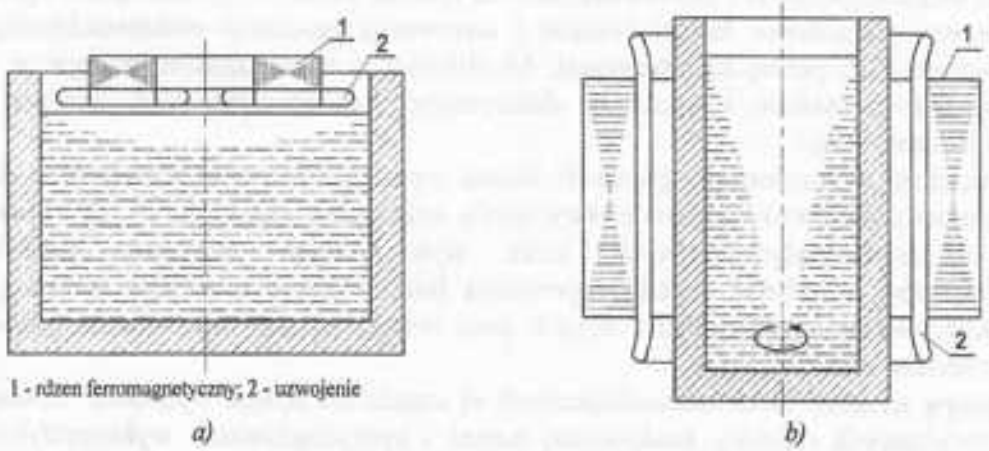
Do podstawowych sposobów oddziaływania fizycznego na stop należą: mechaniczne, wibracyjne, ultradźwiękowe i elektromagnetyczne mieszanie stopu.

Porównując te sposoby można zauważyć, że:

- mieszanie mechaniczne, oparte na wykorzystaniu strumienia nieaktywnych chemicznie gazów lub specjalnych elementów konstrukcyjnych zanurzanych w stopie ma ograniczone zastosowanie ze względu na nasycenia stopu gazami lub konieczność stosowania specjalnych żaro- lub ognioodpornych materiałów;
- mieszanie wibracyjne lub ultradźwiękowe jest pod tym względem korzystniejsze lecz w porównaniu z mieszaniem elektromagnetycznym ma mniej kompleksowe oddziaływanie na ciekły metal.

Dlatego, jak pokazuje historia, rozwój urządzeń mających za zadanie oddziaływanie elektromagnetyczne na płynne metale zajmuje znaczące miejsce w otrzymywaniu lepszych jakościowo metali i stopów.

Dla uzyskania ruchu odlewanego metalu można wykorzystać mieszadła elektromagnetyczne w wersji płaskiej lub cylindrycznej, których przykładowe rozwiązania przedstawiono na rys. 1. Przedstawione na tym rysunku urządzenia wykorzystują do zasilania induktorów prąd przemienny.



Rys. 1. Wersje mieszadła elektromagnetycznego: a) płaska, b) cylindryczna

2.1. Rys historyczny

Należy zauważyć, że zagadnieniem mieszadeł interesowano się od dawna, już w 1939 r. niektóre firmy prowadziły badania nad mieszaniem elektromagnetycznym przy odlewaniu i krystalizacji metali kolorowych i ich stopów, np. zgodnie ze wskazówkami firmy *Russ Electroofen*, z tego okresu, podczas procesu odlewania należy nie tylko utrzymać wysoką temperaturę odlewanego metalu, ale również podtrzymywać go w stanie ruchu.

W 1949 roku firma *SKF* opracowała metodę wprowadzenia w ruch ciekłego metalu przed wejściem w krystalizator przy pomocy pola magnetycznego rys.2a, a w 1950 r. zgodnie z ofertą firmy *Olin Matchison Chemical Corp.* był opracowany krystalizator do odlewania stopów miedzi, cynku i aluminium charakteryzujących się skłonnością do powstawania niejednorodności składu

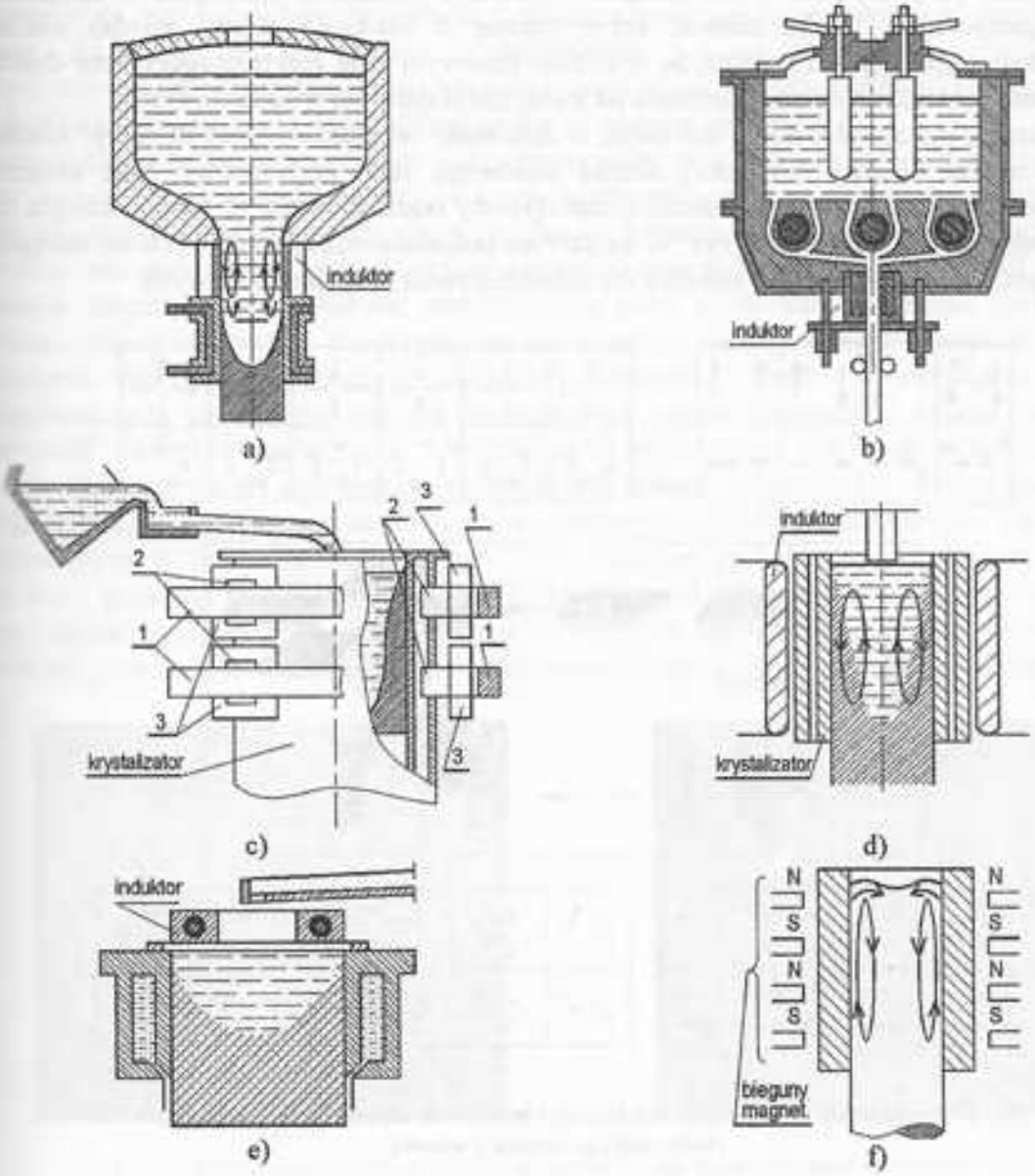
chemicznego stopu w procesie jego krystalizacji. Krystalizator ten połączony był z induktorem i montowany na dnie pieca indukcyjnego rys.2b.

W latach 1950 – 1953 w wyniku intensywnych prac nad wykorzystaniem mieszania elektromagnetycznego powstał szereg nowych urządzeń, z których jedno przedstawione jest na rys. 2c. Jak można zauważyć w tym rozwiązaniu w strefie krzepnięcia są zamocowane dwa pierścieniowe wzbudniki *1* każdy z trzema wydatnymi biegunami *2* i ich uzwojeniami *3* umieszczonymi co 120°.

Okres ten związany jest również z pracami Rossi'ego, który w 1952 r. zaproponował konstrukcję, w której występowało oddziaływanie na fazę ciekłą metalu w krystalizatorze polegające na nadaniu mu ruchu opadającego w obszarze brzegowym (przyściennym) krystalizatora a w obszarze centralnym ruchu wznoszącego rys.2d.

Na rys. 2e pokazana jest konstrukcja mieszadła z 1955 r. zaproponowana przez firmę *Vereinigte Leichtmetall Werke*, w której mieszadło zamocowane jest po stronie wejściowej krystalizatora nad lustrem metalu. Przy tej konstrukcji osłabienie pola magnetycznego jest stosunkowo małe ale mieszadło porusza tylko górne warstwy ciekłego metalu.

W tym samym roku firma *Böhler* zaproponowała mieszadło w którym biegnące pole magnetyczne wytwarza się za pomocą induktora z wydatnymi elektromagnesami o ciągle zmieniającej się biegunowości rys. 2f [2, 3].



Rys. 2. Szkice różnych historycznych rozwiązań mieszadeł elektromagnetycznych

Oczywiście zaprezentowane wyżej rozwiązania konstrukcyjne na przestrzeni lat uległy znacznym modyfikacjom ale ich istota pozostaje cały czas podobna tzn. podczas procesu odlewania faza ciekła metalu jest mieszana elektromagnetycznie przy zachowaniu odpowiednich warunków temperaturowych a cały proces technologiczny jest ukierunkowany na uzyskanie produktu końcowego o najlepszych właściwościach.

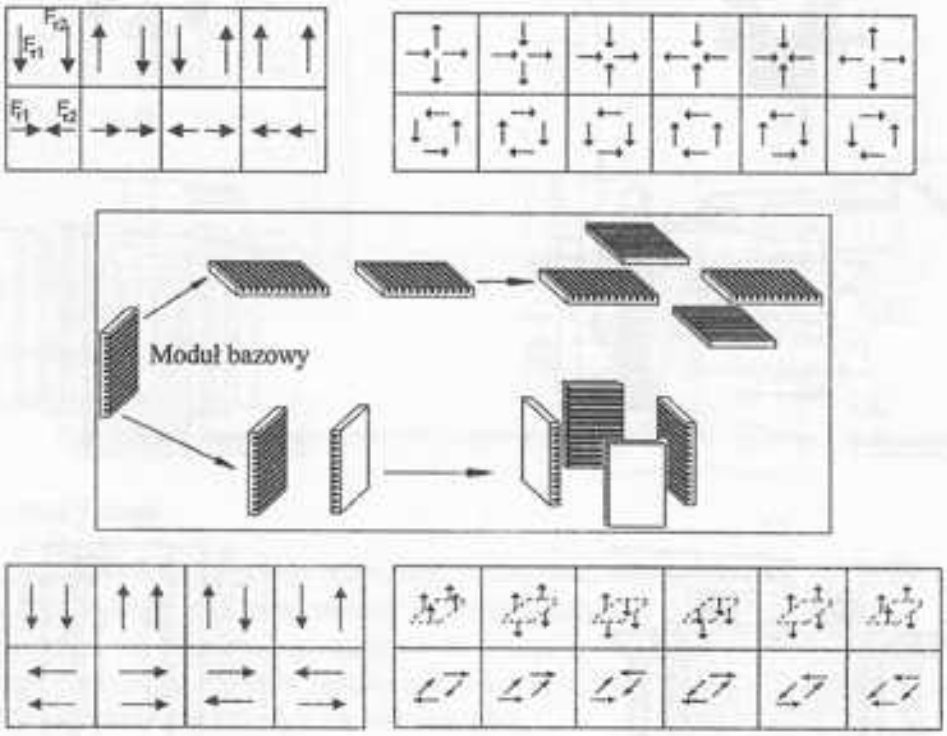
2.2. Wykorzystanie induktorów silników liniowych w konstrukcji mieszadeł

Rozwój indukcyjnych silników liniowych spowodował wzrost zainteresowania wykorzystaniem induktorów tych maszyn, które generują pole biegnące, lub podobnych do nich konstrukcji, do budowy różnego typu mieszadeł elektromagnetycznych.

Wynika to z prostoty konstrukcji silnika liniowego, w którym częścią konstrukcyjną dostarczaną przez producenta jest induktor, natomiast sposób skonstruowania części wtórnej jest uzależniony od zastosowania silnika i przy jego rozwiązaniu powinno się ewentualnie skorzystać ze wskazówek producenta induktora. Kolejnym aspektem mającym wpływ na próby wykorzystania induktorów silników liniowych w konstruowaniu mieszadeł elektromagnetycznych jest fakt, że w silnikach liniowych siły oddziaływania między induktorem a częścią wtórną mogą przejawiać swoje działanie we wszystkich trzech kierunkach [4].

Oczywiście przy próbach wykorzystania induktorów silników liniowych w mieszadłach elektromagnetycznych trzeba zdawać sobie sprawę z istotnych różnic między silnikiem a mieszadłem wynikających z faktu, że w silniku liniowym pole elektromagnetyczne działa na stały element konstrukcyjny a w mieszadle na metal znajdujący się w fazie ciekłej.

Konfiguracje induktorów mogą być różne w zależności od efektów które mają być uzyskane. Traktując moduł bazowy (induktor) silnika liniowego jako podstawowy blok urządzenia technologicznego można uzyskać bardzo różne sposoby oddziaływania na obiekt, którym może być np. ciekły metal. Ilustruje to rys. 3, na którym pokazano część możliwych do osiągnięcia trajektorii ruchu stopu w wannie, zależnie od rozmieszczenia modułów bazowych.



Rys. 3. Przykładowe konfiguracje induktorów i możliwe do uzyskania przy nich trajektorie ruchu ciekłego metalu w wannie

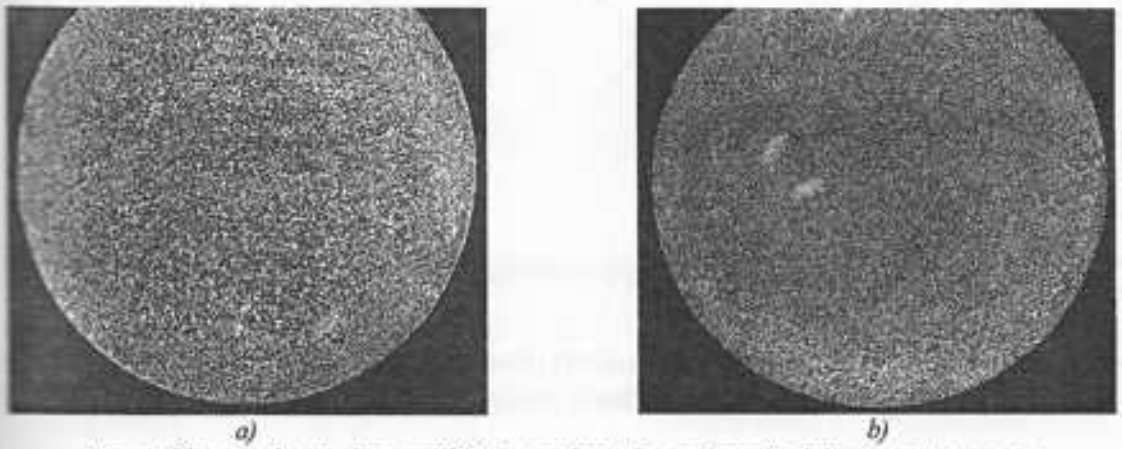
3. KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA WPŁYWU ODDZIAŁYWANIA MAGNETOHYDRODYNAMICZNEGO NA PROCES ODLEWNICZY

Szczególnym przypadkiem wykorzystania zjawiska magnetohydrodynamicznego jest właśnie oddziaływanie elektromagnetyczne na strukturę krystalizującego metalu — mieszanie elektromagnetyczne w trakcie krystalizacji, oraz transport ciekłego metalu.

Wiadomo, że jakość wyrobów metalowych uzyskanych w wyniku obróbki plastycznej, jest w znacznym stopniu zależna od struktury i parametrów odlewanych półfabrykatów, ich fizycznej i chemicznej jednorodności. Problematyka ta jest bardzo istotna a jednym z jej podstawowych zagadnień jest znajomość struktury odlewanego metalu i możliwość wpływania na nią w taki sposób aby wyrób końcowy uzyskany poprzez obróbkę półfabrykatu charakteryzował się wymaganym poziomem wszystkich wskaźników służących do jego oceny.

Podczas mieszania elektromagnetycznego w ciekłym stopie powstają siły elektromagnetyczne, powodujące różną cyrkulację cieczy w zamkniętej objętości. Kierunek ruchu stopu i prędkość można regulować w szerokim zakresie, wywołując ruch o kierunku zarówno zgodnym, jak i przeciwnym do kierunku konwekcji cieplnej. Ruch turbulentny powstający przy mieszaniu elektromagnetycznym na froncie krystalizacji zwiększa efektywny współczynnik przewodzenia ciepła o trzy rzędy, a współczynnik dyfuzji o sześć rzędów co prowadzi do wyrównywania temperatur i składu chemicznego w całej objętości fazy ciekłej stopu. Zwiększa on jej ogólne przechłodzenie poniżej temperatury równowagowego współistnienia obydwóch faz [1], co ma istotny wpływ, jak wynika z prawa Tammana, zarówno na szybkość zarodkowania, jak i liniową szybkość wzrostu zarodków [5].

Prowadzone badania teoretyczne i eksperymentalne wykazały, że istnieje szereg warunków oraz osobliwości konstrukcyjnych mieszadła elektromagnetycznego wpływających na proces technologiczny odlewania, przy czym na proces krystalizacji, a tym samym i na strukturę wlewka, znaczący wpływ mają czynniki zależne od mieszadła (wielkość i rozkład składowych indukcji magnetycznej, głębokość oddziaływania pola, uzyskiwane prędkości ruchu ciekłego metalu). Należy zauważyć, że obecnie nie ma jednego, zdefiniowanego i zalecanego sposobu mieszania elektromagnetycznego, służącego uzyskaniu metalu o określonej jakości i właściwościach, jak również nie ma uniwersalnych metod i sposobów obliczeń dotyczących mieszadeł elektromagnetycznych. Natomiast doświadczenie pokazuje, że niewątpliwie zastosowanie mieszania elektromagnetycznego jest celowe i uzasadnione. Pewną ilustracją tego mogą być zdjęcia próbek uzyskane dzięki współpracy z Uralskim Państwowym Uniwersytetem Technicznym w Jekatierinburgu. Zdjęcia te są obrazem próbek stopu aluminium o średnicy 145 mm i pokazują próbki uzyskane przy braku mieszadła elektromagnetycznego rys. 4a i przy jego zastosowaniu rys. 4b uwidaczniając różnicę w makrostrukturze obu próbek. Próbka uzyskana przy zastosowaniu mieszania elektromagnetycznego wykazuje mniejszą ziarnistość.



a) *b)*

Rys. 4. Obraz makrostruktury próbki: a) uzyskanej bez mieszadła elektromagnetycznego; b) uzyskanej przy zastosowaniu mieszadła

Jak wynika z praktyki, do przeprowadzenia wstępnej analizy wpływu mieszania elektromagnetycznego na krystalizujący metal, wykonania obliczeń parametrów i charakterystyk mieszadeł elektromagnetycznych konieczna jest znajomość uniwersalnego modelu matematycznego pozwalającego uwzględnić wiele czynników takich jak: konfigurację mieszadła, formę i typ induktora, schemat włączenia jego uzwojeń, częstotliwość sieci zasilającej, właściwości fizyczne odlewanych metali i stopów oraz ich niejednorodność w warstwach strefy roboczej, wielowarstwowość ekranu między powierzchnią magnetowodu i elementu wtórnego (metalu lub stopu), kształt wgłębienia fazy ciekłej wlewka. Właśnie zdefiniowanie modelu matematycznego i określenie jego parametrów oraz sposobu jego analizy mogą stanowić istotę ukierunkowania pracy naukowo-badawczej przy rozpatrywaniu zagadnień dotyczących mieszania elektromagnetycznego.

4. LITERATURA

1. Figurovski D.K., Sokolova M.L., Balukov B.E.: *Formirovanije struktury metaličeskich splavov v rezultatie elektromagnitnogo vozdiejstvija v procesie kristalizacji,* Upravlienije processami strukturoobrazovanija mietaličeskich splavov v židkom i tvierdom sostoianij, Sb. Nauč. Tr., Moskva, MGAPI, 1995, s. 3 – 26.
2. Rezin M.G.: *Rozvitie elektromagnitnogo pieremieśivanija židkich mietalov,* Magnitnaja gidrodinamika, 1965, № 2, s. 130 – 138.
3. Tokar' V.S., Svinin V.I., Balukov B.E., Juriev J.N., Sokunov B.A.: *Sostoianije rozrabotok v oblasti elektromagnitnogo pieremieśivanija metallov i splavov,* Voprosy sovieršenstvovanija elektrotechnologičeskogo oborudovanija i elektrotechnologii; Sb. Nauč. Tr., Jekatierinburg, UGTU, 1996, s. 10-14.
4. Kamiński W.: *Analysis of forces in linear induction motors with laterally asymetric sheet secondary*, Proc. of the 3th ISTC UEES'97 Alushta, Ukraine, Sept. 19-21, 1997, pp. 297-302.
5. Przybyłowicz K.: *Metaloznawstwo*, WNT, Warszawa, 1996.

THE ELECTROMAGNETICAL STIRRING IN METALURGICAL TECHNOLOGIES

The article describes and briefly summarizes the influence of the electromagnetical ladle stirring on the technological process of metal casting and depicts the usefulness of the magnetohydrodynamical interaction with the molten metal. A brief historical summarization of the electromagnetical stirring systems is shown. Suggestions considering the future studies of the electrotechnical problematic, considering the electromagnetical stirring systems, are done.

Radosław KASPEREK[1]

SYMETRYZACJA UKŁADÓW IMPULSOWYCH STEROWNIKÓW PRĄDU PRZEMIENNEGO

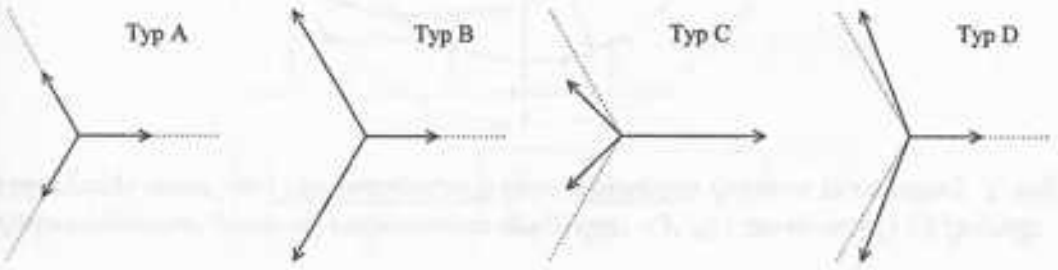
Niesymetria napięć sieci zasilającej jest przyczyną zwiększenia strat mocy zarówno towarzyszących przesyłowi energii, jak i w samych odbiornikach energii. W artykule przedstawione są metody sterowania układów impulsowych sterowników prądu przemiennego umożliwiające eliminację składowej przeciwnej kolejności faz w napięciu odbiornika lub prądzie linii zasilającej.

1. PRACA UKŁADÓW ISPP W WARUNKACH NIESYMETRII NAPIĘCIA LINII ZASILAJĄCEJ

Trójfazowe sieci elektroenergetyczne mogą być traktowane jak symetryczne, trójfazowe źródło napięcia sinusoidalnego, którego impedancja wewnętrzna ma charakter indukcyjny. Obciążenia nieliniowe czy pobierające różne prądy w poszczególnych fazach powodują deformacje oraz niesymetrie napięć dostarczanych odbiorcom. Zaburzenia te mogą być również powodowane czynnościami łączeniowymi w sieciach energetycznych, zwarciami w innym węźle sieci, rozruchem maszyn elektrycznych, załączaniem odbiorników o znacznej mocy itp. Kiedy parametry jakościowe energii nie odpowiadają wartościom normatywnym mamy do czynienia zarówno z nadmiernymi stratami mocy w rezystancjach sieci zasilającej, jak i nieprawidłową pracą odbiorników wrażliwych.

1.1 Klasyfikacja niesymetrii

Odnośnie niesymetrii, zależnie od czasu trwania zaburzenia, można mówić o trwałym niezrównoważeniu albo o zapadzie napięcia. Układ napięć uznaje się za symetryczny, gdy współczynnik niesymetrii $\varepsilon_U \leq 2$ %. Zgodnie z definicją (IEC 61000-4-30) czas trwania zapadu zawiera się w przedziale od 10 ms do 1 minuty, zaś wartość względna amplitudy może osiągać od 10 do 90 % napięcia znamionowego.



Rys. 1 Typowe przypadki zapadów napięć w sieciach trójfazowych

Typowe rodzaje zapadów napięcia przedstawia rysunek 1. W [1] przedstawiono metody analizy niesymetrycznych układów napięć, przy czym bardziej złożone przypadki opisuje się jako

[1] Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Elektrycznej, 65-246 Zielona Góra, ul. Podgórna 50, tel. (0-68) 32 82 258, e-mail: R.Kasperek@iee.uz.zgora.pl

superpozycję dwóch wariantów podstawowych, stąd wynika konieczność wprowadzenia w klasyfikacji podstawowej zapadu symetrycznego typu A.

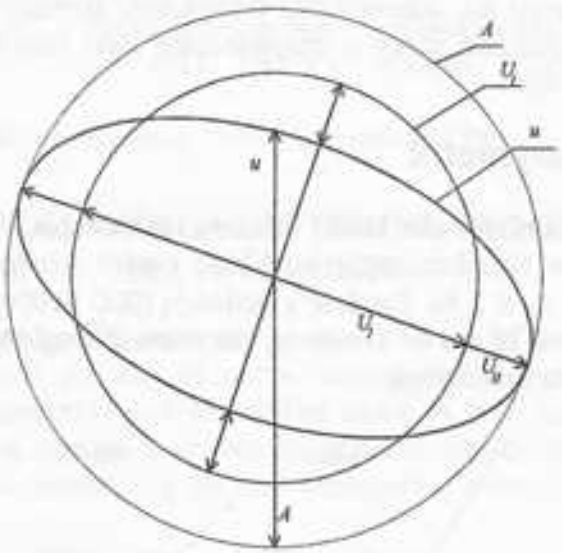
Znanych jest wiele metod teoretycznego opisu niesymetrii napięć, zwykle opartych na dobrze znanej metodzie składowych symetrycznych. Dla analizy zawartości składowych symetrycznych w napięciu dogodne jest przedstawienie go w układzie współrzędnych ortogonalnych 0-α-β. Macierz przekształcająca napięcia (prądy) liniowe ze współrzędnych fazowych na ortogonalne, w przypadku układu trójfazowego trójprzewodowego, gdzie nie występuje składowa zerowa prądów:

$$\alpha = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \tag{1}$$

Stąd napięcia i prądy fazowe związane są z odpowiednimi składowymi α, β następującymi zależnościami:

$$\begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} \tag{2}$$

Przy symetrycznym układzie napięć wejściowych moduł wektora U równy jest amplitudzie napięć fazowych A i zakreśla na płaszczyźnie α-β okrąg. Niesymetria napięć źródła powoduje odkształcenie trajektorii wektora U od kształtu okręgu do elipsy, jak to przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Trajektoria wektora napięcia źródła $\underline{u}$ przedstawiona jako suma składowych zgodnej U_I i przeciwnej U_{II}; A – amplituda znamionowa (w stanie niezakłóconym)

Ponieważ wektor składowej przeciwnej U_{II} napięcia ma kierunek wirowania przeciwny do składowej zgodnej U_I, wypadkowy wektor napięcia zasilającego ISPP charakteryzują zmiany zarówno amplitudy, jak i prędkości kątowej ω. Prędkość kątowa jest największa, kiedy moduł wektora osiąga minimum i na odwrót. Zarówno amplitudy, jak i prędkości kątowe składowych kolejności zgodnej i przeciwnej faz sumują się, zatem wypadkowy moduł wektora przestrzennego można wyrazić jako:

$$|\underline{u}| = \sqrt{U_I^2 + U_{II}^2 + 2U_I U_{II} \cos 2\omega t} \tag{3}$$

mierzyć możemy tylko wartości chwilowe napięć faz 1÷*m* sieci: $u_m = Usin(\omega t + \varphi_{1\div m})$, przy czym wielkości U, φ są zmienne w czasie, zatem wyznaczenie aktualnych wielkości prędkości kątowej i modułu wektora napięcia na podstawie obserwacji napięć jest bardzo trudne. Moduł można wyznaczyć w prosty sposób stosując przekształcenia α-β:

$$|\underline{u}| = \sqrt{u_\alpha^2 + u_\beta^2} \tag{4}$$

W warunkach niesymetrii napięcie u ma trajektorię elipsy o małym promieniu $u_{min} = A_I - A_{II}$ i dużym $u_{max} = A_I + A_{II}$. Równania tej elipsy w postaci parametrycznej:

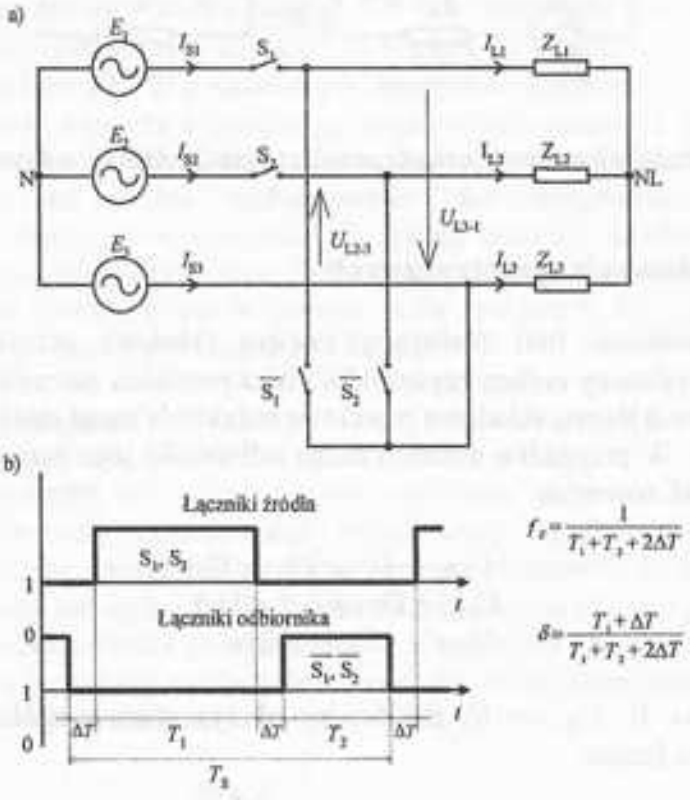
$$\begin{aligned} u_\alpha &= A\sin(\omega t + \varphi_u) \\ u_\beta &= B\cos(\omega t + \varphi_u) \end{aligned} \tag{5}$$

gdzie: $A = A_I - A_{II}$; $B = A_I + A_{II}$ -odpowiednio mały i duży promień elipsy
Jako współczynnik niesymetrii napięcia można wyznaczyć jako:

$$\varepsilon_U = \frac{u_{max} - u_{min}}{u_{max} + u_{min}} = \frac{A_{II}}{A_I}. \tag{6}$$

1.2 Impulsowe sterowniki prądu przemiennego

Stosowane w praktyce układy tyrystorowe są coraz częściej zastępowane sterownikami impulsowymi prądu przemiennego ze względu na ich korzystniejsze właściwości[2,3].



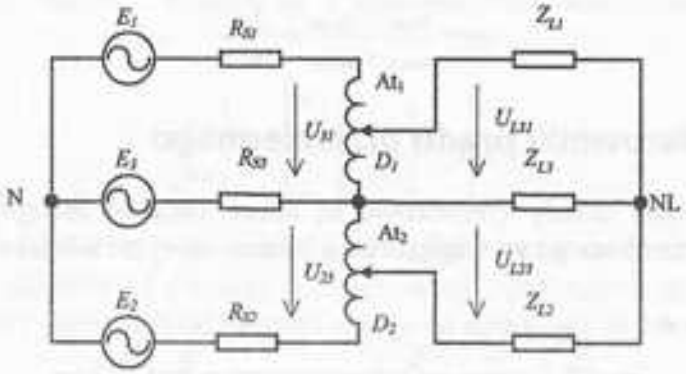
Rys 3. Układ ISPP obniżający napięcie o topologii niepełnofazowej:
a) schemat uproszczony; b) sygnały sterujące pracą łączników

W przypadku przedstawionego na rysunku 3. sterownika obniżającego, o topologii typu *Buck*, napięcie odbiornika jest wprost proporcjonalne do współczynnika wypełnienia impulsów sterujących pracą łączników S_1 S_2. Oprócz funkcji podstawowej, tj. dostarczania do odbiornika napięcia o zadanej wartości harmonicznej podstawowej, ISPP może jednocześnie tłumić

składowe nieaktywne napięcia [4,5]. Napięcia wyjściowe U_{L23} oraz U_{L31} mogą być sterowane niezależnie przez odpowiednią modulację współczynników wypełnienia impulsów sterujących pracą grup 1 i 2 łączników.

2. AGORYTMY STEROWANIA ISPP W WARUNKACH NIESYMETRII LINII ZASILAJĄCEJ

Model uśredniony sterownika dla składowej podstawowej, przeciwnej oraz wyższych harmonicznych niższych rzędów (o częstotliwościach mniejszych od częstotliwości komutacyjnej $f_h < f_s$) prezentuje rysunek 4. Jest to układ dwóch autotransformatorów o niezależnie regulowanych przekładniach napięciowych D_1, D_2, które w przypadku omawianego tu układu przekształcania AC/AC obniżającego napięcie tożsame są ze współczynnikami wypełnienia impulsów sterujących.



Rys. 4. Model uśredniony układu przekształcania AC/AC o topologii Buck

2.1. Metoda składowych symetrycznych

Niesymetryczne napięcie linii zasilającej zawiera składową przeciwnej kolejności faz. Zgodnie z (4) zrównoważony system napięć odbiornika powinien zakreślać na płaszczyźnie α-β okrąg, zatem jego niezakłócona składową przeciwną trajektoria może mieć maksymalny promień równy $A_L = A_I - A_{II}$. W przypadku symetrycznego odbiornika jego napięcia fazowe względem punktu neutralnego NL równe są:

$$\begin{aligned} U_{LBC} &= D_2 (a^2 U_I + a U_{II}) \\ U_{LCA} &= D_1 (a U_I + a^2 U_{II}) \\ U_{LAB} &= - U_{LBC} - U_{LCA} \end{aligned} \tag{7}$$

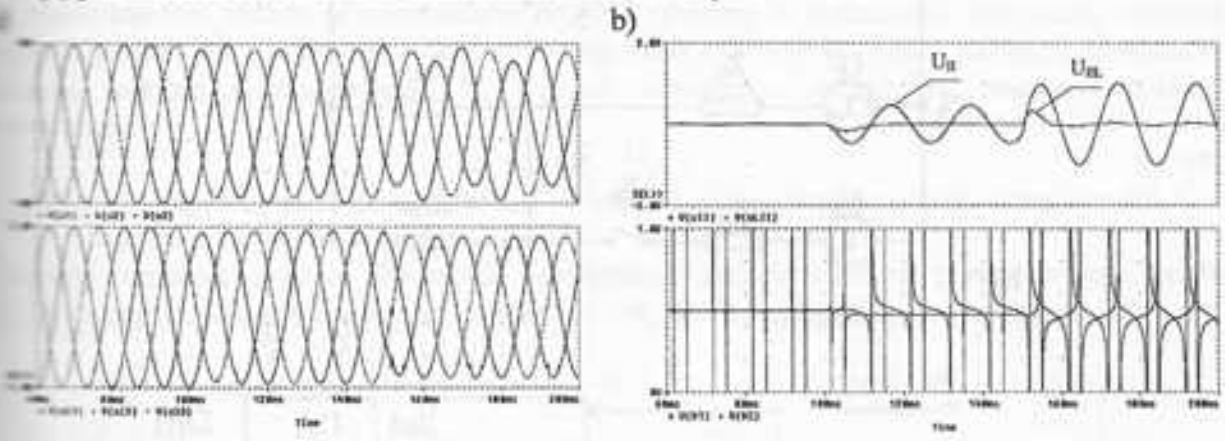
Z warunków $U_{IIL} \to 0$, $U_{IL} \to U_I$ znajdujemy skorygowane współczynniki transformacji napięciowej D^* w obu fazach:

$$\begin{aligned} D_1^* &= D \frac{a U_I}{a U_I + a^2 U_{II}} \\ D_2^* &= D \frac{a^2 U_I}{a^2 U_I + a U_{II}} \end{aligned} \tag{8}$$

gdzie D – wartość zadana współczynnika transformacji napięciowej.

W przypadku sterowników typu *Buck* składowa przeciwna nie może być tą metodą całkowicie wyeliminowana, ponieważ czynniki $U_I/(U_I + U_{II})$ występujące w (8) muszą zawierać się w

przedziale wartości (0 ÷ 1). Na rysunku 5 przedstawione są, otrzymane w wyniku badań symulacyjnych za pomocą pakietu PSpice, przebiegi czasowe napięć i prądów oraz sygnałów sterujących modelu sterownika z transformatorami idealnymi.



Rys. 5. Przebiegi czasowe modelu sterownika obniżającego napięcie: a) napięcia źródła i obciążenia; b) składowe przeciwne napięcia źródła i obciążenia oraz sygnały sterujące

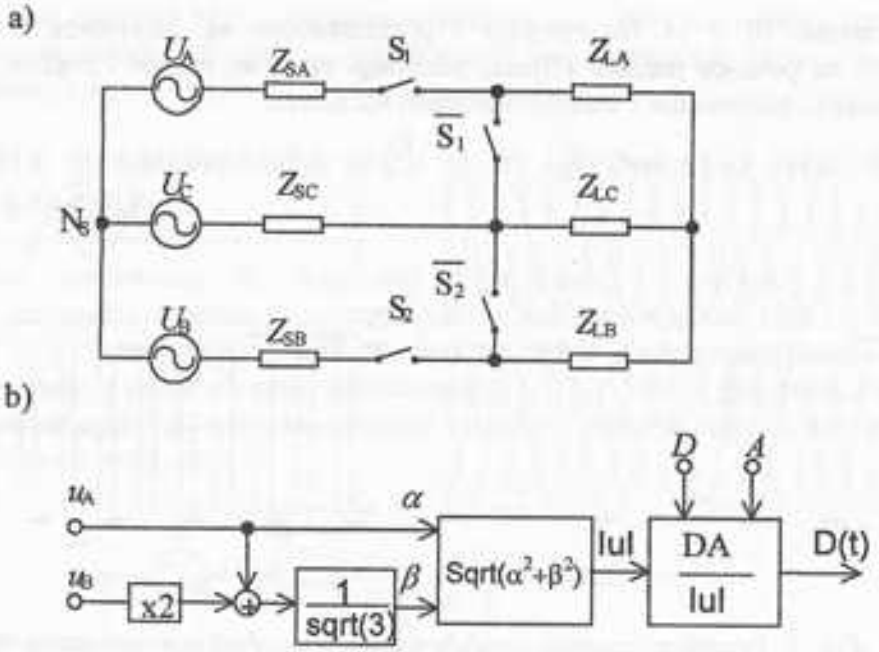
Do chwili t = 100 ms układ zasilany jest zrównoważonym systemem napięć. Współczynniki transformacji D^*_1, D^*_2 równe są wartości zadanej D = 0,5. Pojawienie się następnie niesymetrii typu D_A, ε_U = 9 % dla t > 100 ms oraz C_C, ε_U = 14 % skutkuje wygenerowaniem w przebiegach czasowych współczynników D^*_1, D^*_2 składowych kompensujących niezrównoważenie napięć. Współczynniki niesymetrii napięcia wyjściowego zostały zredukowane do wartości ε_{UL} < 0,5 %. Prezentowane rozwiązanie cechują dwie podstawowe wady. Układ nie kompensuje wahań napięcia wejściowego, co można zaobserwować jako zmniejszenie amplitud napięć wyjściowych. Czas niezbędny do wyznaczenia aktualnych wartości składowych symetrycznych napięcia wejściowego powoduje opóźnienie równe w przybliżeniu połowie okresu harmonicznej podstawowej. Efekt ten widoczny jest w górnym oknie rysunku 5. b) – składowa przeciwna napięcia wyjściowego tłumiona jest w czasie $\tau \approx T_g/2$.

2.2. Metoda amplitudowa

Zgodnie z przedstawionym we wstępie opisem, amplituda wektora przestrzennego napięcia źródła oscyluje z podwojoną częstotliwością podstawową. Jej aktualna wartość jest łatwa do wyznaczenia, jeśli system napięć linii zasilającej przetransformować do układu ortogonalnego α-β. Wektor przestrzenny napięcia odbiornika powinien zakreślać okrąg o promieniu DA, gdzie D – wartość zadana współczynnika transformacji, A – amplituda znamionowa napięcia źródła. Sygnały sterujące pracą łączników należy zatem zmodulować sygnałem tętnień modułu wektora napięcia źródła odwróconym w fazie:

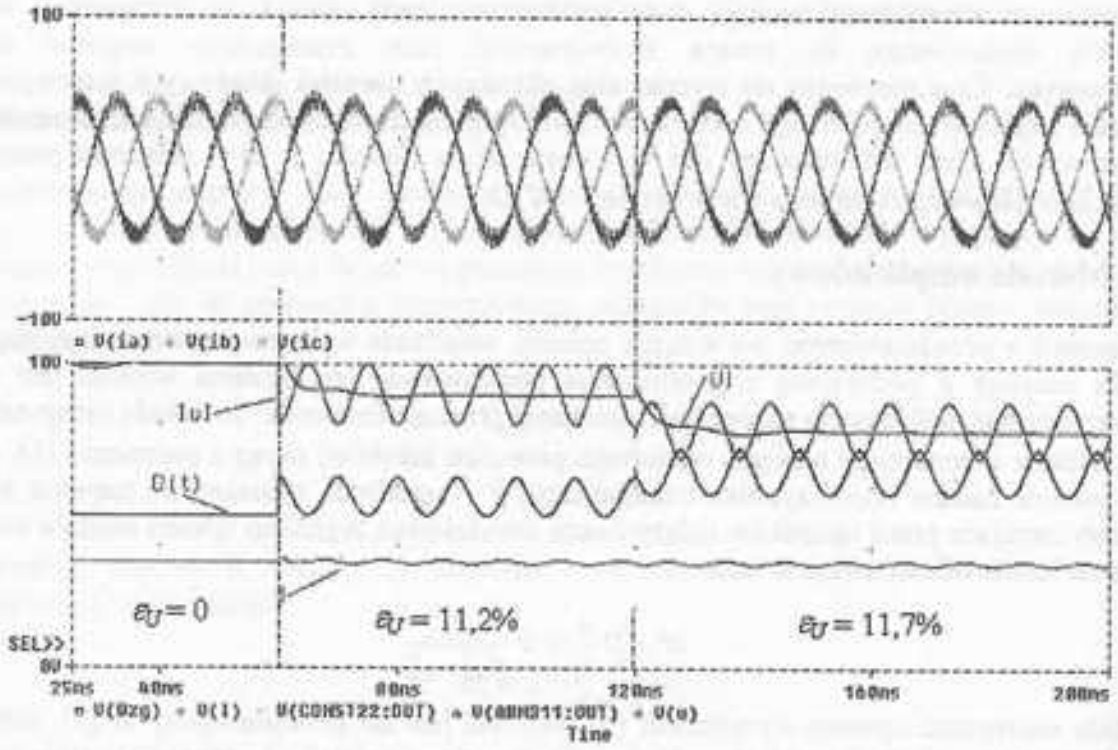
$$D^* = D\frac{A}{|\underline{v}|} = D\frac{A}{\sqrt{u_\alpha^2 + u_\beta^2}} \tag{9}$$

Metoda sterowania opisana wyrażeniem (9) podobna jest do przedstawionej w [5], jednakże przyjęcie jako wielkości odniesienia amplitudy znamionowej A zapewnia jednocześnie kompensację wahań napięcia wejściowego. Schemat blokowy układu wraz z torem sterującym prezentuje rysunek 6.



Rys. 6. ISPP typu Buck z układem sterowania metodą amplitudową

Wyniki badań symulacyjnych modelu w warunkach niesymetrii napięcia źródła jak w rozdz. 2.1. prezentuje rysunek 7. Współczynnik niesymetrii prądów obciążenia jest zredukowany do wartości 2 %. Amplitudowa metoda sterowania zapewnia stabilizację napięcia wyjściowego, ponadto charakteryzuje się znacznie mniejszą bezwładnością układu sterowania, równą jednemu okresowi impulsowania.



Rys. 7. Przebiegi czasowe prądów fazowych obciążenia (górne okno) oraz: sygnału sterującego D(t), modułów napięcia źródła i prądu odbiornika (okno dolne), f_s = 5 kHz

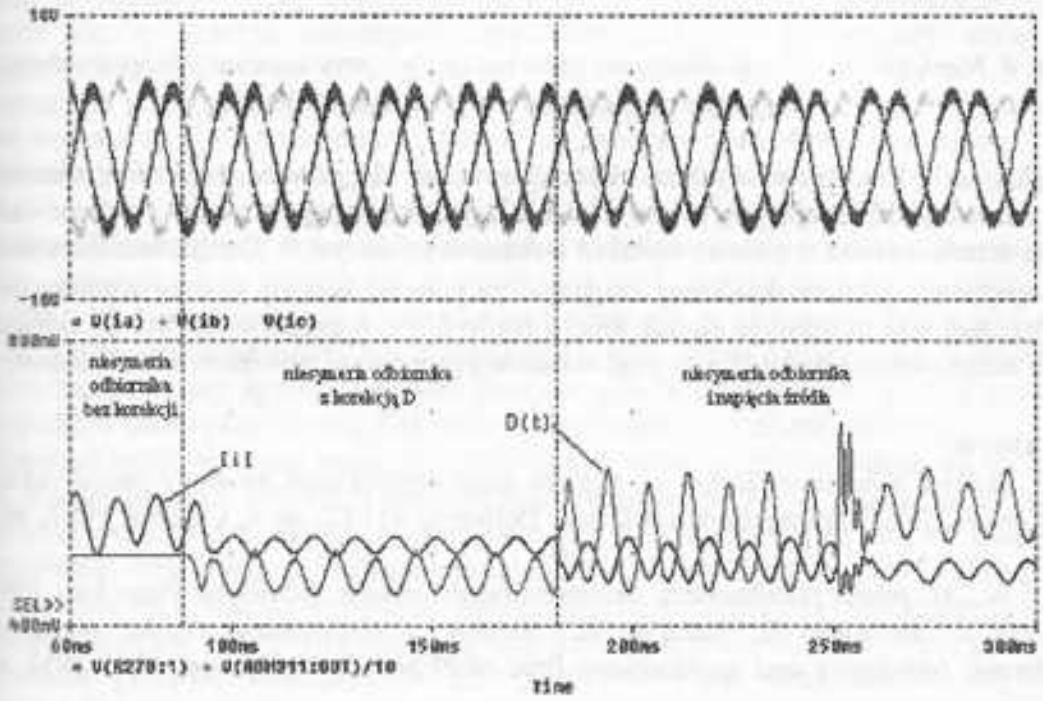
2.3. Sterowanie w układzie zamkniętym metodą amplitudową

W przypadku odbiornika stacjonarnego prezentowana powyżej metoda może być stosowana do równoważenia układu przekształcania AC/AC zarówno w warunkach niesymetrii napięcia linii zasilającej, jak i impedancji faz odbiornika. Jeśli modulować sygnał sterujący tętnieniami modułu wektora przestrzennego $|i_L|$ prądu odbiornika, otrzymamy regulator opisany równaniem:

$$D^* = k(DI_n - |i_L|) \tag{9}$$

gdzie: k – współczynnik wzmocnienia, D – wartość zadana współczynnika transformacji, I_n – wartość znamionowa prądu odbiornika

Przebiegi czasowe prądów fazowych odbiornika, modułu wektora przestrzennego prądu oraz sygnał sterujący dla współczynników $k = 6$, $D = 0{,}5$ przedstawiono na rysunku 8.



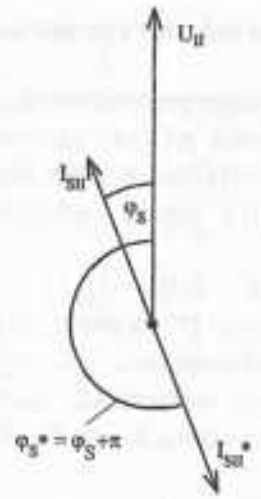
Rys. 8. Przebiegi czasowe prądów fazowych obciążenia (górne okno) oraz sygnału sterującego D(t), modułu i prądu odbiornika (okno dolne)

Odbiornik jest niesymetryczny (ε_{II} = 12 %), układ sterowania załączony został w chwili t = 90 ms, niesymetrie napięcia zasilającego są jak w poprzednich przykładach. Pomimo niewielkiej wartości k, współczynnik niesymetrii prądu odbiornika stłumiony jest do wartości nie większej od 2 %.

Metodę tę można stosować także do zasilania odbiorników niestacjonarnych. Jako sygnał sprzężenia zwrotnego należy zastosować napięcie wyjściowe z odfiltrowanymi harmonicznymi komutacyjnymi.

3. WNIOSKI

Wszystkie prezentowane powyżej metody sterowania zapewniają redukcję współczynnika niesymetrii napięcia zasilającego trójfazowy odbiornik. W przypadku równoważenia prądów niesymetrycznego obciążenia (rozdz. 2.3) następuje wyzerowanie składowej przeciwnej kolejności faz prądu linii zasilającej.



Rys. 9. Napięcie U_{II} i prądy składowej przeciwnej: I_{II} – przy zasilaniu bezpośrednim; I^*_{II} – przy zsymetryzowanych napięciach odbiornika

Korzystną cechę przedstawionych tu metod sterowania układów bezpośredniej transformacji napięć przemiennych pracujących w warunkach niesymetrii napięcia źródła i zrównoważonego odbiornika przedstawiono w postaci wykresu wskazowego na rys. 9. Kąt przesunięcia fazowego między napięciem i prądem składowej kolejności przeciwnej faz jest zawsze większy od $\pi/2$ – układ przekształcania zachowuje się jak źródło prądu $I_{I\,VCI}$, w przeciwieństwie do odbiorników zasilanych bezpośrednio. Wypadkowy prąd składowej przeciwnej powinien zatem zmaleć.

Literatura:

1. M.H.J. Bollen: *Characterization of voltage sags experienced by three-phase adjustable-speed drives*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.12, no.4, October 1997, pp.1666-1671.
2. Clark J.W.: *AC power conditioners: design and applications,* Academic Press Inc., 1990
3. Fedyczak Z. Strzelecki R. Sozański K.: *Review of three-phase AC/AC semiconductor transformer topologies and applications,* Proc of PESC'02, Vol. 2, pp. 1048-1053. Cairns, Jun 2002.
4. Lefeuvre, T. Meynard, P. Viarogue: *Fast Line Voltage Conditioners using a New PWM AC Chopper Technology*, EPE'01 Conf. Mat. Rec.
5. Veszpremi K., Hunyar M.: *New application fields of the PWM IGBT ac chopper*, IEEE PEVD Conference publication, No. 475, London, 18-19 September 2000.

CONTROL METHODS OF BALANCING THE PWM AC LINE CONDITIONERS

This paper presents the operation of PWM AC line conditioners under source voltage unbalance. Control algorithms, based on symmetrical components method and orthogonal state-space vector, leading to load voltage or current balance are presented. Theoretical analyses were confirmed by simulation tests results.

KLEMIŃSKA[1]

Izolacja gazowa czy powietrzna?

Stale rosnące wymagania użytkownika oraz konkurencja na rynku rozdzielnic przyczynia się do postępu, poprawy jakości i niezawodności aparatury łączeniowej i rozdzielczej. Szczególną uwagę zwraca się na wpływ tych urządzeń na środowisko naturalne i na bezpieczeństwo ich obsługi. Postęp ten przyczynia się również to powstawania nowych norm międzynarodowych.
Nowoczesne rozdzielnice instalowane w stacjach energetyki zawodowej i zakładów przemysłowych powinny spełniać cały szereg nowych wymagań, nakładających nowe obowiązki na projektantów rozdzielnic, a dotyczących zmniejszenia gabarytów, łatwej i niezawodnej eksploatacji, nieskomplikowanej obsługi, a także powinny zapewniać bezpieczeństwo osób znajdujących się w pobliżu urządzenia przy równoczesnym zapobieganiu emisji pola elektromagnetycznego na zewnątrz do otoczenia.
Aby osiągnąć te cele zostały wprowadzone kombinacje znanych, ale nie stosowanych dotychczas wysoko rozwiniętych technik, takich jak hermetyczne obudowy i izolacja gazowa oraz próżniowa technika łączeniowa a także system różnego rodzaju czujników, połączenia optyczne.
W rozdzielnicach wszystkie części pod napięciem, niezależnie od wysokości zainstalowania rozdzielnicy, znajdują się w przestrzeni z gazem SF6 pod niewielkim nadciśnieniem, dzięki czemu są chronione przed wilgocią i zabrudzeniem. Zbiornik z gazem wykonany jest ze stali nierdzewnej. Szyny zbiorcze między poszczególnymi polami łączone są za pomocą wtyków, co umożliwia w bardzo prosty sposób zestawiać dowolne pola w zależności od potrzeb oraz łatwo rozbudowywać w czasie eksploatacji, bez rozhermetyzowania przestrzeni gazowej.
W nowoczesnych rozdzielnicach średniego napięcia izolowanych gazem stosuje się wyłączniki próżniowe, nie wymagające dozoru, o napięciu znamionowym do 36kV, prądzie znamionowym do 2500A oraz zwarciowym prądzie wyłączalnym do 40 kA. Pozwalają one na długotrwałą pracę, zapewniając dużą trwałość i odznaczają się dużą liczbą cykli łączeniowych. Współczesne wyłączniki próżniowe dzięki zastosowaniu doskonałych materiałów stykowych, charakteryzują się poziomem przepięć akceptowalnym dla większości zastosowań. Tak więc podnoszona zwykle kwestia przepięć łączeniowych dla przeciwstawienia wyłączników próżniowych wyłącznikom z SF6, przechodzi już w zapomnienie.
Zastosowanie w nowoczesnych rozdzielnicach układu czujników kontrolujących prąd, napięcie, ciśnienie gazu, stan elementów mechanicznych oraz przetwarzających te dane cyfrowych układów sterowania zapewniają prostą obsługę i niezawodność pracy.
Pojawia się więc pytanie: Czym kierować się przy wyborze aparatury rozdzielczej?
Istotną rolę spełniają względy ekonomiczne. Coraz bardziej znaczącym kryterium przy wyborze aparatury rozdzielczej stają się koszty eksploatacyjne. To one zaczynają w głównej mierze decydować o zastosowanym rozwiązaniu.

Rozdzielnice z izolacją gazową (GIS) mogą konkurować z ich odpowiednikami z izolacją powietrzną (AIS) czy mieszaną, stało-powietrzną nie tylko gabarytami, ale również cenowo.
Jeśli jednak uwzględni się koszty konserwacji rozdzielnic w ciągu 20 lat eksploatacji szala przechyla się znacznie w stronę rozdzielnic z izolacją gazową (GIS).
Dla potwierdzenia tego przeprowadzona zostanie szczegółowa analiza kosztowa prac konserwacyjnych rozdzielnicy średniego napięcia GIS typu WS lub WI oraz AIS. Analiza ta oparta jest na warunkach zachodnioeuropejskich ze względu na dużo większe doświadczenie zachodniej energetyki w stosowaniu rozdzielnic w izolacji gazowej. Przyjęto siedmio polowe rozdzielnice na napięcie znamionowe do 36 kV, z wyłącznikiem próżniowym zakładając

[1] ALSTOM T&D S.A. 58-160 Świebodzice, ul. Strzegomska 23/27, joanna.kleminska@tde.alstom.com, tel. (032) 2586291

jednocześnie koszt robocizny na osobę 75 EUR (uwzględniający narzędzia, sprzęt i inne wydatki temu towarzyszące). Patrz: załącznik.

Jak więc widać koszty eksploatacyjne rozdzielnic z izolacją gazową są kilkakrotnie niższe w porównaniu z kosztami eksploatacyjnymi rozdzielnic z izolacją powietrzną. Im dłuższy okres użytkowania tym różnice będą znaczniejsze. W momencie zakupu cena wyjściowa GIS jest nie rzadko wyższa, ale po uwzględnieniu kosztów eksploatacji sytuacja diametralnie się zmienia na korzyść rozdzielnic gazowych.

Pojawia się więc pytanie: Czy należy się obawiać SF6?
Sześciofluorek siarki, wykorzystywany jest w aparaturze rozdzielczej na skalę przemysłową od blisko czterdziestu lat i jest ciągle przedmiotem wielu dyskusji w środowiskach zawodowych związanych z eksploatacją i budową urządzeń elektrycznych. Pierwszy wyłącznik z SF6 został zbudowany w 1959 roku. Wyłączniki budowy modułowej były już dostępne w połowie lat 60-tych, jednak dopiero w latach 80-tych znalazły powszechne zastosowanie.
Gaz SF6 znajduje zastosowanie we wszelkich urządzeniach elektrycznych i stanowi w przybliżeniu 25 % całkowitej jego ilości produkowanej, używanej w innych zastosowaniach, jak budownictwo, górnictwo, instalacje chłodnicze, hutnictwo, medycyna. Warto więc sobie uświadomić, że nawet całkowita eliminacja SF6 z wszelkich zastosowań w elektrotechnice ograniczy jego globalną obecność tylko w tej proporcji. Na pozostałe 75 % elektrycy nie mają wpływu.
Co stanowi więc te 25 %? Ilość ta, to przede wszystkim gaz stosowany w aparaturze wysokich napięć: w rozdzielnicach typu GIS i szynoprzewodach, w wyłącznikach, rozłącznikach oraz nowoczesnych przekładnikach prądowych i napięciowych. Przy czym wysokonapięciowe zastosowanie stanowi około 80 % całkowitej ilości SF6 zużywanego na potrzeby urządzeń elektrycznych. Brakujące 20 % gazu „elektrotechnicznego" (około 5 % globalnej ilości) to cała aparatura SN. I znowu warto pamiętać, że przewagę stanowią w tym przedziale rozdzielnice typu RMU, GIS i hybrydowe. Tak więc na wyłączniki SN przypada zdecydowanie poniżej 1 % ilości SF6, z jaką obiektywnie mamy do czynienia.
A jak te procenty przekładają się na rzeczywiste ilości w liczbach bezwzględnych, w skali roku? Według dostępnych danych szacuje się, że na świecie wytwarza się 7500 t gazu SF6 (dane na rok 1998). Z tego na potrzeby elektrotechniki zużywa się 25 %, co stanowi mniej niż 2000 t, w tym około 1600 t gazu na potrzeby urządzeń WN i 400 t dla aparatury SN, z których wyłączniki zużywają mniej niż 75 t.
Tu należy uświadomić, że w tym samym czasie dwutlenku węgla „produkuje się" (przemysł, elektrownie, samochody, wszelkie formy ogrzewania) i uwalnia bezpośrednio do atmosfery około 6 mld t.

W CIGRE zebrano dane dotyczące uszkodzeń izolacji rozdzielnic GIS zainstalowanych w latach 1967-1992 w różnych dużych firmach energetycznych na świecie (francuski EDF, kanadyjska Ontario Hydro, itp.). Uszkodzenie izolacji bez względu na przyczynę oznacza powstanie łuku elektrycznego dużej mocy pomiędzy częścią pod napięciem i uziemioną obudową. Ogólna liczba uszkodzeń izolacji jest dość mała. Na przykład rozkład uszkodze izolacji, w zależności od miejsca występowania wygląda następująco:
- 40,4 % w przedziałach łącznikowych: wyłącznikowych, odłącznikowych, rozłącznikowych (13,5 % - uszkodzenia izolatorów),
- 17,3 % w przedziałach przekładników napięciowych, szyn zbiorczych (5,1 % na izolatorach),
- 42,2 % pozostałe przedziały (22 % na izolatorach).

Stosunkowo duży procent uszkodzeń izolatorów tłumaczyć można starą konstrukcją i występującymi defektami w izolacji stałej.
Na podstawie dużej wartości procentowej uszkodzeń w przedziałach łączników można stwierdzić, że są to urządzenia o bardzo wysokim stopniu ryzyka.

Urządzenia elektryczne, niezależnie od zastosowanej izolacji i techniki gaszenia łuku stanowią i zawsze będą stanowiły jakieś zagrożenie. Należy jednak pamiętać, że nadal największym zabezpieczeństwem, pochłaniającym najwięcej ofiar jest zwykłe porażenie prądem. Z kolei, zawsze groźne skutki działania niekontrolowanego łuku w urządzeniach silnoprądowych, w przypadku izolacji powietrznej lub stałej, są znacznie większe niż w urządzeniach z SF6. Wystarczy wspomnieć, że łuk wewnętrzny w rozdzielnicy średniego napięcia AIS powoduje odparowanie na skutek „eksplozji" dużej energii cieplnej bardzo groźnych produktów pochodzących z metali i materiałów izolacyjnych. Są to chlorki, kwas chlorowodorowy, fosgen i inne związki chlorowodorowe oraz wyjątkowo niebezpieczne pary metali, w szczególności miedzi.

W aparaturze łączeniowej i rozdzielczej z izolacją SF6 skutki łuku wewnątrz zamkniętych komór są mniejsze. Na zewnątrz nie przenosi się tak dużo energii cieplnej, ani nie dochodzi do tak znacznego wzrostu ciśnienia jak w przypadku powietrza. Prawdopodobieństwo awarii wskutek przebić izolacji gazowej wydatnie maleje i jest to cel podstawowy i najważniejszy.

Wszelkie urządzenia, w których „przetwarza się" duże energie, stanowią jakieś zagrożenie. Nie istnieją systemy absolutnie niezawodne i pewnie nigdy ich nie będzie.

Zajmijmy więc do sedna sprawy.

LITERATURA:

1. Słowikowska H.: Problematyka ekologiczna związana z rozwojem zastosowań SF6 w urządzeniach elektroenergetycznych
2. Wpływ aparatury rozdzielczej z SF6 na efekt cieplarniany. Zestawienie porównawcze raportów UNIPEDE i CAPIEL, marzec 1997
3. Zalecenia IEC- 1634. Użytkowanie i obchodzenie się z SF6 w wysokonapięciowych aparatach łączeniowych i urządzeniach rozdzielczych.
4. Materiały katalogowe i dane firmy Alstom T&D S.A.

Porównanie kosztów konserwacji rozdzielnic z izolacją gazową (GIS) i powietrzną (AIS)

1. GIS typu WS lub WI do 36 kV
   Koszty konserwacji w ciągu 20 lat
   Założenie: 50 cykli łączeniowych w ciągu roku

Liczna pól: 7
Koszt robocizny/osobę: EUR 75 (średni w ciągu 20 lat)
Obejmuje narzędzia, sprzęt i inne wydatki temu towarzyszace

Poz.	Czynności	Częstość	Działania	ilość robgodz na pole	KOSZT NA 1POLE		KOSZT NA 7 PÓL			20 lat Koszt w EUR
					Robocizna w EUR	Materiały w EUR	Robocizna w EUR	Materiały w EUR	Koszty w EUR	
1.1	Oględziny	2/rok	Wizualna kontrola	3	225,--	—	1.575,--	—	1.575,--	63.000,--
1.2	Rutynowa kontrola (testy diagnostyczne)	Co 5 lat	Sprawdzenie: układu sterowania,poziomu zawilgocenia, napędów, gęstościomierza, ilosci smaru na napędach	6	450,--	—	3.150,--	—	3.150,--	12600,--

Poz.	Czynności	Częstość	Działania	ilość robgodz na pole	KOSZT NA 1POLE Robocizna w EUR	KOSZT NA 1POLE Materiały w EUR	KOSZT NA 7 PÓL Robocizna w EUR	KOSZT NA 7 PÓL Materiały w EUR	KOSZT NA 7 PÓL Koszty w EUR	20 lat Koszt w EUR
1.3	Podstawowe czynności konserwacyjne	Co 15 lat	Czyszczenie łączników pomocniczych, smarowanie części ruchomych, testy diagnostyczne, ponowne uruchomienie	dodatkowo 16 do poz.1.2	1.200,--	250,--	8.400,--	1.750,--	10.150,--	13.533,-- (20/15)
1.4	Przeglądy	Co 30 lat	Filtry, absorber wilgoci, pierścienie uszczelniające i uszczelki	dodatkowo 42 do poz.1.2 i 1.3	3.150,--	2.850,--	22.050,--	19.950,--	42.000,--	28.000,-- (20/30)

Założenie: zastosowano wyłącznik próżniowy

Całkowity koszt (20 lat) EUR 117.133,--

2. AIS do 36 kV

Koszty konserwacji w ciągu 20 lat

Założenie: 50 cykli łączeniowych w ciągu roku

Liczna pól: 7

Koszt robocizny/osobę: EUR 75 (średni w ciągu 20 lat)

Obejmuje narzędzia, sprzęt i inne wydatki temu towarzyszace

Poz.	Czynności	Częstość	Działania	ilość robgodz na pole	KOSZT NA 1POLE Robocizna w EUR	KOSZT NA 1POLE Materiały w EUR	KOSZT NA 7 PÓL Robocizna w EUR	KOSZT NA 7 PÓL Materiały w EUR	KOSZT NA 7 PÓL Koszty w EUR	20 lat Koszt w EUR
2.1	Oględziny	2/rok	Wizualna kontrola	1	75,--	____	525,--	____	525,--	21.000,--

Poz.	Czynności	Częstość	Działania	ilość robgodz na pole	KOSZT NA 1POLE		KOSZT NA 7 PÓL			20 lat Koszt w EUR
					Robocizna w EUR	Materiały w EUR	Robocizna w EUR	Materiały w EUR	Koszty w EUR	
2.2	Kontrola panelu	Co rok	Sprawdzenie napędów, ruchomych przegród używanych przy wysuwie wózka wyłącznikowego, regulacja łączników pomocniczych, smarowanie zewnętrznych części ruchomych, sprawdzenie ciągłości przewodów i izolacji, sprawdzenie rezystancji uziemienia	16	1.200,--	75,--	8.400,--	525,--	8.925,--	178.500,--
2.3	Rutynowa kontrola (testy diagnostyczne)	Co dwa lata	Sprawdzenie: układu sterowania,poziomu zawilgocenia, napędów, rezystancję zestyku, czyszczenie układu regulacji, działanie wyłącznika	dodatkowo 10 do pozycji 2.2	750,--	40,--	5.250,--	280,--	5.530,--	55.300,--

Poz.	Czynności	Częstość	Działania	Ilość robgodz na pole	KOSZT NA 1POLE		KOSZT NA 7 PÓL			20 lat Koszt w EUR
					Robocizna w EUR	Materiały w EUR	Robocizna w EUR	Materiały w EUR	Koszty w EUR	
2.4	Podstawowe czynnosci konserwacyjne	Co 7 lat	Czyszczenie, zabezpieczenie przed korozją, smarowanie części ruchomych, sprawdzenie napędów, przeprowadzenie testów diagnostycznych, ponowne uruchomienie	dodatkowo 24 do pozycji 2.2	1800,--	1.250,--	12.600,--	8.750,--	21.350,--	61.000,-- (20/7)
2.5	Prace konserwacyjne zwiazane z wyłacznikiem	Co 10 lat	Czyszczenie i sprawdzenie styków, napędu i innych części	dodatkowo 8 do pozycji 2.2 i 2.3	600,--	1.250,--	4.200,--	8.750,--	12.950,--	25.900,--
2.6	Przeglądy	Co 14 lat	Rozmontowanie i naprawa	dodatkowo 64 do pozycji 2.3 i 2.4	4800,--	2.500,--	33.600,--	17.500,--	51.100,--	73.000,--

Założenie: zastosowano wyłącznik próżniowy

Całkowity koszt (20 lat) EUR 414.700,--

Michał KRASODOMSKI[1]

MOŻLIWOŚCI ROZSZERZENIA ZASTOSOWAŃ MAŁYCH STEROWNIKÓW PROGRAMOWALNYCH

W artykule rozważane są możliwości zastosowania sterownika o liczbie wejść i wyjść mniejszej niż liczba koniecznych w procesie czujników i urządzeń wykonawczych. Umożliwiają to specjalne sprzętowe i programowe układy wejściowe i wyjściowe. Dobór właściwej konfiguracji zależy od indywidualnych cech i wymagań procesu, w którym sterownik ma być zastosowany.

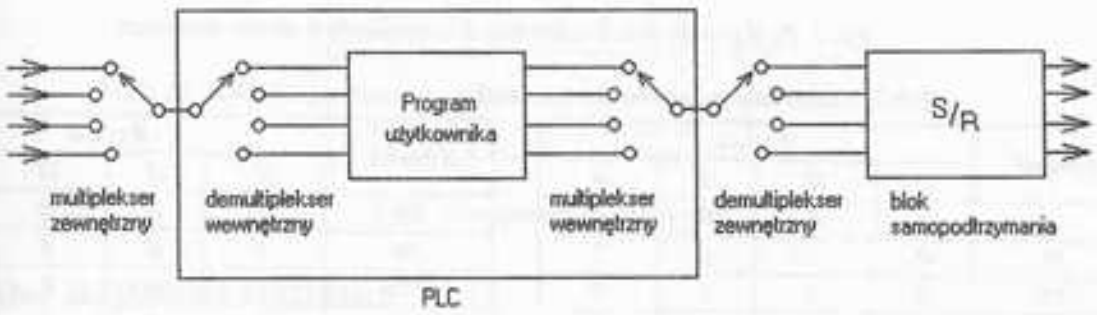
1. WPROWADZENIE

Sterowniki programowalne (PLC) [1] coraz częściej znajdują zastosowanie nie tylko w sterowaniu złożonych procesów przemysłowych, ale także tam, gdzie wymagana jest automatyczna obsługa układów funkcjonalnych o niewielkim stopniu skomplikowania. Są to m. in. układy automatyki budynkowej, np. otwierania/zamykania drzwi, okien, rolet, regulacji temperatury, klimatyzacji, oszczędzania energii, ochrony przeciwpożarowej, bezpieczeństwa, oświetlania awaryjnego, itp.

Dla tych zadań produkowane są uniwersalne sterowniki o liczbie wejść i wyjść, często tylko binarnych, mniejszej niż w sterownikach dedykowanych dla przemysłu. Są one zwane ministerownikami [1] lub mikro PLC. Ich zaletą jest przede wszystkim niższa cena. Miewają uproszczony interfejs. Często zdarza się, że liczba wejść i wyjść oferowanych przez sterownik jest niewystarczająca dla danego zastosowania, co zmusza do zakupu bardziej rozbudowanego modelu lub zastosowania co najmniej dwóch sterowników, co również zwiększa koszt inwestycji. Ograniczenie to można obejść stosując odpowiednie układy wejściowe i wyjściowe.

2. IDEA DZIAŁANIA

Aby sterownik mógł obsługiwać większą liczbę sygnałów niż ta, na którą został zaprojektowany, sygnały te muszą być odpowiednio multipleksowane i demultipleksowane. Konieczny jest multiplekser [2] zewnętrzny (sprzętowy), demultiplekser [2] wewnętrzny (programowy), multiplekser wewnętrzny (programowy), demultiplekser zewnętrzny (sprzętowy), opcjonalnie blok samopodtrzymania [3] (set/reset).



Rys.1. Idea działania

[1] Politechnika Szczecińska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektrotechniki, 70-313 Szczecin, ul. Sikorskiego 37, tel. (0-91) 4261796, e-mail:600265326@carnet.pl

3. BUDOWA ELEMENTÓW

Poniżej zostanie przedstawione rozwiązanie, w którym na multiplekser zewnętrzny podawane są stany przycisków lub czujników. Informacja o stanie, po wykonaniu programu użytkownika [1], w którym mogą być zadeklarowane różne dodatkowe warunki dotyczące działania urządzeń sterowanych, powodują zmianę stanu (włączone/wyłączone) urządzenia. W najprostszym przypadku program użytkownika bezpośrednio przenosi odpowiednie sygnały z demultipleksera wewnętrznego na multiplekser wewnętrzny.

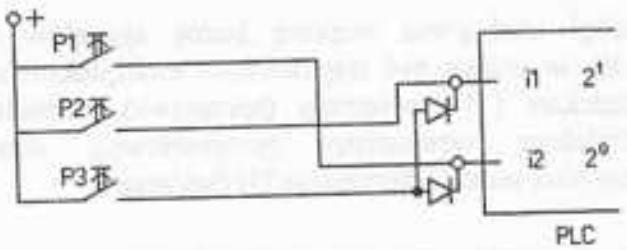
3.1 Układ wejściowy

3.1.1 Multiplekser zewnętrzny

Jeżeli sterownik posiada *n* wejść binarnych, to można do nich podłączyć 2^n-*1* czujników lub przycisków. Stan wysoki każdego z czujników *P* jest kodowany niepowtarzalnym stanem wejść sterownika. Stan dla którego *i1=0, i2=0*, jest stanem spoczynkowym, w którym żaden z czujników nie jest w stanie wysokim Konieczne jest zastosowanie zabezpieczeń od niepożądanego pojawienia się napięcia na wejściach sterownika.

Tab.1. Kodowanie czujników dla sterownika o dwóch wejściach i1, i2

Czujnik	Wejście	
	i1	i2
	Waga	
	2^1	2^0
	Stan wejść	
-	0	0
P1	0	1
P2	1	0
P3	1	1

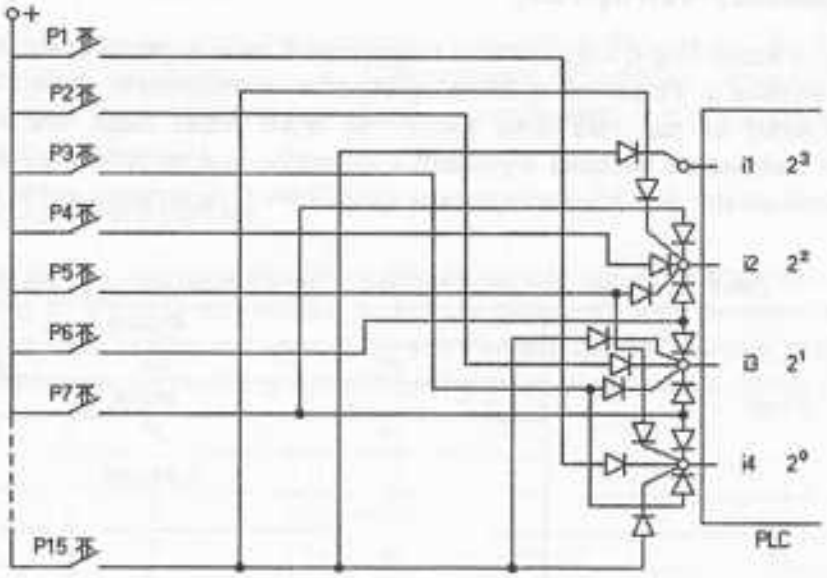


Rys.2. Podłączenie trzech czujników do sterownika o dwóch wejściach

Tab.2. Kodowanie czujników dla sterownika o czterech wejściach i1, i2, i3, i4

Czujnik	Wejście			
	i1	i2	i3	i4
-	0	0	0	0
P1	0	0	0	1
P2	0	0	1	0
P3	0	0	1	1
P4	0	1	0	0
P5	0	1	0	1
P6	0	1	1	0
P7	0	1	1	1

Czujnik	Wejście			
	i1	i2	i3	i4
P8	1	0	0	0
P9	1	0	0	1
P10	1	0	1	0
P11	1	0	1	1
P12	1	1	0	0
P13	1	1	0	1
P14	1	1	1	0
P15	1	1	1	1

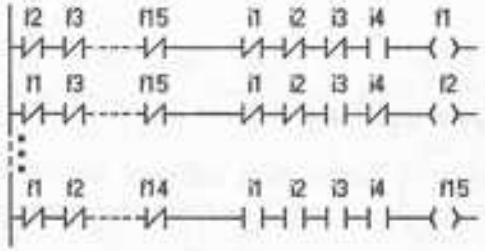


Rys.3. Podłączenie piętnastu czujników do sterownika o czterech wejściach

Wadą wykorzystania wszystkich wejść sterownika do kodowania stanów czujników jest możliwość poprawnego odczytu stanu tylko jednego czujnika na raz. Zabezpieczenie od odczytu błędnego omówione będzie poniżej. Aby umożliwić jednoczesne odczytywanie więcej niż jednego czujnika, należy nie wykorzystywać do kodowania wszystkich wejść sterownika. W tym przypadku jeżeli sterownik posiada n wejść i do kodowania chcemy wykorzystać $l \leq n$ wejść, to można do multipleksera zewnętrznego podłączyć można 2^l-1 czujników, a bezpośrednio do wejść sterownika $n-l$ czujników z możliwością jednoczesnego - względem siebie i względem multipleksera – odczytu.

3.1.2 Demultiplekser wewnętrzny

Demultiplekser wewnętrzny zadeklarowany jest w programie. Przedstawiono realizację w języku drabinkowym (LD) [1] dla sterownika o czterech wejściach i piętnastu czujnikach na nich kodowanych. Pojawienie się stanu wysokiego *k-tego* czujnika powoduje pojawienie się odpowiadającego mu stanu wejść sterownika, a co za ty idzie - stanu wysokiego *k-tej* flagi *f*. Zabezpieczeniem od błędnego odczytu, w przypadku pojawienia się stanu wysokiego więcej niż jednego czujnika, jest wzajemne blokowanie [3] wystawiania flag *f*.



Rys.4. Demultiplekser wewnętrzny

3.2 Układ wyjściowy statyczny

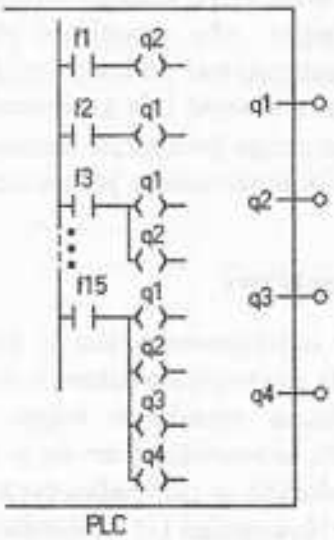
Układ ten realizuje włączenie jednego z urządzeń wykonawczych na czas równy czasowi trwania stanu wysokiego odpowiedniego czujnika. Wykorzystuje statyczne nadawanie wartości [1].

3.2.1 Multiplekser wewnętrzny

Informację o stanie flag *f*, czyli o stanie czujników *P*, należy przesłać na zewnątrz sterownika poprzez jego wyjścia *q*. Ponieważ w demultiplekserze wewnętrznym istnieje wzajemna blokada flag, dzięki czemu na raz ustawiona może być tylko jedna flaga, nie występuje problem wielokrotnego nadawania wartości wyjściom sterownika. Kodowanie stanów flag *f* za pomocą wyjść *q* jest analogiczne do kodowania stanów czujników *P* za pomocą wejść *i* sterownika.

Tab.3. Kodowanie flag dla sterownika o czterech wyjściach q1,q2, q3, q4

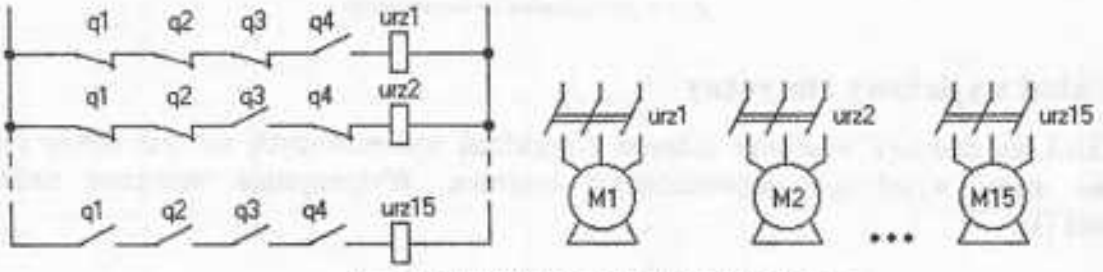
Flaga	*Wyjście*			
	q1	*q2*	*q3*	*q4*
	Waga			
	2^3	2^2	2^1	2^0
	Stan wyjść			
-	*0*	*0*	*0*	*0*
f1	*0*	*0*	*0*	*1*
f2	*0*	*0*	*1*	*0*
f3	*0*	*0*	*1*	*1*
...	...	...	...	...
f15	*1*	*1*	*1*	*1*



Rys.5. Multiplekser wewnętrzny

3.2.2 Demultiplekser zewnętrzny

Dekodowanie stanu wyjść *q* sterownika odbywa się za pomocą układu zbudowanego na przekaźnikach. Cewki *urz1, urz2, ... , urz15* bezpośrednio sterują pracą odpowiednich urządzeń.



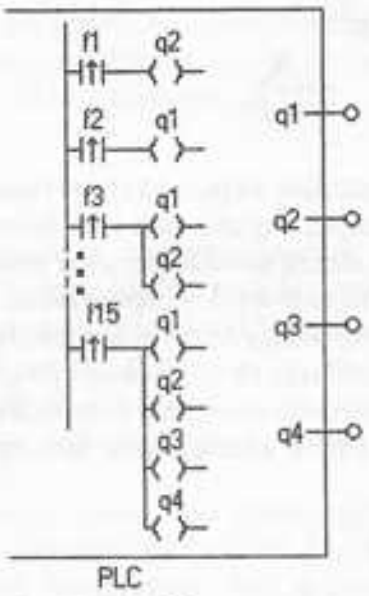
Rys.6. Demultiplekser zewnętrzny i urządzenia

3.3 Układ wyjściowy dynamiczny

Układ ten pozwala na jednoczesną pracę wielu urządzeń podłączonych do demultipleksera zewnętrznego przez blok samopodtrzymania. Wykorzystuje dynamiczne (zboczowe) nadawanie wartości [1]. Włączenie lub wyłączenie urządzenia powodowane jest przez impuls czujnika *P* dołączonego do wejść *i* sterownika.

3.3.1 Multiplekser wewnętrzny

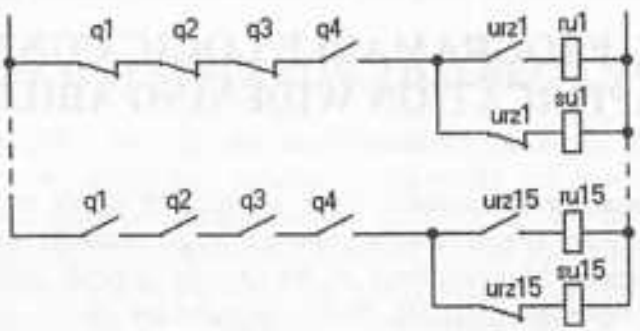
Różnicą w stosunku do układu statycznego jest nadawanie wartości wyjściom sterownika za pomocą zboczy flag *f*. Wyjścia sterownika przyjmują określony stan na okres jednego cyklu pracy [1]. Ponieważ czas ten może okazać się zbyt krótki dla zadziałania przekaźnikowego demultipleksera zewnętrznego, można go przedłużyć stosując w programie tajmery [1].



Rys.7. Multiplekser wewnętrzny

3.3.2 Demultiplekser zewnętrzny

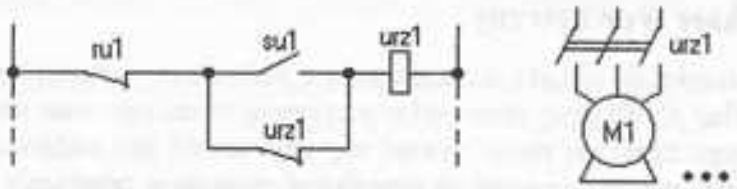
Demultiplekser zewnętrzny w układzie wyjściowym dynamicznym, zamiast cewek bezpośrednio sterujących urządzeniami, ma dołączony układ sterujący blokiem samopodtrzymania, w zależności od stanu (włączone/wyłączone) urządzenia.



Rys.8. Demultiplekser zewnętrzny

3.3.3 Blok samopodtrzymania

Jest złożony ze standardowych układów samopodtrzymania [3], po jednym dla każdego urządzenia.



Rys.9. Pojedynczy układ bloku samopodtrzymania i urządzenie

4. WNIOSKI

Przy wyborze konfiguracji układów wejściowych i wyjściowych należy kierować się:
- ilością wszystkich zmiennych wejściowych i wyjściowych w procesie sterowanym,
- ilością zmiennych, które muszą być odczytywane jednocześnie i niezależnie od siebie,
- charakterem zmiennych wejściowych – impuls/skok,
- wymaganiami dotyczącymi jednoczesnej pracy urządzeń wykonawczych,
- stopniem utrudnienia ewentualnych modyfikacji programu,
- obciążeniem pamięci i jednostki centralnej sterownika,
- oszczędnościami płynącymi z zastosowania tańszego sterownika lub mniejszej liczby sterowników.

5. LITERATURA

1. Broel-Plater B.: *Sterowniki programowalne. Właściwości i zasady stosowania*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2000.
2. Głocki W.: *Układy cyfrowe*, WSiP, Warszawa.
3. Guderski R., Kamieniecka Z., Teresiak Z.: *Elektrotechnika i urządzenia elektrotechniczne wraz z ćwiczeniami laboratoryjnymi*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1975.

SMALL PROGRAMABLE LOGIC CONTROLLERS APPLICATION WIDENING ABILITIES

Abilities of small programmable logic controllers apply to process, where the quantity of necessary sensors and actuators is larger than the quantity of controller's inputs and outputs, is considered in the article. Special software and hardware arrangements make this possible. Best configuration choice depends on individual process' characteristics and requirements.

Łukasz Lemieszewski[1]

OPRACOWANIE SYSTEMU ZDALNEJ KOMUNIKACJI DO NAUCZANIA ELEKTRONIKI Z WYKORZYSTANIEM ŚRODOWISKA MATLAB

W referacie zostały zaprezentowane wyniki testowania metody komunikacji aplikacji rozproszonych. Celem badań było poszukiwanie rozwiązania pozwalającego na rozszerzenie systemów zdalnego nauczania o wirtualne laboratorium do nauczania elektroniki na przykładzie synchroniczno-asynchronicznych interakcji wielu aplikacji Matlab na stronie WWW. Autor przedstawia metodę dającą zadawalające wyniki sposobu realizacji wirtualnego laboratorium z wizualizacją 3D.

1. WPROWADZENIE

Zdalne nauczanie jako technologia a zarazem warunek rozwoju procesów kształcenia ustawicznego, obejmuje w swym zasięgu bardzo szerokie pole zastosowania. Wykorzystanie zdalnego nauczania w celach podnoszenia kwalifikacji zawodowych [4, 2], szerokie zastosowanie w przedsiębiorstwach przy szkoleniu kadr pracowniczych, a także wykorzystanie systemów e-learning w bibliotekarstwie [3], medycynie czy innych placówkach, stwarza, że zainteresowanie formą kształcenia na odległość staje się tematyką, nad która podejmowany jest w szerokiej skali wysiłek poznawczy.

Kroki przedsięwzięte w kierunku badań nad poszczególnymi zagadnieniami zjawiska zdalnego nauczania w postaci konferencji naukowych [7, 8] wnikliwa analiza od strony możliwości, jakie wnoszą wirtualne uniwersytety oraz platformy szkoleniowe na podstawie wniosków paroletnich doświadczeń objętych w literaturze [1, 4], korzyści, jakie stwarza oraz skuteczność [4, 5], a rosnącym zapotrzebowaniem wdrażania nauczania na odległość, co wnoszą i przewidują m.in. ustawy celem zinformatyzowania społeczności [2, 6, 5] ostatecznie sformułowały cele badań, w których zawiera się stworzenie jak najkorzystniejszych rozwiązań technicznych.

Intencją autora było wskazanie na podstawie przeprowadzonych badań, w jaki sposób realizować wirtualne laboratorium do nauczania elektroniki zapewniając synchroniczną komunikację rozproszonych aplikacji z wizualizacją 3D na asynchronicznych stronach WWW, które z powodzeniem mogą znaleźć zastosowanie w systemach nauczania zdalnego.

2. SPOSOBY REALIZACJI SYSTEMÓW ZDALNEGO NAUCZANIA

Technologie informatyczne wraz z upowszechnieniem Internetu nie tylko w sferach komercyjnych, lecz także w dziedzinie edukacji, pozwoliły na ewolucję w interakcyjną komunikację. Zdalne nauczanie w dużej mierze korzysta z dotychczasowych osiągnięć komunikacji, a sposoby realizacji tej technologii nauczania można podzielić na:

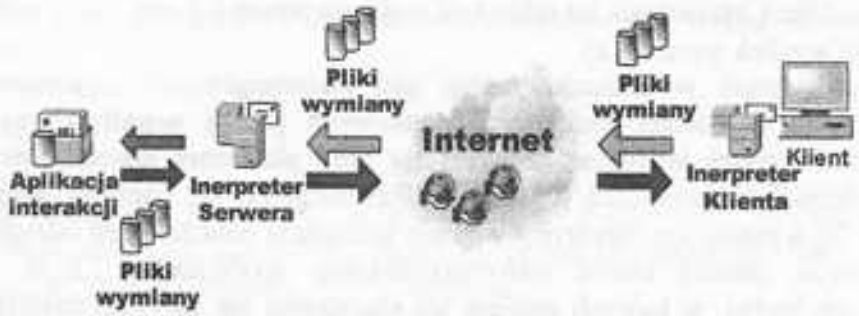
- asynchroniczne pozwalające na wymianę informacji w trybie off-line (e-mail, ftp);
- synchroniczne wykorzystujące połączenia odbywające się w czasie rzeczywistym poprzez zastosowanie mechanizmu synchronizującego (chat, WWW, wideo-konferencja);
- asynchroniczno-synchroniczne polegające na połączeniu powyższych trybów.

[1] Politechnika Szczecińska Wydział Informatyki, ul. Żołnierska 49, 71-210 Szczecin, www.wi.ps.pl

Wykorzystanie dwóch form asynchronicznej i synchronicznej, wzbogacone o dostępne możliwości aplikacyjne pozwalają na wykorzystanie i połączenie ze sobą metod w bardziej rozwinięte, technologicznie systemy zdalnego nauczania (Rys.1).

Rys.1. Wykorzystanie technologii informatycznych w procesie zdalnej komunikacji

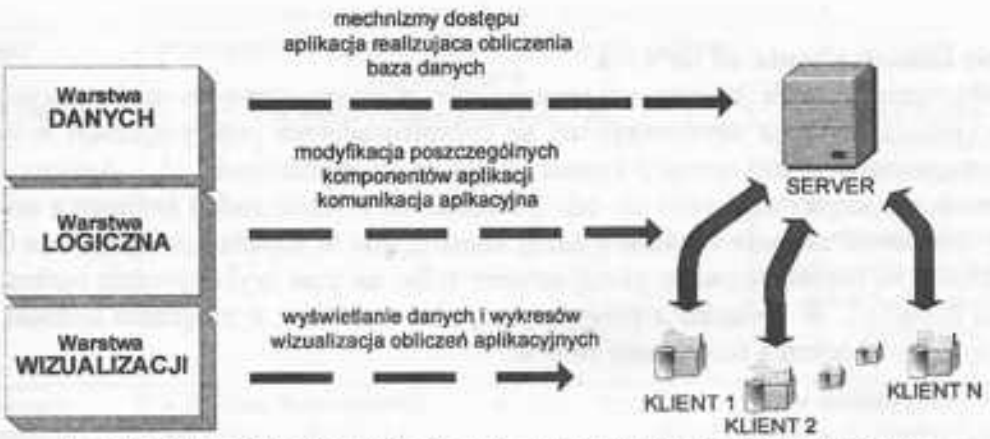
Istotną cechą wykorzystania formy asynchroniczno-synchronicznej jest wzbogacone o dostępność i elastyczność np. ftp, WWW; oferowane przez asynchroniczny tryb kształcenia i prowadzenie szkoleń w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem synchronicznych metod prezentacji i interakcji np. budowa wirtualnych narzędzi [7] oraz modeli wizualizacji 3D.(Rys.2).



