

SPIS TREŚCI - CONTENTS

	Str.
1. Tadeusz GLINKA: Słowo wstępne	7
2. Tadeusz GLINKA: Prof. zw. Zygmunt Gogolewski	9
3. Zygmunt KUCZEWSKI: Profesor Zygmunt Gogolewski - pionier polskiego przemysłu elektromaszynowego	23
4. Mirosław I. DĄBROWSKI: Wkład Zygmunta Gogolewskiego w rozwój maszyn elektrycznych	33
5. Kazimierz BISZTYGA: Profesor Zygmunt Gogolewski w oczach studenta i dyplomanta z lat 1947-1950	41
6. Janusz LACH, Waldemar OLECH, Sławomir PARTYGA: Transformatory elektrowni Rożnów <i>Transformers in water power plant Rożnów</i>	45
7. Ryszard SIKORA: Cyfrowe przetwarzanie sygnałów w programie nauczania maszyn i napędów elektrycznych (w jęz. angielskim) <i>Digital and signal processing in teaching on electrical machines and drives</i>	55
8. Piotr WACH: Projektowanie i analiza uzwojeń ułamkowych maszyn prądu przemiennego <i>Design and analysis of fractional slot windings of AC machines</i>	59
9. Tadeusz WRÓBEL: Przegląd rozwoju prądnic zwiększonej częstotliwości typu indukcyjnego <i>Review of the development of inductor-type high frequency alternators</i>	73
10. Jerzy HICKIEWICZ, Mariusz BOGUCKI, Grzegorz HRYCAJ: Charakterystyki statyczne silnika pierścieniowego dwustronnie zasilanego <i>Steady-state characteristics of a doubly-fed slip-ring motor</i>	83
11. Krzysztof M. SERAFIN: Mikroprocesorowe sterowniki silników skokowych <i>Microprocessor step motor controllers</i>	95
12. Adam POZOWSKI: Transformatory żywiczne "Meftablok" - nowoczesny wyrób w nowoczesnej fabryce <i>Cast resin transformers 'Meftablok' - a modern product of a modern factory</i> . . .	105
13. Janusz SOBOTA: Transformatory olejowe o rdzeniu z taśm amorficznych <i>Oil transformers with amorphous strip core</i>	113

14. Aleksander ZIELONKA: Produkcja generatorów w ABB Dolmel Ltd. -
- nowe wyroby i diagnostyka
*Generator manufacturing in ABB Dolmel Ltd. - new products
and diagnostics* 121

15. Dariusz SZCZĘŚNY: Prądnice synchroniczne do modernizacji lokomotyw
spalinowych
Synchronous generators for modernization of Diesel locomotives 131

16. Jerzy CHAMERSKI, Damian MAĆKIEWICZ, Stanisław WAŃCZYK:
Silniki indukcyjne budowane w Dolmel Drives Ltd.
Induction motors manufactured by Dolmel Drives Ltd. 141

SŁOWO WSTĘPNE

Serdecznie witam wszystkich uczestników Sesji Naukowej Wydziału Elektrycznego. Okazją do zorganizowania tej Sesji jest setna rocznica urodzin jednego z organizatorów Wydziału Elektrycznego, Profesora Zygmunta Gogolewskiego.

Prof. Z. Gogolewski był organizatorem i kierownikiem kolejno trzech katedr:

- Urządzeń Elektrycznych Prądów Silnych,
- Budowy Maszyn Elektrycznych,
- Maszyn Elektrycznych.

Na podkreślenie zasługuje laboratorium maszyn elektrycznych, którego był inicjatorem i głównym współtwórcą. Laboratorium to w owym czasie było najlepsze w kraju. Warto podkreślić, że wiele z maszyn elektrycznych zgromadzonych w tym laboratorium jeszcze dzisiaj służy studentom, a kilka z tych maszyn pochodziło z firmy Rohn-Zieliński. Prof. Z. Gogolewski zainicjował pisanie pierwszych w Polsce skryptów pt.: „Laboratorium maszyn elektrycznych”, które obejmowały zestaw instrukcji do ćwiczeń laboratoryjnych. Instrukcje te zawierały, oprócz programu ćwiczeń i metodyki ich realizacji, wyczerpujące omówienie strony fizycznej problematyki dotyczącej ćwiczenia. Tradycja wydawania tych skryptów jest kontynuowana do dziś, a nawet została przyjęta przez inne uczelnie. Te pierwsze skrypty z „Laboratorium maszyn elektrycznych” były wykorzystywane także na innych uczelniach krajowych, w szczególności na uczelniach nowo powstających, jak np. WSI Opole i Politechnika Rzeszowska. Prof. Z. Gogolewski był organizatorem unikalnego muzeum maszyn elektrycznych w holu Wydziału Elektrycznego, które niestety po Jego przejściu na emeryturę zostało zlikwidowane.

Prof. Z. Gogolewski, zdając sobie sprawę z poważnych braków pomocy dydaktycznych, dużo pracy włożył w ich przygotowanie. Pisał przede wszystkim skrypty do przedmiotów, które wykładał. Kolejne edycje tych skryptów były, pod względem treści, rozszerzane, a na ich bazie opracowywał następnie podręczniki akademickie, które do dzisiaj służą studentom i inżynierom w przemyśle. Pełne ich zestawienie zostało podane w bibliografii dołączonej do życiorysu.

Poprzez wykłady, skrypty i książki prof. Z. Gogolewski wychował liczne grono twórczych inżynierów, którzy współtworzyli, w szczególności na Śląsku, przemysł elektromaszynowy. Wyroby tego przemysłu, co należy podkreślić, miały zawsze standard światowy. Ten standard zadecydował, że przemysł ten w okresie przekształceń gospodarczych nie upadł. Znaczne grono wychowanków prof. Z. Gogolewskiego podjęło pracę w biurach projektowych oraz w przemyśle górniczym i hutniczym pełniąc tam odpowiedzialne stanowiska techniczne i administracyjne.

Chciałbym podkreślić także zasługi prof. Z. Gogolewskiego jako dziekana Wydziału Elektrycznego; funkcję tę pełnił w latach 1948-52. On był inicjatorem i głównym autorem

nowego programu studiów dla grupy elektroenergetycznej i powołania trzech specjalności: konstrukcyjnej, sieci elektrycznych i napędów elektrycznych.

Wymieniłem tutaj najbardziej charakterystyczne zasługi prof. Z. Gogolewskiego; szczególnie znajdziecie Państwo w życiorysie Profesora i we wspomnieniach prof. M. Dąbrowskiego i prof. Z. Kuczewskiego. W mojej ocenie prof. Z. Gogolewski wniósł znaczący wkład w organizację Wydziału Elektrycznego i za to należy Mu się nasza pamięć.

Ta Sesja Naukowa Wydziału Elektrycznego zamyka także moją drugą kadencję dziekańską. W mojej ocenie lata 1990-1996 były owocne dla Wydziału; uzyskano to dzięki twórczej pracy wszystkich pracowników Wydziału. Wydział uzyskał, co jest najważniejsze, stabilizację kadrową. Mamy obecnie 9 profesorów tytularnych i 15 nauczycieli akademickich posiadających stopień naukowy doktora habilitowanego. Zwiększyliśmy liczbę studentów około 2,5 razy, obecnie na wszystkich rodzajach studiów studiuje na naszym Wydziale ponad 1300 studentów. Otwarte zostały studia doktoranckie. Rozwija się działalność wydawnicza i publikacyjna. Co roku pracownicy wydają 2-3 książki, kilka skryptów i ponad 200 publikacji naukowych, drukowanych w różnych periodykach i materiałach konferencyjnych tak w kraju, jak i za granicą. Aktywność naukowa Wydziału jest udokumentowana przyznaniem nam przez KBN, już trzeci rok z rzędu, kategorii A.

Sesja Naukowa Wydziału Elektrycznego poświęcona pamięci prof. Z. Gogolewskiego obejmuje trzy sesje plenarne i pięć sesji tematycznych.

Pierwsza sesja plenarna jest sesją wspomnieniową o prof. Z. Gogolewskim. Pozostałe dwie sesje plenarne obejmują referaty z zakresu problematyki, którą zajmował się prof. Z. Gogolewski, to jest maszyn elektrycznych i transformatorów oraz napędów elektrycznych i energoelektroniki. Referaty na tę sesję przygotowali pracownicy naszego Wydziału i zaproszeni goście, w tym uczniowie prof. Z. Gogolewskiego.

Sesje tematyczne mają na celu zaprezentowanie i spopularyzowanie aktualnych prac naukowych i osiągnięć instytutów i katedr naszego Wydziału w tematyce:

- elektrotechniki teoretycznej,
 - elektroenergetyki,
 - metrologii elektrotechnicznej,
 - napędów elektrycznych i energoelektroniki
- oraz maszyn elektrycznych i transformatorów.

Sądzę, że ta Sesja Naukowa pozwoli skonfrontować nasze prace z oczekiwaniami i aktualnymi potrzebami przemysłu.

Życzę wszystkim uczestnikom Sesji Naukowej, aby każdy znalazł interesującą dla siebie tematykę, odnowił przyjaźnie i znajomości oraz nawiązał nowe owocne kontakty.

Prof. Tadeusz Glinka
Dziekan Wydziału Elektrycznego

Tadeusz GLINKA
Politechnika Śląska

PROF. ZW. ZYGMUNT GOGOLEWSKI

1 maja 1996 r. przypada setna rocznica urodzin profesora zwyczajnego Politechniki Śląskiej Zygmunta GOGOLEWSKIEGO - pioniera polskiego przemysłu elektromaszynowego.

Prof. Z. Gogolewski ma bogaty i ciekawy życiorys. Urodził się 1 maja 1896 r. w Warszawie. Ojciec Profesora był garbarzem i księgowym, a matka pracowała jako nauczycielka, a następnie urzędniczka kolejowa. W roku 1914 ukończył Polskie Gimnazjum Klasyczne im. Mikołaja Reja w Warszawie z odznaczeniem „maxima cum laude”, a w roku 1915 zdał, z medalem złotym, maturę rządową przy tymże Gimnazjum, uprawniającą do wstępu na politechniki rosyjskie. W tym samym roku został przyjęty na zasadzie konkursu matur na Politechnikę Petersburską na Wydział Elektromechaniczny. W roku 1917 powołano Go do wojska i jako studenta wydziału technicznego skierowano do szkoły podchorążych artylerii, którą ukończył w tym samym roku i został wysłany na front. Po wybuchu Rewolucji Październikowej został zwolniony z wojska i wrócił na Politechnikę Petersburską. Jesienią 1918 r. wrócił wraz z matką do Warszawy i podjął studia na Politechnice Warszawskiej. W listopadzie 1918 r. wstąpił do wojska polskiego, w którym służył w stopniu podporucznika artylerii do 1920 roku. Za udział w wojnie polsko-sowieckiej został odznaczony dwoma Krzyżami Walecznych. Po zwolnieniu z wojska wrócił na studia, które ukończył w 1922 r. i z oceną bardzo dobrą uzyskał dyplom inżyniera elektryka. Pracę dyplomową wykonywał z maszyn elektrycznych u prof. K. Żórawskiego. Po uzyskaniu dyplomu, dzięki dziekanowi Wydziału prof. M. Pożaryskiemu, otrzymał praktykę w Societe Alsacienne w Belfort w Francji, gdzie pracował przez 9 miesięcy w charakterze praktykanta. Pierwszą pracą zawodową w Polsce podjął w roku 1923 w budującej się fabryce lokomotyw w Chrzanowie, w której objął funkcję kierownika elektryfikacji. Jego udziałem był projekt elektryfikacji fabryki obejmujący kilkaset punktów napędowych prądu przemiennego i prądu stałego do indywidualnego napędu obrabiarek, w tym napędy o regulowanej prędkości obrotowej oraz napędy rewersyjne strugarek z rekuperacją energii. W fabryce tej wprowadził ponadto spawanie elektryczne, elektryczne zgrzewanie nitów, elektryczne oznakowanie narzędzi, skonstruował specjalny transformator do elektrycznego nagrzewania obręczy w procesie nakładania ich na koła lokomotywy. Wiele urządzeń zaprojektowanych przez inż. Z. Gogolewskiego funkcjonowało w ruchu ponad 30 lat. Swoją wkład w budowę fabryki lokomotyw inż. Z. Gogolewski podsumował w artykule pt. „Elektryfikacja fabryki lokomotyw w Chrzanowie” opublikowanym w „Przeglądzie Elektrotechnicznym” w 1925 r.