Rys.2. Schemat połączenia aplikacji rozproszonych.

Gdzie::
Aplikacja interakcji – serwer lub grupa serwerów udostępniających modele matematyczne
Pliki wymiany – element komunikacji, synchronizacji
Interpreter serwera – aplikacja pomocnicza, odpowiedzialna za komunikacje serwerów z klientem
Interpreter klienta - aplikacja pomocnicza, odpowiedzialna za interakcję i wymianę plików.

Stosując podejście klient-serwer, aplikacja rozdzielana jest na dwa komponenty: serwer realizujący wspólne elementy systemu (baza danych, integracja, obliczenia), oraz klient wizualizujący wyniki komunikacji z serwerem. Takie rozwiązanie definiuje sposób komunikacji ściśle powiązanych ze sobą aplikacji. Poszerzając możliwości należy cały system rozdzielić na n-warstw oraz w nich definiować metody komunikacji wewnątrz i z innymi logicznymi komponentami (Rys.3). Dzięki takiemu podejściu mamy rozdzielenie na poszczególne elementy, przez co możliwe będzie ponowne wykorzystanie ich w innych systemach komunikacyjnych.



Rys.3. Schemat zdalnej komunikacji z wykorzystaniem rozwiązania klient-serwer.

2.1 Założenia koncepcji doboru parametrów komunikacji aplikacji rozproszonych

Zbudowanie jednostanowiskowej aplikacji udostępniającej wyniki obliczeń na wielu stanowiskach wiąże się z określeniem parametrów prawidłowej komunikacji. Rozważania oparto o połączenie aplikacji Matlab z WWW. Realizując połączenie zastosowano przykładowy model RLC *(Circuit Responce Demo)* dolno przepustowy w topologii równoległej

Nawiązanie połączenia

Użytkownik wyszukuje stronę WWW- konsolę, która umożliwia podjecie decyzji, co, do którego serwera chce się podłączyć, dokonuje wybór odpowiedniej opcji serwera obliczeniowego Maltab. Ściągą i instaluje oprogramowanie umożliwiające nawiązanie połączenia z określonym serwerem (aplikacją serwera). Po wyborze z dostępnych serwerów konsola wie, do którego serwera kierować zadania.

Realizacja operacji odczyt-zapis

Wykonywanie operacji odczyt-zapis realizujemy poprzez następujące etapy:

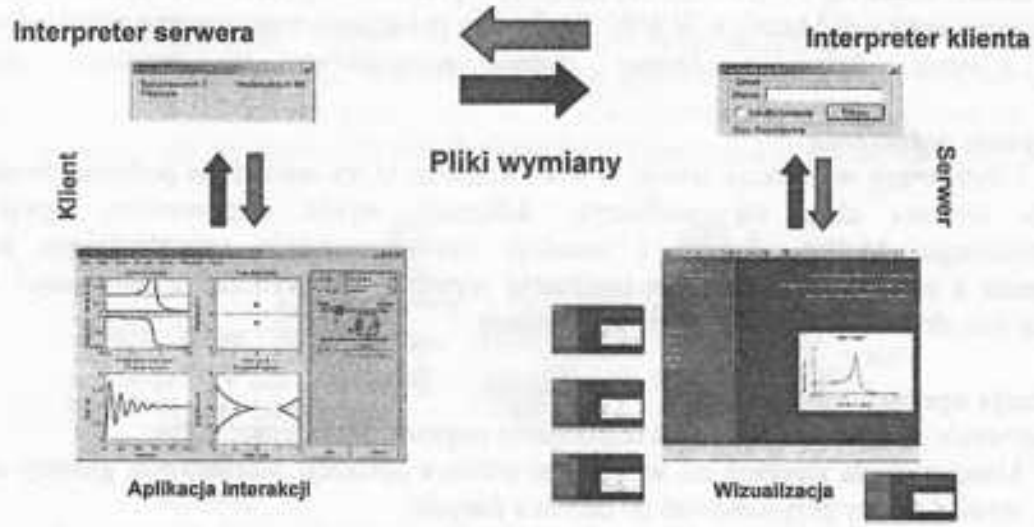
- klient nadsyła zlecenia do wybranego serwera aplikacji Matlab, plik główny realizujący wyniki należy przystosować do odbioru danych;
- aplikacja Matlab w określonym przedziale czasowym odczytuje dane przelicza i zapisuje wyniki w plikach;
- wykonane obliczenia przekazywane są konsoli klienta, tylko jedno zadanie może być synchronicznie odsługiwane przez pojedynczo uruchomioną aplikacje Matlab;
- wyniki na stronie WWW zostają wyświetlone na konsoli klienta.

Odłączenie konsoli klienta od serwera

Odłączenie konsoli klienta od serwera nie wymaga żadnych dodatkowych operacji, ponieważ konsola pozwala użytkownikowi na przeprowadzenie jednej operacji w tym samym czasie (po rozpoczęciu danej operacji konsola czeka na jej zakończenie i dopiero po tym oddaje sterowanie użytkownikowi), co daje pewność, że w liście zadań żadnego z serwerów nie będzie się znajdować zadanie wysłane z danej konsoli, gdy ta została już wyłączona (informacje o danej konsoli są przechowywane przez serwery tylko na czas wykonywania operacji zleconej przez daną konsolę). W związku z powyższym przed wyjściem z programu konsoli wystarczy wywołać opcję zakończenia formularza WWW.

2.2 Realizacja wirtualnego laboratorium

Założeniem komunikacji sieciowej było rozdzielnie usług pomiędzy Klienta – aplikacja WWW i Serwer – program Matlab. Zastosowane podejście wymiany komunikatów (obliczania danych) aplikacji, Matlab z dowolną prezentacją wyników stwarza możliwości wizualizacji wielopoziomowych obliczeń w jednym skupisku danych na wielu konsolach.



Rys.4. Przykładowy schemat połączeń wirtualnego laboratorium.

Serwer aplikacji (Maltab) udostępnia modele matematyczne, zapisuje wyniki w pliku. Interpreter serwera przekazuje dane obliczeniowe do akceptowanego formatu w postaci zgodnej ze specyfikacja aplikacji Flash wykorzystywane są poprzez ActionScript. Na formularzu WWW uczeń przegląda i analizuje wykład, wykonuje obliczenia w postaci przekazywania wartości RLC i wizualizuje wyniki zmian zachowania układu na charakterystykach, wykonuje test dla sprawdzenia zrozumienia zagadnienia (Rys.4.).

2.3 Cechy metod komunikacji aplikacji rozproszonych

Przedstawiono cechy metody zastosowanej w referacie w konfrontacji z istniejącym zestawem protokołów VNC z uniwersalną konsolą usług [9, 10]. Zastosowanie jednej z zaprezentowanych metod zależne jest od sytuacji, gdzie i jak ma być wdrożona, należy określić sposób komunikacji (aplikacji jako serwera) oraz jakość i możliwości wymiany komunikatów.

Tab.1. Wybrane metody komunikacji w środowisku rozproszonym.

Metody	*Wymagania budowy interfejsu komunikacji aplikacji rozproszonych*		*Cechy*
konsola VNC	• *Wykorzystanie protokołu VNC*		• *przesyłanie dowolnego ekranu serwera na dowolną liczbę klientów* • *przejęcie (podgląd) dowolnego komputera z możliwością sterowania nim* • *wysłanie informacji tekstowych*
Asynchroniczno - synchroniczna	• *Budowa komunikatora opartego o IPv4 (C++, Java, Pascal)*	• *języki skryptowe: elementy komunikacji np.: HTML VRML, JavaScript, PHP, XML, ActionScript (obsługa Cookies), elementy SQL* • *Programy dowolna aplikacja umożliwiająca integrację np.: Flash, oraz Flash Plater 6.0, serwer www np.: Apache*	• *dowolna interpretacja wizualizowanych danych i obiektów 3D na WWW.* • *integracja z dowolną bazą danych i możliwość analizy wyników przed wizualizacją* • *wysłanie informacji tekstowych, głosu i obrazu*

3. PODSUMOWANIE

Wybór systemu komunikacji uwarunkowany jest czynnikami zarówno ekonomicznymi jak i uniwersalnością zastosowanego podejścia. Zaprezentowane metoda komunikacji aplikacji w środowisku rozproszonym jako wirtualne laboratorium elektroniki spełnia zakładane założenia zadania i w pełni realizują postawione cele interakcji miedzy użytkownikami poprzez terminale sieci Internet. Wnioski wynikające z przeprowadzonych badań pozwalają lepiej poznać właściwości komunikacji wirtualnego laboratorium i bardziej świadomie kierować procesem zdalnego nauczania. Zaproponowana metoda wymiany danych pomiędzy aplikacją Matlab i WWW została praktycznie sprawdzone przez autora. Powstałe wirtualne laboratorium daje możliwość wykorzystania klientom komunikujących się w trybie synchronicznym wielu aplikacji (serwerów) na jednej dowolnie zaprojektowanej stronie WWW.

Zaproponowane podejście kształcenia na odległość podnosi skuteczność nauki poprzez wprowadzenie metod prezentacji i wizualizacji. Dostarcza usługi dopasowane do rozproszonego środowiska, przez co zapewnienia funkcjonalność i atrakcyjność kursów zdalnego nauczania.

LITERATURA

1. Z.Osiński - *Możliwości, jakie stwarzają platformy e-learning w edukacji szkolnej*, V Ogólnopolskie Forum Koordynatorów Technologii Informacyjnej, Mielec, 30-31 maja 2003, SNTI, ISBN 83-917081-3-6: http://www.gazeta-it.pl/edukacja/platformy_elearning
2. www.men.waw.pl/szk-wyz/strategia - Kształcenie ustawiczne i e-Edukacja Strategia rozwoju szkolnictwa wyższego w Polsce do roku 2010 - 6 cel kierunkowy
3. Materiały VIII Międzynarodowej Konferencji Naukowej - Instytut Informacji Naukowej Bibliotekoznawstwa UJ http://bilon.miks.uj.edu.pl/konfer/pocz/
4. G.Wieczorkowska, M. Wilkin, A. Nowak - *E - Słuchacze na Uniwersytecie Warszawskim* Centrum Otwartej i Multimedialnej Edukacji Uniwersytetu Warszawskiego http://www.come.uw.edu.pl/dcontent.php3?page_id=94&lang=polish

5. W. T. Bielecki *Założenia dla systemów e-Learning 2001*, www.wspiz.pl/~witoldb/pliki/e-learning.htm
6. Ministerstwo Gospodarki w planie działań na rzecz rozwoju społeczeństwa informacyjnego w Polsce na lata 2001 - 2006 http://www.kbn.gov.pl/cele/epolska/epolska.html
7. R.J.Rak - *Rozproszone Wirtualne Laboratorium dydaktyczne dostępne przez Internet*, Politechnika Warszawska 2003
8. Materiały konferencji ONLINE EDUCA, Berlin 2003, www.online-educa.com/
9. Opis i proces instalacji usługi VNC http://sbs.2p.pl/vnc2k.html
10. Dostępne wersje usługi VNC http://www.realvnc.com/download.html

ELABORATION SYSTEM OF REMOTE TRANSPORT TO TEACHING ELECTRONICS USING ENVIRONMENTS MATLAB

In report were presented the results of testing method transport distracted applications. The search the permissive on widening about virtual laboratory the systems of remote teaching for electronics synchronizing solution was the aim of investigations - asynchronous interactions many application Matlab on side WWW. The author's intention was indication on the ground of conducted investigations how to realize teaching of electronics in virtual laboratory assuring synchronic transport distracted applications with visualization 3D on asynchronous sides of WWW which with success can find use in systems of distance education.

PŁYN DO MYCIA ELEMENTÓW MASZYN I URZĄDZEŃ ELEKTROENERGETYCZNYCH W PRACACH REMONTOWYCH

Marian MICHALCZUK, Janusz MICHALSKI
Instytut Elektrotechniki, Politechnika Szczecińska

WSTĘP

Maszyny elektryczne pracują na ogół w ciężkich warunkach środowiskowych, stąd też ulegają zanieczyszczeniom, głównie substancjami ropopochodnymi.
Należą do nich :

- węglowodory, zarówno stałe jak i maziste, powstające w wyniku pracy silników spalinowych, pracujących w pobliżu maszyn elektrycznych, ale też naniesione wiatrami;
- oleje, tłuszcze, smary oraz substancje smołowe, używane do konserwacji pracujących maszyn.

Na tych zanieczyszczeniach osiadają pyły i kurz, powstające w procesach produkcyjnych (np. w cementowniach, hutach, kopalniach itp.), przetwórczych (np. nawozów sztucznych, mączki rybnej itp.), za- i wyładowczych oraz transporcie (np. materiałów sypkich) a na nabrzeżach portowych i statkach morskich - dodatkowo aerozole mgły solnej. Zabrudzenia te, osiągające grubość nawet kilku milimetrów, odkładając się na powierzchni maszyn elektrycznych pogarszają chłodzenie, powodując tym samym szybsze zużycie termiczne izolacji uzwojeń, są także przyczyną korozji. Odkładając się na łożyskach oraz w pobliżu łożysk, przekładni i wałów - powodują trwałe uszkodzenia mechaniczne, szczególnie podczas rozruchu po okresowym postoju.

Zanieczyszczenia te nie tylko pogarszają własności elektryczne izolacji ale także warunki chłodzenia maszyn. Na skutek pogorszenia chłodzenia występuje przede wszystkim długotrwałe przegrzewanie się maszyn, powodujące ich uszkodzenia, stąd też konieczność dokonywania okresowych badań stanu izolacji maszyn, znajdująca swoje odzwierciedlenia w przepisach eksploatacyjnych o konieczności doraźnego, lub gruntownego podczas remontów, mycia wszystkich zabrudzonych części. Trwałość i niezawodność maszyn, pracujących w takich warunkach jest więc wynikiem nie tylko jakości materiałów użytych do budowy maszyn i urządzeń elektrycznych ale przede wszystkim okresowych kontroli i utrzymania ich w należytej czystości.

Płyn myjący, stosowany w pracach remontowych, powinien spełniać następujące wymagania:

- nie działać szkodliwie na organizm ludzki,
- być niepalnym lub trudno zapalnym – posiadać możliwie wysoką temperaturę zapłonu par,
- skutecznie usuwać wszelkie zanieczyszczenia z mytych elementów, przy stosunkowo niewielkim zużyciu,
- nie działać szkodliwie na zmywane powierzchnie powszechnie stosowanych materiałów izolacyjnych – emalii, lakierów, materiałów żłobkowych,
- umożliwiać kilkukrotne użycie, przy stosowaniu technologii mycia w/na tacach, bidonach lub myjniach komorowych i zbieraniu ociekającego płynu,
- posiadać stałość właściwości w czasie, przynajmniej kilku miesięcy
- mieć zdolność regeneracji w celu rzeczywistych możliwości obniżenia kosztów.

Spełnienie tych wszystkich wymagań jest trudne, ale nie jest niemożliwe – istnieje cała gama środków do mycia produkcji zagranicznych koncernów. Wszystkie są dobre (albo i nie) i charakteryzują się wysoką ceną. Stąd też wielu użytkowników, w imię ŹLE POJĘTEJ konieczności obniżania kosztów, stosuje rozpuszczalniki toksyczne (TRI) lub co gorsza niebezpieczne - jak ropę lub benzyny, w tym benzynę lekką.

Oparty na polskiej bazie surowcowej płyn taki został opracowany [1], w celu sprawdzenia postawionych wyżej wymagań, wykonano badania:

- efektywności mycia,
- własności elektrycznych materiałów izolacyjnych, poddanych działaniu płynu,
- nasiąkliwości i odparowywania płynu z typowych materiałów izolacyjnych, a także:
- pomiary temperatury zapłonu,
- badania stabilności właściwości w czasie.

BADANIA EFEKTYWNOŚCI MYCIA

Wykonano je na zabrudzonych i bardzo zabrudzonych elementach, pochodzących ze zdemontowanych rozdzielni, urządzeń i maszyn elektrycznych. Stosowano mycie za pomocą pędzla oraz przez zanurzanie brudnych elementów w płynie, wlanym do wanny. Wszelkie zanieczyszczenia, takie jak smary, oleje, smoły, pyły, kurz itp., były bardzo szybko i skutecznie usuwane z mytych powierzchni, a umyte powierzchnie po wyschnięciu odzyskiwały pierwotną czystość i połysk.

Czynność mycia wykonywano :

- w pomieszczeniach dobrze wentylowanych – metodą pędzlową i/lub zanurzeniową,
- na wolnym powietrzu – przy zastosowaniu metod jw. lub bardziej skutecznej i szybszej - oprysku pod ciśnieniem. Ściekający ze zmywanych urządzeń płyn można zbierać w tacach lub wannach i po sklarowaniu - używać powtórnie do wstępnego mycia bardzo zabrudzonych urządzeń.

Badania właściwości elektrycznych materiałów izolacyjnych oraz przewodów nawojowych, poddanych działaniu płynu, wykonano na wybranych lakierach :

- Termidal prod. polskiej,
- LSC prod. polskiej, klasy F,
- PMR/F prod. polskiej,
- 2053 HFP prod. hiszpańskiej, klasy H.

stosowanych w okrętownictwie jako lakiery nasycająco-impregnacyjne w pracach remontowych maszyn elektrycznych,
oraz na materiałach izolacyjnych :

- Szkłoflex prod. polskiej (podwójnie lakierowany),
- Melinex prod. szwajcarskiej (folia poliestrowa),
- Nomex prod. hiszpańskiej (materiał celulozowy preparowany),

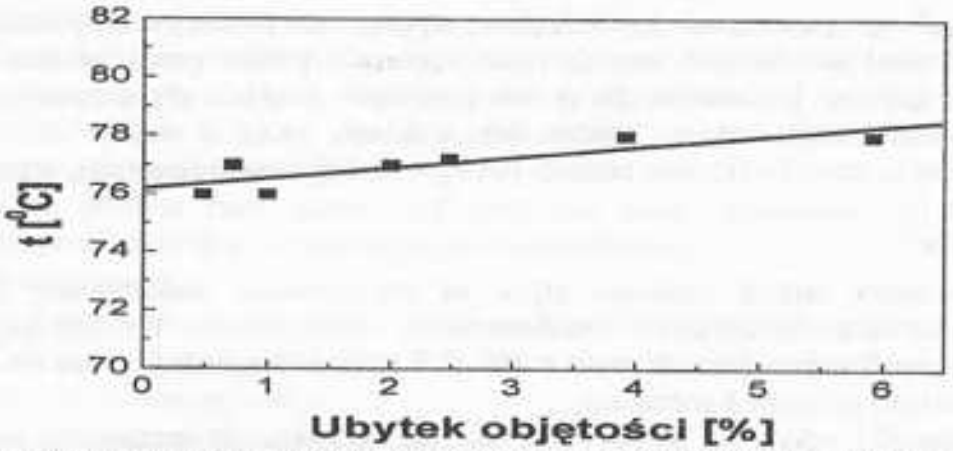
stosowanych jako izolacja żłobkowa w maszynach elektrycznych klas wyższych niż B i przeznaczonych do pracy na statkach morskich oraz w innych ciężkich warunkach środowiskowych.

Próbki lakierów do badań wykonano zgodnie z normą [2].
Próbki lakierów, materiałów i przewodów poddano działaniu płynu :

- w przedziale czasowym ~10 godzin (jako odwzorowanie czasu remontu, mycia i postoju na stanowisku remontowym),
- w temperaturach 0, 20 i 40°C (jako odwzorowanie temperatury hali remontowej lub temperatury stanowiska roboczego).

W podanych wyżej warunkach działania płynu, wykonywano pomiary rezystywności skrośnej ρ_v i wytrzymałości dielektrycznej E_p Czas regeneracji próbek przed każdym pomiarem wynosił 1 godzinę. Dodatkowo, dla próbek poddanych działaniu płynu przez 1,5 godziny (odwzorowanie czasu mycia maszyn lub urządzeń, który z reguły nie przekracza kilkudziesięciu minut) wykonano pomiary ρ_v i E_p w funkcji czasu regeneracji, w przedziale 0-10 godzin.
Stwierdzono :

- nieistotny wpływ działania płynu na wytrzymałość dielektryczną lakierów i materiałów izolacyjnych żłobkowych - wytrzymałość dielektryczna izolacji przewodów nawojowych spada o 4% ALE podczas regeneracji wraca do pierwotnej wartości po około 4 godzinach,
- niewielki wpływ na rezystywność skrośną, jednakże jej zmiany nie przekraczają jednego rzędu wielkości. Największy spadek ρ_v występuje dla Nomexu, lakieru PMR/F i lakieru 2053 HFP. Najbardziej stabilnie zachowują się lakiery Termidal i LSC. Podczas regeneracji, po około 4 godzinach, rezystywność skrośna wraca do wartości wyjściowych,
- brak zmian konsystencji płynu, co oznaczało brak występowania jakichkolwiek reakcji chemicznych płynu z badanymi materiałami,
- typowe przebiegi nasiąkliwości i odparowywania badanych materiałów żłobkowych, najmniejsze (do 0,5%) w Melinexie i nieco większe - w Szkłofleksie (materiały tworzywowe), oraz duże w Nomexie (materiał celulozowy) przy czym nasiąkliwość WSZYSTKICH materiałów ustaliła się praktycznie już po 2 godzinach działania płynu,
- nasiąkliwość lakierów i materiałów izolacyjnych, utrzymująca się przez okres kilku godzin po ustaniu działania płynu jest KORZYSTNA – ułatwia wnikanie wgłąb uzwojeń (np. przy dolakierowywaniu czół cewek) lakierów renowacyjnych (np. typu SPS-3),
- wygrzewanie materiałów w temperaturze 60°C w ciągu 1 godziny, zarówno materiałów izolacyjnych żłobkowych jak i lakierów powodowało, że masa badanych próbek osiągała wartości wyjściowe. Takie warunki temperaturowe występują w czasie pracy maszyn - jest to odwzorowanie warunków pracy pierwszego rozruchu po remoncie,
- płyn **nie posiada** wyraźnej temperatury zapłonu par - w czasie badań, płomień zapalający początkowo (w temp. 58-60°C) zmienia barwę na zielonkawą, a następnie (w temp. 76-77°C) na żółtą. W temp. 90-93°C zauważyć można zapalanie się małych płomyków obok płomienia zapalającego, przy zbliżaniu go nad brzeg tygla. Zapłonu par, tak charakterystycznego jak dla olejów mineralnych - nie ma do temp. 105°C. **W związku z tym, podchodząc do zagadnienia bezpieczeństwa pożarowego z dużą dozą ostrożności, za temperaturę zapłonu par - przyjęto temperaturę zmiany barwy płomienia zapalającego - z zielonkawej na żółtą, tj. temp. 77^0C,**
- częściowe odparowanie płynu (jakie występuje np. przy kilkukrotnym jego używaniu, w czasie 3 miesięcy odparowało 12% objętości płynu), nie powoduje SPADKU wartości temperatury zapłonu – rys. 1,



Rys.1. Charakter zmian wartości temp. zapłonu par w funkcji ubytku objętości płynu w okresie 3 miesięcy

- po upływie 12 miesięcy magazynowania płynu, **nie stwierdzono** zmian w wartościach temperatury zapłonu par, dały wynik identyczny jak na początku badań - 76°C, zaobserwowano jedynie lekkie ściemnienie barwy płynu i cienką warstewkę osadu na dnie naczynia, natomiast skuteczność usuwania zanieczyszczeń nie uległa zmianie.

WNIOSKI.

1. Płyn do mycia elementów maszyn i urządzeń elektrycznych [1] nie reaguje i nie wpływa ujemnie na własności elektryczne powszechnie stosowanych lakierów, stosowanych do fabrycznego lakierowania drutów nawojowych, wykorzystywanych w budowie i w remontach maszyn elektrycznych, przeznaczonych do pracy w okrętownictwie oraz w innych ciężkich warunkach środowiskowych.
2. Płyn wg [1] nie reaguje i nie wpływa ujemnie na własności elektryczne stosowanych w okrętownictwie, typowych lakierów nasycająco-impregnacyjnych podczas remontów maszyn elektrycznych.
3. Płyn wg [1] nie reaguje i nie wpływa ujemnie na własności elektryczne typowych materiałów izolacyjnych żłobkowych, wykorzystywanych w budowie i w remontach maszyn elektrycznych, przeznaczonych do pracy w okrętownictwie oraz w innych, ciężkich warunkach środowiskowych.
4. Płyn wg [1] spełnia wymagania ochrony ppoż., dotyczących prac remontowych na statkach. Płyn [1] zachowuje swoje własności co najmniej przez 1 rok.

Aktualnie rozważana jest możliwość podjęcia produkcji płynu w ENEA-Gorzów.

LITERATURA

[1]. Patent RP 290299
[2]. PN-86/E-04410/15 - *Lakiery elektroizolacyjne. Metody badań. Przygotowanie próbek.*
[3]. PN-88/E-04164/12 - *Przewody nawojowe emaliowane okrągłe. Metody badań. Badanie własności elektrycznych.*
[4]. Polski Rejestr Statków - *Materiały elektroizolacyjne w urządzeniach okrętowych. Publikacja 9/I,* Gdańsk 1984.

Jan Mućko[1]

TRANZYSTOROWY STEROWNIK NAPIĘCIA PRZEMIENNEGO - PRZYJAZNY SIECI PRZEKSZTAŁTNIK O CECHACH AUTOTRANSFORMATORA

W pracy przedstawiono koncepcję oraz wyniki badań opracowanego i wykonanego modelu 1-fazowego sterownika (stabilizatora) napięcia przemiennego o mocy 5kW. Napięcie wyjściowe sterownika mogło zmieniać wartości skuteczną w granicach ok. ± 20% napięcia wejściowego. Podobnie, zakres zmian napięcia wejściowego przy pracy układu jako stabilizator wynosił ok. ± 20%. Prąd wejściowy tego przekształtnika ma taki sam kształt jak prąd odbiornika a napięcie wyjściowe ma taki sam kształt jak napięcie wejściowe. Układ ten nie powoduje więc zwiększenia zawartości harmonicznych w prądzie i napięciu. Przy sinusoidalnym napięciu wejściowym i odbiorniku liniowym kształt prądu wejściowego i napięcia wyjściowego układu pozostanie sinusoidalny.

WSTĘP

Do regulacji (stabilizacji) napięcia przemiennego mogą być zastosowane autotransformatory. W przypadku częstych zmian wartości przekładni autotransformatora ulegają zużyciu elementy stykowe (np. szczotki, serwomechanizmy itp.).

Stosowanie przekształtników do regulacji napięcia spowodować może natomiast zwiększenie zawartości harmonicznych w napięciu wyjściowym oraz (lub) w prądzie wejściowym układu.

Przekształtniki tranzystorowe pracujące z częstotliwością od kilku do kilkudziesięciu kiloherców umożliwiają kształtowanie sinusoidalnych przebiegów napięć i prądów przy jednoczesnej możliwości szybkiej regulacji napięcia wyjściowego.

Przedmiotem niniejszego artykułu jest taki właśnie "przyjazny" dla środowiska elektromagnetycznego [11, 12, 13] tranzystorowy sterownik (stabilizator) napięcia przemiennego. Prąd wejściowy tego przekształtnika ma taki sam kształt jak prąd odbiornika a napięcie wyjściowe ma taki sam kształt jak napięcie wejściowe. Układ ten nie powoduje więc zwiększenia zawartości harmonicznych w prądzie i napięciu. Przy sinusoidalnym napięciu wejściowym i odbiorniku liniowym kształt prądu wejściowego i napięcia wyjściowego pozostanie sinusoidalny.

W pracy przedstawiono koncepcję oraz wyniki badań opracowanego i wykonanego modelu 1-fazowego sterownika (stabilizatora) napięcia przemiennego o mocy 5kW. Napięcie wyjściowe sterownika mogło zmieniać wartości skuteczną w granicach ok. ± 20% napięcia wejściowego, zależne od wartości zadanej. Podobnie, zakres zmian napięcia wejściowego przy pracy układu jako stabilizator wynosił ok. ± 20%.

[1] Akademia Techniczno- Rolnicza, Instytut Elektrotechniki, 85-796 Bydgoszcz, ul. Prof. S. Kaliskiego 7, tel. (52)3408557, e-mail: mucko@atr.bydgoszcz.pl

1.1. Przegląd stanu obecnego

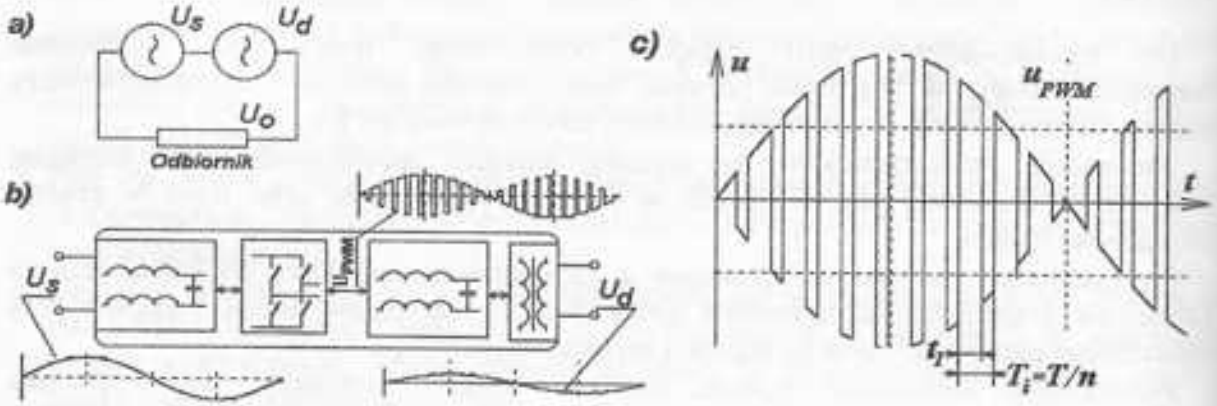
W zależności od sposobu regulacji i zastosowanych elementów wykonawczych wyróżnić można następujące rodzaje sterowników i stabilizatorów napięcia przemiennego: ferrorezonansowe [1, 2], z transformatorami dodawczymi [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10], tyrystorowe, o komutacji naturalnej lub wymuszonej [2, 3, 6, 7, 8], tranzystorowe [4, 5, 9, 10], układy UPS pełniące funkcję stabilizatorów [14].

Tranzystorowe sterowniki (stabilizatory) napięcia przemiennego mogą być zrealizowane jako układy [4, 10] z transformacją niskoczęstotliwościową lub z transformacją wysokoczęstotliwościową.

W niniejszej pracy przedstawiony będzie tranzystorowy sterownik (stabilizator) napięcia przemiennego z transformatorem dodawczym i transformacją niskoczęstotliwościową. W układzie tym tranzystory przełączają z częstotliwością ok. 4kHz, przy czym odfiltrowana niskoczęstotliwościowa składowa napięcia podawana jest na zaciski transformatora dodawczego.

2. UKŁAD STEROWNIKA MOCY PRĄDU PRZEMIENNEGO

2.1. Ogólna zasada działania obwodu głównego



Rys.1. Schemat blokowy sterownika mocy prądu przemiennego a), b) oraz przebiegi czasowe napięcia u_{PWM} na wyjściu mostka tranzystorowego c); Us - napięcie sieci, Ud - napięcie dodawcze

Sterownik mocy prądu przemiennego (SMPP) zwany jest także regulatorem napięcia przemiennego. Jeśli on objęty jest pętlą napięciowego sprzężenia zwrotnego pełni funkcję stabilizatora. Odbiornik może być włączony bezpośrednio do zacisków wyjściowych przekształtnika o napięciu Ud. Wówczas cała energia przekazywana do odbiornika dostarczana jest przez przekształtnik (rys. 1b). Przekształtnik może pełnić rolę źródła napięcia dodawczego (rys.1a) W tym przypadku przez przekształtnik przepływa jedynie część energii, przy czym energia może przepływać w obu kierunkach.

Często pomiędzy przekształtnikiem a obwodem odbiornika włączone są transformatory dodawcze jak na rys. 1b. Przebieg czasowy napięcia zasilającego transformator dodawczy jest często odfiltrowany tak, że zawiera jedynie podstawową harmoniczną (co zostało zrealizowane w układzie modelowym stabilizatora).

Na rysunku 1 symbolem U_s oznaczono wartość skuteczną przemiennego napięcia sieci zasilającej. Natomiast symbolowi U_d oraz U_o przyporządkowano wartości skuteczne napięcia dodatkowego źródła dodawczego oraz napięcia odbiornika.

W zależności od współczynnika wypełnienia D (rys. 1c) wartość skuteczną napięcia na odbiorniku przy pracy sterownika jako źródło napięcia dodawczego można wyrazić wzorami:

$$U_0 = U_s + U_d \,, \tag{1}$$

$$U_d = (2D - 1)\, U_s\, \vartheta \tag{2}$$

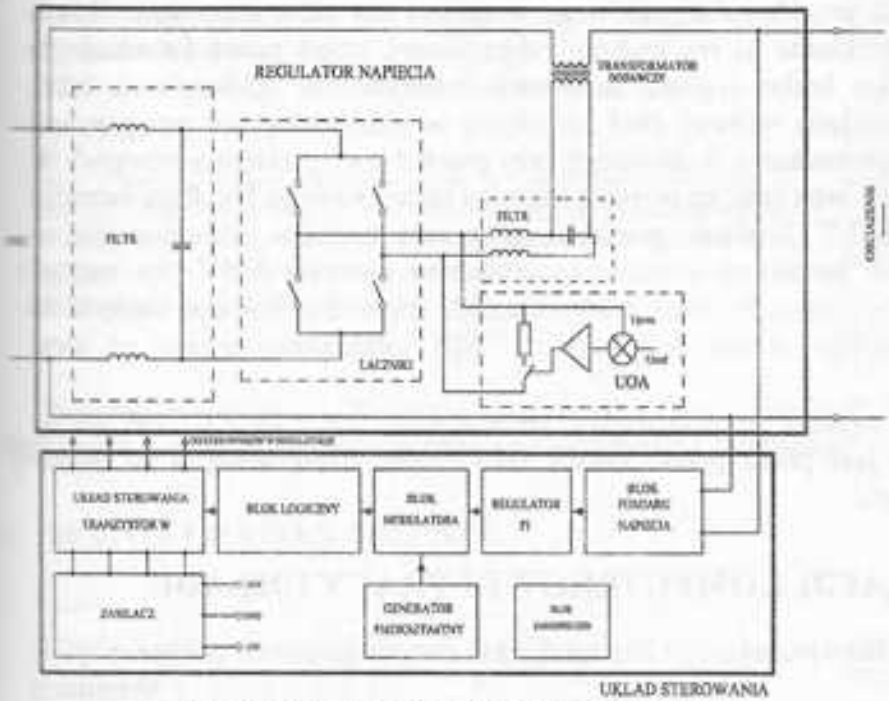
gdzie: ϑ - przekładnia transformatora dodawczego, $D = t_1/T_i \subset \langle 0,1 \rangle$.

Zmieniając współczynnik wypełnienia można zmieniać skuteczne napięcie wyjściowe odbiornika, w zakresie wartości:

$$U_{0min} = U_s(1 - \vartheta) \,, \tag{3}$$

$$U_{0max} = U_s(1 + \vartheta). \tag{4}$$

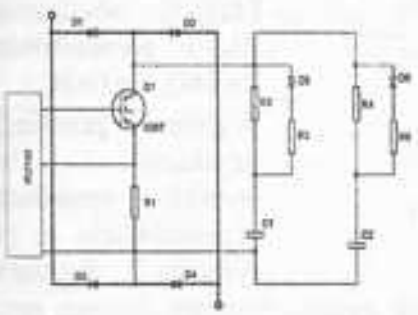
2.2. Struktura obwodu głównego



Rys.2. Schemat blokowy stabilizatora napięcia

Schemat blokowy SMPP pracującego w układzie stabilizatora został przedstawiony na rysunku 2. Obwód główny układu składa się z bloków funkcjonalnych takich jak: łączniki tranzystorowe, transformator dodawczy, układ przeciwprzepięciowy (układ obciążenia aktywnego, UOA), filtry wejściowe i wyjściowe.

W skład układu sterowania wchodzą: zasilacz, blok pomiaru napięcia, blok regulatorów, generator napięcia piłokształtnego z komparatorem, układy opóźniające załączanie tranzystorów mocy; blok zabezpieczający.



Rys 3. Schemat ideowy łącznika w obwodzie mocy.

Blok pomiaru napięcia składa się z transformatora pomiarowego, prostownika i filtru uśredniającego. W układzie regulacji pracują wzmacniacze operacyjne, które realizują funkcję sumatora i regulatora PI. Sygnał z regulatora jest podawany na blok komparatora i generatora napięcia piłokształtnego o częstotliwości ok. 4 kHz. Na wyjściu komparatora znajdują się układy opóźniające zbocze narastające uniemożliwiający zwarcie w układzie. Blok sterujący jest odseparowany od bloku mocy za pomocą transoptorów.

W stabilizatorze zastosowano zabezpieczenia takie jak: zabezpieczenie termiczne, zabezpieczenie przeciwzwarciowe oraz zabezpieczenie wyłączające stabilizator w razie dłuższego utrzymywania się niestabilności układu.

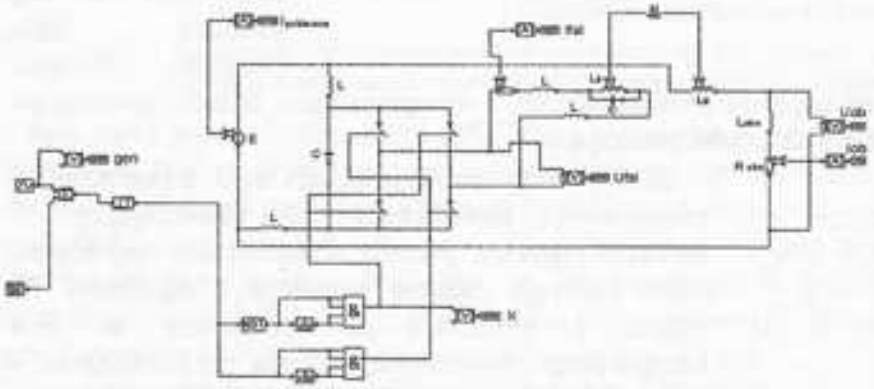
Sposób realizacji łącznika w bloku mocy został przedstawiony na schemacie z rysunku 3. W skład układu wchodzą tranzystory mocy typu IGBT, układy sterujące tranzystorami typu IR2125 oraz diody połączone w układ mostkowy, które zapewniają jednokierunkowy przepływ prądu przez tranzystor. Każdy tranzystor jest zabezpieczony elementami ograniczającym straty łączeniowe oraz zmniejszającymi przepięcia występującymi w obwodzie. Układ posiada zabezpieczenie przed zwarciem umożliwiające wyłączenie tranzystorów z czasem reakcji około 0,7 μs.

Układ obciążenia aktywnego (UOA, rys.2) ma za zadanie rozpraszanie energii przepięć powstających podczas stanów wyłączenia łączników tranzystorowych oraz w stanach zwarcia odbiornika. Ze względu na sposób włączenia transformatora dodawczego w obwód stabilizatora i jego pracę jak przekładnika prądowego wskazane jest także stosowanie układu obciążenia aktywnego. Obciążenie to ma zadanie zabezpieczyć układ przed ewentualnym uszkodzeniem w przypadku braku sygnału sterowania tranzystorów. Zabezpiecza także tranzystory łącznika (ze względu na brak diod zwrotnych w układzie) przed przepięciami spowodowanymi energią zgromadzoną w dławikach przy pracy z tzw. „czasem martwym". W tym układzie rezystor Rt jest włączany za pomocą łącznika histerezowego Hs. Rolę łącznika pełni tranzystor typu MOSFET. Napięcie graniczne załączania łącznika ustawione jest na wartość około 370V. Jeżeli granica ta zostanie przekroczona powyżej 430V (np. nastąpi uszkodzenie obciążenia aktywnego), to układ zabezpieczający spowoduje podanie napięcia na bramkę tyrystora włączającego dodatkowy rezystor oraz odłączenie układu od sieci zasilającej.

Na wejściu jak i na wyjściu przekształtnika umieszczony jest filtr LC. Od strony wejściowej filtr widziany jest przez przekształtnik jako źródło napięciowe, a od strony wyjściowej jako źródło prądu.

3. WYNIKI SYMULACJI KOMPUTEROWEJ PRACY UKŁADU

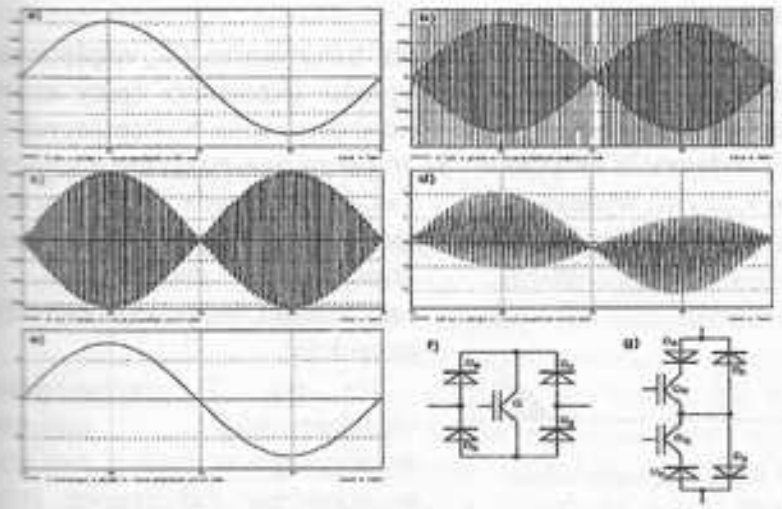
Schemat symulowanego układu(pracującego bez sprzężenia zwrotnego)został pokazany rys.4.



Rys. 4. Schemat układu, dla którego przeprowadzono symulację

Symulację przeprowadzono przy zasilaniu napięciem o amplitudzie 311V i częstotliwości 50Hz. Przyjęto obciążenie RL o parametrach: R=44Ω, L=1mH. Wybrane przebiegi uzyskane w wyniku symulacji przedstawiono na rysunku 5. Rysunek 5b przedstawia przebieg czasowy napięcia U_{PWM} na wyjściu mostka tranzystorowego przy strukturze łącznika jak na rys. 5f. Wyraźnie widać przepięcia występujące w czasie martwym, w którym nie przewodzą tranzystory. W celu ochrony elementów konieczne jest więc zastosowanie w układzie rzeczywistym tłumików przepięć, w tym także tzw. obciążenia aktywnego.

Rysunek 5c przedstawia to samo napięcie, lecz w przypadku zastosowania łączników jak na rys. 5g. Sterowanie jest przy tym tak zmodyfikowane, że dla dodatniej półfali napięcia wejściowego mostka tranzystory oznaczone Q_b na rys. 5g stale przewodzą. W czasie półfali ujemnej przewodzą stale tranzystory oznaczone jako Q_a. W tym przypadku nie występują przepięcia spowodowane czasem martwym. Konstrukcja obwodu mocy oraz układu sterowania będzie w jednak bardziej skomplikowana. Z analizy wyników symulacji możemy wyciągnąć następujące wnioski:

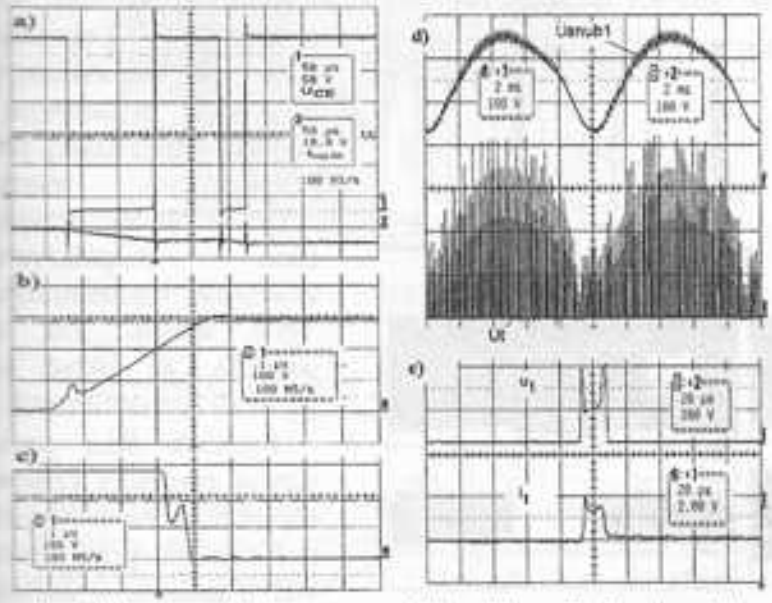


Rys. 5. Przebiegi czasowe prądów i napięć w symulowanym układzie: a) przebieg napięcia wyjściowego, b), c) przebieg napięcia U_{PWM} na wyjściu mostka tranzystorowego dla różnych struktur łączników bilateralnych, d) przebieg prądu wyjściowego mostka tranzystorowego, e) przebieg prądu pobieranego z sieci, f), g) struktury łączników bilateralnych użytych w procesie symulacji

- przebieg prądu pobieranego z sieci ma kształt zbliżony do sinusoidy (5e),
- przebieg napięcia wyjściowego stabilizatora ma kształt zbliżony do przebiegu sinusoidalnego (rys. 5a).

Tętnienia napięcia wyjściowego można zmniejszyć do wartości wymaganych przez użytkownika, stosując większe wartości indukcyjności i pojemności w filtrach.

4. WYNIKI BADAŃ UKŁADU



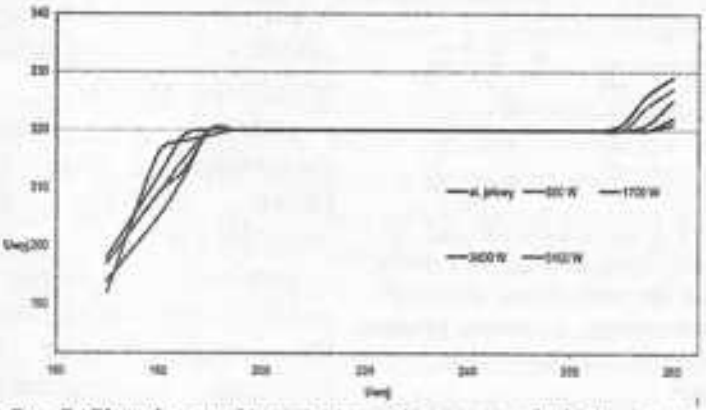
Rys.6. Wybrane przebiegi czasowe napięć i prądów w układzie: a) przebieg napięcia łącznika i prądu pary łączników, b) zbocze narastające napięcia na łączniku, c) zbocze opadające napięcia na łączniku, d), e) przebiegi napięcia na tranzystorze U_t, napięcia na kondensatorze układu RDC tłumiącego przepięcia oraz prądu tranzystora i_t

Oscylogram z rys. 6a przedstawia przebieg napięcia łącznika (zrealizowanego jak na rys.3) i prądu pary łączników dla chwilowej wartości napięcia sieci równej ok. 280V. Czas przerwy między stanem załączenia poszczególnych łączników wynosił w tym przypadku ok.0,5μs. Czas ten następnie zwiększono (rys.6d,e, rys.8) i dalsze badania przeprowadzano dla wartości 2...3μs, co gwarantowało bezpieczniejszą pracę układu. Przepięcia (tłumione elementami RDC, rys.3) występujące

podczas przełączania prądu 5A przy czasie martwym równym 0,5μs wynosiły ok. 40V.

Oscylogram z rys. 6b przedstawia narastające zbocze napięcia na tranzystorze (100 ns/dz). Krótkotrwały wzrost napięcia związany jest z dynamicznym załączaniem diody układu przeciwprzepięciowego. Oscylogram z rys. 6c przedstawia opadające zbocze napięcia na tranzystorze (100ns/dz).

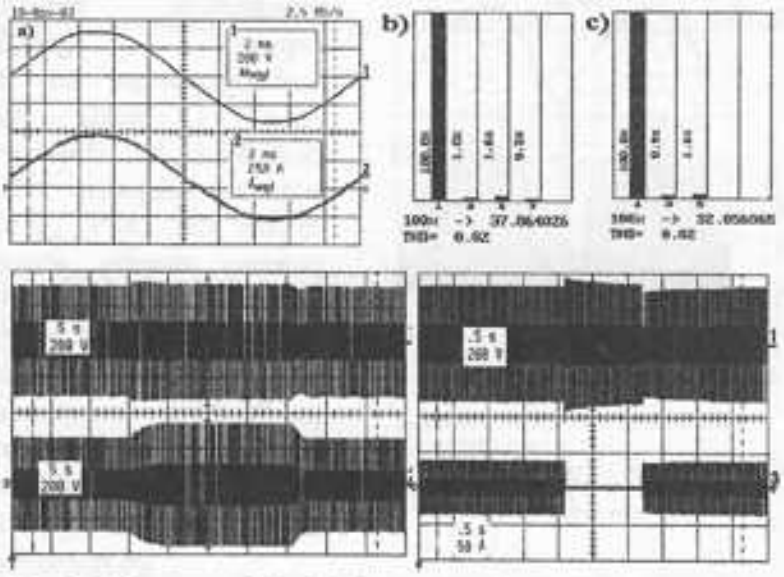
Na rys. 6d,e przedstawiono przebiegi czasowe napięcia na tranzystorze U_t , napięcia na kondensatorze układu RDC tłumiącego przepięcia oraz prądu tranzystora (przy mocy wyjściowej ok. 1kW i U_z ok. 220V) Na rys. tym wyraźnie widać przepięcia występujących w napięciu tranzystora u_t podczas przełączania łączników. Są to przepięcia związane z czasem martwym w układzie sterowania. Czas ten wynosił ok. 3μs. Takie rozwiązanie z jednej strony zwiększa wartość przepięć lecz z drugiej eliminuje prawdopodobieństwo wystąpienia stanu awaryjnego związanego z załączeniem wszystkich czterech łączników.



Rys. 7. Charakterystyki napięcia wyjściowego w funkcji napięcia wejściowego przy różnych wartościach obciążeń

Na rys. 7 przedstawiono charakterystykę napięcia wyjściowego w funkcji napięcia wejściowego stabilizatora przy różnych wartościach obciążeń. Jako wartość zadaną przyjęto 220V. Charakterystyka ta jest sztywna a błąd bezwzględny pomiaru napięcia (przy pomiarze woltomierzem EM o klasie 0.2 na sztywnej części charakterystyki) był praktycznie niezauważalny.

Na rys. 8a przedstawiono oscylogram prądu wejściowego i napięcia wyjściowego w układzie stabilizatora z transformatorem dodawczym o przekładni ok. 5:1. Kształty napięcia i prądu przedstawionego na tym rysunku zbliżone są do sinusoidalnego. Rysunek 8b,c przedstawia zawartość wyższych harmonicznych w prądzie wejściowym i wyjściowym układu przy obciążeniu rezystancyjnym. W obu przypadkach współczynnik zawartości harmonicznych THD wynosi 2%, co oznacza, że układ nie generuje harmonicznych



Rys. 8. Wybrane wyniki badań eksperymentalnych: a) przebieg czasowy napięcia "1" i prądu "2" na wyjściu i wejściu stabilizatora, b), c) zawartość harmonicznych w prądzie wejściowym i wyjściowym (Us ≈190V, Uo ≈220 P ≈ 5kW), d), e) odpowiedz układu na skokową zmianę napięcia zasilającego oraz skokową zmianę prądu obciążenia ; 1 - napięcie wyjściowe, 2- napięcie wejściowe, 3 - prąd obciążenia

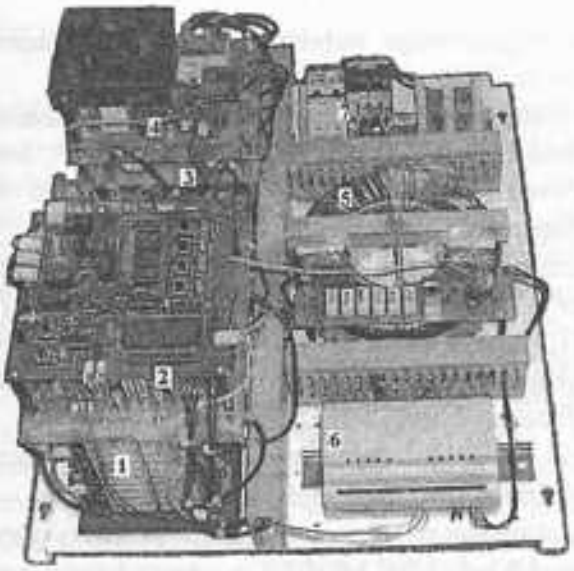
Rysunek 8d,e przedstawia przebiegi czasowe napięcia na wyjściu stabilizatora przy skokowej zmianie wartości napięcia zasilającego

(Us= 180V→260V→180V, P=5 kW) oraz skokowej zmianie obciążenia (Us=220V, P=5kW→0→5kW).

Na rys. 9 przedstawiono widok układu prototypowego. Od układu w obecnej wersji nie wymagano bardzo szybkich reakcji na zakłócenia. Dalsze prace nad układem będą dążyć do poprawy własności dynamicznych układu oraz zmiany struktury zastosowanych łączników tranzystorowych, tak aby zminimalizować straty spowodowane istnieniem czasów martwych w pracy tych łączników.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

- Cel polegający na opracowaniu, zbudowaniu i zbadaniu układu stabilizatora napięcia przemiennego nie generującego dodatkowych harmonicznych prądu wejściowego i napięcia wyjściowego został osiągnięty (sinusoidalnym pobór prądu z sieci i sinusoidalne napięcie wyjściowe przy obciążeniu liniowym).
- Symulacja komputerowa potwierdziła właściwy wybór koncepcji układu. Symulacja ta, pozwoliła na analizę i dobór filtrów na wejściu oraz wyjściu stabilizatora oraz wartości rozpraszanej energii podczas pracy łączników z przerwą czasową. Okazało się konieczne zastosowanie układu eliminującego przepięcia, o dość znacznej wartości.
- Testy w układzie rzeczywistym wykazały się, że układ spełnia doskonale swoje zadanie. Przy zmianie napięcia wejściowego, zmienia się wartość prądu pobieranego przez układ. Im większe napięcie wejściowe, tym mniejszy jest pobór prądu z sieci (i odwrotnie) przy stałym obciążeniu na wyjściu.



Rys. 9. Widok układu prototypowego o mocy znamionowej 5kW; 1- łączniki tranzystorowe, 2- układ sterowania, 3- filtry, 4-obciążenie aktywne, 5- transformator dodawczy, 6- zasilacz impulsowy, 7-zabezpieczenie nadprądowo - zwarciowe i stycznik

- Układ przekształtnika dodawczego posiada możliwość dwukierunkowego przepływu energii (zwrotu energii do sieci).
- Celem założonym na początku było wykonanie stabilizatora, od którego nie będzie się wymagać dużych szybkości reakcji na stany nieustalone. Reakcje na stany nieustalone można oczywiście zmienić za pomocą zmiany nastaw w regulatorze PI oraz dobierając elementy RC w bloku pomiaru napięcia.
- Dokładność stabilizacji została pomierzona miernikiem o klasie dokładności 0,2. Przy pomiarze nie stwierdzono zauważalnych zmian napięcia wyjściowego, co pozwala na wyciągnięcie wniosków, że stabilizator ten ma stabilność lepszą niż klasa dokładności miernika. Sprawność układu została zmierzona w znamionowych warunkach pracy i wynosiła ok. 97%.

- W przyszłości planuje się zmianę struktury łączników oraz modyfikację układu sterowania tak, aby nie występowały straty energii związane z czasem martwym. Możliwość takich zmian udowodniono na drodze symulacji komputerowej (rys. 5c).

6. LITERATURA

1. Bolkowski S.: Podstawy elektrotechniki, WSiP Warszawa 1990.
2. Dmowski A.: Regulacja napięć przemiennych, układy wybrane. Warszawa WNT, 1983.
3. Dmowski A., Mućko J.: "Analiza tyrystorowego regulatora napięcia przemiennego o komutacji wymuszonej", Archiwum Elektrotechniki Nr 1/2 1984, PWN, str. 35...48.
4. Ferdyczak Z. Strzelecki R., Energoelektroniczne układy sterowania mocą prądu przemiennego, Wydawnictwo Marszałek, 1999.
5. Greczko E. , Mućko J.: "Construction Principles of the Three-Phase Impulse Regulators of AC Voltage" , "7 International Power Electronics , Motion Control Conference and Exhibition PEMC'96" , 2-4 September 1996, Budapest, Hungary, pp.3/505...509.
6. Mućko J.: "Symulacja cyfrowa tyrystorowego stabilizatora napięcia przemiennego o komutacji wymuszonej", Zeszyty Naukowe ATR, Z 130 - Elektrotechnika 6, Bydgoszcz 1986, str. 28...37.
7. Mućko J.: "Stabilizator napięcia przemiennego z nadążnym układem regulacji automatycznej", III Ogólnopolska Konferencja Energoelektroniki, Kazimierz, maj '86, mat. konf., str. 134...145.
8. Mućko J., Analiza widma napięcia wyjściowego stabilizatora napięcia przemiennego z nadążnym układem regulacji, Archiwum Elektrotechniki 1987.
9. Mućko J., Gientkowski Z. : The Voltage Source Inverter Applied as Reactive Power Source in Voltage Stabilization Circuit for the Asynchronous Generator", International Conference and Exhibition on Power Electronics, Motion Control and Associated Applications PEMC'94", Warsow, September 1994, pp 1206...1209.
10. Mućko J.: "Stabilizator napięcia przemiennego o sinusoidalnym napięciu wyjściowym i sinusoidalnym prądzie wejściowym", 2nd International Conference „Power Electronics Devices Compatibility", PEDC 2001, Zielona Góra, 3-5 september 2001, str. 144 ... 155,
11. PN-EN 61000-3-2 (1997) Kompatybilność elektromagnetyczna – dopuszczalne poziomy emisji harmonicznych prądu (prąd fazowy<16A).
12. PN-EN 50160 (1998) Charakterystyki napięcia w publicznych sieciach zasilających.
13. PN-EN 61000-2-4 (1997) Kompatybilność elektromagnetyczna – środowisko – dotyczące zaburzeń przewodowych małej częstotliwości w sieciach zakładów przemysłowych.
14. APS Nowoczesne Systemy Zasilania: Układy UPS MODULA - karty katalogowe, Wa-wa 2001.

THE TRANSISTOR AC VOLTAGE REGULATOR - NETS FRIENDLY POWER CONVERTER WITH FEATURES OF AN REGULATING TRANSFORMER

The purpose of the paper is consideration of the construction principles of the power and control circuit of the AC voltage regulator \ stabiliser with sinusoidal output voltage and sinusoidal input current. In this paper is present the conception and research of laboratory model with 5 kW output power and about +- 20% stabilisation range. This is the transistor power converter with 4 kHz switching frequency and PWM modulation. The filtered low frequency voltage comes to the additional transformer. The secondary voltage of transformer is sum up to the main voltage.

Adam Noculak[1]
Marcin Cudziło[2]

WPŁYW ZMIANY NAPIĘCIA ZNAMIONOWEGO SIECI Z 220/380 V NA 230/400 V NA DOKŁADNOŚĆ POMIARU INDUKCYJNYCH LICZNIKÓW CZYNNEJ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

W artykule przedstawiono badania przeprowadzone w GE ENEA S.A. O/Gorzów Wlkp., mające na celu sprawdzenie czy zwiększenie napięcia sieci z 220/380V na 230/400V ma wpływ na dokładność pomiaru liczników czynnej energii elektrycznej. Opisano przebieg badań, a także przedstawiono przykładowe krzywe uchybu liczników po zmianie napięcia. Zmiany w pomiarze energii czynnej realizowanym przez liczniki indukcyjne po zwiększeniu napięcia znamionowego sieci są pomijalnie małe i mieszczą się w dopuszczalnych granicach błędu pomiaru. Liczniki na napięcie 220/380V mogą dalej pracować jako wiarygodne przy napięciu sieci 230/400V.

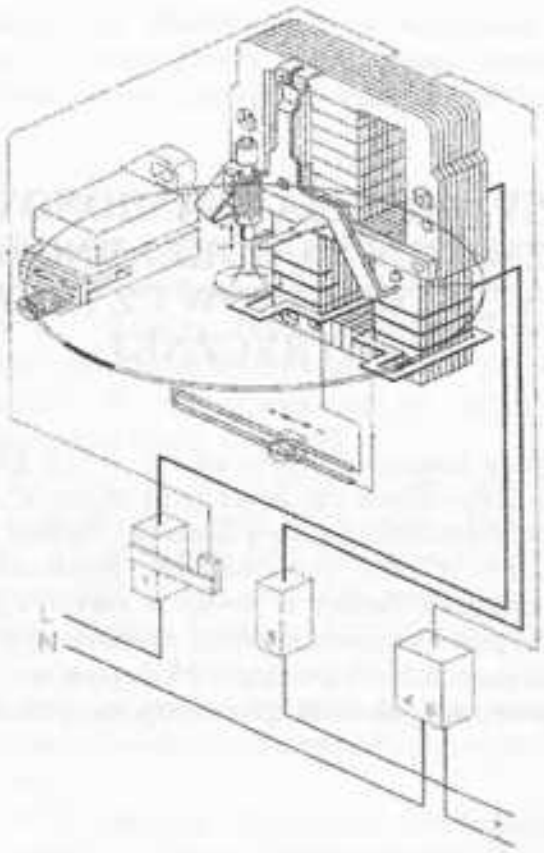
1. WSTĘP

W przeddzień wstąpienia Polski do Unii Europejskiej koniecznym stało się dostosowanie obowiązujących w kraju standardów technicznych do wymagań międzynarodowych. Jest to jedna z podstawowych przesłanek wprowadzenia w Polsce napięcia 230/400V. Dlatego też opracowana została Polska Norma PN-IEC 60038 „Napięcia znormalizowane IEC''[7]. Jest to norma, która zgodnie z Ustawą z dnia 3.04.1993r.o normalizacji, wprowadzona została do obowiązkowego stosowania Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 14.09.1999r. w sprawie obowiązku stosowania niektórych Polskich Norm. Zgodnie z zapisami wymienionej normy, konieczne stało się wprowadzenie zmiany napięcia w sieciach elektroenergetycznych z 220/380V na 230/400V. Tak więc od 1.01.2004r. w sieciach niskiego napięcia obowiązują wielkości napięć zgodnych z norma PN-IEC 60038 z tolerancją w punkcie dostawy +/- 10%[7]. W związku z tym, że liczniki energii elektrycznej na napięcie znamionowe 220V stanowią spory odsetek liczników legalizowanych w Oddziale Gorzów Wlkp, postanowiono sprawdzić jak podwyższone napięcie znamionowe sieci wpłynie na uchyby liczników indukcyjnych jedno i trójfazowych. Należy zaznaczyć, iż badań nie wykonano dla liczników energii biernej, ponieważ zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 20.02.2002r., liczniki te nie podlegają obowiązkowi kontroli metrologicznej [2].

2. ZASADA DZIAŁANIA LICZNIKA

Budowę licznika indukcyjnego czynnej energii elektrycznej przedstawia rys.1. Działanie licznika indukcyjnego prądu przemiennego oparte jest na oddziaływaniu zmiennych strumieni magnetycznych na prądy wirowe wywołane tymi strumieniami w tarczy aluminiowej, osadzonej na osi obracającej liczydła.

[1] GE ENEA S.A. O/Gorzów Wlkp. ul. Gen. Sikorskiego 37 tel.(095) 7217910
[2] GE ENEA S.A. O/Gorzów Wlkp. ul. Gen. Sikorskiego 37 tel.(095) 7217915

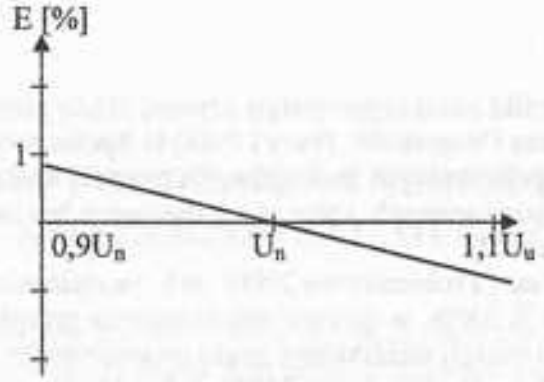


Rys.1. Budowa licznika indukcyjnego

Jeżeli przez zwojnicę obu elektromagnesów przepłynie prąd przemienny, to zmienne strumienie magnetyczne wywołane przez te zwojnicę indukują w tarczy aluminiowej prądy wirowe, których przebiegi zamykają się wokół biegunów elektromagnesów. Strumień wzbudzony przez zwojnicę napięciową jest proporcjonalny do napięcia sieci, a strumień wzbudzony przez zwojnicę prądową jest proporcjonalny do prądu pobieranego przez odbiorcę. Wskutek wzajemnego oddziaływania strumieni jednego elektromagnesu na prądy wirowe wzbudzane przez drugi elektromagnes i odwrotnie, powstaje moment napędowy, wywołujący ruch obrotowy tarczy. Przez odpowiedni układ i kształt elektromagnesów otrzymujemy moment napędowy proporcjonalny do ilości mierzonej mocy elektrycznej [5].
W związku z tym, że strumień wzbudzony przez zwojnicę napięciową jest proporcjonalny do napięcia sieci, to przy zwiększonym napięciu sieci mamy do czynienia z większym oddziaływaniem strumienia magnetycznego wywołanym przez cewkę napięciową na prądy wirowe. Tak więc podwyższone napięcie sieci powinno spowodować zwiększenie uchybów licznika w kierunku ujemnym.

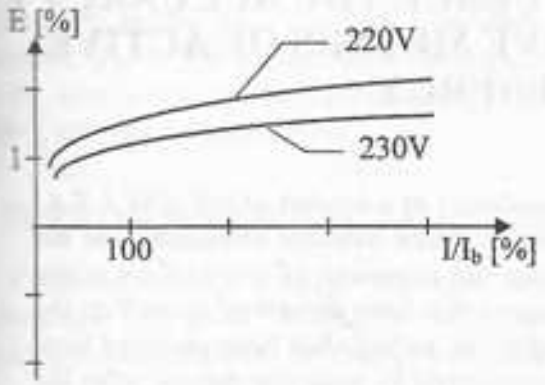
3. BADANIA

Badania zostały przeprowadzone przez GE ENEA S.A. O/ Gorzów Wlkp. przy użyciu stacji wzorcowniczych. Liczniki przygotowywane do legalizacji stanowiły jednocześnie materiał badawczy. Typową charakterystykę ukazująca zależność pomiędzy błędem liczników indukcyjnych, a napięciem znamionowym sieci przedstawia rys.2.

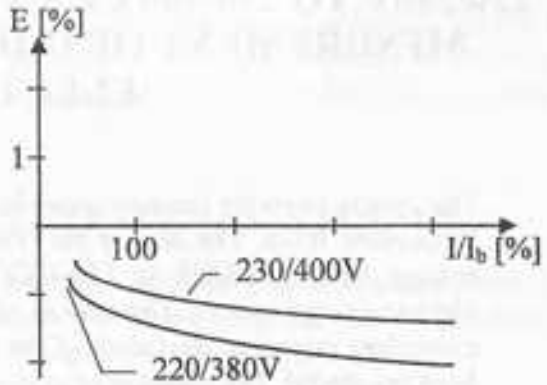


Rys.2. Zależność błędu licznika od napięcia sieci dla liczników jedno i trój fazowych na napięcie 230 V

Podczas badań sprawdzono w sumie około 200 liczników indukcyjnych jednofazowych i około 120 liczników indukcyjnych trójfazowych. Sprawdzenie liczników odbywało się w dwóch etapach. Najpierw sprawdzano błędy liczników przy normalnej pracy - używając napięcia znamionowego liczników badanych, a więc 220/380V. Następnie przeprowadzano sprawdzenie uchybów liczników przy napięciu podwyższonym - 230/400V. Na podstawie wykonanych pomiarów dokonano wykreślenia krzywych błędów dla liczników jedno i trójfazowych. Rys.3 przedstawia przykładową krzywą uchybów uzyskaną dla liczników indukcyjnych jednofazowych, a rys.4. dla liczników trójfazowych.



Rys. 3. Uchyb licznika jednofazowego



Rys. 4. Uchyb licznika trójfazowego

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Zwiększenia napięcia sieci zasilającej z 220/380 V na 230/400V, nie wpływa niekorzystnie na pomiar energii dokonywany licznikami indukcyjnymi, ponieważ nie następuje przekroczenie błędów dopuszczalnych w punktach pomiarowych, istotnych w procesie legalizacji [1],[3],[4]. Sprawdzenie opisanej grupy liczników nasunęło wnioski związane z odmienną reakcją na podwyższenie napięcia znamionowego sieci liczników jednofazowych i liczników trójfazowych. Jak pokazuje rys. 3, liczniki indukcyjne jednofazowe przeznaczone do pracy przy napięciu 220V, poddane działaniu napięcia o wartości 230V, przesunęły krzywą błędu pomiaru w kierunku ujemnym. Odmiennie zareagowały na podwyższenie napięcia liczniki indukcyjne trójfazowe. Pokazuje to rys.4. Liczniki te przesunęły swoją krzywa błędów w kierunku plusowym, szczególnie wyraźnie widoczne było to przy obciążeniu powyżej 100 % prądu bazowego. Spośród przebadanych 120 liczników trójfazowych, około 30 sztuk przesunęło krzywą błędu w kierunku minusowym, zbliżając jej kształt do kształtu krzywej typowej dla liczników jednofazowych.

5. BIBLIOGRAFIA

[1] PN-93/E-06504 - Liczniki indukcyjne energii czynnej prądu przemiennego klasy 0,5, 1 i 2.
[2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 20 lutego 2003r. w sprawie przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz rodzajów przyrządów pomiarowych, które są legalizowane bez zatwierdzenia typu. (Dz.U. 2003r. nr 41. Poz351)
[3] Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa 2000r. nr5, zarządzenie nr 30 Prezesa Głównego Urzędu Miar z dnia 31 X 2000r. w sprawie wprowadzenia przepisów metrologicznych o użytkowych licznikach energii elektrycznej prądu przemiennego.
[4] Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa 2000r. nr5, zarządzenie nr 31 Prezesa Głównego Urzędu Miar z dnia 31 X 2000r. w sprawie wprowadzenia instrukcji sprawdzania użytkowych liczników energii elektrycznej prądu przemiennego.
[5] T. Lis „Liczniki energii elektrycznej" Wydawnictwa naukowo - techniczne W-wa 1953r.
[6] PN-IEC 60038 – Napięcia znormalizowane IEC

HOW THE ALTERNATION OF INDICATIVE VOLTAGE FROM 220/380V TO 230/400V CAN INFLUENCE THE ACCURACY IN MESUREMENT OF INDUCTIVE METERS OF ACTIVE ELECTRIC ENERGY

The article presents the research that was conducted in a branch of GE ENEA S.A., in Gorzów Wlkp. The aim of the research was to check whether increasing the net voltage from 220/380V to 230/400V influences the accuracy of work of an active electric energy meters. The course of the research has been described as well as the exemplary curves of deviation of the meters after the voltage has been changed have been presented. The changes of active energy measured by inductive meters, after the indicative voltage has been increased, are so small that they can be ignored and are within the acceptable error limits. Meters with a voltage of 220/380V can work at a voltage of 230/400V and are still reliable.

Maciej PAWLIK[1]

TECHNOLOGIE WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ NA RYNKU ROZSZERZONEJ UNII EUROPEJSKIEJ

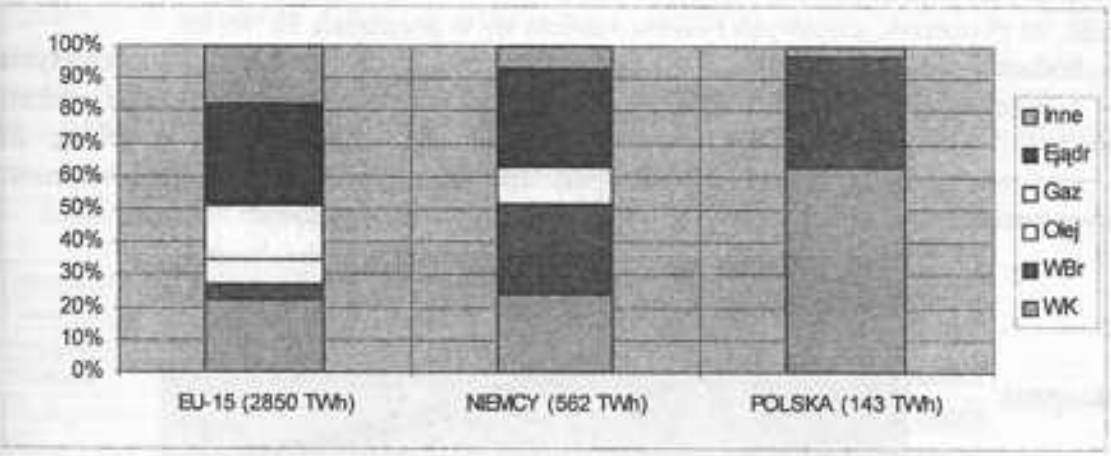
Przedstawiono stan i rozwój technologii wytwarzania energii elektrycznej w Polsce i w Europie. Przeanalizowano problem żywotności krajowych bloków energetycznych. Oceniono szanse rozwoju zaawansowanych technologii wytwórczych na europejskim rynku energii. Na tle prognozy zapotrzebowania przedstawiono prawdopodobny rozwój sektora wytwarzania energii elektrycznej w Polsce do roku 2020. Opiera się on na odtwarzaniu i rekonstrukcji mocy w istniejących elektrowniach systemowych

1. WSTĘP

Doświadczenia z procesu liberalizacji rynku energii elektrycznej w krajach Unii Europejskiej, której członkiem Polska będzie już niebawem, wskazują na najistotniejsze skutki jakie niesie ona za sobą. W wolnej konkurencji wytwórców najważniejszą rolę odgrywać będzie efektywność stosowanych technologii wytwarzania energii elektrycznej, decydującym czynnikiem będzie więc szybkość i trwałość nieuniknionych przedsięwzięć modernizacyjnych i organizacyjnych dla podniesienia sprawności netto wytwarzania energii. Wymusi to również dalszy intensywny rozwój istniejących technologii wytwarzania energii elektrycznej a także rozwój nowych technologii.

2. SEKTOR WYTWÓRCZY ENERGII ELEKTRYCZNEJ W POLSCE

Polska dysponuje dużymi zasobami węgla kamiennego i brunatnego, ze spalania których wytwarzane jest ok. 97 % energii elektrycznej. Struktura paliwowa krajowej elektroenergetyki odbiega przeto rażąco od struktury państw Europy Zachodniej, co ilustruje rys. 1 [8].

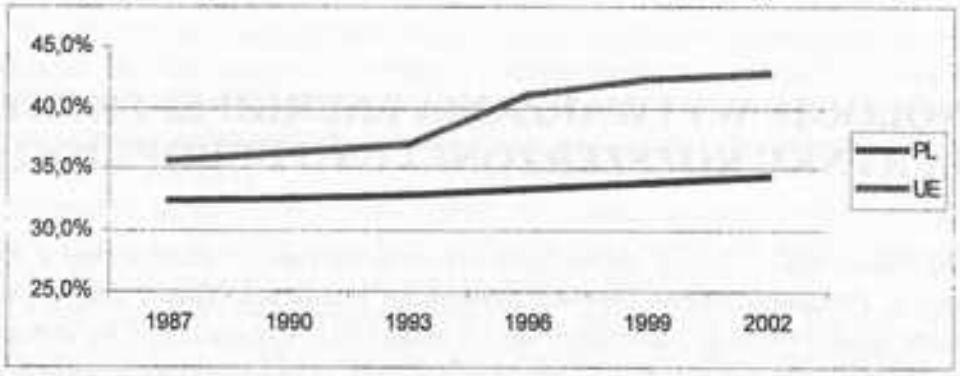


Rys. 1. Struktura paliwowa elektroenergetyki Unii Europejskiej, Niemiec i Polski w roku 2000, wg [6]

Sprawność wytwarzania netto w krajowych elektrowniach systemowych, w ostatnich latach wzrastała nieznacznie i jej średni poziom wynosi dzisiaj ok. 34 %. W krajach Unii Europejskiej

[1] Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki, 90-924 Łódź, ul. Stefanowskiego 18/22, tel. (0-42) 6361193, e-mail: mpawlik@p.lodz.pl

średnia sprawność netto wzrosła z ok. 36 % w 1985 roku do ok. 42 % obecnie (rys. 2). Ta różnica ok. 8 pkt. % w sprawności jest źródłem znaczącej różnicy w poziomie kosztów wytwarzania, którego głównym składnikiem w elektrowniach cieplnych jest koszt paliwa.



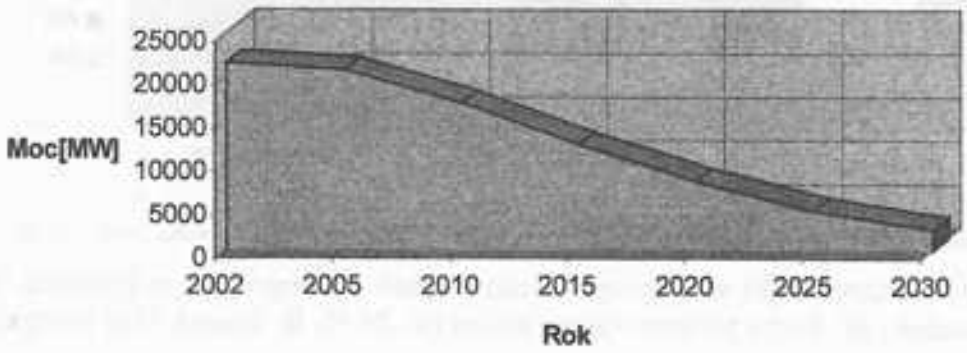
Rys. 2. Przyrost sprawności netto elektrowni cieplnych w Unii Europejskiej i w Polsce w latach 1987 ÷2002

Wskazuje ona jednocześnie na małą efektywność – z punktu widzenia konkurencyjności - dotychczasowej strategii, polegającej na koncentrowaniu nakładów na modernizacje (głównie w ramach kontraktów długoterminowych) na poprawę parametrów ekologicznych źródeł energii (instalacje odsiarczania.

Analizując możliwy rozwój sektora wytwórczego energii elektrycznej w nadchodzących latach zwrócić trzeba uwagę na niekorzystną strukturę wiekową krajowych elektrowni. Ostatnie bloki 120 MW zostały zainstalowane w 1970 r., tak więc wszystkie (bez dwóch najstarszych w Elektrowni Siersza, wymienionych na nowe) mają za sobą ponad 30-letni okres eksploatacji, przy czym 11 z nich przekroczyło już 35 lat życia. Spośród 57 bloków 200 MW (bez 6 bloków Elektrowni Turów – też wymienionych lub w przebudowie) aż 44 bloki są eksploatowane ponad 25 lat, z tego 18 ponad 30 lat. Starzeją się także bloki 500 MW (oba eksploatowane blisko 25 lat) oraz bloki najnowszej generacji 360 MW, pierwsze dwa bloki Elektrowni Bełchatów mają bowiem za sobą już 20 lat pracy. Także większość elektrociepłowni i elektrowni wodnych znajduje się w grupie wiekowej powyżej 30 lat [5].

Dość powszechnie uważa się, że niecelowa jest dalsza modernizacja i rekonstrukcja bloków starszych niż 35÷40 lat (powyżej 220÷250 tys. godzin eksploatacji), a szczególnie dobudowa instalacji odsiarczania i odazotowania spalin. Wskazują na to m.in. analizy żywotności wielkich elektrowni w Niemczech [6]. Na podstawie już podjętych działań w energetyce krajowej można stwierdzić, że żywotność krajowych bloków zawiera się w przedziale 38÷40 lat.

Wychodząc z rozkładu czasowego instalowania w krajowym systemie elektroenergetycznym bloków energetycznych 120÷500 MW (stanowiących podstawowe wyposażenie elektrowni systemowych), na rys. 3 przedstawiono wynikający z niego czasowy przebieg zmian sumarycznej mocy bloków 120÷500 MW przy uproszczonym założeniu ich żywotności na jednolitym poziomie 40 lat [2].



Rys. 3. Zmienność w czasie sumarycznej mocy krajowych bloków 120÷500 MW

Oczekiwane ubytki przestarzałej mocy, które poza analizowanymi wyżej blokami, dotkną także elektrociepłowni zawodowych i przemysłowych, należy skonfrontować z prognozowanym zapotrzebowaniem na energię elektryczną w nadchodzących latach. Prognozy te w ostatnich latach ulegały ciągłym zmianom, zwykle były korygowane w dół i ostatnie analizy PSE S.A. wskazują, że krajowe elektrownie powinny wytworzyć w 2020 roku ok. 190 TW·h energii elektrycznej, z czego elektrownie opalane węglem ok. 140 TW·h, tj. praktycznie na poziomie aktualnej produkcji.

Z rys. 3 wynika, że jeszcze przed rokiem 2005 należy się liczyć z koniecznością wycofania przestarzałych bloków o mocy ok. 840 MW i odtworzenia tej samej mocy w nowych jednostkach, zaś proces ten nasili się wyraźnie, obejmując w każdym pięcioleciu okresu 2006÷2020 od ok. 3500 MW do blisko 5000 MW. W tej sytuacji, uwzględniając fakt istniejącej w systemie nadwyżki mocy zainstalowanej, aby zapewnić wytworzenie w 2020 roku wymaganej ilości energii konieczne będzie – począwszy od ok. 2007÷2008 roku - oddawanie do eksploatacji ok. 600÷800 MW nowych mocy rocznie.

3. ODTWARZANIE MOCY W UNII EUROPEJSKIEJ

Z obecnej struktury wiekowej elektrowni naszego najbliższego sąsiada - Niemiec i w Unii Europejskiej wynika również, że w najbliższym czasie powstanie potrzeba odtworzenia znaczących mocy wytwórczych. Według oceny specjalistów z VGB [6], mimo korzystniejszej struktury wiekowej elektrowni, do roku 2020 konieczne będzie odtworzenie w Niemczech mocy ok. 40 GW (przyjmując 40-letni okres eksploatacji elektrowni parowych i politycznie uzgodnione wycofywanie elektrowni jądrowych). W Unii Europejskiej rysuje się potrzeba wymiany ok. 200 GW mocy, a Komisja UE liczy się w tym czasie ze wzrostem zapotrzebowania na dalsze 100 GW mocy (głównie w krajach nowo wstępujących do Unii).

Wymiana parku elektrowni staje się dla Unii Europejskiej, dla Niemiec ale także dla Polski istotnym wyzwaniem nadchodzących lat. Problemem jest wybór najbardziej efektywnych technologii nowych generacji elektrowni z uwzględnieniem rosnących wymagań odnośnie do ochrony środowiska, a także kosztów i sposobów finansowania tych inwestycji.

W tablicy 1 przedstawiono uproszczoną ocenę potencjalnych technologii wytwarzania energii na zliberalizowanym rynku energii elektrycznej, z punktu widzenia użytkownika energii elektrycznej i stawianych przez niego wymagań[6].

Generacja rozproszona jest niewątpliwie efektywnym sposobem pokrycia zapotrzebowania lokalnego a energię elektryczną (i ciepło w skojarzeniu) z wykorzystaniem nowych technologii, jak np. małe silniki i mikroturbiny gazowe, silniki Stirlinga, czy ogniwa paliwowe. Wysoki stopień akceptacji społecznej i znikomy wpływ na środowisko wiąże się jednak z ograniczonym potencjałem, co wynika często z wykorzystywania efektu kogeneracji.

Tab.1. Uproszczona ocena technologii wytwórczych energii elektrycznej, wg [6]

Technologia ⇓	*Potencjał*	*Konkurencyjność*	*Ochrona środowiska*	*Akceptacja społeczna*	*Ryzyko paliwowe*	*Elastyczność*
Generacja rozpr.	-	-	+	+	+	-
Fotowoltaika	-	-	+	+	+	-
Energiawiatrowa	-	-	+	0	+	-
Biomasa	-	-	+	+	0	+
Woda przelywowa	-	+	+	+	+	+
Energia jądrowa	+	+	+	-	+	+
Gaz ziemny (G-P)	+	±	+	+	-	+
Węgiel.	+	+	±	±	+	+

Ogniwa *fotowoltaiczne* oczekują wciąż na technologiczny skok sprawności. Przy wykorzystywaniu jak dotychczas zaledwie ok. 10 % energii promieniowania słonecznego, ich konkurencyjność wydaje się nadal dość odległa.

Elektrownie wiatrowe też mają ograniczony potencjał, czas wykorzystania mocy zainstalowanej wiatraków budowanych na lądzie osiąga bowiem zaledwie 1500÷1750 h/rok. Doświadczenia Niemiec, gdzie moc zainstalowana w elektrowniach wiatrowych przekroczyła już 13 GW wskazują na problemy związane z regulacją oraz wymagania rezerwy w źródłach konwencjonalnych, co zwiększa koszt energii. Mimo tak dużej mocy (12 % mocy całego systemu) udział elektrowni wiatrowych w produkcji energii elektrycznej Niemiec wyniósł w 2001 r. zaledwie 3 %. Wyczerpuje się ponadto wolny od protestów potencjał lokalizacji, co zmusi do budowy farm wiatrowych na morzu, rodzących z kolei szereg nowych problemów technicznych i zwiększających koszty.

Ograniczony potencjał *biomasy* wynika ze znacznych nakładów logistycznych na terminowe dostarczanie paliwa już dla jednostek o mocy rzędu 10÷20 MW. W świetle doświadczeń europejskich ale także i krajowych jedynym konkurencyjnym (bez wspierania ze strony Państwa) odnawianym nośnikiem energii jest *energia wodna*. Potencjał do rozbudowy tej technologii jest jednak bardzo mały, a w niektórych krajach europejskich niemal żaden.

Mimo wielu zalet, w tym głównie całkowitego braku emisji CO_2 dysponująca ogromnym potencjałem *energia jądrowa* nie jest niestety akceptowana społecznie. Rysujące się jednak perspektywy na światowym rynku paliw i rosnące wymagania odnośnie do ochrony środowiska a zwłaszcza klimatu, wskazują na potrzebę podtrzymywania rozwoju energetyki jądrowej. Takie kraje jak Indie, Chiny i Japonia (zamieszkane przez ok. 40 % ludności świata) weszły na drogę rozwoju energetyki jądrowej głównie ze względów strategicznych. W USA trwa – zakrojony na szeroką skalę - proces przedłużania licencji na eksploatację bloków jądrowych o dalsze 20 lat (do 60 lat), podobny proces rozpoczyna się w Japonii. W Niemczech, gdzie udział energii jądrowej w produkcji energii elektrycznej sięga 30 %, ale ma być ograniczany zgodnie z politycznymi uzgodnieniami rządzącej koalicji, z niepokojem patrzy się na zaostrzającą się z tego względu problematykę emisji CO_2, z nadzieją zaś na rozwój nowej generacji bezpiecznych reaktorów oraz doświadczenia Finlandii, której rząd zdecydował właśnie o dobudowie nowego bloku jądrowego klasy 1500 MW w jednej z dwóch pracujących w tym kraju elektrowni jądrowych [4].

Dynamicznie rozwijane w końcowych latach ubiegłego wieku elektrownie opalane *gazem ziemnym* (zwłaszcza kombinowane układy gazowo-parowe o bardzo wysokiej sprawności) wytraciły impet, co jest związane z rosnącym ryzykiem ceny gazu ziemnego. Ma to także wpływ na bardzo ograniczony przyrost energii wytwarzanej ze spalania gazu w warunkach krajowych (jak dotąd głównie w elektrociepłowniach).

Sprawdzona w stuletniej historii i rozwinięta w ostatnich latach, niezawodna i konkurencyjna technologia PF (spalania węgla w postaci pyłu, opartej na obiegu Rankine'a i ze skutecznymi systemami ochrony środowiska) a także duże światowe rezerwy *węgla* powodują, że będzie on w nadchodzących latach dalej dominującym paliwem energetycznym.

Z powyższej oceny wynika wniosek, że przy koniecznych wysiłkach dla dalszego rozwoju rozproszonych źródeł energii, zwłaszcza wykorzystujących odnawialne zasoby energii, także w przyszłości konwencjonalne elektrownie cieplne, opalane węglem i gazem a także wykorzystujące paliwo jądrowe, będą stanowić podstawę efektywnego funkcjonowania systemów elektroenergetycznych. Problem należy bowiem rozwiązywać nie w kategoriach *"taka, czy taka technologia"*, lecz *"i taka i taka technologia"*.

4. ODTWARZANIE MOCY WYTWÓRCZYCH W POLSCE

Dla optymalnego wykorzystania rodzimych paliw (węgla kamiennego i brunatnego) także w przyszłości, odtwarzanie mocy wytwórczych w krajowych elektrowniach powinno być realizowane ze szczególnym uwzględnieniem zaawansowanej technologii PF na parametry nadkrytyczne. Proces ten został już w kraju zapoczątkowany, a przykładami są tu: nowy blok 470 MW budowany aktualnie w Elektrowni Pątnów (na parametry 26 MPa, 540/565 °C),

podpisany kontrakt na budowę bloku 460 MW w Elektrowni Łagisza (na jeszcze wyższe parametry 27,5 MPa, 560/580 °C), czy planowany blok 830 MW w Elektrowni Bełchatów.

Bardzo przekonującym przykładem takich działań – zwłaszcza w obliczu bezpośredniego zagrożenia konkurencją na przyszłym rynku Unii Europejskiej – są działania modernizacyjno-odtworzeniowe we wschodnich Landach Niemiec (b. NRD). Wyeksploatowane bloki o mocy 200 MW, pochodzące z lat 70-tych zastąpiono w elektrowniach Boxberg, Schwarze Pumpe i Lippendorf blokami klasy 800 MW o sprawności rzędu 41÷43 %. W końcu minionego roku został oddany w Elektrowni Niederaußem w Zagłębiu Ruhry najnowocześniejszy blok BoA o mocy 965 MW, który osiągnie przy spalaniu węgla brunatnego sprawność netto 45,5 % i zastąpi sześć bloków po 150 MW, oddanych do eksploatacji w latach 1957÷1961, pozwalając na ograniczenie emisji zanieczyszczeń o 30 % i liczebności personelu o 60 %[4].