W roku 1926 część projektowa i koncepcyjna Fabryki w Chrzanowie była zakończona i nie było perspektyw uruchomienia produkcji taboru trakcji elektrycznej, w związku z tym inż. Z. Gogolewski po niełatwych staraniach przeniósł się do Żychlina i podjął pracę w Fabryce Maszyn Elektrycznych Polskich Zakładów Brown-Boveri początkowo jako konstruktor, a następnie kierownik biura technicznego. W roku 1927 został delegowany na studia do Zakładów Brown-Boveri w Baden, Munchenstein i Mannheim celem zapoznania się z produkcją silników trakcyjnych i uruchomieniem podobnej produkcji w Żychlinie. Po powrocie do Żychlina uruchomił nową produkcję sprzętu trakcyjnego, dostarczając po raz pierwszy silniki trakcyjne wykonane w kraju dla tramwajów miasta Krakowa. Na wystawie jubileuszowej w Poznaniu w roku 1929 silniki trakcyjne opracowane przez inż. Z. Gogolewskiego i zdemontrowane na stanowisku w ruchu uzyskały złoty medal. Inż. Z. Gogolewski został awansowany na prokurenta, a następnie na zastępcę dyrektora fabryki ds. technicznych.

W roku 1931, w związku z likwidacją firmy Brown-Boveri w Polsce, inż. Z. Gogolewski opuścił fabrykę i podjął pracę w Zakładach w Starachowicach na stanowisku szefa produkcji pokojowej. W Starachowicach opracował między innymi projekt elektryfikacji stolarni mechanicznej i brał udział w rozwiązaniu problemów elektryfikacji huty (piece łukowe, piece indukcyjne wysokiej częstotliwości), poza tym kierował pracami montażowymi największego wówczas w Polsce laboratorium rentgenowskiego do badania metali (500 kV, 0,5 mA).

W roku 1932 wrócił do Żychlina i objął stanowisko dyrektora fabryki ponownie uruchomionej przez Zakłady Elektromechaniczne Rohn-Zieliński SA licencja Brown-Boveri z siedzibą w Warszawie. W następnych latach oprócz fabryki w Żychlinie objął kierownictwo fabryki w Cieszynie (poprzedniczka Fabryki CELMA), która także weszła do Spółki ZE Rohn-Zieliński, a także stanowisko dyrektora technicznego centrali i członka Zarządu Spółki. Stanowiska te piastował do wybuchu wojny we wrześniu 1939 r. Jako dyrektor tych fabryk rozbudował program ich produkcji, w szczególności transformatorów i maszyn wirujących, tak pod względem asortymentu, jak i ilości. W celu zapoznania się z nowymi technologiami produkcji wyjeżdża parokrotnie do fabryk Brown-Boveri w Szwajcarii, Włoszech i Niemczech, ułatwiło Mu to opanować produkcję transformatorów i maszyn wirujących.

Osiągnięcia techniczne inż. Z. Gogolewskiego z tego okresu to:

- opanowanie produkcji transformatorów na napięcie do 150 kV,
- opanowanie produkcji maszyn elektrycznych do łodzi podwodnych; między innymi dla ORP „Orzeł” i „Sęp” kompletne wyposażenie elektryczne wyprodukowała fabryka w Żychlinie,
- ulepszenie uzwojeń silników wysokiego napięcia i podniesienie jakości tej produkcji do poziomu fabryk europejskich; towarzyszyło temu ogromne powodzenie wyrobów z Żychlina na rynku krajowym oraz ich eksport do ZSRR w latach 1932-36,
- ulepszenie konstrukcyjne transformatorów suchych, dławików zwarciovych, przełączników zacze-pów, rozruszników i wiele ulepszeń technologicznych, niektóre z nich były przyjmowane przez licencjodawcę, to jest firmę macierzystą Brown-Boveri,
- patenty na wyłączniki trakcyjne, specjalne silniki szeregowe, chłodzenie dławików.

Osiągnięcia inż. Z. Gogolewskiego w zakresie organizacji produkcji to:

- wprowadzenie nowej organizacji pracy w fabrykach w Żychlinie i Cieszynie, międzyoperacyjne kontrole produkcji,



- rozszerzenie zakresu kontroli końcowej,
- badania technologiczne materiałów izolacyjnych, magnetycznych i konstrukcyjnych (wałów).

W obydwu fabrykach udało Mu się skupić pokaźną liczbę inżynierów i wyszkolić ich na specjalistów konstruktorów i technologów maszyn elektrycznych i transformatorów, była to pierwsza w Polsce kuźnia kadr w tej branży.

Za prace w dziedzinie przemysłu został uhonorowany w roku 1937 Złotym Krzyżem Zasługi. W roku 1939 został mianowany wiceprzewodniczącym Komitetu Przemysłu Elektrotechnicznego przy Ministerstwie Przemysłu.

Od początku swojej działalności inżynierskiej aktywnie pracuje w komisjach normalizacyjnych PKN i przepisowych SEP, jest członkiem i zastępcą przewodniczącego Komisji Maszyn, członkiem Komisji Trakcji, członkiem Podkomisji Transformatorów oraz przewodniczącym Podkomisji Prób Dielektrycznych.

W sierpniu 1939 r. został zmobilizowany jako oficer uzbrojenia. 18 września 1939 r. przekroczył wraz z Instytutem Technicznym Uzbrojenia granicę rumuńską. Dzięki Konsulatowi Polskiemu w Czerniowcach otrzymał paszport cywilny i został wcielony do cywilnego obozu uchodźczego, gdzie przebywał do końca wojny. W Rumunii prowadził działalność pedagogiczną w ośrodku uchodźczym polskim, prowadził półroczne kursy techniczne, na których wykładał elektrotechnikę, trakcję elektryczną i organizację. Ponadto opracował projekt przebudowy sieci miasta Pitești (35 tys. mieszkańców) z prądu stałego na prąd zmienny, oraz opracował i wykonał elektryfikację tartaku i Fabryki Wyrobów Drzewnych na Bukowinie.

W czerwcu 1945 r. wraca do kraju pierwszym transportem repatriacyjnym. We wrześniu tegoż roku Minister Przemysłu mianuje Go dyrektorem technicznym Zjednoczenia Przemysłu Maszyn Elektrycznych i na tym stanowisku pozostał aż do likwidacji Zjednoczenia (1949). Prof. Z. Gogolewski jako dyrektor techniczny Zjednoczenia podjął się zadania odbudowy i rozbudowy przemysłu maszyn elektrycznych, opracował trzyletni plan odbudowy i produkcji przemysłu maszyn elektrycznych i transformatorów, kierował stroną techniczną, odbudowy i uruchomienia tego przemysłu. Wśród wielu jego inicjatyw na podkreślenie zasługuje inicjatywa budowy Fabryki Materiałów Elektroizolacyjnych w Gliwicach (obecnie ERG). On wybrał, bardzo trafnie, lokalizację we Wrocławiu fabryki dużych maszyn elektrycznych (obecnie ABB DOLMEL i DOLMEL DRIVES). Dla obsługi tego przemysłu zorganizował Centralne Biuro Konstrukcyjne Maszyn Elektrycznych (CBKME - obecnie BOBRME KOMEL) w Katowicach i został jego pierwszym dyrektorem naczelnym, funkcję tę pełnił od 1 stycznia 1949 r. do 1951 r. Pełniąc tę funkcję udało Mu się pozyskać do CBKME najlepszych inżynierów konstruktorów w tej branży (mgr inż. Jerzy Szmít, dr inż. Jan Wieczorek i inni) i wychować nowych, którzy byli pierwszymi absolwentami Politechniki Śląskiej (rocznik 1949), w ten sposób zorganizował w Katowicach Szkołę konstrukcji i projektowania maszyn elektrycznych, i tu powstawały projekty konstrukcyjne nowych serii maszyn elektrycznych i transformatorów.

Równoległe do pracy w przemyśle 1 lutego 1946 r. podjął pracę na Politechnice Śląskiej jako profesor nadzwyczajny, zorganizował Katedrę Urządzeń Elektrycznych Prądów Silnych i został jej kierownikiem. W roku 1950 objął kierownictwo nowej Katedry Budowy Maszyn Elektrycznych, w ramach której prowadzony był także napęd elektryczny, a po następnej reorganizacji przeprowadzonej w roku 1956 objął Katedrę Maszyn Elektrycznych, którą



kierował do chwili przejścia na emeryturę (30 września 1966 r.). W latach 1948-52 pełnił funkcję dziekana Wydziału. W roku 1957 został mianowany profesorem zwyczajnym. Jako dziekan zreformował programy nauczania; dotychczasowy program realizowany na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej był przejęty z Politechniki Lwowskiej. Jako dziekan wprowadził specjalności, projekty dyplomowe i zlikwidował tzw. absolwentów wiszących.

Od początku swojej pracy dydaktyczno-naukowej zajął się przede wszystkim wykształceniem młodych konstruktorów maszyn elektrycznych i transformatorów; służyły temu wykłady z „Budowy maszyn elektrycznych”, prace dyplomowe, które prowadził oraz liczne skrypty i książki, których prof. Z. Gogolewski był autorem bądź współautorem. Napisał w sumie 8 książek i 7 skryptów, przy czym Jego podręcznik „Napęd elektryczny” doczekał się pięciu wydań, a książka „Transformatory” dwóch wydań w Polsce i jednego w Rumunii. Studenci i inżynierowie w przemyśle do dzisiaj korzystają z tych książek. Był autorem 4 patentów oraz autorem, bądź współautorem 48 artykułów naukowo-technicznych, opublikowanych w Archiwum Elektrotechniki, Rozprawach Elektrotechnicznych, Przeglądzie Elektrotechnicznym, Zeszytach Naukowych Politechniki Śląskiej ELEKTRYKA i innych. Był promotorem 8 przewodów doktorskich i recenzentem 14 prac doktorskich i habilitacyjnych. Brał czynny udział w pracach społecznych, w szczególności w ramach SEP-u we wspomnianych już Komisjach ds. przepisów, był współorganizatorem Oddziału Gliwickiego SEP i w latach 1954-56 jego Prezesem. Był członkiem Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, członkiem Polskiego Komitetu Wielkich Sieci Elektroenergetycznych CIGRE, członkiem Komitetu Elektrotechniki PAN, członkiem Komisji Głównej Elektrotechniki Komitetu Nauki i Techniki. Był członkiem Senatu Politechniki Śląskiej w sześciu kadencjach jako dziekan i jako delegat Wydziału Elektrycznego, był przewodniczącym Komisji Weryfikacyjno-Egzaminacyjnej NOT przeszeregowującej techników o dużym stażu pracy na stopień inżyniera, był wieloletnim przewodniczącym Komitetu Współpracy Uczelni z Przemysłem. Był inicjatorem, organizatorem i przewodniczącym seminariów z maszyn, napędów i urządzeń elektrycznych organizowanego corocznie w latach 1960-66.

Warto zaznaczyć, że prof. Z. Gogolewski był poliglotą - posiadał biegłą znajomość języka rosyjskiego, francuskiego, angielskiego, rumuńskiego i niemieckiego.

Pozwolę sobie zacytować fragment opinii prof. Eugeniusza Jezierskiego z dnia 21.04.56, napisanej w związku z wnioskiem nominacyjnym na tytuł profesora zwyczajnego:

„.....pragnę raz jeszcze zwrócić uwagę na dwie najbardziej charakterystyczne cechy działalności naukowej prof. Z. Gogolewskiego:

- 1) Nadzwyczajną dynamikę tej działalności, czego dowodem jest wykaz prac wykonanych w ostatnich dwóch latach...
- 2) Umiejętność łączenia wiadomości teoretycznych na bardzo wysokim poziomie z wieloletnim doświadczeniem praktycznym. Powoduje to, że wyniki jego pracy naukowej mają zawsze przydatność praktyczną”.

Prof. Tadeusz Zagajewski, jako ówczesny Dziekan Wydziału, z tej samej okazji pisze: „Cechą charakterystyczną prac prof. Z. Gogolewskiego jest jego oparcie się zarówno o teorię jak i praktykę. Czytając jego prace, szybko dochodzi się do przekonania, że są to przerobione i przetrawione przemyślenia i doświadczenia własne, a nie kompilacje zrobione przy biurku”

Życie prof. Z. Gogolewskiego upłynęło w atmosferze wielkiej, systematycznej i wyjątkowej pracy. Był On wymagającym w stosunku do swoich współpracowników, ale jeszcze więcej wymagał od siebie, stale pogłębiając i aktualizując swoje wiadomości. Jego niespożyta energia

życiowa skłoniła Go do podejmowania wielu działań zawodowych, organizacyjnych i społecznych. Istotnym motywem działalności prof. Z. Gogolewskiego był głęboki patriotyzm, który nakazał Mu poświęcić wszystkie siły umiłowanej Ojczyźnie.

Jego największym sukcesem, jako nauczyciela akademickiego, jest liczna rzesza jego wychowanków, konstruktorów maszyn elektrycznych i transformatorów, którą wyszkolił na swoich wykładach, skryptach i książkach. Ludzie ci i ich umiejętności zadecydowali, że wyroby Polskiego przemysłu elektromaszynowego zawsze miały standard światowy, o czym świadczył ich stały eksport między innymi do Stanów Zjednoczonych. Wielu z wychowanków prof. Z. Gogolewskiego inżynierów - napędowców pracowało w przemyśle hutniczym i górnictwie pełniąc tam również odpowiedzialne stanowiska techniczne i administracyjne. Także wielu poświęciło się pracy naukowej dochodzącej do tytułu naukowego profesora.

Osobiście poznałem prof. Z. Gogolewskiego na trzecim roku studiów, kończyłem specjalność, której On był kierownikiem i u Niego w katedrze rozpoczynałem karierę jako nauczyciel akademicki pracując na etacie asystenta i starszego asystenta (1961-66). W mojej ocenie prof. Z. Gogolewski oprócz dużej wiedzy, pracowitości i doświadczenia życiowego był człowiekiem o wysokim poziomie etycznym, był dokładny, a nawet pedantyczny w pracy, był estetą i wymagał tego od nas.

Prof. Z. Gogolewski zmarł 24 października 1969 r. Został pochowany na cmentarzu Lipowym w Gliwicach.

Bibliografia prac opublikowanych przez prof. Z. Gogolewskiego

Książki

1. Gogolewski Z.: Silniki trakcyjne. Związek Przedsiębiorstw Komunikacyjnych 1932, 175 s.
2. Gogolewski Z.: Napęd elektryczny. WNT, wyd. I Warszawa 1952 - 396 s.; wyd. II Warszawa 1956 - 420 s.; wyd. III uzupełnione Warszawa 1961 - 520 s.
3. Gogolewski Z., Kuczewski Z.: Napęd elektryczny. WNT, wyd. IV zmienione Warszawa 1971 - 729 s; wyd. V niezmienione Warszawa 1972.
4. Gogolewski Z., Gabryś W.: Maszyny prądu stałego. Obliczenia, konstrukcja, zagadnienia specjalne. PWT, Warszawa 1960 - 624 s., w tym 220 s. autorskich Z. Gogolewskiego.
5. Jezierski E., Gogolewski Z., Kopczyński Z., Szmit J.: Transformatory. Budowa i projektowanie. WNT, wyd. I 1956 - 420 s., w tym 100 s. autorskich Z. Gogolewskiego; wyd. II zmienione Warszawa 1963 - 750 s., w tym 150 s. autorskich Z. Gogolewskiego.
6. Praca zbiorowa pod red. Kołka W. i Żeleńskiego A. Opracowali: Baran M., Ficki Z., Gogolewski Z., Kołek W., Kubek J., Nehrebecki L., Paszek W., Radecki J., Żeleński A.: Samoczynne załączanie rezerw w elektrowniach cieplnych. Ministerstwo Energetyki, Zarząd Techniki. Wyd. I Warszawa 1955 - 233 s., w tym 33 s. autorskich Z. Gogolewskiego.
7. Gogolewski Z., Paszek W., Gabryś W., Kubek J.: Uszkodzenia maszyn elektrycznych. WNT, Warszawa 1967 - 340 s., w tym 93 s. autorskich Z. Gogolewskiego.
8. Jezierski E., Gogolewski Z., Kopczyński Z., Szmit J.: Transformatoare electrice. Constructie si Proiectare. Editura Tehnica. Bucuresti, 1966 - 740 s., w tym 140 s. autorskich Z. Gogolewskiego.

Skrypty

1. Gogolewski Z.: Projektowanie transformatorów. Wzory, tablice, wykresy. Wyd. I: Bratnia Pomoc Studencka Politechniki Śląskiej, Gliwice 1948; wyd. II poprawione: Akademicka Spółdzielnia Wydawnicza, Gliwice 1950.
2. Gogolewski Z.: Napędy elektryczne. Bratnia Pomoc Studencka Politechniki Śląskiej, Gliwice 1949.
3. Gogolewski Z.: Projektowanie silników asynchronicznych. Wzory, tablice, wykresy. Akademicka Spółdzielnia Wydawnicza, Gliwice 1950.
4. Gogolewski Z., Manitus J.: Projektowanie maszyn prądu stałego. Wzory, tablice, wykresy. Akademicka Spółdzielnia Wydawnicza Politechniki Śląskiej, Gliwice 1951.
5. Gogolewski Z., Gabryś.: Budowa maszyn elektrycznych, cz. I. Projektowanie maszyn prądu stałego. Skrypt dla szkół wyższych, PWN, Łódź 1955.
6. Gogolewski Z., Pluciński M., Kuczewski Z.: Budowa maszyn elektrycznych, cz. II. Projektowanie transformatorów mocy i silników asynchronicznych. Skrypt dla szkół wyższych, PWN, Łódź 1956.
7. Gogolewski Z., Śliwa B.: Budowa maszyn elektrycznych, cz. III. Projektowanie maszyn synchronicznych. Skrypt dla szkół wyższych, PWN, Łódź 1958.

Artykuły naukowo-techniczne

1. Gogolewski Z.: Postępy techniki maszyn elektrycznych we Francji. „Przegląd Elektrotechniczny” (PE) 1923.
2. Gogolewski Z.: O poprawie współczynnika mocy w sieciach fabrycznych. PE 1924.
3. Gogolewski Z.: Silnik asynchroniczny skompensowany (wzmianka). PE 1924.
4. Gogolewski Z.: O mocy silników trakcyjnych o różnych warunkach pracy. PE 1924.
5. Gogolewski Z.: Elektryfikacja fabryki lokomotyw w Chrzanowie. PE 1925.
6. Gogolewski Z.: O możliwościach przemysłu maszyn elektrycznych. PE 1927.
7. Gogolewski Z.: Wykreślny sposób obliczania przekładni transformatorów. PE 1928.
8. Gogolewski Z., Jezierski E.: Badanie izolacji silników trakcyjnych. PE 1928.
9. Gogolewski Z.: O „handlowym” współczynniku sprawności. PE 1932.
10. Gogolewski Z.: O wykreślnej analizie kosztów własnych. Przegląd Organ. 1933.
11. Gogolewski Z.: Transformatory na 150 kV. PE 1934.
12. Gogolewski Z.: Przyszłe drogi rozwojowe przemysłu maszyn elektrycznych. PE 1947.
13. Gogolewski Z.: Norma na transformatory. Objaśnienia do projektu. PE 1947 str. 252-253.
14. Gogolewski Z., Manitius J.: Zagadnienia surowcowe przemysłu maszyn elektrycznych. Życie Gospodarcze nr 9a 1947.
15. Gogolewski Z., Morsztyn K.: Plan rozwoju przemysłu maszyn elektrycznych. PE z. 4/5, 1948.
16. Gogolewski Z., Manitius J.: Straty dodatkowe w uzwojeniach. PE z. 6, 1948.
17. Gogolewski Z.: Maszyny i transformatory na MKWSE 1948. PE z. 4/5/6, 1949.
18. Gogolewski Z.: Sposób obliczenia ręcznego regulatora napięcia do prądnicy prądu stałego. Wiadomości Elektrotechniczne, 1952.
19. Gogolewski Z., Hagel R.: Wykrywanie jonizacji maszyn wysokiego napięcia. „Energetyka” nr 1, 1954.
20. Gogolewski Z., Szmit J.: Transformatory piecowe. PE z. 2/3, 1955.
21. Gogolewski Z., Kardaszewicz J.: Stosowanie charakterystyk statycznych do badania napędów walcowniczych z amplitudami. Wyd. Politechniki Śląskiej 1955, Materiały Sesji Naukowej z okazji 10-lecia Uczelni.
22. Gogolewski Z.: Trzy wypowiedzi na Konferencji Transformatorowej PAN. PE z. 2, 1956.
23. Gogolewski Z.: Wykreślne wyznaczenie wpływu różnych parametrów na zachowanie się silnika asynchronicznego. „Rozprawy Elektrotechniczne” z. 1, 1956.
24. Gogolewski Z.: Zagadnienia konstrukcyjne. Referat generalny w sekcji konstrukcyjnej. Konferencja Transformatorowa PAN, Łódź 1955. PE z. 2, 1956.
25. Gogolewski Z.: Straty dodatkowe w uzwojeniach transformatorów. „Archiwum Elektrotechniki” PAN z. 3, 1957.
26. Gogolewski Z.: Przepięcia na cewkach Petersena. „Energetyka” z. 5, 1957.
27. Gogolewski Z., Kołek W.: Stan obecny rozwoju produkcji krajowej turbogeneratorów. Mat. konferencyjne SEP - PAN 1957.
28. Gogolewski Z.: Awaryjne transformatorów energetycznych. Zeszyt Seminarium Elektromaszynowego Politechniki Śląskiej 1958.
29. Gogolewski Z., Puchała A.: Metoda obliczania optymalnego uzwojenia wielowarstwowego transformatorów. „Archiwum Elektrotechniki” PAN z. 4, 1959.

30. Gogolewski Z.: Turbogeneratory największych mocy. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej ELEKTRYKA nr 6, 1960.
31. Postęp techniczny w przemyśle elektrycznym ciężkim. PE z. 1, 1961.
32. Gogolewski Z.: Sprawozdanie i analiza poglądów różnych krajów na Sesji Kom. CIGRE nr 7 w Londynie 1961. PE z. 6, 1962.
33. Gogolewski Z., Gabrys W.: Badanie oddziaływania magnetycznego wirującego uzwojenia klatkowego przy pomocy uzwojenia prądu stałego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej ELEKTRYKA nr 12, 1962.
34. Gogolewski Z.: Generatory na MKWSE 1960. PE z. 6, 1962.
35. Gogolewski Z.: Kilka uwag o rozbudowie i projektowaniu zakładów naprawczych dla maszyn i transformatorów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej ELEKTRYKA nr 16, 1963.
36. Gogolewski Z.: Aktualna problematyka techniki turbogeneratorów wielkich mocy. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej ELEKTRYKA nr 16, 1963.
37. Gogolewski Z.: Organizacja i technika remontów uzwojeń turbogenerators. Biuletyn Inf. Instytutu Energetyki nr 2, 1955.
38. Gogolewski Z.: Zagadnienia jakości w przemyśle maszyn elektrycznych. Materiały konferencyjne poświęcone jakości produkcji w Zakładach DOLMEL. Wrocław 1962.
39. Gogolewski Z., Wróbel T.: Badania modelowe prądnic indukcyjnych na podwyższonej częstotliwości. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej ELEKTRYKA nr 17, 1964.
40. Gogolewski Z., Bubnicki Z., Różycki A.: Studia nad asymetrią i strumieniem zerowym transformatorów trójfazowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej ELEKTRYKA nr 17, 1964.
41. Gogolewski Z.: Światowy i krajowy postęp budowy turbogeneratorów. PE z. 5, 1964.
42. Gogolewski Z., Wróbel T.: Układ zastępczy modelu fizycznego jako uniwersalny układ zastępczy prądnicy indukcyjnej. Biuletyn WAT nr 5, 1965.
43. Gogolewski Z., Wróbel T.: Geometria strefy czynnej prądnicy indukcyjnej typu Lorenza-Schmidta. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej ELEKTRYKA nr 20, 1966.
44. Gogolewski Z., Rut.R.: Uszkodzenie klatek silników asynchronicznych oraz metody wykrywania przerw w kłatkach. „Wiadomości Elektrotechniczne” nr 7, 1966.
45. Gogolewski Z.: Słowo wstępne do VII Seminarium maszyn, napędów i urządzeń elektrycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej ELEKTRYKA nr 21, 1966.
46. Gogolewski Z.: Turbogeneratory na Międzynarodowej Konferencji Wielkich Sieci Elektroenergetycznych. PE nr 8, 1967.
47. Gogolewski Z.: Historia napędu elektrycznego w Polsce. PE nr 3, 1969.
48. Gogolewski Z.: Gospodarka silnikami elektrycznymi w napędach przemysłowych. „Gospodarka Paliwami i Energią” nr 8, 1969.