Na podstawie tych doświadczeń można z dużym prawdopodobieństwem założyć, że rozwój sektora wytwórczego w Polsce także nie będzie wymagał w nadchodzących latach nowych lokalizacji elektrowni systemowych. Odtworzenia mocy powinny być realizowane w istniejących elektrowniach węglowych i polegać na wymianie wyeksploatowanych bloków na jednostki znacznie bardziej efektywne. Tego typu odbudowa i rozbudowa mocy wytwórczych z wykorzystaniem istniejącej infrastruktury (nawęglanie, odpopielanie, gospodarka wodna, rozdzielnia, itd.) jest tańsza o ok. 30 % od budowy tej samej mocy w nowej lokalizacji. Dowodem na to są nakłady inwestycyjne na odtworzony blok nr 1 w Elektrowni Siersza, które wyniosły 729 USD/kW [5]. Ponadto zastąpienie wyeksploatowanych bloków o sprawności netto poniżej 34 %, nowymi blokami na parametry nadkrytyczne o sprawności 42÷44 % pociąga za sobą zmniejszenie zużycia paliwa o 16÷18%; w tym samym stopniu maleje też emisja CO_2, co pozwoli na dotrzymanie warunków Dyrektywy UE 2001/80/WE.

W przypadku bloków 360 MW (zwłaszcza na węgiel brunatny), możliwe jest także przeprowadzenie tzw. pogłębionej modernizacji dla wydłużenia okresu eksploatacji do ponad 300 tys. godzin i zsynchronizowania zakończenia ich eksploatacji z pełnym wyczerpaniem złóż węgla w odkrywce. Taka rekonstrukcja, która wiązać się będzie z wymianą dużej części układu ciśnieniowego kotła, rurociągów pary, elementów części przepływowych turbiny a także układu regeneracji, powinna uwzględniać podwyższenie temperatury pary świeżej i wtórnie przegrzanej, obniżenie parametrów końcowych (modernizację chłodni) modyfikację układu cieplnego i wykorzystanie ciepła spalin. Analiza przeprowadzona w Instytucie Elektroenergetyki PŁ wykazała, że możliwe jest zwiększenie tą drogą sprawności bloku netto o ponad 3 punkty procentowe, zaś całe przedsięwzięcie jest uzasadnione ekonomicznie [1].

Zgodnie filozofią "i taka i taka technologia", bezpieczeństwo energetyczne kraju będzie jednak wymagać częściowej dywersyfikacji paliw oraz rozwoju źródeł rozproszonych, w tym wykorzystujących paliwa odnawialne. Drogą do tego będzie zwiększenie ilości gazu – w pierwszej kolejności do produkcji skojarzonej w elektrociepłowniach. Pierwsze instalacje, o mocach od kilku MW (EC Opole, EC Ostrów Wlkp., EC Władysławowo) poprzez kilkadziesiąt MW (EC Gorzów) do ponad 150 MW (EC Sarzyna, EC Lublin-Wrotków), już pracują w krajowym systemie elektroenergetycznym. Rosnące wymagania ochrony klimatu Ziemi nakazują także –chociaż teza ta jest wciąż kontrowersyjna – nakazują nie wykluczać w dalszej przyszłości opcji rozwoju systemu elektroenergetycznego kraju z udziałem energii jądrowej.

5. PODSUMOWANIE

W dalszym rozwoju technologii wytwarzania energii elektrycznej dominującym celem pozostanie wzrost sprawności procesu, tak aby zrekompensować wzrost nakładów inwestycyjnych, związany z wprowadzaniem nowych, wysokosprawnych urządzeń. Sprawność wytwarzania energii elektrycznej i ceny paliw będą bowiem w znacznym stopniu decydować o konkurencyjności danej technologii na rynku energii. Struktura paliwowa Polski nakazuje w pierwszej kolejności efektywnie wykorzystać rodzime zasoby węgla kamiennego i brunatnego, przy jednoczesnym rozwoju źródeł energii elektrycznej, opalanych gazem oraz źródeł

odnawialnych. Na podobne kierunki rozwoju wskazują analizy przeprowadzane w Niemczech i w Unii Europejskiej. Przewidują przede wszystkim dalszy rozwój znanych, zaawansowanych technologii wytwórczych, wspieranie źródeł rozproszonych z uwzględnieniem energii odnawialnej, nie wykluczając w dalszej przyszłości paliwa jądrowego.

6. LITERATURA

1. *Analiza możliwości zwiększenia sprawności bloku o co najmniej 3%.* Opracowanie Instytutu Elektroenergetyki PŁ, listopad 2001 r.
2. Böcker D.: *Lignite in the european energy industry – Experience gained from liberalisation.* Materiały III Międzynarodowego Kongresu Górnictwa Węgla Brunatnego, Bełchatów 2002, suplement, str. 2 - 12.
3. Chmielniak T., Kosman G.: *Ocena efektów eksploatacyjnych, ekologicznych i ekonomicznych rekonstrukcji bloku nr 1 w Elektrowni Siersza*, Energetyka 2002, nr 10/11, s. 764-771.
4. Pawlik M.: *Konkurencja technologii wytwarzania energii elektrycznej.* Mat. III Międzynarodowego Kongresu Górnictwa Węgla Brunatnego. Bełchatów 2002, str.397 - 404.
5. Pawlik M.: *Bloki na parametry nadkrytyczne dla modernizowanych elektrowni krajowych,* Materiały VI Konferencji "Elektrownie Cieplne", Słok 2003, str. 15 – 24.
6. Theis K.A., Bauer F.: *Nowoczesne technologie wytwarzania energii elektrycznej w rozszerzonej Unii Europejskiej.* Materiały VI Konferencji „Elektrownie Cieplne", Słok 2003, str. 33 – 42.
7. Voigtländer P., Gattinger M., Lenk U.: *Wettbewerb der Technologien zur Stromerzeugung,* Materiały XXXIII Kraftwerkstechnisches Kolloquium, Dresden 2001, str. 29 -64.
8. Żelkowski J.: *Strategia rozwoju branży energetycznej w krajach Unii Europejskiej*, Rynek Energii 2003, nr 6, str. 2 – 6.

POWER GENERATION TECHNOLOGIES IN JOINT EUROPEAN ELECTRICITRY MARKET

The paper presents the actual state and technical progress of electricity generation technology in Poland and in Europe. The problem of durability of national large power units was analysed. The chance of developments of advanced generation technologies was evaluated. Along with the long-term forecast of electricity demand, the possible development of power sector in Poland up to year 2020 is presented. It is based on the reconstruction and reproducing of coal firing unit in existing power stations.

Aleksandra Pietrzak – Mantiuk[1]

WPŁYW NAPEŁNIACZY NA WYBRANE PARAMETRY ELEKTRYCZNE MIESZANEK POLIMEROWYCH W FUNKCJI STARZENIA W KOMORZE KLIMATYCZNEJ WGS I URZĄDZENIU TYPU XENOTEST

Mieszaniny różnych polimerów są sporządzane w celu obniżenia kosztu ich wytworzenia oraz zmodyfikowania ich własności. W tym samym celu stosuje się napełniacze, które wprowadzane do polimerów lub mieszanek polimerowych tworzą kompozyty polimerowe, najczęściej o polepszonych właściwościach użytkowych.
Badane materiały polimerowe były starzone w dwóch komorach: w komorze pełnoklimatycznej w klimacie WGS (wilgotno - gorąco - stałe tj. temp = 40 °C ±2 °C; wilg. 90% ±3%) oraz w aparacie xenotest.
Przeprowadzone badania wykazały, że dodanie napełniacza (popiołu lotnego), do określonych mieszanek polimerowych poprawia parametry elektryczne tych mieszanek w stosunku do mieszanek nie napełnianych.

1. WSTĘP

Tworzywa sztuczne należą do materiałów o najbardziej dynamicznie rosnącym udziale wśród współcześnie stosowanych materiałów. Wzrost zastosowania nastąpił m.in. w budownictwie, przemyśle opakowaniowym, spożywczym oraz w elektrotechnice, a przez to wzrosła ilość odpadów, co widać na poniższym rysunku (Rys. 1).

Rys. 1 Struktura polskich odpadów[4]

Przyczyną dominującej pozycji tworzyw sztucznych jest zmieniająca się struktura ich zastosowań. Szczególne znaczenie ma fakt, że nowa gałąź przemysłu, jaką są tworzywa sztuczne, cały czas się rozwija i zwiększa swoje udziały na rynku.

[1] Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki ZWNiE,
70-313 Szczecin, ul. Sikorskiego 37, tel. (091) 4494323
oluniap@go2.pl

Nowe materiały muszą odpowiadać pewnym normom i wymaganiom. Najważniejszym problemem jest wytrzymałość materiałów w funkcji czasu pracy. Procesy starzenia zachodzą powoli, w długim czasie, dlatego aby przyśpieszyć ocenę możliwości zastosowania jakiegokolwiek materiału, prowadzi się badania tzw. *przyspieszonego starzenia*. Metody przyspieszonego starzenia polegają na odpowiednim doborze zespołu czynników zewnętrznych (naświetlanie, nawilżanie, suszenie), w czasie działania których, bada się zmiany wartości wybranych parametrów (mechanicznych, dielektrycznych) oraz dokonuje oceny wizualnej.

2. NOWE MIESZANKI I NAPEŁNIACZE RECYKLATOWE

W trakcie wieloletnich badań mieszanek recyklatowych osiągnięto już pewną wiedzę i nowe mieszanki recyklatowe są w głównej mierze oparte na polietylenie (PE). Recyklat polietylenowy jest materiałem o bardzo dobrych parametrach dielektrycznych. Aktualnie prowadzone badania polegają na takim doborze napełniaczy, aby te parametry użytkowe utrzymać na odpowiednim poziomie, a jeśli to możliwe – polepszyć. W zależności od potrzeb i zakresu zastosowań w różnych gałęziach przemysłu, dobiera się inne rodzaje i ilości napełniaczy.

Napełniacze dodane do polimeru powodują modyfikację prawie wszystkich właściwości fizycznych, np.: gęstości, udarności, wytrzymałości na rozciąganie, odporności chemicznej, termicznej, właściwości przetwórczych, czy właściwości elektrycznych. Napełniacze dzieli się na:

- *Ciągłe*, zwane również *włóknistymi*, jednokierunkowymi; stosowane do wytwarzania tworzyw warstwowych, laminatów (udział w kompozycie około 20 – 50 % objętości),
- *Proszkowe*, mające postać sferyczną, płatkową lub krótkich włókien ciętych; stosowane do wytwarzania tłoczyw, granulatów (udział w kompozycie około 5 – 25 % objętości).

Właściwości tworzyw wzmocnionych napełniaczami zależą od rodzaju napełniacza oraz równomiernego jego rozłożenia w matrycy polimerowej, tak jak jest to w przypadku napełniaczy o postaci sferycznej i krótkich włókien. Napełniacze proszkowe stosuje się, jako dodatek do polimerów w celu poprawienia właściwości mechanicznych, dielektrycznych, cieplnych, chemicznych lub przetwórczych. Na zwiększenie przewodności elektrycznej właściwej, średni wpływ mają: włókno węglowe, grafit i sadza. Podobny wpływ, ale na zwiększenie odporności elektrycznej mają wollastanit, talk, krzemionka i tlenki niektórych metali. Duża poprawa odporności elektrycznej jest widoczna po dodaniu miki i kaolinu [10].

3. CEL, METODYKA I ZAKRES BADAŃ

W warunkach użytkowania powłok w podwyższonej temperaturze, wilgoci i pod wpływem tlenu wszystkie tworzywa sztuczne mogą ulegać zmianom spowodowanym rozkładem tworzywa. Procesy zachodzące pod wpływem podwyższonej temperatury, wilgotności, tlenu i promieniowania wpływają niekorzystnie na strukturę tworzywa, jego własności fizyczne, mechaniczne i chemiczne. Wielkość zmian jest różna i zależy od wytrzymałości stosowanego tworzywa [1].

Promieniowanie słoneczne może oddziaływać na wyroby głównie przez podwyższenie temperatury materiału i temperatury otoczenia wyrobu lub też przez degradacje fotochemiczną materiału. Zawarta w promieniowaniu słonecznym składowa ultrafioletu powoduje degradację fotochemiczną większości materiałów organicznych. Promienie ultrafioletowe oddziałują szkodliwie na plastyczność i elastyczność niektórych gatunków gum i tworzyw sztucznych. Najważniejszym skutkiem narażania wyrobu promieniowaniem słonecznym jest nagrzanie materiału; dlatego też ostrość promieniowania słonecznego jest określona przez gęstość mocy promieniowania na powierzchnię, czyli natężeniem napromieniowania i wyraża się w watach na metr kwadratowy.

Wyrób poddany promieniowaniu słonecznemu uzyskuje temperaturę zależną przede wszystkim od temperatury otaczającego powietrza, od energii wypromieniowanej przez Słońce oraz od kąta padania promieni na wyrób. Inne czynniki, jak np. wiatr i odprowadzenie ciepła od podstawy zamocowania wyrobu mogą mieć również duże znaczenie.

Maksymalny poziom promieniowania całkowitego w dniu bezchmurnym występuje w południe. Największa wartość energii osiągana na powierzchni prostopadłej do kierunku Słońca, w dniu bezchmurnym w południe, zależy od ilości zawartych w powietrzu cząsteczek aerozolu, ozonu i pary wodnej. Wartość ta zmienia się znacznie w zależności od szerokości geograficznej i rodzaju klimatu. Dzięki przeprowadzonym szczegółowym pomiarom, można określić względne całkowite napromieniowanie i jest to stosunek całkowitego napromieniowania mierzonego na powierzchni ziemi do całkowitego napromieniowania pozaziemskiego, stanowiącego promieniowanie słoneczne padające na płaszczyznę prostopadłą do kierunku słońca tuż poza atmosferą ziemską. Dla Polski leżącej w szerokości geograficznej pomiędzy 49, a 54N, średnie dzienne napromieniowanie w miesiącu czerwcu i grudniu wynoszą:

- Czerwiec – 5,76 kWh/m^2
- Grudzień – 0,5 kWh/m^2

natomiast średnie roczne to około 2,6 kWh/m^2 [6].

Badane próbki umieszczono w aparacie *XENOTEST* System Cassella i poddano przyśpieszonym badaniom odporności na nasłonecznienie, stosując stopień próby ***ASC*** (***accelerated short cycle***) a mianowicie:

- moc lampy - ***1500 W,***
- filtrowanie widma: ***bez filtrów,***
- widmo: ***pełny zakres UV-A,B,C, łącznie z pełnym IR,***
- jarzmo: ***obrotowe, odległość od lampy 15 cm,***
- cykl testowy : ***nasłonecznienie ciągłe, przy wilgotności 60 % i T= 60^0 C, co 15 minut 15 minutowe zraszanie zimną wodą.***

Przyspieszone badania korozji atmosferycznej były prowadzone również w komorze klimatycznej typu *FEUTRON*. Próbki zostały w niej poddane długotrwałemu działaniu klimatu wilgotnego gorącego stałego – WGS. Temperatura i wilgotność były utrzymywane na stałym poziomie i wynosiły : 40° ± 2°C i 96 ± 2%. Kontrolą zmian objęto następujące parametry dielektryczne :

- współczynnik strat dielektrycznych (tgδ),
- odporność na łuk elektryczny małej mocy (12,5 kV),
- odporność na prądy pełzające (CTI),
- wytrzymałość dielektryczna (Ep).

Granulaty podstawowego materiału oraz napełniacz otrzymano z:

- polietylenu - PE,
- trójwarstwowej folii odpadowej – PA/PE3,
- odpadów elektrownianych – popiół lotny PL.

Mieszanki są w 100% recyklatami. Poniżej został przedstawiony procentowy skład kompozycji:

A – 75% PA/PE$_3$, 15% PE, 10% PL
B – 50% PA/PE$_3$, 50% PE, 10% PL
C – 25% PA/PE$_3$, 65% PE ,10% PL
D – 100% PA/PE$_3$
E – 50% PA/PE$_3$, 50% PE
F – 100 % PE
G – 25% PA/PE$_3$, 75% PE$_{rec}$

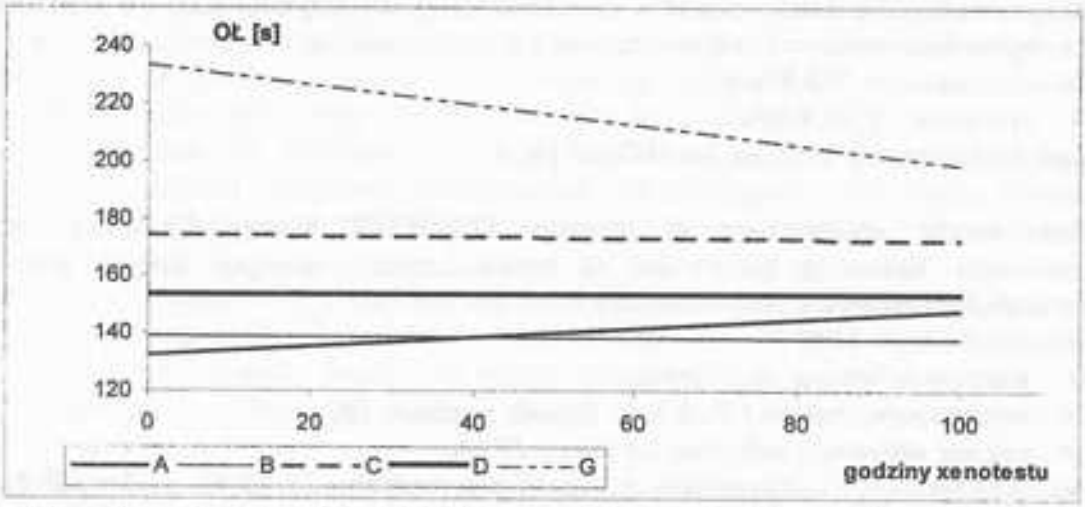
Mieszanki wykonywano na urządzeniu typu BRABENDER oraz na wytłaczarce jednoślimakowej. Próbki wykonano metodą wtrysku na wtryskarce typu MONOMAT 80

(temperatura wtrysku 463 – 473 K, czas wtrysku ~ 2 min, ciśnienie wtrysku ~ 0,9 MPa, temperatura formy – 373 K, chłodzona). Wszystkie próbki były barwione na kolor brązowy.

4. WYNIKI BADAŃ

4.1. Xenotest

Próbki A, B, C, D, E, G zostały poddane starzeniu w urządzeniu xsenotest [8,9]. Kontrolą zmian pod wpływem starzenia była ocena wizualna próbek oraz badanie odporności na łuk elektryczny małej mocy [7]. Poniższy wykres przedstawia zmiany odporności na łuk elektryczny w funkcji czasu ekspozycji w xenoteście – Rys. 2.



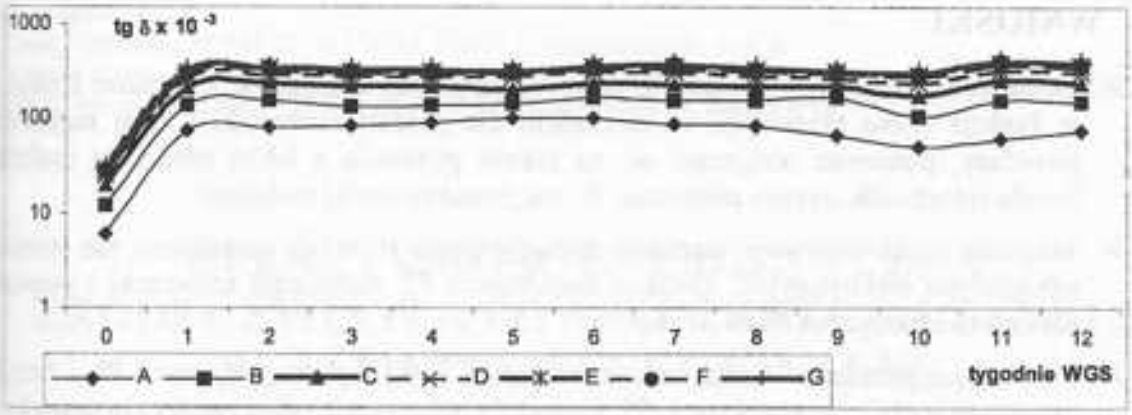
Rys. 2 Charakter zmian odporności na łuk elektryczny małej mocy w funkcji godzin ekspozycji w xenoteście

Po 20 h starzenia w xenoteście, próbki mieszanki E nie nadawały się do dalszych badań. Materiał badawczy pod wpływem promieniowania nagrzał się zaczął mięknąć. Dalsze badania na tych materiałach mogły spowodować uszkodzenie urządzenia. Z tego powodu usunięto tą mieszankę z dalszych badań. Oględziny pozostałej grupy próbek były następujące: próbki nie zmieniały koloru, tylko próbki mieszanki B i D wykazywały lekką zmianę faktury, nadmierną chropowatość, czy lekkie topienie się materiału. Jednak te zmiany nie spowodowały usunięcia ich z cyklu badań. Badania są nadal kontynuowane.

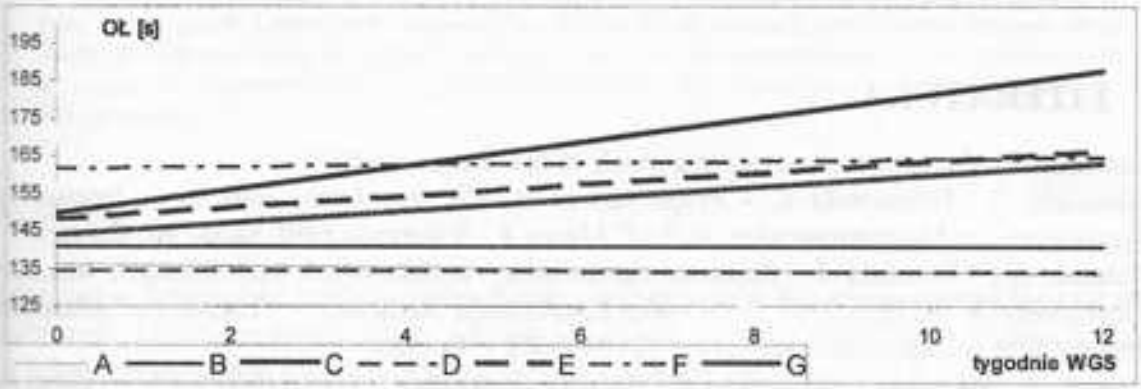
4.2. Komora WGS

Wszystkie próbki poddano starzeniu w komorze WGS. Cykl starzeniowy próbek w warunkach WGS wynosił 12 tygodni [4,5]. W odstępach jednotygodniowych dokonywano kontroli zmian badanego parametru, czyli:

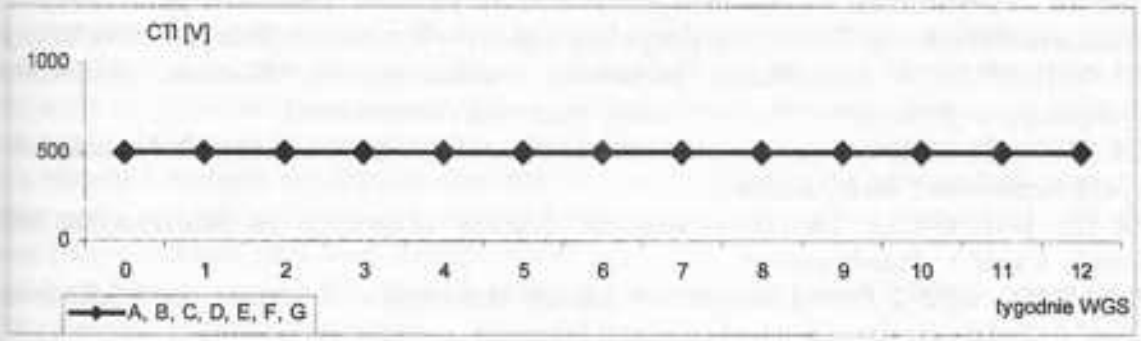
- współczynnik strat dielektrycznych (tgδ),
- odporność na łuk elektryczny małej mocy (12,5 kV),
- odporność na prądy pełzające (CTI),
- wytrzymałość dielektryczna (Ep).



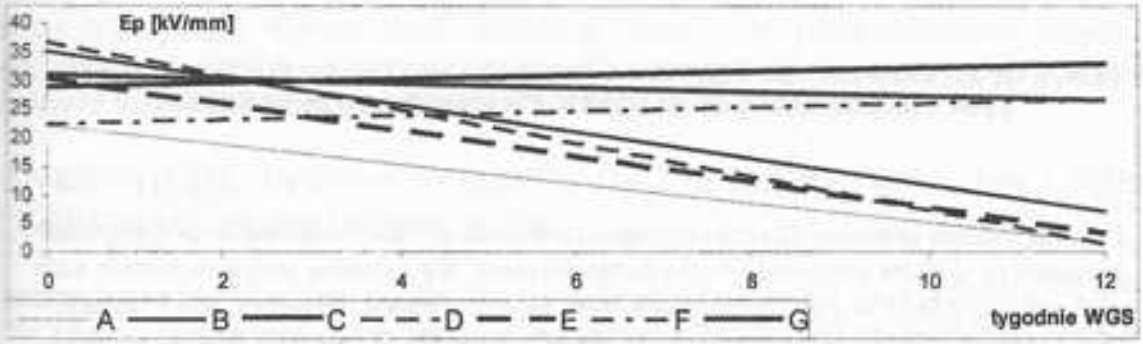
Rys. 3 Charakter zmian współczynnika strat dielektrycznych w funkcji starzenia w komorze klimatycznej WGS.



Rys. 4 Charakter zmian odporności na łuk elektryczny w funkcji starzenia w komorze klimatycznej WGS



Rys. 5 Charakter zmian odporności na prądy pełzające w funkcji starzenia w komorze klimatycznej WGS



Rys. 6 Charakter zmian wytrzymałości dielektrycznej w funkcji starzenia w komorze klimatycznej WGS

5. WNIOSKI

- Dodanie napełniacza w postaci PL polepsza parametry mieszanek. Charakter zmian OŁ w funkcji czasu ekspozycji w xenoteście dla próbek mieszanki C jest najbardziej pożądany, ponieważ utrzymuje się na stałym poziomie z lekką tendencją malejącą. Reszta mieszanek, oprócz mieszanki A, ma charakterystyki malejące.
- Mieszanki pod wpływem starzenia klimatycznego w WGS zasadniczo nie zmieniły właściwości elektrycznych. Dodanie napełniacza PL stabilizuje mieszanki i poprawia parametry elektryczne (Rys. 3 – 6)
- Porównując parametry elektryczne mieszanek C i G, czyli napełnianych PL i bez PL, można stwierdzić, że napełnianie PL powoduje polepszenie właściwości mieszanek.
- Zastosowanie badanych materiałów w elektrotechnice może w znaczący sposób przyczynić się do zmniejszenia ilości odpadów tworzyw sztucznych.

6. LITERATURA

1. Kowalski Z.: *Powłoki z tworzyw sztucznych*, WNT Warszawa1973
2. Michalski. J., Tatakowski Z. - *Properties of PA/PE recyclates.* 36th Iupac International Symposium On Macromolecules. IUPAC Macro 4 – 9 sierpnia 1996 Seoul'96, Korea
3. Pietrzak A., Michalski J.: *Badania starzeniowe recyklatowych napełnianych mieszanek recyklatowych*, MITEL 2002 II Lubuska Konferencja Naukowo – Techniczna „Materiały i Technologie w Elektrotechnice", 11 – 12. 04. 2002 r. Gorzów
4. Pietrzak. A., Michalski J., Rydzewski K.: *Badania starzeniowe wieloskładnikowych, recyklatowych kompozycji polimerowych* Materiały Polimerowe Pomerania-Plast 2001, Szczecin-Międzyzdroje 6-8.06.2001
5. Pietrzak. A., Michalski J.: *Badania starzeniowe recyklatów materiałów polimerowych* IV Seminarium Naukowo-Techniczne Recykling Tworzyw Sztucznych; listopad 2000, Szczecin
6. PN–90/E–04555/24 *Klasyfikacja warunków środowiskowych. Warunki środowiskowe występujące w przyrodzie. Promieniowanie słoneczne i temperatura.*
7. PN–EN 61621 *Materiały elektroizolacyjne stałe suche – Odporność na wyładowania łukowe wysokonapięciowe, niskoprądowe.*
8. PN–EN ISO 4892–1 Tworzywa sztuczne. Metody ekspozycji na laboratoryjne źródła światła. Część 1: Zasady ogólne.
9. PN–EN ISO 4892–2 *Tworzywa sztuczne. Metody ekspozycji na laboratoryjne źródła światła. Część 2: Źródła ksenonowe o wyładowaniu łukowym.*
10. Żuchowska D.: *Polimery konstrukcyjne*, WNT, Warszawa 2000

INFLUENCE OF FILLERS ON CHOOSEN ELECTRIC PARAMETERS OF POLYMER BLENDS AS A FUNCTION OF AGING IN KLIMATIC CHAMBER AND IN XENOTEST

Polymer blends are used to reduce production costs of materials and improving their parameters. Fillers are used for the same purpose. We examine polymer blends with and without fillers in two aging chambers: In full climatic chamber WGS (humid – hot – constant, i.e. temperature = 40 °C ±2 °C; humidity 90% ±3%) and in xenotest. The results show that adding filler (fly ash) to polymer blends improves their electrical parameters.

Autorzy referatu:
mgr Lech Piotrowski, tel.+48 22 812 34 03, e-mail: L.Piotrowski@iel.waw.pl
mgr Lucyna Hemka, tel. +48 22 812 33 96, e-mail: L.Hemka@iel.waw.pl
Instytut Elektrotechniki, 04 – 703 Warszawa, ul. M. Pożaryskiego 28, Zakład NTS

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA POWSZECHNEGO UŻYTKU, PARAMETRY FUNKCJONALNE

W referacie omówiono nowe metody oceny parametrów eksploatacyjnych podstawowych źródeł światła w świetle wymagań dyrektyw UE, zaprezentowano zestawienia wyników pomiarów parametrów elektrycznych i świetlnych uzyskanych ze źródeł światła różnych producentów zarówno krajowych jak i zagranicznych, pod kątem sprawdzenia efektywności energetycznej oraz przedstawiono rady i zalecenia dla potencjalnych użytkowników źródeł światła, pozwalające wykorzystywać je w sposób optymalny.

1. WSTĘP

Polska jest w przededniu wprowadzenia systemu oceny zgodności wyrobów opartego na nowym i globalnym podejściu przyjętym w krajach UE. Dlatego proces wdrażania regulacji unijnych trwa od dłuższego czasu i ma być zakończony do 1 maja 2004r.
Z dniem uzyskania przez Polskę członkostwa w UE zaczną obowiązywać akty prawne wprowadzające do polskiego prawa dyrektywy nowego podejścia Wspólnoty Europejskiej, określające wymagania zasadnicze, które powinien spełniać wyrób wprowadzony do obrotu.
Fundamentem wspólnego rynku Unii Europejskiej (UE) jest możliwość swobodnego przepływu towarów. Dlatego też prawodawcy z krajów zrzeszonych w Unii dążą do niwelacji oraz nie dopuszczenia do powstawania nowych barier w handlu poprzez wzajemne uznawanie i ujednolicenie procedur handlowych, technicznych i innych. W 1985 r rada Unii Europejskiej wprowadziła nową metodę i strategię regulacyjną nazwaną Nowym Podejściem do harmonizacji, normalizacji technicznej i standaryzacji. Nowe podejście wymaga, aby podstawowe wymagania były ujednolicone i wprowadzone jako obowiązujące dyrektywy.
Dyrektywy to akty prawne UE, których przepisy państwa członkowskie mają obowiązek wdrożyć do swojego systemu prawnego.
Zakres dyrektywy Nowego Podejścia określa rodzaje wyrobów regulowanych dyrektywą lub rodzaje zagrożeń, które dyrektywa ma oddalić. Zazwyczaj dyrektywa określa zagrożenia w odniesieniu do wyrobu lub ryzyko dotyczące zjawisk. Dlatego też jeden wyrób może być objęty kilkoma dyrektywami. Wprowadzenie wyrobu na rynek lub do użytku może mieć miejsce tylko wtedy, gdy wyrób spełnia przepisy wszystkich odpowiednich dyrektyw oraz gdy został poddany procedurze oceny zgodności przewidywanej we właściwych dyrektywach.

2. ENERGOCHŁONNOŚĆ SPRZĘTU OŚWIETLENIOWEGO W ŚWIETLE WYMAGAŃ PRAWNYCH UE

Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 2 kwietnia 2003r (Dz. U. Nr 79, poz.714) określające wymagania w zakresie efektywności energetycznej, jakie powinny spełniać urządzenia produkowane w kraju oraz importowane.
Rozporządzenie to wprowadza do powszechnego stosowania tzw. dyrektywę ogólną (92/75/EEC) wprowadzającą obowiązek podawania przez dostawcę informacji dotyczących podstawowych danych technicznych i eksploatacyjnych urządzenia, w tym informacji o ilości

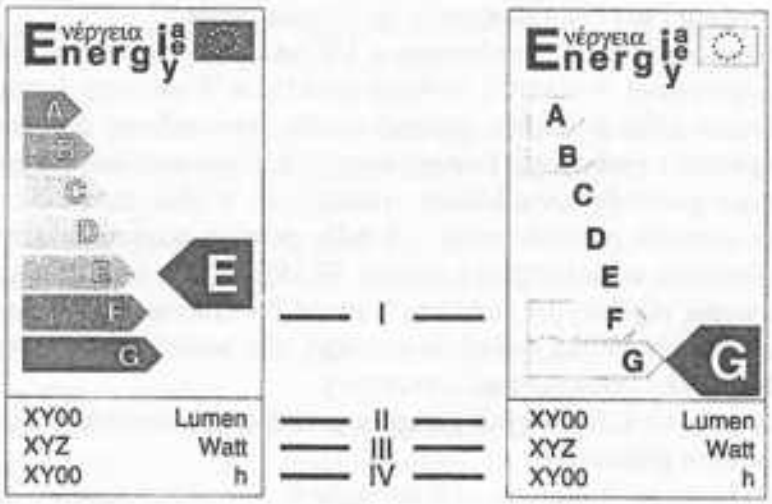
zużytej energii. W odniesieniu do sprzętu oświetleniowego na dzień dzisiejszy opracowano dwie dyrektywy szczegółowe dotyczące źródeł światła do użytku domowego (98/11/EC) i stateczników do świetlówek (2000/55/EC), które również zostały wprowadzone do powszechnego stosowania w/w zarządzeniem. Obie dyrektywy określają normy i metody określania wskaźników efektywności energetycznej, szczegóły dokumentacji technicznej oraz treść, formę i umiejscowienie etykiety.

W przypadku dyrektyw dotyczących energochłonności [6], trudno mówić o ryzyku i zagrożeniach bezpośrednich, które mogą dotyczyć np. użytkownika wyrobu. Dyrektywy dotyczące energochłonności mają na celu poprawę bezpieczeństwa energetycznego i ekologicznego, wzrost konkurencyjności towarów, ochrona interesów odbiorców i minimalizacja kosztów.

Znakowanie wyrobów oszczędnie zużywających energię pozwala oddziaływać na uczestników procesów rynkowych w dwóch kierunkach. Po pierwsze producenci dbający o efektywne użytkowanie energii zmuszeni są wybierać taką drogę zmian w technologii wytwarzania wyrobu, która pozwoli na wprowadzenie odpowiednich modernizacji i innowacji technologicznych. Z drugiej strony konsumenci zostają poinformowani o tym, w jakim stopniu oferowane na rynku wyroby wpływają na środowisko, co daje możliwość świadomego wyboru.

W swojej treści dyrektywy energochłonności określają parametry energetyczne dla poszczególnych grup wyrobów, klasyfikują wyroby ze względu na efektywność energetyczną a także wskazują parametry funkcjonalne informujące przyszłych użytkowników o możliwościach danego wyrobu.

Informacje te powinny mieć charakter umieszczanej na wyrobie etykiety [6] o określonym wzorze graficznym, zawierającej dane zawarte w dokumentacji technicznej.



Rys. 1 Zawarte w dyrektywie wzory etykiet w wersji kolorowej i czarno – białej.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki [3] i [4] etykieta efektywności energetycznej powinna mieć treść i wygląd z zachowaniem znormalizowanych wymiarów (nie więcej niż 40% wzoru podanego w dyrektywie) i proporcji oraz powinna zawierać następujące dane:

- poz. **I** - klasa efektywności energetycznej, określona na podstawie wartości wskaźnika efektywności energetycznej (E_I) zgodnie z poniższą tabelą nr 1.

Tabela nr 1

Klasa efektywności energetycznej	Wskaźnik efektywności energetycznej E_I
B	$E_I<60\%$
C	$60\% \le E_I<80\%$
D	$80\% \le E_I<95\%$
E	$95\% \le E_I<110\%$
F	$110\% \le E_I<130\%$
G	$E_I \ge 130\%$

Lampy zalicza się do klasy efektywności energetycznej A, jeżeli:

- lampy fluorescencyjne bez wbudowanego opornika (wymagające opornika lub innego urządzenia regulacyjnego, aby mogły być podłączone do sieci):

$$W \le 0{,}15 \times \sqrt{\phi} + 0{,}0097 \times \phi$$

- inne lampy

$$W \le 0{,}24 \times \sqrt{\phi} + 0{,}0103 \times \phi$$

Gdzie:

$E_I = W/W_R$

W – moc znamionowa [W]

W_R – wartość odniesienia mocy znamionowej [W]

$W_R = 0{,}88 \times \sqrt{\phi} + 0{,}049 \times \phi$ dla $\phi \ge 34$ lm

$W_R = 0{,}2 \times \phi$ dla $\phi \le 34$ lm

ϕ - znamionowy strumień świetlny [lm].

- poz. **II** – znamionowy strumień świetlny w [lm], mierzony zgodnie z procedurą podaną w zharmonizowanej normie;
- poz. **III** – moc znamionowa w [W]], mierzona zgodnie z procedurą podaną w zharmonizowanej normie;
- poz. **IV** - trwałość znamionowa w godzinach, mierzona zgodnie z procedurą podaną w zharmonizowanej normie;

Na uwagę zasługuje wybór sposobu obliczania efektywności energetycznej, na podstawie którego dane źródło światła zostaje zaliczone do określonej klasy efektywności. A mianowicie nie posłużono się dotychczas funkcjonującym pojęciem skuteczności świetlnej wyrażonej poprzez stosunek strumienia świetlnego do mocy elektrycznej pobieranej przez dane źródło.

Wprowadzony wskaźnik efektywności energetycznej wyrażony w procentach wyraża się wzorem opisanym szczegółowo w tabeli 1: $E_I = W / W_R$

Pomiary zarówno mocy jak i strumienia świetlnego lamp powinno się wykonać metodami określonymi w normach przedmiotowych. Informacje dotyczące granic dopuszczalnych wartości strumienia świetlnego i mocy lamp zostały przedstawione w [1] w tabeli nr 1.

3. EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA KILKU WYBRANYCH RODZAJÓW ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA DOSTĘPNYCH NA POLSKIM RYNKU.

Laboratorium Badawcze Sprzętu Oświetleniowego Zakładu NTS Instytutu Elektrotechniki wykonywało badania [1] źródeł światła pod kątem sprawdzenia ich efektywności energetycznej, dla wielu firm polskich i zagranicznych obecnych na naszym rynku. Wykonywano pomiary parametrów elektrycznych (moc źródła) i świetlnych (strumień świetlny), a niektóre z uzyskanych wyników badań przedstawiono w poniższych tabelach nr 2 i 3.

Tabela nr 2 *Efektywność energetyczna dla różnego typu świetlówek*

Rodzaj świetlówki	Moc świetlówki (W)		Strumień świetlny (lm)		Efektywność energetyczna [%]	Klasa efektywności energetycznej
	deklarowana	zmierzona [max 105%]	deklarowany	zmierzony [min.95%]		
Świetlówki samostatecznikowe (firma chińska 1)	13	14	630	892	16,2	A
	15	14,2	765	959	17,3	A
	18	16,2	900	1146	19,9	A
Świetlówki dwutrzonkowe typu FTS (firma z Hong Kongu)	8	7,64	350	343	30,0	B
	13	12,31	690	670	30,8	B
	14	10,1	1100	1119	20,7	A
	21	18,45	2000	2013	36,5	A
Świetlówki samostatecznikowe (firma z Tajwanu 1)	13	13,03	700	408	34,5	B
	15	12,03	850	337	36,8	B
	18	13,07	1000	356	38,3	B
	20	15,84	1200	426	40,6	B
	24	18,89	1500	570	38,5	B
	11	4,70	450	143	26,8	B
Świetlówki samostatecznikowe (firma chińska 2)	15	16,51	900	857	24,4	B
	20	16,12	1000	947	21,9	B
	24	23,36	1300	1273	24,9	B
Świetlówki samostatecznikowe (firma z Tajwanu 2)	11	8,65	580	461	8,6	A
	9	7,68	460	398	7,6	A
	7	7,19	330	377	7,1	A
	5	5,09	170	198	5,0	A
Świetlówki niezintegrowane (firma europejska)	9	8,05	450	513	20,3	A
	11	11,57	600	860	19,8	A
Świetlówki kompaktowe (firma polska)	13	11,9	765	689	17,9	B
	18	16,6	1000	900	19,1	B
	26	24,2	1400	1260	21,1	B

Tabela nr 3. *Efektywność energetyczna żarówek*

Rodzaj żarówki	Moc żarówki [W]		Strumień świetlny [lm]		Efektywność energetyczna [%]	Klasa efektywności energetycznej
	Deklarowana	zmierzona	deklarowany	zmierzony		
Świecowe (firma włoska)	25	23,04	210	167	140,9	G
	40	37,2	400	371	116,6	F
	60	56,26	680	569	124,1	F
Grzybkowe – białe (firma włoska)	40	39,97	400	345	116,8	F
	60	63,48	530	443	158,2	G
	100	100,35	1300	1270	109,2	E
Żarówki przezroczyste głównego szeregu (firma polska)	40	42,19	260	287	145,4	G
	60	58,84	510	520	129,4	F
	75	75,49	660	639	140,9	G
	100	100,22	1160	1183	113,5	F

Dla porównania w tabeli nr 3 podano parametry deklarowane przez renomowaną firmę z UE.

Tabela nr 4

Rodzaj źródła	Moc znamionowa [W]	Strumień świetlny [lm]	Efektywność energetyczna [%]	Klasa efektywności energetycznej
Żarówki do ogólnych celów oświetleniowych (głównego szeregu)	25	210	108,5	E
	40	380	111,8	F
	60	650	110,5	F
	75	880	108,3	E
	100	1240	108,9	E
Świetlówki samostatecznikowe	9	450	21,1	A
	13	650	23,9	A
	18	900	25,6	B
	24	1200	26,9	B
Świetlówki niezintegrowane	5	250	19,1	B
	7	400	18,8	B
	9	600	17,7	A
	11	900	15,6	A
	13	900	18,4	A
Świetlówki dwustronnie trzonkowane	8	450	19,6	B
	13	950	19,2	A
	15	1000	19,5	B
	20	950	29,5	B

4. UWAGI DLA UŻYTKOWNIKÓW ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA

- Na podstawie badań zaprezentowanych w niniejszym referacie można stwierdzić, że deklarowane przez producenta i umieszczone na etykiecie danego źródła światła, parametry elektryczne i świetlne nie zawsze znajdują odzwierciedlenie w wartościach rzeczywistych tych parametrów;
- Klasa efektywności energetycznej obliczona metodą przedstawioną w dyrektywie UE nie gwarantuje wysokiej jakości danego źródła pod względem jego parametrów funkcjonalnych;
- Przy zakupie danego źródła światła należy zwracać zawsze uwagę na deklarowane na etykiecie parametry, ponieważ można nabyć źródła pozornie takie same jak firm renomowanych ale o znacznie gorszych parametrach świetlnych i trwałości;
- Potencjalny użytkownik danego źródła światła przy jego zakupie powinien pamiętać, że źródło winno spełnić wymagania trzech dyrektyw unijnych a mianowicie poza aktualnie omawianą (energochłonności) także dyrektywę bezpieczeństwa (oznaczenie wyrobu znakiem CE) oraz w przypadku źródeł z elektronicznymi układami stabilizacyjno – zapłonowymi , dyrektywę kompatybilności elektromagnetycznej (oznaczenie EMC);
- Zakupując świetlówki kompaktowe wyprodukowane w krajach Dalekiego Wschodu, sugerując się głównie niska ceną, potencjalny użytkownik ryzykuje nabycie wyrobu zawierającego nieodpowiedni filtr sieciowy lub wręcz jego brak, co w codziennym użyciu w gospodarstwie domowym , skutkuje powstawaniem zakłóceń elektromagnetycznych, stając się źródłem nieprawidłowego odbioru np. audycji radiowych;
- W warunkach codziennej eksploatacji w gospodarstwie domowym świetlówek samostatecznikowych nie wolno stosować popularnych „ściemniaczy" regulujących natężenia światła, ponieważ powoduje to uszkodzenie układu elektronicznego i staje się przyczyną znacznego skrócenia trwałości źródła;
- Kupując świetlówki samostatecznikowe oraz kompaktowe należy zwracać uwagę na informacje dotyczącą temperatury barwowej, ponieważ produkowane są one z różnymi typami luminoforów o temperaturach barwowych w zakresie 2700K do 6500K. W zależności od temperatury

barwowej źródła światła można kształtować klimat świetlny w swoim domu w zgodnie ze swoimi potrzebami i gustem.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE.

Rozsądne gospodarowanie zasobami energii w krajach wysokouprzemysłowionych stało się podwaliną do opracowania i wprowadzenia do stosowania dyrektyw energochłonności. Dyrektywy te nakładają na wytwórcę sprzętu elektrycznego obowiązek znakowania wyrobów w formie znormalizowanych etykiet, na których umieszczone zostały niezbędne dane dotyczące funkcjonalności i energochłonności wyrobu. Jedną z podstawowych danych jest klasa energochłonności obliczona wg wyżej przytoczonych wzorów i zależności matematycznych.
Jak można wywnioskować ze zgromadzonego w niniejszym referacie materiału eksperymentalnego wysoka klasa efektywności energetycznej deklarowana przez wytwórców poszczególnych źródeł światła nie zawsze idzie w parze z oczekiwaniami związanymi z parametrami użytkowymi danego źródła. Analizując uzyskane wyniki parametrów elektrycznych i świetlnych badanych źródeł można stwierdzić:

- W większości wyrobów produkowanych w krajach Dalekiego Wschodu (Chiny, Hong Kong, Tajwan) źródła posiadają znacznie mniejszy strumień świetlny niż deklarowany;
- Dużą rozbieżność zmierzonych parametrów w stosunku do deklarowanych w zależności od źródeł tego samego rodzaju lecz różnych mocy;
- Ponadto, pomimo, że nie badano parametru trwałości, ze względu na długi czas realizacji badania (kilka lub kilkanaście miesięcy) udało się zaobserwować podczas wstępnego wyświecania źródeł przed pomiarami w celu ustabilizowania się parametrów (dla żarówek 0,5 h, dla świetlówek 100h) znaczne pociemnienie baniek zarówno żarówek jak i świetlówek, a nawet w niektórych przypadkach ich uszkodzenie. Świadczy to prawdopodobnie o niespełnieniu deklaracji trwałości tych źródeł ze względu na niedopracowaną konstrukcję i technologię wykonywania.

W unormowaniach prawnych nowego podejścia deklaracje efektywności energetycznej może wystawić sam producent na podstawie wyników swoich badań, nie koniecznie korzystając z usług wyspecjalizowanych laboratoriów niezależnych.
Jak widać z przykładów przytoczonych w referacie do powyższych deklaracji trzeba podchodzić z ograniczonym zaufaniem. Przyczyn takiej sytuacji jest wiele, a jedną z najważniejszych jest brak właściwych przyrządów pomiarowych oraz brak umiejętności w wykonywaniu prawidłowych pomiarów mocy i strumienia świetlnego dla wysokoczęstotliwościowych źródeł światła.
W chwili obecnej należy założyć, że użytkownik praktycznie nie ma możliwości dokładnej oceny źródeł światła pod kątem trwałości, barwy lub strumienia świetlnego źródeł światła poszczególnych producentów. Zmuszony jest uwierzyć w to co deklaruje producent a jak wykazano nie zawsze jest to prawdziwe.
Aby zakończyć powyższy wywód akcentem bardziej optymistycznym w oparciu o wieloletnie doświadczenia badawcze z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że jakość źródeł powszechnie znanych, renomowanych europejskich firm jest dobra i w większości przypadków zgodna z deklaracjami. Niestety wiąże się to z zwiększonymi kosztami zakupu, ale w odniesieniu do otrzymanych parametrów funkcjonalnych oraz czasu użytkowania jest w pełni uzasadnione ekonomicznie.

BIBLIOGRAFIA

1. PN-EN 50285 „Efektywność energetyczna źródeł światła do użytku domowego – Metody pomiarów" sierpień 2002;
2. „Prawo Unii Europejskiej i prawo krajowe związane z przepisami wynikającymi z dyrektyw nowego podejścia" Materiały szkoleniowe wydane przez Departament Polityki Przemysłowej Ministerstwa Gospodarki Wrzesień 2000r;
3. Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 marca 2003r w sprawie zasadniczych wymagań dla sprzętu elektrycznego;
4. Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 2 kwietnia 2003r w sprawie wymagań w zakresie efektywności energetycznej;
5. Dyrektywa 92/75/EEC z dnia 22 września 1997r - dotycząca podawania przez dostawce znormalizowanej informacji o zużyciu energii i innych czynnikach przez niektóre z urządzeń przeznaczonych do użytku domowego;
6. 98/11/EC z dnia 27 stycznia 1998r – dotycząca cechowania efektywnością energetyczną lamp do użytku domowego.

„Energy efficiency of light sources of general use, functional parameters"

The paper discusses about new evaluation methods of operation parameters of basic light sources covered by the directive of UE. It presents results of measurement of electric- and light parameters got from light sources of different national and foreign producers, under the angle of verification energy efficiency.
The paper introduces practical advice for potencial customers.

Jerzy POMIANOWSKI[1]

POLARYZOWALNOŚĆ JAKO KRYTERIUM OCENY WŁAŚCIWOŚCI ELEKTROIZOLACYJNYCH ŻYWIC EPOKSYDOWYCH

W Zakładzie Wysokich Napięć i Elektrotechnologii Politechniki Szczecińskiej przeprowadzono syntezę nowego utwardzacza utajonego (latentnego), opartego na soli cynkowej merkaptobenzimidazolu. Celem określenia wewnętrznej struktury badanych materiałów i jej wpływu na wielkość i mechanizm przewodnictwa elektrycznego przeprowadzono pomiary izotermicznych prądów depolaryzacji (IRC). Analizując przebieg uzyskanych funkcji stwierdzono znacznie niższą polaryzowalność w przypadku tych próbek które zostały usieciowane nowym utwardzaczem. Powyższe cechy wykazano drogą badań porównawczych kompozycji epoksydowych sieciowanych różnymi utwardzaczami.

1. WSTĘP

Żywice epoksydowe, najczęściej w postaci tłoczyw są powszechnie stosowanym materiałem w technologii hermetyzacji elementów półprzewodnikowych [1]. Po kilku latach praktyki przemysłowej okazało się że wymóg odpowiednio wysokiej rezystancji skrośnej jest niewystarczający dla wykonania trwałej izolacji elektrycznej. Jony sodu i chloru oraz niskocząsteczkowe składniki utwardzacza migrują w warsteie izolacji pod wpływem pola elektrycznego co prowadzi do niekorzystnych zmian w strukturze izolacji i niepożądanego domieszkowania zahermetyzowanych struktur półprzewodnikowych. Z tego względu wprowadzono pojęcie „czystości jonowej" polimerów elektroizolacyjnych, a następnie określono masymalnie dopuszczalną zawartość metali alkalicznych i chloru w surowcach stosowanych do produkcji tłoczyw. Jednak mimo zachowania ostrych reżimów technologicznych nadal obserwuje się w izolacji epoksydowej prądy upływu spowodowane procesami elektrochemicznymi. Powodem tego zjawiska jest powszechne stosowanie silnie polarnych utwardzaczy opartych na aminach alifatyczno-aromatycznych lub bezwodnikach kwasowych. W celu ograniczenia polarności izolacji epoksydowej oraz zbadania procesów zachodzących w polimerach pod wpływem pola elektrycznego przeprowadzono w ZWN i Et syntezę nowego utwardzacza sieciującego w rezultacie polimeryzacji jonowej [2], spodziewając się przy jego zastosowaniu wytworzenia struktury odporniejszej na zjawiska polaryzacyjne. Nowy utwardzacz, oznaczany symbolem ZMBI jest związkiem metalo-kompleksowym cynku i merkaptobenzimidazolu wykazującym działanie utajone w temperaturze pokojowej [3].

[1]Politechnika Szczecińska Instytut Elektromechaniki ul. Sikorskiego 37, 70-310 Szczecin

2. METODYKA BADAŃ

Pomiar rezystancji skrośnej przeprowadzony metodą techniczną nie daje obrazu zjawisk polaryzacyjnych i niezależnie od rodzaju stosowanego utwardzacza otrzymuje się wartości rezystancji typowe dla utwardzonych żywic epoksydowych, równe w przybliżeniu 10^{15} - 10^{16} Ωm. W związku z tym wykonano badania izotermicznych prądów relaksacji (IRC) umożliwiające zbadanie wpływu rodzaju utwardzacza na polaryzowalność kompozycji.

Do badań użyto kompozycji żywic epoksydowych E6 (Epidian 6) i DEN 431 (żywica epoksynowolakowa) utwardzanych różnymi utwardzaczami przy udziale przyspieszaczy [4]. Zestawienie materiału badanego podane jest w tab.1.

Tab.1. Składy badanych kompozycji.

Kompozycja	Żywica	Utwardzacz	Przyspieszacz
A	E6 4 części wagowe	UMB-1[1)] 1 część wagowa	PET/TEA[4)] 0,05 części wagowe
B	E6 3 części wagowe	UT-132K[3)] 1 część wagowa	-
C	E6 4 części wagowe	UMB-1 1 część wagowa	-
D	DEN431 4 części wagowe	UMB-1 1 część wagowa	-
E	E6 4 części wagowe	UMB-1 1 część wagowa	PET-Z-1[5)] 0,05 części wagowe
H	E6 4 części wagowe	UMB-2[2)] 1 część wagowa	-

[1]) utwardzacz w postaci roztworu ZMBI w poliestrze maleinowo-glikolowym (P3), w stosunku 25:100.

[2]) utwardzacz w postaci roztworu ZMBI w poliestrze bursztynowo-glikolowym (P4), w stosunku 25:100.

[3])Utwardzacz UT 132K - addukt dwuaminodwufenylometanu.

[4])PET/TEA - produkt aminolizy odpadów polietylenotereftalanu trietanoloaminą.

[5])PET-Z-1 - produkt aminolizy odpadów polietylenotereftalanu trietylenotetra aminą.

Kompozycje te po wymieszaniu i odpowietrzeniu umieszczano w formie i utwardzano przez 2 godz. w temp. 180°C, przy czym kompozycja w formie była ogrzewana do tej temperatury z szybkością 5°C/min.

Po utwardzeniu otrzymane płyty pocięto na próbki o wymiarach 80 x 80 x 4 mm i poddano je dalszym badaniom.

Zastosowano płaski układ elektrod naniesiony na próbkę przy pomocy lakieru przewodzącego. Procedura pomiarowa obejmowała:

1. wstępną relaksację próbek polegającą na umieszczeniu próbek w klaserze przewodzącym powodującym zwarcie elektrod.
2. polaryzację wstępną próbek, napięciem 400 V w czasie 10 min, przy jednej uziemionej elektrodzie,
3. zwarcie elektrod napięciowych do ziemi i pomiar zmian prądu relaksacji w czasie 40 min.

Rejestrację prądów relaksacji zrealizowano przy pomocy układu komputerowego o częstotliwości próbkowania 1 sekunda. Do pomiaru prądu stosowano pikoamperomierz PA-11A z wejściem MOSFET i przetwornik analogowo-cyfrowy.

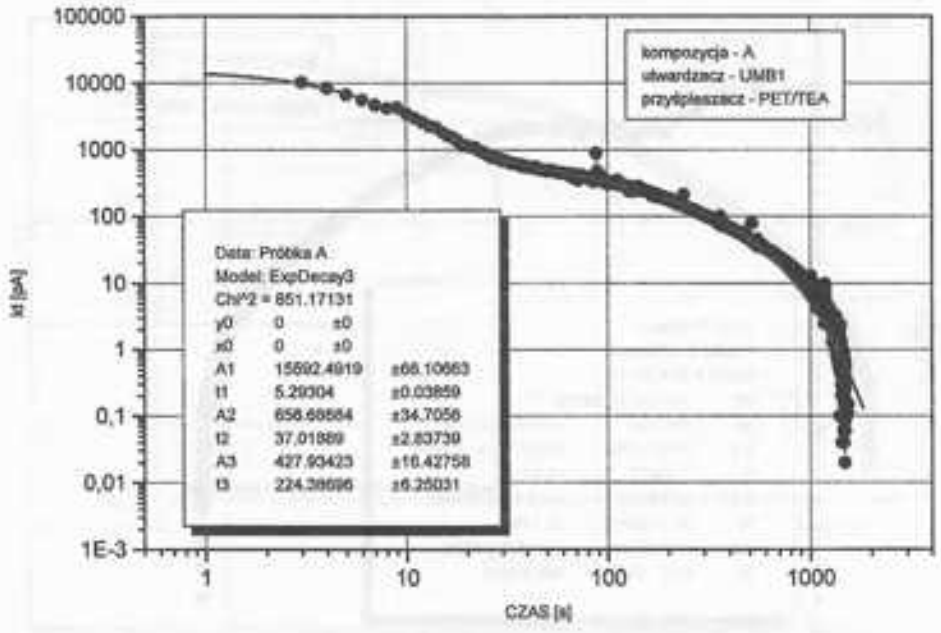
W badaniach za celowe uznano pomiary IRC (isothermic relaxation currend) ponieważ dzięki nim uzyskuje się najwięcej informacji o kompozycji. W pracy [5] wykazano, że izotermiczne prądy relaksacji w kompozytowych materiałach izolacyjnych można aproksymować zależnością:

$$I = \sum_{n=1}^{3} A_n \exp\left(-\frac{t}{T_n}\right) \qquad (1)$$

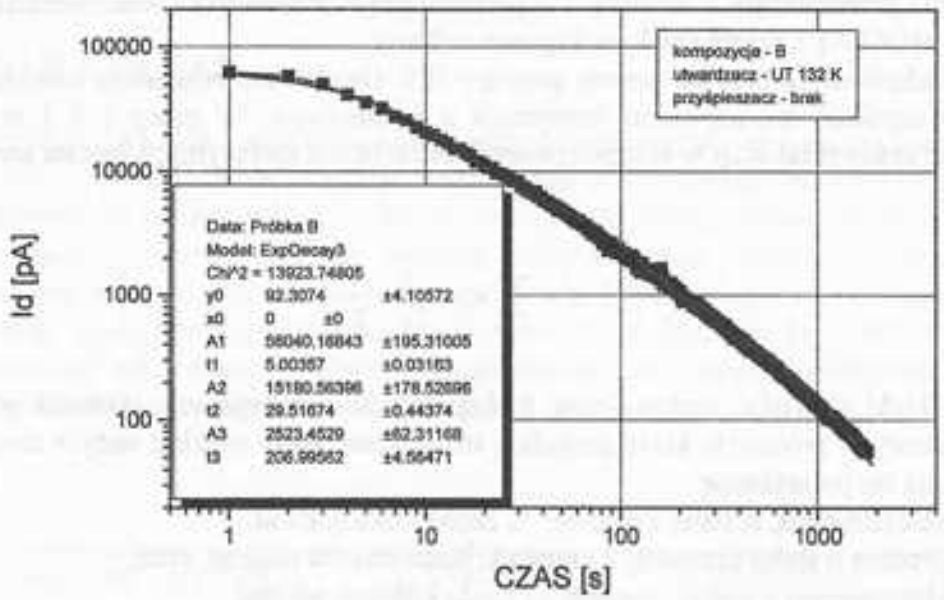
Od strony fizyki zjawiska, zastosowanie funkcji (1) dla aproksymacji, pozwala wyróżnić trzy główne struktury w próbkach, które posiadają stosunkowo mały rozkład stałych czasowych T_n i charakteryzują się polaryzacją:

- szybkozmienną, o stałej czasowej T_1 rzędu kilku sekund,
- pośrednią o stałej czasowej T_2 rzędu kilkudziesięciu sekund, oraz,
- wolnozmienną o stałej czasowej T_3 rzędu kilkuset sekund.

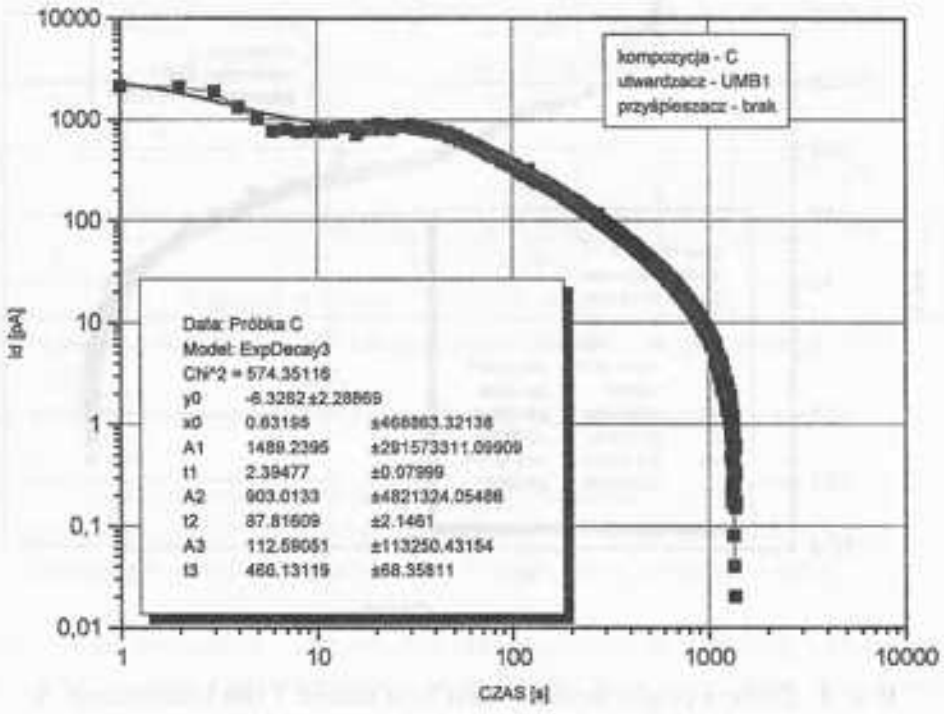
Na rys. (1 - 6) podano wartości prądów depolaryzacji w funkcji czasu dla ponad 20 próbek wykonanych z kompozycji oznaczonych literami od A do H.



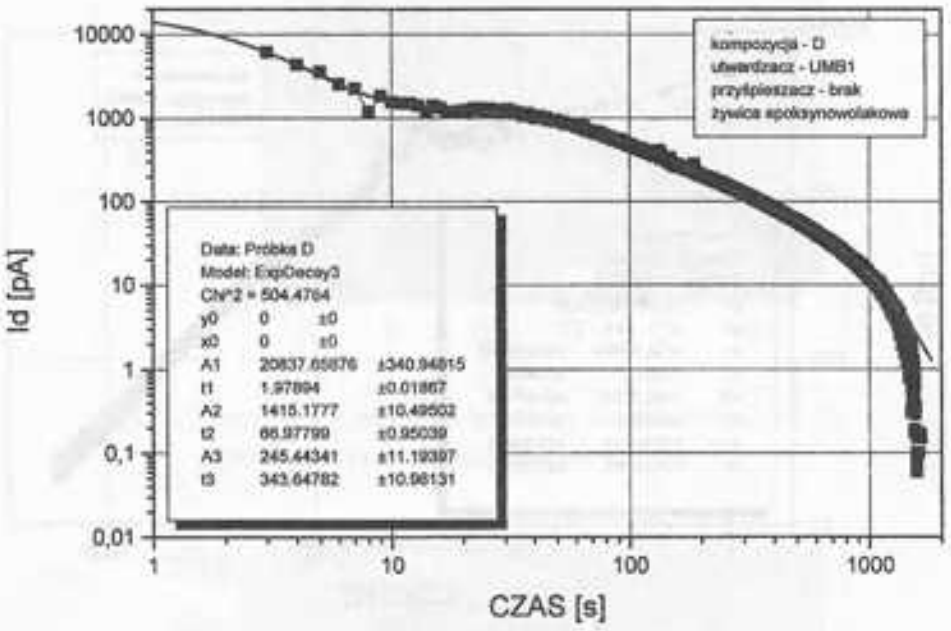
Rys. 1. Zmiana prądu depolaryzacji I_d w czasie T dla kompozycji A.



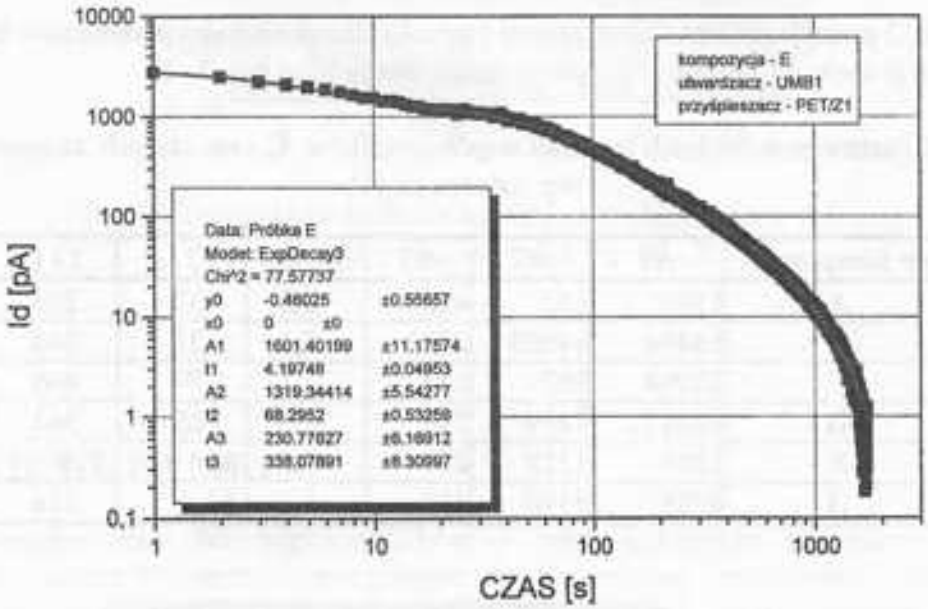
Rys.2. Zmiana prądu depolaryzacji I_d w czasie T dla kompozycji B.



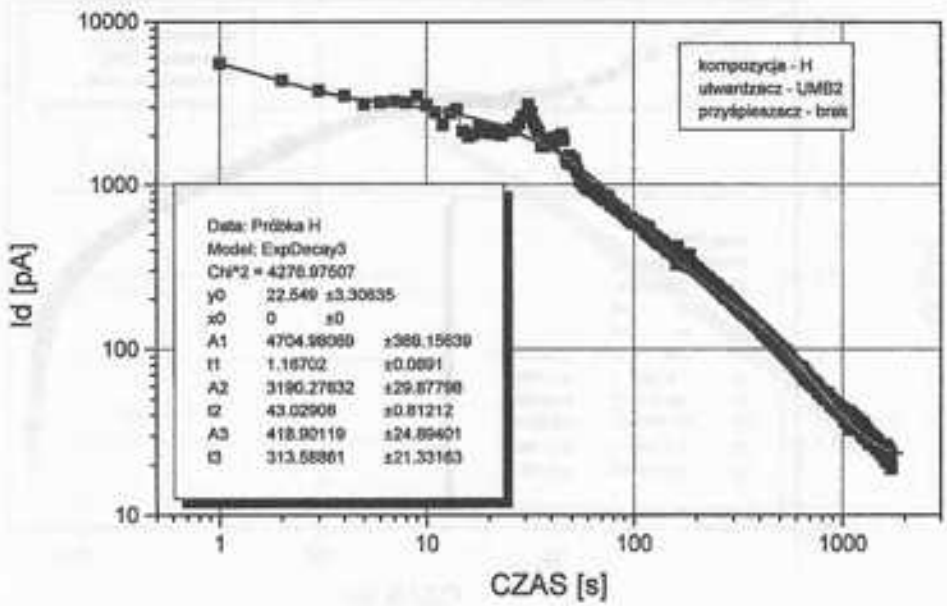
Rys. 3. Zmiana prądu depolaryzacji I_d w czasie T dla kompozycji C.



Rys. 4. Zmiana prądu depolaryzacji I_d w czasie T dla kompozycji D.



Rys. 5. Zmiana prądu depolaryzacji I_d w czasie T dla kompozycji E.

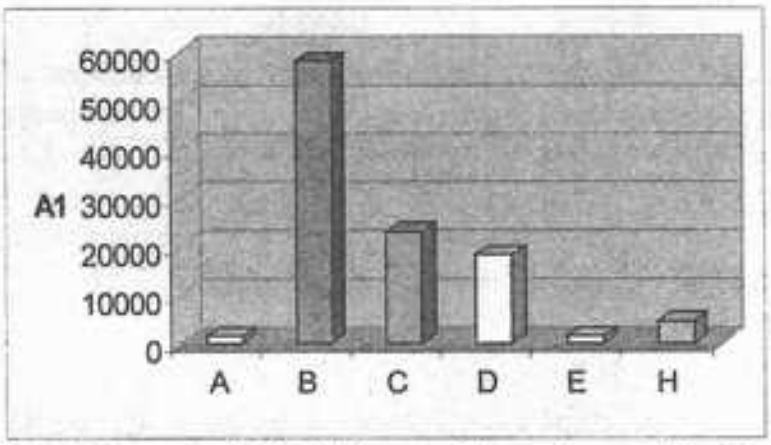


Rys. 6. Zmiana prądu depolaryzacji I_d w czasie T dla kompozycji H.

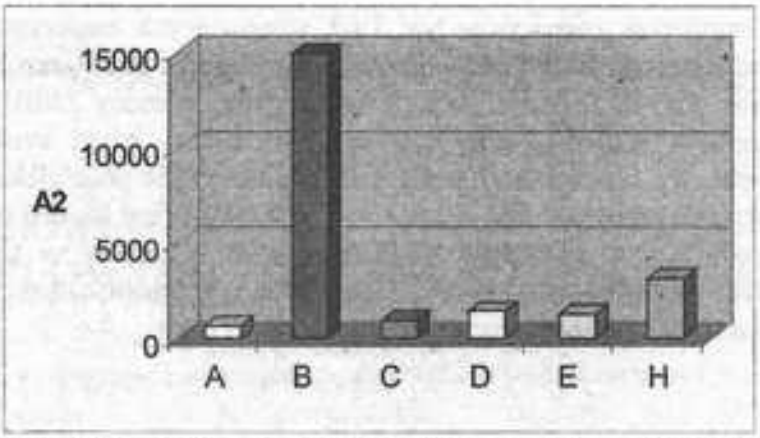
W tab. 2 podano zbiorczo wyznaczone z aproksymacji wartości parametrów funkcji (1) dla badanych próbek. W formie graficznej przedstawiono je na rys. 7 - 9.

Tab.6.2 Zestawienie średnich wartości współczynników A_n oraz stałych czasowych T_n wg. zależności (1).

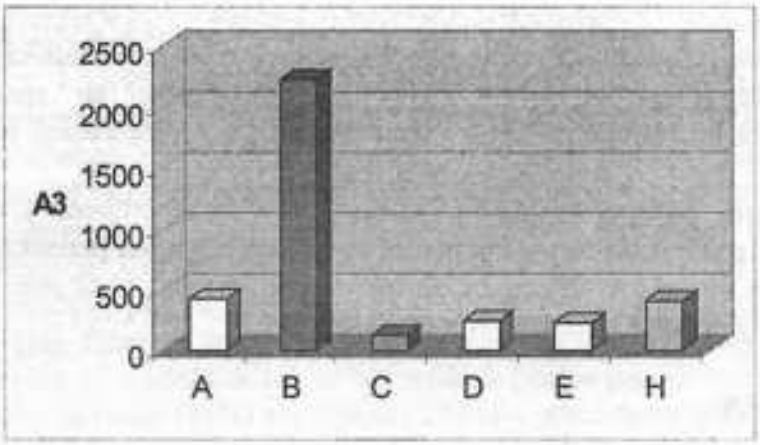
Typ kompozycji	A1	A2	A3	T1 [s]	T2 [s]	T3 [s]
A	1560	657	428	5,3	37	224
B	58468	14960	2232	5,1	31	240
C	23064	967	134	2,1	79	466
D	18245	1459	247	1,5	65	363
E	1601	1319	231	4,2	68	338
H	4705	3190	419	1,2	43	314



Rys.7. Zestawienie średnich wartości współczynników A1 (polaryzacja szybkozmienna) wg. tab. 2.



Rys. 8. Zestawienie średnich wartości współczynników A2 (polaryzacja średniozmienna) wg. tab. 2.



Rys. 9. Zestawienie średnich wartości współczynników A3 (polaryzacja wolnozmienna) wg. tab. 2.

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Porównując wielkości współczynników A odpowiadających początkowym prądom depolaryzacji można stwierdzić, że próbka B, utwardzona tradycyjnym utwardzaczem aminowym charakteryzuje się znacznie silniejszymi efektami polaryzacyjnymi niż próbki pozostałe, sieciowanie katalitycznie związkiem metalo-organicznym ZMBI
Oznacza to, że w kompozycji B występują liczne polarne struktury, mogące przenosić ładunki elektryczne. Wnioski powyższe są słuszne przy założeniu, że przedeksponencjalne współczynniki A z równania (1) są prądami początkowymi związanym z danym rodzajem polaryzacji. Zastosowanie dodatkowo przyspieszacza PET/TEA w kompozycji sieciowaniej katalitycznie wydłuża czas polaryzacji szybkozmiennej T1, jednocześnie zmniejszając udział struktur małocząsteczkowych w całkowitym prądzie początkowym (spadek współczynnika A1).
Transport ładunków elektrycznych w badanych materiałach odbywa się drogą procesów polaryzacji elektrochemicznej, przebiegających prawdopodobnie w bezpośrednim otoczeniu elektrod Świadczy to o tym, że w badanych polimerach decydujący udział ma jonowy a nie elektronowy mechanizm przenoszenia ładunków. Można więc stwierdzić że kompozycja utwardzona aminą alifatyczno - aromatyczną UT 132K ma silnie usieciowaną budowę o znacznej i charakteryzującej się małą dyspersją masie cząsteczkowej. Jednak jej duża polarność sprzyja

dysocjacji małych cząsteczek (np. jonów Na^+ i Cl^- stanowiących zanieczyszczenia), co może powodować niestabilność tego dielektryka podczas eksploatacji w podwyższonej temperaturze.

Natomiast kompozycje utwardzone katalitycznie przy pomocy ZMBI charakteryzują się większym rozproszeniem wielkości mas cząsteczkowych, przy czym struktura podstawowa, zawierająca grupy eterowe ulega znacznie słabszej polaryzacji w polu elektrycznym i posiada wyższą energię aktywacji przewodzenia; ponadto jej ruchliwość jest bardzo ograniczona (długie czasy relaksacji średnio i wolnozmiennej). Przenoszenie ładunków w tej kompozycji jest możliwe tylko poprzez nieliczne struktury o wyraźnie mniejszej masie cząsteczkowej, zanikające w przypadku dodatkowego stosowania przyśpieszacza PET/TEA.

4. WNIOSKI

- Metoda pomiaru izotermicznych prądów relaksacji (IRC) umożliwia ocenę właściwości elektroizolacyjnych usieciowanej żywicy epoksydowej oraz dobór optymalnego układu utwardzającego
- Zastosowanie do utwardzania żywicy epoksydowej związku metalo-organicznego ZMBI zmniejsza polaryzowalność kompozycji elektroizolacyjnej co sprzyja ograniczeniu upływności izolacji oraz podnosi jej trwałość w warunkach eksploatacji pod działaniem pola elektrycznego.
- W kompozycjach epoksydowych eksploatowanych w temperaturach zbliżonych do 20° C przewodnictwo elektryczne struktury podstawowej nie odgrywa praktycznie żadnej istotnej roli, a transport ładunków elektrycznych odbywa się niemal wyłącznie za pośrednictwem zanieczyszczeń jonowych obecnych w materiale.

5. LITERATURA

1. Clark F.M., Insulating Materials for Design and Engineering Practice, John Wiley and Sons, 1962.
2. patent nr 186756.
3. Pomianowski J.,Fabrycy E.,Benzimidazo-2-merkaptyd cynku jako utajony utwardzacz do żywic epoksydowych, Polimery, 1998, **11/12**, 70.
4. Fabrycy E, Gorący K., Spychaj T., Epoxy hardeners from PET degradation with aliphatic amines, 7- th European Polymer Federation symposium, Polymeric Materials.
5. Subocz J.,Michalczuk M.;Relaksacja dielektryczna w izolacji szkło epoksydowej poddanej termiczno-napięciowemu starzeniu; 7 Sympozjum Problemy Eksploatacji Układów Izolacyjnych Wysokiego Napięcia; EUI 99; Zakopane 21-23.10.9.

POLARIZABILITY AS A CRITERION OF EVALUATION OF EPOXY RESIN ELECTROINSULATING PROPERTIES

The reserchers at Section of High Voltages and Electrotechnology of Technical University of Szczecin carried out the synthesis of new latent hardener, based on zink salt of merkaptobenzimidasole. The research works aimed at determination of internal structure of tested materials and the structure influence on the size and mechanism of electric conductivity. The tests were carried out through measurements of isothermic depolarization currents (IRC). The analysis of functions obtained have confirmed significantly lower polarizability in case of the samples which were cross-linked with the new hardener. The above mentioned properties have been proved by means of comparative examinations of epoxy composites cross-linked with diffrent types of hardeners.

Aleksandra RAKOWSKA[1]

EKSPLOATACJA ELEKTROENERGETYCZNYCH LINII KABLOWYCH – DOŚWIADCZENIA ZAGRANICZNE

Doświadczenia związane z eksploatacją linii kablowych dla różnych państw są nieco odmienne – także i strategie prowadzenia eksploatacji tych linii są różne. Prowadzenie eksploatacji linii kablowych powinno być jednak oparte o wyniki badań diagnostycznych. Wydaje się, że i w naszym kraju należałoby znacznie szerzej posługiwać się metodami diagnostycznymi w ocenie stanu linii kablowych.

1. WPROWADZENIE

W sieci elektroenergetycznej z roku na rok wzrasta procentowy udział linii kablowych. Tendencja ta obserwowana jest na całym świecie, i to zarówno w sieciach średnich, jak i wysokich napięć. Wielokrotnie o decyzji budowy linii kablowej, w miejsce linii napowietrznej oraz przy budowie nowych linii, nie decydują tylko aspekty techniczne lub ekonomiczne o podejmowanej inwestycji. Coraz częściej presja społeczna i opinia ludzi mieszkających w pobliżu linii energetycznej jest czynnikiem decydującym o charakterze tej linii. W tablicy 1 zestawiono sumaryczne długości linii napowietrznych i kablowych niskiego napięcia w kilku państwach europejskich [1]. Należy dodać, że na tle takich państw jak: Holandia (100% sieci nn to linie kablowe), Wielka Brytania (81%) czy Niemcy (75%) – procentowy udział linii kablowych w sumarycznej długości sieci nn eksploatowanej przez polską energetykę zawodową jest zdecydowanie niski ponieważ jest mniejszy niż 30%. Jeszcze bardziej uwypukla się ta różnica, gdy rozpatrujemy długość linii kablowych nn, przypadających na jednego statystycznego mieszkańca danego kraju. Dla Polski wskaźnik ten bowiem to tylko około 2,6 m linii kablowej na osobę, w sytuacji gdy najniższy wskaźnik dla przytoczonych poniżej danych wynosi 6,0 m/osobę.

Tab. 1. Długość linii kablowych niskiego napięcia w wybranych krajach europejskich; bd - brak danych [wg. 1]

Kraj	*Długość linii kablowych [km]*	*Długość linii na 1 mieszkańca około [m/osobę]*	*Udział linii kablowych w sieci [%]*	*Przyrost roczny na przykładzie 1999/2000*	
				km/rok	*[%]*
Holandia	145.000	8,9	100	bd	bd
Wielka Brytania	377.000	6,4	81	9.000	1,4
Niemcy	926.000	11,3	75	40.000	4,3
Dania	92.000	17,6	65	bd	bd
Belgia	108.000	10,6	44	bd	bd
Norwegia	185.000	41,3	38	bd	bd
Włochy	709.000	12,1	30	11.000	1,6
Francja	632.000	10,5	27	20.000	3,1
Portugalia	112.000	11,9	19	bd	bd
Hiszpania	241.000	6,0	17	bd	bd
Austria	65.000	8,0	15	bd	bd

[1] Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3A, tel.(0-61) 665 2271, e-mail: aleksandra.rakowska@put.poznan.pl

Poziom napięcia znamionowego linii elektroenergetycznych jest różny dla poszczególnych państw. Przykładowo linie średniego napięcia to linie, których napięcie znamionowe zawiera się pomiędzy wartościami 10 kV i 50 kV. W niektórych państwach najpowszechniejsze są linie o napięciu 11 i 33 kV lub 12 i 24 kV. Istnieją też państwa w których linie eksploatowane są na napięciu bardzo do siebie zbliżonym, np. Belgia i linie 30 oraz 36 kV.

W tablicy 2 zestawiono długości eksploatowanych linii średniego napięcia dla kilku wybranych państw europejskich [wg 1]. Przypadająca długość linii kablowych średniego napięcia dla mieszkańca naszego kraju wynosi tylko 1,4 km – a więc znacznie mniej niż w państwach, dla których dane zawarto w tablicy.

Tab. 2. Długość linii kablowych średniego napięcia w wybranych krajach europejskich; bd - brak danych [wg. 1]

Kraj	*Długość linii kablowych [km]*	*Długość linii na 1 mieszkańca około [m/osobę]*	*Udział linii kablowych w sieci [%]*	*Przyrost roczny na przykładzie 1999/2000*	
				km/rok	*[%]*
Holandia	101.900	6,3	100	2.000	2,0
Belgia	65.000	6,4	85	2.000	3,0
Wielka Brytania	372.000	6,3	81	5.200	1,4
Niemcy	475.000	5,8	60	12.000	2,5
Dania	55.000	10,5	59	bd	bd
Szwecja	98.700	12,3	53	bd	bd
Włochy	331.000	5,7	35	5.100	1,5
Francja	574.000	9,5	32	8.000	1,4
Norwegia	92.000	20,5	31	bd	bd
Hiszpania	96.448	2,4	30	bd	bd
Portugalia	58.000	6,1	16	950	1,6
Austria	57.000	7,0	15	bd	bd

Najostrzejszej weryfikacji jakości kabli elektroenergetycznych średniego napięcia dokonują służby eksploatacyjne w poszczególnych zakładach energetycznych. Właśnie eksploatacja kabli w warunkach rzeczywistych pozwala ocenić, czy dane rozwiązanie konstrukcyjne układu izolacyjnego pozwala na jego właściwą pracę w wymaganym czasie. Najważniejszą rolą kabli elektroenergetycznych jest bezawaryjny przesył energii elektrycznej o odpowiedniej jakości. Do zapewnienia bezawaryjnej pracy kabla wymagana jest więc jego wysoka jakość i zachowanie tej możliwie niezmiennej jakości przez długi okres eksploatacji. Ważnym parametrem określającym jakość linii kablowej jest więc współczynnik uszkadzalności, który definiowany jest jako liczba uszkodzeń zarejestrowanych w ciągu roku, odniesionych do 100 km linii kablowej. Średnia wartość współczynnika uszkodzeń dla kabli o izolacji polimerowej (XLPE oraz EPR) dla większości państw europejskich dla uszkodzeń wewnętrznych wynosi 0,2-0,4 uszkodzeń/100 km w ciągu roku. Jest to ciągle wartość znacznie niższa od wartości uzyskiwanych w Polsce. Niestety na wielu obszarach naszego kraju uzyskiwane są kilkunastokrotnie wyższe wartości współczynnika uszkodzeń. Na terenie działania tylko kilku Spółek Dystrybucyjnych udało się uzyskać jednocyfrowe wartości tych współczynników [2].

Doświadczenia polskiej energetyki związane z eksploatacją linii kablowych średniego napięcia zwracają uwagę na fakt, że w tej dziedzinie należy rozwiązać jeszcze wiele problemów. Może więc należałoby przeanalizować strategie prowadzenia wszelkich czynności eksploatacyjnych na liniach kablowych przez inne państwa.

Wszelkie czynności eksploatacyjne powinny być podporządkowane kilku kryteriom, pozwalającym zadecydować czy kabel należy wymienić, czy poddać diagnostyce stanu izolacji, czy też nie podejmować żadnych czynności. Efektywna praca sieci energetycznej wymaga

bowiem umiejętnego uwzględniania czynników technicznych (znajomość aktualnego stanu sieci) oraz finansowych. Najczęściej stosowane metody prowadzenia eksploatacji sieci to:

- CM (*corrective management* – działania korygujące) – wymiana lub naprawa elementów sieciowych jest dokonywana jedynie w przypadku wystąpienia awarii. Zastosowanie takiej strategii jest opłacalne tylko w sytuacji niskich kosztów inwestycyjnych oraz awarii o małym znaczeniu dla ciągłości dostaw energii. Jej zastosowanie ogranicza się w praktyce do sieci niskiego napięcia. Jedynie w przypadku częstego powtarzania się awarii tych samych urządzeń (np. wadliwa seria lub dany model urządzenia) działania korekcyjne powinny zostać odpowiednio zmodyfikowane;
- TBM (*time based management* – eksploatacja oparta na założonych okresach czasu) – w wielu zakładach energetycznych, w efekcie dotychczas stosowanej praktyki eksploatacyjnej, określono okres czasu, po osiągnięciu którego dany element sieci powinien być zastąpiony nowym. Takie przybliżenie daje z reguły satysfakcjonujące efekty praktyczne. Z ekonomicznego punktu widzenia nie jest to jednak rozwiązanie najefektywniejsze kosztowo, ponieważ cześć urządzeń w momencie ich wymiany nie osiąga rzeczywistego czasu życia, możliwego do uzyskania w warunkach innej praktyki eksploatacyjnej;
- CBM (*condition based management* – eksploatacja oparta na ocenie stanu urządzeń) – czynności eksploatacyjne są uzależnione od stanu technicznego urządzeń. Przy takim podejściu stan urządzeń jest na bieżąco analizowany na podstawie najważniejszych parametrów technicznych. Z tego powodu metoda ta powinna opierać się na zaawansowanych metodach diagnostycznych oraz systemach monitorowania;
- RCM (*reliability centered management* – eksploatacja oparta na niezawodności i znaczeniu urządzeń dla systemu) – oprócz aktualnego stanu elementu sieciowego, jest w niej brane pod uwagę również znaczenie urządzenia dla ciągłości pracy szerzej rozumianego systemu elektroenergetycznego [3, 4].

2. Wspomaganie podejmowania decyzji

Na pierwszym miejscu przy podejmowaniu decyzji o wyborze czynności eksploatacyjnych konieczna jest znajomość historii dotychczasowej pracy kabla, a ściślej mówiąc linii kablowej oraz planowane przyszłe warunki pracy. Pod tym ostatnim rozumie się możliwości przeciążeń, stan obciążenia prądowego kabla itp. Dodatkowo informacje te należy rozważyć pod kątem ogólnej charakterystyki danej linii, a więc czy nie został zastosowany specjalny, niestandardowy typ kabla lub osprzętu kablowego. Dodatkowo, decyzję należy uzależnić od ważności rozpatrywanej linii w systemie elektroenergetycznym. Informacje te oraz znajomość stanu innych elementów danego wycinka systemu pozwalają zadecydować czy prowadzić diagnostykę danej linii, czy też nie. Pomimo oferowanych coraz tańszych, doskonalszych oraz o zmniejszonych gabarytach urządzeń diagnostycznych przez ich producentów, prowadzenie diagnostyki jest nadal czynnością dość kosztowaną. Na rysunku 1 przestawiono schematycznie sposób podejmowania decyzji o prowadzeniu diagnostyki linii kablowych [5].

Rys.1. Diagnostyka kabli jako element strategii eksploatacyjnej

Podstawowym wskaźnikiem ogólnego stanu sieci jest prowadzenie dokładnej statystyki awaryjności. Dalsze czynności są uzależnione od konkretnej aplikacji [6]. Jedno z holenderskich przedsiębiorstw energetycznych stosuje np. ciągłe badania wytrzymałości linii kablowych z izolacją tradycyjną i jednym z typów muf żywicznych przy napięciu stałym [7]. Ze względu na dużą awaryjność tych muf przebicie podczas badań powoduje natychmiastową wymianą uszkodzonego elementu. Przy braku przebicia i wystąpieniu asymetrii prądu upływu prowadzone są dalsze pomiary z wykorzystaniem wyładowań niezupełnych przy bardzo niskiej częstotliwości. Pojawienie się wyładowań niezupełnych w badanej mufie świadczy o konieczności jej wymiany na nową. Brak detekcji wnz kończy testy i mufa pozostaje w eksploatacji. Według danych z przedsiębiorstwa, tego typu diagnostyka redukuje do zera problemy z tym zawodnym elementem sieci.

Efektywność metody CBM znacznie wzrasta w sytuacji właściwego stopniowania różnych badań diagnostycznych. Ogólny stan sieci kablowej można poprawić poprzez stosowanie losowej kontroli wybranych 5-10% najważniejszych jej części. Decyzja o wykonaniu badań może polegać również na wyborze określonych obwodów, np. głównych linii zasilających lub obsługujących klientów strategicznych. Z reguły służby eksploatacyjne dysponują wiedzą, które odcinki sieci są najważniejsze, a które sprawiają najwięcej problemów. Te właśnie elementy powinny podlegać badaniom w pierwszej kolejności. Dodatkowo, otrzymane na ich podstawie wyniki mogą stanowić cenne źródło doświadczeń i wniosków, które będzie można zastosować w pozostałej części sieci.

3. Metody diagnostyczne stosowane w wybranych państwach

Decyzja dalszego użycia, częściowej modernizacji lub wymiany kabli energetycznych wymaga znalezienia kompromisu techniczno-ekonomicznego między koniecznością utrzymania niezawodności sieci na akceptowalnym poziomie - z jednoczesnym uniknięciem zbędnych inwestycji [8]. Przykładowo we Włoszech stosuje się w tym celu 3-poziomowy schemat określania stanu linii kablowych, zgodny z tablicą 3 [9]:

Najważniejsze elementy podlegające ocenie, to:
- charakterystyka konstrukcyjna kabli, głowic i elementów mechanicznych;
- właściwe połączenia do konkretnych zastosowań oraz ich aktualny stan techniczny;
- warunki ułożenia (minimalne kąty zgięcia, obciążenie czynniki środowiskowe, problem propagacji ognia);
- zabezpieczenia nadprądowe i przeciwprzepięciowe;
- zabezpieczenia mechaniczne, termiczne i środowiskowe;
- krytyczna inspekcja wzrokowa.

Trzeci poziom schematu obejmuje: testy niszczące (napięciem stałym lub przemiennym) oraz testy diagnostyczne (nieniszczące). W ramach tych testów wykonuje się np. pomiar wnz.