Patenty

1. Gogolewski Z.: Pieniek biegunowy silnika szeregowego prądu stałego.
2. Gogolewski Z.: Przepływ powietrza chłodzącego cewki dławikowe w układzie pionowym.
3. Gogolewski Z., Gabrys W.: Maszyna elektryczna prądu stałego z polem poprzecznym. Patent nr 39640, Warszawa 1957.

- Gogolewski Z., Puchała A.: Uzwojenie o minimalnych stratach na ciepło Joule'a do transformatora, cewki prądu zmiennego lub pieca indukcyjnego. Patent nr 43025, Warszawa 1960.

Referaty i koreferaty

- Gogolewski Z., Szmit J.: Instrukcja odbioru dużych transformatorów. Światłokopia Katedry Maszyn Elektrycznych. Politechnika Śląska 1955.
- Gogolewski Z.: Koreferat sekcji konstrukcyjnej na Konferencję Transformatorów PAN. PE nr 5 1955.
- Gogolewski Z.: Koreferat do serii maszyn prądu stałego. Materiały CBKME Katowice 1950-60.
- Gogolewski Z.: Koreferat do serii maszyn synchronicznych wolnobieżnych.
- Gogolewski Z.: Koreferat do założeń turbogenerators 63 MV A. Materiały DOLMEL Wrocław 1960-62.
- Gogolewski Z.: Koreferat do projektu wstępnego turbogenerators 63 MV A. Materiały DOLMEL Wrocław 1961-63.
- Gogolewski Z.: Koreferat do założeń serii turbogenerators 2-25 MV A. Materiały DOLMEL Wrocław.

Artykuły publicystyczne

- Gogolewski Z.: Program budowy maszyn elektrycznych. „Dziennik Gospodarczy” nr 15, 1947.
- Gogolewski Z.: Rola Politechniki Śląskiej w służbie przemysłu. „Po prostu” nr 9, 1950.
- Gogolewski Z.: O planowaniu prac naukowo-badawczych na wyższych uczelniach technicznych. „Życie Szkoły Wyższej” nr 3, 1956.
- Gogolewski Z., Pluciński M.: Projekt eksperymentów. „Życie Szkoły Wyższej” nr 2, 1960.
- Gogolewski Z., Kordecki A.: Prace naukowo-badawcze i nieporozumienia. „Życie Warszawy” nr 236, 7/XI/1961.
- Gogolewski Z., Kordecki A.: Jak kształcić inżynierów. „Dziennik Zachodni” 19/III/1962.
- Gogolewski Z.: Zanim urodził się inżynier. (Wywiad) „Dziennik Zachodni” 1/IV/1962.
- Gogolewski Z., Kordecki A.: Licencje - postęp - własna twórczość naukowo-techniczna. „Życie Warszawy” nr 142, 16/VI/1962.
- Gogolewski Z.: Wyobrażenia i technika. (Udział w wywiadzie) „Dziennik Zachodni” 1963.
- Gogolewski Z., Kordecki A.: Czekamy na Godota. „Dziennik Zachodni” 11/IV/1963.
- Gogolewski Z., Kordecki A.: Z egzaminem - ale zreformowanym. „Życie Warszawy” nr 94, 23/IV/1963.
- Gogolewski Z., Bogucki A.: Senacki Komitet Współpracy Nauki z Przemysłem. „Życie Warszawy” nr 246, 15/X/1963.
- Gogolewski Z., Kordecki A.: Inżynierskie profile. „Życie Warszawy” nr 25, 28/I/1964.
- Gogolewski Z.: Jeden schemat czy mnogość form i treści. „Dziennik Zachodni” 21/V/1964.
- Gogolewski Z., Kordecki A.: Drogi dla oficerów techniki. „Dziennik Zachodni” 26/V/1964.

16. Gogolewski Z.: Z korzyścią dla przemysłu i młodych inżynierów. „Dziennik Zachodni” 16/VI/1964.
17. Gogolewski Z., Bogucki A.: Organizator poszukiwany od zaraz. „Dziennik Zachodni” VII/1964.
18. Gogolewski Z.: O konstruktorach maszyn raz jeszcze. „Dziennik Zachodni” 20/XII/1964.
19. Gogolewski Z.: Aspiracje - ale jakie? „Dziennik Zachodni” 28/II/1965.
20. Gogolewski Z.: Między ziemią a niebem. „Argumenty” 28/III/1965.
21. Gogolewski Z., Śliwa B.: Droga dla nowych inżynierów. „Dziennik Zachodni” 21/XI/1961.
22. Gogolewski Z.: Prawo do satysfakcji. „Dziennik Zachodni” 7/II/1966.
23. Gogolewski Z.: Dydaktyka - humanizacja - politechnizacja. „Dziennik Zachodni” 4/IX/1966.
24. Gogolewski Z.: Jakość, ryzyko, nauka. „Dziennik Zachodni” 27/XI/1966.
25. Gogolewski Z.: Ranga technologii. „Dziennik Zachodni” 8/X/1967.
26. Gogolewski Z.: Siła oddziaływania telewizji. „Dziennik Zachodni” 17/XII/1968.
27. Gogolewski Z.: Sprawozdanie z podróży do ZSRR (Moskwa - Leningrad). Biblioteka Gł. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1958.
28. Gogolewski Z.: Sprawozdanie z pobytu w Lyonie. Biblioteka Gł. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1960.
29. Gogolewski Z.: Sprawozdanie z podróży po Francji. Biblioteka Gł. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1957.

Promotorstwo prac doktorskich

1. Grzywak A.: Stany nieustalone silników asynchronicznych. Politechnika Śląska. Gliwice 1960.
2. Gabrys W.: Wpływ niektórych danych uzwojeniowych na parametry maszyn z polem poprzecznym. Politechnika Śląska, Gliwice 1961.
3. Kuczewski Z.: Analiza układu silnika asynchronicznego z przetwornicą częstotliwości. Politechnika Śląska, Gliwice 1962.
4. Wróbel T.: Prądnicą o podwyższonej częstotliwości. WAT, Warszawa 1964.
5. Markielowski J.: Niektóre problemy silników klatkowych do pracy przerywanej o częstych załączeniach. AGH, Kraków 1964.
6. Kuszłyko R.: Transformator spawalniczy z bocznikiem podmagnesowanym. Politechnika Śląska, Gliwice 1965.
7. Kozieł K.: Silnik histerezowy. WAT, Warszawa 1967.
8. Kelasz J.: Teoria przełączania transformatorów regulacyjnych. Politechnika Łódzka 1968.

Recenzje prac doktorskich i habilitacyjnych

1. Pełczewski W.: Wyznaczenie optymalnych danych silników asynchronicznych zamkniętych. Politechnika Łódzka.
2. Jabłoński M.: Rozproszenie w transformatorach z uwzględnieniem asymetrii. Politechnika Łódzka.

3. Erlicki S.: Wpływ nasycenia na momenty od wyższych harmonicznych.
4. Hejmo W.: Regulacja wyrównywania obciążeń i prędkości bliźniaczego napędu zgniatacza. AGH Kraków.
5. Bajorek Z.: Charakterystyki mechaniczne silnika dwufazowego. AGH Kraków (recenzja doktorska).
6. Paszek W.: Stabilizacja napięcia samowzbudnych generatorów synchronicznych. Politechnika Śląska Gliwice. (recenzja habilitacyjna).
7. Bisztyga K.: Niktóre zagadnienia silnika asynchronicznego przy częstotliwości mniejszej od 10Hz. AGH Kraków.
8. Walentynowicz B.: Wybór silnika elektrycznego z uwzględnieniem kryterium trwałości. Politechnika Warszawska. (recenzja doktorska).
9. Zygmunt J.: Regulacja prędkości obrotowej bezkomutatorowego silnika prądu zmiennego, przy pomocy prostowników sterowanych. Politechnika Śląska Gliwice. (recenzja doktorska).
10. Śliwa A.: Naroża rdzeni z blach anizotropowych. Politechnika Śląska Gliwice 1966. (recenzja doktorska; profesor był konsultantem pracy pełniąc funkcję nieformalnego promotora).
11. Kubek J.: Wpływ nieliniowości charakterystyk szczotek na warunki beziskrowej komutacji. Politechnika Śląska Gliwice. (recenzja doktorska; profesor był konsultantem pracy pełniąc funkcję nieformalnego promotora).
12. Kozłowski M.: Prądy w uzwojeniach transformatora trójfazowego przy symetrycznym zwarciu udarowym jednego z uzwojeń. Politechnika Łódzka.
13. Bajorek Z.: Teoria i podstawy konstrukcji dwufazowej prądnicy tachometrycznej. AGH Kraków. (recenzja habilitacyjna).
14. Sobieszkański S.: Wpływ obciążeń na trwałość transformatorów S/NN. Politechnika Łódzka (recenzja doktorska).

Działalność naukowo-społeczna

1. Wiceprzewodniczący Komitetu Przemysłu Elektrotechnicznego przy Ministrze Przemysłu, 1939.
2. Dziekan Wydziału Elektrycznego Pol. Śląskiej, 1948-52.
3. Członek Senatu Politechniki Śląskiej (6 kadencji).
4. Członek Głównej Komisji Przepisowej SEP w latach 1926-39 i 1946-50.
5. Przewodniczący Komisji Maszyn SEP, 1946-50.
6. Przewodniczący Podkomisji Prób Dielektrycznych SEP, 1928-39.
7. Członek Komisji Maszyn Elektrycznych PKM, 1956-59.
8. Członek Komisji Transformatorów PKM, 1957-59.
9. Przewodniczący Grupy Ekspertów Maszyn Elektrycznych Komitetu Elektrotechniki PAN.
10. Przewodniczący Komisji Studiów Polskiego Komitetu Wielkich Sieci Elektrotechnicznych GENERATORY nr 17.
11. Członek Komitetu Elektryfikacji Polski PAN.
12. Członek Komitetu Elektrotechniki PAN.
13. Członek Rady Technicznej Ministerstwa Przemysłu Ciężkiego.

14. Przewodniczący Zespołu Problemowego 11/30 PAN prac naukowych szczególnie ważnych.
15. Przewodniczący Konferencji Turbogeneratorowej Komitetu Elektrotechniki PAN.
16. Przewodniczący Komitetu Współpracy Politechniki Śląskiej z Przemysłem.
17. Wiceprzewodniczący Komisji Głównej Elektrotechniki Komitetu Nauki i Techniki.
18. Przewodniczący Podkomisji II Komisji Głównej Elektrotechniki Komitetu Nauki i Techniki, 1967.

Nagrody i odznaczenia

1. Złoty Krzyż Zasługi - 1937.
2. Nagroda Państwowa zespołowa III stopnia - 1955.
3. Medal dziesięciolecia PRL - 1955.
4. Krzyż Oficerski Orderu Odrodzenia Polski - 1956.
5. Złota Odznaka Honorowa Stowarzyszenia Elektryków Polskich - 1959.
6. Srebrna Odznaka Zasłużonego w Rozwoju Województwa Katowickiego - 1960.
7. Złota Odznaka XV-lecia Politechniki Śląskiej - 1960.
8. Złota Odznaka Zasłużonego w Rozwoju Województwa Katowickiego - 1962.
9. Nagroda Ministra Szkolnictwa Wyższego, indywidualna, stopnia I - 1963.
10. Honorowa Odznaka ZSP.

Zygmunt KUCZEWSKI
Politechnika Śląska

PROFESOR ZYGMUNT GOGOLEWSKI - PIONIER POLSKIEGO PRZEMYSŁU ELEKTROMASZYNOWEGO

Zainteresowania zawodowe Profesora Zygmunta Gogolewskiego już w czasie studiów na Politechnice Warszawskiej były ukierunkowane na maszyny elektryczne, ich konstrukcję, technologię i zastosowanie. W 1922 roku swoje studia na Wydziale Elektrotechnicznym Politechniki Warszawskiej kończy pracą dyplomową w Katedrze Budowy Maszyn Elektrycznych pod kierunkiem profesora Konstantego Żórawskiego z oceną bardzo dobrą. Studia wyższe rozpoczął w 1915 roku na Wydziale Elektromechanicznym Politechniki Petersburskiej im. Piotra Wielkiego. Chociaż w 1914 roku ukończył polskie gimnazjum klasyczne im. Mikołaja Reja w Warszawie z odznaczeniem „maxima cum laude”, chcąc dostać się na wyższą uczelnię w Rosji musiał po raz drugi w 1915 roku zdawać maturę przed rosyjską komisją państwową. Maturę rosyjską zdał otrzymując jako wyróżnienie „złoty medal”. Pierwsze dwa lata studiów odbył w Petersburgu. Na Politechnice Petersburskiej działało od wielu lat, aż do 1918 roku Polskie Koło Studentów, którego członkiem był również profesor Zygmunt Gogolewski. Warto przypomnieć, że w latach 1902-1904 prezesem Polskiego Koła Studentów na Politechnice Petersburskiej był późniejszy profesor Politechniki Śląskiej - Jan Obrąpalski. I jeszcze jedna dygresja dotycząca tego Koła. Otóż po rozruchach szkolnych w 1905 roku na ziemiach polskich zaboru rosyjskiego, Minister Oświaty Rosji wydał zakaz działania Polskich Kół Studentów na wszystkich wyższych uczelniach Rosji. Rozporządzenie to jednak nie dotyczyło Politechniki Petersburskiej, gdyż uczelnia ta podlegała Ministrowi Skarbu Rosji. Dlatego Polskie Koło Studentów na Politechnice Petersburskiej mogło egzystować tak długo.

Na jesieni 1918 roku po powrocie do Warszawy podejmuje kontynuację studiów na Wydziale Elektrotechnicznym Politechniki Warszawskiej. W owym czasie siedzibą tego wydziału był obecny gmach fizyki Politechniki. Na dzień 8 stycznia 1919 roku Wydział Elektrotechniczny posiada trzech stabilizowanych profesorów. Są to: Mieczysław Pożaryski wykładający podstawy elektrotechniki, prof. Stanisław Odrowąż-Wysocki - urządzenia elektryczne i prof. Konstanty Żórawski - budowę maszyn elektrycznych. Z innych wydziałów na Wydziale Elektrotechnicznym prowadzą wykłady: prof. Ignacy Radziszewski - statyka wykreślna, prof. Zygmunt Straszewicz - wytrzymałość tworzyw, prof. Stanisław Łukasiewicz - dźwignice, prof. Bohdan Stefanowski - termodynamika, prof. Ludwik Szerpl - chemia i prof. Bolesław Tołoczko wykłada maszynoznawstwo. W późniejszych latach 1919-1920 wykłady na Wydziale Elektrotechnicznym Politechniki Warszawskiej podejmują: prof. Juliusz Rudnicki (matematyka), prof. Marian Grotowski (fizyka), prof. Henryk Korwin-Krukowski (technologia

metali), prof. Roman Podoski (tramwaje i koleje elektryczne). Tych wykładów i tych wykładowców słuchał prof. Zygmunt Gogolewski. Taka była podstawowa materia, która ukształtowała naukowo i technicznie prof. Zygmunta Gogolewskiego.

Po ukończeniu Politechniki Warszawskiej prof. Zygmunt Gogolewski za pośrednictwem uczelni uzyskuje ośmiomiesięczną praktykę we Francji w Belfort w zakładach produkujących lokomotywy. Po powrocie z Francji w 1923 roku podejmuje pracę w budującej się fabryce lokomotyw w Chrzanowie przenosząc do polskiego zakładu wiedzę zdobytą we francuskiej fabryce.

W 1921 roku powstało na terenie kraju nowe przedsiębiorstwo pod nazwą „Polskie Zakłady Elektryczne Brown Boveri”. Jego protoplastą było istniejące przed pierwszą wojną światową „Biuro Techniczne inż. Z. Okoniewskiego”. Pierwszą czynnością nowo powstałej Spółki Akcyjnej było zorganizowanie w Polsce produkcji maszyn elektrycznych, które to maszyny były dotychczas sprowadzane z zagranicy, głównie z Niemiec. W Żychlinie koło Kutna w budynku byłej cukrowni zorganizowano fabrykę maszyn elektrycznych, w której rozpoczęto produkcję transformatorów, silników asynchronicznych, silników trakcyjnych prądu stałego, oraz prądnic synchronicznych (np. dla Elektrowni Miejskiej w Tarnowie w latach dwudziestych wybudowano prądnice synchroniczną o mocy 780 kV·A, 5,5 kV, 187 obr/min). W 1926 roku Spółka Akcyjna kupiła „Zakłady Elektromechaniczne ZEM” w Cieszynie (obecna CELMA). W Cieszynie uruchomiono produkcję małych silników prądu zmiennego.

Ponieważ z wykształcenia prof. Zygmunt Gogolewski był konstruktorem maszyn elektrycznych, w 1926 roku podjął pracę w Żychlińskiej Fabryce Maszyn Elektrycznych. Początkowo pracował jako konstruktor i technolog silników trakcyjnych prądu stałego na licencji firmy Brown-Boveri oraz trójfazowych, klatkowych silników asynchronicznych.

W czasie od 16 maja do 30 września 1929 roku zorganizowano w Poznaniu „Powszechną Wystawę Krajową” pod patronatem Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej, a na przewodniczącego Komitetu Honorowego Wystawy poproszono Marszałka Józefa Piłsudskiego. Była to pierwsza wystawa po odzyskaniu niepodległości i miała na celu zobrazowanie życia polskiego we wszystkich jego dziedzinach, ze szczególnym uwzględnieniem dorobku kraju w ostatnich dziesięciu niepodległych latach. Na wystawie tej było również stoisko Żychlińskiej Fabryki Maszyn Elektrycznych, którego kierownikiem był inż. Zygmunt Gogolewski. Na wystawę fabryka w Żychlinie w dużym pośpiechu opracowała i wyprodukowała nowy typ trójfazowego silnika asynchronicznego. Silnik ten jako osiągnięcie polskiego przemysłu elektromaszynowego znalazł się również na stoisku wystawowym, ale miał jedną dość istotną wadę: nie kręcił się po przyłożeniu napięcia. Kierownik stoiska był w stałej obawie, aby któryś ze zwiedzających, szczególnie spośród osób prominentnych, nie wyraził życzenia zademonstrowania pracy nowego silnika, który nie wirował.

W pierwszych pięciu latach swojej pracy w Żychlińskiej Fabryce Maszyn Elektrycznych, tj. w latach 1926-1931, prof. Zygmunt Gogolewski był konstruktorem i projektantem, kierownikiem biura technicznego, a pod koniec zastępcą technicznym dyrektora fabryki. W 1931 roku firma pod nazwą Polskie Zakłady Elektryczne Brown-Boveri zostaje zlikwidowana i w związku z tym inż. Zygmunt Gogolewski traci pracę. Był to okres wielkiego kryzysu światowego, kiedy to wiele firm ogłaszało upadłość, lub też w poważnym stopniu ograniczało swoją produkcję ze względu na mały zbyt produktów. Wkrótce po zwolnieniu z Żychlina podejmuje pracę w rozbudowywanych z inicjatywy ministra przemysłu i handlu inż. Eugeniusza Kwiatkowskiego Zakładach Starachowickich, na stanowisku kierownika biura fabrykacji

pokojowej. W Zakładach Starachowickich pracuje tylko rok. W 1932 roku wraca do ponownie uruchomionej fabryki maszyn elektrycznych w Żychlinie przez firmę Rohn-Zieliński, która podejmuje produkcję transformatorów i maszyn elektrycznych na licencji Brown-Boveri. Obejmuje stanowisko dyrektora technicznego. W następnych latach kieruje również fabryką w Cieszynie, która wchodzi w skład spółki Rohn-Zieliński. Pod koniec lat trzydziestych zostaje dyrektorem technicznym centrali firmy w Warszawie.

Przez cały czas swojej pracy na stanowiskach inżynieryjno-technicznych żywo interesuje się konstrukcją i technologią maszyn elektrycznych. Mając powiązania służbowe z firmą BBC zwiedza wiele fabryk i biur konstrukcyjno - doświadczalnych w Europie zbierając i przenosząc informacje do przemysłu krajowego, a w szczególności nowe rozwiązania i pomysły prowadzące do polepszania jakości i parametrów projektowanych i produkowanych maszyn elektrycznych w Żychlinie i w Cieszynie. Pierwszy okres swojej działalności zawodowej, który można zamknąć w latach 1922-1939, poświęcił praktyce przemysłowej związanej z konstrukcją, projektowaniem, budową i produkcją maszyn elektrycznych, w szczególności dotyczącej transformatorów, silników asynchronicznych i silników trakcyjnych prądu stałego. W okresie tym, tzn. w 1932 roku, zostaje wydana książka autorstwa inż. Zygmunta Gogolewskiego pt. „Silniki trakcyjne”, w której Autor zawarł swoją wiedzę i doświadczenia zdobyte w latach ubiegłych. Ze względu na wąską specjalizację tematyki, oraz brak w kraju większej liczby specjalistów w tej dziedzinie książka nie znalazła większego zbytu na rynku księgarskim i Autor zmuszony warunkami umowy musiał większą część nakładu wykupić.

W tym czasie był również aktywnym członkiem Stowarzyszenia Elektryków Polskich, biorąc udział w trzech komisjach normalizacyjnych dotyczących maszyn elektrycznych.

W latach dwudziestych i trzydziestych polski przemysł zaczął się reorganizować i unowocześniać. W wielu zakładach przemysłowych dopiero zaczynał się proces elektryfikacji, wprowadzając indywidualne napędy elektryczne w miejsce mało sprawnych i kłopotliwych w eksploatacji centralnych napędów elektrycznych, a nawet parowych. W procesie wprowadzania do polskiego przemysłu indywidualnych napędów elektrycznych prof. Zygmunt Gogolewski ma również duże zasługi. W 1937 roku na wniosek wicepremiera RP inż. Eugeniusza Kwiatkowskiego prezydent Ignacy Mościcki nadał inż. Zygmuntowi Gogolewskiemu Złoty Krzyż Zasługi za znaczny i znaczący wkład w rozwój polskiego przemysłu elektromaszynowego. Bardzo aktywną działalność przemysłową przerywa wojna 1939 roku. Zawierucha wojenna spowodowała, że znalazł się w Rumunii jako osoba cywilna. W 1945 roku powrócił transportem repatriacyjnym do kraju. Po powrocie zgłasza się do Ministerstwa Przemysłu oferując swoją wiedzę i wieloletnie doświadczenie w dziedzinie maszyn elektrycznych. We wrześniu 1945 roku Minister Przemysłu mianuje inż. Zygmunta Gogolewskiego dyrektorem technicznym Zjednoczenia Przemysłu Maszyn Elektrycznych z siedzibą w Katowicach. Zjednoczenie mieściło się w budynku przy ul. Mariackiej 23. Z końcem kwietnia 1948 roku Zjednoczenie Przemysłu Maszyn Elektrycznych zostało przeniesione do Warszawy. W przeciągu trzech lat pracy w Zjednoczeniu dyrektor Zygmunt Gogolewski zdołał uruchomić szereg zakładów produkujących maszyny elektryczne. Ruszył Żychlin i Cieszyn, powstały nowe zakłady produkujące maszyny elektryczne w Bielsku, Katowicach, Mikołowie, Brzegu i Gliwicach. Był promotorem lokalizacji nowych zakładów maszyn elektrycznych we Wrocławiu i w Tarnowie.