Tab. 3. Schemat oceniania stanu linii kablowych w energetyce włoskiej

Poziom 1: zbieranie danych	⇒	Wstępna ocena poprawności wykonania ciągów liniowych dla określonych zastosowań i charakterystyk eksploatacyjnych
- mapa sieci		
- parametry robocze		
- podstawowe charakterystyki eksploatacyjne		
- metody ułożenia		
- wyniki oględzin, przeglądów i badań		
Poziom 2: inspekcja wzrokowa	⇒	Wstępna ocena stanu ciągów liniowych z uwzględnieniem aspektów ważności linii, rzeczywistych obciążeń i widocznych śladów uszkodzeń
- warunki ułożenia		
- warunki serwisowania		
- stan połączeń		
Poziom 3: diagnostyka in-site	⇒	Ocena stanu kabla
- test dielektryczny		
- pomiary wskaźników diagnostycznych		

Godne naśladowanie mogą być kompleksowe działania energetyki francuskiej, które doprowadziły do formalnego uzgodnienia między EdF i rządem w 1992 r. strategii rozwoju sieci elektroenergetycznej [10]. Uzgodnienia te wprowadziły limity rozwoju linii napowietrznych, dając jednocześnie zielone światło dla linii kablowych. Wprowadzony w 1995 r. 3-letni program monitorowania awaryjności linii SN jasno pokazał niską awaryjność nowoczesnych kabli z izolacją XLPE:

- łączny wskaźnik awaryjności sieci SN — 2 uszk./100 km rocznie
- awaryjność na skutek działania czynników zewnętrznych — 1 uszk./100 km/rocznie
- awaryjność osprzętu — 0,9 (osprzęt kabli XLPE); 3,5 (osprzęt kabli papierowych)
- awaryjność kabli — < 0,1 (kable XLPE); 3,5 (kable papierowe)

Wskaźnik mniejszy niż 0,1 uszk./100 km rocznie oznacza opanowanie problemu wpływu drzewienia wodnego na stan izolacji. Mogą jednak pojawiać się problemy związane z penetracją wody, spowodowane głównie uszkodzeniami mechanicznymi podczas układania linii kablowych. Dość niespodziewanie osprzęt, z awaryjnością 0,9 uszk./100 km/rocznie, stał się krytycznym elementem linii SN. Technologie wykonywania muf ulegają jednak ciągłej poprawie, w ciągu ostatnich 10. lat przechodząc z metod taśmowych do prostszych w montażu technologii termo- i zimnokurczliwych, prefabrykowanych lub nasuwanych. Pożądane stają się metody diagnostyczne, pozwalające na detekcję słabych punktów w osprzęcie kablowym.

Istnieje tylko kilka metod diagnostycznych, które mogą być stosowane w warunkach komercyjnych. Zwykle zakłady energetyczne stosują takie metody, które pozwalają im rozwiązać problem awarii spowodowanych drzewieniem wodnym w izolacji. Stąd skuteczność tych metod we Francji może być bardzo niewielka, gdyż tematyka ta nie stanowi dużego problemu w tym kraju. Głównymi metodami nieniszczącymi są:

- pomiary tgδ przy bardzo niskiej częstotliwości 0,1 Hz i napięciu $3U_o$,
  - nowa izolacja LDPE — $<10^{-4}$
  - nowa izolacja XLPE — $10^{-4} < tg\delta < 3x10^{-4}$
  - izolacja papierowa lub zniszczona drzewieniem wodnym izolacja XLPE — $>> 10^{-3}$
- pomiar izotermicznego prądu powrotnego – analiza prądu depolaryzacji kabla ładowanego i rozładowywanego niskim napięciem DC,
- pomiar wyładowań niezupełnych i lokalizacja miejsc uszkodzeń kabli.

Duża wartość tgδ może być też powodowana przez błędny montaż muf i głowic, jak również na skutek uszkodzeń mechanicznych kabla podczas układania. Trudno jest wówczas zlokalizować rzeczywiste źródło uszkodzenia. Doświadczenia potwierdzają, że z reguły mufy stanowią źródło nadmiernie dużych wartości tgδ. Dodatkowe informacje uzyskane na podstawie pomiaru kształtu prądu mogą być przydatne w interpretacji uzyskanych wyników. Należy zauważyć, że wyniki pomiaru tgδ są w silnym stopniu uzależnione od temperatury (wartość tgδ rośnie wraz z nią), dlatego kabel po wyłączeniu powinien być zawsze schłodzony. Metoda zapewnia szybki pomiar i nie pogarsza stanu ocenianego kabla.

Kolejna stosowana we Francji metoda diagnostyczna polega na analizie prądu depolaryzacji. Ta metoda jest stosowana przede wszystkim w kablach podlegających zaawansowanemu drzewieniu wodnemu. Ponieważ używane jest niskie napięcie, nie ma możliwości generowania wnz, które stanowią rzeczywiste oznaki fizyczne postępującego procesu degradacji izolacji lub złego montażu osprzętu. Ze względu na to, że na mierzony kształt prądu depolaryzacji wpływają wszystkie elementy kabla pomiędzy żyłą główną i powrotną (pancerzem), niekiedy trudno jest określić źródło takiego, a nie innego kształtu krzywej prądowej. Dla przykładu intensywna penetracja wody w taśmach uszczelniających konstrukcję kabla może prowadzić do błędnych wniosków o silnym zestarzeniu kabla. Należy więc być ostrożnym w interpretacji wyników

pomiarowych, chociaż należy zaznaczyć, że ta metoda potrafi ujawnić nawet niewielkie zmiany starzeniowe kabli.

Przez lata pomiary wnz były krytykowane ze względu na utrudnioną analizę wyników pomiarowych. Początkowo miały one zastosowanie w kablach z izolacją papierową, w których poziom wyładowań jest znacznie wyższy niż w kablach z izolacją syntetyczną. Później kilku producentów wprowadziło możliwość jednoczesnego pomiaru i lokalizacji źródła wyładowań. Wszystkie systemy pozwalają wyznaczyć intensywność i napięcie zapłonu wnz. W liniach SN we Francji metody te mają zastosowanie w lokalizacji źle wykonanych muf i defektów kabli. Mogą być użyteczne po wykonaniu testu VLF w przypadku błędnej diagnostyki tgδ. Są jednak kosztowne w użyciu i ciągle wymagają dopracowania konstrukcyjnego. Przykładem użycia systemu diagnostycznego tego typu jest program testowy, który rozpoczął się w 1998 r. w Bourdeaux. Początkowo duży problem stanowiło znalezienie długich linii kablowych SN z jednolitym rodzajem izolacji w tym samym wieku. Pomiary tgδ były zaskakujące. Część linii wykazywała dużą wartość tgδ (znacznie powyżej $2{,}2\times10^{-3}$), niektóre osiągały 10×10^{-3}. W jednym przypadku zanotowano wynik 100×10^{-3}. Nie zauważono bezpośredniej korelacji między wiekiem kabla, a mierzoną wartością kąta stratności dielektrycznej, chociaż najnowsze linie częściej wykazują wartość $<1{,}2\times10^{-3}$. Ponieważ nie była prawdopodobna sytuacja, w której zarówno nowe jak i stare linie mogłyby być w równie dużym stopniu objęte problemem drzewienia wodnego, podejrzenia szybko przeniosły się na mufy i głowice. Można nawet stwierdzić, że wszelkie defekty w kablach są skutecznie maskowane przez zły osprzęt.

Z kolei eksperyment niemiecki polegał na zbadaniu 53 odcinków linii kablowych z izolacją PE i XLPE, wyprodukowanych w latach 1972-1985 [11]. Poniżej przedstawiono schematycznie procedurę stosowaną przy prowadzeniu tych badań:

Sprawdzenie poziomu wnz
Wstępne nawilżanie: para wodna 50°C + U_o, 120 godz.
Chłodzenie 10-14 godz.
Pomiar prądu depolaryzacji (t, U) | Pomiar tg δ (f, U)
U_o, 100-120 godz.
Pomiar tg δ (f, U) | Pomiar prądu depolaryzacji (t, U)
U_o, 100-120 godz.
u_r (tg δ, U)
Badanie wytrzymałości elektrycznej AC
Badania mikroskopowe w zakresie zawartości wody i obecności drzewek wodnych

Badania poziomu wnz miały na celu wyeliminowanie próbek, w których poziom wyładowań przy napięciu $2U_o$ przekraczał 50 pC. Ponieważ większość kabli z ekranami taśmowymi osiąga znacznie większe wartości, dlatego kable te poddawano dodatkowym badaniom.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- kable z dużą liczbą drzewek wodnych dają silniejszą odpowiedź dielektryczną niż kable nowe lub o lekko pogorszonej jakości;
- wartość tgδ w warunkach 0,1 Hz i U_o większa niż 0,001 oraz prąd depolaryzacji i_d dla t=10 s przy U_o większy niż 100 pA - wskazują na silne drzewienie wodne w izolacji. Kryteria diagnostyczne dla izolacji homopolimerowej starszej generacji nie mogą być stosowane w najnowszych konstrukcjach kabli;
- pomiar tgδ w funkcji zmian częstotliwości wydaje się być bardziej czuły na obecność drzewienia wodnego niż pomiar prądu depolaryzacji;
- stopień nieliniowości badanego parametru tzn. nieliniowa relacja między wynikami uzyskanymi dla różnych napięć pomiarowych, jest mniej ważnym parametrem diagnostycznym. W dziedzinie częstotliwości Δtgδ może być kryterium dodatkowym przy określaniu tgδ w silnie zdefektowanych kablach;
- czas relaksacji dielektrycznej na skutek przepływu prądu depolaryzacji nie jest skorelowany ze stopniem rozwoju drzewienia wodnego.

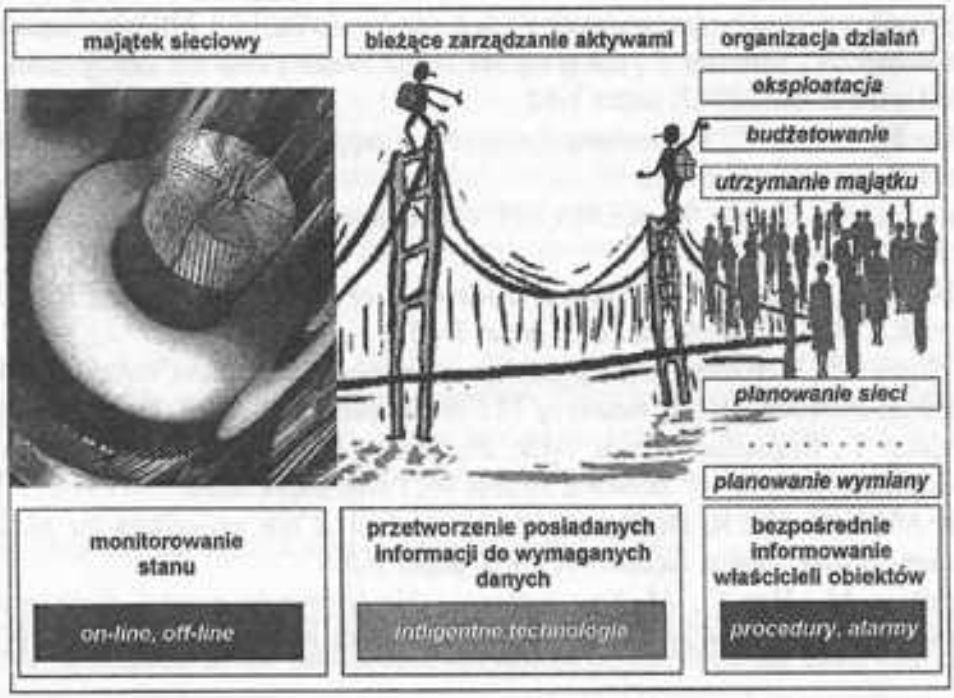
4. Podsumowanie

Wykorzystanie nowoczesnych metod diagnostycznych pozwala uzyskać znacznie więcej informacji o stanie kabli i osprzętu przy zdecydowanym ograniczeniu ryzyka przedwczesnego wyłączenia linii. Nakłady ponoszone na bieżącą kontrolę stanu sieci są w dłuższym okresie czasu znacznie niższe w porównaniu z kosztem napraw i ewentualnych odszkodowań za niedostarczoną energię elektryczną.

Dla zwiększenia efektywności ekonomicznej działania zakładów energetycznych konieczne jest obniżenie poziomu awaryjności linii elektroenergetycznych, a w szczególności linii kablowych średniego napięcia. Obecnie głównym zadaniem w tym zakresie jest ustalenie sposobu zarządzania czynnościami eksploatacyjnymi, w tym także opracowanie optymalnej diagnostyki linii kablowych oraz metod pozwalającym weryfikować, które linie należy poddać tej diagnostyce.

Wprowadzenie skutecznych metod diagnostycznych wymaga wieloletnich badań doświadczalnych, potwierdzających ich przydatność. Preferowane wydają się być metody detekcji lokalnych efektów starzenia lub defektów, które mogą bezpośrednio wpłynąć na wystąpienie awarii. Dodatkowo konieczna jest bardzo dobra znajomość zjawisk związanych z miejscowym osłabieniem izolacji oraz pełna wiedza na temat statystyk awaryjności poszczególnych elementów sieci kablowej.

Jak wykazały dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne, różne typy defektów linii kablowych mogą być wykrywane przy zastosowaniu innych metod diagnostycznych. Przewaga danego typu źródeł uszkodzeń w liniach kablowych SN w poszczególnych państwach powoduje, że w różnych regionach preferowane są odmienne metody oceny stanu izolacji kabli elektroenergetycznych. Zawsze jednak konieczne jest gromadzenie danych – rysunek 2.



Rys. 2. Kompleksowe zarządzanie liniami kablowymi i planowanie strategii

Aby podjąć prawidłowe decyzje strategiczne dotyczące wyboru odpowiednich czynności eksploatacyjnych, należy uwzględnić następujące rodzaje informacji:

1. informacje techniczne, których dostarczają: czynności eksploatacyjne, diagnostyka, opracowane odpowiednio procedury badawcze oraz ocena efektywności i niezawodności działania;

2. informacje ekonomiczne 1 (*w celu zarządzania majątkiem*), a w tym: ocena ekonomiczna czynności eksploatacyjnych, oszacowanie ekonomiczne procedur eksploatacyjnych, określenie krzywych życia oraz kosztów związanych z dalszą eksploatacją;
3. informacje ekonomiczne 2 (*w celu oceny zysku*), a w tym: oszacowanie ryzyka wystąpienia awarii oraz wybór optymalnego scenariusza postępowania i optymalnej strategii dalszego działania,
4. aspekt społeczny prowadzonych działań .

Wydaje się, że w przypadku eksploatacji linii kablowych strategia CBM (eksploatacja oparta na stanie urządzeń czyli na wynikach badań diagnostycznych) jest niezbędnym minimum działań w celu optymalizacji ponoszonych przez spółki dystrybucyjne kosztów oraz poprawy jakości dostaw energii. Podstawą tak prowadzonej eksploatacji powinny być wyniki badań diagnostycznych - wiarygodnych i pozwalających jednoznacznie ocenić stan linii kablowych.

5. LITERATURA

1. *Undergrounding of electricity lines in Europe*, Commission of the European Communities, European Energy Infrastructure, Final Report, pp.1-38, December 2003
2. Rakowska A., *Awaryjność linii kablowych średniego napięcia na przykładzie pięciu spółek dystrybucyjnych*, Biuletyn PTPiREE: Klient, Dystrybucja, Przesył, Nr 9/2001
3. Hajdrowski K., *Diagnostyka linii kablowych SN – doświadczenia zagraniczne, III Konf. Elektroenergetyczne linie kablowe – stan obecny, nowe techniki*, PTPiREE, Jelenia Góra, 27-28 września 2001
4. Rakowska A., Hajdrowski K., *Zarządzanie eksploatacją kablowych linii elektroenergetycznych, Przegląd Elektrotechniczny 1'2003, IX Sympozjum Problemy Eksploatacji Układów Izolacyjnych Wysokiego Napiecia*, EUI 2003, Zakopane 2003,
5. Van Schaik N., Steennis F., *CBM on MV cable systems and the use of cable diagnostics*, CIRED, Barcelona, 2003, paper 1-62
6. Gulski E., Wester F., *Datamining for decision support of CBM of power cables*, CIRED, Barcelona, 2003, paper 6-55
7. Van Schaik N., Boone W., KEMA, *MV Cable maintenance, practices and results*, Jicable 99, Paris, paper B.5.4
8. De Nigris M., Marino E., *Condition assessment of power cables in the ENEL distribution network*, CIRED, Barcelona, 2003, paper 1-66
9. De Nigris M., Vercelotti U., *Condition assessment of medium voltage power cables in industrial environments by means of VLF techniques*, Jicable 99, Paris, paper C.10.9
10. Brincourt T., Regaudie V., EdF DER, *Evaluation of different diagnostic methods for the French underground MV network*, Jicable 99, Paris, paper B.5.2
11. Muhr M., Woschitz R, *Discharge current method. A test procedure for plastic-insulated medium-voltage cables*, Jicable 99, Paris, paper B.5.5
12. Mashikian M., Han C., *Medium voltage cable testing by partial discharge location; a comparative discussion of field generated diagnostic results*, Jicable 99, Paris, paper B.6.3

POWER CABLES LINES - SERVICE EXPERIENCES

Technical and economical evaluation of utilities activity results in necessity of use adequate maintenance strategies on cable network. Diagnostic methods and maintenance strategies used for optimal asset management are presented for a few exemplary countries.

Electric Power Systems 2020

A prospective view

Professor Doktor-Ing. Doctor h.c. Heinz-H. Schramm
Technical University Berlin

(This contribution is based on a paper by the former President of CIGRÉ Michel Chamia, published in ELECTRA No. 205, December 2002, pp. 6-17.)

Based on the present situation in industrialized (OECD) countries and in Developing Countries, which together represent about 90 % of the world wide consumption of electric energy, an analysis is made for the next decades and probable changes are stated. From this analysis it is easy to foresee the trends in newly industrialized countries, also.

The situation:

The electric infrastucture in the OECD countries is characterized by widespread and dense transmission systems and by ageing generation and transmission equipment. In the year 1990 about 12 % of the generation capacity (GW) was more than 30 years old. In the year 2000 this share had grown to 31 % and will reach about 50 % by the year 2010. By that time almost 65 % of this generation will be based on fossile fuels with an average thermal efficiency below 35 %. At the same time the total installed generating capacity in the OECD countries will rise from 1900 GW in the year 2000 to 2500 GW by the year 2020. Enviromental concern requires cleaner generating technologies with higher energy conversion efficiencies. These figures and facts show that a program is urgently needed within the next 10 years to replace outdated generation equipment which has reached the end of its lifetime, to install additional generation, and to lower the impact on the enviroment by improving the efficiency and reducing emissions.

Basically the same considerations are valid for the transmission and distribution networks as their structure is closely connected to the generation. Their technical lifetime is often longer than that of generating equipment. But, a large part of the network infrastructure is even older than 70 years. This shows the growing need for replacements in this field, also. Additional aspects are the request to reduce the visual, electromagnetic and acoustic impact of transmission lines and substations with their installations.

The liberalisation of electric energy markets has a great influence on the economic situation and behaviour of utilities. In the past decade the rate of investments has been kept low. As a consequence the generation peak reserve margins in several countries have fallen from above 20 % in the year 1990 to around 10 % in the year 2000. At the same time the interregional and international energy exchange has been increased. However, one must be aware that the existing transmission systems have been designed for an infrastructure where generation and load centres are rather closely together. Therefore, bottlenecks already have developed within the grids and are limiting the possible long distance energy transport. New technical and financial solutions are necessary to overcome these limitations.

In the Developing Countries the situation is somewhat different. The per capita electric energy consumption in these countries lies between 340 and 3400 kWh/a, compared to 2200 to 22.000 kWh/a in OECD countries. Developing Countries have started large programs for further electrification as they are aware that the supply of electric energy is vital for the economic development and for improvements in health, education and quality of life of their citizens. This necessity is further stressed by the trend of urbanisation in these regions. While in the period from the year 2000 to the year 2020 cities in OECD countries expect to grow by 10 % the urban population in Developing Countries is expected to rise by more than 60 %. This will result in further industrialisation with a growing need for electric energy.

The electrical infrastructure in most Developing Countries is relatively young. Generating stations aged more than 30 years had a share of less than 5 % in the year 1990, about 16 % in the year 2000, and will reach 27 % in the year 2010. By that time about 73 % of them will burn fossile fuels. The generating capacity will have a high rate of increase: from 1050 GW in the year 2000 (55% of the OECD capacity) to 2400 GW in the year 2020, i.e. almost the same capacity level as in the OECD countries. Along with it the transmission networks will grow in size and develop from regional via national to international systems. This expansion will require high investments, financed both nationally and by the World Bank.

Changes:

Trends in the further development in the electrical infrastructure will be based on changes in the mix of generation and in the energy market.

According to the International Energy Agency's (IEA) Outlook 2000 in the OECD countries the share of generation based on natural gas will rise from 14 % in the year 2000 to 31 % in the year 2020. While the use of coal will not change the share of oil and nuclear will be reduced. Hydro energy will drop from 15 % to 12 %, and other renewable energies, like wind, goethermal, solar and biomasse, will double their share from 2 % to 4 %.

In the European Union (EU) electric power generation using natural gas increased by 128 % between 1990 and 1998. Presently almost 6 % of Europe's electric energy is generated from renewable resources other than hydro. This share will rise to 12 % by the year 2010.

A dramatic increase by a factor 10 is foreseen in the next 20 years for distributed electric energy generation in Europe, using e.g. small gas turbines, combined power and heat production, etc.

Such change in the fuel mix generation technology must have an impact on the network structure in the OECD countries. Today, large central power stations dominate in the electric power production. In future they will be supplemented by a large number of small and medium sized generating units, although those will not be a replacement of the large power stations.

For the Developing Countries the IEA predicts an increase in the use of natural gas from a share of 13 % (700 TWh/a) of the total electric energy generation in the year 2000 to 23 % (2600 TWh/a) in the year 2020. The share of coal will grow slightly during this time, while that of oil and hydro will become smaller. No changes are predicted for the shares of nuclear (about 4 %) and other renewables (1 %).

As the generating mix will not change significantly the structure of the transmission systems will also remain practically the same, apart from the already mentioned fact that national and international grids will be developed further.

In China the situation is rather special. This country produces about 1/3 of the total electric energy of all Developing Countries. Coal is of particular importance and is predicted to produce 2600 TWh/a in the year 2020. This is about 70 % of the electric energy generation in this country, with hydro amounting to 20 %.

The changes in the electricity market in the OECD countries will result from the liberalisation and the opening of the national markets. While in production and delivery competition will grow the transmission and distribution remain a natural monopoly. Different countries may react in different ways with the common aims to reduce gradually discriminations, to establish cost-reflective and simple tariffs, and to improve the network structures. This should resolve the problems with bottlenecks and other technical restrictions.

Basically, the Developing Countries will follow this trend. It is expected that by the year 2020 the electricity sector of some Developing Countries will operate in a similar manner as in the OECD countries.

Electric power system structures by 2020:

The discussed situation and changes will shape the structures of the electric power systems. Consequently, two scenarios can develop: The first is called "Distribution Scenario", which is based on centralised generation as today, with a principally unidirectional power flow from generation via transmission to the loads. The second scenario assumes a share of 20–30 % of distributed generation, while the rest of the electric energy production remains based on centralised power stations. This is called "Mixed Scenario". The small generating units are embedded in the network structure and the distribution networks are used partly directly to carry contributions of generation. Both scenarios may exist regionally or nationally in parallel.

As already mentioned, the network system termed "Distribution Scenario" will continue to play a dominant role as the centralised generation will, even in the year 2020, provide the major share of the electric energy. However, some factors may be mentioned which will have an influence on the planning and the operation of such systems. The enviromental impact shall be reduced by use of cleaner technologies and fuels as well as by using transmission elements which are less visual, like cables, metal-enclosed substations, etc. New technologies will be applied to raise the transport capabilities of existing networks and to lower the effects of faults. Advanced information technologies will be applied for the load flow management, for network control, and to make use of the most efficient form of energy available at the particular moment. Losses in transmission annd distribution will be reduced as well as the efficiency by the end-user will be raised. The total operational costs will be reduced by lower investment costs, more intelligent maintenance and repair management, and by the extension of the life time of the equipment.

Most of these factors apply for systems shaped according to the "Mixed Scenario", as well. However, an additional important factor to make the "Mixed Scenario" operable is that the network will be able to react in a similar manner in case of fluctuations and failures as the existing transmission grid. This necessitates that the generating units are interconnected via real-time information and control systems to be, if necessary, orchestrated to deal with reactive power management, frequency changes, providing power reserves, etc. This requires

not only an extensive network of intelligence superimposed to the whole system, but also a high degree of fexibility of each of the system components. Obviously, such operation will be more complex than in the traditional transmission and distribution networks, and it needs new planning and operating procedures.

Conclusion:

The importance of electric energy will rise, in particular in the Developing Countries. The historic development from local to national and finally to large area transmission networks which is typical for the OECD countries will be repeated in the rest of the world.

Partucularly in the OECD countries we will see the establishment of a new power generation structure with distributed small units as an addition to the traditional centralised power stations. However, the transformation will be gradual, and the existing system of electric power generation and transportation will not be completely replaced.

The technologies for the further development of the existing network structure as well as for the structure with a larger share of distributed generation are available already today or are under development. Yet, they still will challenge the engineering skill of the present and future generation.

Łukasz SIKORSKI[1]
Franciszek MOSIŃSKI[2]
Andrzej WIRA[3]
Jacek KARPIŃSKI[4]
Wojciech ŚWITALSKI[5]

ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCI ELEKTRYCZNEJ MUF KABLOWYCH DO KABLI 6 KV Z IZOLACJĄ POLWINITOWĄ

W referacie opisane są wyniki badań mających na celu wyjaśnienie poważnych awarii w sieci kablowej 6 kV dużego zakładu przemysłowego. Dla wyjaśnienia mechanizmów awarii wykonano badania pól magnetycznych i elektrycznych w otoczeniu tras kabli w miejscach awarii, przeprowadzono próby grzania oraz wykonano badania wytrzymałości elektrycznej odcinków kabli wraz z mufami. Analiza wyników badań wykazała wadliwość wykonania jednego z typów muf kablowych. Podano wyniki statystycznej analizy porównujące wytrzymałość elektryczną różnych rodzajów muf; zestawiono wnioski dotyczące technologii wykonania muf.

1. WSTĘP

Mufy kablowe, stanowiące połączenie dwóch kabli są integralną częścią sieci elektroenergetycznej, w której są instalowane. Muszą, więc odznaczać się dużą odpornością na czynniki zewnętrzne (środowisko naturalne, wpływ pól elektromagnetycznych) jak i na zjawiska występujące wewnątrz sieci (zależne od rodzaju sieci, od obciążenia sieci oraz od generujących przepięcia urządzeń zainstalowanych w sieci).

Od kilku lat istnieje na rynku bogata oferta muf kablowych przyciągająca klientów nowymi rozwiązaniami technologicznymi przejawiającymi się przede wszystkim w prostocie i szybkości montażu [1]. Należy jednak pamiętać, że wskutek uszkodzenia muf powstają przerwy w zasilaniu, które powodują straty finansowe wielokrotnie przewyższające wartość mufy.

Referat opisuje wyniki obszernych badań mających na celu wyjaśnienie poważnych awarii w sieci kablowej 6 kV dużego zakładu przemysłowego, w miejscu zainstalowania dużej liczby muf. Badania obejmowały pomiary pól magnetycznych i elektrycznych w otoczeniu tras kablowych, próby grzania oraz próby wytrzymałościowe odcinków kabli wraz z mufami.

2. METODYKA BADAŃ

2.1. Charakterystyka próbek

Badania przeprowadzone były na 18 zestawach muf. Każdy zestaw składał się z odcinka obejmującego obszar właściwej mufy o długości około 1m oraz z dwóch odcinków kabli

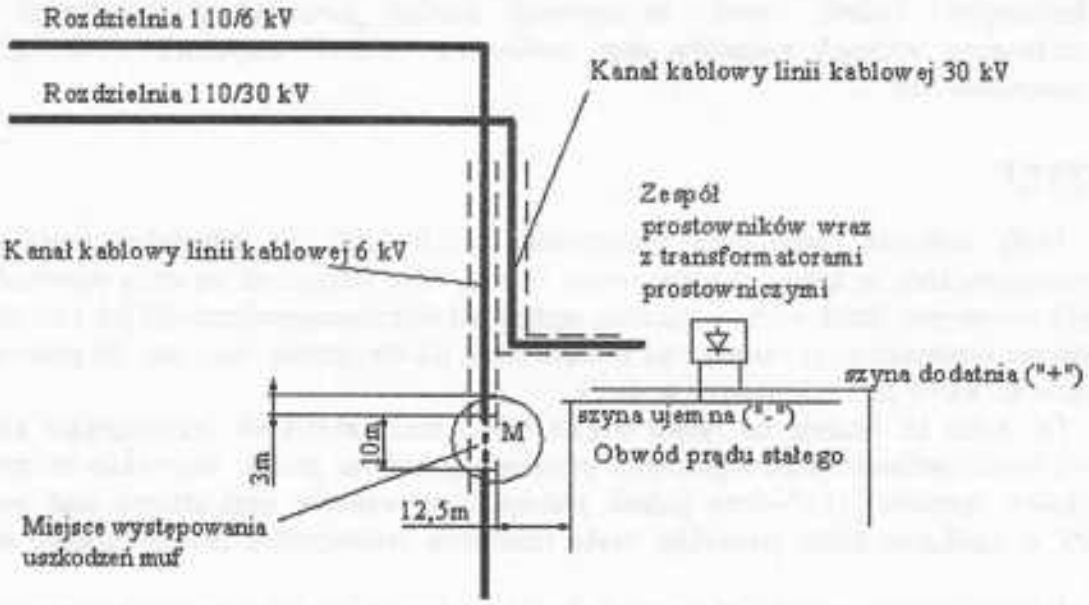
[1] Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki, e-mail: sikorski@mail.p.lodz.pl
[2] Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki, e-mail: mosinskf@mail.p.lodz.pl
[3] Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki, e-mail: wirandrz@mail.p.lodz.pl
[4] Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki, e-mail: jacek78@mail.p.lodz.pl
[5] Aluminium Konin – IMPEXMETAL S. A., e-mail: w-switalski@aluminium-konin.com.pl

o długości ok. 1m każdy, łączonych za pomocą tej mufy. Specyfikacja poszczególnych muf w zestawach była następująca:

- mufy pochodzące z eksploatacji w liczbie 10 sztuk, w tym: firmy A 3,6/6 kV w liczbie 6 sztuk; firmy B 3,6/6 kV w liczbie 3 sztuki; firmy B 15 kV (wykonanie specjalne o wzmocnionej izolacji do sieci kablowej 6 kV) w liczbie 1 sztuka;
- nowe mufy zmontowane do badań w liczbie 8 sztuk, w tym: firmy A 3,6/6 kV w liczbie 2 sztuki; firmy B 3,6/6 kV w liczbie 3 sztuki; firmy B 15 kV (wykonanie specjalne o wzmocnionej izolacji do sieci kablowej 6 kV) w liczbie 3 sztuki.

2.2. Opis miejsca zainstalowania muf

Eksploatowane mufy instalowane są na odcinku linii kablowej (typu YAKY 3 × 240 mm^2 i YAKY 3 × 185 mm^2) wychodzącej z rozdzielni głównej, zasilanej z transformatora 20 MVA 110/6 kV, w układzie sieci z izolowanym punktem neutralnym – rys.1. Linia ta zasila 7 rozdzielni rejonowych 6/0,4 kV (w układzie po 2 lub 3 kable na jedną rozdzielnię). Kable ułożone są w kanale kablowym przykrytym betonowymi płytami, usytuowanym wzdłuż obwodu prądu stałego zasilanego przez 8 transformatorów prostowniczych 30/0,764 kV i zespół prostowników (prąd wyprostowany: I = 107 kA, napięcie między szynami U = 850V). Oszynowanie obwodu prądu stałego jest odizolowane od ziemi.



Rys.1. Poglądowa mapka przedstawiająca miejsce występowania muf kablowych (M)

2.3. Zakres i kolejność badań

W celu wyjaśnienia rzeczywistej przyczyny uszkodzeń muf przeprowadzono następujące badania:

– na terenie zakładu produkcyjnego

- pomiary natężenia pola magnetycznego oraz natężenia pola elektrycznego wewnątrz kanałów kablowych z eksploatowanymi mufami, w miejscu występowania uszkodzeń, aby ocenić wpływ otaczającego środowiska elektromagnetycznego i możliwość generacji silnych przepięć indukowanych przez ewentualne fluktuacje stałego pola magnetycznego;

– w laboratoriach Politechniki Łódzkiej na odpowiednich zestawach muf (punkt 2.1)

- próby prądowe w celu sprawdzenia prawidłowości zaprasowania połączeń poszczególnych żył oraz stopnia nagrzewania się muf przy prądach znamionowych,
- próby wytrzymałości elektrycznej krótkotrwałej muf [2],

- próby przebicia izolacji żył odcinków kabli łączonych mufami,
- próby przebicia izolacji muf 6 kV,
- próby przebicia izolacji muf 15 kV,
- oględziny.

Wszystkie zestawy muf poddane zostały wstępnym oględzinom, a następnie próbie prądowej [4] i zgodnie z normą [2] próbie napięciem wytrzymywanym 27 kV. Zestawy, które przeszły wymienione badania poddane zostały próbie napięcia przebicia.

3. POMIARY POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO

Dla oceny środowiska elektromagnetycznego wokół muf linii 6 kV przeprowadzono w kanałach kablowych pomiary natężenia pola magnetycznego i natężenia pola elektrycznego. Pomiary wykonano na powierzchni kabli w zakresie częstotliwości od 0 do 3 GHz.

Wartość indukcji magnetycznej dla pola stałego wynosiła 0,8 mT we wszystkich punktach pomiarowych. Dla częstotliwości 50 Hz indukcja pola magnetycznego wynosiła od ok. 18 do 120 μT w zależności od wartości prądu płynącego w kablach. Dla częstotliwości powyżej 400 kHz wartości indukcji były niemierzalne (w zakresie reakcji mierników). Wszystkie pomiary natężenia pola magnetycznego były wykonywane w trzech wzajemnie prostopadłych płaszczyznach.

Pomiary natężenia pola elektrycznego dla częstotliwości 50 Hz i w zakresach pasm aż do 3 GHz w kanale kablowym wykazywały wartości charakterystyczne dla tła (0.3 – 0.4 kV/m dla częstotliwości 50 Hz i ok. 4 – 7 V/m dla częstotliwości do 10 MHz, dla wyższych częstotliwości wartości niemierzalne).

Wnioskiem było zatem, że oddziaływania elektromagnetyczne nie mogły być przyczyną awarii badanych muf kablowych.

4. BADANIE NAGRZEWANIA ZESTAWÓW DO PRÓB MUF

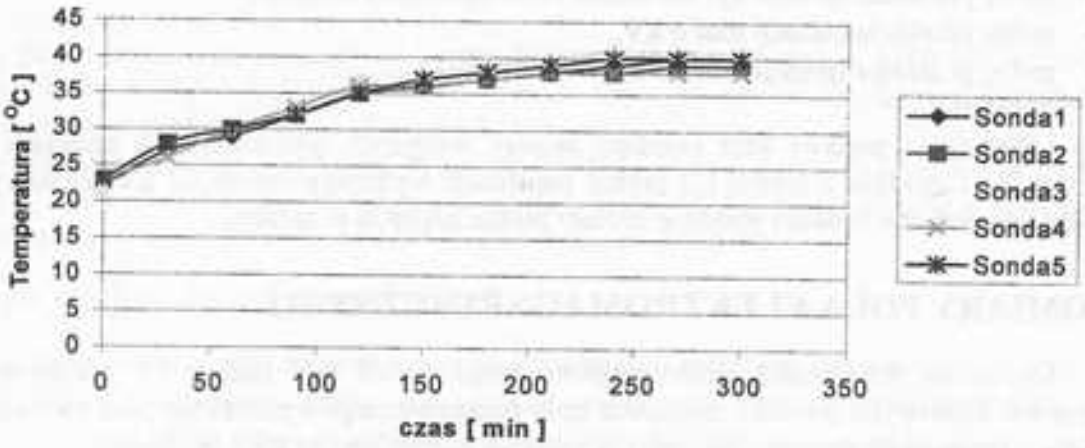
W celu sprawdzenia prawidłowości zaprasowania połączeń poszczególnych żył oraz stopnia nagrzewania się muf przy prądach znamionowych przeprowadzono próby nagrzewania zestawów muf.

Układ probierczy stanowiły dwa zespoły prądowe; jeden zasilający szeregowo połączone żyły robocze kabla badanego zestawu, drugi zasilający żyłę powrotną. Prąd probierczy wynosił dla żył roboczych Ipr = 310 A w przypadku zestawów 240/240 mm^2 oraz Ipr = 270 A dla zestawów 240/185 mm^2. Żyła powrotna była testowana prądem Ipr = 30 A.

Pomiaru temperatury dokonywano za pomocą 5 sond rozmieszczonych w ten sposób, że 3 z nich znajdowały się na mufie zaś każda z 2 pozostałych na odcinkach kabla po obu stronach mufy. Odczyty dokonywane były co 30 minut aż do ustalenia się temperatury, co trwało około 5 godzin.

Na podstawie analizy wyników badań nagrzewania 17 zestawów (jeden zestaw uległ uszkodzeniu termicznemu przy prądzie 500 A) stwierdzono największy przyrost temperatury, wynoszący $\Delta T = 31°C$ dla nowej mufy firmy B 3,6/6 kV, przy prądzie obciążenia Ipr = 310 A. W pozostałych przypadkach przyrosty temperatury były mniejsze i porównywalne ze sobą. Wynosiły one $\Delta T \approx 20 \div 25°C$.

W żadnym przypadku nie nastąpiło przekroczenie dopuszczalnej długotrwale temperatury granicznej żył wynoszącej według normy [4] 70° C. Wynik badań nagrzewania dla wszystkich zestawów należy uznać, zatem za pozytywny i odpowiadający wymaganiom norm.



Rys. 2. Przykładowa charakterystyka nagrzewania się zestawu mufy firmy A 3,6/6 kV. (Sonda1, Sonda2...Sonda5 oznaczają numer sondy pomiarowej umieszczonej na zestawie mufy)

5. PRÓBY NAPIĘCIOWE IZOLACJI ŻYŁ KABLI YAKY 3,6/6 KV

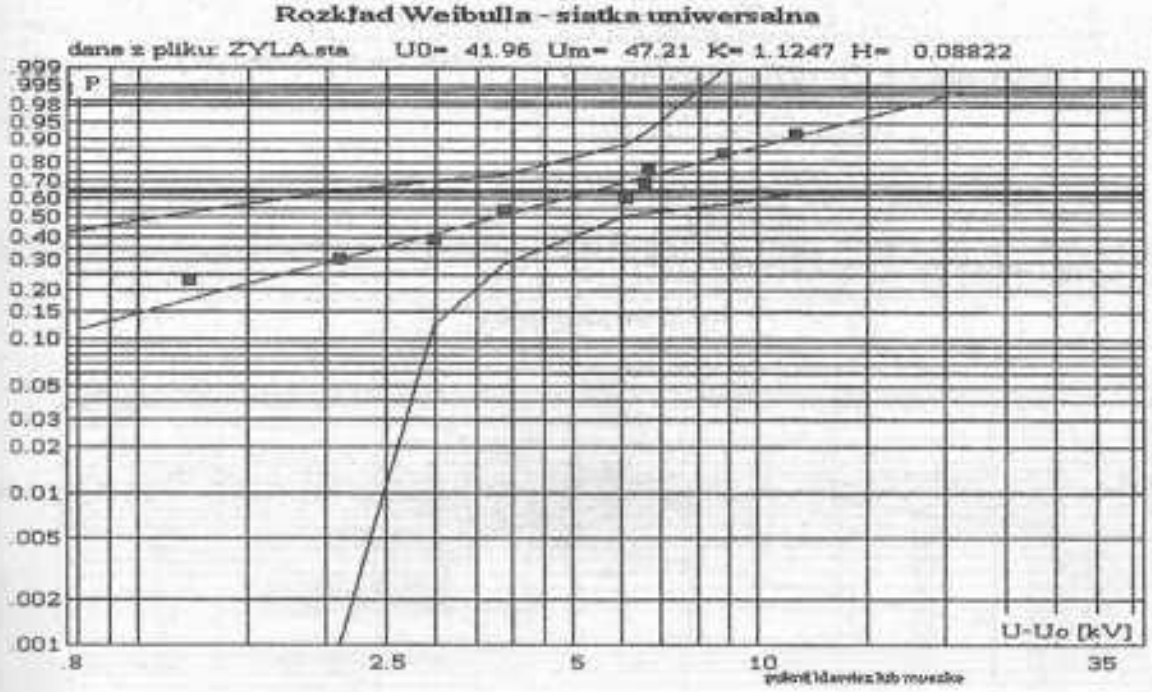
Badanie to miało na celu ustalenie poziomu odniesienia wytrzymałości izolacji żył kablowych zestawu. Wytrzymałość elektryczna izolacji mufy powinna być nie mniejsza niż wytrzymałość izolacji żył łączonych nią kabli.

Z zestawów uszkodzonych, podczas opisanego w dalszej części niniejszego referatu badania ich wytrzymałości napięciowej krótkotrwałej, wypreparowano odcinki poszczególnych żył wraz z izolacją o długości około 40 cm każdy. Odcinki żył umieszczono w specjalnych metalowych uziemionych tulejach probierczych eliminujących spiętrzenie naprężeń elektrycznych na końcach badanych żył. Do aluminiowych żył doprowadzano napięcie probiercze, podczas gdy ich izolacja stykała się na swojej długości z uziemioną tuleją probierczą. W celu wyeliminowania przeskoków i wyładowań ślizgowych całość była umieszczona w naczyniu z olejem izolacyjnym. Napięcie probiercze zgodnie z normą [3] podnoszono od zera aż do przebicia izolacji, w sposób ciągły, z prędkością około 2% przewidywanego napięcia przebicia na sekundę. Próbie poddano 12 odcinków żył (tabela 1).

Tab. 1. Wartości napięć przebicia izolacji żył w kV

48,5	50.73	42,72	48,06	45,83	45,83	48,6	44.94	53,4	43,16	44,05	43,16

Wyniki opracowano za pomocą kilku rozkładów statystycznych [5] i za najlepszy uznano rozkład Weibulla o następujących parametrach: Uo = 41,95; U1 = 47,21; k = 1,12. Analiza powyższych danych statystycznych pozwala stwierdzić, że napięcie wytrzymywane (o zerowym prawdopodobieństwie przebicia) wynosi około 42 kV skutecznego napięcia przemiennego podnoszonego w sposób ciągły. Ilustruje to rys. 3.



Rys. 3. Graficzna interpretacja wyników statystycznych dla napięć przebicia izolacji żył kabli: rozkład Weibulla o parametrach: przesunięcia 42 kV, skali 47.2 kV oraz kształtu 1.1; wynik testu istotności na poziomie istotności 95% h=0,088

6. PRÓBY NAPIĘCIOWE IZOLACJI ZESTAWÓW MUF

5.1. Próby napięciem wytrzymywanym

Próbie (zgodnie z opisem w p. 2.2.) poddano 18 zestawów muf (zestaw uszkodzony w próbie nagrzewania, po usunięciu uszkodzeń nadawał się do prób napięciowych). Przebiciu uległy 4 z 8 muf firmy A 3,6/6 kV. Pozostałe 4 mufy firmy A 3,6/6 kV oraz wszystkie mufy firmy B 3,6/6 kV oraz 15 kV próbę przeszły z wynikiem pozytywnym.

5.2. Próby przebicia zestawów muf

Napięcie probiercze (50Hz) zgodnie z normą [3] podnoszono od zera aż do przebicia izolacji zestawów kabli z mufami w sposób ciągły z prędkością około 2% przewidywanego napięcia przebicia na sekundę.

Jako wynik do opracowania statystycznego przyjmowano wartość napięcia przebicia izolacji mufy przy zasilaniu napięciem probierczym danej żyły roboczej. Uzyskane wartości napięć przebicia nie budzące wątpliwości, co do miejsca występowania przebić izolacji, zestawiono w tabeli 2.

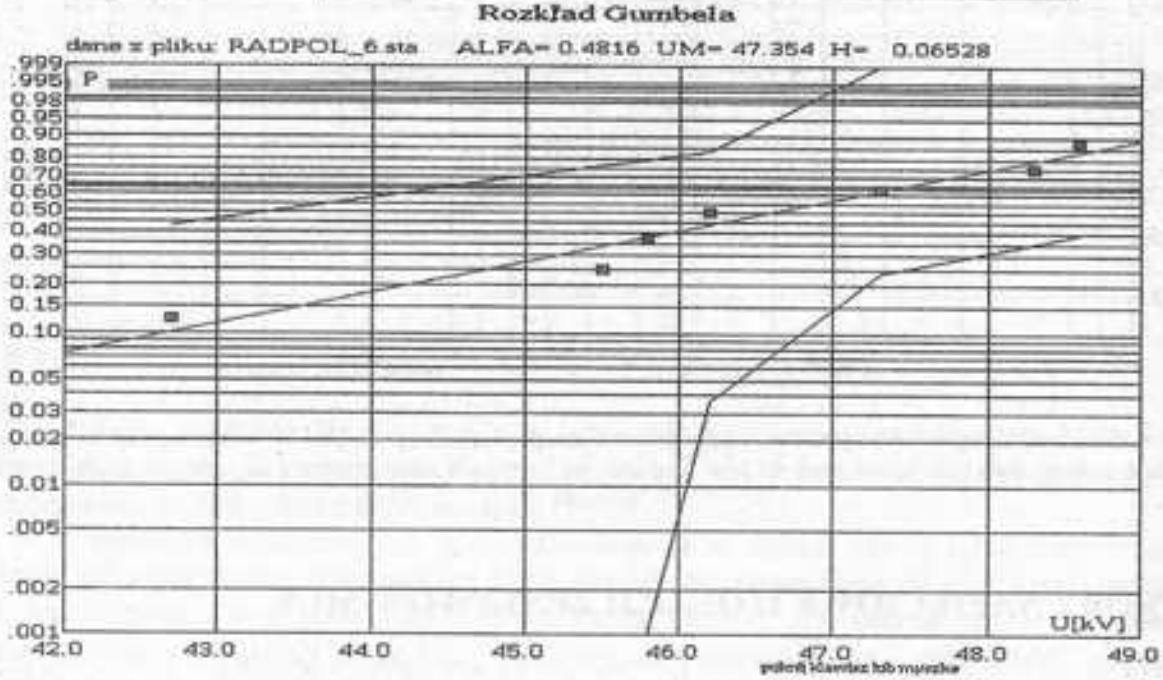
Tab. 2. Zestawienie wyników prób przebicia.

Rodzaj mufy	*Wyniki napięć przebicia [kV]*								
Firma A 3,6/6 kV	36	39	30	33	30	30	33	33	33
firma B 15 kV	53	52	54	52	54				
firma B 3,6/6 kV	46	47	46	46	43	48	49		

Wyniki prób przebicia opracowano za pomocą kilku rozkładów statystycznych. Najlepsze wyniki dały rozkłady umieszczone w tabeli 3. Przykładowy wynik graficzny opracowania statystycznego został umieszczony na rys. 4.

Tab.3. Wynik opracowania statystycznego

Rodzaj mufy	*Typ rozkładu statystycznego*	*Napięcie wytrzymywane [kV] (zerowe prawdopodobieństwo)*
firma A 3,6/6 kV	Gaussa logarytmo-normalny (32,22;4,5)	25,46
firma B 15 kV	Gaussa (52,9;1,78)	47,5
firma B 3,6/6 kV	Gumbela (0,48;47,4)	44

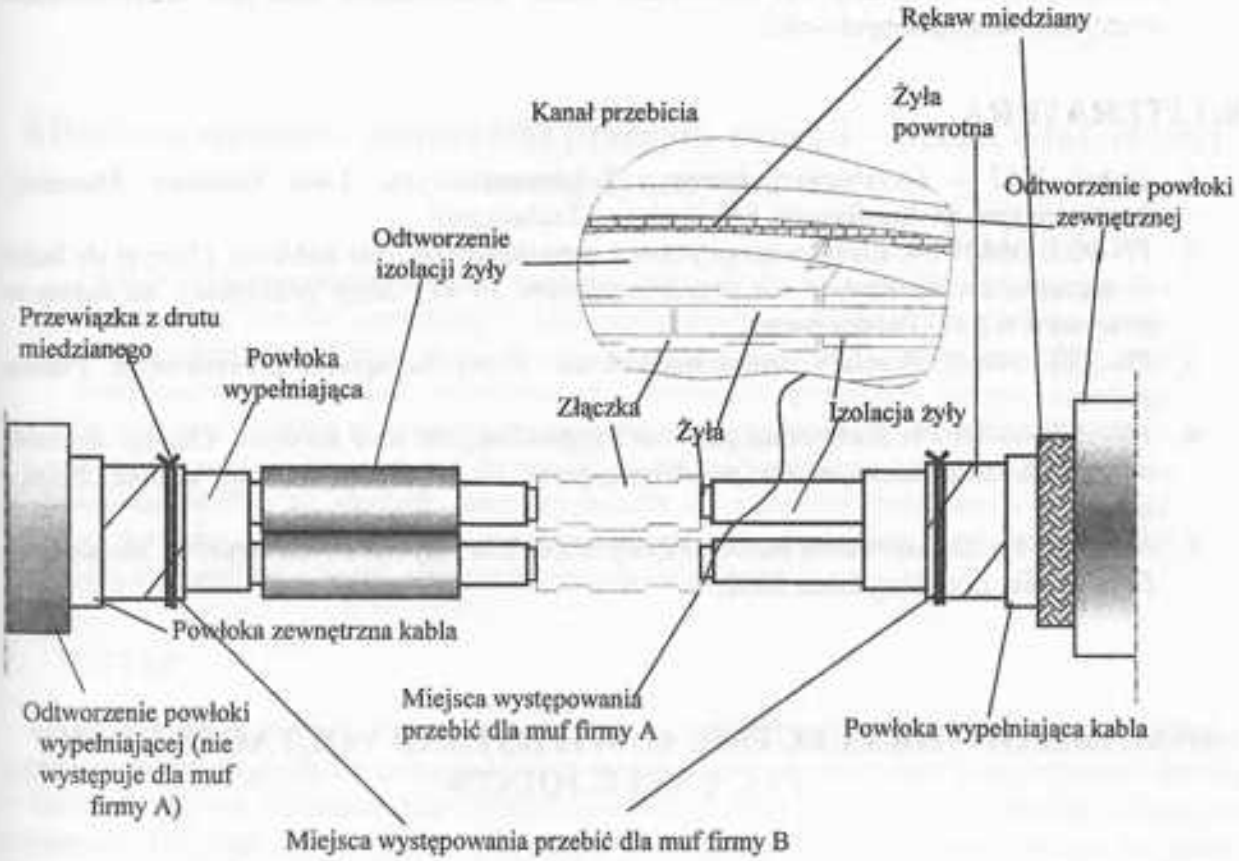


Rys. 4. Graficzna interpretacja wyników statystycznych dla napięć przebicia zestawu mufy firmy B 3,6/6 kV z pozytywnym wynikiem testu istotności na poziomie istotności 95% h=0,065

7. OGLĘDZINY

Wybrane zestawy muf zostały pozbawione osłon zewnętrznych i żył powrotnych, w celu zlokalizowania przebić izolacji. Stwierdzono, że:

- izolacja muf firmy A jest uszkadzana na wystającej krawędzi zaprasowywanych tulei aluminiowych łączących żyły robocze (rys. 5), a kanał przebicia łączy krawędź tulei z drutami siatki rękawa odtwarzającego żyłę powrotną,
- izolacja muf firmy B 3,6/6 kV nie ulega uszkodzeniu, a przebicie następuje na izolacji żyły roboczej kabla w miejscu przewiązki z drutu na uciętym pancerzu żyły powrotnej (rys. 5),
- w mufach montowanych według technologii firmy A nie jest przewidziana wewnętrzna osłona izolacyjna nazywana w technologii firmy B wężem do odtwarzania powłoki wypełniającej zakładana na zaizolowane połączenia 3 żył roboczych przed nałożeniem rękawa miedzianego odtwarzającego żyłę powrotną (rys. 5),
- niektóre z eksploatowanych muf firmy A posiadają ślady korozji (zielony nalot) na rękawie odtwarzającym żyłę powrotną, co może być efektem wnikania wilgoci lub działania elektrochemicznego przy obecności wilgoci.



Rys. 5. Ogólny schemat budowy mufy (firmy A i firmy B) wraz z zaznaczonymi miejscami przebić podczas prób laboratoryjnych

8. WNIOSKI

1. Jak wynika z pomiarów przeprowadzonych na terenie zakładu produkcyjnego, wartości indukcji pól magnetycznych oraz mieszczących się w granicach tła, natężeń pól elektrycznych w kanałach kablowych z zainstalowanymi mufami, nie mogą być przyczyną generacji przepięć, prądów lub nieprzewidzianych sił elektrodynamicznych mogących zagrozić trwałości elektromechanicznej muf. Nie ma praktycznie wpływu stałego pola magnetycznego. Stwierdzenie to dotyczy kanału kablowego w miejscu występowania uszkodzeń.
2. Lekką elektrokorozję żyły powrotnej, w mufach firmy A, być może powodują prądy doziemieniowe, co zostało zaznaczone w punkcie 7. Nie stwierdzono jednak, aby istniał zagrażający izolacji muf wpływ tych prądów doziemieniowych obwodu prądu stałego na wytrzymałość izolacji muf.
3. Wytrzymałość izolacji muf firmy A okazała się niższa, niż wymagana dla ich klasy napięciowej wytrzymałość krótkotrwała w powietrzu oraz znacznie niższa niż wytrzymałość izolacji żył kabli łączonych tą mufą. Stosowana technologia jest wadliwa i wymaga wzmocnienia izolacji poprzez odtworzenie wypełnienia kabla. Zastosowane tuleje i sposób ich zaprasowywania są nieprawidłowe, ponieważ osłabiają izolację żył roboczych w mufie poprzez wprowadzenie ostrych krawędzi i zmniejszanie grubości izolacji. Tuleje zaprasowujące nie mogą po zaciśnięciu mieć zgrubień i ostrych krawędzi na ich końcach. Dotyczy to zarówno muf firmy A jak i firmy B.

4. Napięcie wytrzymywane obu rodzajów muf firmy B jest praktycznie równe napięciu wytrzymywanemu izolacji żył kablowych, zatem wytrzymałość muf jest determinowana wytrzymałością łączonych kabli.

8. LITERATURA

1. *Kabel 2002 – Elektroenergetyczne i Telekomunikacyjne Linie Kablowe,* Materiały konferencyjne IX Konferencji Szkoleniowo-Technicznej.
2. PN-90/E-06401/04: *Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Osprzęt do kabli o napięciu znamionowym nie przekraczającym 30 kV. Mufy przelotowe na napięcie powyżej 0,6/1 kV,* Polska norma.
3. PN-75/E-04060: *Pomiary wysokonapięciowe. Próby napięciem przemiennym,* Polska norma.
4. PN-90/E-06401/01: *Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Osprzęt do kabli o napięciu znamionowym nie przekraczającym 30 kV. Postanowienia ogólne,* Polska norma.
5. Mosiński F.: *Zastosowania metod statystycznych dla inżynierów elektryków*, Monografie Politechniki Łódzkiej, Łódź 2000.

ANALYSIS OF THE ELECTRICAL WITHSTAND VOLTAGES OF 6KV PVC CABLE JOINTS

Results of extensive studies on a serious of cable network faults at a large industrial plant are given in the paper. A number of tests were performed to reveal the fault causes: magnetic and electric field measurements in neighbourhoods of the cable faults, heat tests and electric withstand strength measurements of cable sections together with their straight – through joints. The outcomes of statistical analysis of the electrical withstand voltages of different joints resulted in an appraisal of their manufacturing technology.

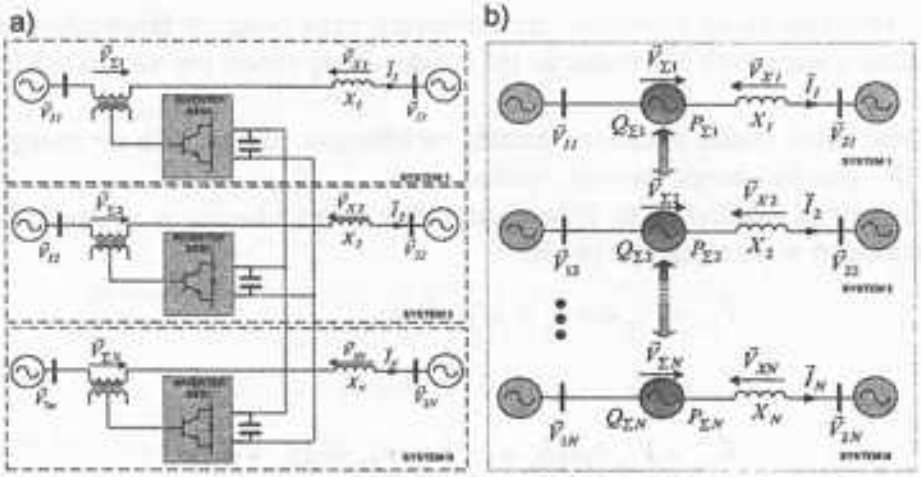
Przemysław Smereczyński[1]

Międzysystemowe sterowniki przesyłu energii – ocena właściwości energetycznych

Układy Międzysystemowych Sterowników Przesyłu Energii (MSPE) są klasycznym połączeniem filtrów szeregowych lub szeregowo-równoległych z określoną liczbą niezależnych linii przesyłowych za pomocą wspólnego elementu DC (np. kondensator). Mogą być stosowane do sterowania przesyłem energii pomiędzy liniami oraz zwiększenia stabilności systemu energetycznego. W artykule w oparciu o dostępne pozycje literaturowe stworzono model matematyczny opisujący zachowanie układu MSPE, w stanach statycznych, dla N systemów przesyłowych. Analizę właściwości energetycznych przeprowadzono na podstawie symulacji MSPE składającego się z trzech systemów przesyłowych.

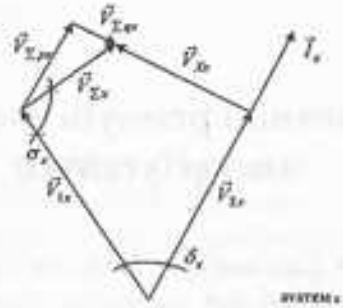
1. WSTĘP

Zunifikowane Sterowniki Przesyłu Energii (z ang. UPFC) są klasycznym połączeniem filtrów szeregowo-równoległych, za pomocą których można sterować przesyłem mocy czynnej i biernej w linii przesyłowej. Zadaniem filtru równoległego jest utrzymywanie stałej wartości napięcia na elemencie DC (np. kondensator). Natomiast zadanie filtru szeregowego polega na takim sterowaniu parametrami napięcia dodawczego (amplituda i kąt), aby zapewnić odpowiednią moc czynną i bierną dostarczaną do odbiorcy. Chcąc sterować niezależnie przesyłem mocy czynnej i biernej w linii należałoby każdy system przesyłowy wyposażyć w jeden niezależny układ UPFC. Z ekonomicznego punktu widzenia takie rozwiązanie byłoby bardzo kosztowne. Problem ten może być rozwiązany przez zastosowanie Międzysystemowego Sterownika Przesyłu Energii [1] [2] [4]. Układy te są klasycznym połączeniem filtrów szeregowych z określoną liczbą niezależnych systemów przesyłowych, połączonych za pomocą wspólnego elementu DC dla wszystkich systemów. Schemat ideowy układu MSPE został przedstawiony na rys. 1. Wykres wektorowy napięć i prądów dla systemu N został pokazany na rys. 2.



Rys. 1. a) Schemat ideowy układu MSPE, b) Model układu MSPE dla N systemów

[1] Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Elektrycznej, 65-246 Zielona Góra, ul. Podgórna 50, tel. (0-68) 3282258, e-mail: P.Smereczynski@iee.uz.zgora.pl



Rys.2. Wykres wektorowy prądów i napięć w systemie N

2. MODEL MATEMATYCZNY UKŁADU MSPE

Model elektryczny układu MSPE został przedstawiony na rys. 1b. Przyjmijmy, tak jak pokazano na rys. 1.b), że każdy system jest reprezentowany za pomocą reaktancji X_N oraz że napięcie na początku linii przesyłowej jest równe V_{1n}, a na końcu linii wynosi V_{2n}. Sterując amplitudą i katem napięcia dodawczego $V_{\Sigma n}$, możemy sterować mocą czynną P_{2n} i bierną Q_{2n} dostarczaną do odbiorcy w systemie N.

Napięcie $V_{\Sigma n}$ można rozłożyć na dwie składowe: $V_{\Sigma qn}$ – składową prostopadłą oraz $V_{\Sigma pn}$ – składową w fazie z prądem linii.

Każdy falownik w systemie N może wewnętrznie generować tylko moc bierną [1] [5], powodując głównie zmianę mocy czynnej P_{2n} dostarczanej do odbiorcy:

$$Q_{\Sigma x} = \vec{V}_{\Sigma qx}\vec{I}_x \tag{1}$$

Natomiast chcąc zmieniać moc bierną Q_{2n} dostarczaną do odbiorcy w systemie N [1] [5] falownik musi generować moc $P_{\Sigma n}$:

$$P_{\Sigma x} = \vec{V}_{\Sigma px}\vec{I}_x \tag{2}$$

W tym przypadku energia, potrzebna do sterowania mocą bierną Q_{2n} musi zostać pobrana z obwodu DC.

W ogólności musi zostać spełniony warunek [5]:

$$P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2} + ... + P_{\Sigma N-1} + P_{\Sigma N} = 0 \tag{3}$$

Oznacza to, że suma mocy czynnych generowanych przy pomocy falowników napięcia (przy pominięciu strat związanych z komutacją, itd.) w dowolnej chwili (w warunkach ustalonych) jest równa zeru.

Inaczej mówiąc musi zostać spełniona zasada zachowania energii: *tyle ile energii dostarczymy do obwodu DC, tyle tej energii możemy pobrać.*

W celu wyznaczenia zależności na przesyłaną moc czynną i bierną w systemie N, zdefiniujmy napięcia wektorowe w następujący sposób:

$$\vec{V}_{1n} = V_{1n}\cos\delta_n + jV_{1n}\sin\delta_n \tag{4}$$

$$\vec{V}_{2n} = V_{2n} \tag{5}$$

$$\vec{V}_{\Sigma n} = V_{\Sigma n}\cos(\delta_n + \sigma_n) + jV_{\Sigma n}\sin(\delta_n + \sigma_n) \tag{6}$$

gdzie $\delta_n \angle(\vec{V}_{1n}, \vec{V}_{2n})$, $\sigma_n \angle(\vec{V}_{1n}, \vec{V}_{\Sigma n})$

Po prostych przekształceniach otrzymujemy zależności na moc czynną i bierną przesyłaną w systemie N:

$$\begin{cases} P_{2n} = \dfrac{V_{1n}\cdot V_{2n}}{X_n}\sin(\delta_n) + \dfrac{V_{\Sigma n}\cdot V_{2n}}{X_n}\sin(\delta_n+\sigma_n) \\ Q_{2n} = \dfrac{V_{2n}^2}{X_n} - \dfrac{V_{1n}\cdot V_{2n}}{X_n}\cos(\delta_n) - \dfrac{V_{\Sigma n}\cdot V_{2n}}{X_n}\cos(\delta_n+\sigma_n) \\ P_{\Sigma n} = \dfrac{V_{\Sigma n}\cdot V_{2n}}{X_n}\sin(\delta_n+\sigma_n) - \dfrac{V_{1n}\cdot V_{\Sigma n}}{X_n}\sin(\sigma_n) \\ Q_{\Sigma n} = \dfrac{V_{\Sigma n}^2}{X_n} + \dfrac{V_{1n}\cdot V_{\Sigma n}}{X_n}\cos(\sigma_n) - \dfrac{V_{\Sigma n}\cdot V_{2n}}{X_n}\cos(\delta_n+\sigma_n) \end{cases} \tag{7}$$

W dalszej części artykułu moce czynne i bierne przesyłane w systemie N są odnoszone do mocy czynnej i biernej odniesienia, zdefiniowanych w następujący sposób:

$$P_{210} = 1/2\ P_{\max 21},\ Q_{210} = \left(1-\sqrt{3}/2\right)P_{\max 21} \tag{8}$$

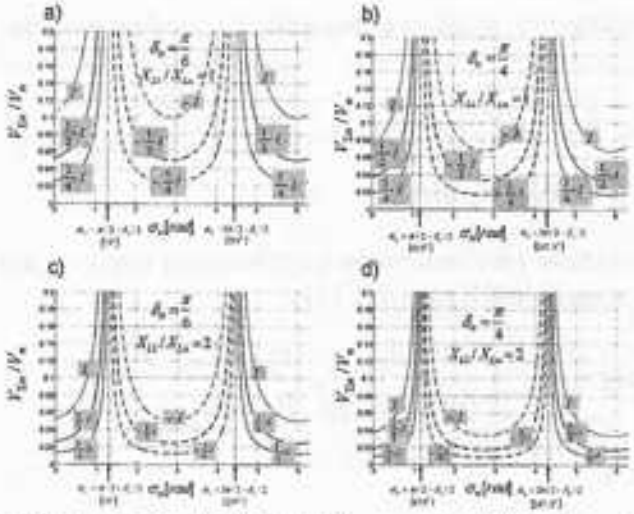
gdzie: $P_{\max 21} = V_{11}V_{21}/X_1$

Przyjęto również, że napięcia na początku i końcu linii są sobie równe ($V_n = V_{1n} = V_{2n}$).

3. WŁAŚCIWOŚCI ENERGETYCZNE UKŁADU MSPE

Właściwości Międzysystemowego Sterownika Przesyłu Energii wyznaczone zostały w oparciu o układ równań (7) oraz równanie (3) dotyczące bilansu energii.

Na rysunku 3 przedstawiono zmiany amplitudy napięcia dodawczego $V_{\Sigma n}$ w funkcji zmiany kąta σ_n dla $P_{\Sigma n} = const$.



Rys.3. Zależności $V_{\Sigma n}/V_n = f(\sigma_n)$ dla $P_{\Sigma n} = const$, gdzie $1 = P_{max\,\Sigma n}/P_{01}$

a) $X_{L1}/X_{Ln} = 1$, $\delta_n = \pi/6$ b) $X_{L1}/X_{Ln} = 1$, $\delta_n = \pi/4$

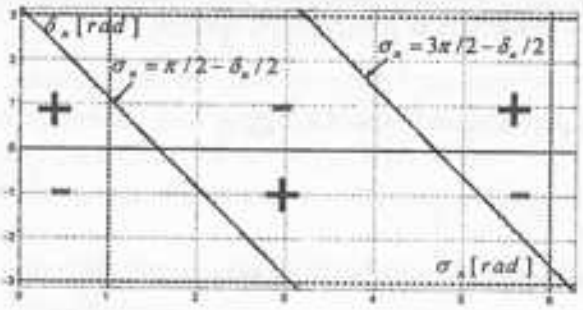
c) $X_{L1}/X_{Ln} = 2$, $\delta_n = \pi/6$ d) $X_{L1}/X_{Ln} = 2$, $\delta_n = \pi/4$

Przyjęto, że wyrażenie $P_{max\Sigma n}/P_{01}$ wynosi:

$$P_{\max\,\Sigma n}/P_{01} = 2\cdot\left(V_{\Sigma n\max}/V_n\right)\cdot\sin(\delta_0/2)/\sin(\delta_0) \tag{9}$$

gdzie: $V_{\Sigma n\max}/V_n = 0{,}1$, $\delta_0 = \pi/6$

Amplituda napięcia dodawczego $V_{\Sigma n}$ jest tak dobierana, aby niezależnie od zmian kąta σ_n wartość generowanej mocy $P_{\Sigma n}$ przez źródło napięcia dodawczego była stała, tzn. $P_{\Sigma n}=const$.
Z rys. 3 wynika, że zwiększając kąt δ_n lub zmniejszając impedancję linii X_{Ln} jesteśmy w stanie wygenerować określoną wartość mocy $P_{\Sigma n}$ używając do tego celu mniejszej amplitudy napięcia dodawczego $V_{\Sigma n}$. Z drugiej strony można zauważyć, że zwiększenie mocy $P_{\Sigma n}$ powoduje ograniczenie zakresu regulacji kątaσ_n, ponieważ w coraz większym stopniu przekraczamy wartość maksymalnej amplitudy napięcia dodawczego $V_{\Sigma nmax}$ (w artykule przyjęto, że $V_{\Sigma n\,max}/V_n=0,1$).
Aby sterować przesyłem energii falownik szeregowy musi zarówno dostarczać i odbierać moc czynną z obwodu DC. Kierunkowość przepływu energii pomiędzy źródłem napięcia dodawczego, a obwodem DC [5] zależy zarówno od kąta δ_n i σ_n (rys.4).



Rys. 4. Wykres ilustrujący, dla jakich wartości δ_n i σ_n, $P_{\Sigma n}>0$ (+), $P_{\Sigma n}<0$ (-)

Zmiany amplitudy napięcia dodawczego nie decydują tutaj o tym czy energia jest dostarczana, czy pobierana z obwodu DC, a jedynie wpływają na ilość wymienianej energii. Parametry napięcia dodawczego muszą być nie tylko zmieniane w taki sposób, aby zapewnić podstawowe równanie dotyczące bilansu energii (3), ale również tak, aby nie przekroczyć dopuszczalnej amplitudy napięcia dodawczego $V_{\Sigma n\,max}$.
Wprowadzając dwie dodatkowe składowe napiecia $V_{\Sigma n}$, jedną w fazie, a drugą prostopadłą do napięcia V_{1n}

$$\vec{S}_{nx}=(V_{\Sigma n}/V_n)\cos\sigma_n \tag{10}$$

$$\vec{S}_{ny}=(V_{\Sigma n}/V_n)\sin\sigma_n \tag{11}$$

można wyprowadzić zależność parametrów wstrzykiwanego napięcia dla $P_{\Sigma n}=const$ (poruszanie się po tzw. liniach kompensacyjnych napięcia [1]):

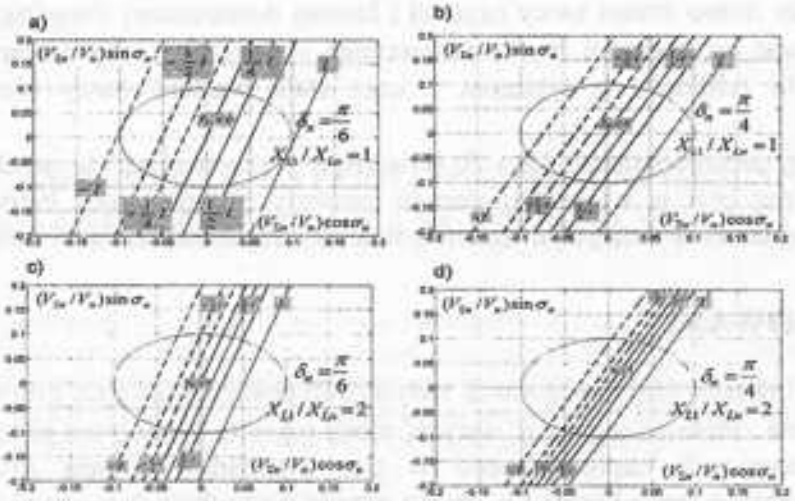
$$\vec{S}_{ny}=\vec{S}_{nx}\cdot ctg\frac{\delta_n}{2}-\frac{\sin\delta_0}{2(\sin(\delta_n/2))^2}\frac{P_{\Sigma n}}{P_{210}}\frac{X_{Ln}}{X_{L1}} \tag{12}$$

gdzie: $\delta_0=\pi/6$

Wpływ zmian składowych $(V_{\Sigma n}/V_n)\cos(\sigma_n)$ oraz $(V_{\Sigma n}/V_n)\sin(\sigma_n)$ na wartość mocy czynnej $P_{\Sigma n}$ pokazano na rys. 5.

Jeśli przyjmiemy, że $V_{\Sigma n\,max}/V_n=0,1$ to zakres regulacji napięcia dodawczego jest ograniczony okręgiem

$$((V_{\Sigma n}/V_n)\cos\sigma_n)^2+((V_{\Sigma n}/V_n)\sin\sigma_n)^2=0{,}1^2 \tag{13}$$



Rys.5. Zmiany składowych $(V_{2n}/V_n)\sin(\sigma_n)$ oraz $(V_{2n}/V_n)\sin(\sigma_n)$ funkcji zmian mocy czynnej P_{2n} gdzie $I = P_{max\,2n}/P_{01}$

a) $X_{L1}/X_{Ln}=1$, $\delta_n=\pi/6$ b) $X_{L1}/X_{Ln}=1$, $\delta_n=\pi/4$

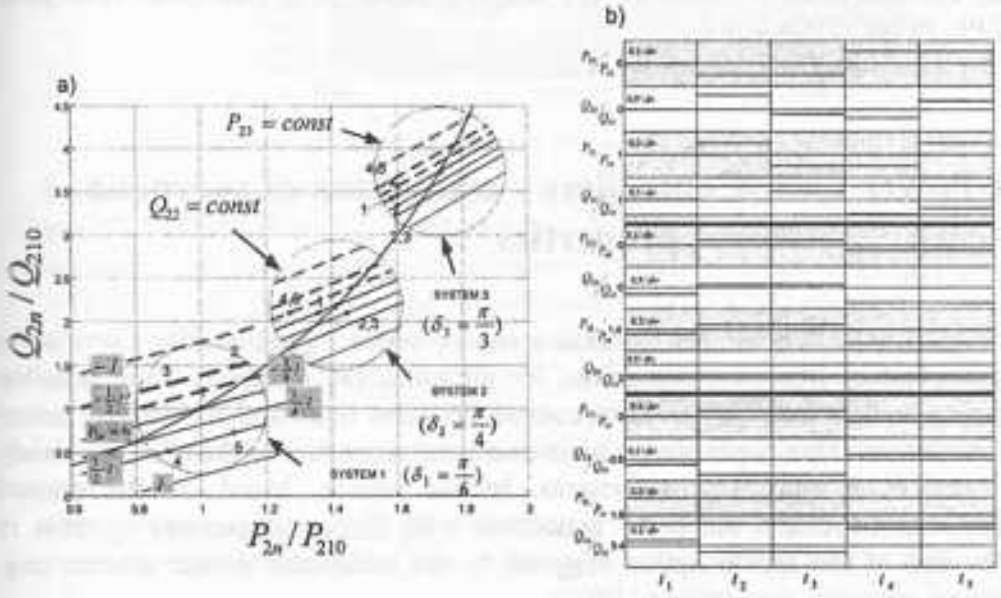
c) $X_{L1}/X_{Ln}=2$, $\delta_n=\pi/6$ d) $X_{L1}/X_{Ln}=2$, $\delta_n=\pi/4$

Z rys. 5 wynika, że chcąc poruszać się wzdłuż linii kompensacyjnej $I=P_{max\,2n}/P_{01}$ w sytuacji, gdy $\delta_n=\pi/6$ oraz $X_{L1}/X_{Ln}=1$ należałoby przekroczyć maksymalną wartość wstrzykiwanego napięcia V_{2nmax}/V_n. Natomiast zwiększenie kąta δ_n lub zmniejszenie impedancji X_{Ln} powoduje zwiększenie zakresu regulacji.

4. SYMULACJA UKŁADU MSPE

Symulację układu MSPE w stanach statycznych przeprowadzono dla trzech systemów przesyłowych, przy założeniu, że impedancja w każdej linii przesyłowej jest taka sama, tzn. $X_{L1}=X_{L2}=X_{L3}$. Natomiast kąty δ_n pomiędzy V_{1n} a V_{2n} wynoszą odpowiednio $\delta_1=\pi/6$, $\delta_2=\pi/4$, $\delta_3=\pi/3$.

Punkty 1,2,3,4,5 na wykresie $Q_{2n}/Q_{210}=f(P_{2n}/P_{210})$ (rys. 6a) ilustrują, jakie wartości mocy czynnej i biernej są dostarczane do odbiorcy w systemie 1, systemie 2 oraz w systemie 3 w kolejnych chwilach czasu w warunkach ustalonych. Natomiast zmiany mocy czynnej i biernej w kolejnych stanach ustalonych t_k $(k=1,2,3,4,5)$ przedstawiono na rys. 6b.



Rys. 6. Wyniki symulacji układu *MSPE podłączonego do różnych systemów przesyłowych, gdzie $I = P_{max\,2n}/P_{01}$*

a) wykresy $Q_{2n}/Q_{210}=f(P_{2n}/P_{210})$

b) zmiany mocy czynnej i biernej

Pokazano tutaj, że mimo zmian mocy czynnej i biernej dostarczanej do odbiorcy w systemie 1, można tak sterować parametrami źródła dodawczego $V_{\Sigma 2}$ oraz $V_{\Sigma 3}$, aby dostarczać stałą wartość mocy czynnej do odbiorcy w systemie 3 oraz stałą wartość mocy biernej do odbiorcy w systemie 2.
Można zauważyć, że zwiększenie kąta δ_n powoduje, iż poruszając się wzdłuż wybranej linii kompensacyjnej napięcia w większym stopniu możemy zmieniać moc bierną dostarczaną do odbiorcy, ale za to coraz w mniejszym zakresie moc czynną dostarczaną do odbiorcy.

5. PODSUMOWANIE

Wyniki symulacji układu *MSPE* w stanach statycznych pokazały, że moc bierną Q_{2n} dostarczaną do odbiorcy można zmieniać regulując wartość mocy czynnej P_{2n} lub też poruszając się po tzw. liniach kompensacyjnych napięcia, choć w tym przypadku zmiana Q_{2n} jest niewielka. Dlatego chcąc sterować mocą bierną Q_{2n} trzeba przede wszystkim dostarczyć odpowiednią ilość energii z obwodu DC, która musi zostać pobrana z innych systemów przesyłowych.
Właściwości energetyczne opisanego układu *MSPE* można znacznie poprawić stosując dodatkowy magazyn energii (np. ogniwa paliwowe, baterie akumulatorów, itp.). W praktyce może okazać się to bardzo istotne, ponieważ można zbudować układ, którego właściwości nie będą gorsze niż *Zunifikowanych Sterowników Przesyłu Energii* (z ang. *Unified Power Flow Controller*), używając do tego celu znacznie mniejszych nakładów finansowych.

6. LITERATURA

1. Gyugyi L., Sen. Kalyan K., Colin D.: *The interline power flow controller concept: a new approach to power flow management in transmission systems,* IEE Transactions on Power Delivery, vol.14, no.3, pp. 1115-1122.
2. Strzelecki. R., Benysek G., Bojarski J., *Interline power flow controller,* konferencja SENE, Polska (2001), vol.2, pp.591-596.
3. Fujita H., Watanabe Y., Akagi H., *Control and analysis of a unified power flow controller,* IEEE Trans. Power Electronics, 14, 6, 1999, pp. 1021-1027.
4. Strzelecki R., Bojarski J., Bensyek G., *Probabilistic method for parallel filter's power selection in interline power flow controlller,* EPE_PEM'2000-Dubrivnik.
5. Strzelecki R., Smereczyński P., Benysek G., *Interline power flow controller –energetic properties,* EPE-PEMC'2004-Riga.

Interline Power Flow Controllers – estimation of energetic properties

Interline Power Flow Controllers are the classical series or series – parallel filters applied to given number of independent lines with common, for all lines, DC element. Their possible functions are enlarging and include power flow control between lines and distributed power system stability improvement. This paper shows basic energetic properties of the IPFC, in steady states for given number of transmission Systems. In the article, based on the created mathematical model, was simulated the IPFC connected with three independent systems in steady states. At the end of the article author suggests to use additional power sources (e.g. battery cells) to improve energetic properties of IPFCs.

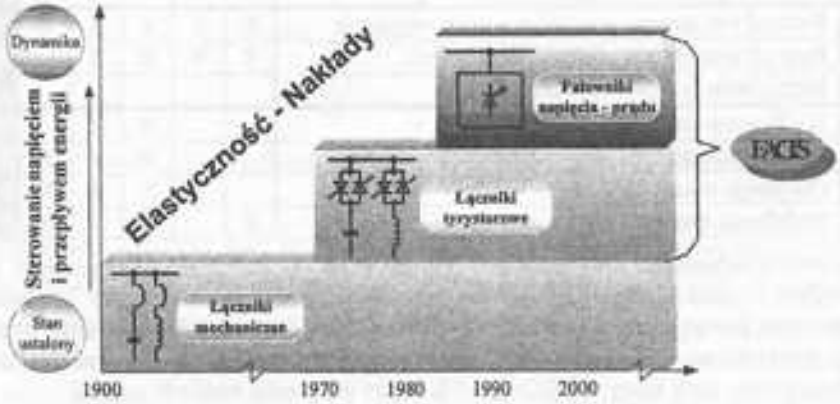
Ryszard STRZELECKI[1]

WŁAŚCIWOŚCI I ZASTOSOWANIA KOMPENSATORÓW DYNAMICZNYCH STATCOM I D-STATCOM

W referacie przedstawiono właściwości i możliwości układów STATCOM. Rozpatrzono graniczne możliwości zwiększenia przesyłu energii elektrycznej w linii przez zastosowanie kompensatorów rozproszonych. Omówiono wybrane aspekty pracy takich układów oraz najważniejsze topologie stosowanych przekształtników. Ponadto rozpatrzono możliwości zastosowania i współpracy układów D-STATCOM oraz układów hybrydowych z kompensatorami tradycyjnymi typu VSC oraz FC/TCR w sieciach dystrybucyjnych.

1. WPROWADZENIE

Początki rozwoju systemów elektroenergetycznych i technik sterowania napięciem oraz przepływem energii elektrycznej datują się na przełom XIX/XX w. Stosowane w tym celu łączniki mechaniczne nie miały praktycznie alternatywy do końca lat 60-tych XX w. (rys.1). Stan ten zmieniły tyrystory dużej mocy, zapoczątkowujące rozwój tzw. układów FACTS (Flexible AC Transmission System). Kolejny przełom spowodowały w pełni sterowalne przyrządy energoelektroniczne (tyrystory GTO i IGCT, tranzystory IGBT). Budowane na ich podstawie urządzenia energoelektroniczne umożliwiają sterowanie napięciem oraz przepływem energii elektrycznej w liniach zasilających, oraz poprawę parametrów zasilania i odbioru energii elektrycznej, z nieosiągalną wcześniej jakością i dynamiką [1],[3],[9],[10],[14].

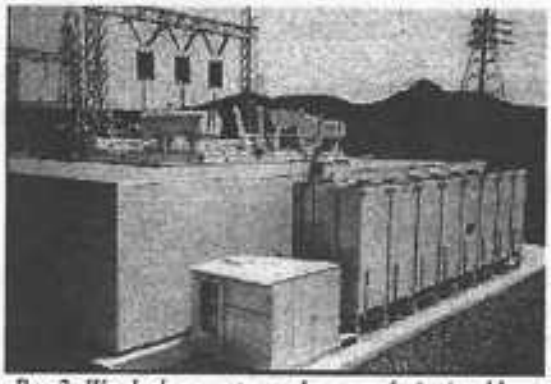


Rys.1. Tendencje rozwojowe układów sterowania napięciem i przepływem energii elektrycznej.

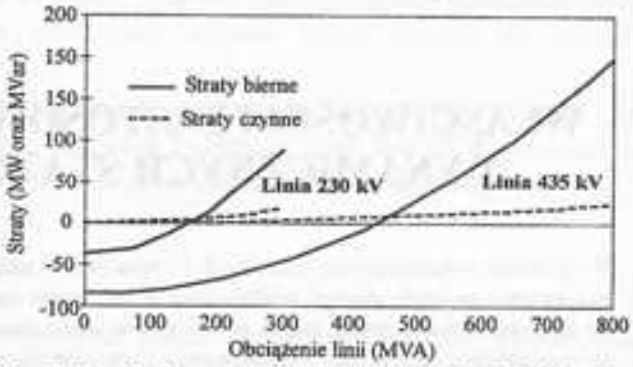
Przełom w układach FACTS z lat 90-tych (rys.1) zapoczątkowały kompensatory synchroniczne STATCOM (STATic COMpensator). Mimo, że nastąpiło to przeszło 15 lat temu (rys.2) i opracowano już nowe układy o większych możliwościach [1],[3],[10]÷[14], kompensatory STATCOM, oraz D-STATCOM (Distribution STATCOM) są ciągle rozwijane instalowane. Wiąże się to z wagą problemów, jakie nastarcza moc bierna. Prostymi, aczkolwiek istotnymi przykładami są tutaj zwiększone straty w liniach (patrz np. rys.3), zjawisko flicker'a, niestabilność napięcia. Informacje zamieszczone w tabl.1 i tabl.2 umiejscawiają układy STATCOM wśród innych urządzeń sterujących stosowanych niekiedy zamiennie w systemach elektroenergetycznych.

Celem niniejszego referatu jest przedstawienie podstaw teoretycznych, właściwości oraz wybranych rozwiązań i korzyści z zastosowania układów STATCOM i D-STATCOM.

[1] Akademia Morska w Gdyni, Katedra Automatyki Okrętowej, 81-225 Gdynia, ul. Morska 81-87, tel.: (+58)6901204, e-mail: rstrzele@am.gdynia.pl



Rys.2. Wygląd zewnętrzny 1-go na świecie układu STATCOM (80 MVAr, 154 kV), zainstalowanego w podstacji Inuyama (Japonia) w 1991 r.



Rys.3. Przykładowe straty w liniach 230 kV i 435 kV o długości ok. 100 km zasilanych dwustronnie w funkcji obciążenia.

Tabela 1. Wybrane ograniczenia w systemach przesyłowych i możliwe zastosowaniem urządzeń sterujących

Zagadnienie	Zjawisko	SC	SR	TCSC	ASC/SSSC	SVC	STATCOM	TCPAR	QBT	IPC	UPFC
Termiczne	Przeciążenie linii		X	X	X			X	X	X	X
	Samoczynne wyłączanie obwodów równoległych	X						X	X	X	X
Sterowania napięciem i mocą bierną	Niskie napięcie przy dużym obciążeniu	X		X	X	X	X			X	X
	Wysokie napięcie przy małym obciążeniu		X	X	X	X	X			X	X
	Uchyb napięcia w następstwie przerwy	X	X	X	X	X	X			X	X
Przepływu energii	Podział obciążenia pomiędzy linie równoległe	X	X	X	X			X	X	X	X
	Podział obciążenia po uszkodzeniu linii	X	X	X	X			X	X	X	X
	Sterowanie przepływem energii							X	X	X	X
Dynamiki i stabilności	Brak momentu synchronizującego			X	X						X
	Sterowanie przepływem w stanach nieustalonych			X	X	X	X	X			X
	Oscylacje mocy			X	X	X	X	X			X
	Stabilność napięcia	X		X	X	X	X				X

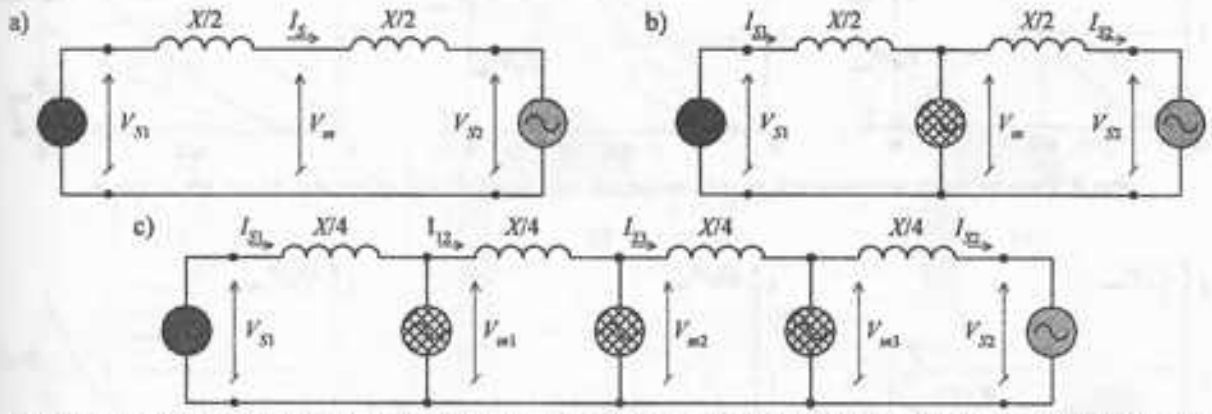
gdzie: SC - załączany kondensator; SR - załączany dławik; TCSC - sterowany tyrystorowo kondensator szeregowy; ASC/SSSC - udoskonalony kompensator szeregowy/statyczny szeregowy kompensator synchroniczny; SVC - statyczny kompensator mocy biernej; STATCOM - statyczny kompensator synchroniczny; TCPAR - sterowany tyrystorowo przesuwnik kąta fazowego; QBT - kwadraturowy transformator dodawczy; IPC - międzyfazowy sterownik mocy; UPFC - zunifikowany sterownik przesyłu energii.

Tabela 2. Charakterystyka porównawcza najważniejszych urządzeń regulacji napięcia

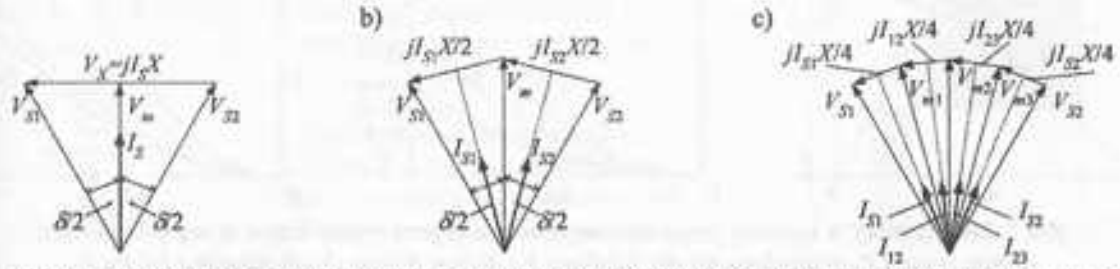
Typ urządzenia	Odpowiedź, reakcja na zaburzenie	Zdolność podtrzymania napięcia	Koszty		
			Inwestycyjne (na kVAr)	Eksploatacyjne	Alternatywne
Generator	Szybka	Bardzo dobra, dodatkowa krótkotrwała przeciążalność	Trudne do ustalenia	Wysokie	Są
Maszyna synchroniczna	Szybka	Bardzo dobra, dodatkowa krótkotrwała przeciążalność	30-35 USD	Wysokie	Nie ma
SC	Wolna, schodkowa	Słaba, spada z V^2	8-10 USD	Bardzo niskie	Nie ma
SVC	Szybka	Słaba, spada z V^2	45-50 USD	Umiarkowane	Nie ma
STATCOM	Szybka	Dobra, spada z V	50-55 USD	Umiarkowane	Są

2. PODSTAWY TEORETYCZNE

Praca kompensatorów równoległych w systemie elektroenergetycznym, w tym również układów STATCOM, z założenia powinna prowadzić do stabilizacji napięcia w punkcie przyłączenia i do kompensacji mocy biernej. Na tej podstawie, jako model idealnego kompensatora równoległego przyjmuje się zazwyczaj źródło napięcia o zadanej amplitudzie i fazie [1],[9]. Taki model pozwala na prostą i ogólnie właściwą ocenę zmian przepływów energii w systemie, spowodowane dołączeniem kompensatorów.



Rys.4. Dwuźródłowy model systemu elektroenergetycznego: a) bez kompensacji; b) z idealnym kompensatorem w punkcie środkowym linii; c) z idealnymi kompensatorami rozproszonymi wzdłuż segmentów linii.



Rys.5. Wykresy wskazowe dla modeli systemu przedstawionych odpowiednio na: a) rys.4a; b) rys.4b; c) rys.4c

Na rys.4 przedstawiono modele dwuźródłowe systemu elektroenergetycznego bez kompensatora (rys.4a) i z kompensatorami dołączonymi wzdłuż segmentów linii (rys.4b i rys.4c). Modele te uzupełniają odpowiednie wykresy wskazowe pokazane na rys.5. Wyznaczone na ich podstawie moce czynna P_S i bierna Q_S źródeł zasilających V_{S1} i V_{S2} oraz moc bierna pojedynczego kompensatora Q_m, w zależności od liczby N=1,2,4 równych segmentów, wynoszą:

$$\begin{aligned}
&\text{(a)} \quad N=1,\ P_S=P_{\max}\sin\delta,\ Q_S=P_{\max}(1-\cos\delta),\ Q_m=0\\
&\text{(b)} \quad N=2,\ P_S=2P_{\max}\sin(\delta/2),\ Q_S=2P_{\max}(1-\cos(\delta/2)),\ Q_m=4P_{\max}(1-\cos(\delta/2)) \qquad (1)\\
&\text{(c)} \quad N=4,\ P_S=4P_{\max}\sin(\delta/4),\ Q_S=4P_{\max}(1-\cos(\delta/4)),\ Q_m=8P_{\max}(1-\cos(\delta/4))
\end{aligned}$$

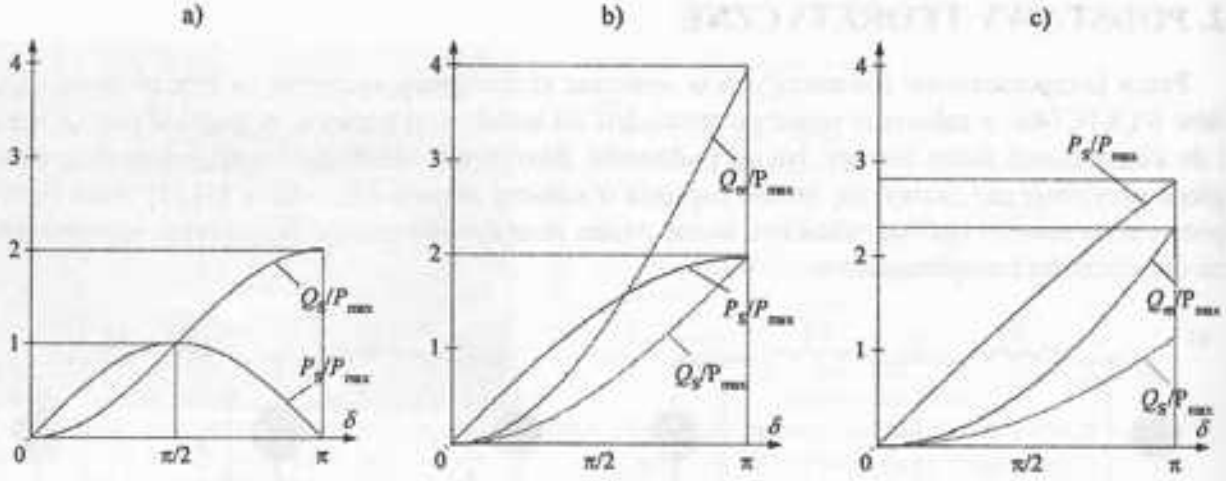
gdzie: δ - przesunięcie fazowe i V – amplituda napięć źródeł V_{S1} i V_{S2}; $P_{\max}=V^2/X_L$ - maksymalna moc czynna, możliwa w systemie jak na rys.4a; X_L - reaktancja linii.

Dla dowolnej liczby N segmentów linii zależności (1) przyjmują postać:

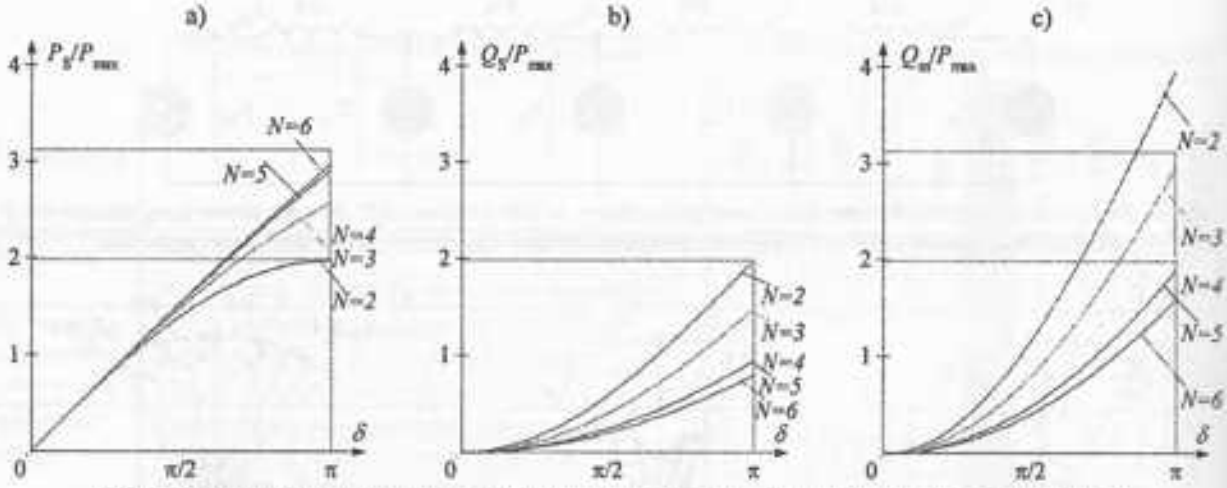
$$P_S=NP_{\max}\sin(\delta/N),\ Q_S=NP_{\max}(1-\cos(\delta/N)),\ Q_m=2NP_{\max}(1-\cos(\delta/N)) \qquad (2)$$

Jak z tego wynika z powyższych zależności (1) i (2) oraz ilustrujących je wykresów (rys.6 i rys.7), zwiększenie liczby wydzielonych segmentów linii z dołączonymi kompensatorami równoległymi zwiększa możliwości przesyłu mocy czynnej i zmniejsza obciążenie źródeł i pojedynczych kompensatorów zasilających mocą bierną. W przypadku granicznym $N\to\infty$ mamy:

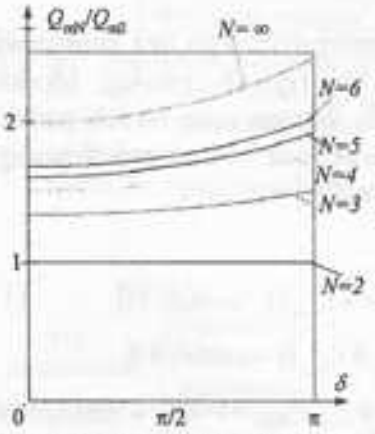
$$P_S\to P_{\max}\delta,\ Q_S=\to 0,\ Q_m\to 0$$



Rys.6. Zmiany mocy w systemach przedstawionych odpowiednio na: a) rys.4a; b) rys.4b; c) rys.4c.



Rys.7. Zmiany mocy w systemie przedstawionym na rys.4c przy różnej liczbie N segmentów linii: a) moc czynna P_S przesyłana między źródłami V_S; b) moc bierna Q_S obciążająca źródła V_S; c) moc bierna Q_m obciążająca idealne kompensatory V_m



Rys.8. Względna wartość sumarycznej mocy biernej Q_{mN} wszystkich kompensatorów (wszystkich źródeł V_m), odniesiona do mocy biernej Q_{m2} pojedynczego kompensatora w linii dwusegmentowej (N=2)

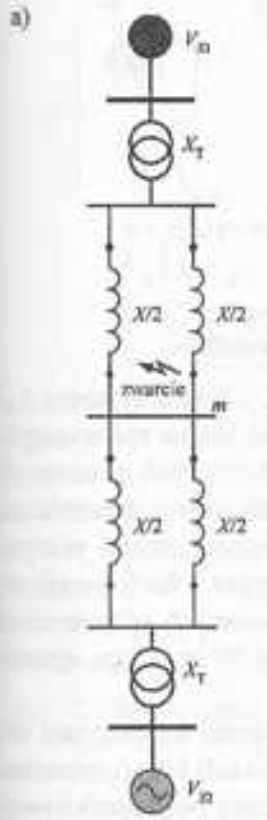
Wraz ze wzrostem liczby segmentów wzrasta jednak sumaryczna moc bierna zainstalowanych kompensatorów:

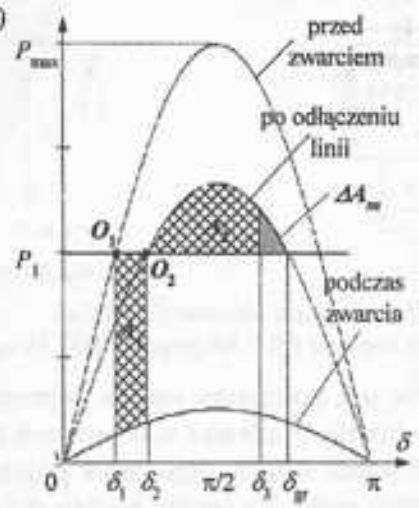
$$Q_{mN} = 2N(N-1)P_{max}\left(1-\cos(\delta/N)\right) \qquad (3)$$

i dla $N\to\infty$ dąży do wartości $Q_{m\infty}=P_{max}\delta^2$ (rys.8). Uwzględniając ten fakt i coraz mniejsze możliwości zwiększenia przesyłanej mocy P_S wraz ze wzrostem liczby N, nieracjonalnym wydaje się podział linii bezodpływowej na więcej niż 2-3 segmenty. Może to być uzasadnione tylko w przypadkach, jeśli kompensator dołączony jest w węźle odpływowym obciążonym dużą mocą bierną.

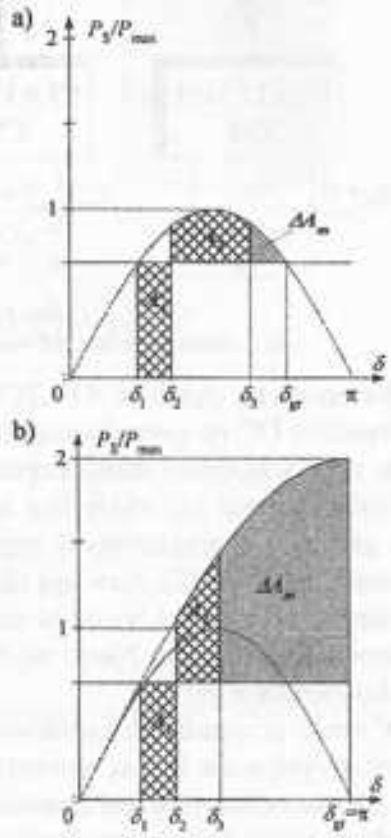
Zwiększenie możliwości przepływu energii w linii po zainstalowaniu dynamicznego kompensatora równoległego, jakim bez wątpienia jest układ STATCOM, ma bardzo duże znaczenie praktyczne dla stabilnej pracy systemu energetycznego, w szczególności przy dużym obciążeniu. Rys.9 ilustruje poglądowo zmiany w systemie dwuźródłowym, dwuliniowym w przypadku zwarcia doziemnego w jednej linii i ciągłemu zapotrzebowaniu na moc P_1. W stanie ustalonym przed zwarciem system pracuje punkcie O_1. Podczas zwarcia maksymalna mocy dostarczana z systemu jest za mała na pokrycie zapotrzebowania. Po odłączeniu zwartej linii niedobór energii A_1 w czasie zwarcia musi być skompensowany energią A_2. Jeśli jest to spełnione system powraca do stanu równowagi w nowym punkcie pracy O_2. Obszar ΔA_m, odpowiadający różnicy między

maksymalną energią, jaką można uzyskać z systemu po odłączeniu zwartej linii, a energią $A_2=A_1$ potrzebną na sprowadzenie systemu do nowego punktu pracy O_2, charakteryzuje margines stabilności przejściowej. Im obszar ΔA_m jest większy, tym system energetyczny szybciej i pewniej powraca do równowagi. Idealny kompensator zainstalowany w punkcie środkowym linii dwuźródłowej (rys.4b) wielokrotnie zwiększa ten obszar w porównaniu z systemem bez kompensatora, co ilustruje rys.10. Podobnymi właściwościami wyróżniają się układy STATCOM.





Rys.9. Przykład zmian punktu pracy systemu dwuliniowego w wyniku zwarcia w jednej z linii: a) model systemu; b) kryterium równości energii w stanie nieustalonym (lewy).

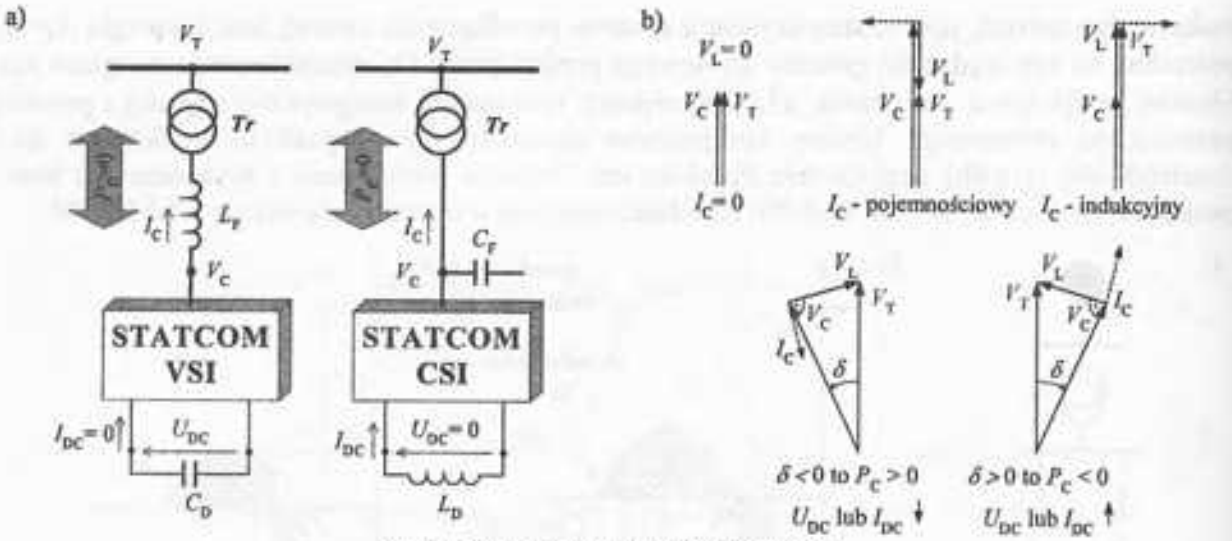


Rys.10. Ocena zapasu stabilności przejściowej ΔA_m w systemie dwuźródłowym: a) bez kompensacji; b) z idealnym kompensatorem (prawy)

3. WŁAŚCIWOŚCI I BUDOWA

3.1. Właściwości podstawowe

Układy STATCOM mogą być budowane zarówno na podstawie falowników napięcia (VSI) jak i falowników prądu (CSI) (rys.11a). W pierwszym rozwiązaniu, układy VSI są dołączane do linii zasilającej przez dławik sprzęgający (filtrujący) L_F, w drugim na wyjście układu CSI musi być dołączany równoległy kondensator C_F (rolę sprzęgającego może spełniać transformator Tr). W obu rozwiązaniach moc czynna może być pobierana lub oddawana przez STATCOM jedynie w ilości pokrywającej straty, lub wynikającej z konieczności wstępnego zmagazynowania wymaganej energii w elementach biernych obwodu DC. Bezstratny układ kompensatora w stanach ustalonych, nie może pobierać i generować mocy czynnej, tj. musi być spełniony warunek $P_C=0$. W przeciwnym razie, napięcie kondensatora C_D (układ VSI) lub prąd dławika L_D (układ CSI) ulegałyby jednokierunkowej zmianie, powodując awarię układu lub jego niezdolność do pracy. Podobne ograniczenia nie występują dla mocy biernej generowanej przez układy STATCOM. Wartość maksymalną tej mocy ograniczają jedynie parametry prądowo-napięciowe użytych elementów. Modelując taki kompensator źródłem napięcia V_C (rys.11a), na podstawie analogii do wzoru (1) nietrudno zauważyć, że moc bierna zależy wyłącznie od różnicy napięć V_C-V_T oraz indukcyjności dławika L_F (uwzględniając w tym indukcyjność rozproszenia transformatora Tr). Omówioną powyżej zasadę pracy układów STATCOM ilustrują wskazowe przedstawione na rys.11b.



Rys.11. Zasada pracy układów STATCOM:
a) z zastosowaniem falownika napięcia (VSI) lub prądu (CSI); b) wykresy wskazowe

Ważną cechą układów STATCOM jest pomijalny wpływ pojemności C_D (indukcyjności L_D) w obwodzie DC na generowaną moc bierną. Ponieważ w obwodach DC moc bierna nie występuje, to przy względnie dużej częstotliwości łączeń elementów półprzewodnikowych pojemność C_D (indukcyjność L_D) może być bardzo mała. Ta cecha, bardzo dobre właściwości dynamiczne oraz przebieg charakterystyki napięciowo-prądowej wyznaczającej możliwości zmian przepustowości linii (rys.12), stawiają układ STATCOM pod względem technicznym i funkcjonalnym na pierwszym miejscu wśród w innych kompensatorów mocy biernej stosowanych w systemach elektroenergetycznych. Nieco wyższe koszty instalacji STATCOM'u (tabl.2) są w ten sposób szybko zwracane [6]÷[8].

W wielu przypadkach możliwości generacji przez STATCOM mocy biernej indukcyjnej nie są wykorzystywane lub są wykorzystywane częściowo. W licznych przypadkach kompensowana moc bierna indukcyjna jest znacznie większa od kompensowanej mocy biernej pojemnościowej. W takich sytuacjach racjonalnym jest doposażenie kompensatora STATCOM w baterię kondensatorów, tj. budowa układu hybrydowego (rys.13a) [9],[10]. Np. dobierając dodatkową baterię kondensatorów na moc bierną równą połowie maksymalnej mocy biernej generowanej przez STATCOM, 1,5 razy zwiększamy możliwości kompensacji mocy biernej indukcyjnej. Zmniejszenie przy tym 2 razy możliwości kompensacji mocy biernej pojemnościowej jest w przedstawionej sytuacji bez znaczenia. Dodatkową zaletą kompensatora hybrydowego są mniejsze straty mocy w wymaganym zakresie regulacji mocy biernej (rys.13b).

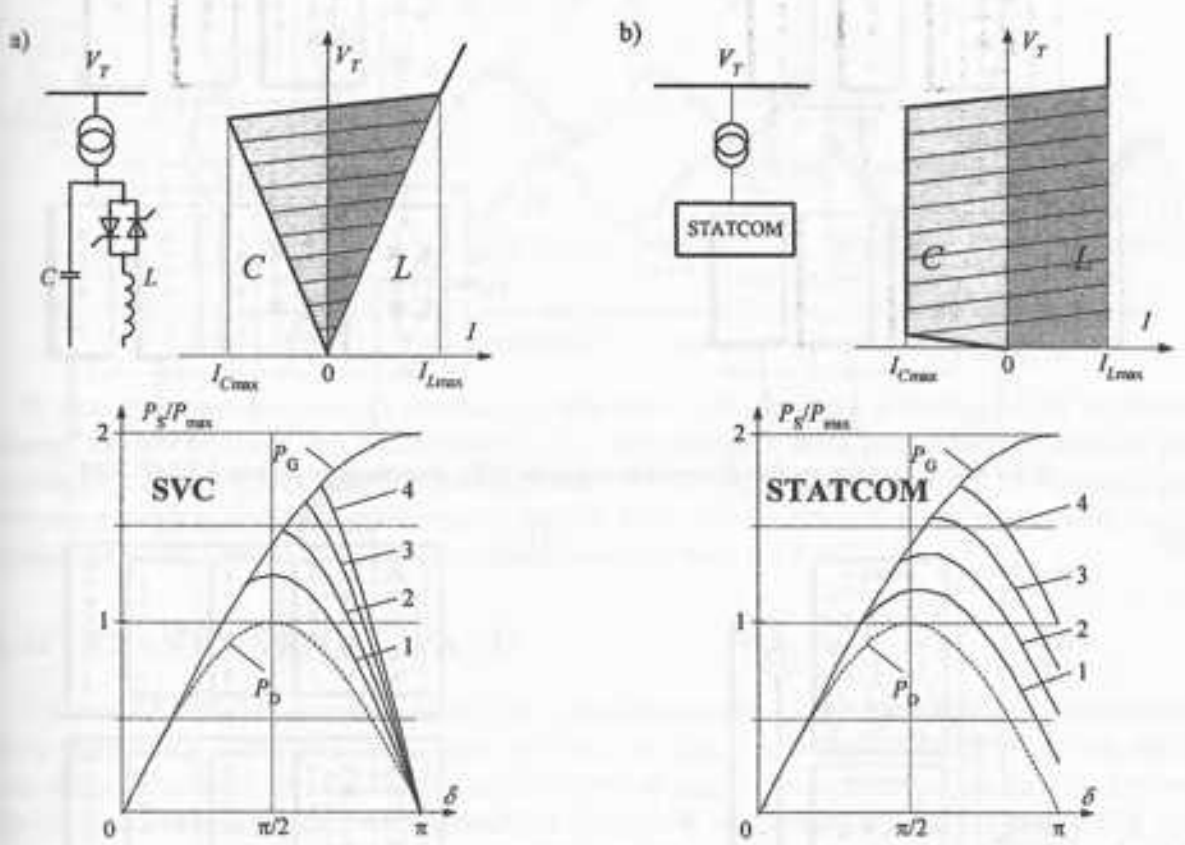
3.2. Budowa

Jak już wspomniano STATCOM może być budowany zarówno na podstawie falowników napięcia (VSI) jak i falowników prądu (CSI). Z przyczyn konstrukcyjnych falowniki CSI są jednak o wiele rzadziej stosowane i tylko w przypadkach bardzo dużych mocy. W przeważającej liczbie, zainstalowane dotychczas układy STATCOM i wszystkie D-STATCOM zostały zbudowane z zastosowaniem falowników VSI.

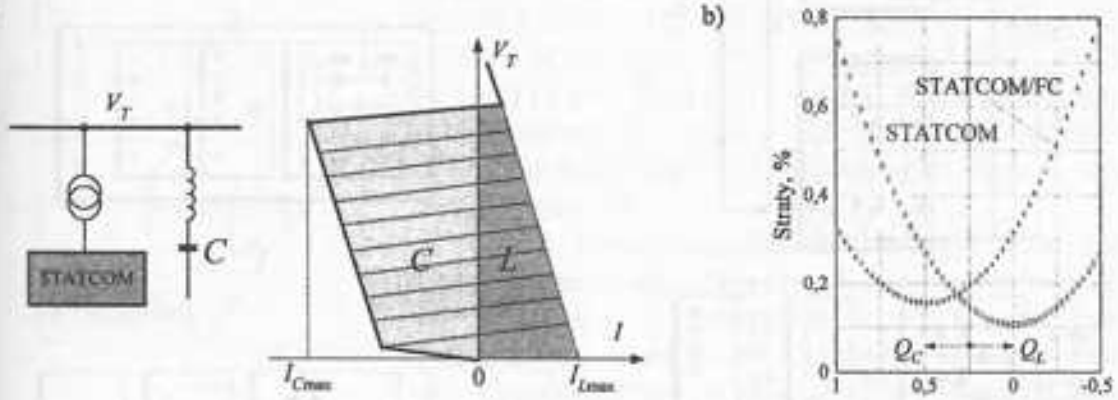
Spośród przedstawionych na rys.14 podstawowych modułów 3-fazowych falowników VSI, najczęściej stosowanym jest moduł typowy (rys.14a) i niekiedy moduł składający się z mostkowych falowników 1-fazowych. Tylko w nielicznych przypadkach (np. w liniach 4 przewodowych nN), w tzw. układach mini-STATCOM wykorzystywane są inne moduły.

Typowy moduł VSI jest również chętnie stosowany w układach STATCOM śN i wN do budowy falowników wielopoziomowych z transformatorem wielouzwojeniowym (rys.15a). W ten sposób można łatwo dopasować napięcia falownika do poziomu napięcia linii, oraz uzyskać się bardzo dobrą jakość napięcia wyjściowego V_C przy małej częstotliwości pracy łączników (IGBT, GTO,

IGCT). Transformator może jednocześnie spełniać funkcję dławika sprzęgającego L_F. Ponadto istnieję pewna dowolność w połączeniu kondensatorów C_D.

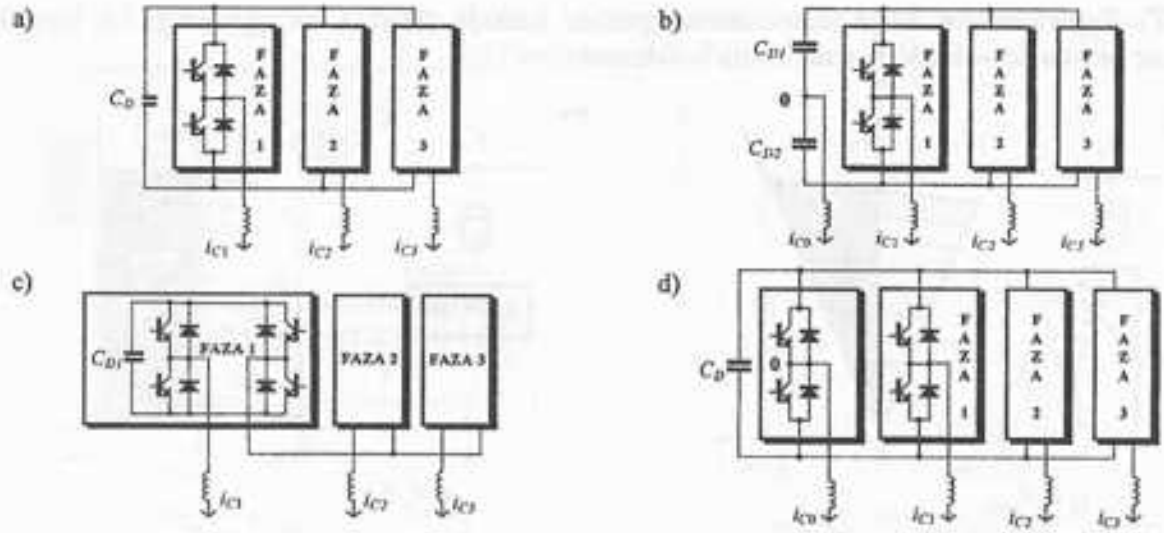


Rys.12. Charakterystyki napięciowo-prądowe i zmiany przepustowości linii z zastosowaniem kompensatorów: a) SVC; b) STATCOM.

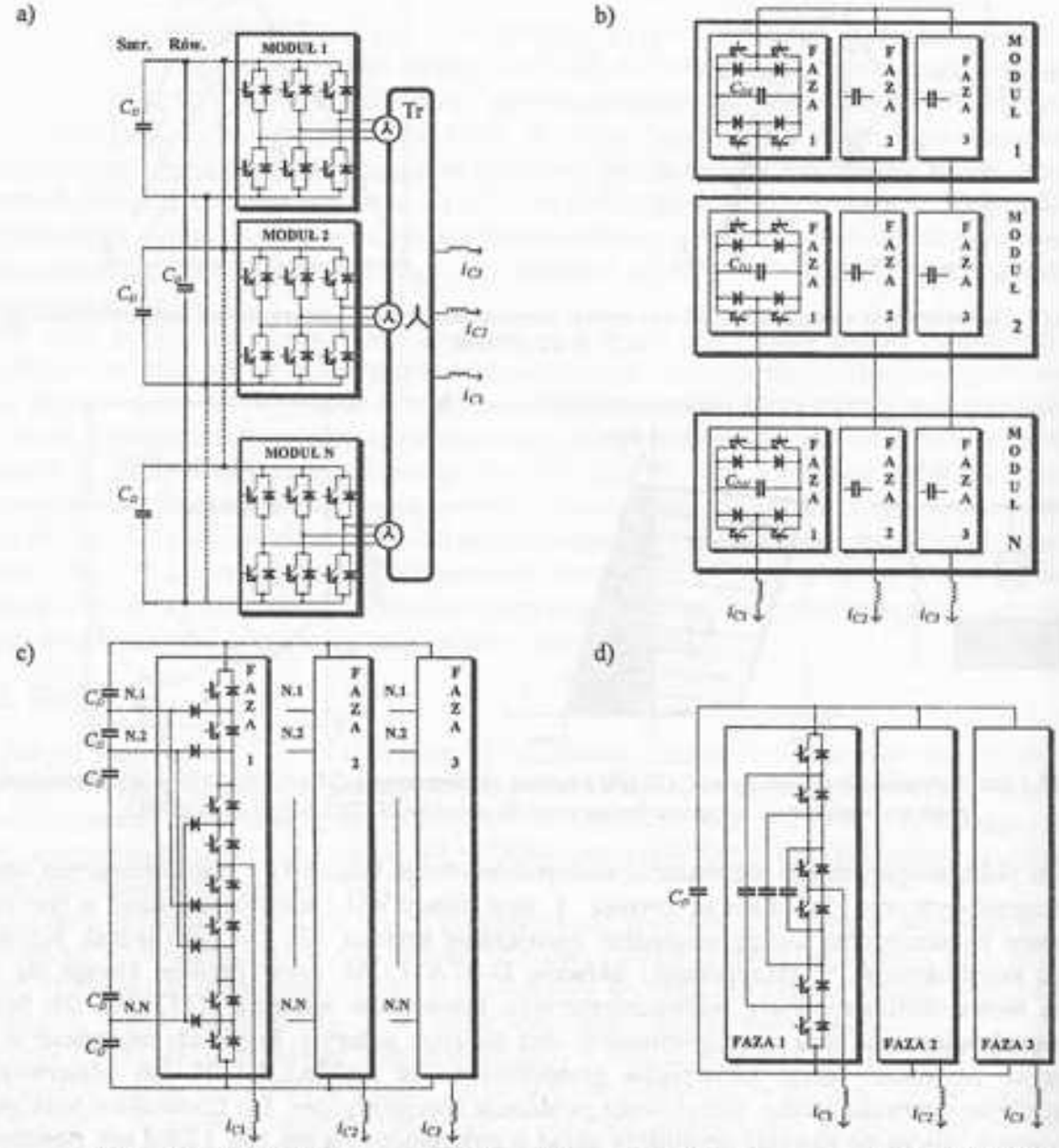


Rys.13. Układ hybrydowy kompensatora STATCOM z baterią kondensatorów (STATCOM/FC): a) charakterystyka prądowo napięciowa; b) typowe krzywe strat dla układów STATCOM i STATCOM/FC.

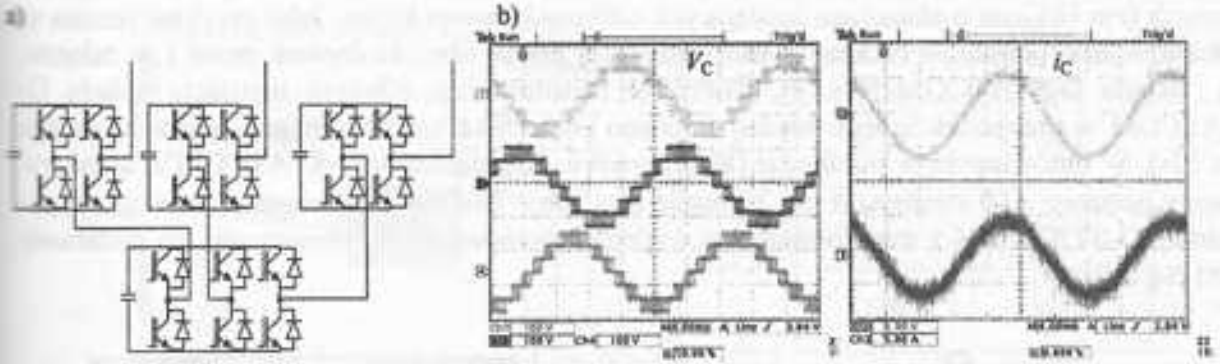
Oprócz pokazanego jednego rozwiązania wielopoziomowego falownika z transformatorem wielouzwojeniowym (rys.15a) znane są również i inne układy VSI z transformatorami, w tym zasługujące na szczególną uwagę oryginalne rozwiązanie krajowe [2]. Od paru jednak już lat, uwaga konstruktorów, w szczególności układów D-STATCOM, coraz częściej kieruje się w stronę beztransformatorowych, wielopoziomowych falowników napięcia [1],[3],[4]. Ich bezsporną zaletą jest brak strat w transformatorze oraz mniejsze gabaryty. Przykłady najczęściej stosowanych rozwiązań takich falowników przedstawiono na rys15b,c,d [10]. Ich właściwości szczegółowo omawiają liczne, niecytowane publikacje specjalistyczne. Do falowników wielopoziomowych zalicza się również oryginalny układ przedstawiony na rys.16a. Układ ten, powstały przy współudziale autorów, został zastosowany w modelu laboratoryjnym mini-STATCOM'u.



Rys.14. Podstawowe moduły falowników napięcia (VSI) stosowane w układach STATCOM



Rys.15. Topologie wielopoziomowych falowników napięcia (VSI) stosowane w układach STATCOM.

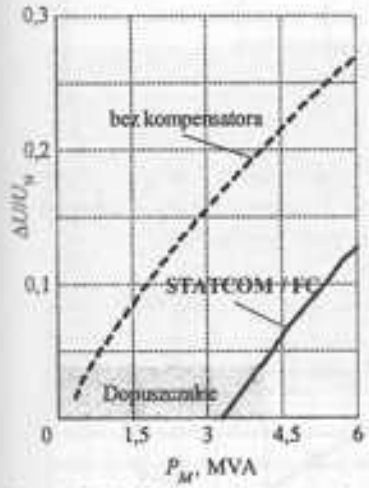


Rys.16. Wielopoziomowy falownik VSI zastosowany w modelu laboratoryjnym układu mini-STATCOM: a) schemat ideowy ; b) przebiegi napięć V_C i prądów kompensujących i_C (2 fazy).

W celu zmniejszenia pulsacji napięcia w obwodach DC mostków jednofazowych zaproponowanego układu (rys.16), ich kondensatory były sprzęgnięte z sobą przez dwukierunkowe przetwornice DC/DC z wysokoczęstotliwościowym transformatorem separującym. Otrzymane, przykładowe przebiegi napięć wyjściowych i prądów kompensujących pokazano na rys.16b. Szersze badania potwierdziły zakładane walory opracowanego mini-STATCOM'u.

4. WYBRANE ZASTOSOWANIA

Układy STATCOM powyżej 50 MVAr z przeznaczeniem do zwiększenia przepustowości linii w stanach nieustalonych i tłumienia oscylacji w systemie elektroenergetycznym jak dotychczas zainstalowano w Japonii, USA i jednostkowo w Anglii. Poza pierwszą na świecie instalacją (rys.2) zrealizowaną przez firmę Mitsubishi Electric's, kompensatory STATCOM dużej mocy zastosowano między innymi w stacji: Sullivan/USA/1995 (±100 MVAr/161 kV); na północy Anglii/ 1996 (+225/-52 MVAr); Nadova/Japonia/2001 (±50 MVAr/ 500kV); Essex/USA/2001 (+120/-30 MVAr/115 kV); Telega/USA/2002 (±100 MVAr/138 kV); Glenbrook/USA/ 2003 (±50 MVAr/115 kV). W Anglii i w stacji Essex zastosowano układy hybrydowe, przy czym w pierwszy z nich zrealizowano na podstawie falownika CSI. W pozostałych stacjach zastosowano falowniki VSI.

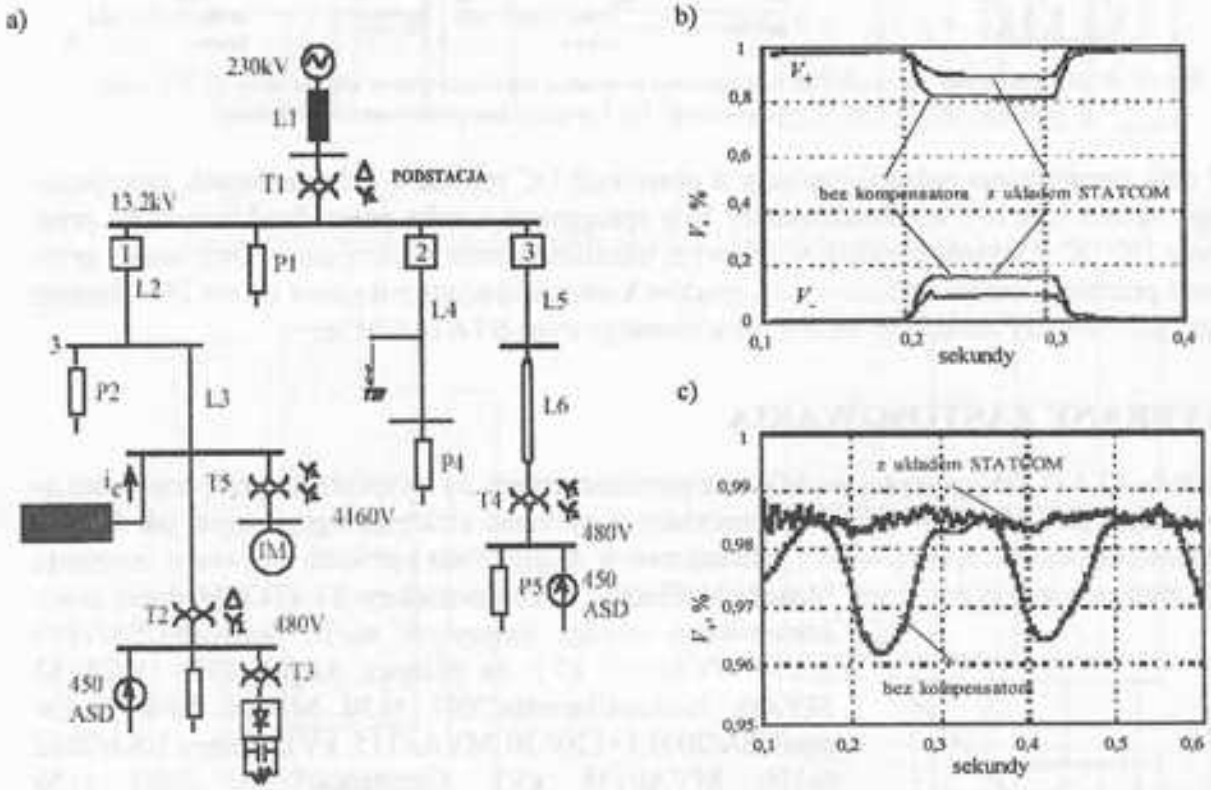


Rys.17. Względne wahania napięcia podczas rozruchu silników klatkowych w funkcji ich mocy, w przypadku zastosowania i bez układu STATCOM/FC (±2MVAr).

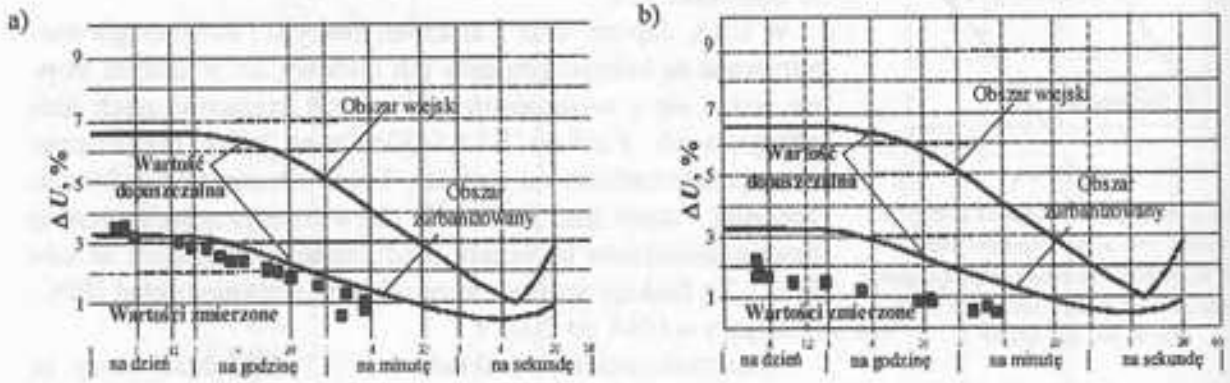
W USA, Japonii oraz Kanadzie, Brazylii i Rosji ciągle rozpatrywane są kolejne projekty ich budowy, co w dużym stopniu wiąże się z występowaniem w tych krajach długich linii przesyłowych. Funkcje STATCOM'u są także realizowane przez przekształtniki na stacjach Tokio Electic's Skinshinano (Japonia) i stacji Inez (USA).W pierwszym przypadku jest to funkcja dodatkowa terminalu prądu stałego, w drugim układu UPFC. Tą funkcję spełnia także rekonfigurowany układ IPFC, działający w USA od 2003 r.

Znacznie częściej od układów STATCOM dużej mocy, są instalowane D-STATCOM'y. Ich zastosowanie i płynące z tego korzyści są bardzo różnorodne i często związane z utrzymaniem wymaganej jakości zasilania i odbioru energii elektrycznej. Szczególnie dużo zastosowań układów D-STATCOM wiąże się ze stabilizacją napięcia. Rys.17 pokazuje wpływ zainstalowania hybrydowego układu D-STATCOM na wahania napięcia podczas bezpośredniego rozruch silnika indukcyjnego. Działanie układu o mocy 2 MVAr z dodatkową baterią kondensatorów 2 MVAr eliminuje niedopuszczalne wahania napięcia dla silników o mocy do 4,3 MVA. Efekt stabilizacji napięcia i związana z tym kompensacja flickera w przypadku zainstalowania układu D-STATCOM są bardzo widoczne w systemach elektroenerge-

tycznych (rys.18) i na podstacjach zasilających odbiorniki niespokojne. Jako przykład można tu wskazać wyniki pomiarów flickera w linii zasilającej zakład obróbki drewna, przed i po załączeniu układu D-STATCOM (rys.19). Korzystne rezultaty daje również instalacja układu D-STATCOM w przypadku innego bardzo trudnego odbiornika niespokojnego – pieca łukowego (rys.20a). W omówionym w publikacji [8] przypadku, po załączeniu D-STATCOM'a, standaryzowany parametr Δ10 zmniejszył się 2-krotnie (rys.20b). Ten rezultat osiągnięto stosując kompaktowy D-STATCOM z transformatorem wielouzwojeniowym [5], sterowanym na podstawie teorii p-q [10].



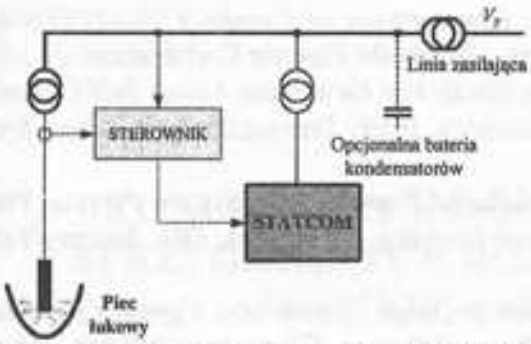
Rys.18. Wpływ układu D-STATCOM na stabilizację napięć w systemie elektroenergetycznym: a) schemat systemu; b) zmiany składowych zgodnych V_+ i przeciwnych V_- napięcia w przypadku zwarcia 1-fazowego (zapad napięcia - 50%); c) zmiany składowej V_+ napięcia przy wahaniach obciążenia z częstotliwością 5 Hz.



Rys.19. Przypadki flicker'a , zarejestrowane przez 24 godz. w linii 25 kV zasilającej zakład obróbki drewna: a) przed załączeniem D-STATCOM'u; b) po załączeniu D-STATCOM'u zainstalowanego w pobliżu zakładów.

W zakończeniu należy zaznaczyć, że realizacja D-STATCOM'ów wymaga znacznie mniejszych nakładów finansowych i ich okres zwrotu jest szybszy niż układów STATCOM w systemach przesyłowych. Dlatego poza wielkimi koncernami (Siemens, Toschiba, Mitsubishi Electric's, Alstom) na ten rynek wchodzą coraz częściej mniejsze firmy. Również i Polsce istnieją techniczne możliwości realizacji układów D-STATCOM przez firmy rodzime.

a)

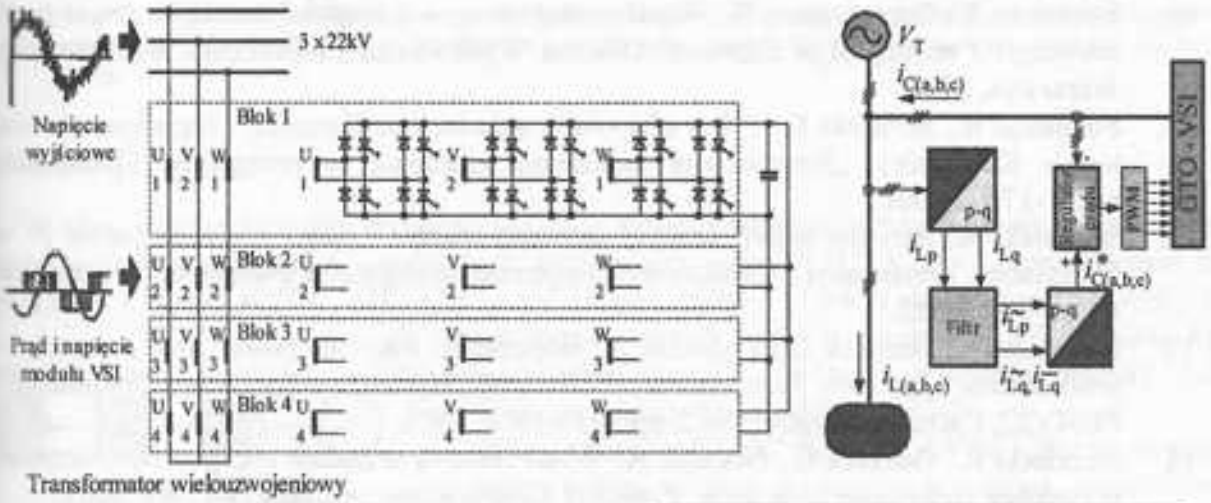


b)

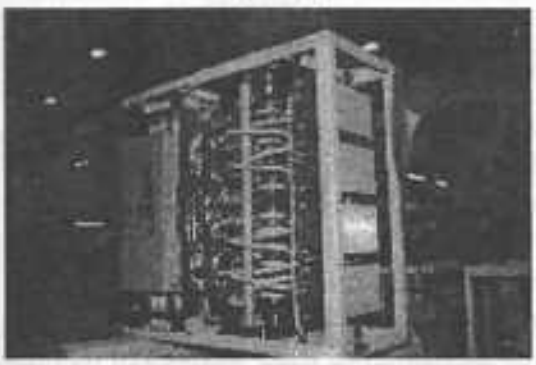
№ pomiaru Maks.	Parametr Δ10 STATCOM Wył.	Parametr Δ10 STATCOM Zał.	Poprawa
1	1,30	0,58	55,1 %
2	1,12	0,47	58,3 %
3	1,09	0,42	61,7%

Rys.20. Zastosowanie kompaktowego układu D-STATCOM (rys.21) do pieca łukowego: a) uproszczony schemat podłączeń; b) mierzone maksymalne wartości flicker'a przed i po załączeniu układu STATCOM.

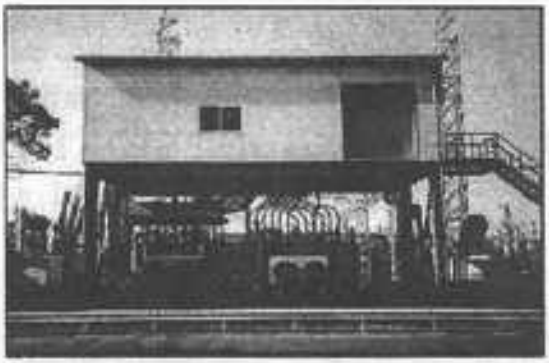
a) b)



c)



d)



Rys.21. Kompaktowy 20MVA/22kV D-STATCOM (Mitsubishi Electric): a) uproszczony schemat układu; b) konfiguracja obwodu sterowania c) konstrukcja falownika w bloku; d) wygląd zewnętrzny instalacji.

5. LITERATURA

1. Ghosh A., Ledwich G.: *Power Quality Enhancement Using Custom Power Devices.* Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.
2. Hashad M., Iwaszkiewicz J.: *A Novel Orthogonal Vectors Based Topology of Multi-level Inverters.* IEEE Transaction on Industrial Electronics, Special Issue on Multilevel Inverters, 2002.
3. Hingorani N. G., Gyugi L.: *Understanding FACTS. Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems.* IEEE Press, New York, 2000
4. Hochgraf C., Lasseter R.: *A Transformer-less Static Synchronous Compensator Employing a Multi-level Inverter.* IEEE Power Engineering Society, Summer Meeting 1996, 96 SM 452-3 PWRD.

5. Iyodaj L, Hosokawa, Y., Kinoshita, H.: *Development of Compact STATCOM (Active Type Static Reactive Power Compensator)*. Mitsubishi Electric Corporation.
6. Mori, S., et. al., *Development of a Large Static Var Generator Using Self-Commutated Inverters for Improving Power System Stability*. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, No. 1, February, 1993.
7. Reed G., et. al.,: *The VELCO STATCOM-Based Transmission System Project*. Proceedings of the 2001 IEEE PES Winter Power Meeting, Columbus, OH, January/February 2001.
8. Schauder C.: *STATCOM for Compensation of Large Electric Arc Furnace Installations*. Proceedings of the IEEE PES Summer Power Meeting, Edmonton, Alberta, July 1999, pp. 1109-1112.
9. Song Y.-H., Johns A. T.: *Flexible AC Transmission Systems (FACTS)*. IEE - Power and Energy Series 30, London, 1999.
10. Strzelecki R., Supronowicz S.: *Współczynnik mocy w systemach zasilania prądu przemiennego i metody jego poprawy*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000.
11. Strzelecki R., Sozański K.: *Filtry aktywne w układach zasilających i napędowych*. Materiały Konferencji „Nowoczesne urządzenia zasilające w energetyce", Kozienice, s.17.1-17.12, 2001.
12. Strzelecki R.: *Aktywne układy kondycjonowania energii – nowa moda czy jakość ?*. w Materiałach Konferencji „Nowoczesne urządzenia zasilające w energetyce", Kozienice, s.1.14-9.14, 2002.
13. Strzelecki R., Benysek G., Fedyczak Z., Bojarski J.: *Interline power flow controller - probabilistic approach*. Proc. Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference - PESC '02, Cairns, Australia, Vol.2, pp.1037-1042, 2002.
14. Strzelecki R., Benysek G., Noculak A.: *Wykorzystanie urządzeń energoelektronicznych w systemie elektroenergetycznym. Przegląd Elektrotechniczny*, Nr.2, s.41-49, 2003.

PROPERTY AND APLICATIONS DYNAMIC COMPENSATORS STATCOM AND D-STATCOM

Paper presents properties and possibilities of the STATCOM arrangements. Limit possibilities for electric energy flow enlargement through usage in transmission lines distributed compensators were considered. Some aspects concerning work were talked over and most important topologies of the converters, in this multi-level converters. Additionally possibilities of usage D-STATCOM arrangements with traditional compensators such as VSC and FC/TCR in distributed networks were considered.

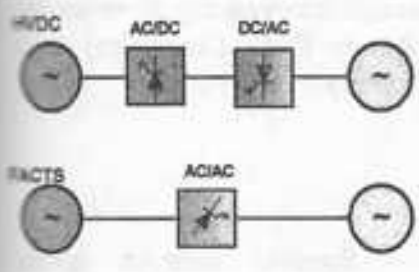
Ryszard STRZELECKI [1]
Grzegorz BENYSEK[2]

KONCEPCJE I WŁAŚCIWOŚCI URZĄDZEŃ SPRZĘGAJĄCYCH ROZPROSZONE SYSTEMY ELEKTROENERGETYCZNE

W referacie przedstawiono sposoby i nowe urządzenia sprzęgające systemy elektroenergetyczne. Szczegółowo omówiono zasadę działania i właściwości układu UPQC. W wyniku przeprowadzonych badań ustalono celowość budowy sprzęgów jako wielosystemowych. Omówiono przykładowe wielosystemowe sprzęgi AC (IPQC) i DC (IDCC). Przedstawiono koncepcję uniwersalnego sprzęgu wielofunkcyjnego, jako połączenia układów IPQC i IDCC wraz z zasobnikiem energii, jako potencjalny kierunek rozwoju podstacji rozdzielczych.

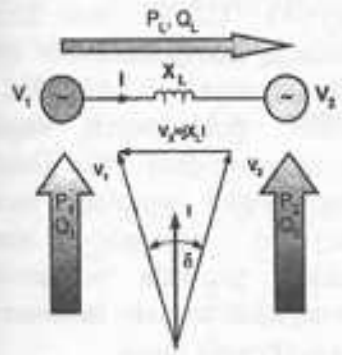
1. WSTĘP

W literaturze technicznej wyróżnia się dwie komplementarne technologie sprzęgania systemów elektroenergetycznych i sterowania przepływem energii [1],[2]: a) z przetwarzaniem na prąd stały - układy HVDC, MVDC i LVDC (High-, Midle-, i Low Voltage Direct Current); b) bezpośrednie - układy FACTS i mini-FACTS (Flexible AC Transmission System). Ogólne porównanie obydwu tych technologii poglądowo przedstawia rys.1.



Rys.1 Ogólne porównanie technologii HVDC(MVDC) i FACTS

Zaletą układów HVDC (MVDC, LVDC) jest możliwość przesyłu energii między systemami o różnych częstotliwościach. W przypadku zastosowania tyrystorów SCR konieczne są jednak rozbudowane filtracyjne. Nie ma możliwości zasilania odbiorców po tej stronie, od której został odłączony system. Te wady nie występują przy wykorzystaniu tyrystorów GTO lub tranzystorów IGBT. Przez przekształtniki zawsze przepływa cała energia z jednego systemu do drugiego, co determinuje koszty, wysokie nawet w przypadku układów 1-stacyjnych (np. sprzęgi prądu stałego). Natomiast w układach FACTS tylko część mocy przepływa przez przekształtniki. Układy te są preferowane w zastosowaniach do sterowania przepływem energii w systemach prądu przemiennego o jednakowej częstotliwości.



Rys.2. Model systemu dwuźródłowego

Zasadę przesyłu energii między systemami prądu przemiennego o jednakowej częstotliwości wyjaśnia prosty model dwuźródłowy, przedstawiony na rys.2. Przyjmując:

$$\bar{V}_1 = V_1 e^{j\delta}, \ \bar{V}_2 = V_2, \quad \text{przy czym} \quad \bar{V}_X = \bar{V}_1 - \bar{V}_2$$

gdzie: δ - przesunięcie fazowe, V_1, V_2 – amplitudy, przesyłaną moc czynną P_L i bierną Q_L, wyrażają zależności:

$$P_L = P_1 = -P_2 = V_1 V_2 \sin\delta / X_L \qquad (1)$$

[1] Akademia Morska w Gdyni, Katedra Automatyki Okrętowej, 81-225 Gdynia, ul. Morska 81-87, tel.: (+58)6901204, e-mail: rstrzele@am.gdynia.pl
[2] Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Elektrycznej, 65-243 Zielona Góra, ul. Podgórna 50, tel.:(+68)3282538, e-mail: G.Benysek@iee.uz.zgora.pl

$$Q_L = Q_1 + Q_2 = \left(V_1^2 + V_2^2\right)/X_L - 2V_1V_2\cos\delta/X_L \tag{2}$$

Moce bierne źródeł wynoszą w tym przypadku:

$$Q_1 = \frac{V_1^2}{X_L} - \frac{V_1 \cdot V_2}{X_L}\cos\delta \ , \ Q_2 = \frac{V_2^2}{X_L} - \frac{V_1 \cdot V_2}{X_L}\cos\delta \tag{3}$$

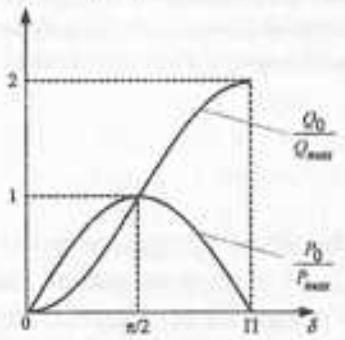
Jeśli amplitudy napięć są równe, tj. $V_1 = V_2 = V$, to:

$$P_L = P_0 = P_{\max}\sin\delta, \quad Q_1 = Q_2 = Q_0 = P_{\max}\left(1 - \cos\delta\right) \tag{4}$$

przy czym:

$$Q_L = 2Q_0, \ P_{\max} = V^2/X_L$$

gdzie: P_{max} - maksymalna moc czynna, przesyłana w systemie i ograniczona reaktancją X_L linii.

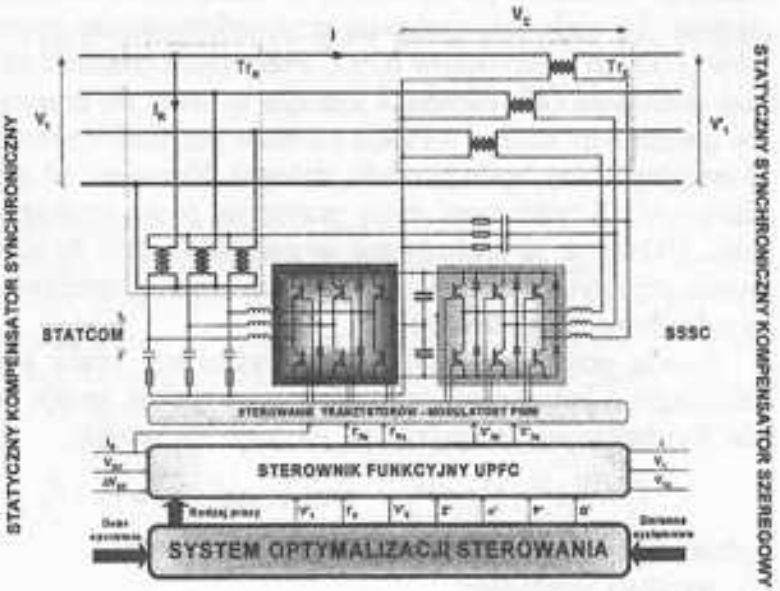


Rys.3. Zmiany mocy w systemie jak na rys.2 w funkcji kąta δ

Jak wynika ze wzorów (1)-(4) zilustrowanych na rys.3, przesył mocy między źródłami prądu przemiennego można regulować zmieniając reaktancję linii, amplitudę napięć i ich kąt fazowy. Możliwa jest regulacja pojedynczych wielkości, jednocześnie dwóch, lub wszystkich. Można wpływać na parametry źródeł, co w wielu przypadkach jest niewskazane lub utrudnione, lub stosować odpowiednie układy FACTS w zależności od wybranej metody sterowania przepływem energii.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie nowych możliwości elastycznego sterowania przepływem energii, jakie stwarza zastosowanie współczesnych układów energoelektronicznych, w szczególności układu IPFC (Interline Power Flow Controller) oraz IDCC (Interline Direct Current Controller).

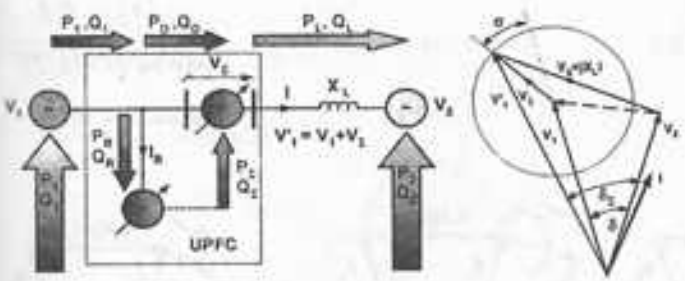
2. UKŁĄDU SPRZĘGAJĄCE BEZPOŚREDNIE



Rys.4. Schemat układu UPFC

Spośród znanych sprzęgów, najbardziej uniwersalny jest układ UPQC (Universal Power Quality Controller) (rys.4). UPQC jest kombinacją kompensatorów synchronicznych STATCOM i SSSC połączonych wspólnym obwodem DC. Dzięki możliwości wymiany mocy czynnej pomiędzy nimi, układ pozwala realizować wszystkie metody sterowania przepływem mocy.

Uwzględniając budowę i sposób dołączenia układu UPQC do systemu, jego możliwości sterowania przepływem energii w systemie dwuźródłowym zostaną omówione na podstawie modelu i wykresu wskazowego pokazanego na rys.5. Pominięto przy tym inne możliwe funkcje dodatkowe UPQC takie jak: filtracja harmonicznych czy symetryzacja prądu i napięcia, oraz kompensacja mocy biernej źródła V_1 [2],[5]. Nie jest także rozpatrywana możliwość dołączenia zasobnika energii w obwodzie DC. W tym



Rys.5. Model systemu dwuźródłowego z UPFC

przypadku model UPQC stanowią dwa regulowane źródła: równoległe-prądowe i szeregowe-napięciowe, przy czym przepływem mocy steruje wyłącznie źródło szeregowe, uzupełniane w moc czynną ze źródła równoległego.

Na podstawie modelu i wykresu wskazowego dla systemu dwuźródłowego z UPFC (rys.5), przyjmując że napięcia źródeł V_1 i V_2 oraz napięcie dodawcze V_Σ wynoszą:

$$\vec{V}_1 = V_1 e^{j\delta},\ \vec{V}_2 = V_2,\ \vec{V}_\Sigma = V_\Sigma e^{j(\delta+\sigma)} \text{ przy czym: } \vec{V}_1' = \vec{V}_1 + \vec{V}_\Sigma,\ \vec{V}_X = \vec{V}_1 + \vec{V}_\Sigma - \vec{V}_2,$$

gdzie : σ - przesunięcie fazowe napięć V_Σ i V_1,
moc czynną P_L i bierną Q_L wyrażają następujące zależności:

$$P_L = P_1 = P_D + P_\Sigma = -P_2 = \frac{V_1 V_2}{X_L}\sin\delta + \frac{V_\Sigma V_2}{X_L}\sin(\delta+\sigma) \tag{5}$$

$$Q_L = Q_D + Q_\Sigma + Q_2 = \frac{V_1^2 + V_2^2 + V_\Sigma^2}{X_L} - 2\frac{V_1 \cdot V_2}{X_L}\cos(\delta) + 2\frac{V_1 \cdot V_\Sigma}{X_L}\cos(\sigma) - 2\frac{V_\Sigma \cdot V_2}{X_L}\cos(\delta+\sigma) \tag{6}$$

Zgodnie z oznaczeniami przyjętymi na rys.5, cząstkowe moce czynne P_D, P_R i P_Σ oraz bierne Q_D, Q_Σ, Q_2, Q_1 wynoszą:

$$P_D = \frac{V_1 \cdot V_2}{X_L}\sin\delta + \frac{V_1 \cdot V_\Sigma}{X_L}\sin\sigma,\quad P_\Sigma = P_R = \frac{V_\Sigma \cdot V_2}{X_L}\sin(\delta+\sigma) - \frac{V_1 \cdot V_\Sigma}{X_L}\sin\sigma$$

$$Q_D = \frac{V_1^2}{X_L} - \frac{V_1 \cdot V_2}{X_L}\cos\delta + \frac{V_1 \cdot V_\Sigma}{X_L}\cos\sigma,\quad Q_\Sigma = \frac{V_\Sigma^2}{X_L} + \frac{V_1 \cdot V_\Sigma}{X_L}\cos\sigma - \frac{V_\Sigma \cdot V_2}{X_L}\cos(\delta+\sigma)$$

$$Q_2 = \frac{V_2^2}{X_L} - \frac{V_1 \cdot V_2}{X_L}\cos\delta - \frac{V_\Sigma \cdot V_2}{X_L}\cos(\delta+\sigma),\quad Q_1 = Q_D + Q_R,\ Q_R \in \langle -Q_{\max},\ Q_{\max}\rangle$$

gdzie: $Q_R \neq 0$ jeśli przekształtnik równoległy stanowi regulowane źródło mocy biernej
Powyższe zależności, przy założeniu równości amplitud $V_1 = V_2 = V$ upraszczają się do postaci:

$$\frac{P_L}{P_{\max}} = \sin\delta + S\cdot\sin(\delta+\sigma),\quad \frac{Q_L}{P_{\max}} = 2\cdot[1-\cos(\delta)] + S^2 + 2S\cdot[\cos(\sigma) - \cos(\delta+\sigma)]$$

$$\frac{P_D}{P_{\max}} = \sin\delta + S\cdot\sin\sigma,\quad \frac{P_\Sigma}{P_{\max}} = S\cdot[\sin(\delta+\sigma) - \sin\sigma],\quad \frac{Q_2}{P_{\max}} = 1 - \cos\delta - S\cdot\cos(\delta+\sigma) \tag{7}$$

$$\frac{Q_\Sigma}{P_{\max}} = S^2 + S\cdot[\cos\sigma - \cos(\delta+\sigma)],\quad \frac{Q_D}{P_{\max}} = 1 - \cos\delta + S\cdot\cos\sigma,$$

$$\frac{Q_2}{P_{\max}} = 1 - \cos\delta + S\cdot\cos(\sigma) + Q_R$$

gdzie: $S = V_\Sigma / V$ - stosunek amplitud napięcia dodawczego i napięcia w systemie.

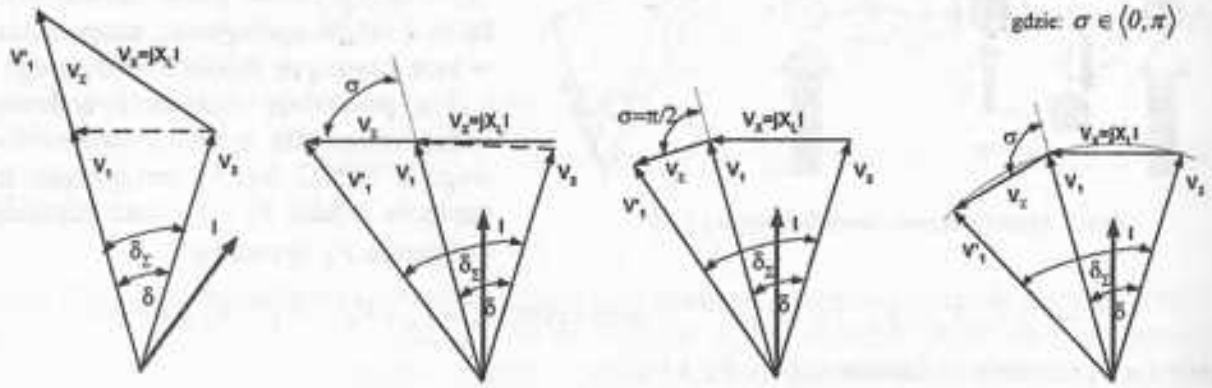
Przeprowadzona na podstawie zależności (7) ocena właściwości podstawowych metod sterowania przepływem mocy (rys.6, rys.7) wskazuje na korzyści wynikające z zastosowania UPQC. Ten układ umożliwia realizację wszystkich tych metod, w tym najkorzystniejszej, związanej z regulacją kąta δ_Σ napięcia wypadkowego V'_1, z zachowaniem stałej amplitudy $V'_1 = V_1$. Na rys.8 pokazano obszar sterowania mocą czynną i bierną dostarczaną do systemu 2 (rys.5), w przypadku dopuszczalnej zmiany napięcia o 20 % ($S = V_\Sigma / V = 0{,}2$).

a) Regulacja napięcia $S = var \ , \sigma = 0$

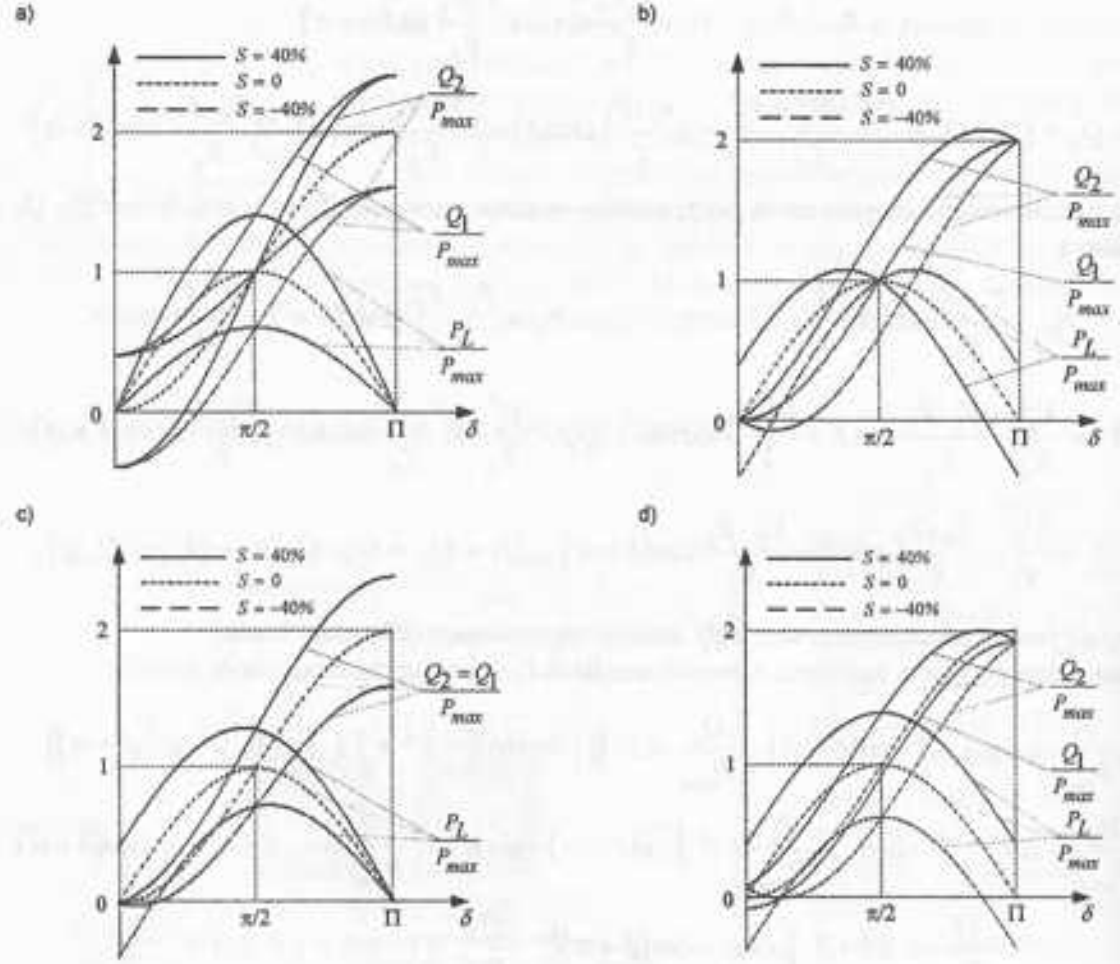
b) Regulacja reaktancji linii $S = var \ , \sigma = (\pi - \delta)/2$

c) Regulacja kąta $S = var \ , \sigma = \pi/2$

d) Regulacja kąta dla $V_1' = V_1$ $cos(\sigma) = -S/2$ $sin(\sigma) = \sqrt{1-(S/2)^2}$ gdzie: $\sigma \in \langle 0, \pi \rangle$

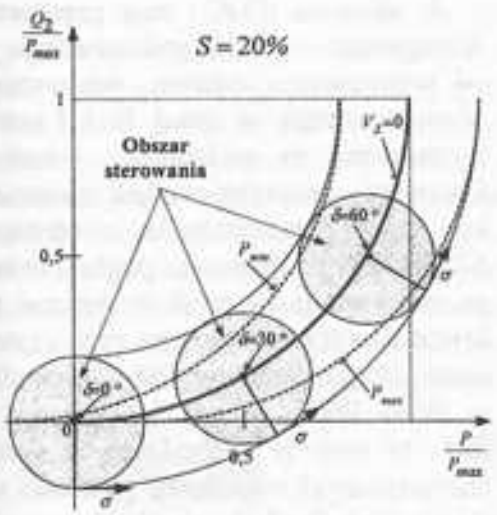


Rys 6. Wykresy wskazowe dla systemu z rys.5 przy różnych metodach sterowania przesyłem energii



Rys.7. Zmiany mocy czynnej i biernej w zależności od metody regulacji: a) regulacja napięcia dodawczego (regulacja wzdłużna napięcia); b) regulacja reaktancji linii (regulacja składowej biernej napięcia); c) regulacja kąta (regulacja poprzeczna napięcia) , d) regulacja kąta ze stałą amplitudą (regulacja poprzeczna i wzdłużna napięcia)

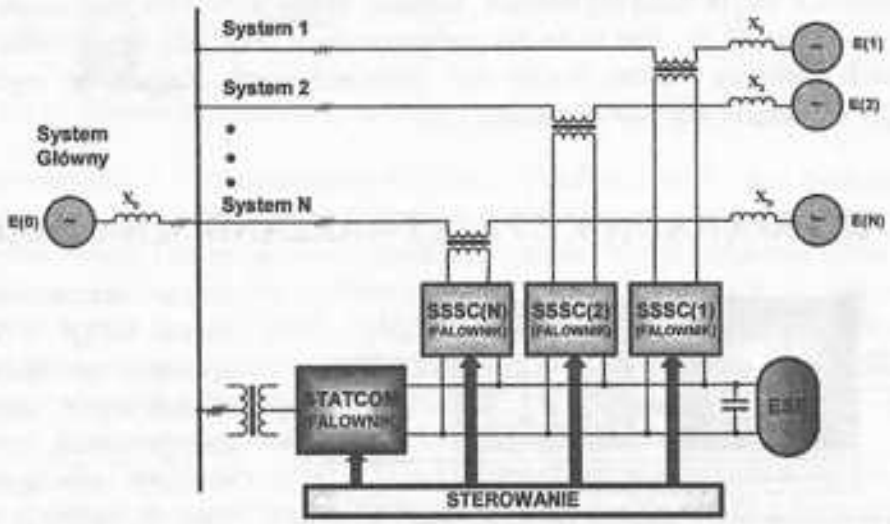
Wydzielone obszary kołowe zaznaczono dla przesunięć fazowych między napięciami V_1 i V_2 $\delta=0°$, $\delta=30°$ i $\delta=60°$. W każdym punkcie pracy moc czynna i bierna może być regulowana ± 20%. Jak wynika przy tym z wykresów pokazanych na rys.7d regulacja kąta ze stałą amplitudą umożliwia największe zmiany mocy czynnej, przy najmniejszym obciążeniu mocą bierną. Zapewniają ją również tradycyjne układy TCPAR+TCVR [1],[2], lecz nie są one w stanie kom-



Rys.8. Obszar sterowania mocą dostarczaną do systemu 2 w przypadku zastosowania w linii UPQC i kątach między napięciami systemowymi V_1 i V_2: $\delta=0°$, $\delta=30°$ i $\delta=60°$.

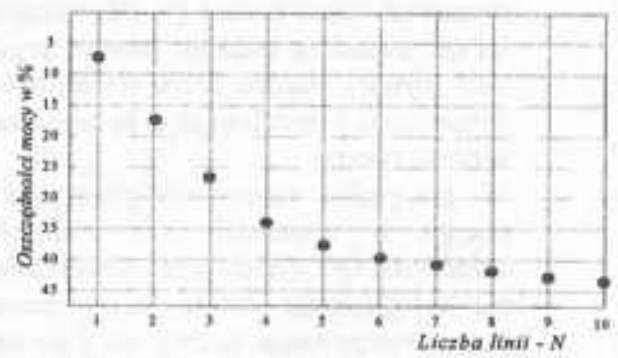
pensować moc bierną Q_1 .Na korzyść UPQC świadczą ponadto łatwość regulacji płynnej, bardzo dobre właściwości dynamiczne i możliwość dołączenia zasobnika energii.

W przypadku sterowania przepływem energii w systemach rozproszonych, układy UPQC (dołączane niezależnie) nie uwzględniają statystycznego zjawiska wyrównywania łącznej wartości zapotrzebowania na moc chwilową we wszystkich liniach. W tym przypadku moc gabarytowa przekształtników równoległych w układach UPQC jest zawyżona. Niemożliwe jest przekazywanie nadwyżek mocy z jednej linii do drugiej z pominięciem podstacji. Taką możliwość posiadają układy międzyliniowych sterowników przesyłu energii mocy IPQC [1],[3],[4].



Rys.9. Schemat blokowy międzyliniowego sterownika przepływu energii IPQC

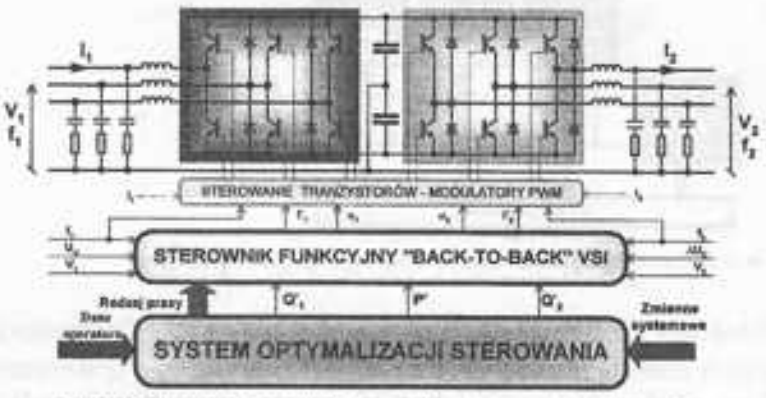
Na rys. 9 przedstawiono schemat blokowy układu IPQC (Interlinie Power Quality Controller), umożliwiającego sterowania przepływem energii między systemem głównym E(0) i systemami promieniowymi E(1),...,E(N). Układ ten zawiera N przekształtników szeregowych SSSC i tylko jeden przekształtnik równoległy STATCOM. Wszystkie przekształtniki są połączone wspólnym obwodem DC z zasobnikiem energii ESE (Energy Storage Element), którym najczęściej jest bateria kondensatorów. W układzie po odpowiednich modyfikacjach można również zastosować dodatkowe elementy ESE, np. SMES'y, baterie akumulatorów, ogniwa paliwowe itp.



Rys.10. Oszczędności w zapotrzebowaniu na moc czynną STATCOM'u w zależności od liczby linii przy podejściu probalistycznym.

W układzie IPQC moc przekształtnika szeregowego - SSSC jednoznacznie zależy od wymaganego zakresu sterowania przepływem energii w danej linii i może być wyznaczona na podstawie wzorów (7). Osobnym zagadnieniem jest natomiast dobór mocy przekształtnika równoległego - STATCOM'u. Przeważa pogląd, iż moc tego przekształtnika musi wystarczać na pokrycie zapotrzebowania na moc czynną poszczególnych układów SSSC, wchodzących w skład IPFC. Jednak biorąc pod uwagę fakt, że procesy zachodzące w systemach energetycznych są losowe (wartości napięć, prądów itp.), moc układu STATCOM można wyznaczać stosując podejście probalistyczne. Wraz ze wzrostem liczby N systemów promieniowych względna moc układu STATCOM maleje, aczkolwiek wolniej niż N. Tą zależność wyznaczoną z poziomem ufności 0,999 na podstawie danych pomiarowych w linii dystrybucyjnej na terenie woj.lubuskiego pokazano na rys.10 [3]. Wyniki te pozwalają twierdzić, że w najprostszym przypadku N=1, gdy IPQC jest „zwykłym" UPQC, podejście probalistyczne pozwala zmniejszyć moc układu STATCOM już 7%. W miarę jak IPQC obejmuje swym oddziaływaniem większą liczbę systemów oszczędności wzrastają i dla N=10 wynoszą aż 43 %. Jest to cecha predysponująca IPQC do zastosowania w rozproszonych systemach zasilania o dużej liczbie linii promieniowych. Racjonalne wydaje się objęcie układem IPQC nie więcej niż 5÷7 systemów.

2. UKŁĄDU SPRZĘGAJĄCE Z PRZETWARZANIEM NA PRĄD STAŁY



Rys.11. Schemat sterownika przesyłowego prądu stałego typu back-to-back

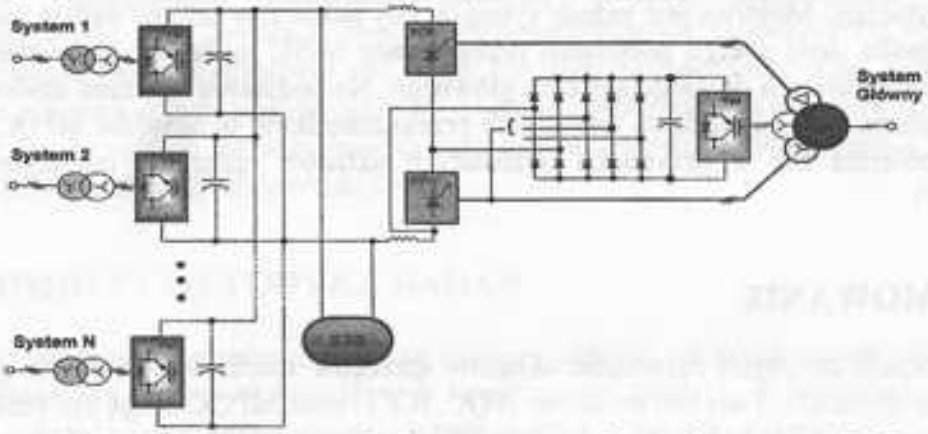
Jak zaznaczono na wstępie, układy UPQC i IPQC nie mogą sprzęgać systemów o różnych i niestabilnych częstotliwościach. Energetycznie wątpliwe jest również sprzęganie systemów, których napięcia są przesunięte w fazie o duży kąt δ. Szczególny obszar stanowi przy tym mała energetyka, gdzie większość energii pochodzi od źródeł z prostymi generatorami. Ich synchronizacja siecią, na ogół, nie pozwala wykorzystać w sposób optymalny dostępnych w danej chwili zasobów energii. Łatwiej to osiągnąć dopasowując się niezależnie do źródła i do systemu za pośrednictwem obwodu prądu stałego. Rolę takiego układu dopasowującego spełnia sterownik przesyłowy „back-to-back", pokazany na rys.11.

Uwzględniając sposób dołączenia i budowę układu „back-to-back" z dwóch falowników napięcia (VSI), można zauważyć, że przesył energii z jednego systemu do układu i z układu do drugiego systemu tłumaczą dwa modele systemu dwuźródłowego, przedstawione na rys.2. Dodatkowo należy tylko uwzględnić zbilansowanie mocy czynnych w obwodzie napięcia stałego. Układ „back-to-back" z dwoma falownikami napięcia, poza sterowaniem przesyłem, posiada również możliwości kompensacji mocy biernej i harmonicznych, umożliwia symetryzację prądu w systemach, a w przypadku dołączenia zasobnika energii, może służyć także jako źródło mocy

„interwencyjnej". Układ, w odróżnieniu od typowych tyrystorowych sprzęgów prądu stałego działa poprawnie w warunkach odłączenia jednego z systemów, zasilając odbiory z dwóch stron.

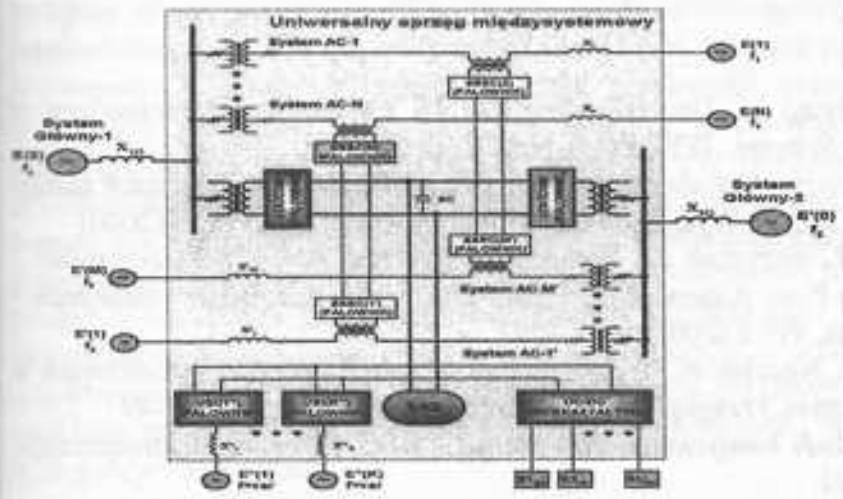
W przypadku sterowania przepływem energii w systemach rozproszonych, stosowanie niezależnych układów „back-to-back" dla każdych dwóch linii jest niecelowe. Takie rozwiązanie nie uwzględnia wyrównywania łącznej wartości zapotrzebowania na moc chwilową we wszystkich liniach. (analogiczne zagadnienie dla układów UPQC omówiono wcześniej). Wiąże się to z brakiem możliwości bezpośredniego przekazywania nadwyżek mocy z jednej linii do drugiej poprzez obwód napięcia stałego. Taką możliwość posiadają układy międzyliniowych sterowników przesyłu energii prądem stałym IDCC (Interline Direct Current Controller).

Na rys. 12 przedstawiono schemat blokowy IDCC, umożliwiającego sterowania przepływem energii między systemem głównym i systemami promieniowymi przez obwód DC. Układ, w od-



Rys.12. Schemat blokowy międzyliniowego sterownika przepływu energii IDCC

różnieniu od rozwiązania z N niezależnymi układami „back-to-back", ma dwa razy mniejszą liczbę falowników VSI i jeden prostownik 12-pulsowy dużej mocy z dodatkowym pomocniczym układem VSI małej mocy. Ten prostownik z układem pomocniczym zamienia falownik VSI dużej mocy. Do układu IDCC może być podłączony duży zasobnik energii ESE oraz razem z nim odbiory DC i inne źródła energii prądu stałego. Prostownik składa się z dwóch modułów 6-pulsowych, jednego konwencjonalnego na tyrystorach SCR a drugiego na tyrystorach GTO. Wykorzystanie prostownika 12-pulsowego zmniejsza odkształcenia prądu wprowadzanego do systemu głównego. Moduł na tyrystorach GTO kompensuje składową bierną prądu, generowaną przez prostownik SCR. Dodatkowy układ VSI pełni funkcję filtru aktywnego, zapewnia warunki do komutacji tyrystorów w prostowniku SCR w przypadku odłączenia zasilania w systemie głównym, a ponadto, zwraca do systemu energię przepięć powstających w prostowniku GTO.



Rys.13. Schemat blokowy uniwersalnego sprzęgu międzysystemowego MPFC

W układzie IDCC (rys.12) moce falowników VSI jednoznacznie zależą od wymaganych przepływów energii w systemach promieniowych, natomiast moc prostownika 12-pulsowego jest wypadkową tych przepływów. Biorąc pod uwagę losowość procesów w systemach promieniowych moc tego prostownika można wyznaczać z bardzo dużym poziomem ufności stosując podejście probalistyczne,

podobnie jak w przypadku IPFC. Podobne są również wyniki. Wielkość zasobnika ESE musi być dobrana z uwzględnieniem zależności czasowych, na zasadzie kompromisu. Im większy jest zasobnik, tym podejście probalistyczne jest dokładniejsze.

Na podstawie układów IPQC oraz IDCC została opracowana koncepcja uniwersalnego sprzęgu międzysystemowego MPQC (Multifunctional Power Quality Controller), którą na przykładzie dwóch systemów głównych o różnych częstotliwościach f_1 i f_2, z N i M systemami promieniowymi, K systemami lokalnymi o zmiennej częstotliwości f=var, L systemami prądu stałego i zasobnikiem energii ESE przedstawiono na rys.13. Wyróżnikiem jest skumulowanie wymiany energii między wszystkimi systemami w obwodzie DC. Im więcej systemów, tym moce falowników równoległych (STATCOM) i pojemność zasobnika energii są mniejsze. Udział dwóch STATCOM'ów w przekazywaniu energii między systemami o częstotliwościach f_1 i f_2 może wydawać się zbyteczny. Możliwa jest jednak sytuacja, gdy jeden z systemów będzie niedociążony. W tym przypadku ilość energii pobieranej przez układy SSSC może być niewystarczająca dla systemów promieniowych drugiego systemu głównego. Na podstawie obliczeń stwierdzono także, że sumaryczna moc gabarytowa wszystkich przekształtników w układzie MPQC i zasobnik energii są mniejsza niż w przypadku pozostałych układów sprzęgów międzysystemowych (IPQC, IDCC).

3. PODSUMOWANIE

Każde z przedstawionych rozwiązań układów sprzęgów międzysystemowych: pojedyncze: UPQC i „back-to-back", i wielosystemowe: IPQC, ICCD oraz MPQC mogą być realizowane na różne zakresy mocy. Układy UPQC i „back-to-back" są już w praktyce zweryfikowane. Trwają prace nad budową IPQC i ICDC, co weryfikuje praktyczną przydatność badań i nowych koncepcji z tego obszaru. Sprzęgi najkorzystniej jest budować jako podstacje, z monitoringiem procesów, w tym również jakości dostawy i poboru energii. Ważne znaczenie ma również fakt, że wszystkie układy umożliwiają realizację dodatkowych funkcji, w szczególności poprawy jakości - kondycjonowania energii elektrycznej. Należy się spodziewać, że w raz z rozwojem małej energetyki lokalnej oraz tendencją do realizacji koncepcji zasilania rozproszonego, przedstawione rozwiązania wraz z wyrównawczymi zasobnikami oraz lokalnymi układami kondycjonowania energii elektrycznej staną się wyposażeniem nowoczesnych podstacji rozdzielczych .

Praca realizowana w ramach projektu badawczego Min. Nauki i Informatyzacji Nr 4T10A 037 25 pt.„Energoelektroniczne układy elastycznego sterowania przepływem mocy w rozproszonych systemach zasilających prądu przemiennego"

4. LITERATURA

1. N. G. Hingorani N.G., Gyugi L., *Understanding FACTS. Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*, IEEE Press, New York (2000)
2. Strzelecki R., Supronowicz H., *Metody poprawy współczynnika mocy w systemach zasilania prądu przemiennego*, Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa (2000)
3. Strzelecki R., Benysek G., Fedyczak Z., Bojarski J., *Interline power flow controller - probabilistic approach*, in Proc. Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference - PESC '02, Cairns, Australia, Vol.2 (2002) 1037-1042
4. Strzelecki R., Benysek G., Noculak A., *Wykorzystanie urządzeń energoelektronicznych w systemie elektroenergetycznym*, Przegląd Elektrotechniczny, 49 (2003), nr.2, 41-49
5. Strzelecki R., *Aktywne układy kondycjonowania energii – APC*, Przegląd Elektrotechniczny, 45 (2002), nr 2, 196-202

Lech SUBOCZ[1]

BADANIA KOMBINEZONU NURKA W ZWIĄZKU Z ZAGROŻENIEM PORAŻENIEM PRĄDEM ELEKTRYCZNYM

W pracach podwodnych obserwuje się ostatnio tendencję do prowadzenia ich na coraz większych głębokościach przy zastosowaniu napięć roboczych przemiennych większych od bezpiecznych. Szczególnego znaczenia nabierają wówczas zagadnienia ochrony przeciwporażeniowej. Jako środek ochrony przeciwporażeniowej proponuje się wyłączniki nadmiarowo-prądowe. Ich działanie nie może być ograniczone przez zbyt małe prądy upływu oraz nie może być powodem częstych wyłączeń elektrycznych urządzeń roboczych. Kombinezon nurka winien zagwarantować jego bezpieczeństwo przy pracach z użyciem narzędzi elektrycznych na głębokości do 150 m

1. PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Do badań materiałów przeznaczonych na izolację elektryczną kombinezonu nurka użyto wybrane materiały, z których wykonuje się te kombinezony (tabl.1). W badaniach pominięto wykładzinę poliuretanową, która wyściela kombinezon w celu jego ocieplenia i nie stanowi podstawowej izolacji elektrycznej.

Tabl.1. Materiały na kombinezony nurka.