Aby wykorzystać dla przemysłu elektromaszynowego kadrę specjalistów, jaka pozostała w Katowicach po rozwiązaniu Zjednoczenia Przemysłu Maszyn Elektrycznych, w styczniu

1949 roku zostało powołane w Katowicach Centralne Biuro Konstrukcji Maszyn Elektrycznych zlokalizowane w dawnym budynku Zjednoczenia, tzn. przy ul. Mariackiej 23. Na dyrektora naczelnego minister powołał z dniem 1 stycznia 1949 roku prof. Zygmunta Gogolewskiego. Równoległe z pracą w przemyśle elektromaszynowym w lutym 1946 roku podjął pracę na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej na stanowisku profesora i kierownika Katedry Urządzeń Elektrycznych. Jednocześnie uzyskał tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego. Pierwszymi współpracownikami naukowymi w Katedrze Urządzeń Elektrycznych byli: adkt inż. Stefan Janiczek oraz mł. as. Zbigniew Zgodziński. Prof. Zygmunt Gogolewski prowadził dwa wykłady, na trzecim roku studiów wykład z transformatorów w wymiarze 3 godzin tygodniowo i na czwartym roku wykład z napędu elektrycznego w wymiarze 3 godzin tygodniowo. Oprócz tego był członkiem Komisji Egzaminu Dyplomowego. W 1948 roku Rada Wydziału Elektrycznego wybrała na stanowisko dziekana prof. Zygmunta Gogolewskiego. Funkcję tę pełnił przez cztery lata do 1952 roku. Nowo powołany dziekan miał do rozwiązania dwie ważne sprawy dotyczące wydziału. Sprawa pierwsza to reforma studiów. Dotychczas obowiązujący program studiów na Wydziale Elektrycznym był prawie w całości oparty na programie, jaki obowiązywał do 1939 roku na Oddziale Elektrotechnicznym Wydziału Mechanicznego Politechniki Lwowskiej. Program ten przewidywał podział Oddziału Elektrotechnicznego na dwie grupy prądów silnych i prądów słabych. Na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej grupy te przyjęły nazwy energetyczna i telekomunikacyjna. W 1949 roku dziekan prof. Zygmunt Gogolewski zreformował program studiów dla grupy energetycznej wprowadzając podział na trzy specjalności: konstrukcyjną, sieci elektrycznych i napędów w górnictwie i hutnictwie. Początkowo programy na poszczególnych specjalnościach różniły się tylko pracami projektowymi. Sprawa druga, którą musiał rozwiązać dziekan, dotyczyła dużej grupy studentów którzy wysłuchali wszystkich wykładów, ale którym do ukończenia brakowało paru egzaminów, no i egzaminu dyplomowego. Byli to studenci, którzy podjęli pracę w przemyśle lub szkolnictwie na stanowiskach inżynierskich i nie bardzo kwapili się z ukończeniem studiów. Była to grupa ponad stu osób. Każdy z zalegających studentów pod rygorem skreślenia został zobowiązany do złożenia na ręce dziekana szczegółowego harmonogramu ukończenia studiów. Ci z absolwentów, którzy mieli zdane gros egzaminów i zaliczone projekty, mogli w trybie przyspieszonym i przy zmniejszonym zakresie wymagań uzyskać tytuł inżyniera zawodowego, który to tytuł został wprowadzony do polskich politechnik w 1948 roku. Energiczne i stanowcze działania dziekana prof. Zygmunta Gogolewskiego doprowadziły do pomyślnego rozwiązania sprawy zalegających dyplomantów.

Pomimo wielu obowiązków tak na uczelni, jak i w przemyśle prof. Zygmunt Gogolewski, zdając sobie sprawę z poważnych braków w dziedzinie pomocy naukowych dla studentów, napisał i przekazał do druku Komisji wydawniczej Bratniej Pomocy Studentów Politechniki Śląskiej szereg skryptów do wydrukowania, i tak:

- w 1948 roku - Projektowanie transformatorów, nakład 1000 egz.
- w 1949 roku - Napędy elektryczne, nakład 1000 egz.
- w 1950 roku - Projektowanie silników asynchronicznych, nakład 1000 egz.
- w 1951 roku, we współautorstwie z prof. Janem Maniusem, Projektowanie maszyn prądu stałego, nakład 1 000 egz.

Jak wspomniano, prof. Zygmunt Gogolewski od stycznia 1949 roku, równolegle do pracy na Politechnice Śląskiej, pracował w przemyśle na stanowisku dyrektora naczelnego Centralnego Biura Konstruktoryjnego Maszyn Elektrycznych w Katowicach. Stanowisko to piastował tylko do marca 1950 roku, gdyż został z tego stanowiska zwolniony w trybie nagłym. Przyczyny zwolnienia sięgają okresu przedwojennego. W latach trzydziestych był dyrektorem technicznym spółki Rohn-Zieliński, do której oprócz Żychlińskiej fabryki należała fabryka w Cieszynie (obecnie CELMA). W 1936 roku w cieszyńskiej fabryce zorganizowano strajk o charakterze polityczno-ekonomicznym. Strajk był zorganizowany przez komunistycznych działaczy pracujących w fabryce pod przewodnictwem ślusarza Franciszka Waniółki. Rozmowy z komitetem strajkowym z ramienia Spółki Rohn-Zieliński prowadził dyrektor Zygmunt Gogolewski. W latach 1949-1952 Franciszek Waniółka został sekretarzem ekonomicznym Komitetu Wojewódzkiego PZPR w Katowicach. Gdy dowiedział się, że prof. Zygmunt Gogolewski jest dyrektorem CBKME w Katowicach, spowodował jego zwolnienie w trybie nagłym nazywając go „wrogiem klasy robotniczej”. W ten sposób z przemysłu elektromaszynowego został usunięty człowiek o dużej wiedzy i dużym doświadczeniu konstrukcyjno-technologicznym. Wiem, że również na rektora Politechniki Śląskiej były wywierane naciski, aby z uczelni usunąć „wroga klasowego”. Rektor poinformował Komitet Wojewódzki, że nie widzi podstaw zwolnienia prof. Zygmunta Gogolewskiego z Politechniki Śląskiej.

W lutym 1950 roku na wniosek Rady Wydziału Elektrycznego została powołana Katedra Budowy Maszyn Elektrycznych, której kierownikiem został prof. Zygmunt Gogolewski. W skład Katedry Budowy Maszyn Elektrycznych na dzień 1 października 1950 roku wchodził: adkt mgr inż. Jan Manitiusz, adkt. mgr inż. Mieczysław Pluciński, st.as. mgr inż. Jerzy Kadakszewicz, as. mgr inż. Zbigniew Zgodziński, mł. as. Zygmunt Kuczewski. Nowo powstała Katedra prowadziła specjalność konstrukcyjną w grupie energetycznej. Kierownictwo Katedry Urzędzeń Elektrycznych objął zastępca profesora mgr inż. Lucjan Nehrebecki, ówczesny dyrektor Elektrowni Górnośląskich.

Pomimo dużego obciążenia dydaktycznego i organizacyjnego w 1952 roku wydaje w Państwowym Wydawnictwie Technicznym swoją drugą książkę pt. „Napęd elektryczny” w nakładzie 4000 egzemplarzy. Jest to pierwsza monografia w języku polskim na temat zastosowania i metod eksploatacji wirujących maszyn elektrycznych. Drugie wydanie tej książki pod tym samym tytułem, ale o treści zmienionej i uzupełnionej ukazuje się również w Państwowym Wydawnictwie Technicznym w 1956 roku w nakładzie 5000 egzemplarzy.

W 1956 roku dotychczasowy kierownik Katedry Maszyn Elektrycznych Politechniki Śląskiej prof. dr inż. Władysław Kołek przechodzi do Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie i prof. Zygmunt Gogolewski obejmuje kierownictwo tej katedry. Dotychczasowa Katedra Budowy Maszyn Elektrycznych w zaistniałej sytuacji zostaje przemianowana na Katedrę Elektryfikacji Zakładów Przemysłowych i jej kierownictwo obejmuje prof. Jan Obrąpalski.

Bardzo dobrze układała się współpraca prof. Zygmunta Gogolewskiego z Katedrą Maszyn i Transformatorów Politechniki Łódzkiej, a w szczególności z jej kierownikiem prof. Eugeniuszem Jezierskim. Z prof. Jezierskim prof. Gogolewski współpracował jeszcze przed wojną. Prof. Jezierski był przed 1939 rokiem kierownikiem stacji prób i badań w Fabryce Maszyn Elektrycznych w Żychlinie. Współpraca ta zaowocowała wspólnie wydaną książką pt. „Transformatory, budowa i projektowanie” wydaną przez Państwowe Wydawnictwa Techniczne w 1956 roku. Autorami tej monografii byli prof. Eugeniusz Jezierski, prof. Zygmunt

Gogolewski, mgr inż. Zbigniew Kopczyński (z ELTY w Łodzi) i mgr inż. Jerzy Szmít (z CBKME w Katowicach). Książka została wydana w nakładzie 4000 egzemplarzy.

Z początkiem lat pięćdziesiątych prof. Zygmunt Gogolewski zaproponował współpracownikom swojej Katedry Budowy Maszyn Elektrycznych zredagowanie i wydanie kilkutomowego skryptu dotyczącego metod projektowania transformatorów i wirujących maszyn elektrycznych. Zespół autorów składał się z doświadczonych projektantów i konstruktorów którzy wiele lat przepracowali w Centralnym Biurze Konstrukcji Maszyn Elektrycznych w Katowicach i w zakładach produkcyjnych przemysłu elektromaszynowego. Był to zespół reprezentujący szkołę maszyn elektrycznych prof. Zygmunta Gogolewskiego. Czterotomowy skrypt został wydany przez Państwowe Wydawnictwa Naukowe w latach 1955-1959.

- Część I „Budowa maszyn elektrycznych. Projektowanie maszyn prądu stałego”, autorzy: Zygmunt Gogolewski, Wiesław Gabrys.
- Część II „Budowa maszyn elektrycznych. Projektowanie transformatorów mocy i silników asynchronicznych”, autorzy: Zygmunt Gogolewski, Mieczysław Pluciński, Zygmunt Kuczewski.
- Część III „Budowa maszyn elektrycznych. Projektowanie maszyn synchronicznych”, autorzy: Zygmunt Gogolewski, Bronisław Śliwa.
- Część IV „Budowa maszyn elektrycznych. Technologia wytwarzania”, autor Mieczysław Pluciński.

W marcu 1957 roku prof. Zygmunt Gogolewski w uznaniu zasług dla nauki polskiej, utworzenia śląskiej szkoły maszyn elektrycznych i kształcenia kadry naukowo-technicznej uzyskał tytuł naukowy profesora zwyczajnego. Przez szereg lat prof. Zygmunt Gogolewski był delegatem Rady Wydziału Elektrycznego do Senatu Politechniki Śląskiej.

W połowie lat pięćdziesiątych na wniosek Naczelnej Organizacji Technicznej powołano na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej Komisję Weryfikacyjno-Egzaminacyjną na Stopień Inżyniera Elektryka. Przewodniczącym Komisji został prof. Zygmunt Gogolewski. Komisja została uprawniona do nadawania stopnia inżyniera zawodowego pracownikom przemysłowym z wieloletnim stażem i o określonych osiągnięciach zawodowych w elektro-technice, którzy mieli ukończoną średnią szkołę techniczną.

W 1955 roku prof. Zygmunt Gogolewski brał udział w zespole naukowym opracowującym zagadnienie samoczynnego załączenia rezerw w elektrowniach ciepłych. Praca ta uzyskała zespołową Nagrodę Państwową III stopnia, a jej wyniki zostały opublikowane w Wydawnictwie Ministerstwa Energetyki.

W 1960 roku Państwowe Wydawnictwa Naukowe wydały książkę pt. „Maszyny prądu stałego. Obliczenia, konstrukcja, zagadnienia specjalne” autorstwa prof. Zygmunta Gogolewskiego i adkt. Wiesława Gabrysia. Nakład wynosił 3000 egzemplarzy.

W 1961 roku Wydawnictwa Naukowo-Techniczne wydały trzecie, uzupełnione wydanie książki pt. „Napęd elektryczny” autorstwa prof. Zygmunta Gogolewskiego o nakładzie 5000 egzemplarzy.

W 1963 roku Państwowe Wydawnictwa Techniczne wydrukowały drugie wydanie książki pt. „Transformatory, budowa i projektowanie”, której prof. Zygmunt Gogolewski był współautorem.

Prof. Zygmunt Gogolewski był inicjatorem i organizatorem corocznych seminariów maszyn elektrycznych i napędu elektrycznego w latach 1958-1964, na których pracownicy naukowcy uczelni i pracownicy przemysłu prezentowali swoje osiągnięcia naukowe. SeminaRIA odbywały się zawsze w maju. Ponieważ również w maju na uczelni były organizowane przez młodzież studencką „Juwenalia”, seminaria prof. Zygmunta Gogolewskiego żartobliwie nazywano „Gogonaliami”.

Z końcem lat pięćdziesiątych Senat Politechniki Śląskiej powołał prof. Zygmunta Gogolewskiego na przewodniczącego Komitetu Współpracy Uczelni z Przemysłem. Przez wszystkie lata pracy na Uczelni związki prof. Zygmunta Gogolewskiego z przemysłem były bardzo bliskie. Między innymi brał udział w wielu ekspertyzach technicznych maszyn i napędów elektrycznych w hutach, kopalniach, elektrowniach, zakładach chemicznych i w innych zakładach. Można wymienić następujące ważniejsze prace:

- rozruch napędu i sterowania walcowni zgniatacza w Nowej Hucie (obecnie Huta Sendzimir),
- odbiór i rozruch głównej stacji transformatorowej w Nowej Hucie,
- badania odbiorcze i rozruch transformatorów piecowych w Karbidowni Zakładów Chemicznych w Oświęcimiu,
- pomiarowa weryfikacja jakości izolacji turbogeneratorów i silników asynchronicznych dużej mocy,
- ekspertyzy poawaryjne transformatorów, silników elektrycznych i turbogeneratorów.

Przed przejściem na emeryturę zainicjował wydanie monografii pt. „Uszkodzenia maszyn elektrycznych”. Książka ta została napisana przez zespół: Zygmunt Gogolewski, Władysław Paszek, Wiesław Gabrys i Jerzy Kubek i wydana przez Wydawnictwa Naukowo-Techniczne w 1967 roku w nakładzie 3715 egzemplarzy. Była to publikacja podsumowująca wieloletnie doświadczenia zespołu maszynowców współpracujących z prof. Zygmuntem Gogolewskim.

Również inspirował swoich współpracowników do pisania i wydawania ciekawych i potrzebnych monografii z maszyn elektrycznych. W „Przedmowie” do pierwszego wydania książki Antoniego M. Plamitzera z 1962 roku pt. „Maszyny elektryczne” czytamy słowa autora: „Sugestia opracowania tej książki pochodzi od prof. Z. Gogolewskiego, kierownika Katedry Maszyn Elektrycznych Politechniki Śląskiej. Jemu też składam gorące podziękowania za trud związany z przeczytaniem rękopisu i liczne, cenne uwagi.”

Pierwszego października 1966 roku, po dwudziestoletniej pracy na Wydziale Elektrycznym, prof. Z. Gogolewski przechodzi na emeryturę. Przejście na emeryturę i odejście z Katedry Maszyn Elektrycznych było tym boleńsze dla prof. Zygmunta Gogolewskiego, że będąc już emerytem, nie mógł nawet na prawach gościa odwiedzać swojej dawnej katedry.

W listopadzie 1966 roku została podpisana umowa wydawnicza pomiędzy Wydawnictwem Naukowo-Technicznym w Warszawie a dwoma autorami w osobach prof. Zygmunta Gogolewskiego i dra Zygmunta Kuczewskiego na napisanie książki pt. „Napęd elektryczny. Wydanie IV.”. W stosunku do wydania III z 1961 roku książki pod tym samym tytułem, wydanie IV miało być przeredagowane, a teksty na nowo opracowane miały przekraczać 50% objętości całości.

Przewidywano wprowadzenie nowych działów, szczególnie dotyczących dynamiki i automatyki napędu elektrycznego. 23 sierpnia 1969 roku WNT powiadomiło autorów o przyjęciu pracy do druku. Czwarte przerobione i uzupełnione wydanie książki „Napęd elektryczny” dwuosobowego autorstwa ukazało się w księgarniach w 1971 roku w nakładzie 5000 egzemplarzy już po śmierci prof. Zygmunta Gogolewskiego. W 1972 roku WNT wypuściło na rynek piąte niezmienione wydanie książki „Napęd elektryczny” w nakładzie 10000 egzemplarzy. Monografia pt. „Napęd elektryczny” ukazała się w wydaniu skryptowym i w pięciu wydaniach książkowych o łącznym nakładzie 30000 egzemplarzy. Na krajowym rynku księgarskim jest to rzadki przypadek, aby monografia techniczna o wąskim zakresie specjalizacyjnym rozeszła się w tak wielu egzemplarzach. Fakt ten mówi o dużym zapotrzebowaniu na tego rodzaju publikację wśród społeczności technicznej kraju.

Prof. Zygmunt Gogolewski wydał znaczną liczbę skryptów i książek. Był bardzo wydajnym autorem, co wśród naukowców techników, szczególnie elektrotechników jest przypadkiem nieczęsto spotykanym. Publikacje książkowe lub skryptowe Jego autorstwa lub współautorstwa ukazują się prawie corocznie, a nawet w latach 1955 i 1956 po dwie i trzy monografie.

Dla przypomnienia i rekapitulacji w sposób skondensowany można podać lata, w których ukazywały się jego autorstwa lub współautorstwa monografie: 1932 r., 1948 r., 1949 r., 1950 r., 1951 r., 1952 r., 1955 r.- 3, 1956 r.- 2, 1958 r., 1960 r., 1961 r., 1963 r., 1967 r., 1971 r., 1972 r.

Oprócz książek i skryptów publikował swoje prace w czasopismach naukowo-technicznych. W latach 1923-1969 opublikował jako autor lub współautor około 50 artykułów dotyczących transformatorów, maszyn elektrycznych i napędów elektrycznych w takich czasopismach, jak „Rozprawy Elektrotechniczne”, „Archiwum Elektrotechniki”, „Energetyka”, „Przegląd Elektrotechniczny”, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej ELEKTRYKA i inne.

Poświęcił wiele czasu i uwagi wychowaniu i kształceniu młodej kadry naukowej. Od 1950 roku organizował cotygodniowe katedralne zebrania-seminaria, w których uczestniczyli wszyscy pracownicy naukowo-dydaktyczni jego katedry, na których referowano prace własne, fragmenty prac doktorskich oraz wyniki ciekawszych prac wykonywanych dla przemysłu. Wypromował 8 doktorów nauk technicznych, z czego trzech uzyskało tytuły naukowe profesorów. Recenzował 15 prac doktorskich i habilitacyjnych z innych ośrodków naukowych.

Przez wiele lat był członkiem Komitetu Elektrotechniki Polskiej Akademii Nauk, a w latach sześćdziesiątych aktywnie działał w Komisji Głównej Elektrotechniki Komitetu Nauki i Techniki w Warszawie. Brał udział w pracach Komisji Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Polskiego Komitetu Normalizacyjnego oraz Polskiego Komitetu Wielkich Sieni Elektroenergetycznych CIGRE.

Za położone zasługi dla polskiej elektrotechniki, a w szczególności dla krajowego przemysłu elektromaszynowego, został w 1956 roku odznaczony Krzyżem Oficerskim Orderu Odrodzenia Polski. Otrzymał również, między innymi, Złotą Odznakę Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Honorową Odznakę Stowarzyszenia Wychowanków Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej. W 1963 roku otrzymał indywidualną nagrodę I stopnia Ministra Szkolnictwa Wyższego.

Od studiów aż do ostatnich swoich dni prof. Zygmunt Gogolewski poświęcił swoje siły i swoje zdolności maszynom elektrycznym. Pierwsze lata jego działalności technicznej wiązały się z zagadnieniami konstrukcyjno-technologiczno-produkcyjnymi. Okres ten zamyka się

w latach 1922-1950. Drugi okres po 1950 roku wiąże się z przekazywaniem swojego doświadczenia i wiedzy młodszemu pokoleniu. Tak w pierwszym, jak i w drugim okresie miał poważne osiągnięcia wywierając swoją indywidualnością i wiedzą poważny wpływ na rozwój krajowego przemysłu elektromaszynowego i na rozwój kadry naukowej i produkcyjno-technicznej związanej z tym przemysłem. Napisane i wydane książki oraz artykuły w czasopiśmie naukowo-technicznych propagowały nowoczesne idee i trendy w maszynach i napędach elektrycznych. Swoją wieloletnią i konsekwentną działalnością naukowo-dydaktyczną i organizacyjną stworzył śląską szkołę maszyn i napędów elektrycznych, która oddziaływała również na inne ośrodki naukowe. Miejmy nadzieję, że szkoła ta będzie dalej rozwijała się pomyślnie ku chwale Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej.

Wieloletnia praca i wybitne osiągnięcia.

Jednym z Polaków uwzględniając w publikacjach międzynarodowych i krajowych
przebiegiem kariery naukowej.

Nasze produkty elektrotechniczne i maszynowe są:

- w systemach elektrycznych i maszyn i napędów elektrycznych
- w systemach mechanicznych i hydraulicznych
- w systemach i urządzeniach automatyki
- w systemach sterowania
- w systemach pomiaru i kontrolnych
- w systemach maszyn i napędów elektrycznych



NASZE PRODUKTY
WYTWARZANE SĄ
W SYSTEMIE
ISO 9002

Mirosław I. DĄBROWSKI
Politechnika Poznańska

WKŁAD ZYGMUNTA GOGOLEWSKIEGO W ROZWÓJ MASZYN ELEKTRYCZNYCH

Zawrotny rozwój przemysłu maszyn elektrycznych w Polsce, jaki nastąpił po 1947 r. i utrzymał się przez niemal czterdzieści lat, nie byłby możliwy bez twórczej działalności wielu pracowników nauki, projektantów oraz organizatorów produkcji. Jako szczęśliwy zbieg okoliczności, sprzyjający temu rozwojowi, należy uznać uratowanie się po zawierusze wojennej grona niezwykle ofiarnych, obdarzonych wyobraźnią i inwencją twórczą ludzi zdolnych jednocześnie działać w obszarze nauki oraz współpracować w budowie przemysłu na dużą skalę. Do ich grona - obok Eugeniusza Jezierskiego, Andrzeja Kordeckiego, a później także Tadeusza Śliwińskiego i wielu innych - należał Zygmunt Gogolewski.

Ten krótki przyczynek jest poświęcony głównie przypomnieniu wkładu Zygmunta Gogolewskiego w rozwój przemysłu maszyn elektrycznych i transformatorów. Autor uczestnicząc od początku lat pięćdziesiątych w naradach organizowanych przez powstałe w grudniu 1948 r. Centralne Biuro Konstrukcyjne Maszyn Elektrycznych w Katowicach, a następnie po 1959 r. - przez Zakłady Konstrukcyjno-Doświadczalne Maszyn Elektrycznych, a także pracując jako konstruktor w Zakładach Maszyn Elektrycznych i Transformatorów M-1 w Żychlinie, wielokrotnie miał możność ten wkład stwierdzać. Współpraca i przyjaźń prof. Gogolewskiego z prof. Jezierskim pozwoliły poznać Go osobiście w Katedrze Maszyn Elektrycznych i Transformatorów Politechniki Łódzkiej.