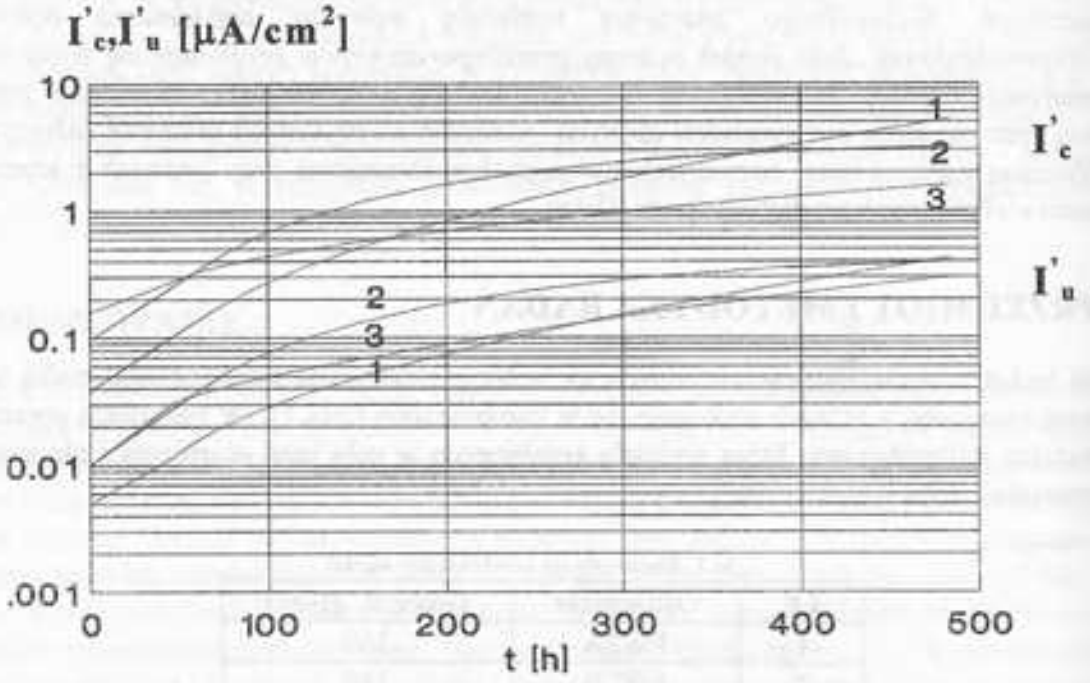
Lp	Oznaczenie	Grubość g[μm]
1	PW2A	360
2	PW2B	340
3	SNK	560

Ponieważ badania dotyczyły jakości izolacji przy napięciu zmiennym, do jej oceny zastosowano następujące wskaźniki jakościowe: prąd upływu przy napięciu stałym 500 V i prąd pojemnościowy przy napięciu przemiennym 500 V, 50 Hz przeliczone na jednostkę powierzchni - odpowiednio I_U' i I_C. Płaskie próbki materiałowe o wymiarach 5x15cm poddano długotrwałemu oddziaływaniu wody wodociągowej pod ciśnieniem 1,5 MPa odpowiedniemu dla słupa wody wysokości 150 m. Na czas pomiarów próbki materiałowe wyjmowano z komory ciśnieniowej, którą poddawano wcześniejszej dekompresji, a po wykonaniu pomiarów ponownie napełniano ją sprężonym powietrzem. Łączny czas dekompresji komory i ponownego sprężania w niej powietrza trwał 1 do 1,5 godziny. Po zakończeniu badań próbek w komorze ciśnieniowej zostały one poddane reklimatyzacw warunkach pokojowych. Podczas reklimatyzacji mierzono rezystancję jednostkową próbek (odniesioną do powierzchni 1 cm^2) przy napięciu stałym 500 V. Zmiany tej rezystancji (R') posłużyły do oceny prędkości reklimatyzacji kombinezonu nurka po jego użyciu oraz określenia sposobu i czasu powrotu do zadawalających, z punktu widzenia bezpieczeństwa użytkowania, właściwości izolacyjnych. Badania reklimatyzacyjne przeprowadzano na próbkach materiałowych po wcześniejszym ich przebywaniu w komorze ciśnieniowej przez 120 godzin i 316 godzin.

[1] Politechnika Szczecińska Instytut Elektrotechniki ul. Sikorskiego 37, 70-310 Szczecin lsubosz@ps.pl

2. WYNIKI BADAŃ

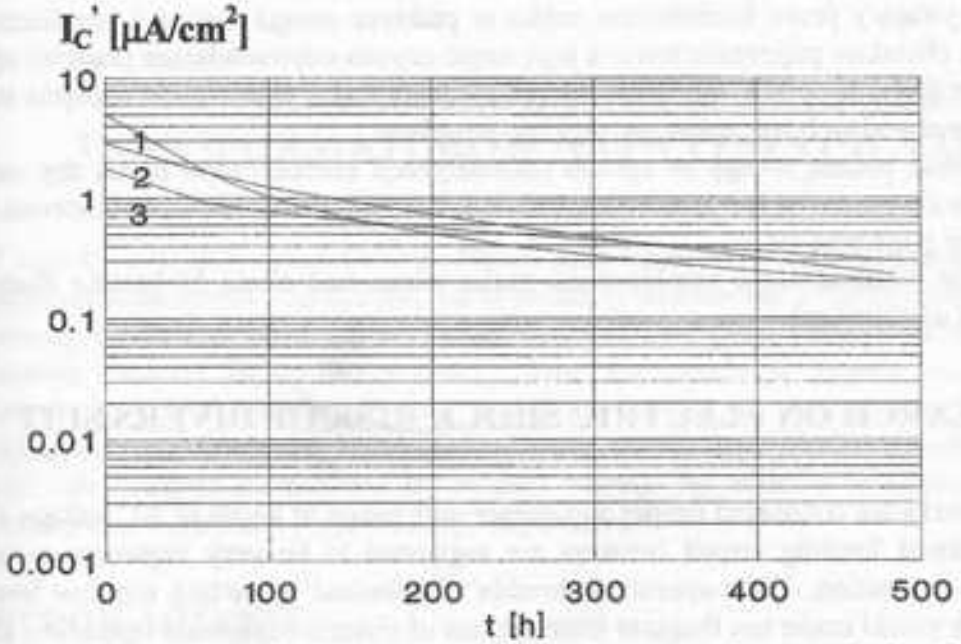
Wskutek długotrwałego przebywania w wodzie pod ciśnieniem zmieniła się rezystancja badanych materiałów oraz wynikający z niej jednostkowy prąd upływu I'_u. Zmianom tym towarzyszą zmiany jednostkowego prądu pojemnościowego I'_c. Sumaryczny prąd przepływający przez materiał jest geometryczną sumą tych prądów. Zauważa się, że prąd upływu dla wszystkich rodzajów materiałów na kombinezony nurka jest w przybliżeniu o rząd wielkości mniejszy niż prąd pojemnościowy I'_c - rys.1



Rys.1. Zmiany jednostkowego prądu upływu I'_u i jednostkowego prądu pojemnościowego I'_c w czasie narażania materiałów na kombinezony nurka wodą pod ciśnieniem 1,5 MPa dla materiałów jak w tabl.1.

Prąd pojemnościowy I'_c mierzony przy napięciu przemiennym jest zatem praktycznie równy całkowitemu prądowi przepływającemu przez izolację kombinezonu nurka. Zależny on jest od pojemności izolacji, która zmienia się w czasie narażenia wodą pod ciśnieniem. Zmiany te wynikają ze zmian strukturalnych materiału pod wpływem wody polegających na jej wnikaniu do wnętrza izolacji wskutek czego zmienia się przenikalność dielektryczna ε oraz objętościowa rezystywność skrośna ρ_V. Większe zmiany występują w przypadku rezystywności skrośnej ρ_V (około trzy rzędy wielkości) i związanego z nią prądu upływu I_u, a dla przenikalności dielektrycznej ε i związanej z nią prądem pojemnościowym I_c - około dwa rzędy wielkości. Prąd upływu i prąd pojemnościowy po 100..200 godzinach stabilizują się, a dalsze ich zmiany podczas przebywania izolacji w wodzie pod ciśnieniem są nieznaczne. Z punktu widzenia bezpiecznej eksploatacji urządzeń elektrycznych ważne jest aby prąd elektryczny przepływający przez izolację skafandra nurka nie przewyższał wartości dopuszczalnych. Przy wyznaczaniu tego prądu należy brać pod uwagę czas przebywania nurka pod wodą oraz powierzchnię skafandra nurka, która wynosi około 3 m^2 (30 000 cm^2).

Równie ważnym problemem dla bezpieczeństwa eksploatacji kombinezonu nurka jest powrót właściwości materiału (izolacji) do stanu początkowego, przed użyciem kombinezonu do prac podwodnych. Powrót właściwości do stanu początkowego gwarantuje bezpieczną pracę nurka w przypadku powtórnego użycia kombinezonu.



Rys.2.Zmiany jednostkowego I_ε' w czasie reklimatyzacji kombinezonu nurka w warunkach pokojowych po narażania wodą pod ciśnieniem 1,5 MPa dla materiałów jak w tabl.1.

Tempo reklimatyzacji kombinezonu zależne jest od czas użytkowania oraz od warunków przechowywania kombinezonu po jego użyciu. Na ogół maksymalny czas użytkowania sprzętu podwodnego nie przekracza kilku godzin co wynika ze zjawisk związanych z oddziaływaniem ciśnienia na organizm nurka. Natomiast warunki przechowywania kombinezonu nie zawsze odpowiadają standardowym warunkom pokojowym (18...22 ^{0}C). W najgorszym przypadku można więc przypuszczać, że proces reklimatyzacji będzie nieco dłuższy - rys.2. Zaniedbanie procedur związanych z przechowywaniem i suszeniem kombinezonów nurka może powodować wyłączenie z eksploatacji kombinezonu w związku z nadmiernym prądem płynącym przez jego izolację. Uwagi te dotyczą bardzo długich okresów przebywania nurka w kombinezonie pod wodą. Praktycznie czasy te są znacznie krótsze, tym bardziej, że nie należy dopuścić do wystąpienia choroby kesonowej u nurka. Przedstawione wyniki badań stanowią tylko wycinek problemu bezpiecznej pracy nurka podczas prac z użyciem prądu elektrycznego. Na ogół prace takie uważa się za bezpieczne w związku z dobrą izolacją kombinezonu i małym czynnym prądem upływu. Problemem trudnym do rozwiązania może się okazać nadmierny prąd pojemnościowy, który rośnie ze wzrostem nasiąkliwości wodą kombinezonu. W tej sytuacji bardziej korzystne pod względem bezpieczeństwa porażeniowego wydaje się celowy wybór gorszej izolacji kombinezonu, w rozumieniu czynnego prądu upływu, na rzecz izolacji o małych prądach pojemnościowych. Postulat ten jest spełniony dla kombinezonu nurka wykonanego z materiałów odznaczających się małą przenikalnością dielektryczną ε i umiarkowaną rezystywnością skrośną ρ_V. Wybór materiałów spełniających ten postulat staje się więc zasadniczym problemem jest w tym wypadku ponieważ propozycje dostępnych materiałów są dość skąpe. Innym sposobem uniknięcia porażeń prądem podczas prac podwodnych jest obniżenie napięcia roboczego. Wiąże się to ze wzrostem prądów roboczych wzrostem gabarytów urządzeń do prac podwodnych. Najrozsądniejszym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie prądu stałego. Prądy pojemnościowe nie mają w tym wypadku zasadniczego znaczenia, natomiast rośnie rola jakości izolacji wyrażana przez prądy upływu.

3. WNIOSKI

- Prąd przepływający przez kombinezon nurka w praktyce osiąga wartości bezpieczne dla nurka. Ma on charakter pojemnościowy, a jego część czynna odpowiadająca prądowi upływu izolacji jest praktycznie o rząd mniejsza od całkowitego prądu. Stosowanie napięcia stałego przy pracach podwodnych jest zatem szczególnie pożądane.
- Należy zwrócić baczną uwagę na sposób reklimatyzacji kombinezonu nurka aby uniknąć nawarstwianiu się procesów starzeniowych, wskutek których stan izolacji kombinezonu może systematycznie pogarszać się.
- Praktycznie reklimatyzacja kombinezonu nurka winna trać około 10-krotnie dłużej niż okres jego użytkowania.

RESEARCH ON ELECTRIC SHOCK RISK OF DIVERS SUIT

Underwater works are conducted deeper and deeper with usage of levels of AC voltage higher than safe. Current limiting circuit breakers are suggested to be very important means of electric shock protection. Their operation shouldn't be limited by setting too low levels of currents which would cause too frequent interruptions of electric equipment operation. Divers suit should guarantee safety during underwater activity with usage of electric equipment to depths down to 150m.

Lech SUBOCZ[1]

STARZENIE IZOLACJI PAPIEROWEJ TRANSFORMATORÓW NAJWYŻSZYCH NAPIĘĆ

W latach 1995,1996 zanotowano w Polsce dużą liczbę uszkodzeń izolatorów przepustowych do autotransformatorów 110/220 kV. Są to izolatory zbudowane z izolacji papierowo-olejowej. Pracowały one przez okres 15 do 20 lat i można było przypuszczać, że nastąpiło znaczne zestarzenie izolacji papierowo-olejowej. Dużą przeszkodą w ocenie stanu izolacji tych izolatorów jest brak systematycznych badań ich stanu lub zupełne ich zaniechanie. Dla powiększenia informacji na temat tempa starzenia izolacji papierowo-olejowej wykonano długotrwałe badania starzeniowe tej izolacji mierząc jej niektóre właściwości elektryczne i mechaniczne w warunkach podwyższonej temperatury.

1. WPROWADZENIE

Izolatory transformatorowe są bardzo ważną częścią izolacji tych urządzeń ponieważ są one zainstalowane w miejscu przejścia izolacji powietrznej w złożony układ izolacji stałej i ciekłej zapewniającej bezpieczną prace transformatora. Bezpieczeństwo to polega na uszczelnieniu kadzi transformatora przed dostaniem się do jej wnętrza wilgoci osłabiającej izolację transformatora. Równie ważną rolą tych izolatorów jest ograniczenie wyładowań niezupełnych powstających w układach izolacji stałej i gazowej. Zdarzające się awarie izolatorów transformatorowych są powodem poważnych strat gospodarczych związanych z nagłym odłączeniem zasilania w energię elektryczną. Izolatory przepustowe dużych transformatorów elektroenergetycznych wysokich i najwyższych napięć wykazują obok przełączników zaczepów znaczną zawodność. W literaturze światowej odnotowano liczne awarie przepustów między innymi na terenie Australii [1,2,3]. Podjęto tam próby prowadzenia diagnostyki przepustów w czasie eksploatacji na drodze ciągłego pomiaru tgδ, dla różnych przepustów przy wzajemnego porównywania wyników. Założono tu, że tgδ przepustów nie ulega jednakowemu pogorszeniu. Jeżeli jeden z nich wykaże znacznie wyższe straty od pozostałych to należy go wymienić i poddać szczegółowym badaniom laboratoryjnym Stała kontrola stanu izolacji transformatorów z uwzględnieniem stanu izolatorów przepustowych winna być przedmiotem szczególnego zainteresowania służb eksploatacyjnych. Najnowszym osiągnięciem w tej dziedzinie jest stały monitoring stanu izolacji transformatora łącznie z izolatorami przepustowymi. Polega on na przykład na ciągłej chromatografii gazowej oleju, stałym pomiarze poziomu wyładowań niezupełnych oraz kontroli wybranych miejsc izolacji transformatora przy pomocy systemu połączeń światłowodowych. W odniesieniu dla izolatorów przepustowych proponuje się częste ich badania porównawcze przy pomocy specjalnej techniki pomiarowej uwzględniającej przesunięcie fazowe napięć. Uzyskane dane na temat stanu izolacji są notowane przez system komputerowy i są one podstawa podejmowania decyzji ruchowych, czasami przy znacznym ograniczeniu roli służb eksploatacyjnych. W Polsce monitoring izolacji należy jeszcze do rzadkości z powodu dużego kosztu wdrożenia tego systemu. Badania stanu izolacji izolatorów transformatorowych przepustowych wykonywane są sporadycznie, nawet podczas stałych przeglądów transformatorów największych mocy badania te są na ogół zaniedbywane. Jest to

[1] Politechnika Szczecińska Instytut Elektrotechniki ul. Sikorskiego 37, 70-310 Szczecin lsubocz@ps.pl

poważny błąd wielu służb eksploatacyjnych ponieważ nie prowadzą one systematycznego rejestru wyników badań, które mogłyby być podstawą oceny trwałości tych izolatorów. Konieczna jest w związku z tym zmiana sposobu postępowania w zakresie dozoru stanu izolacji transformatorów. Systematyczne badania stanu izolacji oraz odpowiedni system gromadzenia ich wyników mogłyby pożytecznym zastępczym sposobem monitorowania stanu izolacji. Dla uzyskania pełnej informacji w tym zakresie wskazanym by było wykonywanie pomiarów jakości izolacji ustaloną metodyką badań i aparaturą pomiarową. Uzyskane wyniki badań winny stać się początkiem systematycznego nadzoru nad stanem izolatorów przepustowych

2. KRYTERIA OCENY STOPNIA ZESTARZENIA TERMICZNEGO PAPIERU

Starzenie termiczne jest to proces zmian strukturalnych, zachodzących pod wpływem długotrwałego działania wysokiej temperatury. Długotrwała degradacja (starzenie) izolacji prowadzi do stopniowego i na ogół nieodwracalnego pogarszania się właściwości. Podczas ich eksploatacji. w wyniku procesów starzeniowych następują fizykochemiczne przemiany struktury dielektryków, będące przyczyną powstawania w nich lokalnych defektów (pęknięcia i rozwarstwienia). Intensywność starzenia cieplnego izolacji jest uzależniona nie tylko od temperatury, ale również od rodzaju i struktury dielektryku oraz od obecności tlenu i wilgoci. Szybkość starzenia się papieru jest wprost proporcjonalna do stopnia jego zawilgocenia (w przedziale 0,3÷7%). Jednocześnie ten sam papier o zawartości wilgoci 0,3÷0,5% pracujący w temperaturze 90-110 °C starzeje się dwu-a nawet trzykrotnie szybciej w powietrzu niż próżni lub w atmosferze azotu [5]. Oceny długości życia izolacji (czasu jej starzenia się) dokonuje się na podstawie tzw. charakterystyki życia izolacji. W przypadku starzenia cieplnego charakterystyka życia izolacji jest zależnością czasu jej życia od temperatury . Jest to czas liczony od chwili zmiany własności poniżej określonego, umownego poziomu np. poziom 50% początkowej wartości wytrzymałości elektrycznej lub wytrzymałości mechanicznej. Niekiedy uwzględnia się ubytek wagi lub zmiany własności chemicznych. Zależność czasu życia izolacji τ od temperatury T odpowiada w szerokich obszarach zależności :

$$\tau = A \exp \frac{B}{T} \qquad (1)$$

gdzie A, B - stałe zależne od materiału i warunków pracy.

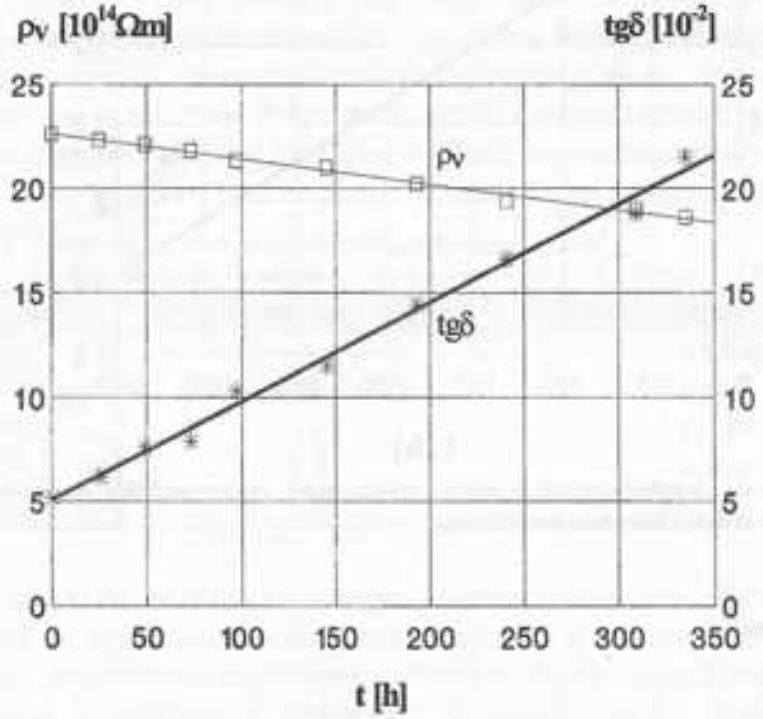
W obszarze temperatur leżących w pobliżu granicy uznawanej za dopuszczalną w pracy, czas życia zmniejsza się dwa razy przy wzroście temperatury np. o 10°C, dziesięć razy przy wzroście o kilkadziesiąt °C. Zależności te pozwalają ocenić skutki przeciążenia termicznego izolacji. Odporność na starzenie papierów elektroizolacyjnych można kontrolować porównawczo przez pomiar zmian wytrzymałości mechanicznej , wywołanych długotrwałym działaniem podwyższonej temperatury. Stopień zestarzenia termicznego papierów izolacyjnych w eksploatacji można jednak znacznie lepiej określić przez kontrolę zmian chemicznych, powstających w skutek odbudowy celulozy oraz otwieranie pierścieni glikozy z wydzieleniem cząsteczek wody. W stadiach pośrednich powstają grupy aldehydowe(-CHO) i ketonowe (=C=O), które następnie przechodzą w grupy karboksylowe. (-COOH). Dobrymi wskaźnikami odbudowy celulozy są więc:

- stopień polimeryzacji DP jako wskaźnik liczby pierścieni w łańcuchu celulozy,
- liczba miedziowa, jako wskaźnik pośredni zawartości aldehydów i ketonów,
- liczba kwasowa,
- przewodność wyciągu wodnego.

Dla zmierzenia większości z tych parametrów konieczna jest ingerencja do izolacji połączona z jej zniszczeniem. Znalezienie korelacji między nie niszczącymi badaniami parametrów elektrycznych a parametrami mechanicznymi, dla określenia których konieczne są badania niszczące,. byłaby bardzo pomocnym narzędziem w ocenie stanu izolacji oraz prognozowaniu jej żywotności.

3. PRZEDMIOT, METODYKA STARZENIA I WYNIKI BADAŃ

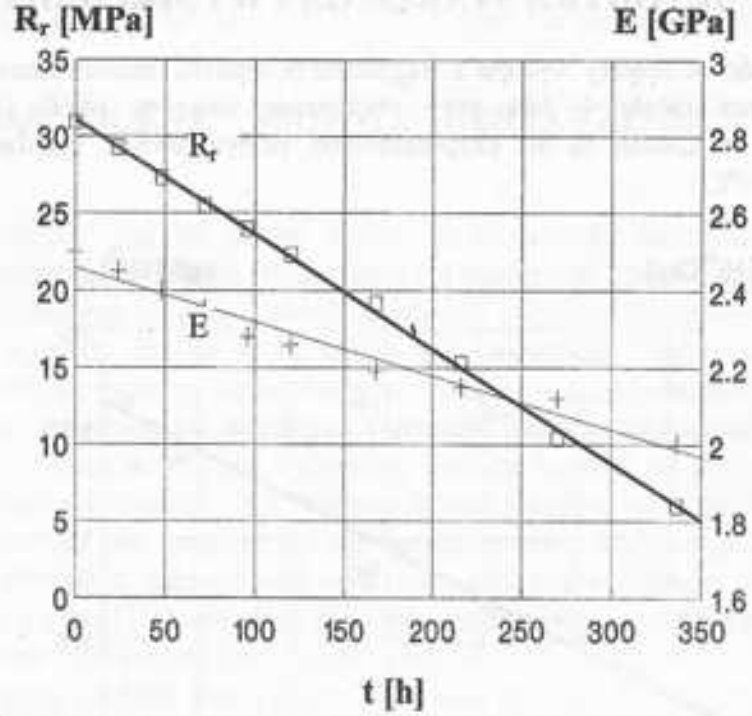
Próbki materiałowe zostały wycięte z fragmentu przepustu transformatorowego Haeffely eksploatowanego przez około 4 lata przy obciążeniu równym około 30% obciążenia nominalnego (próbki te uznano za nie eksploatowane, prawie nowe). Poddano je działaniu temperatury $T = 135 \pm 5^{\circ}C$.



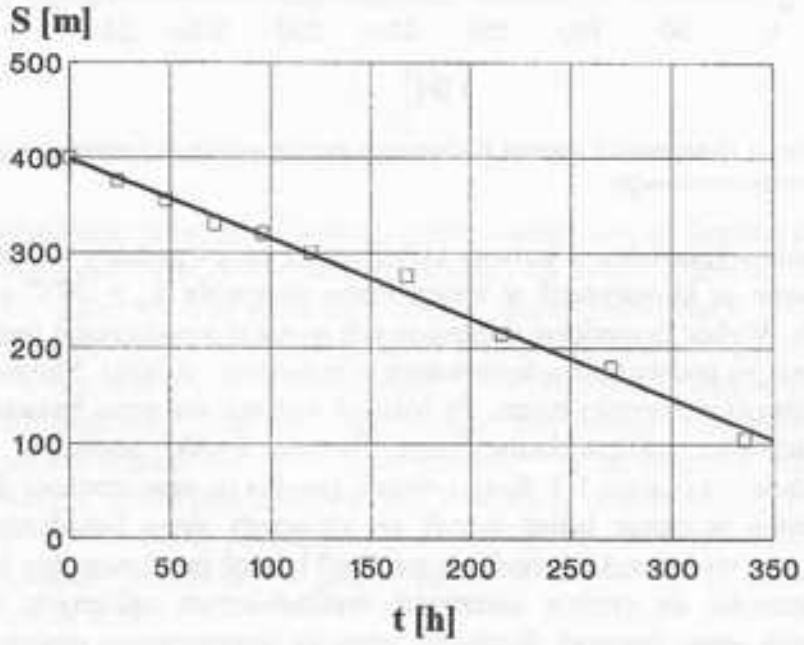
Rys.1. Zmiany właściwości elektrycznych papieru izolacyjnego (rezystywności ρ_V i stratności dielektrycznej tgδ) w czasie t starzenia termicznego.

Próbki do badania wyjmowano z komory klimatycznej co 24 godziny w ilościach 10 sztuk. Następnie poddawano je klimatyzacji w temperaturze otoczenia $T_o = 20^{\circ}C$ przy wilgotności względnej $\varphi = 65\%$. Wybór czynników starzeniowych wynikał z podatności izolacji papierowo-olejowej na starzenie jej podwyższoną temperaturą w atmosferze wilgoci. Słuszność tego doboru potwierdzają przedstawione wyniki badań. Po różnych czasach starzenia badano dielektryczne i mechaniczne właściwości papieru izolacyjnego. Średnie wyniki pomiarów dla 10 próbek materiałowych podano oraz na rys.1-3. Rezystywność skrośna ρ_V oraz stratność dielektryczna tgδ zmieniały się liniowo w czasie badań jednak nie osiągnęły stanu świadczącego o zupełnej degradacji izolacji (np. wytrzymałość mechaniczna $R_r=0$ lub tgδ przekraczający wartość ponad 1) Prezentowane zależności są częścią zależności wykładniczych opisanych zależnością (1). Prognoza osiągnięcia stanu zupełnej destrukcji wymaga teoretycznego opracowania wyników badań z założeniem przypuszczalnego tempa zmian (w tym wypadku – zmian wykładniczych). Badania takie można zatem uznać za niepełne, niemniej dla przybliżonego prognozowania czasu życia izolacji wystarczająca jest prognoza liniowa. W rzeczywistych warunkach

eksploatacyjnych nie jest możliwe osiągnięcie katastrofalnych warunków eksploatacji papierowo-olejowych izolatorów przepustowych, a przyczyn ich uszkodzenia należy upatrywać w innych powodach (np. niezbyt dokładny montaż dwuczęściowych izolatorów) w efekcie czego zostaje odsłonięta izolacja papierowa i na izolatorze w sprzyjających warunkach atmosferycznych może wystąpić przeskok na części izolatora).



Rys.2. Zmiany właściwości mechanicznych papieru izolacyjnego (wytrzymałości na zerwanie R_r i modułu sprężystości E) w czasie t starzenia termicznego.



Rys.3. Zmiany samozerwalności S papieru izolacyjnego w czasie t starzenia termicznego.

4.WNIOSKI

W wyniku długotrwałego starzenia papieru izolacyjnego w podwyższonej temperaturze zmieniały się jego właściwości elektryczne i mechaniczne. Zmiany te polegały na obniżaniu (pogorszeniu) tych właściwości w miarę wzrostu czasu starzenia. Szczególnie wyraźne pogorszenie zanotowano w przypadku właściwości mechanicznych. Zmiany tych właściwości w miarę wzrostu czasu starzenia. Można je zapisać zależnością:

$$W = W_0(1 - at) \qquad (2)$$

gdzie W oznacza określoną właściwość, a - tempo zmian w czasie t.
Dla czasu starzenia około 350 godzin właściwości mechaniczne mierzone szczególnie wytrzymałością na rozerwanie R_r oraz długością samozerwania S zmieniały się w dużym zakresie : około 6 razy dla R_r i 4 razy dla S . Właściwości elektryczne papieru nie wykazały równie dużych zmian w czasie starzenia jak właściwości mechaniczne.. Największy zmiany (wzrost) zanotowano w przypadku stratności tgδ, która wzrosła około 2,2 raza. Najbardziej skuteczne w ocenie stopnia zestarzenia izolacji są zatem pomiary niszczące izolacji, które w czasie eksploatacji nie są możliwe. Przybliżone wartości współczynnika a określającego tempo zmian niektórych właściwości izolacji podczas starzenie termicznego podano w tablicy 1.

Tabl.1. Tempo zmian niektórych właściwości badanej izolacji podczas starzenia termicznego

Właściwość W	Wartość początkowa W_0	Tempo zmian a[%/h]
tgδ $[10^{-3}]$	5	- 0,993
ρ_V $[10^{14}\Omega m]$	23	+ 0,063
R_r [MPa]	31	+ 0,240
E [GPa]	2,5	+ 0,065
S [m]	390	+ 0,291

Ocena taka jest natomiast możliwa na podstawie przedstawionych wyników badań wykonanych, dla realnej izolacji po niewielkim czasie eksploatacji. Dla skuteczności tej oceny konieczna jest wiedza na temat dopuszczalnych parametrów izolacji, które mogą przesądzić po jej remoncie lub wymianie. Jest to możliwe na podstawie kolejnych badań starzeniowych na izolacji papierowo-olejowej. Badania takie będą podjęte podczas opracowywania kolejnej prognozy trwałości przepustu transformatorowego [4].

5. LITERATURA

1. Allan D.M., Windle P.J. - 6 ISH New Orlean USA, 1989, pap.41.09
2. Allan D.M., Boyd K.J. - 7 ISH Dresden, 1991, pap.74.01
3. Malewski R. - *Diagnostyka transformatorów w eksploatacji.* III Symp. IW96, Kiekrz, s.15
4. Subocz L., Zając W. *Prognoza trwałości transformatorowych izolatorów przepustowych.* Instytut Elektrotechniki Politechniki Szczecińskiej DT 042-7984/97

AGEING OF PAPER INSULATION OF HIGH VOLTAGE TRANSFORMERS

To establish a life-span prognosis of paper-oil insulation and the transformer bushings produced of the same insulation. The mentioned insulation of the low degradation rate had the ageing testes carried out. The results, comprising electric and mechanical properties of insulation, were subject to preliminary evaluation and their correlative relations. The correlation, based on ageing test results, is expected to be more comprehensive and completed as soon as further results from exploitation tests will have been obtained.

Piotr SZYMCZAK[1]
Tomasz PIEŃKOWSKI[1]
Krzysztof MICHALSKI[1]
Bartłomiej STANKIEWICZ[1]

PRZEGLĄD WSPÓŁCZESNYCH MATERIAŁÓW MAGNETYCZNYCH TWARDYCH STOSOWANYCH W MASZYNACH ELEKTRYCZNYCH

W artykule opisano rozwój współczesnych materiałów magnetycznych twardych i porównano ich właściwości. Podano również przykłady zastosowań magnesów trwałych w maszynach elektrycznych oraz opisano zastosowanie układów Halbacha w bezrdzeniowym dyskowym silniku elektrycznym.

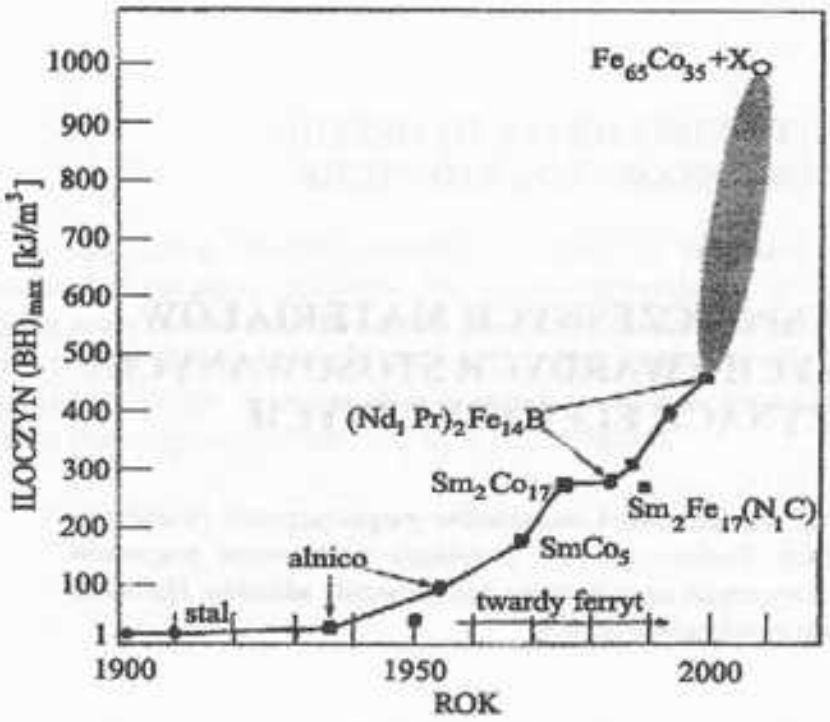
1. WPROWADZENIE

Od połowy XX wieku nastąpił ogromny postęp w dziedzinie materiałów magnetycznych. Badania naukowe i eksperymenty doprowadziły do odkrycia nowych materiałów magnetycznych o znacznie lepszych właściwościach użytkowych [3, 7, 9, 11, 12]. Wysokoenergetyczne magnesy trwałe mają coraz szersze zastosowanie w różnych wyrobach elektrotechnicznych, głównie w silnikach i generatorach. Charakteryzują się one dobrymi parametrami eksploatacyjnymi, takimi jak zwiększona niezawodność i trwałość. W ostatnim dwudziestoleciu można było zaobserwować dynamiczny postęp w technologii produkcji materiałów magnetycznie twardych, charakteryzujący się wzrostem gęstości energii magnesów od 300 do 500 kJ/m^3 [4]. Obecnie producenci oferują szeroki asortyment magnesów o dużej gęstości energii i bardzo dobrych właściwościach magnetycznych.

Główny postęp ostatnich lat to osiągnięcie coraz większego wskaźnika energetycznego $W_e=(BH)_{max}$ [11], dzięki zastosowaniu nowych materiałów magnetycznych z zawartością pierwiastków z ziem rzadkich na bazie neodymu Nd i samaru Sm. Na przykład od roku 1900 do roku 2000 gęstość energii materiałów magnetycznie twardych wzrosła około 35. krotnie. Postęp ten był wynikiem postępującej miniaturyzacji i rosnącymi wymaganiami stawianymi maszynom elektrycznym wykorzystywanym dla potrzeb sprzętu powszechnego użytku, automatyki i robotyki oraz techniki kosmicznej, podwodnej i komputerowej. Materiały ferromagnetyczne były znane od czasów prehistorycznych. Początkowo były to kawałki magnetytów używane do wyrobu igieł magnetycznych. Gwałtowny rozwój materiałów magnetycznych nastąpił wraz z dynamiczną eksploracją kosmosu i światowego oceanu przez eksploatatorów surowców mineralnych głównie ropy i gazu, który trwa on do dziś. Niebagatelną rolę w tym procesie odegrał rozwój teorii elektrotechniki oraz techniki w dziedzinie sterowania i kontroli systemów elektromechanicznych.

Początkowo jako materiały magnetyczne na magnesy trwałe używano stale węglowe. Do roku 1918 stosowano stale twarde: chromowe, tungstenowe i kobaltowe. Pod koniec I wojny światowej stworzono nowy gatunek stali z 36% zawartością kobaltu (FeCo). Umożliwiło to uzyskanie magnesów trwałych o dwukrotnie większej gęstości energii w porównaniu z magnesami ze stali tungstenowej [7]. Od tego momentu zaczyna się dynamiczny rozwój materiałów magnetycznych, który doprowadził do opracowania nowych odmian: FeAlNi, FeAlNiCo (alnico), FeAlNiCoCuTi, SrFeO, BaFeO, SmCo, SmFeN, SmFeC, NdFeB, PrFeB.

[1] Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki, 70-313 Szczecin, ul. Sikorskiego 37, tel. (091) 4494378, e-mail: pieniek99@wp.pl, krzysiek.michalski@interia.pl, bartlomiy_stankiewicz@ieee.org



Rys. 1. Rozwój materiałów magnetycznych twardych w XX wieku [3]

Wskaźnik energetyczny magnesów trwałych w latach 1950 – 2000 wzrósł około 6. krotnie, osiągając wartość rzędu do 500 kJ/m^3. W ostatnich latach wzrosło znaczenie materiałów nanokrystalicznych NdFeB i SmFeN. Przewiduje się, że ich rozwój w przyszłości będzie opierał się głównie na związkach żelaza (Fe) z kobaltem (Co) oraz domieszkami innych pierwiastków, które pozwolą uzyskać materiał o jeszcze lepszych właściwościach magnetycznych.

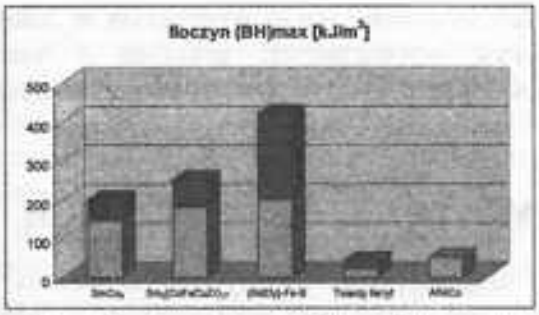
2. PORÓWNANIE WYBRANYCH MAGNESÓW TRWAŁYCH

Głównymi kryteriami oceny materiałów magnetycznie twardych, branymi pod uwagę przy analizie porównawczej są: remanencja B_r, koercja H_c i dopuszczalna temperatura pracy T_{max}. W tabeli 1 zestawiono podstawowe parametry wybranych magnesów twardych.

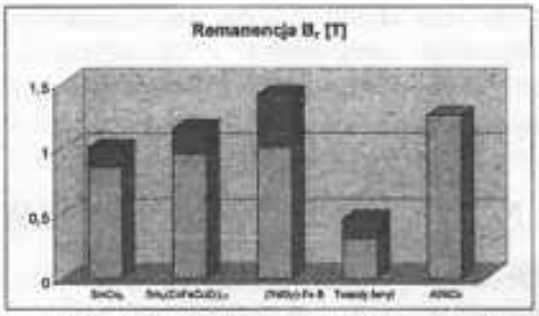
Tab. 1. Charakterystyka wybranych materiałów magnetycznych

Lp.	Magnes	Remanencja B_r, [T]	Koercja H_c, [kA/m]	Iloczyn $(BH)_{max}$, [kJ/m^3]	Temperaturowy współczynnik remanencji (20-100°C) TK(B_r) %K	Maksymalna temperatura pracy T_{max} °C
1	$SmCo_5$	0,85 - 1,0 / 0,925	>1600	145 - 200 / 172,5	-0,04	250
2	$Sm_2(CoFeCuZr)_{17}$	0,95 - 1,15 / 1,05	800 - 2000 / 1400	180 - 250 / 215	-0,03	300 - 350 / 325
3	(NdDy)-Fe-B	1,0 - 1,41 / 1,205	1040 - 3000 / 2020	200 - ok.420 / 310	-0,11	80 - 200 / 140
4	Twardy ferryt	0,3 - 0,45 / 0,375	240 - 320 / 280	20 - 40 / 30	-0,2	155 - 200 / 177,5
5	AlNiCo	1,25	55	50	-0,02	450 - 500 / 475

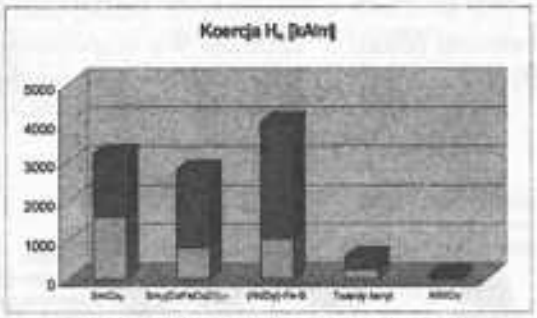
Na rysunkach 2 – 5 pokazano wartości parametrów jakie osiągają poszczególne rodzaje magnesów trwałych. Zaciemnionym kolorem oznaczono zakres zmian danego parametru w zależności od składu procentowego pierwiastków i samej technologii wytwarzania.



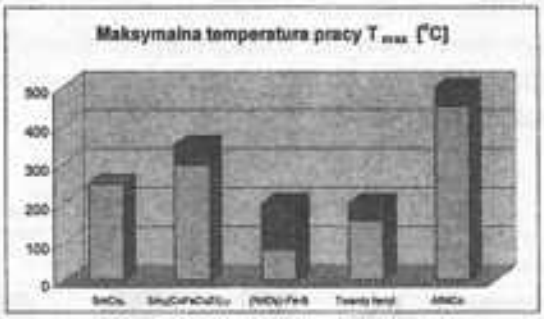
Rys. 2. Porównanie wartości gęstości energii



Rys. 3. Zestawienie wartości remanencji



Rys. 4. Zestawienie wartości koercji

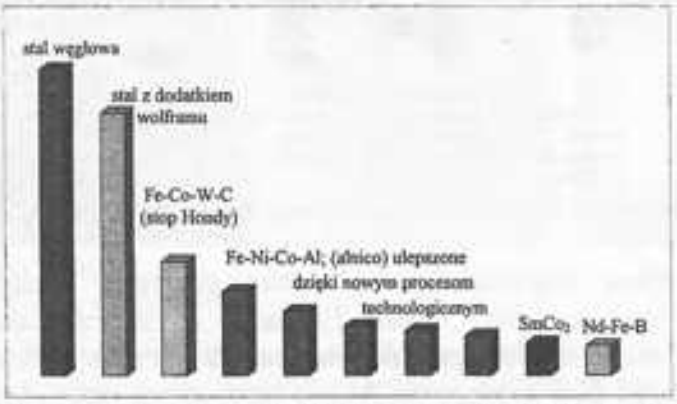


Rys. 5. Ocena maksymalnej temperatury pracy

Z analizy porównawczej wynika, że największy wskaźnik W_e mają magnesy trwałe z trzeciej grupy, za nimi plasują się magnesy z grupy drugiej (W_e mniejsze o około 30%), a dalej w kolejności występuje grupa pierwsza (W_e mniejsze o około 44%). W porównaniu do dawniej stosowanych twardych ferrytów, obecne materiały magnetyczne mają osiem razy większy wskaźnik W_e.

Wartość indukcja remanencji B_r jest porównywalna, przy czym dla grupy trzeciej ma ona największą wartość $B_{rmax} = 1{,}41T$, a najmniejszą dla grupy czwartej $B_{rmin} = 0{,}3T$. Współcześnie do wytworzenia tego samego pola magnetycznego, wystarczy magnes o znacznie mniejszej objętości, co obrazowo przedstawiono na rysunku 6. Stosując współczesne wysokoenergetyczne magnesy trwałe twarde możemy około 10. krotnie zmniejszyć ich objętość i przy zachowaniu tych samych parametrów energetycznych.

Reasumując, materiał grupy trzeciej charakteryzuje się największymi wartościami remanencji B_r i koercji H_c spośród analizowanych materiałów. Natomiast pewnym niedostatkiem jest stosunkowo niska dopuszczalna temperatura pracy, zawierająca się w przedziale od 80°C do 200°C. Projektując zatem maszynę elektryczną z zastosowaniem materiałów tej grupy należy zapewnić odpowiednie chłodzenie [4, 8]. W celu zwiększenia dopuszczalnej temperatury pracy magnesu dodaje się do niego nowy pierwiastek dysproz – Dy. Najwyższą temperaturę pracy posiada grupa piąta.



Rys. 6. Porównanie objetości magnesów trwałych potrzebnej do wytworzenia takiego samego pola magnetycznego

Obecnie stosowane magnesy SmCo charakteryzują się dopuszczalną temperaturą pracy około 300°C.

Największy udział w światowej produkcji magnesów trwałych mają magnesy ferrytowe. Wynika to ze względów ekonomicznych, gdyż cena jednostki energii w magnesie ferrytowym jest około 18 razy niższa niż w magnesach SmCo i około 8 – 6 razy niższa niż w magnesach

NdFeB oraz alnico. Można się spodziewać, że rynek podyktuje nowe wymagania w zakresie zwiększania sprawności i zmniejszenia gabarytów wytwarzanych urządzeń i maszyn elektrycznych. Można zatem prognozować, że w niedalekiej przyszłości coraz szerzej stosowane będą magnesy trwałe.

3. NOWE TENDENCJE W ROZWOJU MASZYN ELEKTRYCZNYCH

Obecnie struktura przeznaczenia materiałów magnetycznie twardych przedstawia się następująco: 40% przypada na maszyny elektryczne, 20% na serwomotory i organy wykonawcze, 15% na urządzenia akustyczne, 10% systemy magnetomechaniczne i 15% na pozostałe urządzenia i mechanizmy [6]. Od roku 1995 do 2000 ilość maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi instalowana w samochodach wzrosła blisko 2. krotnie. We współczesnym samochodzie może być zamontowane nawet do 60 pomocniczych silników elektrycznych, co pokazano na rysunku 7.

Rys. 7. Zastosowania małogabarytowych silników w pojeździe mechanicznym wg firmy Robert Bosch GmbH [2].

Bardzo interesującą tematyką rozwijaną współcześnie są nowej generacji maszyny bezrdzeniowe, w których zastosowano tzw. segmenty Klausa Halbacha o różnych kątach namagnesowania [1, 5, 6]. Na świecie zwłaszcza w USA produkowane są już pierwsze maszyny w tak zwanej technologii SEMA (Segmented Elektromagnetic Array) przez różne firmy: Lynx Motion Technology Corporation, Kinetic Art and Technology Corporation, Delco Remy International Inc. i Power Corporation. Powyższa technologia pozwala radykalnie zmniejszyć masę, co wydaje się, być bardzo perspektywiczne dla układów napędowych, gdzie położono duży nacisk na minimalizację gabarytów.

Dzięki nowoczesnym, wysokoenergetycznym materiałom magnetycznym twardym i dyskowej konstrukcji silnika dyskowego jest możliwe zbudowanie energooszczędnego silnika elektrycznego o konkurencyjnych parametrach eksploatacyjnych. W takim silniku magnesy

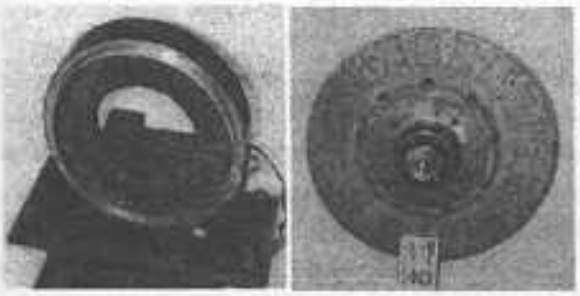
trwałe mogą posiadać różny kąt namagnesowania (α = 30°, 45°, 60°, 90°). Dzięki tym rozwiązaniom można kształtować wartość pola magnetycznego w maszynie elektrycznej o najbardziej pożądanych parametrach i jest możliwa rezygnacja z magnetowodu maszyny. Powoduje to znaczne zmniejszenie masy oraz zwiększenie współczynnika wyzyskania maszyny. Rozwiązanie to posiada też ujemne cechy, których wyrazem jest pogorszenie niektórych parametrów eksploatacyjnych.

W pracach [1, 5, 6] pokazano zastosowanie układów Halbacha w bezszczotkowym, dyskowym silniku elektrycznym. Pozwoliło to na wyeliminowanie magnetowodu. Przeprowadzona analiza (tabela 2), pokazała celowość technicznej realizacji takiego rozwiązania. Wykonanie silnika jest znacznie droższe, ale koszty eksploatacyjne są niższe. Porównując zatem efektywność ekonomiczną możemy stwierdzić, że niższe koszty eksploatacji mogą być czynnikiem decydującym o dynamicznym rozwoju tej technologii. Współczynnik gęstości mocy w analizowanym silniku dyskowym bez magnetowodu jest 1,68 razy większy niż w silniku klasycznym.

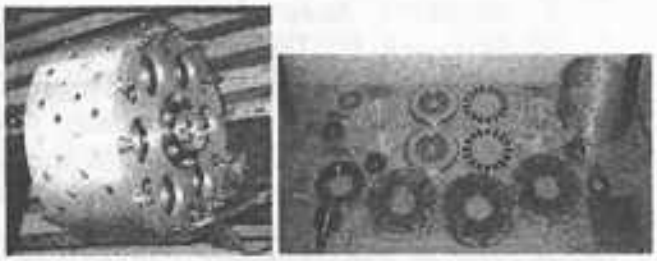
Tab. 2. Porównanie dwóch rodzajów silników

Parametr	Silnik elektryczny klasyczny	Proponowany silnik elektryczny dyskowy bez magnetowodu
Liczba par biegunów	4	4
Gęstość prądu, A/mm^2	3,80	3,78
Sprawność	0,87	0,915
Ciężar aktywnych części (magnetowód, uzwojenia i magnesów trwałych), kg	43,1	25,52
Gęstość mocy, kW/kg	0,151	0,254
Długość części aktywnych, mm	153	56
Średnica zewnętrzna, mm	247	358
Koszt produkcji jednego silnika, $	797,30	1294,52

Badania nad konstrukcjami silników wykorzystujących magnesy trwałe prowadzone są również w Instytucie Elektrotechniki Politechniki Szczecińskiej [10]. Na rysunkach 8 i 9 pokazano dwa typy tarczowych silników elektrycznych z wysokoenergetycznymi magnesami trwałymi.



Rys. 8. Widok silnika tarczowego i jednego z dwóch dysków, na których zamontowano magnesy trwałe



Rys. 9. Widok wielowarstwowego bezrdzeniowego silnika tarczowego

Pierwszy z nich, pokazany na rysunku 8 to trójfazowy silnik tarczowy. Na dwóch obracających się dyskach zamontowano magnesy trwałe SmCo. Drugi silnik, pokazany na rysunku 9, to wielowarstwowy bezrdzeniowy silnik tarczowy, z trzema dyskami stojana i czterema obracającymi się dyskami wirnika z magnesami trwałymi.

WNIOSKI

1. Głównymi czynnikami, które spowodowały dynamiczny rozwój różnych konstrukcji maszyn i urządzeń elektrycznych z wysokoenergetycznymi magnesami trwałymi, były rosnące wymagania stawiane maszynom elektrycznym dla potrzeb sprzętu powszechnego użytku, automatyki i robotyki oraz techniki kosmicznej, podwodnej i komputerowej, a także rozwój teorii maszyn elektrycznych i sterowania.
2. Z przeprowadzonej analizy współcześnie produkowanych magnesów trwałych twardych, najbardziej perspektywicznymi wydaj się być magnesy: samarowo-kobaltowe (SmCo) i neodymowo-borowe (NdFeB). Posiadają one bardzo dobre charakterystyki odmagnesowania i dużą stabilność temperaturową. Przeszkodą w ich masowym wykorzystaniu w przemyśle jest jednak wysoka cena.
3. Zastosowanie we współczesnych samochodach około 60 pomocniczych silniczków elektrycznych jest potwierdzeniem tendencji coraz powszechniejszego wykorzystania magnesów trwałych. Nowy kierunek w rozwoju tych materiałów zapoczątkowała technologia SEMA oparta o koncepcję K. Halbacha.

LITERATURA

1. Afonin A., Szymczak P.: *Design of disc electrical machines*, Technicna Elektrodinamika, Tematicnyj Vypusk „Problemy sucasnoj elektrotechniki", Kijev 2002, cast. 5, pp. 27 – 32.
2. AutoExpert, nr 1, 1998: *„Samochodowe silniczki pomocnicze"*.
3. Dobrzański L.: *Podstawy nauki o materiałach i materiałoznawstwo*, WNT, Gliwice – Warszawa 2002.
4. Ertan H., Uctug M., Colyer R., Consoli A.: *Modern Electrical Drives*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London 2000.
5. Gieras J., Gieras I., Szymczak P.: *Is the ferromagnetic core in PM brushless motors necessary?*, Proc. of the 5th. Inter. Conf. on Unconventional Electromechanical and Electrical Systems, Vol. 1, Szczecin i Międzyzdroje 2001, pp. 59-70.
6. Gieras J., Wing M.: *Permament magnet motor technology*. New York – Basel 2002.
7. Glinka T.: *Maszyny elektryczne wzbudzane magnesami trwałymi*, WPŚ, Gliwice 2002.
8. Hendershot J., Miller T.: *Design of brushless permanent – magnet motors*, Oxford 1994.
9. Soiński M.: *Materiały magnetyczne w technice*, COSiW SEP, Warszawa 2001.
10. Szymczak P.: *Diskovyje elektrodvigatieli dlia privoda malych morskich obiektov*, Proc. of the 12th Conf. „Alternative current elektrical drives", ACED'01, Urals State Technikal University, Ekaterivburg, Russia, 2001, pp. 15 – 18 (in russian).
11. Turowski J.: *Elektrodynamika techniczna*, WNT, wyd. 2, Warszawa 1993.
12. Życki Z.: *Rozwój koncepcji maszyn elektrycznych o magnesach trwałych – struktury, teoria, zastosowania*, Mat. konf. 33. Międzynarodowego Sympozjum Maszyn Elektrycznych, Poznań/Kiekrz 1997, str. 1-26.

REVIEW OF MODERN HARD MAGNETIC MATERIALS APPLIED IN ELECTRICAL MACHINES.

The paper describes the development and characteristics of hard magnetic materials. Chosen permanent magnets are compared. Typical examples and applications of permanent magnet usage in electrical machines are presented. A so called „Halbach array" application in a disc type coreless motor is described.

Piotr SZYMCZAK[1]
Marcin WARDACH[1]
Sebastian SZKOLNY[1]
Tomasz PIEŃKOWSKI[1]

NOWE TECHNOLOGIE W OBIEKTACH PODWODNYCH

W pracy pokazano kierunki badań związane z oceanotechniką i nowymi technologiami, które są stosowane przy eksploracji mórz i oceanów. Przedstawiono zarys rozwoju, wpływ materiałów i technologii na rozwój obiektów podwodnych, który został zapoczątkowany konstrukcją S. Drzewieckiego i trwa już 116 lat. Najbardziej znaczącą grupę pośród obiektów podwodnych stanowią bezzałogowe aparaty podwodne typu inspekcyjnego ROV (z ang. Remotely Operated Vehicle) i ich tani wariant LC ROV (z ang. Low Cost ROV). W dalszej części omówiono wybrane problemy w dziedzinie projektowania takich obiektów i zastosowania maszyn i napędów elektrycznych. Zaproponowano perspektywiczną tematykę naukowo-badawczą w dziedzinie elektrotechniki.

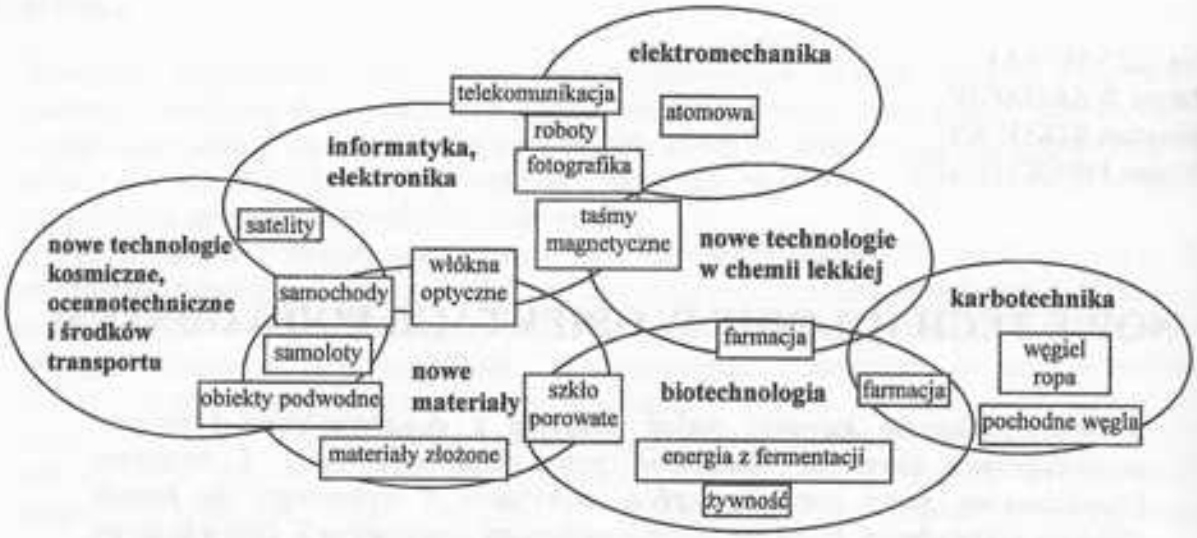
1. WPROWADZENIE

Człowiek od dawna interesuje się wszystkim, co go otacza. Od tysiącleci badał wszelkiego rodzaju dostępne mu miejsca na Ziemi, a w ostatnim stuleciu rozpoczął badania głębin morskich i kosmosu. Oceany są źródłem różnych surowców mineralnych potrzebnych w gospodarce człowieka. Ważnym bodźcem do coraz intensywniejszych badań i podejmowania eksploatacji podmorskiej jest stopniowe wyczerpywanie się złóż surowców mineralnych istniejących na lądach. Prognozy ekonomistów wskazują, że w związku z coraz większym zapotrzebowaniem na wszelkie surowce mineralne, wiek XXI stanie się decydującym etapem masowego włączania zasobów morskich w obieg gospodarczy świata [1, 2, 4, 5, 10, 11, 13]. Wzrost wydobycia kopalin z dna oceanicznego wiąże się z postępem wielu dziedzin, a wśród nich z doskonaleniem techniki organizacji prowadzonych robót podwodnych, w czym nie małą rolę powinny odgrywać dyscypliny związane z oceanotechniką i elektrotechniką. Pozyskiwanie metali oraz surowców energetycznych, takich jak ropa naftowa i gaz, związane jest z rozwojem przemysłu wydobywczego. Jednym z najbardziej aktualnych problemów jest budowa aparatów podwodnych. Eksploracja mórz i oceanów na dużych głębokościach nastręcza ogromnych trudności, głównie natury technicznej ze względu na warunki środowiskowe.

Obszary głębin morskich i oceanicznych przeznaczano w przeszłości na składowisko toksycznych odpadów [3]. Obszary te mogą być niebezpieczne dla przyszłych pokoleń, dlatego powinniśmy je kontrolować i badać, aby nie stały się zagrożeniem ekologicznym na wielką skalę.

Podbój kosmosu i eksploracja głębin mórz i oceanów zapoczątkowała rewolucję naukowo-techniczną, która doprowadziła do powstania nowego krajobrazu przemysłu. Pojawiły się nowe technologie i produkty, co pokazano na rysunku 1. Jedną z nich jest właśnie prężnie rozwijająca się oceanotechnika.

[1] Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki, 70-313 Szczecin, ul. Sikorskiego 37, tel. (0-91) 4494378, e-mail: peszym@ps.pl, marwar@op.pl, sebastian.szkolny@ps.pl, pieniek99@wp.pl



Rys. 1. Nowy krajobraz przemysłowy [3]

2. ZARYS HISTORYCZNY ROZWOJU OBIEKTÓW PODWODNYCH

Pionierem w dziedzinie konstrukcji obiektów podwodnych z napędem elektrycznym był polski inżynier i uczony, konstruktor-wynalazca Stefan Drzewiecki (1844-1938) [6, 7]. Pierwsza jego jednoosobowa łódź podwodna, z napędem wykorzystującym siłę mięśni ludzkich, odbyła pomyślne próby zanurzeń w morzu koło Odessy w 1877 roku Stefan Drzewiecki skonstruował w 1888 roku pierwszą łódź podwodną napędzaną silnikiem elektrycznym prądu stałego, zasilanego z baterii akumulatorów. Warto odnotować fakt, iż ten genialny wynalazca otrzymał w 1896 roku I nagrodę za konstrukcję łodzi podwodnej z napędem elektrycznym.

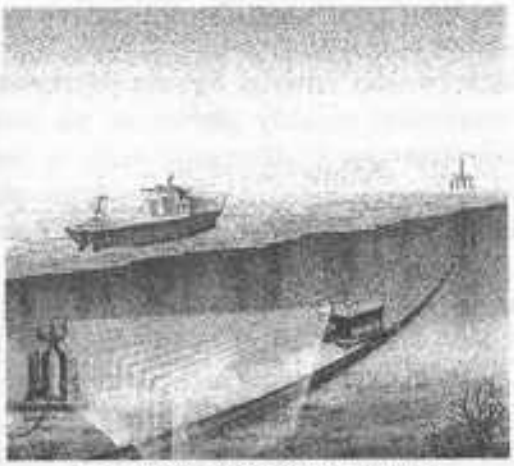
Tab. 1. Wpływ technologii i elektrotechniki na rozwój obiektów podwodnych [6, 7, 11]

Rok	Nazwa jednostki	Głębokość robocza [m]	Osiągnięcia technologiczne
1888			Konstrukcja pierwszej łodzi podwodnej napędzanej silnikiem elektrycznym (S. Drzewiecki).
1934	Bathysphera	1500	Żeliwna powłoka, okna kwarcowe, dławicowe uszczelnienie kabla elektrycznego.
1948	Bathyscaph	11000	Okna z polimetakrylanu metylu, elektryczne penetratory, napęd elektryczny
1964	Alvin	1800	Stalowy kadłub, wieloprzewodowe złącza elektryczne, komputer pokładowy, napęd elektrohydrauliczny.
1964	PC 3 Deep Diver	200	Nurkowa komora transportowa zamontowana na statku głębinowym
1970	Nemo	200	Kulisty kadłub ciśnieniowy z PMM
1970	PC 8	200	Okna sferyczne o dużej średnicy.
1970	DSRV	1500	Kadłub ciśnieniowy o dużej pływalności ze stali HY 140
1973	Alvin		Tytanowa konstrukcja i kadłub, silniki elektryczne z komutacją elektroniczną i magnesami ziem rzadkich
1982			Zastosowanie silnika diesla pracującym w obiegu zamkniętym jako źródło energii cieplnej i mechanicznej
1985	Sea Cliff	6000	Baterie ogniw srebrowo-cynkowych
1989	Mir	6000	Kadłub ze stali martenzytowej
1990	Saga I, Sagan		Zastosowanie silnika stirlinga z reaktorem nuklearnym

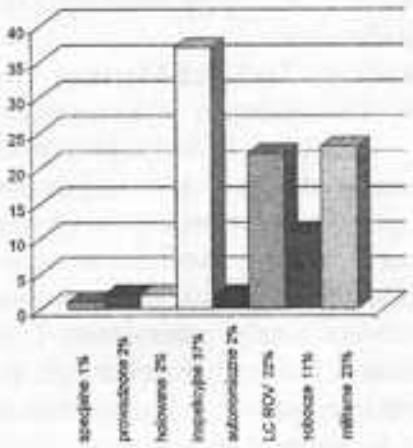
W tabeli 1 zestawiono zasadnicze osiągnięcia w zakresie wpływu technologii i elektrotechniki na rozwój obiektów podwodnych. Przypomnijmy, że po raz drugi wykorzystano napęd elektryczny dopiero w 1948 roku w jednostce Bathyscaph, która opuszczona została na głębokość 11000m. W aparacie Alvin w 1964 roku zastosowano po raz pierwszy komputer pokładowy, a w roku 1973 silniki elektryczny z komutacją elektroniczną i magnesami ziem rzadkich. Natomiast baterie z ogniw srebrowo-cynkowych, jako źródło energii, użyto w aparacie Sea Cliff w 1985 roku. Dynamiczne zmiany środków technicznych w oceanotechnice zostały spowodowane rozwojem elektroniki, informatyki i mechatroniki. Umożliwiły one konstruowanie urządzeń zdalnie sterowanych i wyposażonych w elementy sztucznej inteligencji [8, 11].

3. BEZZAŁOGOWE APARATY PODWODNE

Według specjalistów ocenia się, że obecnie na świecie użytkowanych jest ponad 3000 pojazdów należących do grupy bezzałogowych [4, 5]. Szczególnie gwałtowny rozwój tego typu pojazdów wystąpił w latach 80-tych. Każdego roku pojawia się kilka nowych konstrukcji o różnorodnej konfiguracji i zastosowaniu w zależności od planowanej misji (rys.2.), które możemy podzielić na różne kategorie (rys.3.).



Rys.2. Pojazd ROV podczas prac inspekcyjnych ropociągu



Rys.3. Procentowy udział pojazdów ROV w zależności od kategorii

Pojazdy bezzałogowe ROV (z ang. remotely operated vehicle) [5, 10, 13] mogą być sterowane zdalnie lub przy użyciu kabloliny, która łączy aparat podwodny z pojazdem „matką" – statkiem, platformą wiertniczą lub innym pojazdem podwodnym – rysunek 4. Pojazdy te wyposażone są w różnorodne przyrządy i narzędzia (rys.5.). Aparaty projektowane są głównie do wykonywania zadań w toni wodnej, wiele z nich jest jednak przystosowanych do osiadania na dnie lub kotwiczenia na podwodnej konstrukcji. Pracują na głębokości od kilkunastu do kilku tysięcy metrów, masa ich zawiera się przedziale od kilku kilogramów do kilku ton. Coraz częściej pojazdy podwodne, szczególnie małej mocy, używane są dla potrzeb rekreacyjnych. Istnieją również takie, których zadaniem jest zlokalizowanie i naprawienie uszkodzeń w instalacjach podwodnych (rys.2.), wykrycie i rozbrojenie miny lub bomby oraz inne podobne czynności. Istnieje wiele wyspecjalizowanych konstrukcji aparatów podwodnych (rys.6.). Szczególną grupę pojazdów ROV stanowią aparaty o niewielkich gabarytach, ciężarze do kilkudziesięciu kilogramów i uproszczonych funkcjach, tzw. LC ROV (z ang. low cost remotely operated vehicle – tani ROV) [5, 10, 13]. Pojazdy te należą do miniaturowych obiektów, sterowanych zdalnie z różnorodnych obiektów powierzchniowych. Z uwagi na możliwość łatwego transportu, prostą obsługę i nieograniczony czas pracy

wykorzystywane są do wielu celów naukowo-badawczych, militarnych, przemysłowych i rekreacyjnych (rys.7.).

Rys.4. Miniaturowy ROV Voyager Perry Tritech Inc

Rys.5. Alvin Instytutu Oceanograficznego Woods Holl

Rys.6. E-ROV Benthos

Rys.7. LC ROV: Atlesh, North Star, Delta

4. NOWE TECHNOLOGIE W ZAKRESIE EKSPLORACJI I MONITORINGU AKWENÓW WODNYCH

Monitoring środowiska może być prowadzony w skali globalnej, kontynentalnej, ogólnokrajowej i lokalnej, obejmuje prognozowanie zmian środowiska oraz ocenę skuteczności metod jego ochrony [4]. Do tych celów z powodzeniem wykorzystuje się aparaty podwodne.

Na Wydziale Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej powstał System Wykrywania Obiektów Technicznych wykorzystujący zdalnie sterowane pojazdy głębinowe na uwięzi KRAB - WIGRA i MAGIS jako nośniki aparatury zbierającej informacje m.in. o stanie środowiska wodnego. Ich maksymalne zanurzenie wynosi 150 m [4]. Przenoszona przez pojazd głowica pomiarowa, wyposażona w wiele przetworników, umożliwia pomiar temperatury wody, konduktywności, odczynu, zawartości rozpuszczonego tlenu, a opcjonalnie także innych parametrów. Informacje z głowicy są zbierane i przesyłane za pośrednictwem sondy przesyłowej i kabloliny do jednostki centralnej na powierzchni lub gromadzone w buforze pamięciowym w przypadku pracy autonomicznej urządzenia.

Szczególnie ważnym zagadnieniem może być monitoring wód Bałtyku i jego zlewisk, co wynika z Konwencji Helsińskiej z 1974r. o ochronie środowiska morskiego. Może dotyczyć on m.in. skażeń radioaktywnych, zanieczyszczeń rzek wpływających do Bałtyku z wnoszonymi ładunkami ścieków i obserwacji stref przybrzeżnych oraz osadów dennych.

Polski rozdział w badaniach oceanicznych w ramach programu INTERMORGEO pn. „Badania mórz i oceanów w celu wykorzystania ich zasobów mineralnych" rozpoczął się w roku 1972 r [2]. W 1987 r. utworzono wspólną organizację Interoceanmetal (IOM) z siedzibą w Szczecinie. Przedmiotem działalności IOM jest prowadzenie prac w zakresie rozpoznawania i przygotowania do przemysłowego zagospodarowania złóż polimetalicznych konkrecji oceanicznych na Pacyfiku, poza granicami jurysdykcji narodowej, a także stworzenia podstaw do wspólnej eksploatacji przemysłowej tych złóż i zastosowania ich w produkcji.

W wyniku przeprowadzonych analiz, przemysłowe zagospodarowanie złóż oceanicznych odznacza się wyjątkową złożonością procesów wydobycia i przeróbki. Fakt ten uzasadnia konieczność prowadzenia kompleksowych badań o charakterze interdyscyplinarnym, które wymagają wdrożenia nowych technologii, przy wysokiej niezawodności i efektywności stosowanej aparatury i urządzeń. Uwzględniając prognozy wzrostu zapotrzebowania na mangan, nikiel, miedź oraz kobalt występujących w konkrecjach, a także wzrastające koszty pozyskiwania tych metali ze złóż lądowych i czynniki natury ekologicznej, przyjmuje się, że po roku 2010 metaliczne surowce głębokowodne staną się nowym, ważnym źródłem pozyskiwania metali.

5. ZADANIA STAWIANE ELEKTROTECHNICE PRZEZ TECHNOLOGIE PODWODNE W XXI WIEKU

Rosnące zapotrzebowanie na surowce energetyczne znajdujące się pod dnem mórz i oceanów powoduje zainteresowanie rozwojem technologii związanych z eksploracją tych akwenów i eksploatacją ich bogactw naturalnych. Urządzenia takie jak platformy wiertnicze różnych typów, podwodne rurociągi i elektryczne linie przesyłowe, a także podwodne maszyny elektryczne, znajdą szerokie zastosowanie [9].

Sterowanie aparatem podwodnym realizującym różne zadania jest zagadnieniem złożonym. Wynika to z faktu, że zasadnicze cechy urządzeń zanurzalnych są określone specyfikacją trudnego środowiska wodnego. Warunki środowiskowe determinują wymagania stawiane przed aparatem i jego systemem sterowania [12]. Przykłady wymagań dla niektórych rodzajów pracy zawiera tab. 2.

Tab. 2. Wymagania w zakresie dokładności sterowania aparatem podwodnym.

Rodzaj pracy	Rodzaj przemieszczenia	Dokładność sterowania
Przeszukiwanie (z pomocą sonaru)	na boki	10m
	w kierunku pionowym	3m
	stabilizacja współrzędnych kątowych	1°
Przeszukiwanie wizualne (z pomocą kamery)	szybkość myszkowania	0,5°/s
	na boki	3m
	w kierunku pionowym	1m
	stabilizacja współrzędnych kątowych	1°
Zawisanie i obserwacja	szybkość myszkowania	0,5°/s
	na boki i wzdłuż	1m
	w kierunku pionowym	0,3m
Misja o dużej dokładności - np. osadzania na powierzchni włazu	w zakresie współrzędnych liniowych	0,025-0,05m
	stabilizacja współrzędnych kątowych	0,5°

Konstrukcja silników elektrycznych, jako członów aparatów, musi być odporna na ciśnienie, jakie panuje w miejscu pracy urządzenia. Stosowane są ich trzy podstawowe rodzaje: silniki hermetyzowane, z kompresją ciśnienia oraz głębinowe-mokre [10].

Instytut Elektrotechniki Politechniki Szczecińskiej od wielu lat współpracuje z Ukraińskim Państwowym Morskim Uniwersytetem Technicznym w zakresie projektowania i budowy niekonwencjonalnych maszyn i napędów elektrycznych z wysokoenergetycznymi magnesami trwałymi dla aparatów LC ROV. Uniwersytet ten posiada blisko 20-letnie doświadczenie w zakresie projektowania i budowy obiektów podwodnych. W jego dorobku są m.in. aparaty: Diaf (h=200m), Delta-P (h=150m), Atlesh (h= 300-600m), The North Star (150m) – rys. 7., które omówiono w literaturze [10].

Analizując rozwój nowych technologii warto sprecyzować zakres zadań dla dyscypliny takiej jak elektrotechnika. Należy określić zadania stawiane niekonwencjonalnym maszynom i napędom dla obiektów podwodnych oraz przeznaczonym do nich nowoczesnym metodom sterowania z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, a także systemom zasilania.

WNIOSKI

1. W pracy ukazano wkład elektrotechniki w rozwój technologii podwodnych. W literaturze polskiej i zagranicznej zapomina się, że pionierem w dziedzinie konstrukcji obiektów podwodnych z napędem elektrycznym był polski konstruktor i wynalazca Stefan Drzewiecki, który pierwszą łódź podwodną zbudował w Odessie w 1888r.

2. Wśród obiektów podwodnych największą grupę stanowią aparaty podwodne inspekcyjne (37%), militarne (23%) i tanie aparaty LC ROV (22%), które są wykorzystywane do eksploracji, monitoringu i eksploatacji akwenów wodnych.
3. W XXI wieku zostały postawione nowe zadania dla elektrotechniki. Będą się one skupiały głównie na niekonwencjonalnych maszynach elektrycznych i nowoczesnych metodach sterowania z wykorzystaniem sztucznej inteligencji.

LITERATURA

1. Brahtz J. F.: *Oceanotechnika,* Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1974.
2. Depowski S., Kotliński R. i inni: *Surowce mineralne mórz i oceanów,* Wyd. Naukowe Scholar, Warszawa 1998.
3. *Encyklopedia Memo Larousse, Gospodarka Organizacje Międzynarodowe,* Polska Oficyna Wydawnicza BGW, Warszawa 1992.
4. Graczyk T. i inni: *Ochrona środowiska morskiego przed zanieczyszczeniami z obiektów oceanotechnicznych,* Wyd. Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2001.
5. Graczyk T.: *Present status and forecast for remotely operated vehicles application,* Proc. of the 5th Inter. Conf. On Unconventional Electromechanical and Electrical Systems, Technical University Press, Szczecin 2001, vol. 1, pp 71-80.
6. Liebfield A.: *Polacy na szlakach techniki,* Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1985.
7. Orłowski B.: *Słownik polskich pionierów techniki,* Wydawnictwo Śląskie, Śląsk 1986.
8. Piegat A.: *Modelowanie i sterowanie rozmyte,* Akademicka Oficyna Wydwanicza EXIT, Warszawa 1999.
9. Piotrowski K.: *Zmechanizowane narzędzia ręczne do prac podwodnych – elemrnty metodyki badań,* Instytut Okrętowy Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1991.
10. Romanovsky G.F., Blintsov W.S.: *Underwater robots – modern state and direction of development,* Proc. of the 5th Inter. Conf. On Unconventional Electromechanical and Electrical Systems, Technical University Press, Szczecin 2001, vol. 1, pp 145-154.
11. Rowiński L.: *Metodyka projektowania urządzeń zanurzalnych na etapie koncepcji przy zastosowaniu technik komputerowych,* ZN PG *Bud. okrętowe nr 59,* Gdańsk 1993.
12. Szymczak P. i inni: *Aparaty podwodne – energooszczędne układy napędowe i wybrane sposoby sterowania,* Mat. IV Symp. *Sterowanie i Monitorowanie Układów Przemysłowych SM 2001,* Lublin 2001, str. 46-51.
13. Wiliński A., Wróbel R.: *Miniaturowe, zdalnie sterowane pojazdy głębinowe,* Instytut Okrętowy Politechniki Szczecińskiej, Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP, Szczecin 1990.

NEW TECHNOLOGIES IN UNDERWATER OBJECTS

The paper presents modern tendencies in oceano-technic research and new technologies used in sea and ocean exploration. At first a brief summarization of historical developments of underwater vehicles, connected with material and technology improvement started by Stefan Drzewiecki 116 years ago, is done. The most significat group of the underwater vehicles are the low cost remotely operated vehicles (LC ROV) and remotely operated vehicles (ROV). The article describes some of the design processes and the problematics of electrical machine usage in such vehicles. Suggestions consodzyskiwaniidering the future studies of the electrotechnical problematics of subwater vehicles are done.

Arlen VALOZHYN[1]

FUNCTIONALIZED POLYIMIDES FOR MICRO AND-OPTOELECTRONICS

Main fields of functionalized and photoresistive polyimide materials application with special emphasis on microelectronics and photonics are discussed.The advantages of the use of polyimide based materials as compared to other polymeric materials are described. Perspectives of the application of functionalized polyimides in electron technology for the nearest 10 years are outlined.

In the recent years several polymeric materials have been applied in electronic technolgy, photonics and microelectronics. In turns out that the most promising materials for the application are functional polymers exhibiting high glass-transition temperature (T_g) and stable work characteristics. Polyimides (PIs) best full these requirments. PIs are well known to be superengineering plastics with excellent heat resistance, electrical insulation and mechanical strength properties. They are widely applied in many advanced technologies for fabrication of adhesives, coatings and various composites.

Since most conventional PIs are infusible, insoluble and by this reason difficult to process into technologically useful forms, they are usually prepared in a two step procedure. The first step involves a mixing of equimolecular amounts of dianhyidrides with diamines and running a polyaddition reaction to obtain poly(amic acid)s as intermediates. These precursor polymers are then processed by casting from solution.The second step consist of a dehydration/ring-closure reaction that is carried out at elevated temperature or, alternatively, chemical imidization using strong dehydrating agents or catalysts. After this step the product is fully cyclized [1].

Due to progress of accumulation and miniaturization of electronic circuits, there has been a growing interest in photosensitive polyimides (PSPI) as photo-imageable-insulating materials that enable devices to resist heat applied during production processes and that makes possible to form fine patterns using the photolithography technique [2]. PIs, that are applied in the field of packaging technology, such as an interlayer dielectrics and buffer coatings for semiconductor devices, support chip shrinkage and simplify the complicated multi-step-photolithography processes required when non-PSPI conventional photoresists coated are used [3]. However, commercially available PIs usually exhibit poor technological properties, most of them are composed of poly(amic acid)s having pendant photoreactive groups through ester or ionic bonding. The patterns formed with use of these comerical polymers swell in organic solvents used as developers, resulting in lower pattern resolution.

PIs play a significant role in an achieving the current state-of-the art in microelectronics. They are not only found in final products such as housing of components, packaging of integrated circuit (IC) chips, and intermetallic dielectric layers, but they also are imployed extensively in major processing steps in microlitography. In particulary, PIs have desirable properties for using in the microelectronics industry because they constitute a group of excellent high temperature heat-resistant organic polymers and have a good planarization capability and electrical insulation properties. Multilevel structures, consist of alternating metal and dielectric layers, are necesseary to achieve interconnecting of high density of very

[1] Technical University of Szczecin Institute of Electrical Engineering, ul. Gen. Sikorskiego 37 70-313 Szczecin, valozhyn@ps.pl

large scale integration (VLSI) circuits using either MOS or bipolar technology. For interconnect dimensions <0.5μm, such as the 0.25μm generation and beyond, highly thermal stable organic polymers which exhibit sufficient permittivity are needed. It is very important to elucidate the chemistry of a specific PI and its processing history since both will ultimately affect on many of physical and electrical properties of the material. This understanding is paramount to achieve a success with PI for IC applications by proper selection and monitoring of materials and their processing.

Electronic systems for computation and communication are steadily increasing in operation speed, capacity and complexity. This trend has led to increasing demands for rapid data transfer, both within data processing centers and along networks that link these systems. Electrical signal transmission and processing at gigabit speeds is complicated by high- power dissipation due to electrical resistance. High- power dissipation leads to heat generation and signal attenuation, resulting in increased costs to drive and cool the system.Therefore, the use of light-based, or photonic , systems offers an attractive alternative technology in cases where large amounts of data must be exchanged or processed in a short period of time.

The problem of signal attenuation in electronic systems increases in significance with distance. Telecommunications systems were the first to shift from electrical to optical signal transfer for long-distance application. Photonics is now the established technology for long-haul telecommunication, where transmission exceeding 150 GHzkm has been achieved. Lasers and light-emmiting dioded are modulated billions of times per second,conveying digitally encoded information over fiber- optic phone lines. Simultaneous transmission of over 24,000 telephone conversations over a single fiber -optic line is possible with a single laser pulsed at 540 mbit/sec. This capasity, or bandwidth, greatly exceeds that provided by conventional copper lines for a given size and weight.

Polymers are already used to support glass fiber application by providing mechanical and environmental protection of the fiber and in connecting operations. Polymers have not yet been able to compete with silica for application as the light-transmitting core in long-haul telecommunication applications due to unacceptably high transmission losses. Polymer optical fibers do offer promising characteristics such as low weight, high flexibility, and easy in manufacturing. As such, they are expected to find use in short- distance optical transmission systems where optical attenuation is less significant than resiliency of the fiber. Poly(methyl methacrylate), polystyrene, and polycarbonate have all been advanced for these applications. Optical losses in these materials are ranged from 50 to 1000dB/km. Operation temperatures of wave-guides made from these polymers are limited at the high end by the glass transitions temperature, which ranges from 80°C in poly(methyl methacrylate) to 175°C in crosslinked polymer systems [4,5]. PI exhibits even higher optical losses but offers the advantage of greater thermal stability, often exceeding 375°C. Therefore, polyimide waveguides will be favored in applications where distances are relatively short and thermal stresses are extreme,for example,in automotive or in-chip semiconductor applications.

Polymer waveguids transfer light analogously to optical fibers.In a glass or polymer optical fibers, light is confined to a fiber core with a higher index of refraction surrounded by a cladding material with lower index of refraction. Similarly, polymer waveguids are typically formed from triple stack structures, in which a higher index polymer is sandwiched between two layers of lower index core material. These structures are easily formed by sequential spincoating on a silicon or oxide substrate. They confines a light in two dimensions, yielding a slab waveguide. Other processes allow connfine along one-directed path, providing a channel waveguides.

Nonlinear optical effects in polymers arise from the highly polarizable π-electron systems in the material. The electro-optic (EO) effect is a second-order NLO effect and, like all even-order NLO effects, is absent in bulk materials with inversion symmetry. In order to obtain the effect, the charge must be asymmetrically delocalized. This is commonly acommplished in organic materials through the use of oriented polarizable dye molecules, or

chromophores. Typical molecules used as NLO chromophores are DANS (dimethylaminonitrostilbene), DR1(Disperse RED 1), and DCM [4-(dicyanomethylene) -2-methyl-6-(p-dimethylaminostyryl)-4H-pyran]. All contain a conjugated system of -electronic linking electron-donating and electron-withdrawing substituents,resulting in a molecule that is not only polarizable, but also polar.

Some polar molecules that are crystallized in centrosymmetric space groups and resulted in active crystals, are widely regarded as impractical for electrooptic applications because of the difficulties associated with manufacturing and integration with more big device systems. Electro-optic polymers, on the other hand, are seen as ideally suited for large-scale device fabrication. Polymer films can be formed quickly and inexpensively by spin coating,spray coating, or dip coating and can be readilly integrated with multilevel devices formed through other surface deposition techniques.

Polymer films are amorfous as produced, so the polarizable chromophores are randomly arranged to have an inversion symmetry, and therefore no second-order electro-optic effects are presented. These materials must then be processed by electric-field poling to achieve a macroscopic alignment in order to obtain second-order nonlinear optical effects. In this process, the EO polymer material is heated above its glass transition temperature, a high electric field is applied by electrodes or a corona to partially align the nonlinear molecules in the direction of the field. Then the material is cooled back to room temperature under the influence of the electric field. This process „freezes" the molecular orientation and creates a macroscopic EO coefficient in the material. The preservation of this molecular orientation is necessary to retain the electro-optic effect. Polymeric films containing these oriented molecules form the basis for active EO waveguides that have been utilized for a large number of devices.

The development of photonics-based technologies for optical signal processing, data storage and sensors has generated a need for preparation of new polymeric materials with special properties. In recent years a considerable amount of research has been directed toward the development of nonlinear optical polymers. These polymers have a great application for such photonic devices as electro-optical modulation, optical switching and second harmonic generation. Apart from NLO properties, polymers for such application should exhibit high glass transition temperature, high thermal stability, good mechanical properties at high temperature and should be soluble. PIs can meet these requirements. NLO functionalised aromatic PIs have shown a promising advantage in device applications than other polymeric system such as a side chain system and a guest-nost NLO chromofore-polyimide system [6 – 9].

To summarize, it can be concluded that functionalized polyimides are the most perspective polymers for use in the development of new microelectronic devices. The volume of this paper does not allow a detailed description of all aspects of the application of new polymeric materials in advanced technologies. By these reason the main attention was put on their processing and application in the area of microelectronic and NLO devices technologies. This successfull application of functionalized PI is associated their excellent properties such high glass-transition temperature (T_g) and stable work characteristics.

REFERENCES

1. Polyimides: Synthesis, Characterization, Application; Ed. . Mittal,K.L.,; New York, Vol. 1 and 2, 1984
2. Bowden,M.J., In Polymers for Electronic and Photonic Applications, ACS Symp.Ser. No 3, Polymers for High Technology; Electronics and Photonics, Washington.D.C.: American Chemical Society,1988.
3. Omote T., Fhotosensitive Polyimides. Molecular Desing and synthesis in polyimides. Fundamental and applications, Marcel Dekker: New York , 1996, 121-149
4. Samyn C., Verbiest T., Persons A., Second-order non-linear optical polymers, Makromol.Rapid Commun., 21 (2000), 1-15
5. Lindsay G.A., Roberts M.Y., Nadlee M.P., Yee R.Y., Aging in nonlinear optical polymer waveguides, Die Angew. Makromoleculare Chemie, 252(1997),153-156.
6. Volozhyn A., Chamenko T., Bobrowsky A., Subocz L., Electrical properties of modifired aromatic and cycloaliphatic polyimide films, Abs. 7th European Conference on thin organized films (ECOF-7), 14-18 Sept., 1998, Potsdam, Germany, 339-340
7. J.Subocz, Volozhyn A., TSC in polyimide films with different polarization time, Abs. 4th Internationale Conference UEES-99, 21-24 June 1999, St.Petersburg, Russia, 919-924
8 Shab-Balcerzak E., Sek D., Grabiec E., Volozhin A., Chamenko T., New polyimides as precursors for functionalised polymers, High Performance Polymers, v. 13 (2001), 35-44
9 Shab-Balcerzak E., Sek D., Grabiec E., Volozhin A., Chamenko T., New aromatic polyimides for future photonic modifications, Abs. European Materials Researsh Society Spring Meeting, 5-8 June 2001, Strasbourg, France, R-P-29

Jan Strzałka[1]
Krzysztof Wincencik[2]

OGRANICZANIE PRZEPIĘĆ CZYNNIKIEM POPRAWY JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

W referacie przestawiono problematykę zagrożenia przepięciami sprzętu elektronicznego powszechnego użytku w budownictwie mieszkalnym. W oparciu o dane literaturowe oraz własne obserwację i rejestracje przestawiono amplitudy przepięć z jakimi można spotkać się na co dzień w instalacjach elektrycznych. Skoncentrowano się głównie na przepięciach łączeniowych. Omówiono podstawowe środki ochrony przeciwprzepięciowej pozwalające na skuteczną ochronę urządzeń elektronicznych.

WPROWADZENIE

Od kilku lat elektronika na dobre zagościła w naszym życiu. Prawie wszystkie urządzenia elektroniczne codziennego użytku (pralki, kuchenki mikrofalowe, sprzęt RTV) wyposażone są w mikroprocesory, dzięki czemu życie mieszkańców domu ma być coraz bardziej przyjemne i wygodne. [1] [4] Nie można jednak zapominać, że ta wygoda uzależniona jest od prawidłowego funkcjonowania komputera sterującego wszystkimi urządzeniami. Jego awaria może zamiast ułatwień spowodować zagrożenia dla zamieszkujących w domu osób.

Jedną z przyczyn awarii komputera mogą być przepięcia, jakie mogą pojawić się w sieci zasilającej lub torach sygnałowych. Mogą to być zarówno przepięcia pochodzenia atmosferycznego, jak również przepięcia łączeniowe. Występowanie tych zagrożeń w instalacji elektrycznej związane jest z ogólnym pojęciem jakości energii elektrycznej.

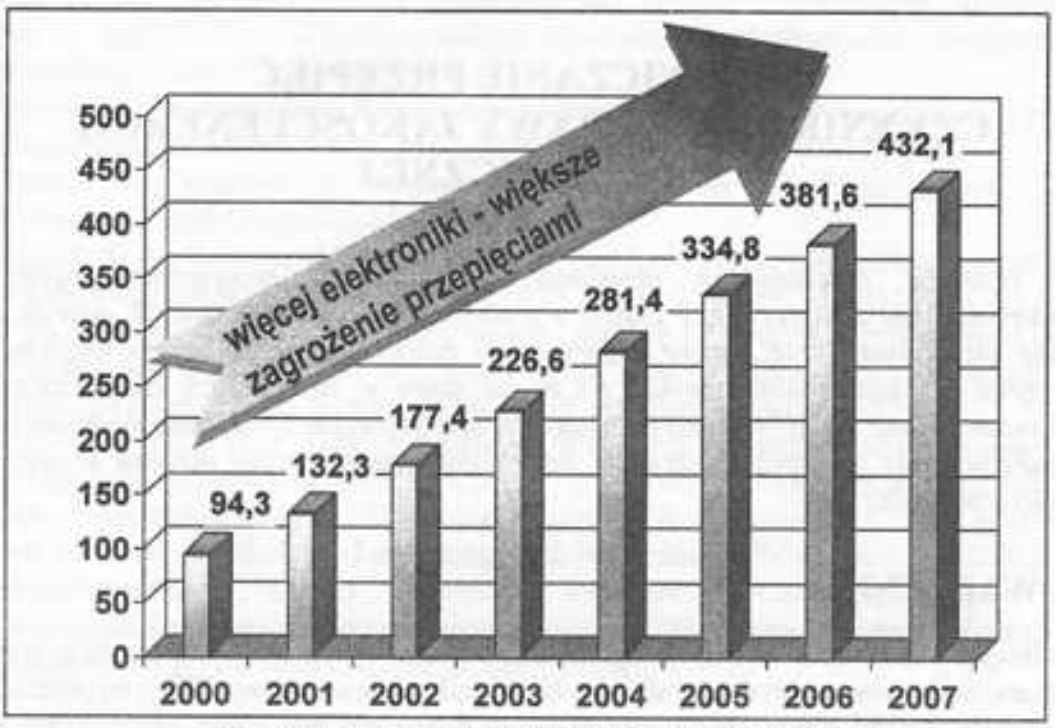
JAKOŚĆ ENERGI ELEKTRYCZNEJ

Energia elektryczna to towar sprzedawany klientowi spodziewającemu się, że otrzymuje dobry produkt w formie odpowiadającej jego potrzebom, a charakteryzowanej zbiorem wyróżnionych właściwości. Jeżeli jest złej jakości to może zagrażać własności użytkownika, jego zdrowiu, a nawet życiu.[2].

Jak widać z prognoz przedstawionych na rys.1., z roku na rok wzrasta ilość (a tym samym i wartość) nowoczesnych urządzeń elektronicznych w gospodarstwach domowych. Pojawia się więc pytanie: czy w ślad za tym wzrostem nastąpi poprawa parametrów jakościowych energii elektrycznej, która dopływa do naszych odbiorników? Patrząc na występujące w roku 2003 awarie w systemach elektroenergetycznych, raczej należy w to wątpić.

[1] Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektroenergetyki, 30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 30, tel. (0-12) 617-28-25, e-mail: janstrz@agh.edu.pl
[2] DEHN Polska sp. z o.o., Biuro Techniczne w Krakowie, 31-231- Kraków, ul. Bociana 22a, tel. (0-12) 614-51-82. e-mail: krzysztof.wincencik@dehn.pl

Jakość energii zależy nie tylko od warunków zasilania, ale także od rodzaju stosowanego sprzętu (odporność na zakłócenia) oraz od praktyki instalacyjnej. Tak więc również użytkownik musi przestrzegać warunków technicznych w jakich dopuszczalna jest eksploatacja urządzeń elektronicznych.



Rys.1. Przewidywany wzrost wartości urządzeń elektronicznych w gospodarstwach domowych na rynku europejskim (Elektronikpraxis nr 5, 03.2001.)

Energia elektryczna ulega degradacji pod wpływem zaburzeń elektromagnetycznych, a więc zjawisk, które powodują, że wartości niektórych ilościowych wskaźników – parametrów jakości energii – różnią się od znamionowych.

W środowisku, w którym pracuje nasze urządzenie, możemy wyróżnić trzy podstawowe elementy składowe, które są istotne ze względu na jakość energii:

a) źródło zaburzenia,
b) układ sprzęgający,
c) odbiornik.

Dlatego chcąc zredukować skutki złej jakości energii możliwe jątrzy drogi postępowania [2]

- ograniczanie źródła zaburzeń
- zredukowanie stopnia sprzężenia
- zwiększenie odporności odbiorników

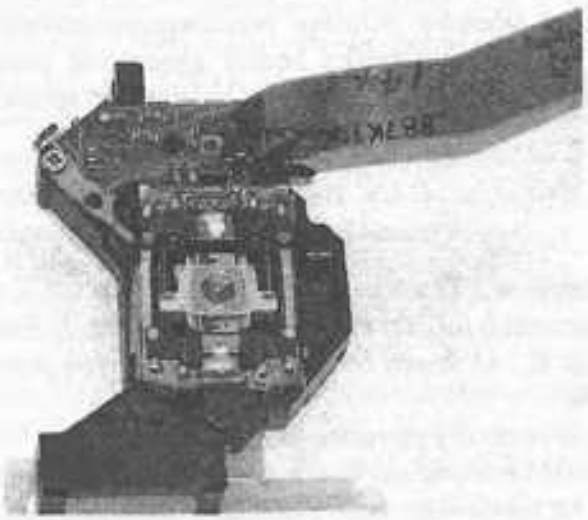
REDUKCJA ZAKŁÓCEŃ

Za generalną zasadę należy przyjąć to, że koszt działań zmierzających do poprawy jakości energii jest z pewnością niższy niż koszty potencjalnych skutków wynikających ze złej jakości energii. Jednym z takich parametrów jakościowych energii elektrycznej są przepięcia. I nie tylko spektakularne przepięcia pochodzenia atmosferycznego mogą okazać się groźne dla urządzeń elektronicznych. Równie groźne mogą być przepięcia łączeniowe pojawiające się w sieci elektroenergetycznej. Jak wynika z pomiarów wykonanych w instalacjach elektrycznych na terenie Niemiec w latach 1991-1995, mogą pojawiać się impulsy o amplitudzie ponad 2 kV i czasie trwania nawet do 4 s. [7] Impulsy takie posiadające stosunkowo duże energie mogą stanowić zagrożenie dla izolacji pracujących w budynku urządzeń.

Również w Polsce można spodziewać się podobnego poziomu zakłóceń w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia. Autorzy referatu przeprowadzili na terenie Krakowa rejestrację

przepięć o amplitudzie powyżej 750 V pojawiających się w instalacjach elektrycznych odbiorców indywidualnych. Wstępne obserwacje potwierdziły, że w instalacjach elektrycznych, w których brak skutecznych środków ochrony przed przepięciami, impulsy takie występują dość często.

Czy takie przepięcie może być groźne dla pracującego w mieszkaniu sprzętu elektronicznego? Na rys. 2. przedstawiono fragment czytnika CD-ROM zniszczony w wyniku przepięć generowanych przez lodówkę z uszkodzonym układem filtrującym. Pojedyncze przepięcie o amplitudzie rzędu 1-1,5 kV może jeszcze nie spowodować uszkodzenia, natomiast cała seria takich przepięć może już być groźna dla urządzenia.



Rys.2. Czytnik CD-ROM uszkodzony w skutek przepięć łączeniowych

OCHRONA A RACHUNEK EKONOMICZNY

Pojawia się pytanie czy warto stosować ochronę przeciwprzepięciową w małych obiektach budowlanych tak jak np. budynki jednorodzinne. Zgodnie z obowiązującymi przepisami [8] w instalacjach elektrycznych należy stosować urządzenia ochrony przeciwprzepięciowej. Polskie normy dotyczące ochrony odgromowej [5] [6] mówią o stosowaniu połączeń za pomocą ograniczników przepięć pomiędzy instalacją elektryczną a urządzeniem piorunochronnym (ograniczniki przepięć klasy I). Pojawia się jednak pytanie czy takie małe budynki należy wyposażać w instalację piorunochronną? [9] Czy warto więc wydawać pieniądze na dodatkowe zabezpieczenia domu, a nie wystarczy, aby być w zgodzie przepisami, zastosować jedynie „jakiś" (najczęściej najtańszy) ogranicznik przepięć na wejściu instalacji do budynku?

W tym przypadku ważny jest również zdrowy rozsądek i analiza ekonomiczna. Autor osobiście miał kontakt z inwestorem, który dopiero po trzecim trafieniu pioruna w pobliżu zamkniętego osiedla domków jednorodzinnych zdecydował się na rozważenie konieczności zastosowania dodatkowych środków ochrony. Dotychczasowe straty spowodowane uszkodzeniem m.in. drogiego sprzętu RTV, wideodomofonów, telefonów i komputerów zbliżyły się do kosztów wykonania kompleksowej ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej. A był to dopiero pierwszy rok od zasiedlenie tego osiedla.

PODSUMOWANIE

Nie istnieje coś takiego jak „połowiczna ochrona" – ochrona jest lub jej nie ma. Zgodnie z prawem Murphy'ego, jeżeli pozostawimy niezabezpieczoną jedną drogę, którą przepięcia mogą wniknąć do budynku, to przy najbliższej okazji na pewno tak się stanie. Przepisy nie wymagają, aby chronić w budynkach jednorodzinnych linie sygnałowe np. telefoniczne, antenowe. Warto jednak pamiętać o tym, że trafienie w maszt antenowy lub antenę może doprowadzić do zniszczenia sprzętu, a w najniekorzystniejszym przypadku – nawet do pożaru mieszkania. Najczęściej koszt ograniczników niezbędnych do ochrony mieszkania jest mniejszy niż koszt panoramicznego telewizora, a więc każdy może dokonać analizy ekonomicznej proponowanych rozwiązań. A czy to może być skuteczne? Ci, którzy przeżyli uderzenie pioruna, śpią dalej spokojnie. [3] A ich sąsiedzi niestety ponieśli znaczne straty. Również w przypadku przepięć łączeniowych stosowanie środków ochrony przeciwprzepięciowej zapewnia spokojny sen – nawet gdy u sąsiada za ścianą lodówka będzie generować przepięcia. Ważne jest, aby w przypadku ochrony przeciwprzepięciowej po raz kolejny nie sprawdziło się porzekadło „mądry Polak po szkodzie".

LITERATURA

1. Dziekańska E.: *Witajcie w XXI wieku*, CEDDP, luty 2001
2. Hanzelka Z.: *Rozważania o jakości energii elektrycznej cz. I*, Elektroinstalator 9/2001.
3. Hardt A., Wincencik K.: *Ochrona budynków mieszkalnych przed przepięciami*, Elektro.Info 3/2003
4. Lejman. M.: *Kosiarki rozmowy z pralką*, PCWK 2/2001.
5. *PN-IEC 61024-1:2001 Ochrona odgromowa obiektów budowanych. Część 1. Zasady ogólne.*
6. *PN-86/E-05003/01 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Wymagania ogólne.*
7. *Przepięcia w obwodach niskonapięciowych niebezpieczne dla izolacji*, Wiadomości Elektrotechniczne 8/1998.
8. *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dz.U. nr 75/2002 poz. 690.
9. Sowa A., Wincencik K.: *Urządzenia piorunochronne. Przykłady wyznaczania rodzaju ochrony odgromowej*, Elektroinstalator 5/1999

SURGE PROTECTION AS FACTOR IMPROVING QUALITY OF ELECTRICAL POWER

The paper presents the issue of surge hazards to electronic devices of everyday use in housing structures. Surge amplitudes are presented on the basis of data published in scientific literature as well as own observation and measurements. Special emphasis is put on switching surges. The paper also points to some elementary surge protection means that provide an effective protection of electronic devices.

Michał ZEŃCZAK[1]

POLE ELEKTROMAGNETYCZNE WOKÓŁ LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH NA TLE NOWYCH PRZEPISÓW

W artykule przeanalizowano pole elektryczne i magnetyczne o częstotliwości 50 Hz wokół linii elektroenergetycznych. Analiza ta oparta jest o opisany algorytm obliczeniowy oraz poparta jest pomiarami wykonanymi w terenie. Przedstawione są wyniki obliczeń dla linii 400 kV, 220 kV oraz 110 kV. Przeprowadzona jest analiza porównawcza pod kątem występowania wartości maksymalnych natężeń pól, a także szerokości zajmowanego pasa pod linią z punktu widzenia ochrony środowiska. Wyniki obliczeń i pomiarów skonfrontowane są z aktualnie obowiązującymi przepisami oraz przepisami obowiązującymi dotychczas.

1. WSTĘP

Pola elektromagnetycznych 50 Hz wokół urządzeń elektroenergetycznych stanowią pewien czynnik zakłócający środowisko naturalne. Dla 50 Hz spełniony jest warunek quasi-stacjonarności i oba pola rozpatrywać można osobno. Pole elektryczne (PE) o istotnych wartościach powstaje wokół części urządzeń, na których zgromadzony jest niezrównoważony ładunek elektryczny. Pole magnetyczne (PM) istnieje wokół urządzeń przewodzących prąd elektryczny. Przy pomiarach i obliczeniach należy uwzględnić największą wartość napięcia roboczego linii, największy prąd roboczy linii, największy zwis przewodów fazowych linii. Na czas wykonywania pomiarów kontrolnych z otoczenia linii należy usunąć wszystkie przedmioty i obiekty ruchome, które mogą wpływać na wyniki tych pomiarów. Według obecnie obowiązującego rozporządzenia [1] wartości natężenia PE w miejscach dostępnych dla ludności nie powinny przekraczać 10 kV/m, a wartości natężenia PM 60 A/m. Natomiast na terenach przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową natężenie PE nie może przekraczać 1 kV/m, a PM 60 A/m.

W rozporządzeniu [1] jest szereg istotnych zmian w stosunku do rozporządzenia obowiązującego dotychczas [2]. Pierwszą z nich jest dopuszczalna wartość natężenia pola magnetycznego, która wynosiła 80 A/m. Wartość ta obowiązywała zarówno w środowisku jak i na terenach zabudowy mieszkaniowej. Nowe rozporządzenie jest więc bardziej rygorystyczne. Następną istotną zmianą jest wysokość, na której przeprowadza się pomiary. Według obecnie obowiązujących przepisów wysokość ta wynosi 2 m, natomiast według dawnych przepisów pomiary należało wykonywać na wysokości 1,8 m nad poziomem ziemi lub innymi powierzchniami, na których mogą przebywać ludzie.

Powstaje więc pytanie czy dawne pomiary i obliczenia wykonywane zgodnie z rozporządzeniem [2] są miarodajne dzisiaj.

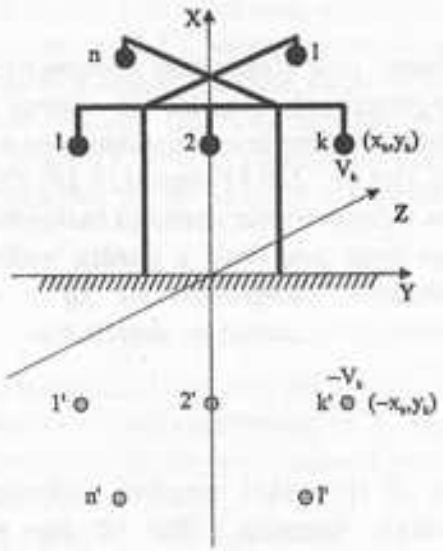
Celem tego artykułu jest udzielenie odpowiedzi na to pytanie poprzez porównanie linii elektroenergetycznych pod kątem wartości maksymalnych natężeń pól elektrycznych i magnetycznych oraz szerokości zajmowanego pasa z punktu widzenia ochrony środowiska.

[1] Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, tel. 091-4494634, e-mail: mzenczak@ps.pl

2. POLE ELEKTRYCZNE POD LINIĄ ELEKTROENERGETYCZNĄ

Istnieje wiele algorytmów do wyznaczania natężenia PE wokół linii elektroenergetycznej [3]. Poniżej przedstawiony jest algorytm do wyznaczania rozkładów natężenia pola elektrycznego wokół linii wykorzystujący metodę odbić zwierciadlanych i zasadę superpozycji (rys. 1).

Jeśli ładunek przypadający na jednostkę długości przewodu wynosi τ_l, a α_{kl} oznacza współczynniki potencjalne, to potencjały przewodów $\underline{V}_k$ spełniają układ n-równań:



Rys. 1. Układ przewodów linii elektroenergetycznej

$$\underline{V}_k = \sum_{l=1}^{n} \alpha_{kl} \cdot \underline{\tau}_l \tag{1}$$

$$\alpha_{kl} = \begin{cases} \dfrac{1}{2\pi\varepsilon_0} \ln \dfrac{2x_k}{R_k} & dla \quad k = l \\ \dfrac{1}{2\pi\varepsilon_0} \ln \sqrt{\dfrac{(x_k + x_l)^2 + (y_k - y_l)^2}{(x_k - x_l)^2 + (y_k - y_l)^2}} & dla \quad k \neq l \end{cases} \tag{2}$$

Rozwiązaniem układu równań (1) są wyrażenia:

$$\underline{\tau}_k = \sum_{l=1}^{n} c_{kl} \cdot \underline{V}_l \quad \text{gdzie} \quad c_{kl} = \frac{(-1)^{k+l} \Delta_{kl}}{\det(\alpha)} \tag{3}$$

Δ_{kl} oznacza minor wyznacznika det (α). Ładunki $\underline{\tau}_k$ poszczególnych przewodów generują w dowolnym punkcie (x, y) potencjał:

$$\underline{V}_{(x,y)} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \sum_{k=1}^{n} \underline{\tau}_k \cdot \ln \sqrt{\frac{(x + x_k)^2 + (y - y_k)^2}{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2}} \tag{4}$$

$$\underline{E}_x(x,y) = -\sum_{k=1}^{n} \frac{\tau_k}{2\pi\varepsilon_0} \frac{2x_k[x_k^2 - x^2 + (y-y_k)^2]}{[x^2 + (y-y_k)^2 - x_k^2]^2 + 4x_k^2(y-y_k)^2} \tag{5}$$

$$\underline{E}_y(x,y) = \sum_{k=1}^{n} \frac{\tau_k}{2\pi\varepsilon_0} \frac{4 \cdot x \cdot x_k \cdot (y-y_k)}{[x^2 + (y-y_k)^2 - x_k^2]^2 + 4x_k^2(y-y_k)^2} \tag{6}$$

Po przejściu na postać czasową otrzymuje się zależności:

$$E_x(x,y,t) = \sqrt{2}E_x(x,y)\cos[\omega t + \psi_x(x,y)] \tag{7}$$

$$E_y(x,y,t) = \sqrt{2}E_y(x,y)\cos[\omega t + \psi_y(x,y)] \tag{8}$$

Jeśli płaszczyznę XOY potraktuje się jako płaszczyznę zespoloną o osi rzeczywistej OY i urojonej OX, to można zapisać:

$$\underline{E}(x,y,t) = E_y(x,y,t) + jE_x(x,y,t) \tag{9}$$

Pole elektryczne pod linią jest superpozycją dwóch pól wirujących w przeciwnych kierunkach z prędkością kątową ω:

$$\underline{E}(x,y,t) = \sqrt{2}\underline{E}_1(x,y)e^{j\omega t} + \sqrt{2}\underline{E}_2(x,y)e^{-j\omega t} \tag{10}$$

Wektor natężenia pola elektrycznego zakreśla w ciągu jednego okresu elipsę o półosi dłuższej E_a i krótszej E_b:

$$E_a(x,y) = (1/\sqrt{2}) \max_{t\in(0,T)} E(x,y,t), \quad E_b(x,y) = (1/\sqrt{2}) \min_{t\in(0,T)} E(x,y,t) \tag{11}$$

Kąt β(x,y) wyznacza położenie półosi dłuższej elipsy względem poziomu (oś OY):

$$\beta(x,y) = 0{,}5[\beta_1(x,y) + \beta_2(x,y)] \tag{12}$$

W celu jednoznacznego określenia stanu pola elektrycznego w danym punkcie przestrzeni wystarczą wartości skuteczne $E_a(x,y), E_b(x,y)$ oraz wartość kąta β(x,y).

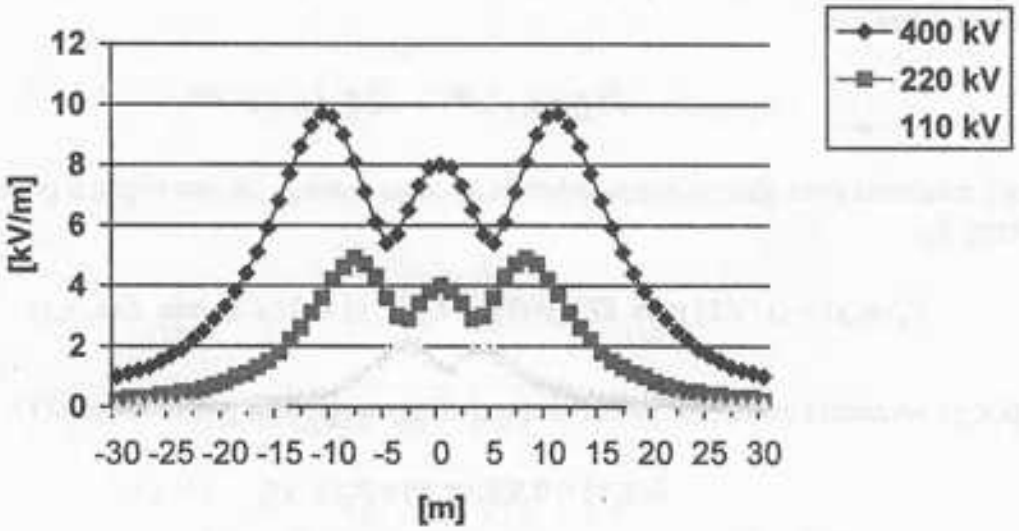
Obliczenia przeprowadzone są dla trzech linii elektroenergetycznych: 400 kV na słupach Y52, dla linii 220 kV na słupach H52 i dla linii 110 kV na słupach B2. Dane linii przyjęte do obliczeń przedstawiono w Tab. 1. Do obliczeń przyjęto znamionowe wartości napięć. Wysokość zawieszenia przewodów fazowych przyjęto zgodnie z zależnością:

$$h = 5 + \frac{U_n}{150} \tag{13}$$

Zakres zmian odległości od osi linii przyjęto 50 m w obu kierunkach. Na wykresie ograniczono ten zakres tylko do 30 m. Obliczenia wykonano dla dwóch różnych wysokosci nad powierzchnią ziemi: 2 m i 1,8 m. Na rys. 2 przedstawiono obliczenia tylko dla wysokości 2 m, ponieważ różnice w wartościach nie byłyby widoczne na wykresie. Natomiast różnice w wynikach dla pewnych kryteriów przedstawione są w Tab. 2.

Tab.1. Parametry linii 400 kV na słupach Y52, 220 kV na słupach H52 i linii 110 kV na słupach B2.

Przewód	*Przekrój [mm^2]*	*Odl. we wiązce [m]*	*Odl. od osi [m]*	*Wys. nad ziemią [m]*
Linia 400 kV				
A	*2×525*	*0,4*	*-10,3*	*7,7*
B	*2×525*	*0,4*	*0,0*	*7,7*
C	*2×525*	*0,4*	*10,3*	*7,7*
0	*70*	*-*	*-8,2*	*14,7*
0	*70*	*-*	*8,2*	*14,7*
Linia 220 kV				
A	*525*	*-*	*-7,6*	*6,5*
B	*525*	*-*	*0,0*	*6,5*
C	*525*	*-*	*7,6*	*6,5*
0	*70*	*-*	*-5,6*	*13,2*
0	*70*	*-*	*5,6*	*13,2*
Linia 110 kV				
A	*120*	*-*	*-2,8*	*5,7*
B	*120*	*-*	*2,8*	*9,3*
C	*120*	*-*	*3,6*	*5,7*
0	*70*	*-*	*0,0*	*12,1*



Rys. 2. Rozkład natężenia pola elektrycznego pod linią 400 kV, 220 kV i 110 kV na wysokości 2 m nad ziemią

3. POLE MAGNETYCZNE POD LINIĄ ELEKTROENERGETYCZNĄ

Istnieją różne algorytmy do obliczania natężenia PM wokół linii trójfazowych [3]. Najprostsza metoda wykorzystuje prawo Biota-Savarta i zasadę superpozycji. Jeśli przez przewód o współrzędnych x_k, y_k płynie prąd $\underline{I}_k$ to wartość natężenia PM w punkcie o współrzędnych (x, y) można wyliczyć analogicznie jak dla pola elektrycznego:

$$\underline{H}_x(x,y) = \sum_{k=1}^{n} \frac{\underline{I}_k}{2\pi} \frac{y - y_k}{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2} \tag{14}$$

$$\underline{H}_y(x,y)=\sum_{k=1}^{n}\frac{\underline{I}_k}{2\pi}\frac{x_k-x}{(x-x_k)^2+(y-y_k)^2} \tag{15}$$

$$\underline{H}_1(x,y)=0{,}5[\underline{H}_y(x,y)+j\underline{H}_x(x,y)]=H_1(x,y)e^{j\delta_1(x,y)} \tag{16}$$

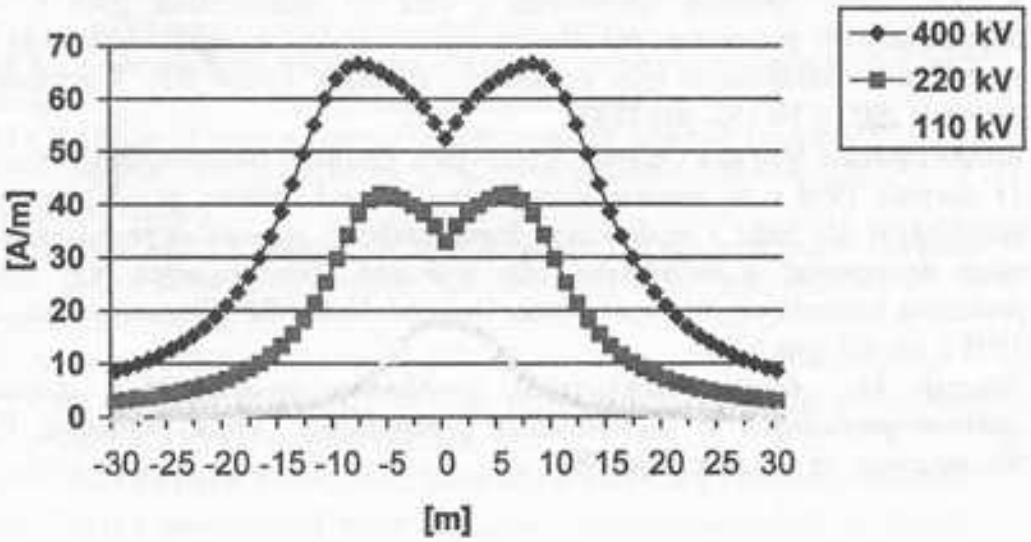
$$\underline{H}_2(x,y)=0{,}5[\underline{H}_y^*(x,y)+j\underline{H}_x^*(x,y)]=H_2(x,y)e^{j\delta_2(x,y)} \tag{17}$$

$$H_a(x,y)=|H_1(x,y)|+|H_2(x,y)|,\qquad H_b=\big||H_1(x,y)|-|H_2(x,y)|\big| \tag{18}$$

$$\delta(x,y)=0{,}5[\delta_1(x,y)+\delta_2(x,y)] \tag{19}$$

Wartości skuteczne H_a, H_b oraz kąt δ wystarczają do określenia stanu pola w danym punkcie przestrzeni.

Na rys. 3 przedstswiono przebieg wartości natężenia pola magnetycznego na wysokosci 2 m nad powierzchnią ziemi pod liniami 400 kV, 220 kV i 110 kV dla maksymalnej obciążalności prądowej, które wynosiły: dla linii 400 kV – 2440 A, dla linii 220 kV – 1220 A, a dla 110 kV – 475 A. Przebiegi na rys. 3 dotyczą składowej H_a.



Rys. 3. Rozkład natężenia pola magnetycznego pod linią 400 kV, 220 kV i 110 kV na wysokości 2 m nad ziemią

4. WNIOSKI

W celu otrzymania odpowiedzi na pytanie odnośnie różnic mających znaczenie praktyczne wynikających z obu rozporządzeń przyjęto pewne kryteria. Porównano wartości maksymalne natężeń pól elektrycznych i magnetycznych, szerokości obszarów dla których E > 1 kV/m, szerokości obszarów dla których H > 60 A/m oraz H > 3 A/m. Wartość 3 A/m wzięto pod uwagę ze względu na możliwość zakłóceń w pracy monitorów komputerowych. Największa wartość natężenia pola magnetycznego w środowisku zgodnie z dawnymi przepisami wynosząca 80 A/m właściwie pod liniami elektroenergetycznymi raczej nie występowała. Według nowych przepisów wartość 60 A/m może wystąpić przy maksymalnym obciążeniu linii 400 kV.

Tab.2. Porównanie linii 400 kV na słupach Y52, 220 kV na słupach H52 i linii 110 kV na słupach B2 dla wysokości 2 m i 1,8 m

	400 kV		220 kV		110 kV	
	2 m	1,8 m	2 m	1,8 m	2 m	1,8 m
E max [kV/m]	9,7	9,5	4,9	4,7	2,2	2,1
Obszar w [m] Dla E > 1 kV/m	±29,5	±29,5	±18,5	±18,5	(-8,0; 8,5)	(-8,0;8,5)
H max [A/m]	66,6	64,1	42,0	40,0	18,0	16,9
Obszar w [m] Dla H > 60 A/m	(-11,0; -2,5) (2,5; 11,0)	(-10,5; -4,0) (4,0; 10,5)	-	-	-	-
Obszar w [m] Dla H > 3 A/m	(-49; 49)	(-49;49)	(-30; 30)	(-30;30)	(-12; 12)	(-12;12,)

Przyjęcie do obliczeń wysokości 2 m zamiast 1,8 m powoduje zmianę wartości natężenia PE na pierwszym miejscu po przecinku, a zmiany natężenia PM dotyczą pojedynczych A/m. Natomiast szerokości obszarów dla których E > 1 kV/m, a H > 3 A/m praktycznie nie zależą od wysokości obliczeniowej. Szerokości obszarów dla H > 60 A/m różnią się w sumie o 4 m dla linii 400 kV w zależności od przyjętej wysokości obliczeniowej.

5. LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów, Dziennik Ustaw RP, Warszawa, dnia 14 listopada 2003 r. Nr 192, poz 1883.
2. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11 sierpnia 1998 r. w sprawie szczegółowych zasad ochrony przed promieniowaniem szkodliwym dla ludzi i środowiska, dopuszczalnych poziomów promieniowania, jakie mogą występować w środowisku, oraz wymagań obowiązujących przy wykonywaniu pomiarów kontrolnych promieniowania. Dziennik Ustaw RP, Warszawa, dnia 20 sierpnia 1998 r. Nr 107, poz 676.
3. Zeńczak M.: *Analiza technicznych problemów związanych z dozymetrią pól elektromagnetycznych o częstotliwości przemysłowej*, Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, nr 543, Szczecin 1998.

ELECTROMAGNETIC FIELDS AROUND POWER TRANSMISSION LINES AGAINST A BACKGROUNG OF NEW REGULATIONS

The paper presents results of calculations of electric and magnetic fields around power transmission lines. The aim of the calculations is comparison of results for the height 2 m (new regulations [1]) and for 1,8 m (old regulations [2]). Besides the values of magnetic fields intensity are compared to the permissible values from regulations. The analysis shows that intensity of magnetic fields for some unfovourable conditions under 400 kV power line is higher than permissible one. The area, where occurs such the value is wider on the height 2 m than for 1,8 m. The diference is about 4 m.

INDEKS AUTORÓW REFERATÓW

1. **ANDRUSZKIEWICZ Paweł** Porównanie metod badania zjawisk relaksacyjnych za pomocą pomiarów w dziedzinie czasu i częstotliwości 1
2. **BANASZAK Szymon** Badania trakcyjnych izolatorów porcelanowych 6
3. **BEGIER Piotr** Program Polskiego Towarzystwa Przemysłu i Rozwoju Energii Elektrycznej „Bezpieczniej z prądem" 12
4. **BENYSEK Grzegorz, STRZELECKI Ryszard** Koncepcje i właściwości urządzeń sprzęgających rozproszone systemy elektroenergetyczne 241
5. **BURSA Jan, KRUPCZYŃSKI Maciej** Wpływ tlenków azotu o dużym stężeniu na właściwości elektryczne elastomerów silikonowych 18
6. **CADLER Edward** Praktyczne aspekty poprawy parametrów jakości energii elektrycznej w obwodach oświetlenia zewnętrznego 22
7. **CUDZIŁO Marcin, NOCULAK Adam** Wpływ odkształceń napięcia i prądu na błędy liczników energii czynnej 29
8. **CUDZIŁO Marcin, NOCULAK Adam** Wpływ zmian napięcia znamionowego sieci z 220/380 V na 230/400 V na dokładność pomiaru indukcyjnych liczników czynnej energii elektrycznej 172
9. **DĘBICKI Henryk** Możliwości zastosowania kondycjonerów energii w systemach zasilania rozproszonych obiektów telekomunikacyjnych 33
10. **DMOWSKI Antoni** Współpraca odnawialnych źródeł energii z ogniwami paliwowymi jako nowoczesnymi zasobnikami energii 40
11. **DREAS Andrzej, KOZAK Maciej** Sterowanie indukcyjnej klatkowej prądnicy wałowej 48
12. **GALCZAK Józef** Wpływ celowo implantowanych „słabych punktów" na wytrzymałość układu izolowany płaskownik nawojowy-płyta w oleju transformatorowym 54
13. **GERMAN-GAŁKIN Sergiej, OCHIN Eugenin** The development of computer training course on electrotechynical disciplines with use of macromedia technologies 60
14. **GIL Andrzej** Jednofazowa przetwornica DC/AC o napięciu sinusoidalnym 66
15. **GŁUCHY Zygfryd, GWÓŹDŹ Michał, PORADA Ryszard** Energoelektroniczny filtr aktywny AAF2003 rodziny ecocurrent 72
16. **GRECZKO Edward** Właściwości falowników napięcia o modulacji nadążnej 77
17. **GRECZKO Edward, KOT Emil** Trójfazowe falowniki napięcia o modulacji amplitudowo-impulsowej 83
18. **GROCHOWALSKI Jacek** Przyrząd do wyznaczania drgań ruchu obrotowego 89
19. **GWÓŹDŹ Michał, GŁUCHY Zygfryd, PORADA Ryszard** Energoelektryczny filtr aktywny AAF2003 rodziny ecocurrent 72
20. **HEMKA Lucyna, PIOTROWSKI Lech** Efektywność energetyczna źródeł światła powszechnego użytku, parametry funkcjonalne 188
21. **HEMKA Lucyna, PIOTROWSKI Lech** Podstawowe parametry funkcjonalne i bezpieczeństwa użytkowania sprzętu oświetleniowego i stosowanych w nim źródeł światła przy zmianie wartości napięcia sieciowego z 220 V na 230 V 95
22. **HERLENDER Kazimierz** Sposoby magazynowania energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym 103
23. **HRYNKIEWICZ Jarosław, KOZAK Maciej** Zintegrowane zabezpieczenie silników AC do długookresowej eksploatacji bez dozoru 109

24. **JANKOWSKI Maciej** Trójfazowy szeregowy regulator napięcia przemiennego z bipolarnym sterownikiem matrycowo-reaktancyjnym o topologii Ćuk B2 ... 113
25. **JENDRZEJCZAK Tomasz** Dobór sieci neuronowej do identyfikacji zagrożenia przeciwpożarowego ... 119
26. **KAMIŃSKI Włodzimierz** Mieszanie elektromagnetyczne w technologiach metalurgicznych ... 127
27. **KARPIŃSKI Jacek, SIKORKI Łukasz, MOSIŃSKI Franciszek, ŚWITALSKI Wojciech, WIRA Andrzej** Analiza wytrzymałości elektrycznej muf kablowych do kabli 6kV z izolacją polwinitową ... 215
28. **KASPEREK Radosław** Symetryzacja układów impulsowych sterowników prądu przemiennego ... 133
29. **KLEMIŃSKA Joanna** Izolacja gazowa czy powietrzna? ... 141
30. **KOT Emil, GRECZKO Edward** Trójfazowe falowniki napięcia o modulacji amplitudowo-impulsowej ... 83
31. **KOZAK Maciej, DREAS Andrzej** Sterowanie indukcyjnej klatkowej prądnicy wałowej ... 48
32. **KOZAK Maciej, HRYNKIEWICZ Jarosław** Zintegrowane zabezpieczenie silników AC do długookresowej eksploatacji bez dozoru ... 109
33. **KRASODOMSKI Michał** Możliwości rozszerzania zastosowań małych sterowników programowalnych ... 148
34. **KRUPCZYŃSKI Maciej, BURSA Jan** Wpływ tlenków azotu o dużym stężeniu na właściwości elektryczne elastomerów silikonowych ... 18
35. **LEMIESZEWSKI Łukasz** Opracowanie systemu zdalnej komunikacji do nauczania elektroniki z wykorzystaniem zjawiska MATLAB ... 154
36. **MICHALCZUK Marian, MICHALSKI Janusz** Płyn do mycia elementów i urządzeń elektroenergetycznych w pracach remontowych ... 160
37. **MICHALSKI Janusz, MICHALCZUK Marian** Płyn do mycia elementów i urządzeń elektroenergetycznych w pracach remontowych ... 160
38. **MICHALSKI Krzysztof, SZYMCZAK Piotr, PIEŃKOWSKI Tomasz, STANKIEWICZ Bartłomiej** Przegląd współczesnych materiałów magnetycznych twardych stosowanych w maszynach elektrycznych ... 259
39. **MOSIŃSKI Franciszek, SIKORKI Łukasz, KARPIŃSKI Jacek, ŚWITALSKI Wojciech, WIRA Andrzej** Analiza wytrzymałości elektrycznej muf kablowych do kabli 6kV z izolacją polwinitową ... 215
40. **MUĆKO Jan** Tranzystorowy sterownik napięcia przemiennego-przyjazny sieci przekształtnik o cechach autotransformatora ... 164
41. **NOCULAK Adam, CUDZIŁO Marcin** Wpływ odkształceń napięcia i prądu na błędy liczników energii czynnej ... 29
42. **NOCULAK Adam, CUDZIŁO Marcin** Wpływ zmian napięcia znamionowego sieci z 220/380 V na 230/400 V na dokładność pomiaru indukcyjnych liczników czynnej energii elektrycznej ... 172
43. **OCHIN Eugenin, GERMAN-GAŁKIN Sergiej** The development of computer training course on electrotechynical disciplines with use of macromedia technologies ... 60
44. **PAWLIK Maciej** Technologie Wytwarzania energii elektrycznej na rynku rozszerzonej Unii Europejskiej ... 176
45. **PIEŃKOWSKI Tomasz, SZYMCZAK Piotr, MICHALSKI Krzysztof, STANKIEWICZ Bartłomiej** Przegląd współczesnych materiałów magnetycznych twardych stosowanych w maszynach elektrycznych ... 259

46. **PIEŃKOWSKI Tomasz, SZYMCZAK Piotr, WARDACH Marcin, SZKOLNY Sebastian** Nowe technologie w obiektach podwodnych..... 265
47. **PIETRZAK-MANTIUK Aleksandra** Wpływ napełniaczy na wybrane parametry elektryczne mieszanek polimerowych w funkcji starzenia w komorze klimatycznej WGS i urządzeniu typu xenotest..... 182
48. **PIOTROWSKI Lech, HEMKA Lucyna** Efektywność energetyczna źródeł światła powszechnego użytku, parametry funkcjonalne..... 188
49. **PIOTROWSKI Lech, HEMKA Lucyna** Podstawowe parametry funkcjonalne i bezpieczeństwa użytkowania sprzętu oświetleniowego i stosowanych w nim źródeł światła przy zmianie wartości napięcia sieciowego z 220 V na 230 V..... 95
50. **POMIANOWSKI Jerzy** Polaryzowalność jako kryterium oceny właściwości elektroizolacyjnych żywic epoksydowych..... 195
51. **PORADA Ryszard, GŁUCHY Zygfryd, GWÓŹDŹ Michał,** Energoelektryczny filtr aktywny AAF2003 rodziny ecocurrent..... 72
52. **RAKOWSKA Aleksandra** Eksploatacja elektroenergetycznych linii kablowych - doświadczenia zagraniczne..... 203
53. **SCHRAMM Heinz-H.** Electric Power Systems 2020 A prospective view..... 211
54. **SIKORKI Łukasz, MOSIŃSKI Franciszek, KARPIŃSKI Jacek, ŚWITALSKI Wojciech, WIRA Andrzej** Analiza wytrzymałości elektrycznej muf kablowych do kabli 6kV z izolacją polwinitową..... 215
55. **SMERECZYŃSKI Przemysław** Międzysystemowe sterowniki przesyłu energii – ocena właściwości energetycznych..... 223
56. **STANKIEWICZ Bartłomiej, SZYMCZAK Piotr, PIEŃKOWSKI Tomasz, MICHALSKI Krzysztof** Przegląd współczesnych materiałów magnetycznych twardych stosowanych w maszynach elektrycznych..... 259
57. **STRZAŁKA Jan, WINCENCIK Krzysztof** Ograniczanie przepięć czynnikiem poprawy jakości energii elektrycznej..... 275
58. **STRZELECKI Ryszard** Właściwości i zastosowania kompensatorów dynamicznych STATCOM i D-STATCOM..... 229
59. **STRZELECKI Ryszard, BENYSEK Grzegorz** Koncepcje i właściwości urządzeń sprzęgających rozproszone systemy elektroenergetyczne..... 241
60. **SUBOCZ Lech** Badania kombinezonu nurka w związku z zagrożeniem porażeniem prądem elektrycznym..... 449
61. **SUBOCZ Lech** Starzenie izolacji papierowej transformatorów najwyższych napięć..... 253
62. **SZKOLNY Sebastian, SZYMCZAK Piotr, WARDACH Marcin, PIEŃKOWSKI Tomasz,** Nowe technologie w obiektach podwodnych..... 265
63. **SZYMCZAK Piotr, PIEŃKOWSKI Tomasz, MICHALSKI Krzysztof, STANKIEWICZ Bartłomiej,** Przegląd współczesnych materiałów magnetycznych twardych stosowanych w maszynach elektrycznych..... 259
64. **SZYMCZAK Piotr, WARDACH Marcin, SZKOLNY Sebastian, PIEŃKOWSKI Tomasz,** Nowe technologie w obiektach podwodnych..... 265
65. **ŚWITALSKI Wojciech, SIKORKI Łukasz, MOSIŃSKI Franciszek, KARPIŃSKI Jacek, WIRA Andrzej** Analiza wytrzymałości elektrycznej muf kablowych do kabli 6kV z izolacją polwinitową..... 215
66. **Arlen VOLOZHYN** Functionalized pilyimides for micro and-optoelectronics..... 271
67. **WARDACH Marcin, SZYMCZAK Piotr, SZKOLNY Sebastian, PIEŃKOWSKI Tomasz,** Nowe technologie w obiektach podwodnych..... 265

68. **WINCENCIK Krzysztof, STRZAŁKA Jan** Ograniczanie przepięć czynnikiem poprawy jakości energii elektrycznej 275
69. **WIRA Andrzej, SIKORKI Łukasz, MOSIŃSKI Franciszek, KARPIŃSKI Jacek, ŚWITALSKI Wojciech,** Analiza wytrzymałości elektrycznej muf kablowych do kabli 6kV z izolacją polwinitową 215
70. **ZEŃCZAK Michał** Pola elektromagnetyczne wokół linii elektroenergetycznych na tle nowych przepisów 279

WYKAZ FIRM BIORĄCYCH UDZIAŁ W KONFERENCJI MITEL 2004

Lp.	Firma	Przedstawiciele
1	P.E.P. ALFIE s.c. Poznań	Zygfryd Głuchy Michał Gwóźdź
2	ALSTOM T&D S.A. Świebodzice	Joanna Klemińska
3	ARGILLON POLSKA Sp. z o.o. Jedlina Zdrój	Magdalena Bajor Michał Kunecki
4	DEHN polska Sp. z o.o. BT w Krakowie	Krzysztof Wincencik
5	Energetyka Poznańska Zakład Oświetlenia Drogowego Sp. z o.o.	Piotr Christop
6	ELEKTROBUDOWA S.A. w Katowicach Oddział Spółki: Rynek Dystrybucji Energii w Koninie	Grzegorz Szajek
7	Elektrociepłownia „GORZÓW" S.A.	Jan Kos
8	Energo-STIL Sp. z o.o. w Gorzowie	Zbigniew Nowak
9	ENSTO POL Sp. z o.o. Gdańsk	Piotr Gródecki Wojciech Pancer Arkadiusz Majda
10	Fabryka Porcelany Elektrotechnicznej „CIECHÓW" S.A. w Ciechowie	Zdzisław Macherzyński
11	Fabryka Porcelany Elektrotechnicznej ZAPEL S.A. Boguchwała	Ryszard Pitra
12	General Electric Company POLSKA Sp. z o.o. Warszawa	Janusz Stępień
13	Generik Energetyka Warszawa	Paweł Marcinkowski
14	Gorzowska Budowlana Spółdzielnia Pracy	Andrzej Pogonowski
15	GPH Sp. z o.o. Racibórz	Paweł Kiełkowski Grzegorz Cyganek
16	GRUPA ENERGETYCZNA ENEA S.A. Oddział w Gorzowie Wlkp	Henryk Szałek Jacek Wieczorek
17	GRUPA ENERGETYCZNA ENEA S.A. Oddział w Bydgoszczy	Paweł Baliński Wojciech Barzyk
18	GRUPA ENERGETYCZNA ENEA S.A. Oddział w Szczecinie	Jan Rączka Zdzisław Górecki
19	Izba Rzeczoznawców Gorzowskiego Oddziału Stowarzyszenia Elektryków Polskich	Jacek Tarkowski
20	Jean Mueller Polska Sp. z o.o. w Warszawie	Zbigniew Błażejewski Remigiusz Chmielewski
21	Necks Electric Sp. z o.o. Toruń	Janusz Adamczak
22	PBW „OLMEX" S.A. Olsztyn	Przemysław Chojnowski
23	PP BEZPOL S.J Myszków	Michał Torbus Ryszard Opałka
24	Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej	Piotr Begier
25	Schneider Electric Polska Sp. z o.o. Gdańsk	Bogdan Szymański
26	Telekomunikacja Polska S.A. Obszar w Zielonej Górze	Michał Dębicki
27	TERMAR Wrocław	Piotr Maćkowiak
28	REBUD Sp. z o.o. Nowa Sól	Maciej Żebrowski
29	VOLTEX Sp. z o.o. Lubin	Edward Parchimowicz
30	Zakład Doświadczalny Instytutu Energetyki w Białymstoku	Krzysztof Kobyliński Stanisław Kiszło
31	Zakłady Produkcji Urządzeń Elektrycznych S.A. Włoszczowa	Andrzej Łoński
32	Zakład Wykonawstwa Sieci Elektrycznych Gorzowie Wlkp.	Marek Palejczyk

Enea

GRUPA ENERGETYCZNA

Oddział w Gorzowie Wielkopolskim
66-400 Gorzów Wlkp.
ul. gen. Sikorskiego 37
tel. (0-95) 721 76 00
fax (0-95) 720 48 58
e-mail: gorzow@gorzow.enea.pl

www.enea.pl

Nowa jakość z dostawą do domu

Grupa Energetyczna ENEA SA
Oddział w Gorzowie Wielkopolskim

MISJA GRUPY ENERGETYCZNEJ ENEA SA

Jesteśmy naturalnym partnerem naszych Klientów dostarczając podstawowe media, zapewniając komfort życia, umożliwiając im skupienie się na tym, co dla Nich ważne.

Z dniem 2 stycznia 2003 roku rozpoczęła działalność Grupa Energetyczna ENEA SA, która powstała w wyniku połączenia pięciu spółek dystrybucyjnych północno-zachodniej Polski:

1. Energetyki Poznańskiej SA
2. Energetyki Szczecińskiej SA
3. Zakładu Energetycznego Bydgoszcz SA
4. Zakładu Energetycznego Gorzów SA
5. Zielonogórskich Zakładów Energetycznych SA

Cele konsolidacji:

- zwiększenie siły przetargowej przy zakupie energii,
- uzyskanie silnej pozycji na konkurencyjnym rynku,
- wzrost wartości przedsiębiorstw wchodzących w skład GE ENEA SA,
- zwiększenie efektywności inwestowania,
- osiągnięcie efektu skali i synergii działalności, w tym obniżenie kosztów,
- poprawa jakości obsługi klientów oraz wykreowanie wartości dodanej dla klientów– usługi multienergetyczne,
- możliwość utrzymania miejsc pracy–alokacja pracowników do sfery usługowej.

Korzyści wynikające z połączenia dla Klientów:

- obniżenie cen energii i usług przesyłowych,
- poprawa standardów technicznych,
- zwiększenie pewności dostaw,
- poprawa jakości obsługi klientów,
- zapewnienie kompleksowości obsługi,
- rozszerzenie oferty o usługi multienergetyczne.

Efekty dla lokalnych społeczności:

- pozyskanie, wraz z lokalnymi władzami samorządowymi, środków pochodzących z Unii Europejskiej,
- przyciąganie inwestorów,
- inwestycje w infrastrukturę,
- stymulacja wzrostu gospodarczego,
- budowa wiarygodności i atrakcyjności regionu,
- działalność charytatywna (darowizny),
- ograniczenie bezrobocia i podwyższenie standardu życia mieszkańców regionu.

Plany na przyszłość:

Wykorzystując efekt synergii z dotychczasową działalnością infrastrukturalną budowanie przedsiębiorstwa multienergetycznego poprzez:

- budowanie relacji partnerskich z dotychczasowymi dostawcami mediów komunalnych,
- wchodzenie kapitałowe do istniejących podmiotów zaangażowanie się w proces prywatyzacji komunalnych zakładów budżetowych,
- podejmowanie samodzielnych inwestycji i projektów.

Planowane działania Grupy Energetycznej ENEA SA stymulujące rozwój konkurencyjnego rynku energii elektrycznej:

- rozdzielenie działalności infrastrukturalnej od działalności obrotu energią elektryczną – wydzielenie obrotu do spółki,
- zwiększanie znaczenia Towarowej Giełdy Energii SA poprzez zwiększenie płynności oraz wykorzystanie mechanizmów finansowych oferowanych na rynku terminowym.

Grupa Energetyczna ENEA SA
ODDZIAŁ W GORZOWIE WIELKOPOLSKIM

(były Zakład Energetyczny Gorzów S.A.)

Obsługiwany obszar

Podstawowe dane	
Obszar działania	8 484 km^2
Liczba gmin	40
Rejony Energetyczne	5
Posterunki Energetyczne	19
Elektrownie wodne	4
Ilość odbiorców	210 203

Charakterystyka obsługiwanego obszaru:

GE ENEA SA O/Gorzów obejmuje swoim zasięgiem działania obszar byłego województwa gorzowskiego. Obecnie spółka działa na terenie trzech województw (lubuskiego, wielkopolskiego, zachodniopomorskiego).

Liczba mieszkańców na terenie działania O/Gorzów wynosi **508.000 (1,3 % populacji kraju),** z czego 321.000 osób mieszka w miastach a 187.000 na wsi. Powierzchnia terenu objętego działaniem ZEG SA wynosi 8.484 km^2.

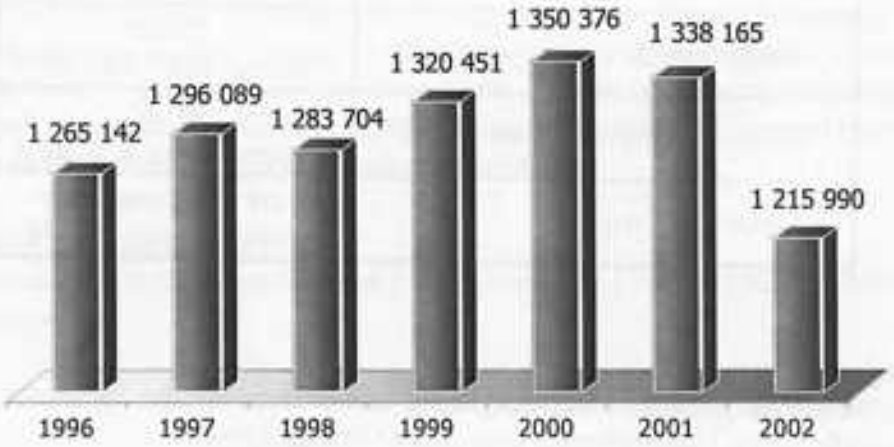
Obszar działania:

Sposób użytkowania gruntów na obszarze działania O/Gorzów przedstawia się w sposób następujący:

- użytki rolne 3.544 km^2,
- lasy 3.808 km^2,
- pozostałe 1.132 km^2.

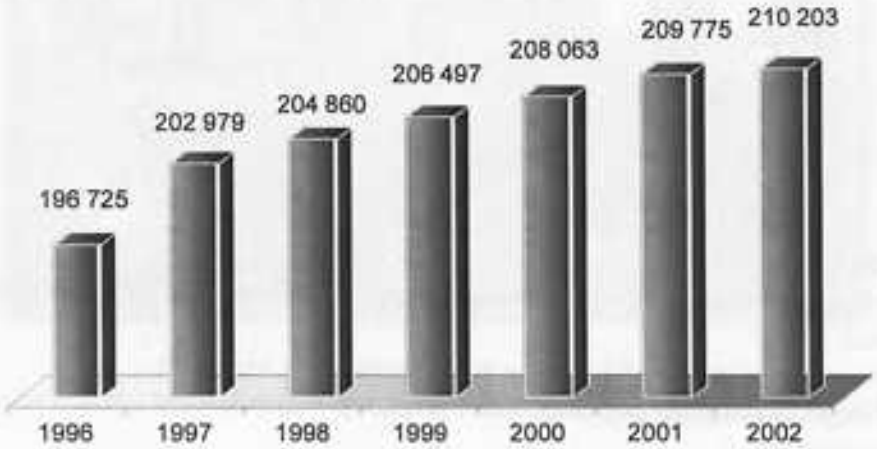
Sprzedaż energii elektrycznej:

Sprzedaż energii elektrycznej w [MWh] ogółem w latach 1996-2001.



Klienci:

Liczba odbiorców energii elektrycznej w latach 1996-2001.

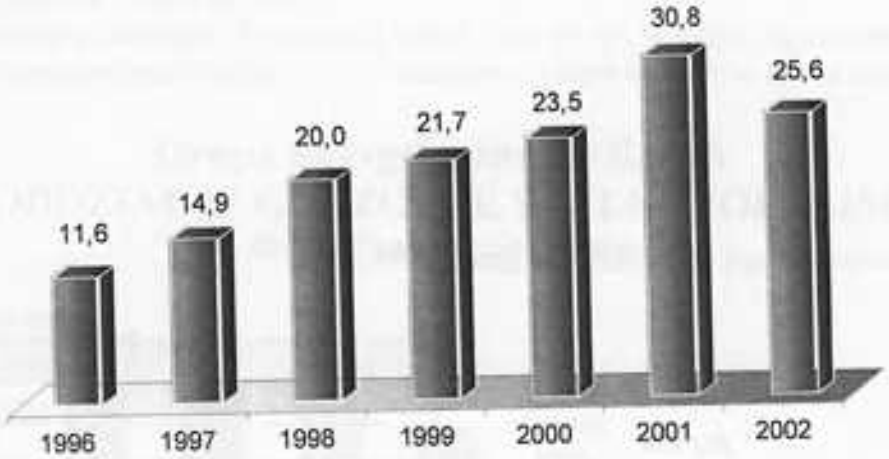


Potencjał techniczny Oddziału w Gorzowie Wlkp.

Linie napowietrzne WN	*538 km*
Linie napowietrzne SN	*4 269 km*
Linie napowietrzne nn z przyłączami	*4 700 km*
Linie kablowe SN	*829 km*
Linie kablowe nn z przyłączami	*2 506 km*
Stacje transformatorowe WN/SN	*24 szt. o łącznej mocy 653 MVA*
Stacje transformatorowe SN/nn	*3 194 szt. o łącznej mocy 570 MVA*
Elektrownie wodne	*4 szt. o łącznej mocy zainstalowanej 2,8 MW*

Inwestycje:

Inwestycje obejmują głównie komputeryzację, nowoczesne środki łączności, modernizację zaplecza technicznego, telemechanikę oraz Biura Obsługi Klienta.



Czysta energia:

Program przyjaznego współistnienia z naszym środowiskiem naturalnym realizujemy na kilku płaszczyznach:

- wytwarzamy energię elektryczną w elektrowniach wodnych,
- realizujemy program popularyzacji i promocji różnych form ogrzewania elektrycznego,
- wspierany popularyzacją taryfy weekendowej, co daje wyraźne efekty szczególnie wśród inwestorów budujących domy jednorodzinne,
- budujemy platformy pod gniazda bocianie na słupach energetycznych w celu ochrony licznej na naszym terenie populacji bocianów.

Nowe technologie:

Prace w technologii pod napięciem.
Niezwykle ważnym zagadnieniem dla naszej spółki jest zapewnienie naszym Klientom ciągłości dostaw energii elektrycznej. Dlatego też stosujemy nowoczesną technikę - **prace pod napięciem,** podczas przeglądów i konserwacji sieci elektroenergetycznej.

Liczniki przedpłatowe.
System przedpłatowy daje możliwość sprzedaży energii elektrycznej w sposób podobny do innych dóbr konsumpcyjnych. Płatność „z góry" gwarantuje kupującemu uniknąć niespodziewanie dużych opłat wynikających z niekontrolowanego zużycia energii. Daje pełną kontrolę wydatków za energię, dzięki kupowaniu jej z wyprzedzeniem, dostosowując i wielkość częstotliwość zakupów energii do potrzeb. **Jest to idealne rozwiązanie dla osób wynajmujących mieszkania, lokale użytkowe osobom trzecim, posiadającym domki letniskowe oraz inne obiekty wykorzystywane sezonowo.**

Przyszłościowe technologie:
Zminiaturyzowana stacja transformatorowa z rozdzielnicami 15 kV w izolacji stałej w formie słupa ogłoszeniowego.

Zminiaturyzowana stacja transformatorowa z rozdzielnicami 15 kV w izolacji stałej zabudowana w nowoczesnej formie ("kosmicznej ławki").

TÜV CERT

CERTYFIKAT

RWTÜV Systems GmbH
Jednostka certyfikująca TÜV CERT

zaświadcza zgodnie
z procedurą TÜV CERT, że przedsiębiorstwo

Enea

Grupa Energetyczna ENEA S.A.
Oddział w Gorzowie Wielkopolskim
ul. Gen. Sikorskiego 37
PL / 66 - 400 Gorzów Wlkp.

wprowadziło i stosuje system
zarządzania jakością w zakresie

obrót, przesył i dystrybucja energii elektrycznej
oraz obsługa klienta

Na podstawie auditu, protokół nr 2.6-0388/2003
potwierdza się spełnienie wymagań norm
ISO 9001 : 2000 / EN ISO 9001 : 2000
Certyfikat ten jest ważny do luty 2005
Numer rejestracyjny 04100 20314

RWTÜV

Wdrożony 13 listopada 2001 roku w Zakładzie Energetycznym Gorzów SA System Zarządzania Jakością przeszedł pomyślnie audit kontrolny, w wyniku którego przedłużono ważność certyfikatu do lutego 2005 roku.

Przeprowadzony przez auditorów jednostki certyfikującej RW TÜV Polska audit nadzoru potwierdził, iż SZJ w zakresie obrotu, przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej oraz obsługi klienta spełnia wymagania normy ISO 9001 - 2000.

W związku z wprowadzonymi zmianami organizacyjnymi zwróciliśmy się do jednostki certyfikującej o wydanie certyfikatu uwzględniającego zmianę nazwy obszaru objętego Systemem Zarządzania Jakością.

Enea

Przedsiębiorstwo Produkcyjno BEZPOL S.J.

Bezpol

Przedsiębiorstwo Produkcyjne BEZPOL S.J.
ul. Partyzantów 21
42-300 Myszków
tel. (034) 313 05 88, 313 07 77 - 80
fax. (034) 313 06 76

www.bezpol.pl e-mail: bezpol@bezpol.pl

Nasza aktualna oferta obejmuje:

Ograniczniki przepięć dla linii napowietrznych niskiego, średniego i wysokiego napięcia
Wnętrzowe ograniczniki przepięć - klasy B i C
Szeroki asortyment osprzętu kablowego, liniowego i stacyjnego
Kompleksowy osprzęt transformatorowy
Ogrzewacze i wentylatory oraz regulatory temperatury i wilgotności do szaf sterowniczych i systemów pomiarowych

"Bezpieczna energetyka"

Bezpol - BEZPIECZNA ENERGETYKA

Przedsiębiorstwo Produkcyjne „BEZPOL" S.J.
Ul. Partyzantów 21
42-300 Myszków
tel. 034/ 313 07 77 do 80 ; tel. 034/ 313 05 88
fax. 034/ 313 06 76
www.bezpol.pl e-mail: bezpol@bezpol.pl

Przedsiębiorstwo Produkcyjne „BEZPOL" powstało w 1992 roku w Myszkowie (około 30 km na południe od Częstochowy) jako Spółka Cywilna. W 2001 roku uzyskaliśmy status Spółki Jawnej, a obecnie jesteśmy zaliczani do grupy średnich przedsiębiorstw. Na początku swojej działalności firma zatrudniała 7 pracowników, a kluczowym wyrobem był napowietrzny ogranicznik przepięć niskiego napięcia typu Ozi. Z upływem czasu technologia produkcji uległa modernizacji i wprowadzono nowe wyroby Firma zatrudnia około 100 osób, ludzi o wysokich kwalifikacjach zawodowych. Posiadamy własne biuro konstrukcyjne i laboratorium pomiarowe, co umożliwia nam opracowywanie i wdrażanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych, a także nowoczesnych technologii produkcji.

Bardzo dobre parametry naszych wyrobów potwierdzają wyniki badań prowadzonych przez niezależne laboratoria badawcze BBJ i IEN. Wysoka jakość i zadowolenie klienta są dla nas celem nadrzędnym, dlatego też w 2002 roku wdrożyliśmy System Zarządzania Jakością wg normy ISO 9002, a w grudniu 2003 otrzymaliśmy certyfikat ISO 9001.

Głównymi odbiorcami naszych wyrobów są zakłady energetyczne i hurtownie zajmujące się realizacją dostaw materiałów i urządzeń dla energetyki zawodowej.

Nasza oferta handlowa zawiera ponad 400 wyrobów i jest stale rozszerzana zgodnie z życzeniami i zapotrzebowaniem klientów. W większości są to wyroby naszej produkcji, ale jesteśmy również przedstawicielem handlowym firm 3M, TRIDELTA, STEGO i PFISTERER. Kierujemy ją do firm związanych z branżą elektroenergetyczną: zakładów energetycznych, hurtowni oraz biur projektowych na terenie całego kraju. Współpracujemy również z wieloma firmami zajmującymi się zaopatrzeniem indywidualnych odbiorców.

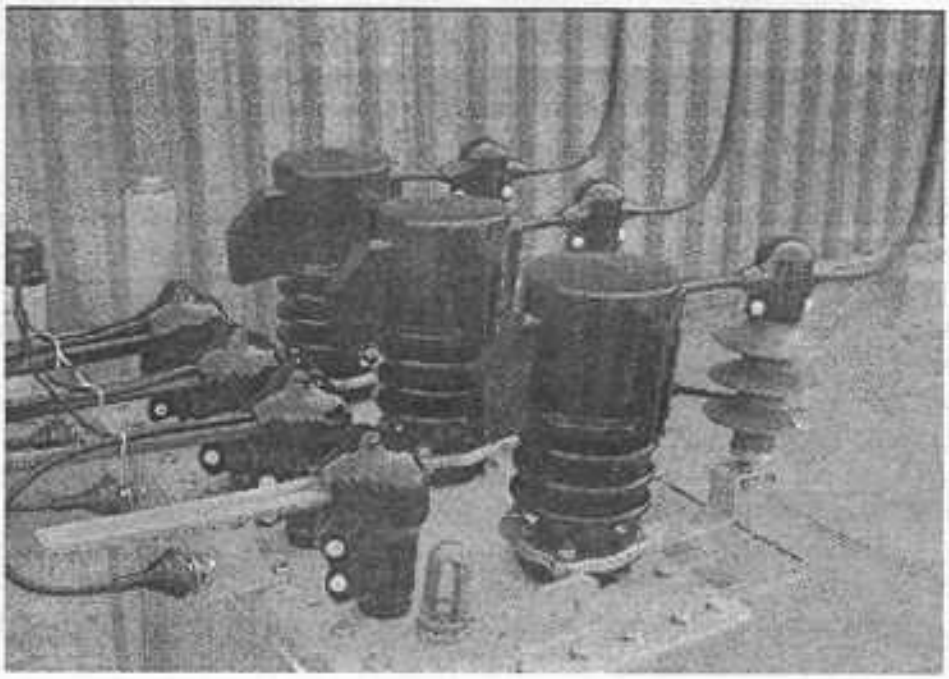
Przedsiębiorstwo nasze od samego początku swojej działalności zajmuje się problematyką ochrony przeciwprzepięciowej. Obecnie w ofercie naszej firmy znajduje się szeroka gama ograniczników przepięć wysokiego, średniego i niskiego napięcia oraz osprzęt transformatorowy, liniowy i stacyjny.

Nowoczesne procesy technologiczne zapewniają naszym wyrobom najwyższą jakość, co w połączeniu z atrakcyjną ceną daje strategiczną przewagę nad firmami konkurencyjnymi.

Dodać należy, iż jako pierwsi wprowadziliśmy na polski rynek technologię kucia matrycowego zacisków transformatorowych oraz produkcji osłon w technologii żelowania plastizoli. Jesteśmy również jednym z nielicznych zakładów w Europie, które opracowały i wdrożyły technologie produkcji osprzętu liniowego metodą obróbki plastycznej. Firma nasza prowadzi intensywne prace badawczo-projektowe mające na celu poszukiwanie nowych rozwiązań dla elektroenergetyki. Owocem tych działań są uzyskane przez nas patenty, publikacje w prasie fachowej oraz konkretne rozwiązania praktyczne, których przykładem może być koncepcja kompleksowego wyizolowania stacji transformatorowych.

Nasza aktualna oferta obejmuje:

- ograniczniki przepięć dla linii napowietrznych (typu OZi, IOZi, IOZb, BOP, BOPI), średniego (typu SBK) i wysokiego napięcia (typu SB)
- wnętrzowe ograniczniki przepięć – klasy B i C (typu WO, WOm, P-BM, P-VMS)
- szeroki asortyment osprzętu kablowego, liniowego i stacyjnego
- kompleksowy osprzęt transformatorowy: zaciski typu TOGA i MK; osłony zacisków, ograniczników i izolatorów; wibroizolatory
- ogrzewacze do szaf sterowniczych i systemów pomiarowych
- regulatory temperatury i wilgotności
- wentylatory do szaf sterowniczych oraz filtry z wentylatorami



Kierunki exportu:

Anglia
Belgia
Czechy
Finlandia
Hiszpania
Holandia
Niemcy
Norwegia
Portugalia
Szwecja
Węgry
Włochy
Egipt
Maroko

ISO 9001 : 2000

ZAKŁADY PORCELANY ELEKTROTECHNICZNEJ "CIECHÓW" S.A.

Zakłady Porcelany Elektrotechnicznej "CIECHÓW" S.A. działają od roku 1960 jako jeden z najważniejszych w Polsce producentów porcelany elektrotechnicznej, w tym izolatorów średniego i niskiego napięcia.

Izolatory produkowane przez naszą firme są wyrobami znormalizowanymi spełniającymi wymogi norm krajowych, jak również europejskich i światowych produkowanymi także na indywidualne zlecenia Klientów.

Stanowi to podstawę do szerokiego stosowania ich jako elementów izolacyjnych i konstrukcyjnych w sieciach, rozdzielniach elektroenergetycznych oraz w budowie aparatów i urządzeń elektrycznych.

Wysoka jakość i niezawodność eksploatacyjna naszych wyrobów polegająca na utrzymaniu wymaganych parametrów takich jak:

- *wytrzymałość elektryczna*
- *odpornośc na wpływ czynników atmosferycznych*

Jest to uzyskiwane poprzez stosowanie nowoczesnych technik wytwarzania począwszyod procesu konstruowania, a skończywszy na kontroli końcowej wyrobu. Wyroby mogą być dostarczane jako tzw części ceramiczne z zamintowanymi okuciami metalowymi i innymi detalami, jak również jako same części ceramiczne gotowe do montażu.

Ciechów, ul. Średzka 10, 55-300 Środa Śląska, woj. dolnośląskie

ISO 9001:2000

ZAKŁADY PORCELANY ELEKTROTECHNICZNEJ "CIECHÓW" S.A.

Polityka Jakości:

Myślą przewodnią prowadzonej przez nas Polityki Jakości jest kierowanie się zawsze dobrem Klienta. Każda dostawa stanowi referencje dla przyszłych zamówień. Wysoką jakość wyrobów, stanowiącą dewizę naszego zakładu osiągamy dzięki realizacji przyjętych zasad:

- *dostarczanie konkurencyjnych wyrobów i usług, wykonanych terminowo i dobrze za każdym razem oraz przynoszących zysk Spółce*
- *realizowanie przez każdego pracownika zadań jakościowych*
- *kulturalną i rzetelną obsługę każdego Klienta oraz badanie jego oczekiwań*
- *osiąganie sukcesów przy poszanowaniu zasad etycznych biznesu*
- *doskonalenie Systemu Zarządzania Jakością zgodnego z normą EN ISO 9001:2000.*

Jakość uzyskana dzisiaj to gwarancja przyszłości przedsiębiorstwa i jego pracowników.

Prezes Zarządu
mgr inż. Bogdan Dobrowolski

Ciechów, 28.05.2002 r.

CERTYFIKAT
CERTIFICATE

Zakłady Porcelany Elektrotechnicznej
"CIECHÓW" SA
Ciechów, ul. Średzka 10
55-300 Środa Śląska

ISO 9001:2000

PRACE ROZWOJOWE I PRODUKCJA WYROBÓW
Z PORCELANY ELEKTROTECHNICZNEJ

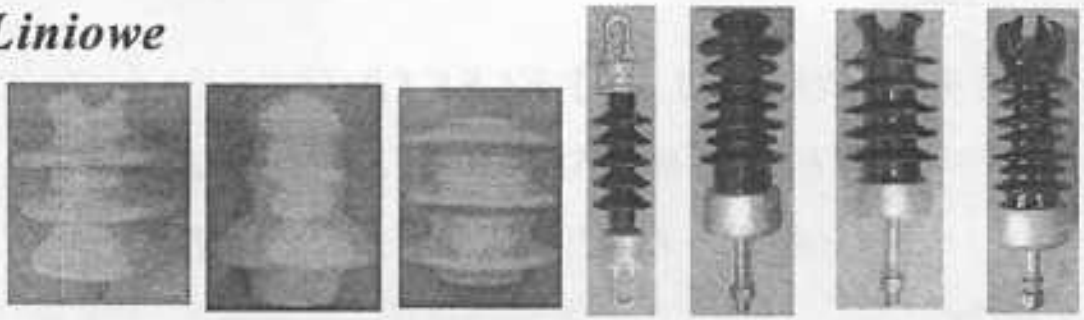
DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF ELECTRICAL PORCELAIN PRODUCTS

ISO 9001:2000

ZAKŁADY PORCELANY ELEKTROTECHNICZNEJ "CIECHÓW" S.A.

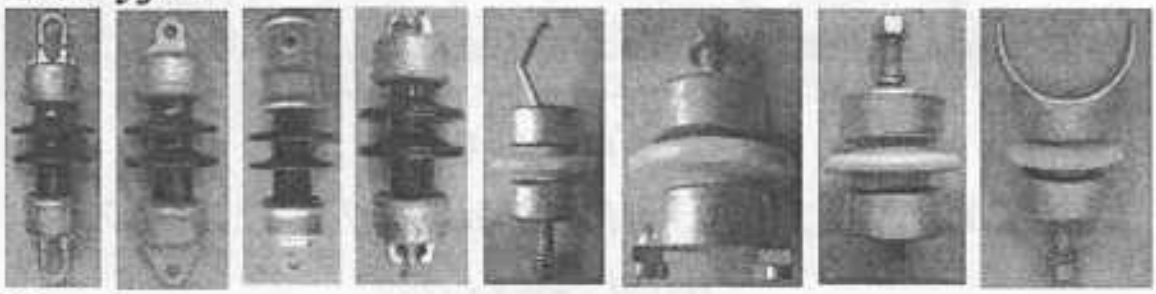
Izolatory:

Liniowe

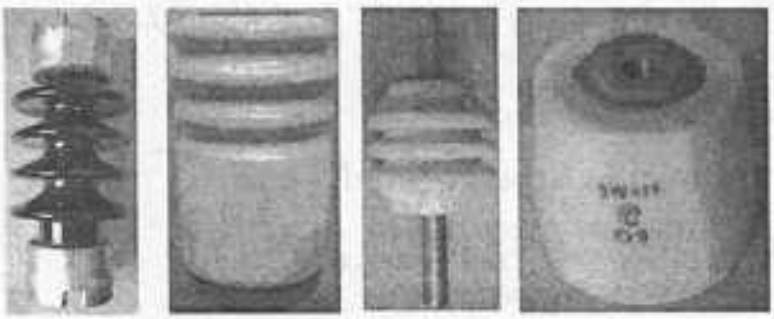


Transformatorowe

Trakcyjne



Stacyjne



ISO 9001 : 2000

ZAKŁADY PORCELANY ELEKTROTECHNICZNEJ "CIECHÓW" S.A.

Kontakt:

ZAKŁADY PORCELANY ELEKTROTECHNICZNEJ

" CIECHÓW " S.A. W CIECHOWIE

55-300 Środa Śląska, ul. Średzka 10

Centrala:

Tel: (071) 317-33-81 Fax: (071) 317-30-75

Dział sprzedaży:

Tel: (071) 317-56-96 Fax: (071) 317-59-91

www.ciechow.com.pl

e-mail: ciechow@ciechow.com.pl

ENSTO

Firma ENSTO POL jest częścią

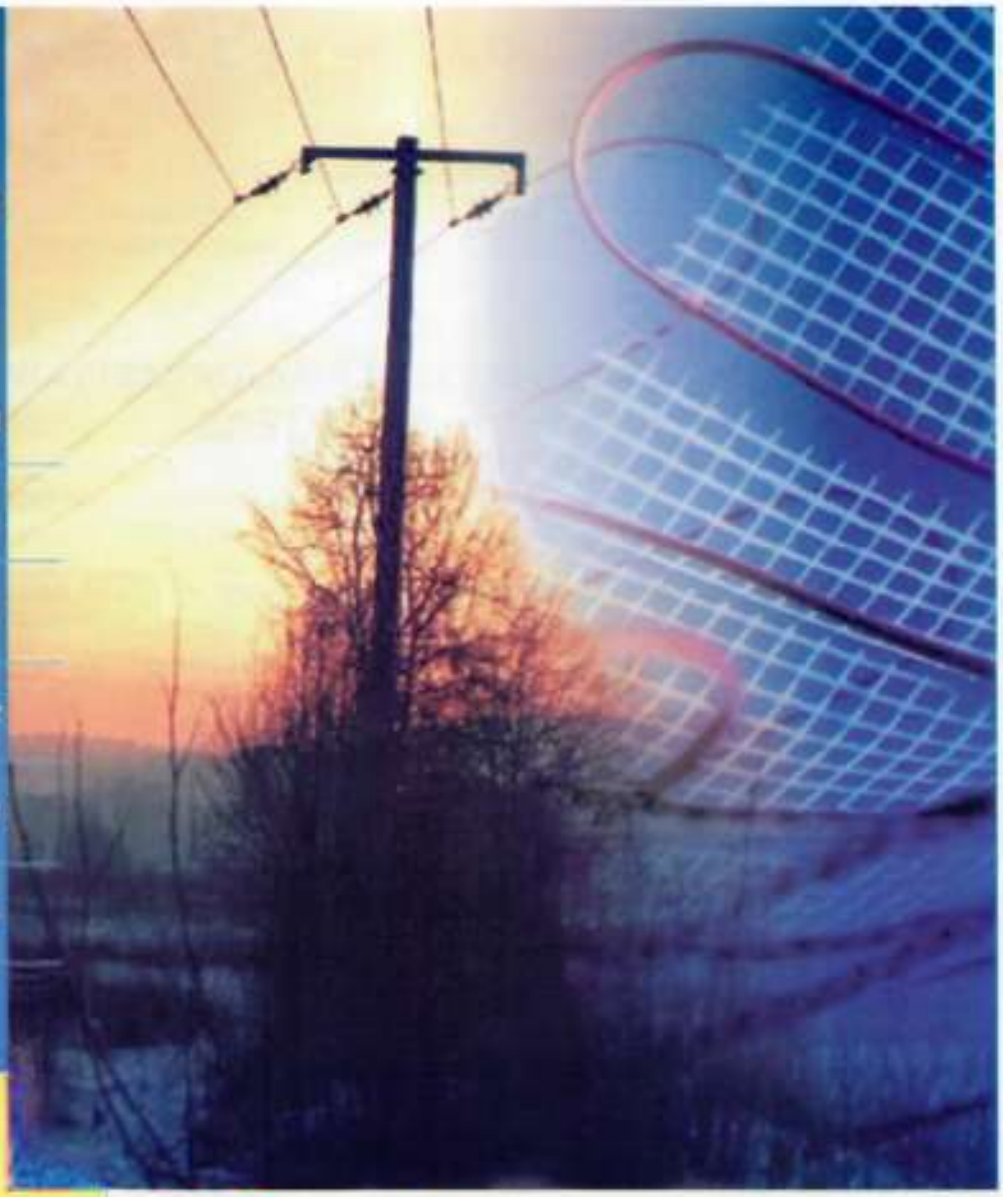
grupy ENSTO z FINLANDII.

Prowadzi działalność handlową,

produkcyjną, doradczą oraz

projektową w zakresie doboru

osprzętu elektrycznego.



ENSTO POL Sp. z o.o.
ul.Stargardzka 5
83-010 Straszyn
tel. +58 692 40 00 (centrala)
+58 692 40 89 (Dział Sprzedaży)
fax +58 692 04 11 (Dział Sprzedaży)

ENSTO POL Sp. z o.o.
Biuro Regionalne
ul. Narutowicza 86
90-139 Łódź
tel./fax +42 678 69 53

ENSTO POL Sp. z o.o.
Biuro Regionalne
Plac Na Stawach 1
30-107 Kraków
tel. + 12 428 25 50
fax + 12 429 60 05

Przedstawicielstwa

Poznań
tel. Kom. 0 601 630 398
fax + 61 872 73 73

Płock
tel. kom. 0 603 783 440
fax + 24 262 02 14

Warszawa
tel. kom. 0 605 282 235
fax. +22 466 22 12

Wrocław
tel. +71 345 00 17
fax +71 345 00 18
tel. Kom. 0 605 282 233

Oferujemy:

Dla energetyki:

- Pełny asortyment osprzętu do budowy linii napowietrznych nn i SN z przewodami izolowanymi m.in. : zaciski przebijające izolację, uchwyty odciągowe i przelotowe, narzędzia i maszyny do budowy linii
- Kable uniwersalne SN przeznaczone do linii napowietrznych
- Mufy i głowice do kabli SN i nn
- Radiowy system sterowania łącznikami SN

Dla budownictwa i przemysłu elektrotechnicznego:

- Elektryczne systemy grzejne
- Osprzęt oświetleniowy
- Niskonapięciowe systemy przyzywowe
- Obudowy systemy CUBO
- Zaciski uniwersalne Al/Cu, rozłączniki nn

Wojciech Pancer
Ensto Pol Sp. z o.o.. ,83-010 Straszyn, ul. Starogardzka 5
Tel .: (058) 6924026 , e-mail: wojciech.pancer@ensto.com

SYSTEMY ZASILANIA ELEKTROENERGETYCZNEGO Z OSPRZĘTEM ENSTO

WSTĘP

Firma ENSTO od ponad 50-ciu lat specjalizuje się w nowych technologiach przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej. Od ponad 10 lat aktywnie uczestniczy we wdrażaniu do powszechnego stosowania w polskiej energetyce systemów linii napowietrznych wykonanych z przewodów izolowanych. W tym celu współpracuje ze Spółkami Dystrybucyjnymi, firmami projektowymi i wykonawczymi.
Osprzęt stosowany do budowy linii izolowanych musi spełniać wysokie wymagania jakościowe i być dostosowany do obowiązującego systemu. Charakterystyczne cechy osprzętu produkowanego przez firmę ENSTO stosowanego do budowy linii , które gwarantują właściwą eksploatację, są następujące :

1. Kontrola momentu dokręcenia zacisków i uchwytów
2. Zabezpieczenie elementów metalowych przed korozją atmosferyczną i elektrochemiczną
3. Zabezpieczenie elementów z tworzywa przed promieniowaniem UV- potwierdzone badaniami
4. Kompatybilność osprzętu elektrycznego i mechanicznego z przewodami obecnymi na rynku polskim – potwierdzone badaniami
5. Certyfikaty jakości według obowiązujących przepisów
6. Konstrukcja zacisków przebijających izolację gwarantująca szczelność połączenia elektrycznego dostosowana do istniejącego systemu, przy uwzględnieniu zjawisk elektrycznych, mechanicznych i atmosferycznych
7. Osprzęt dostosowany jest do prac pod napięciem
8. Kompleksowość oferty na zasadzie stosowania systemu , a nie pojedynczych elementów od różnych dostawców
9. Uniwersalność osprzętu – minimalna ilość typów przy maksymalnych możliwościach elektrycznych i mechanicznych

PRZYCZYNY WPROWADZANIA NOWYCH TECHNOLOGII ZASILANIA

Głównym powodem poszukiwania optymalnych sposobów zasilania odbiorców energii elektrycznej liniami napowietrznymi są wymagania w zakresie zwiększania bezpieczeństwa i niezawodności. Stosowanie nowych rozwiązań w tym zakresie ułatwia prowadzenie zabiegów eksploatacyjnych:

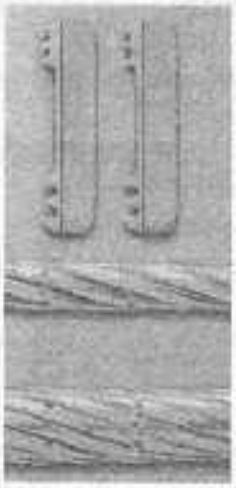
- możliwości prac pod napięciem
- znaczne ograniczenie wycinek lasów
- linie wielonapięciowe i wielotorowe na wspólnych słupach

LINIE NAPOWIETRZNE NISKIEGO NAPIĘCIA

W liniach izolowanych niskiego napięcia dominuje technologia izolowanych przewodów wiązkowych , która generalnie wyróżnia dwa podstawowe systemy:

1. System czteroprzewodowy samonośny w którym cztery jednakowe izolowane żyły skręcone w wiązkę wykonane są z aluminium stopowego o dużej wytrzymałości na rozciąganie. System jest samonośny ponieważ każda z żył przenosi obciążenia mechaniczne.
2. System z linką nośną w którym żyły fazowe wykonane z aluminium skręcone są w wiązkę z jedną linką nośną (izolowaną lub gołą) wykonaną ze stopu aluminiowego. Żyła nośna wykorzystana jest także jako żyła neutralna i tylko ona przenosi obciążenia mechaniczne.

Potrzeba unifikacji i ograniczenia ilości typów stosowanego osprzętu powoduje konieczność wyboru systemu najlepiej dostosowanego do warunków krajowych. Wybór konkretnego systemu jest wynikiem szerokiej analizy technicznej specjalistów eksploatujących linie elektroenergetyczne, głównie ze spółek dystrybucyjnych. System czteroprzewodowy samonośny wybrany został w Polsce dla napowietrznych linii izolowanych niskiego napięcia. Oprócz Polski stosowany jest on w jest w takich krajach jak: Austria, Czechy, Hiszpania, Niemcy, Norwegia, Portugalia, Słowacja, Szwecja, Ukraina, Wielka Brytania. Ma on tę zaletę nad systemem z linką nośną , że w tym drugim systemie przewód nośny jest najbardziej narażony na zerwanie ,a jest on jednocześnie przewodem neutralnym. Powoduje to zagrożenie wzrostu napięć fazowych i utratę ochrony przeciwporażeniowej.

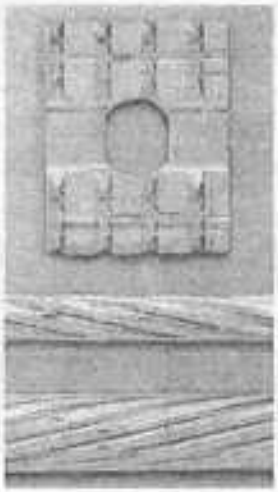


Rys. 1. Konstrukcja nożowa zacisków przebijających izolację stosowana w systemach z linką nośną.

Stosowany w Polsce system czteroprzewodowy samonośny narzuca standardy w zakresie stosowania osprzętu dostosowanego do tego systemu. Zastosowanie zacisku niedostosowanego do systemu może spowodować awarie ,ponieważ normy dla systemów z linką nośną są mniej wymagające. We Francji gdzie obowiązuje system z linką nośną.; norma francuska NFC przewiduje 200 cykli badań zacisku i osłabienie do wartości 50 % wytrzymałości mechanicznej przewodów fazowych . Natomiast wszystkie normy dla systemu czteroprzewodowego przewidują 1000 cykli badań dla każdego zacisku oraz zachowanie 90 % wytrzymałości przewodu:

KRAJ	STANDARD	ILOŚĆ CYKLI
Niemcy	VDE	1000
Austria	ÖVE	1000
W. Brytania	EATS	1000
Szwecja	SEN	1000
Finlandia	SFS	1000
IEC	IEC 61238	1000

Zgodnie z zaleceniami Europejskiego Komitetu ds. Standaryzacji CENELEC - grupa nr 20, zajmującego się standaryzacją również w dziedzinie energetyki, w systemie czteroprzewodowym samonośnym powinny być stosowane zaciski płytkowe, o konstrukcji rozłożonych igiełek przebijających izolację na płaskiej płytce. Zapewniają one właściwy zestyk i nie powodują mechanicznego osłabienia przewodów. Wypełniając zalecenia Komisji CENELEC firma ENSTO oferuje w Polsce właśnie takie rozwiązanie konstrukcyjne.



Rys. 2. Płytkowy element zacisku przebijającego izolację do system czteroprzewodowego

Osprzęt musi być przebadany zgodnie z aktualną normą polską ,lub zagraniczną (jeżeli jest brak polskich norm) obowiązującą dla systemu czteroprzewodowego . Należy bowiem pamiętać ,że konstrukcja osprzętu przeznaczonego dla każdego systemu jest inna , również inne są wymagania w zakresie standardów i badań laboratoryjnych. Badania zacisków muszą obejmować sprawdzenie parametrów elektrycznych i mechanicznych m.in.:

* prądowy test cyklicznego grzania zacisku, 1000 cykli
* test wytrzymałości mechanicznej

zacisku min. 90% wytrzymałości fabrycznej przewodu

-wytrzymałość na rozciąganie przewodu po zamontowaniu

* test odporności na promieniowanie UV - 8 tygodni, zgodnie z IEC 60068-2-5
* test wytrzymałości dielektrycznej 4kV/1min.
* test jakości przebicia izolacji w temperaturze -20^0 C .

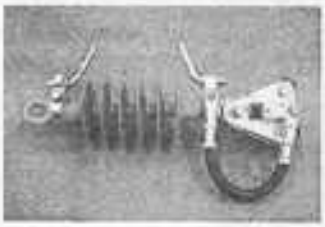
Rys. 3.Zacisk odgałęźny przebijający izolację typu SLIP 22.1 z pokazanymi elementami stykowymi

W ciągu ostatnich 11 lat aktywności firmy ENSTO w Polsce zostało zainstalowanych ponad 3 500 000 zacisków płytkowych dostosowanych do systemu czteroprzewodowego i do dzisiaj pracują one niezawodnie.
Zaciski te spełniają wymagania wielu norm narodowych oraz uzyskały dopuszczenie do stosowania w Energetyce wydane przez ENERGOPOMIER Gliwice. Spełniają również wymagania zaleceń wspomnianej tu Komisji CENELEC nr 20 i dokumentu dla przewodów HD626.

LINIE NAPOWIETRZNE ŚREDNIEGO NAPIĘCIA

W liniach linii średnich napięć z przewodami w izolacji generalnie stosowane są dwa rozwiązania:

1. Przewody w osłonie izolacyjnej (system PAS)
   są to samonośne przewody wykonane z aluminium stopowego ,które mają tylko osłonę izolacyjną o grubości 2-3mm, co nie stanowi pełnego zabezpieczenia elektrycznego. Muszą one być układane na izolatorach i posiadać ochronę przed skutkami palenia się łuku elektrycznego spowodowanego przepięciami atmosferycznymi. Ze względu na tę ochronę przewody mogą być nieosłonięte izolacją w punktach zamontowania układów ochrony przeciwłukowej.



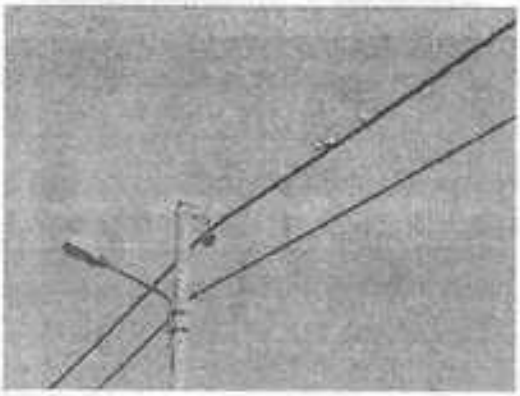
Rys.4. Układ ochrony przeciwłukowej SDI 27 z uchwytem przelotowo-narożnym SO 181.5 oraz z uchwytem odciągowym krańcowym SO 235

System PAS znalazł w Polsce bardzo szerokie zastosowanie w liniach elektroenergetycznych magistralnych i prowadzonych w terenach leśnych , ponieważ ta technologia , w porównaniu z linią nieizolowaną, umożliwia zdecydowane zmniejszenie ilości wyłączeń linii spod napięcia przy stosunkowo niewiele wyższym koszcie inwestycyjnym.

2. Przewody w pełnej izolacji
   posiadają pełną izolację tak jak kabel ziemny i musza być tak skonstruowane, aby mogły być zawieszane na słupach energetycznych. Aktualnie stosowane rozwiązania to: kabel wiązkowy z linką nośną (o handlowej nazwie SAXKA) oraz samonośny trójżyłowy kabel uniwersalny umożliwiający prowadzenie na słupach i w ziemi (typu EXCEL i AXCES).

Rys.5. Kabel uniwersalny 15 kV typu EXCEL 3x10/10

Kable uniwersalne są najbardziej przydatne w terenie zabudowanym. Zastosowanie tych kabli pozwala projektantom na swobodę w planowaniu linii elektroenergetycznych, zarówno przy realizacji nowych linii jak przy modernizacji już istniejących.



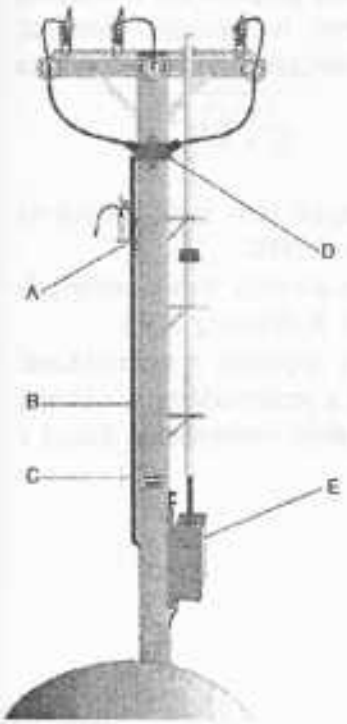
Rys. 6. Linia dwunapięciowa : kabel15 kV typu EXCEL z przewodem izolowanym niskiego napięcia zamontowane na wspólnym słupie

Kable uniwersalne stosowane są również z powodzeniem w liniach zasilającychj odległych „małych" odbiorców w trudnym terenie, wymagających bardzo dużej pewności zasilania. .Coraz częściej wykorzystywane są też dla eliminowania problemów spadku napięcia i zwiększenia mocy przesyłowej poprzez przeprojektowywanie linii niskiego napięcia i wykorzystania istniejących słupów w celu prowadzenia linii dwunapięciowych..

RADIOWY SYSTEM AUTOMATYKI ŁĄCZENIOWEJ

Pewność zasilania w energię elektryczną gwarantowana jest poprzez właściwy wybór systemu linii napowietrznej oraz techniczne możliwości ruchowe :łączeniowe i komunikacyjne. Dlatego też firma ENSTO rozszerzyła swoją ofertę techniczno-handlową o system automatyki łączeniowej typu RADIUS.

System ten opiera się na cyfrowej łączności radiowej centrali (dyspozytora) z elementami wykonawczymi sieci elektroenergetycznej(napędy łączników) .Umożliwia on zdalne sterowanie i kontrolę stanu sieci oraz automatyczne sekcjonowanie odcinków uszkodzonych. System RADIUS dostosowany jest również do współpracy z istniejącym systemem trankingowym.



Rys.7.Elementy układu sterowania łącznikami linii SN

Pozycja	*Element*
A	*Antena ze wspornikiem*
B	*Kabel antenowy*
C	*Kabel z przekładnika napięciowego*
D	*Przekładnik napięciowy*
E	*Napęd -urządzenie NetMan-G*

Istotnym elementem gwarantującym prawidłowe działanie jest zastosowanie napędów pneumatycznych.

Rys. 8. Napęd NetMan-G . Panel radiowy oraz element wykonawczy: siłownik i butla gazowa umieszczone są w szafce z blachy nierdzewnej

WNIOSKI

1. Wszystkie systemy w zakresie przesyłu energii liniami napowietrznymi wymagały opracowania technologii umożliwiającej poprawną prace systemu i jego kontrolę w fazie projektowania, budowy i eksploatacji.
2. Wymóg jakościowy w poszczególnych fazach wprowadzania i realizacji systemu związanego z przesyłem energii elektrycznej jest elementem decydującym przy zastosowaniu technologii izolowanych linii napowietrznych.
3. Podstawowy cel poprawy jakości w zakresie przesyłu energii elektrycznej poprzez wdrażanie nowych systemów związanych z technologią linii izolowanych wymaga stosowania osprzętu zgodnego z wymaganiami standaryzacyjnymi i potwierdzonymi badaniami laboratoryjnymi.
4. Gwarantowana jakość konieczna jest również w fazie projektowania i wykonawstwa elektroenergetycznych linii izolowanych. Standaryzację jakościową w tym zakresie ułatwiają katalogi typizacyjne opracowanie przez renomowane firmy projektowe. Naturalną procedurą wymaganą przez inwestorów przy wprowadzaniu nowej technologii jest też obowiązek przeszkolenia firm wykonawczych odnośnie sposobu montażu linii i stosowania specjalistycznych narzędzi.

LITERATURA:

1. Aleksandra Rakowska, Andrzej Grzybowski: Rozwój napowietrznych linii izolowanych w Polsce. Techniczny Biuletyn Informacyjny 13/2002 . Elprojekt Poznań 2002
2. Tuomas Antikainen: Normy Unii Europejskiej dotyczące osprzętu do linii napowietrznych nn z przewodami izolowanymi – stan aktualny. II Konf. Nauk.-Tech. Kołobrzeg 2003
3. Albumy ENSTO 2003: Osprzęt do linii napowietrznych niskiego napięcia z przewodami izolowanymi.; Osprzęt do linii napowietrznych średniego napięcia z przewodami w osłonie izolacyjnej PAS; System linii izolowanych średniego napięcia- kable uniwersalne Excel i Axces; System NetMan

GENERIK

Energetyka

GENERIK

SICAME

50%

50%

GENERIK

Energetyka

GENERIK
Energetyka

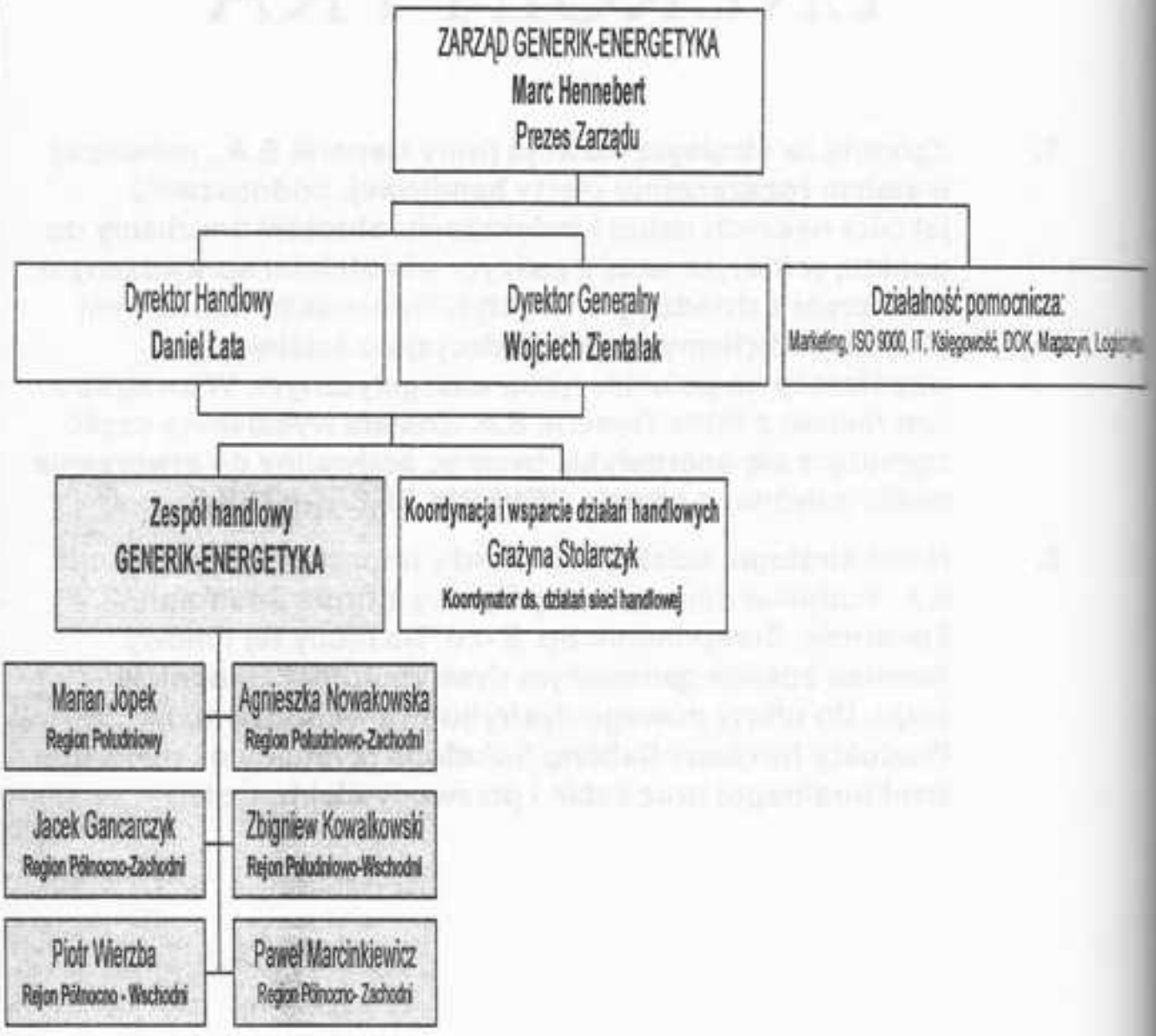
GENERIK ENERGETYKA

1. **Zgodnie ze strategią rozwoju firmy Generik S.A., mówiącej o stałym rozszerzeniu oferty handlowej, podnoszeniu jakości naszych usług i zwiększeniu obrotów doszliśmy do punktu, w którym wraz z naszym wielotelnim sprawdzonym partnerem z dziedziny energetyki-francuskim koncernem Sicame podjęlismy wspólnie decyzję o ściślejszej współpracy na polskim rynku energetycznym. W związku z tym faktem z firmy Generik S.A. Została wydzielona część zajmująca się energetyką, tworząc podwaliny do stworzenia spółki zależnej o nazwie GENERIK ENERGETYKA.**

2. **Nowa strategia działania w branży informatycznej: Generik S.A. Podpisał umowę o współpracy z firmą Assmann Electronic Components Sp. Z o.o. Na mocy tej umowy Assman zostaje generalnym dystrybutorem Generik w kraju. Do oferty nowego dystrybutora wchodzą m. in. Produkty Nexsans Cabling Solutions (systemy okablowania strukturalnego) oraz kable i przewody elektryczne.**

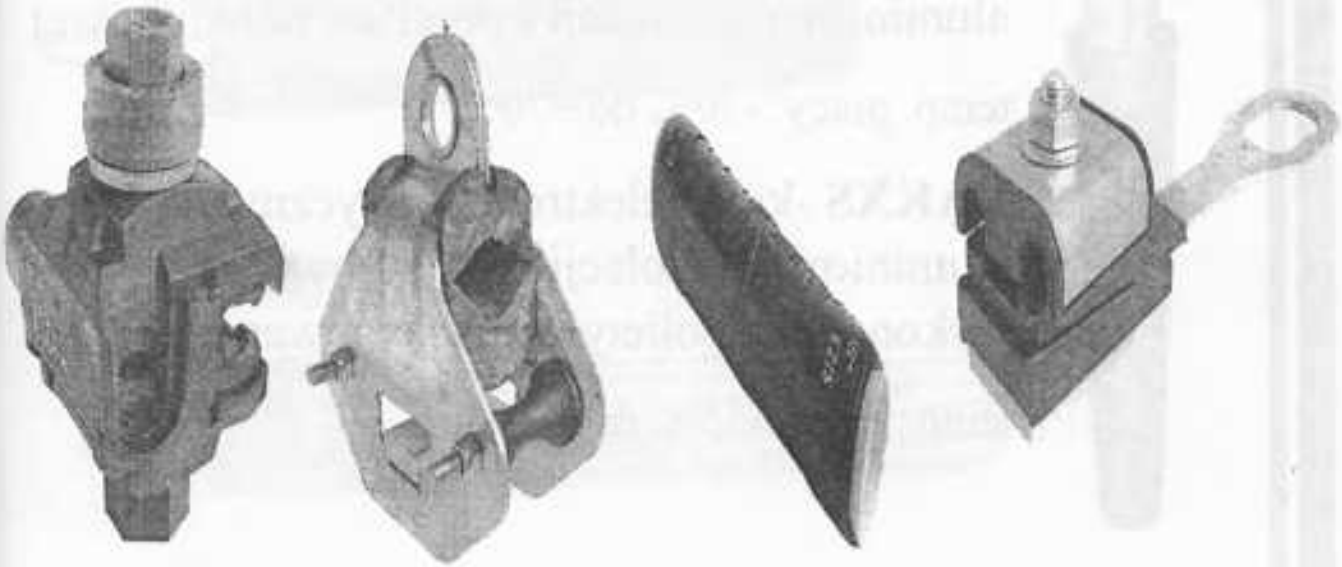
GENERIK-ENERGETYKA

Struktura firmy

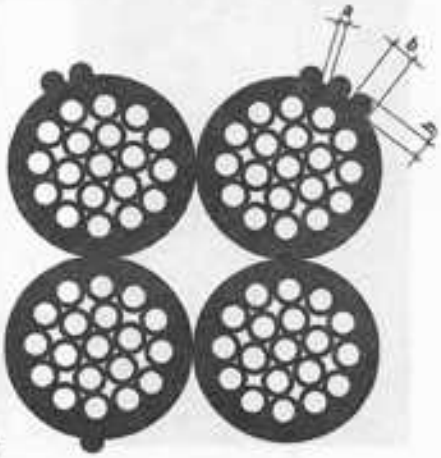


Oferta Generik Energetyka

1.Kompleksowa oferta do linii izolowanych



2. Przewody izolowane do linii nn.



a: <=1mm
b: ~ 1mm
h: <=0,5mm

PRAKAB

GENERIK Energetyka

Kable nn YAKY i YAKXS PRAKAB

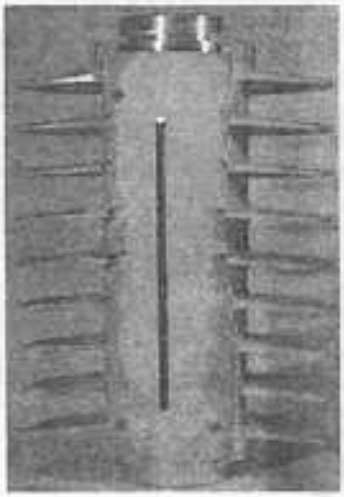
YAKY-kabel elektroenergetyczny aluminiowy o izolacji i powłoce polwinitowej

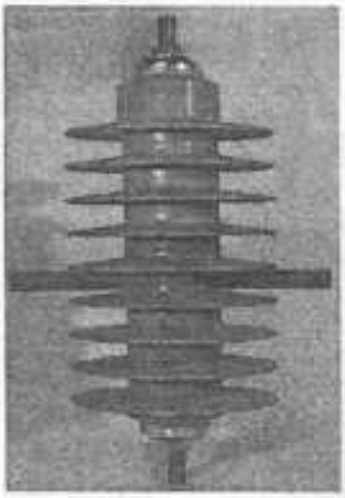
temp. pracy: -30°C do +70°C

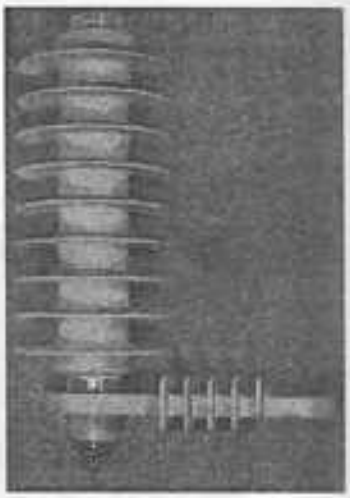
YAKXS -kabel elektroenergetyczny aluminiowy o izolacji polwinitowej i powłoce wykonanej z polietylenu usieciowanego

temp. pracy: -15°C do +90°C

Ograniczniki przepięć SN (AZB) DERVASIL







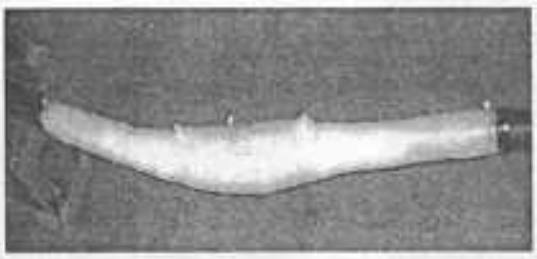
PRAKAB

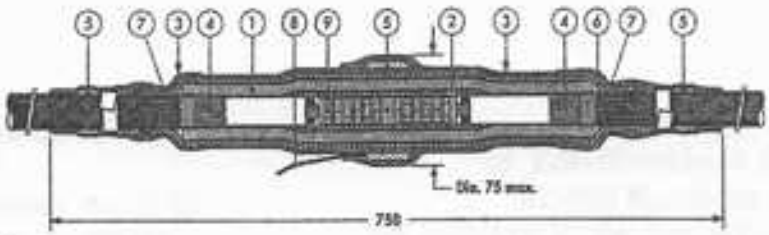
GENERIK Energetyka

Przewody PAS (25 ADX-K)

Przewody GOŁE

Osprzęt do kabli SN





Euromold
a Nexans company

LIDER POŁĄCZEŃ W ENERGETYCE

- √ głowice konektorowe do 36 kV
- √ przepusty do 36 kV
- √ głowice zimnokurczliwe do 36 kV
- √ mufy zimnokurczliwe do 36 kV
- √ ograniczniki przepięć

GPH
ul. Żółkiewskiego 22
47-400 Racibórz
tel. 032/414 97 34 fax. 032/418 22 48
http://www.gph.pl, e-mail: info@gph.pl

Akcesoria dodatkowe do głowic konektorowych Interfejsu 250 A produkcji EUROMOLD

Po raz pierwszy głowice konektorowe zostały wyprodukowane w latach 50 XX wieku przez amerykańską firmę ELASTIMOD. Dziesięć lat później firma ta zaistniała w Europie otwierając swój oddział, który po usamodzielnieniu się przyjął nazwę EUROMOLD. W chwili obecnej jest on liderem na rynku europejskim pod względem produkcji głowic konektorowych oraz osprzętu dodatkowego związanego z ich eksploatacją.

EUROMOLD jest producentem głowic konektorowych interfejsów 250 A (typ A), 400 A (typ B), 630 A (typ C) , 800 A (typ E) oraz 1250 A (typ D i E) na napięcia do 36 kV (patrz tabela 1). W tym artykule pragnę skupić się na głowicach konektorowych interfejsu 250 A oraz przybliżyć Państwu osprzęt dodatkowy mniej znany, ale równie konieczny. Najczęściej stosowanym osprzętem konektorowym są głowice: kątowa (K)158LR (patrz rys.1) oraz prosta (K)152SR (patrz rys. 2).

Rys. 1. Głowica konektorowa kątowa K158LR

Każda głowica składa się z korpusu głowicy, adaptera ekranu 11TL, końcówki kablowej i bolca kontaktowego (w przypadku głowicy prostej jest to jeden element) oraz strzemiączka dociskowego.

Rys. 2. Głowica konektorowe prosta K152SR

Głowice konektorowe interfejsu 250 A produkowane są na napięcie do 24 kV i mogą być stosowane na kablach o izolacji z tworzyw sztucznych o przekrojach od 10 do 120 mm^2. Podczas doboru głowic konektorowych musimy znać przekrój i rodzaj materiału, z którego wykonano żyłę roboczą kabla oraz przekrój izolacji żyły roboczej kabla.

Dla zastosowania głowic konektorowych konieczne jest posiadanie urządzenia elektrycznego takiego jak transformator lub rozdzielnic średniego napięcia, wyposażonego w przepust izolatorowy interfejsu 250A. W ofercie firmy EUROMOLD dla interfejsu 250 A znajdują się przepusty (K)180AR o trzech długościach sworznia wewnętrznego do stosowania w transformatorach olejowych (patrz rys. 3), przepusty 180A-24P-O do stosowania w transformatorach suchych i żywicznych, oraz przepusty do stosowania w rozdzielnicach o izolacji z SF_6.

Rys. 3. Przepust transformatorowy olejowy K180AR-1

Przepusty te wykonane są ze sworznia przewodzącego z jednej strony wyposażonego w gwint M10 a z drugiej w styk lamelkowy, oblanego żywicą epoksydową. Wewnątrz znajduje się centrycznie umieszczona siatka do sterowania polem elektrycznym wokół sworznia z wyprowadzonymi na zewnątrz zaciskami uziemiającymi. Każdy przepust wyposażony jest w zaczepy do zamocowania strzemiączka oraz przewód uziemiający. Przepusty mogą być dostarczane z uszczelką, bez mocowań lub z mocowaniami dla różnych standardów zamocowań funkcjonujących na rynku europejskim.

W przypadku konieczności pozostawienia przepustu lub głowicy w stanie odłączonym np. do celów wykonania prób napięciowych urządzenia lub kabla, należy je zaizolować za pomocą odpowiednich elementów izolacyjnych. W celu odizolowania przepustu należy użyć zatyczki izolacyjnej K150DR (patrz rys. 4). Zatyczka ta osłania przepust lub zewnętrzny interfejs (posiadany przez niektóre akcesoria dodatkowe) przed szkodliwym oddziaływaniem na niego pola elektrycznego. Zatyczka izolacyjna K150DR wyposażona jest w przewód uziemiający i do jej mocowania konieczne jest dobranie odpowiedniego strzemiączka mocującego.

Rys. 4. Zatyczka izolacyjna K150DR

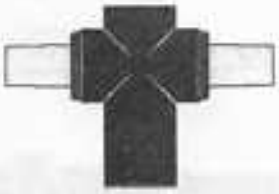
W przypadku odłączenia od przepustu głowicy konektorowej istnieje możliwość jej odizolowania za pomocą zaślepki izolacyjnej K150DP lub K151SOP (wyposażonej w element umożliwiający jej zawieszenie, patrz rys. 5), a także uziemienie kabla zakończonego głowicą za pomocą zaślepki uziemiającej 250GP (patrz rys. 6).

Rys. 5 Zatyczka izolacyjna K151SOP

Podobnie jak w przypadku zatyczki izolacyjnej K150DR konieczne jest zastosowanie odpowiedniego strzemiączka mocującego.

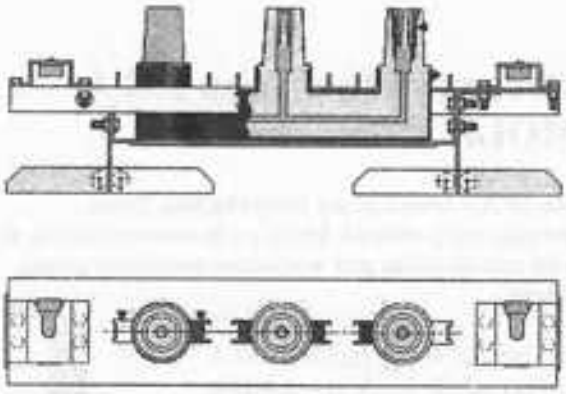
Rys. 6. Zaślepka uziemiająca 250GP

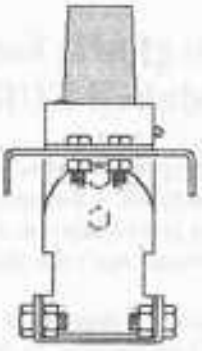
W celu użycia na jednym przepuście dwóch głowic konektorowych należy zastosować złącze dwugniazdowe typu T K200T (patrz rys. 7).



Rys. 7. Złącze dwugniazdowe typu T K200T

W przypadku gdy chcemy połączyć z sobą trzy głowice należy zastosować złącze trójgniazdowe typu X o symbolu K200X (do stosowania na przepuście) lub złącze liniowe trójpunktowe K1501J3-U-8 (patrz rys. 8). Złącze to wyposażone jest w uchwyty do zamocowania na ścianie oraz dodatkowe wieszaki od zawieszenia zaślepki izolacyjnej K151SOP i uziemiającej 250GP.





Rys. 8. Złącze liniowe trójpunktowe K1501J3-U-8

Rodzina akcesoriów interfejsu 250 A oprócz wyżej wymienionych elementów to również warystorowe ograniczniki przepięć K156SA, złącze redukcyjne dwugniazdowe K400RTPA oraz stały wskaźnik napięcia PVI 1A

Ogranicznik przepięć K156SA (patrz rys. 9)

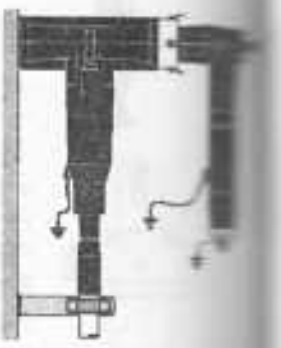
to pakiet połączonych z sobą warystorów wewnątrz korpusu wykonanego z gumy epoksydowej, służący do ochrony urządzeń elektroenergetycznych przed przepięciami występującymi w sieci. Ogranicznik należy dobrać do poziomu napięcia znamionowego urządzenia.

Rys. 9. Ogranicznik przepięć K156SA

Złącze redukcyjne dwugniazdowe K400RTPA (patrz rys. 10) służy do połączenia głowic konektorowych i ograniczników przepięć interfejsu 250 A z głowicami interfejsu 400 i 630 A. Rys. 11 przedstawia przykładowe połączenie głowicy konektorowej K400TB z ogranicznikiem przepięć K156SA za pomocą złącza k400RTPA.

Rys. 10. Złącze redukcyjne dwugniazdowe K400RTPA

Każda głowica konektorowa interfejsu 250 A wyposażona jest w pojemnościowy dzielnik napięcia w czasie pracy osłonięty kapturkiem.

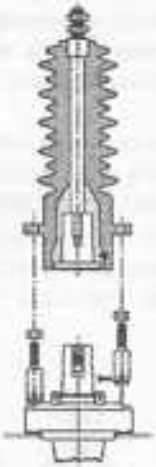


Rys. 11. Przykładowe zastosowania złącza redukcyjnego dwugniazdowego K400RTPA

Wskaźnik ten umożliwia sprawdzenie za pomocą próbnika napięcia przez osoby zajmujące się eksploatacją czy dane pole (urządzenia) znajduje się pod napięciem. Istnieje możliwość zamontowania na dzielniku napięcia stałego wskaźnika PVI 1A (patrz rys. 12), w którym dioda wskazuje obecność napięcia.

Rys. 12. Stały wskaźnik napięcia PVI 1A

W interfejsie 250 A poza głowicami konektorowymi umożliwiającymi podłączenie do urządzenia kabli istnieje również możliwość podłączenia nieizolowanych przewodów linii napowietrznej za pomocą izolatora wtykowego PITO-E. Jest to element o budowie zbliżonej do przepustu powietrznego 180A-24P-O lecz posiadający odwrotny interfejs i wykonany z epoksydu. Jest on mocowany za pomocą specjalnych śrub (patrz rys. 13).

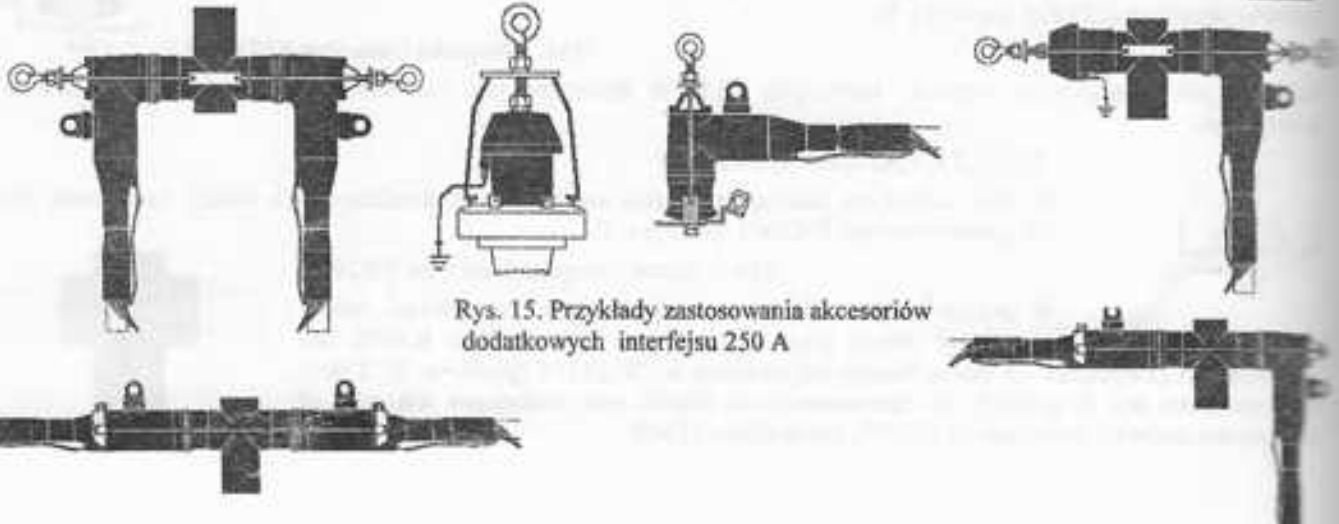


Rys. 13. Sposób mocowania izolatora wtykowego PITO-E do przepustu

Rys. 14. Głowica pomiarowa TR151-4EM

Wśród akcesoriów interfejsu 250 A poza elementami służącymi do łączenia i ochrony kabli znajduje się także element TR151-4EM (patrz rys. 14) służący do podłączania aparatury pomiarowej do urządzeń takich jak transformatory, rozdzielnie, w celu wykonania prób napięciowych.

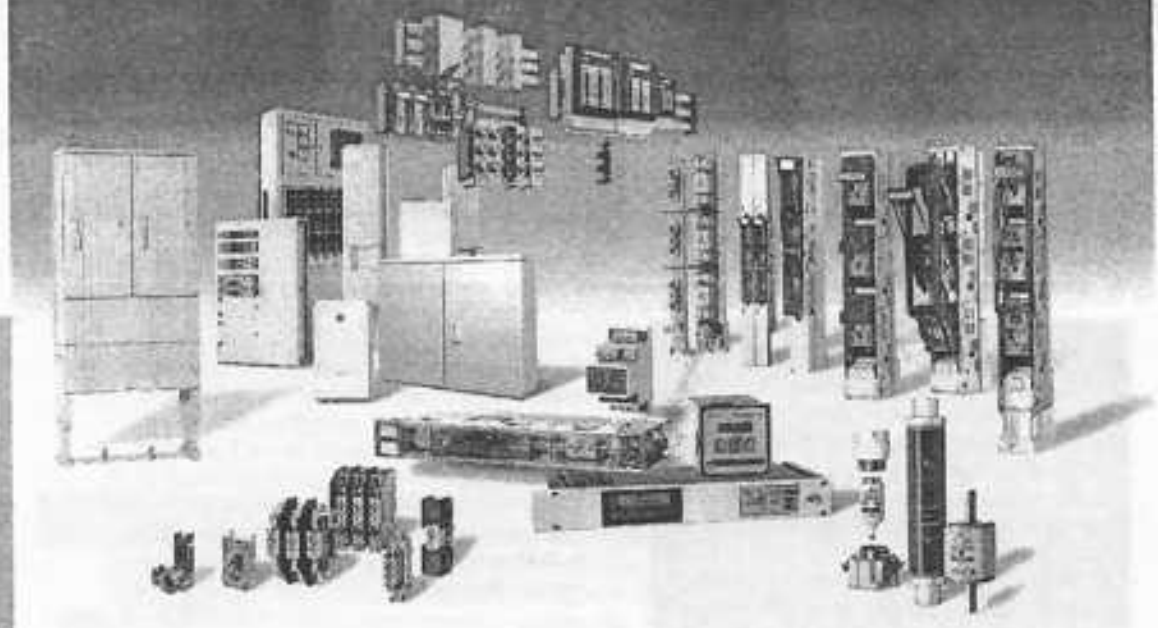
Poniższe rysunki przedstawiają kilka z wielu możliwości połączeń akcesoriów dodatkowych interfejsu 250 A z głowicami konektorowymi i między sobą



Rys. 15. Przykłady zastosowania akcesoriów dodatkowych interfejsu 250 A

JEAN MUELLER POLSKA

Oferta handlowa



JEAN MULLER

Profil firmy

Firma JEAN MÜLLER GMBH została założona w Eltville nad Renem w 1897 roku przez Jeana Müllera, który podczas prac związanych z oświetleniem wieży Eiffla w Paryżu z okazji Wystawy Światowej, wpadł na pomysł ulepszenia istniejących wówczas bezpieczników elektrycznych i podjęcia ich produkcji.

Początkowo firma prowadziła działalność głównie w Niemczech, Austrii, Szwajcarii, Danii i Luksemburgu, współpracując z kilkuset zakładami energetycznymi.

W 1995 r., gdy prezesem został dr inż. Bernd Muller z kolejnej generacji właścicieli, rozpoczęła ona ekspansję zagraniczną, m. in. w Polsce. Ten, kto prowadzi eksport produktów wysokiej jakości na cały świat, musi posiadać duże doświadczenie i znajomość specyficznych wymagań danego kraju w odniesieniu do wszystkich zastosowań, zarówno w publicznym i przemysłowym zasilaniu energią, jak i w technice przyłączy domowych i zasilaniu budynków. Dlatego produkty z Eltville spełniają wszelkie wymagania międzynarodowych standardów IEC. Naturalnie przedstawiciele firmy współpracują także z odpowiednimi gremiami normalizacyjnymi.

Siedziba firmy JEAN MÜLLER GMBH w Eltville nad Renem.

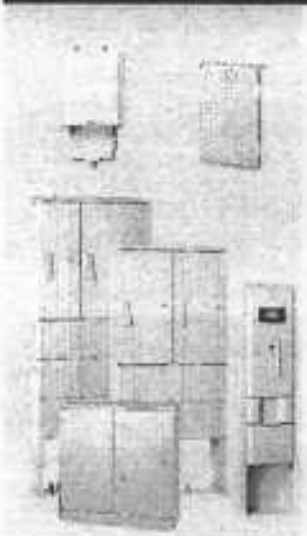
JEAN MULLER

Obecnie JEAN MÜLLER GMBH jest największym niemieckim producentem zarówno szafek poliestrowych (produkuje je od 35 lat), jak też listw i rozłączników bezpiecznikowych oraz zacisków kablowych ze stalową ramką. Firma należy też do największych w Niemczech dostawców rozdzielnic niskiego napięcia do stacji transformatorowych. Sprzedaje ona swoje produkty w ponad 50 krajach świata, w wielu krajach ma swoje przedstawicielstwa. Produkty te w olbrzymiej większości powstają w zakładach w Niemczech przy zastosowaniu innowacyjnego know-how, będącego efektem przeszło 100-letnich doświadczeń. Produkcja jest w wysokim stopniu zautomatyzowana i zrobotyzowana, co oznacza najwyższą jakość oferowanych wyrobów i konkurencyjne ceny. Priorytetem firmy jest zapewnienienie maksymalnego bezpieczeństwa zarówno użytkownikom, jak też personelowi mającemu styczność z tymi urządzeniami. Oferowane produkty i rozwiązania standardowo dostosowane są do obsługi pod napięciem.

W 2001 r. rozpoczęła działalność firma JEAN MUELLER POLSKA Sp. z o.o., z siedzibą w Kiełpinie pod Warszawą. Koncentruje się ona na współpracy z firmami działającymi na rzecz energetyki zawodowej, jak też z producentami rozdzielnic nn i urządzeń sterowniczych oraz firmi zajmującymi się instalacjami w budynkach. Sprzedaż prowadzona jest głównie z własnego magazynu w Polsce. Specjalne wykonania sprowadzane są w krótkim czasie bezpośrednio z Niemiec.

Siedziba firmy JEAN MUELLER POLSKA w Kiełpinie.

Szafki i skrzynki z poliestru

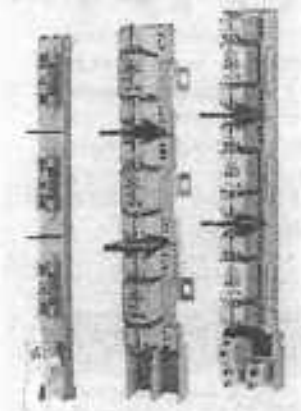


Szafki wykonane są z samogasnącego poliestru wzmacnianego włóknem szklanym, odpornego na działania atmosferyczne (zakłada się okres użytkowania ok. 50 lat), w kolorze szarym RAL7035. Oferta obejmuje kilka grup szafek:

KVS/222 — szafki z cokołem o głębokości 222 mm, w wykonaniu jednodrzwiowym o szerokościach 260, 360 i 460 mm oraz szafki dwudrzwiowe w 3 wariantach o szerokości 720 mm. KVS-10 — szafki o wysokości 860 mm i głębokości 320 mm (cokół oferowany oddzielnie), w wykonaniu jednodrzwiowym o szerokości 460 i 600 mm, w wykonaniu dwudrzwiowym 790 i 1120 mm. Szafki NKVS o wysokości 850 i 1100 mm, głębokości 320 mm i szerokości od 590 mm do 1445 mm (IP44 i IP54), jak też szafki typu HAS, EURO-HAS, EHF i EHFC o różnych zastosowaniach w energetyce, telekomunikacji i automatyce. Ponadto w ofercie są różne skrzynki z poliestru, głównie dostosowane do montażu bezpieczników topikowych, jak też cokoły o dwóch wysokościach oraz szeroki wybór osprzętu.

Szafki oferowane są w częściach w opakowaniach indywidualnych lub zbiorowych do samodzielnego montażu przez klientów.

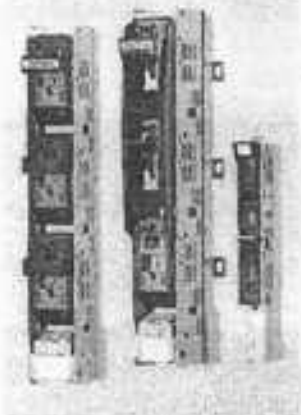
Listwy bezpiecznikowe



Listwy typu L wykonane są z samogasnącego poliestru wzmacnianego włóknem szklanym, mają specjalne srebrzone kontakty DELTA oraz różnego typu przyłącza. Wszystkie części przewodzące prąd są chronione przed przypadkowym dotknięciem.

Listwy dla wkładek do 160A mają szerokość 50 mm i są dostosowane do szyn o rozstawie 100 i 185 mm (do montażu stosuje się zwykle dodatkowo adapter), natomiast listwy dostosowane do prądów większych (250, 400, 630 i 1000A) mają szerokość 100 mm i są dostosowane do szyn o rozstawie 185 mm. W ofercie znajdują się wykonania z zaciskami pryzmowymi, śrubą dostosowaną do końcówek kablowych oraz z zaciskami ramkowymi typu V — zaciski te umożliwiają podłączania kabli od 10 do 300 mm2. Przyłącza mogą być osłonięte oddzielnie lub wspólnie jedną pokrywą. Firma oferuje również listwy do łączenia dwóch systemów szyn zbiorczych.

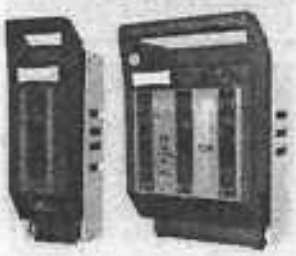
Listwowe rozłączniki bezpiecznikowe



Rozłączniki typu SL składają się z listwy bezpiecznikowej oraz pokrywy umożliwiającej pojedyncze lub jednoczesne rozłączanie trzech faz. Podobnie jak listwy, rozłączniki dla wkładek do 160A mają szerokość 50 mm i są dostosowane do szyn o rozstawie 100 i 185 mm (do montażu stosuje się zwykle dodatkowo adapter), natomiast rozłączniki dostosowane do prądów większych (250, 400, 630, 910A z bezpiecznikami i 1250A ze zworami) mają szerokość 100 mm i są stosowane do szyn o rozstawie 185 mm. Specjalnym wykonaniem są podwójne rozłączniki, które są dostosowane do prądów 1250A z wkładkami bezp. i 1600A ze zworami. W ofercie znajdują się wykonania z zaciskami pryzmowymi, śrubą dostosowaną do podłączania kabli oraz zaciskami ramkowymi typu V — dla kabli od 10 do 300 mm². Firma oferuje również rozłączniki do łączenia dwóch systemów szyn zbiorczych.

Rozłączniki SL spełniają wszystkie wymogi zakładów energetycznych i przemysłu odnośnie parametrów technicznych i są stosowane w przemysłowych szafach rozdzielczych nn, rozdzielnicach nn w stacjach transformatorowych i szafkach kablowo-rozdzielczych.

Rozłączniki pokrywowe

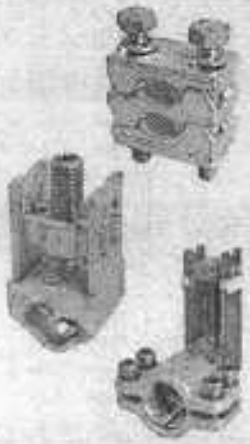


W ofercie znajduje się szeroki program rozłączników typu LTL o pięciu wielkościach — dla wkładek do 160, 250, 400, 630 i 1600A. Rozłączniki dostosowane są do montażu na płytach montażowych i szynach o różnych rozstawach, w wykonaniach pozwalających rozłączać 1, 2, 3 i 4 (3+1) fazy. Największe rozłączniki typu 4a (1250 i 1600A) dają ponadto możliwość rozłączania trzech faz jednocześnie lub oddzielnie. Istnieją wykonania z zaciskami pryzmowymi, śrubą dostosowaną do końcówek kablowych oraz dla typu 4a z zaciskami ramkowymi — zaciski te umożliwiają podłączania kabli i szyn o różnych przekrojach. Rozłączniki w stanie zamkniętym zapewniają stopień ochrony IP20.

Ponadto w ofercie znajduje się wiele dodatkowych akcesorii, jak kontrola załączenia, elektroniczna lub mechaniczna kontrola stanu bezpieczników, osłony itp.

Rozłączniki pokrywowe stosuje się przede wszystkim w złączach pomiarowych i rozdzielnicach przemysłowych.

Zaciski kablowe i transformatorowe



Oferta firmy zawiera bardzo szeroki asortyment zacisków, m. in.:

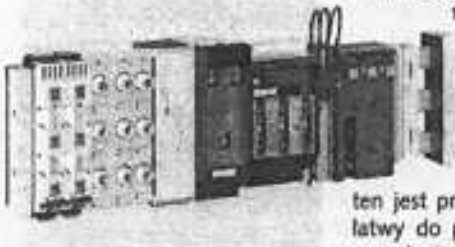
- zaciski ramkowe (stalowa ramka umożliwia zaciskanie siłą 20-60 Nm) dla 1 do 3 przewodów o średnicy kabli do 300 mm² lub 4 przewodów do 240 mm²
- zaciski ramkowe typu V dla przewodów od 25 do 300 mm²
- zaciski ramkowe z nakładką do szyn zbiorczych dla przewodów do 300 mm²
- zaciski pryzmowe dla 1 przewodu do 300 mm² i 2 przewodów do 185 mm²
- zaciski obejmowe dla 1 przewodu do 240 mm²
- listwy zaciskowe dla 1 do 5 par połączeń i przewodów do 300 mm²
- zaciski transformatorowe z osłonami dla gwintów od M12 do M48 i 1-4 przewodów o średnicy od 95 do 300 mm² z wyprowadzeniem kabli do góry lub w bok

Zaciski firmy JM spełniają wymagania w zakresie wytrzymałości zwarciowej i mechanicznej, odporności na korozję i zużycie oraz wskazanego przez normy spadku napięcia. Zaciski ze stalową ramką wykazują wiele zalet w stosunku do zacisków aluminiowych.

Rozłączniki SASIL do rozdzielnic przemysłowych

Rozłączniki z bezpiecznikami w formie listwowej SASIL uważane są za najlepsze tego typu urządzenia na świecie. Są one wsuwane dzięki prowadnicom na szyny o grubości 10 mm i o rozstawie 185 mm (istnieją też inne wykonania), do ich obsługi nie trzeba przeszkolenia, występują w kategoriach użytkowych AC22 i AC23. Posiadają mechanizm migowy zapewniający stałą prędkość załączania i rozłączania, mogą być wyposażone w 1 lub 3 przekładniki, analogowy amperomierz, elektroniczną kontrolę stanu załączenia i bezpieczników. Oferowane są w kilku wielkościach dla wkładek 160, 250, 400 i 630A. Ponadto w ofercie znajdują się specjalne wykonania rozłączników takie jak: sprzęgające 2 systemy szyn, podwójne, dla prądu stałego czy też z napędem silnikowym umożliwiającym zdalne sterowanie. Firma oferuje również wiele innych elementów i podzespołów pomocnych przy budowie rozdzielnic.

Rozłączniki pokrywowe



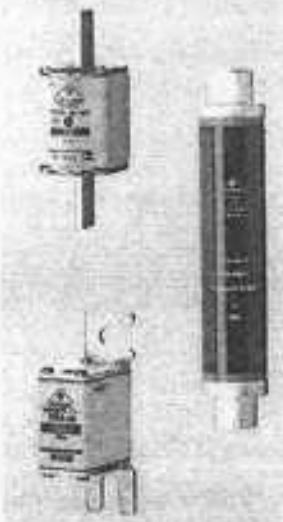
Firma Jean Müller oferuje cały zestaw komponentów i aparatów do rozpowszechnionego w Europie Zachodniej systemu szyn o rozstawie 60 mm stosowanego w szafach rozdzielczych. System ten jest prosty i szybki w montażu, łatwy do projektowania i rozbudowy, dostosowany do prądu 630A, pewny i bezpieczny w użytkowaniu. Do najważniejszych elementów można zaliczyć: nośniki dla 1,3 i 4 szyn miedzianych o szerokości 20 lub 30 mm i grubości 5 lub 10 mm, osłony, różnego typu rozłączniki dla bezpieczników D (do 63A w kategorii użytkowej AC-23) i NH (do 630A w kategorii AC-22), listwy i podstawy bezpiecznikowe, moduły przyłączeniowe dla kabli do 300 mm² oraz przeróżne adaptery umożliwiające montaż innych urządzeń. Wszystkie elementy systemu zapewniają stopień ochrony minimum IP20.

Rozłączniki z bezpiecznikami SASIT i izolacyjne SALIT

SASIT to rozłączniki z bezpiecznikami NH 00-3 od 40 do 630A (w wykonaniach 40, 63, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400 i 630 A) oraz z bezpiecznikami wg British Standard od 40 do 800 A. Dzięki mechanizmowi migowemu można je zaliczyć do kategorii użyt. AC-21, 22 i 23. Umożliwiają one także osiągnięcie wysokich parametrów w zakresie przeciążeń i odporności na zwarcia (100 kA).

Rozłączniki izolacyjne SALIT (wykonania: 40, 63, 125, 160, 200, 250, 400, 630, 1000, 1250, 1600 i 2000 A) dostępne są w dwóch wersjach: normalnej N (40-2000 A) i H o podwyższonych parametrach w zakresie łączenia (125-1000 A). Posiadają one mechanizm migowy do załączania i rozłączania z określoną prędkością, dzięki czemu spełniają wymagania kategorii użytkowych AC-21, 22 i 23.

Bezpieczniki



Firma ma bardzo szeroki program bezpieczników, ale nie prowadzi sprzedaży z magazynu w Polsce (terminy dostaw 2-6 tygodni), w ofercie jest wiele rzadkich i oryginalnych wykonań.

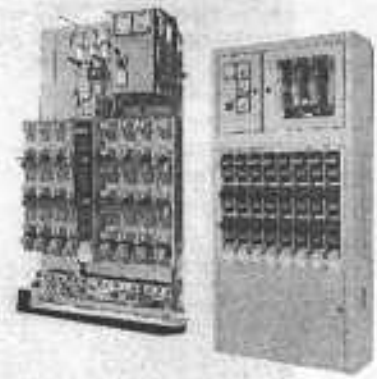
- Bezpieczniki HH dla napięć od 3,6/7,2 kV (10-315A), 12 kV (6-160A), 24 kV (6-100A) i 36 kV (6-40A), także z ochroną termiczną.
- Bezpieczniki NH typu gL/gG dla napięć AC400V (2-630A), AC500V (2-1600A), AC690V (2-1250A), AC1200V (10-630A) ze zwykłymi i izolowanymi zaczepami w różnych wykonaniach:
- Bezpieczniki NH typu aM dla napięć AC500V (2-1250A), AC690V (2-1250A).
- Bezpieczniki NH typu gTr dla napięć AC400V (50-1000kVA) w różnych wykonaniach.
- Bezpieczniki NH typu aR i gR dla napięć 500V (20-1250A), 690V (10-1400A), 800V (250-710A), 900V (315 i 350A), 1000V (32-1250A), 1250V (250-1000A), 1500V (400A) i 2000V (250-710A).
- Specjalne bezpieczniki serwisowe gL/gG i gTr, cylindryczne gL/gG (AC 400, 500, 600 i 690V), cylindryczne gR (AC 600V, 6-100A), D01/D02 (AC400V), NDZ/DII/DIII (AC500V), DIII (AC690V), DIII (AC750V), DIII (AC1200V), zwory.

Urządzenia pomiarowe i kontrolne POWERLIZER

W ofercie znajdują się urządzenia pomiarowe, kontrolne, jak też do zarządzania energią elektryczną w rozdzielnicach nn. Firma oferuje m. in.:

- **PLFuse** — elektroniczną kontrolę stanu bezpieczników dostosowaną do listw i rozłączników.
- **PLMulti** — moduł pomiarowy stosowany głównie w stacjach transformatorowych o 12 lub 18 kanałach (opomiarowanie przez przekładniki niskiego i średniego napięcia), zapis na karcie pamięci.
- **PLView** — wyświetlacz wyników dla nawet 128 urządzeń trójfazowych podpiętych przez moduły PLQuadro.
- **PLPico** — prosty moduł pomiarowy 1 odpływu z wyświetlaczem LCD.
- **PLMaster** — system zarządzania rozdzielnicami nn, współpracujący z nawet 60 urządzeniami trójfazowymi, przekazujący dane do komputerów przez ProfiBus lub Internet.

Zaciski kablowe i transformatorowe



JEAN MÜLLER jest jednym z największych producentów rozdzielnic niskiego napięcia do stacji transformatorowych w Niemczech i ma ich w swojej ofercie kilkadziesiąt typów. Mogą one być oferowana zarówno w formie zmontowanej, jak też części do samodzielnego montażu przez klientów. Są to zarówno rozdzielnice o konstrukcji szyn na płytach montażowych, jak też w formie zabudowanej. Na wejściu zasilającym system szyn stosowane są zwykle rozłączniki pokrywowe LTL-4a (1250 lub 1600A), rozłączniki listwowe SL (910 lub 1250A) lub inne aparaty, a na odpływach listwy lub listwowe rozłączniki bezpiecznikowe, najczęściej 400A.

ZAPRASZAMY DO WSPÓŁPRACY!

JEAN MÜLLER

JEAN MUELLER POLSKA SP. Z O.O.

05-092 Kiełpin, ul. Mokra 41A
tel. 022/751 79 01, 751 79 02, fax 022/751 79 03
e-mail: info@jeanmueller.pl, www.jeanmueller.pl

ZOD

ENERGETYKA POZNAŃSKA
ZAKŁAD OŚWIETLENIA
DROGOWEGO

Spółka z o.o., 60-479 Poznań, ul. Strzeszyńska 58
www.zod.com.pl, zod@zod.com.pl
tel. +48 61 856 17 00, fax: +48 61 856 17 07

Jaśniejsza Wielkopolska

Energetyka Poznańska
Zakład Oświetlenia Drogowego Sp. z o.o.
oferuje usługi w zakresie:

- Projektowania, budowy, eksploatacji i modernizacji systemów oświetleniowych:
  - dróg
  - placów
  - obiektów sportowych
  - iluminacji obiektów zabytkowych
  - iluminacji świątecznych (okolicznościowych)
  - oświetlenia wnętrzowego
  - oświetlenia reklamowego
- Naprawy oświetlenia
- Lokalizacji i naprawy uszkodzeń kablowych
- Usług consultingowych:
  - analiz finansowych inwestycji oraz użytkowania oświetlenia
  - analiz technicznych i doradztwa technicznego
  - specjalistycznych (inżynieryjnych) pomiarów parametrów oświetleniowych
  - zarządzania / administrowania powierzonym majątkiem oświetleniowym
- Pomiarów kontrolnych
- Unowocześniania systemów oświetlenia drogowego
- Wynajmu obiektów energetycznych dla celów reklamowo - informacyjnych

ISO 9001 2001

www.zod.com.pl zod@zod.com.pl

Energetyka Poznańska Zakład Oświetlenia Drogowego Sp. z o.o.
ul. Strzeszyńska 58 60 – 479 Poznań
tel. +48 61 856 17 00; fax +48 61 856 17 07
www.zod.com.pl zod@zod.com.pl

Energetyka Poznańska Zakład Oświetlenia Drogowego Sp. z o.o. jest firmą z wieloletnią tradycją, która profesjonalnym oświetleniem zajmuje się o wielu lat.

Swoim klientom Spółka proponuje następujące usługi:

- Projektowanie i budowa:
  - oświetlenia dróg, ulic, parków
  - oświetlenia obiektów sportowych
  - oświetlenia hal produkcyjnych i magazynowych
  - oświetlenia wnętrzowego (np. sal lekcyjnych, pomieszczeń biurowych)
  - iluminacji obiektów zabytkowych
  - iluminacji świątecznych
  - przyłączy elektroenergetycznych niskiego napięcia do:
    - budynków mieszkalnych i przemysłowych
    - wiat
    - wiatokiosków
    - wolnostojących paneli reklamowych
- Eksploatacja:
  - miejskich systemów oświetlenia drogowego
  - oświetlenia parków, placów, parkingów
  - oświetlenia obiektów sportowych i przemysłowych
  - oświetlenia wiat przystankowych
  - oświetlenia iluminacyjnego

- oświetlenia nośników reklamowych
- oświetlenia wnętrzowego

- Modernizacja i unowocześnienie systemów oświetlenia drogowego
- Usługa oświetlania
- Iluminacja okolicznościowa – wynajem i sprzedaż
- Iluminacja obiektów zabytkowych:
  - zabytkowych kamienic
  - zabytkowych pomników
  - zabytkowych kościołów
  - zabytkowych ratuszy
  - zabytkowych pałacyków, zamków, dworków
- Oświetlenie obiektów sportowych:
  - stadionów piłkarskich
  - stadionów żużlowych
  - boisk sportowych do piłki ręcznej, piłki koszykowej, siatkówki
  - kortów tenisowych
  - hal sportowych i sal gimnastycznych
- Inne usługi:
  - usługi consultingowe:
    - analizy finansowe inwestycji oraz użytkowania oświetlenia
    - analizy techniczne i doradztwo techniczne
    - specjalistyczne (inżynieryjne) pomiary parametrów oświetleniowych
    - zarządzanie / administrowanie powierzonym majątkiem oświetleniowym
  - bieżące – serwisowe naprawy oświetlenia
  - lokalizacja i naprawy uszkodzeń kablowych
  - pomiary natężenia oświetlenia wnętrzowego (biura, sale lekcyjne, hale produkcyjne i inne).

Najbardziej nowatorskim pomysłem w skali kraju, który powstał w Spółce okazał się ***Program unowocześnienia systemów oświetlenia drogowego miast i gmin***, który ZOD realizuje z powodzeniem od kilku lat. Program, dzięki któremu gmina zyskuje nowe energooszczędne i przyjazne dla środowiska oświetlenie bez konieczności angażowania dodatkowych środków pieniężnych z jej strony , spotkał

się z dużym uznaniem przedstawicieli gmin z całej Polski. Znakomite skutki takiego działania, jakimi są znacząca poprawa jakości oświetlenia drogowego jak również ograniczenie zużycia energii elektrycznej, można zaobserwować na terenie miast i gmin w których przedsięwzięcie unowocześnienia oświetlenia drogowego zostało już zrealizowane.

Program unowocześnienia systemów oświetlenia drogowego miast i gmin cieszy się dużym zainteresowaniem oraz zadowoleniem ze strony miast i gmin, w których Spółka zmodernizowała oświetlenie, co potwierdzają otrzymane przez Firmę liczne referencje, a ponadto nagrody dla samych gmin za modernizacje oświetlenia. W 2001r. Urząd Miasta i Gminy w Wyrzysku został Laureatem ogólnopolskiego konkursu na najlepiej oświetloną gminę., w kategorii kompleksowych inwestycji i modernizacji oświetlenia dróg i ulic podczas konkursu zorganizowanego w ramach targów ŚWIATŁO 2001 w Warszawie. W roku 2003 natomiast, w konkursie na najlepiej oświetloną gminę, Urząd Miasta Wągrowiec zdobył II miejsce w kategorii "Kompleksowe inwestycje i modernizacje oświetlenia dróg i ulic", za kompleksową modernizację oświetlenia ulicznego na terenie gminy, a Urząd Gminy Dopiewo otrzymał w tym konkursie wyróżnienie.

Najnowszym i bardzo nowatorskim produktem Spółki jest ***Usługa oświetlania***. Produkt ten skierowany jest głównie do miast lub gmin, jednak z doskonałymi efektami skorzystać z niego mogą także spółdzielnie mieszkaniowe, developerzy, czy zarządcy terenów zielonych i wszyscy pozostali, którzy dla realizacji swych statutowych zadań wykorzystują oświetlenie.

Usługa oświetlania, polega na oświetlaniu wyznaczonych obszarów nowymi, energooszczędnymi i przyjaznymi dla środowiska naturalnego urządzeniami, a ich parametry techniczne - jakość oświetlenia - stanowią wynik wspólnych uzgodnień.
W ten sposób odbiorca usługi staje się nie inwestorem, ale KLIENTEM, a cena za indywidualne oświetlenie ma charakter negocjacyjny, uzależniony od jego jakości, przyjętych rozwiązań technicznych, typu i rodzaju urządzeń, czasu świecenia, itp.
Całość zagadnień, związanych z uruchomieniem oświetlenia: projektu, wszelkich uzgodnień, budowy oświetlenia, w tym również zabezpieczenia strony finansowej przedsięwzięcia pozostają po stronie wykonawcy, świadczącego usługę oświetlania - Energetyki Poznańskiej Zakładu Oświetlenia Drogowego Sp. z o.o. Takie rozwiązanie stwarza możliwości zapewnienia oświetlenia wszystkich obszarów, optymalnym kosztem, w bardzo krótkim okresie czasu.

Spółka dba jednak nie tylko o bezpieczeństwo, poprzez zapewnienie odpowiedniego oświetlenia ulic, uliczek, parków i parkingów, ale również stara się nadać miastom i miasteczkom niepowtarzalny charakter, poprzez ***iluminację obiektów zabytkowych***, czyli budynków, kamieniczek, kościołów i innych obiektów architektury. Do najważniejszych osiągnięć Spółki w tym zakresie należy iluminacja kamieniczek i pomników na Starym Rynku w Poznaniu, która zapoczątkowała iluminacje staromiejskie w mieście, a także iluminacja poznańskiej Fary oraz zabytkowego Kościoła Św. Jana Jerozolimskiego w Poznaniu.

Innym sposobem zwiększenia atrakcyjności miast i gmin, proponowanym przez Zakład Oświetlenia Drogowego jest ***iluminacja okolicznościowa***, która podkreśla uroczystą, podniosłą atmosferę świąt, co doskonale wpływa na nastrój i samopoczucie mieszkańców. Wszystkie stosowane produkty charakteryzują się wysokimi walorami dekoracyjnymi i estetycznymi, łatwością montażu i demontażu oraz możliwością wieloletniego stosowania, wysoką odpornością na działanie niekorzystnych warunków atmosferycznych i co bardzo istotne, niskim poborem energii elektrycznej.

O tym, że usługi realizowane są na najwyższym poziomie świadczą nie tylko liczne referencje, rekomendacje i opinie klientów, ale przede wszystkim wykonane prace oraz uzyskane certyfikaty, nagrody i wyróżnienia. W roku 2002 został wdrożony w Spółce System Zarządzania Jakością, a Spółka otrzymała Certyfikat Systemu Jakości ISO 9001:2001, który zapoczątkował wdrożenie w roku 2004 Zintegrowanego Systemu Zarządzania, obejmującego:

1. zapewnienie jakości zgodnie z wymogami normy PN – EN ISO 9001:2001
2. zarządzanie środowiskiem zgodnie z wymogami normy PN – EN ISO 14001
3. zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy zgodnie z wymogami normy PN – EN ISO 18001.

Przyjmując zasadę, że każdy pracownik Spółki odpowiedzialny jest za jakość, ochronę środowiska oraz bezpieczeństwo i higienę pracy, zarządzanie w Firmie odbywa się w sposób uporządkowany , co z kolei ma znaczny wpływ na zwiększenie wiarygodności ZOD wśród obecnych i potencjalnych klientów.

W roku 2003 Spółka otrzymała tytuł LIDERA RYNKU dla najlepszej w Polsce firmy w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji oświetlenia wnętrzowego i

zewnętrznego, modernizacji i unowocześnienia systemów oświetleniowych oraz innych usług oświetleniowych. Firma została nagrodzona również Certyfikatem Wielkopolskiej Jakości, Wyróżnieniem I Stopnia Wielkopolskiej Nagrody Jakości oraz Rekomendacją Stowarzyszenia Elektryków Polskich.

W ramach Międzynarodowych Targów ŚWIATŁO w Warszawie, w roku 2002 ZOD otrzymał wyróżnienie Związku Pracodawców Warszawy i Mazowsza za wysoką jakość produktów i stały rozwój firmy, w konkursie na najlepiej rozwijającą się firmę oświetleniową w sektorze MSP w latach 1999 – 2001, a w roku 2003 - wyróżnienie w konkursie Ministerstwa Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej na najlepiej rozwijającą się firmę oświetleniową w sektorze MSP w latach 2000 – 2002 za największy wzrost sprzedaży.

Zrealizowane prace stanowią dowód na to, że ZOD jest w stanie profesjonalnie oświetlić każdą ulicę, każdy budynek, park, boisko, plac oraz wnętrze.

Do największych osiągnięć Spółki należy budowa oświetlenia boisk piłkarskich KS Amica Wronki, gdzie wykonano oświetlenie płyty głównej stadionu tego klubu na najwyższym, światowym poziomie oraz projekt oświetlenia stadionu piłkarskiego Groclin Dyskobolia Grodzisk Wielkopolski, iluminacja zabytkowych kamieniczek i pomników na Starym Rynku w Poznaniu, iluminacja poznańskiej Fary, iluminacja Kościoła Św. Jana Jerozolimskiego w Poznaniu, iluminacja świąteczna kilkudziesięciu miast i gmin, budowa oświetlenia terenów wokół Makro Cash&Carry i Selgros w Poznaniu, budowa oświetlenia Parku Chopina w Poznaniu, wymiana kilku tysięcy opraw oświetleniowych na terenie Poznania, realizacja kilkuset projektów i budowy przyłączy energetycznych do wiat i wiatokiosków na przystankach MPK w Poznaniu, projekt i budowa oświetlenia kortów tenisowych w Baranowie, unowocześnienie oświetlenia drogowego Gmin – wymiana rtęciowych opraw oświetlenia drogowego na energooszczędne oprawy sodowe na terenie miast i gmin.

Te wymienione prace, a także wiele innych, których realizacją Spółka może się poszczycić stawiają ją w czołówce najlepszych firm działających na rynku oświetleniowym w Polsce.

ZAPRASZAMY DO KORZYSTANIA Z NASZYCH USŁUG

ALFINE

ANALOG DEVICES
REPRESENTATIVE IN POLAND

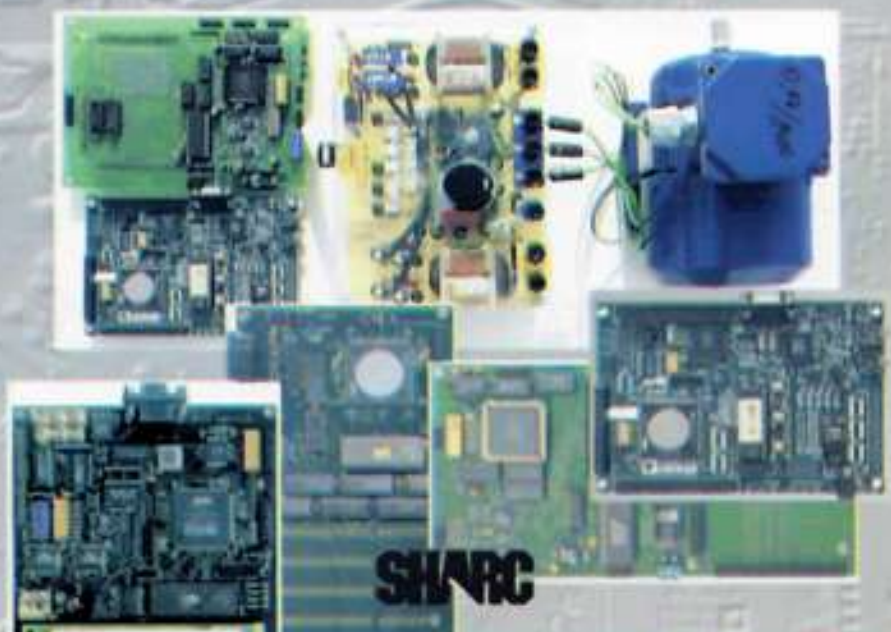
Alfine Team like never before

http://www.alfine.pl

Oferujemy:

- kompletację dostaw
- dostawy bezpośrednio od producenta
- własny magazyn buforowy (dostawa w 24h)
- doradztwo techniczne i wsparcie projektowe
- własne aplikacje

WSPOMAGANIE APLIKACJI PROCESORÓW SYGNAŁOWYCH W ENERGOELEKTRONICE



SHARC

CROSSCORE™ Development Tools

VisualDSP®
EZ-ICE®
EZ-KIT Lite™

ALFINE

uznany dostawca rozwiązań dla

ANALOG DEVICES

teraz, jako partner

THE DSP COLLABORATIVE

ANALOG DEVICES

http://www.analog.com/dsp/3rdparty

ALFINE P.E.P.
ul. Gronowa 22 • 61-690 Poznań
tel.: (61) 8205811, 8213375
fax: (61) 8213199
e-mail: analog@alfine.pl
http://www.alfine.pl

MITEL 2004

Designed by Blanka-Ritom

ISCO

Krajowa Organizacja Sprzedaży

ALSTOM | T&D Przesył i Dystrybucja

⊡ Wysokie napięcie (72-420 kV)

- realizacje pod klucz (stacje WN/SN);
- rozdzielnice izolowane gazem SF_6;
- Moduły w izolacji SF_6;
- kompaktowe rozwiązywania w izolacji powietrznej;
- aparatura łączeniowa;
- transformatory mocy;
- układy monitoringu;
- przekładniki (zespolone, prądowe, napięciowe);
- ograniczniki przepięć.

⊡ Kompleksowe rozwiązywania w zakresie przyłączania elektrowni wiatrowych

⊡ Średnie napięcie (6-36kV)

- kompleksowe rozwiązywania układów średnich napięć;
- modernizacja rozdzielnic;
- Rozdzielnice o izolacji SF_6;
- Rozdzielnice izolowane powietrzem;
- Rozdzielnice pierścieniowe;
- wyłączniki próżniowe;
- wyłączniki generatorowe;
- rozłączniki, odłączniki, uziemniki;
- transformatory dystrybucyjne (olejowe i żywiczne)

⊡ Elektroenergetyczna Automatyka Zabezpieczeniowa
⊡ Systemy telemechaniki
⊡ Systemy wspomagania zarządzanie rynkiem energii

Alstom jest uznany na świecie i w Polsce dostawcą najnowocześniejszych rozwiązań technicznych i kompleksowych usług na rzecz energetyki oraz przesyłu i rozdziału energii, jak również transportu.

Kontakt:

Halina Cup
Członek zarządu
Krajowy Dyrektor ds. Sprzedaży
tel. kom. 602 218 336
e-mail:halina.cup@tde.alstom.com

Adam Zawadzki
Menadżer Produktu w zakresie aparatury SN
tel. kom. 602 776 680
e-mail:adam.zawadzki@tde.alst

Wojciech Zimny
Menadżer Produktu w zakresie aparatury WN
tel. kom. 602 776 626
e-mail:wojciech.zimny@tde.alstom.com

Marek Dzieciaszek
Regionalny Kierownik Sprzedaży
Łódz - Katowice
tel. kom. 604 791 712
e-mail:marek.dzieciaszak@tde.alstom.com

Sebastian Klaczyński
Regionalny Kierownik Sprzedaży-Warszawa
tel. kom. 606 212 264
e-mail:sebastian.klaczynski@tde.alstom.com

Sławomir Lenik
Regionalny Kierownik Sprzedaży-Katowice
tel. kom. 602 465 126
e-mail:slawomir.lenik@tde.alstom.com

Stanisław Wróbel
Regionalny Kierownik Sprzedaży-Rzeszów
tel. kom. 602 433 008
e-mail:stanislaw.wróbel@tde.alstom.com

Joanna Klemieńska
Regionalny Kierownik Sprzedaży-Poznań
tel. kom. 604 791 710
e-mail:joanna.kleminska@tde.alstom.com

Cezary Sztanga
Regionalny Kierownik Sprzedaży-Gdańsk
tel. kom. 604 791 711
e-mail:cezary.sztanga@tde.alstom.com

ALSTOM T&D S.A.
Biuro Handlowe w Katowicach, ul. Modelarska 12
40-142 Katowice
tel.: +48 (0) 32 258 62 91, 259 68 02, 203 64 65,
fax: +48 (0) 32 258 35 47
www.pl.alstom.com, www.alstom.com

Zakład Doświadczalny Instytutu Energetyki w Białymstoku

Centrala tel.: (085) 74-22-927,
Dyrektor tel./fax: (085) 74-28-591,
tel. kom.: 0-502-265-748
Dz. Handlowy tel.: (085) 74-24-560,
tel. kom.: 0-502-218-146
www.zdie.edo.pl
e-mail: zdie@edo.pl

NIP 542-10-20-267

15-879 Białystok
ul. Sw. Rocha 16

© Wiek of Art tel.: (085) 324-491, fot.: P. Sawicki

INSTYTUT ENERGETYKI w Warszawie

ZAKŁAD DOŚWIADCZALNY w Białymstoku

Produkujemy i sprzedajemy urządzenia, narzędzia i sprzęt :

- ✓ Uziemiacze:
  przenośne do urządzeń
  stacyjnych i liniowych
  do podstaw i gniazd bezpiecznikowych
  do słupów oświetleniowych
  do szyn płaskich i trzpieni kulowych
  do rozłączników bezpiecznikowych
  do zacisków linii izolowanych
- ✓ wskaźniki napięcia:
  - na prąd zmienny 100V - 110kV
  - na prąd stały 50V - 4000V
- ✓ uzgadniacze faz jednobiegunowe 50V - 30kV
- ✓ drabiny aluminiowe i izolacyjne
- ✓ rezystorowe wymuszacze mocy RWM
- ✓ uchwyty do napinania przewodów:
  - gołych o przekroju 16 - 240 mm^2
  - izolowanych 4x25 mm^2 - 4x95 mm^2
- ✓ bocznik izolowany
- ✓ wielokrążki do 12 kN
- ✓ drążki izolacyjne z oprzyrządowaniem
- ✓ pokrycia silikonowe izolatorów ceramicznych
- ✓ sprzęt do prac pod napięciem
- ✓ sprzęt zabezpieczający przed upadkiem z wysokości
- ✓ odłączniki i rozłączniki napowietrzne 24kV

Zajmujemy się

projektowaniem, badaniem i wdrażaniem do produkcji sprzętu BHP i urządzeń eksploatacyjnych dla energetyki zawodowej i przemysłowej, kolejnictwa i telekomunikacji. Wytwarzamy sprzęt BHP, aparaturę łączeniową, osprzęt do remontu i budowy linii energetycznych i trakcyjnych.

Przemawia za nami doświadczenie nabyte w ciągu 20 lat funkcjonowania zakładu i 500 odbiorców z całego świata.

terMAR
GRZEJNIKI MARMUROWE

Grzejniki kamienne

ogrzewanie elektryczne
granitowe i marmurowe
promiennikowo
- akumulacyjne

Trwałe jak skała
- 10 lat gwarancji !

Stosowane w Zakładach Energetycznych i obiektach PSE na terenia całego kraju np. w:

- Stacjach Elektroenergetycznych
- GPZ-tach
- akumulatorniach
- Biurach Obsługi Klienta
- elektrowniach wodnych

TERMAR
53-235 Wrocław, ul. Grabiszyńska 268
tel.: (71) 36 33 999, 339 17 45, fax: (71) 363 30 33
e-mail: termar@termar.pl internet: www.termar.pl

REBUD

Sp. z o. o. NOWA SÓL

1 KOMPENSACJA MOCY BIERNEJ
- FIRMA ICAR - ITALIA

2 ENERGETYCZNY OSPRZĘT KABLOWY
NN 0,4 kV i ŚN do 30 kV

3 MATERIAŁY DO PAKOWANIA

4 APARATURA KONTROLNO POMIAROWA
FIRMY BAUR

5 TELEKOMUNIKACYJNY OSPRZĘT KABLOWY

6 SPRZĘT BHP

REBUD

1 KOMPENSACJA MOCY BIERNEJ - FIRMA ICAR - ITALIA

- Kondensatory energetyczne jedno i trójfazowe niskiego napięcia
- Kondensatory energetyczne jedno i trójfazowe średniego napięcia
- Automatyczne baterie kondensatorów NN
- Automatyczne baterie kondensatorów NN wzmocnione
- Automatyczne baterie kondensatorów NN z dławikami
- Baterie kondensatorów ŚN

KOMPLEKSOWA USŁUGA W ZAKRESIE MONTAŻU, DOBORU, URUCHOMIENIA, POMIARÓW I PROJEKTOWANIA

- gospodarka energią elektryczną (opłaty związane z poborem mocy biernej, plany taryfowe itp.)

2 ENERGETYCZNY OSPRZĘT KABLOWY NN 0,4 kV i ŚN do 30 kV

- Mufy i głowice kablowe firmy 3M
- Mufy i głowice kablowe firmy **F&G**
- Mufy i głowice kablowe firmy RAYCHEM
- Mufy przelotowe **Vx** i przejściowe **Vxp** do łączenia kabli tradycyjnych z izolacją papierową w osłonie ołowianej
- Narzędzia do obróbki kabli firmy **KLAUKE** (praski, nożyce i inne)
- Osprzęt termokurczliwy firmy RADPOL
- Transformatory z izolacją żywiczną
- Obudowy złącz kablowych, szafy kablowe, węzły kablowe ŚN
- Ograniczniki przepięć NN 0,4 kV, ŚN, do 24 kV i WN 110 kV
- Przekładniki prądowe, napięciowe i kombinowane WN 110 kV
- Automatyczne złączniki FARGO do linii napowietrznych

3 MATERIAŁY DO PAKOWANIA

- Taśmy pakowe
- Taśmy pakowe z nadrukiem
- Folia stretch ręczna i maszynowa
- Kaptury termokurczliwe
- Maszyny do zamykania kartonów firmy 3M

4 APARATURA KONTROLNO POMIAROWA FIRMY BAUR

- Kompletne wozy pomiarowe do wyznaczania miejsc uszkodzeń kabli oraz badania faktycznego stanu technicznego linii kablowych (tgδ + wyładowania niezupełne)
- Dowolne urządzenia typu: generator udarowy, dopalarki, echometry, identyfikatory kabli z wiązki i inne
- Urządzenia do badania oleju transformatorowego (współczynnik strat tgδ, odporność w Ωm, wytrzymałość na przebicie, badanie wilgotności w cieczach i gazach (np. SF_6)

5 TELEKOMUNIKACYJNY OSPRZĘT KABLOWY

- Osprzęt firmy **3M**
  Łączniki typu SCOTCHLOCK, moduły 25 parowe, osłony złącz typ BB, SLICK, taśmy, zestawy do zaprasowywania modułów, diagnostyka sieci miedzianych i światłowodowych z wykorzystaniem urządzeń typu DYNATEL,
- OSPRZĘT DO LINII ŚWIATŁOWODOWYCH
  Mufy, osłony złącz ziemne i napowietrzne, spawarki, reflektometry
- OSPRZĘT FIRMY **RAYCHEM**
  Osłony złącz typu XAGA, FOSC, VCKT, zestawy uszczelniające TDUX,
- OSPRZĘT DO LINII NAPOWIETRZNYCH FIRMY **MALICO,**
- URZĄDZENIA DO TELETRANSMISJI FIRMY SAGEM - FRANCJA

6 SPRZĘT BHP

- Ochrona górnych dróg oddechowych (półmaski jednorazowe typ P1, P2, P3, maski pełno twarzowe) firmy **3M**
- Ochrona słuchu (zatyczki, nauszniki) firmy **3M**
- Kaski ochronne firmy **3M**
- Sprzęt spawalniczy ochronny, agregaty spawalnicze HONDA,
- Narzędzia do pracy pod napięciem firm: **KNIPEX, GEDORE, CIMCO, KLAUKE**

REBUD

REBUD

Biuro handlowe:
67-100 Nowa Sól
ul. Przyszłości 1 pok. 24
Tel./Fax (068) 38 73 862
Tel (068) 38 80 093
Fax (068) 38 80 094

Adres spółki:
67-100 Nowa Sól
ul. Mickiewicza 8

NIP: 925-002-04-51
REGON: 970021465
BANK: BZ WBK o/ Nowa Sól
nr 60 1090 1577 0000 0000 5700 2469
KRS: 0000108218

e-mail: biuro@rebud.pl, www.rebud.pl

Politechnika Szczecińska
Wydział Elektryczny
Instytut Elektrotechniki

Zakład Wysokich Napięć i Elektrotechnologii
70-313 Szczecin ul. Gen. W. Sikorskiego 37
tel: (+91) 449-43-23, fax: (+91) 449-43-17
e-mail: zwnie@ps.pl
www.zwnie.ps.pl

certyfikat Nr TE/120/88395/03
w zakresie pełnych badań środowiskowych:
- materiałów elektroizolacyjnych
- elementów, podzespołów i wyrobów elektrycznych

Ponadto oferujemy badania:
- wysokonapięciowe izolacji
- napięciem przemiennym 50 Hz do 110 kV
- napięciem udarowym do 400 kV
- typu i wyrobu urządzeń elektrycznych
- środowiskowe urządzeń elektrycznych i elektronicznych
- jakościowe materiałów dla elektrotechniki
- materiałów antyelektrostatycznych
- sprzętu ochronnego
- oleju izolacyjnego

Prowadzimy doradztwo naukowo - techniczne

OFERTA BADAŃ
Zakładu Wysokich Napięć i Elektrotechnologii
Instytutu Elektrotechniki Politechniki Szczecińskiej

lp	badanie	według wymagań
1	palności	PN-82/C-89023, PN-IEC 695-2-1, PRS 9/I
2	udarności	PN-68/C-89028, PRS 9/I
3	wytrzymałości na zginanie	PN-79/C-89027, PRS 9/I
4	chłonności wody zimnej	PN-81/C-89032, PRS 9/I
5	chłonności wody gorącej	PN-81/C-89032, PRS 9/I
6	nasiąkliwości wilgocią zimną	PN-81/C-89032, PRS 9/I
7	nasiąkliwości wilgocią gorącą	PN-81/C-89032, PRS 9/I
8	odporności na żar rozżarzonym drutem	IEC 695-2-1, PN-79/C-89026, PN-86/E-04614/03
9	sprawdzenie określonego IP	PN-92/E-08106
10	określenie IP do IP 56	PN-92/E-08106
11	odporności na działanie korozyjne słonej mgły	PN: 88/C-81523, 76/H-04603, 76/H-04624, 67/H-04633, 77/H-04634, PRS 9/I, IEC 945, CASE MS 210, ISO 4540, ISO 9227,
12	odporności na działanie atm. przemysłowej (H_2S + SO_2)	PN-86/E-04610/03/04
13	odporności na grzyby pleśniowe	PN-87/E-04609, PRS 9/I, IEC 945
14	odporności na nasłonecznienie typu Sa-C	PN-97/E-04617/01/02
15	jak 13. przyśpieszone aparatem Xenotest	
16	wskaźnika odporności na prądy pełzające WOPP (PTI)	PN-86/E-04415, PRS 9/I
17	wyznaczenie wskaźnika odporności na prądy pełzające PWOPP (CTI)	PN-86/E-04415, PRS 9/I

certyfikat Nr TE/120/88395/03
w zakresie pełnych badań środowiskowych:
- materiałów elektroizolacyjnych
- elementów, podzespołów i wyrobów elektrycznych

Ponadto oferujemy badania:
- wysokonapięciowe izolacji
- napięciem przemiennym 50 Hz do 110 kV
- napięciem udarowym do 400 kV
- typu i wyrobu urządzeń elektrycznych
- środowiskowe urządzeń elektrycznych i elektronicznych
- jakościowe materiałów dla elektrotechniki
- materiałów antyelektrostatycznych
- sprzętu ochronnego
- oleju izolacyjnego

Prowadzimy doradztwo naukowo - techniczne

Politechnika Szczecińska
Wydział Elektryczny
Instytut Elektrotechniki

Zakład Wysokich Napięć i Elektrotechnologii
70-313 Szczecin ul. Gen. W. Sikorskiego 37
tel: (+91) 449-43-23, fax: (+91) 449-43-17
e-mail: zwnie@ps.pl
www.zwnie.ps.pl

lp	badanie	według wymagań
18	odporności na łuk małej mocy (12,5 kV)	PN-74/E-04441
19	rezystancji powierzchniowej - każdy kierunek	PN : 88/E-04405, 92/E-05203, PRS 9/I
20	rezystywności skrośnej, oporu skrośnego	PN : 88/E-04405, 92/E-05203, PRS 9/I
21	oporu upływu	PN-92/E-05203
22	gęstości ładunku powierzchniowego	PN-92/E-05201
23	wytrzymałości dielektrycznej	PN IEC 243-1/2/3
24	stratności dielektrycznej	PN-86/E-04403
25	stałej dielektrycznej	PN-86/E-04403
26	środowiskowe wg określonych wymagań różnych norm :	w zależności od zakresu i ilości badań jednostkowych, wynikających z *Programu badań*, każdorazowo ustalanego i uzgadnianego ze Zleceniodawcą oraz/i z jednostką nadzoru;
	- w wilgotnym gorącu stałym,	PN-84/E-04603, PRS 11/P, IEC 945
	- w wilgotnym gorącu cyklicznym	PRS 11/P, Lloyd RS
	- suchym gorącu,	PN-84/E-04602, PRS 11/P, IEC 945
	- zimnie,	PN-84/E-04601, PRS 9/I, PRS 11/P, IEC 945
	- odp. na szoki termiczne,	PN-85/E-04613/01, IEC 945
	- odp. na sinusoidalne wibracje	PN-86/E-04606/03, PRS 11/P, IEC 945
	- odpomości na udary do 15 g/ 15 kg	PN-92/E-04605/01/02,IEC 945
	- odpomości na spadki swobodne,	PN-85/E-04605/04

ul. Wójta Henryka 45
59-300 LUBIN
tel.(076) 841 12 89

Systemy diagnostyczne urządzeń elektroenergetycznych umożliwiające pomiar współczynnika stratności tgδ oraz wartości i miejsc występowania wyładowań niezupełnych z zastosowaniem sygnałów wolnozmiennych VLF zgodnie z normą VDE 0276 oraz HD 620 S1.

Systemy lokalizacji tras i uszkodzeń kabli: nowe kompletne wozy pomiarowe, urządzenia pomiarowe w dowolnej konfiguracji.

Urządzenia do badania cieczy izolacyjnych:

- DPA badanie napięcia przebicia.
- DTL badanie tgδ, przenikalności oraz rezystancji właściwej.
- KFM określanie zawartości wody

Diagnostyka przyłączy i elementów stacyjnych w oparciu o pomiar termowizyjny

Osprzęt liniowy, kablowy i stacyjny

- Mufy, przyłącza kątowe, głowice itd.
- Transformatory
- Ograniczniki przepięć
- Kondensatory do kompensacji mocy biernej

VOLTEX

Oddziały:
ul. Wojszczycka 4853-006 WROCLAWtel./fax (071) 362 83 39
ul. Budowlana 13 20-469 LUBLIN tel. (081) 441 86 21fax (081) 441 86 37

PRZEDSIĘBIORSTWO BADAWCZO-WDROŻENIOWE „OLMEX" SA

10- 409 Olsztyn, ul.Lubelska 32, telefon/ fax: (+ 48 89) 5276604, 5391192, 5391193

W 1987 roku z inicjatywy pracowników naukowych ówczesnej Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie zostało założone w Olsztynie **Przedsiębiorstwo Badawczo-Wdrożeniowe OLMEX Sp. z o.o.** Spółkę zarejestrowano w sądzie Rejonowym w Wydziale I Cywilnym w Olsztynie, sygn. Akt. I Ns Rej. H-43/87. Udziałowcami były osoby fizyczne. Przedmiot działalności obejmował prace projektowe, pomiarowe, badawcze, wdrożeniowe, montażowe i instalatorskie z zakresu gospodarki energetycznej w zakładach przemysłowych, ze szczególnym uwzględnieniem przedsięwzięć związanych z racjonalizacją i ograniczeniem zużycia czynników energetycznych. W latach 1988-94 uchwałami zgromadzenia wspólników został poszerzony zakres działania spółki (min. o ww. prace badawczo – wdrożeniowe z zakresu ochrony środowiska, automatycznej regulacji i sterowania oraz łączności), a także poszerzony teren jej działania (o import i export). **W 2000 roku OLMEX Sp. z o.o. został przekształcony w OLMEX S.A.**

PRZEDMIOT I OBSZAR DZIAŁALNOŚCI SPÓŁKI.

Firma od początku podjęła współpracę z Energetyką Zawodową i Przemysłową specjalizując się w realizacji przedsięwzięć związanych z kompensacją mocy biernej w sieciach średnich i niskich napięć.

Od kilkunastu lat OLMEX stara się w maksymalnym stopniu realizować najtrudniejsze zadania w tej dziedzinie. Wykonano już kilkaset projektów inwestycyjnych, instalowano układy baterii kondensatorów we wszystkich rodzajach sieci energetycznych na różnych poziomach napięć.

Firma jest dystrybutorem kondensatorów produkowanych przez takie firmy jak **ELEKTRONICON GERA (NIEMCY), NOKIAN CAPACITORS (FINLANDIA).**

Od 1996 roku OLMEX rozpoczął współpracę z niemiecką firmą **TRENCH**, dawniej HAEFELY TRENCH, w zakresie dystrybucji napowietrznych przekładników wysokich

napięć dla energetyki. Obecnie jest to bardzo dynamicznie rozwijający się kierunek działalności firmy w związku ze zmianami w polskiej elektroenergetyce, włączającej się w układ energetyki europejskiej. Konieczność modernizacji układów naziemnych oraz stacji energetycznych w sieciach dystrybucyjnych spowodowała zwiększone zapotrzebowanie na aparaturę stacyjną i usługi świadczone przez firmę.

W tym samym czasie OLMEX staje się przedstawicielem niemieckiej firmy **SEBA KMT**, zaopatrującej Energetykę Zawodową w aparaturę do lokalizacji i diagnozowania kabli energetycznych. Oferuje doradztwo oraz dostawę urządzeń do lokalizacji uszkodzeń kabli, urządzenia diagnozujące polietylenowe kable energetyczne, urządzenia do określania ułożenia tras energetycznych, telekomunikacyjnych linii kablowych i przebiegu rurociągów, urządzenia do badania wytrzymałości napięciowej olejów izolacyjnych do transformatorów i aparatury łączeniowej.

Wychodząc naprzeciw rosnącemu zapotrzebowaniu energetyki na gwarantujące długą i bezawaryjną pracę urządzeń PBW OLMEX S.A. nawiązało w 2001 r. współpracę z holenderską firmą **NEDAL ALUMINIUM BV**, która jest liczącym się na świecie producentem wyrobów z aluminium w tym także przewodów rurowych doskonale sprawdzających się jako tory prądowe w stacjach energetycznych wysokiego napięcia.
W Europie Zachodniej wiele przedsiębiorstw energetycznych doceniło już perfekcję wykonania oraz parametry zarówno elektryczne, jak i mechaniczne rur wyprodukowanych przez firmę NEDAL ALUMINIUM BV.

W 2001 r. PBW OLMEX S.A. podpisał umowę współpracy z Chorwacką firmą produkującą aparaturę wysokich napięć – **KONČAR Mjerni Transformatory**. Posiada ona wieloletnie doświadczenie w produkcji przekładników przez co jej produkty obecne są na terenie wielu krajów świata.
Oferowane przekładniki wykonane są w izolacji olejowej z izolatorem porcelanowym lub kompozytowym dla napięć 110 kV, 220 kV, 400 kV i wyższych, a w szczególności

- przekładniki prądowe, AGU
- przekładniki napięciowe, VPU
- przekładniki kombinowane, VAU

Rok 2001 zaowocował również podpisaniem przedstawicielstwa z niemiecką firmą **AEG Kondensatoren und Wandler GmbH** z Berlina, która specjalizuje się w produkcji przekładników średniego napięcia.

AEG posiada wieloletnie doświadczenie w produkcji min. :

- przekładników prądowych,
- przekładników napięciowych,
- przekładników kablowych w wykonaniu jedno- i trójfazowym
- przekładników do zamkniętych rozdzielnic gazowych z SF6

Występująca na rynku ilość laboratoriów (samochodów pomiarowych z wyposażeniem) oraz drobnych urządzeń do diagnozowania uszkodzeń kabli stworzyła możliwość zaspokajania, powstających w wyniku użytkowania wspomnianych urządzeń, potrzeb klientów poprzez otwarcie w 2001r. **autoryzowanego serwisu gwarancyjnego i pogwarancyjnego produktów firmy SEBA KMT**.

PBW OLMEX S.A. od wielu lat zajmuje się kompensacją mocy biernej. Jest to główna gałąź działalności firmy. Przez ostatnie kilka lat przedsiębiorstwo prowadziło badania w dziedzinie zastosowania trójfazowych kondensatorów 400V do kompensacji biegu jałowego transformatorów. Niestety produkowane w latach 80 – tych i 90 – tych kondensatory musiały być usuwane ze względu na ich wadliwość i wyciekanie syciwa przy rozszczelnianiu. Obecna technologia produkcyjna pozwoliła na powrót do tematu **kompensacji biegu jałowego transformatorów**, przynosząc przedsiębiorstwu znaczne korzyści finansowe.

W dziedzinie kompensacji rozszerzono również asortyment w przedziale mocy SN. Podjęto współpracę z niemiecką firmą **ROEDERSTEIN Vishay**, specjalizującą się w produkcji jedno- i trójfazowych kondensatorów SN w wykonaniu wnętrzowym i napowietrznym, jedno- i dwuizolatorowym.

Efektem działalności na rynku jest podpisanie w roku 2003 umowy z **koncernem GE na produkcję licencyjną rozdzielnic nn typu Modula**, której to konstrukcja w 90 % pokrywa wymagania i zapotrzebowanie na tego typu urządzenia na naszym rynku.

Rozwój możliwości produkcyjnych przedsiębiorstwa wiąże się nie tylko z podpisanymi umowami kooperacji z firmami zagranicznymi. PBW OLMEX S.A. **rozwinęło również produkcję baterii kondensatorów** min. o baterie BKN. Jest to automatyczna bateria do centralnej kompensacji mocy biernej dla 3-fazowych systemów zasilania zawierających wyższe harmoniczne i obciążenia szybkozmienne.

OLMEX S.A. działa na rynku Energetyki Zawodowej i Przemysłowej. Podstawowy segment tego rynku stanowią zakłady produkcyjne i elektrociepłownie, korzystające - jako odbiorcy - z zasilania energetycznego oraz elektrownie i zakłady energetyczne, które jako dostawcy energii - pracują dla hurtowego rynku energii elektrycznej.

Zapotrzebowanie na produkty i usługi OLMEX S.A. zgłaszają zwłaszcza te zakłady, które mają znacznie rozbudowaną sieć zasilającą i wysoki pobór biernej indukcyjnej energii elektrycznej, co powoduje, że ponoszą znaczne opłaty za pobór tej energii. Konieczność obniżenia rosnących kosztów powoduje, że wzrasta zapotrzebowanie na redukcję poboru mocy biernej. Zastosowane przez OLMEX S.A. urządzenia do kompensowania mocy skutkują znacznymi oszczędnościami w poborze energii elektrycznej, a tym samym obniżeniem kosztów.

Kolejnym segmentem rynku energetycznego są elektrownie, dostarczające energię elektryczną na rynek hurtowy. W tym sektorze występuje znaczne zapotrzebowanie na modernizację układów pomiarowych, tj. zastosowania urządzeń umożliwiających dokonywanie - z dużą dokładnością - rozliczenia energii przesyłanej sieciami PSE, np.: rozliczenia między PSE a elektrownią. Oferta OLMEX S.A. dla tych klientów uwzględnia analizę sieci, projektowanie dla konkretnych rozwiązań - urządzeń, z wykorzystaniem produktów firmy TRENCH - głównie przekładników i ich zastosowanie. Oferowane przez OLMEX S.A. przekładniki gwarantują prawidłowy pomiar energii elektrycznej, zużywanej na potrzeby produkcyjne. Coraz bardziej wzrasta popyt na te urządzenia, właśnie ze względu na ich jakość i wysokie parametry techniczne. Do największych odbiorców towarów, produktów i usług Spółki należą: zakłady energetyczne, kopalnie, rafinerie, zakłady przemysłu spożywczego, zakłady przemysłu ciężkiego, huty, elektrownie.

Aby sprostać wymaganiom jakościowym stawianym przez naszych klientów wdrażamy System Jakości oparty na normie 9001 : 2000

STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH
Oddział w Gorzowie Wlkp.
66-400 Gorzów Wlkp.
ul. Grobla 9
tel. 095-7228943 fax 095-7228492
e-mail: sepgorzow@poczta.onet.pl

ZAPRASZA

na

IV LUBUSKĄ KONFERENCJĘ NAUKOWO-TECHNICZNĄ MATERIAŁY i TECHNOLOGIE w ELEKTROTECHNICE

MITEL 2006

ORGANIZATORZY