Pracę w przemyśle maszyn elektrycznych rozpoczął inż. Z. Gogolewski w 1926 r. jako konstruktor w fabryce w Żychlinie. Był to początkowy rozwój tych zakładów powstałych z inicjatywy inż. Zygmunta Okoniewskiego, od wielu lat utrzymującego handlowe kontakty z firmą Société Anonyme Brown, Boveri a Cie Baden w Szwajcarii.

Inżynier Okoniewski zdołał przekonać zarząd koncernu BBC, żeby kierowane przez niego przedstawicielstwo w Warszawie przekształcić w poważny zakład przemysłowy. W wyniku działań powstały w 1921 roku Polskie Zakłady Elektryczne Brown-Boveri SA oraz w tym samym roku stworzone zostały warunki uruchomienia fabryki maszyn elektrycznych w Żychlinie na terenie nieczynnej od kilku lat cukrowni Walentynów, ale dopiero w 1923 r. podjęto w tej fabryce produkcję - początkowo tylko silników indukcyjnych niskiego napięcia.

Z. Gogolewski - trzydziestoletni wówczas inżynier, który rozpoczął studia na Politechnice Petersburskiej, a ukończył je przed czterema laty na nowo utworzonym Wydziale

Elektrotechnicznym Politechniki Warszawskiej - okazał się w 1926 r. bardzo zdolnym i twórczym pracownikiem. Mimo stosunkowego krótkiego stażu przemysłowego - od 1923 do 1926 w powstającej fabryce lokomotyw w Chrzanowie - bardzo szybko rozwinął produkcję, tak że już w 1928 r. Zakład w Żychlinie wytwarzał silniki o mocy do kilkuset kW, maszyny prądu stałego o mocy do kilkudziesięciu kW, silniki do napędu tramwajów, prądnice synchroniczne wolnobieżne o prędkości obrotowej 125+250 obr/min i mocy do kilkuset kW, a także transformatory olejowe o mocy do 300 kV·A. Fabryka w Żychlinie oraz uruchomiona trzy lata wcześniej fabryka w Cieszynie zatrudniały w 1929 r. 1350 pracowników, a całkowity personel PZE Brown-Boveri SA liczył niemal 1800 osób [8]. Zygmunt Gogolewski szybko awansował zostając, w kilka miesięcy po zatrudnieniu, szefem Biura Technicznego, a w 1928 r. zastępcą dyrektora do spraw technicznych fabryki w Żychlinie. Swoje poglądy na potrzebę rozwoju przemysłu maszyn elektrycznych w Polsce przedstawił w pierwszej na ten temat publikacji [1]. Światowy kryzys gospodarczy zahamował rozwój fabryki i doprowadził do upadłości PZE Brown-Boveri SA w 1932 r.

Pod koniec 1932 r. nastąpiło porozumienie między firmą Rohn, Zieliński i Spółka SA w Warszawie z koncernem BBC w Baden co do nabycia fabryki w Żychlinie i utworzenia nowej firmy pod nazwą: „Zakłady Elektromechaniczne Rohn-Zieliński, Spółka Akcyjna, Licencja Brown-Boveri”. Zygmunt Gogolewski uczestniczy w tworzeniu nowego przedsiębiorstwa i obejmuje stanowisko dyrektora technicznego jej centrali w Warszawie. W końcu marca 1933 r. przyczynia się do ponownego uruchomienia produkcji w fabryce w Cieszynie, która także została zakupiona przez ZE Rohn-Zieliński. W latach od 1933 do 1939 r., a zwłaszcza po 1935r., kiedy wraz z inż. Stanisławem Skibińskim oraz Karolem Tomankiem tworzy trzyosobowy dyrektoriat, Jego działalność jest szczególnie intensywna i twórcza. Ujawnia się przy tym ogromny talent organizacyjny Z. Gogolewskiego oraz umiejętność w doborze współpracowników oraz zgodnego z nimi współdziałania. Bardzo wzmocniona zostaje obsada kierowniczych stanowisk w Żychlinie i w Cieszynie oraz tworzy On biuro techniczne przy ul. Bielańskiej 6 w Warszawie zatrudniające aż ok. trzydziestu inżynierów, z których wielu zapisało się twórczymi osiągnięciami w nauce oraz w przemyśle. To Z. Gogolewski zaangażował do pracy w Żychlinie m.in. przyszłego profesora Politechniki Łódzkiej Eugeniusza Jezierskiego, przyszłego dyrektora technicznego i doktora nauk technicznych Zbigniewa Kratochwila, przyszłego twórcę wielu nowych odmian maszyn elektrycznych Jerzego Szmita. W Biurze Technicznym w Warszawie zatrudnieni zostali m.in. przyszli profesorowie Politechniki Warszawskiej: Bolesław Dubicki, Włodzimierz Kotelewski, Jerzy Lando, przyszli organizatorzy nowoczesnego przemysłu: Wilhelm Smoluchowski, Edward Turowski, Leszek Zienkowski. Na wymienienie zasługują także wszyscy pozostali, z którymi Z. Gogolewski prowadził wnikliwe rozmowy przed zaangażowaniem. W tym czasie zajmował się On głównie dwoma zagadnieniami, tj. rozwojem transformatorów wysokiego napięcia oraz rozwojem specjalnych maszyn prądu stałego. W obu tych wyrobach fabryka w Żychlinie miała bardzo duże osiągnięcia. Tam bowiem wyprodukowano w latach 1937-38 transformatory o mocy 25 MV·A na najwyższe wówczas napięcie 150 kV. Transformatory zamówiło Zjednoczenie Elektrowni Okręgu Radomsko-Kieleckiego dla potrzeb linii przesy-

łowej Mościce-Starachowice-Warszawa uruchamianej w związku z rozbudową Centralnego Okręgu Przemysłowego - największej inwestycji przemysłowej w II Rzeczypospolitej.

Drugim znanym osiągnięciem, któremu bezpośrednio patronował Z. Gogolewski, było wyprodukowanie w Żychlinie kilku typów specjalnych maszyn prądu stałego (prądnic, silników, przetwornic) do wyposażenia łodzi podwodnej „Sep”. Poniższa fotografia z 1938 r. przedstawia kierownictwo centrali Zakładów Elektromechanicznych Rohn-Zieliński w Warszawie oraz kierownictwo fabryki w Żychlinie skupione przy pierwszym dwutwornikowym wirniku przetwornicy typu GGCUB/750/8.



Kierownictwo Zakładów Elektromechanicznych Rohn-Zieliński SA Licencja Brown-Boveri oraz fabryki w Żychlinie.

W pierwszym rzędzie od lewej stoją: inż. Wacław Ciepłowski - dyrektor Fabryki w Żychlinie, Karol Tomanek - dyrektor ds. handlowych w Centrali, inż. Stanisław Skibniewski - przewodniczący trójosobowego dyrektoriatu w Centrali, inż. Zygmunt Gogolewski - dyrektor ds. technicznych w Centrali, H. Panek - szef biura ruchu w Żychlinie, J. Michel - szef wydziału transformatorów w Żychlinie, inż. Eugeniusz Jezierski - szef stacji prób w Żychlinie. W drugim rzędzie od lewej stoją: Stanisław Woyda - szef produkcji transformatorów w Żychlinie, Edward Ciepłowski - kierownik działu uruchomień i reklamacji w Żychlinie, inż. Edward Turowski - kierownik działu maszyn prądu zmiennego w Żychlinie, inż. Jerzy Szmít - kierownik biura technicznego w Żychlinie, Królikowski - główny księgowy w Żychlinie.

Zygmunt Gogolewski zajmował się nie tylko rozwojem produkcji maszyn elektrycznych i transformatorów - angażował się w rozbudowę całego przemysłu elektrotechnicznego. Najdobitniej dał temu wyraz na XI Walnym Zjeździe Stowarzyszenia Elektryków Polskich, który odbył się w 1939 r. w Katowicach. Wygłosił tam jeden z głównych referatów nt. „Widoki rozwoju przemysłu elektrotechnicznego w Polsce” [3]. Wskazał w nim na znacznie szybszy rozwój tego przemysłu - ponad 3,7-krotny w ciągu 10 lat - niż innych gałęzi wytwórczości. Ubolewał nad tym, że wydajność tego przemysłu jest w Polsce mniejsza niż np. w Niemczech, gdzie produkcję na jednego robotnika oceniał jako 1,4 razy większą. Ambitne plany rozwoju

przemysłu zaczął inżynier Gogolewski realizować już w 1939 r., podejmując m.in. decyzje o rozbudowie i nowym wyposażeniu fabryki w Cieszynie [10]. W dużej mierze Jego zasługą był ogromny wzrost zysków spółki Zakłady Elektromechaniczne Rohn-Zieliński, które w 1933 r. wynosiły 4831,- zł a w 1938 r. aż 794 213,- zł.

Niestety, zbliżający się wybuch wojny przekreślił realizację tych zamierzeń i skłonił Z. Gogolewskiego w ostatnich dniach sierpnia 1939 do zajęcia się zabezpieczeniem mienia, dokumentacji oraz szczególnie cennego wyposażenia technologicznego. Zorganizowana przez Niego ewakuacja wyposażenia fabryki w Cieszynie i jego ukrycie przed okupantem w Lublinie nie powiodły się [10]. Wkrótce sam w trosce o bezpieczeństwo musiał opuścić Polskę. Schronił się w Rumunii, gdzie uzyskiwał pomoc ze strony tamtejszego przedstawicielstwa koncernu BBC.

Natychmiast po wyzwoleniu części ziem polskich Z. Gogolewski wraca do kraju i z niezwykłą energią oraz talentem organizacyjnym włącza się do zabezpieczenia mienia i odbudowy przemysłu maszyn elektrycznych.

Fabryki należące do Zakładów Elektromechanicznych Rohn-Zieliński SA Lic. Brown-Boveri przeszły na podstawie ustawy z 6 maja 1945 r. pod tymczasowy zarząd państwowy. We wrześniu 1945 r. Z. Gogolewski obejmuje stanowisko dyrektora technicznego Zjednoczenia Przemysłu Maszyn Elektrycznych z siedzibą w Katowicach, ale obejmującego zasięgiem działania całą Polskę. Zjednoczenie grupowało 18 zakładów i do jego zadań należało koordynowanie, nadzór i kontrola działalności oraz planowego rozwoju przedsiębiorstw pod względem technicznym, administracyjnym i handlowym. Jednostką nadrzędną nad Zjednoczeniem był Centralny Zarząd Przemysłu Elektrotechnicznego w Warszawie. Już od początku Gogolewskiemu nie odpowiadała usztywniona machina biurokratyczna, w której decyzje gospodarcze oraz personalne były w coraz większym stopniu motywowane względami politycznymi. W dniu 30 listopada 1946 r. ukazało się zarządzenie Ministra Przemysłu z wykazami przedsiębiorstw przechodzących w całości na własność państwa. W wykazie tym znalazły się także Zakłady Elektromechaniczne Rohn-Zieliński z centralą w Warszawie. W tych zakładach był przed 1945 r. zaangażowany duży kapitał zagraniczny i to zarówno państwa neutralnego - Szwajcarii, jak również firmy niemieckiej Brown-Boveri et Co. AG Mannheim. Związane z przejściem na własność państwa problemy odszkodowawcze, niezaspokojone roszczenia co do odpłatności za dalsze korzystanie z licencji, doprowadziły do zerwania na wiele lat kontaktów z koncernem BBC. Zygmunt Gogolewski przeżywał te zmiany bardzo osobiście, tym bardziej że dobrze znał zasługi tego koncernu dla interesów gospodarki polskiej w zmaganiach się z konkurencją kapitału zagranicznego innych państw.

W 1946 r. Z. Gogolewski podejmuje dodatkowo pracę na Politechnice Śląskiej i zostaje kierownikiem Katedry Urządzeń Prądów Silnych. Nawiązanie współpracy z uczelnią wynikło nie tylko z aspiracji naukowych, ale także ze zrozumienia potrzeby rozszerzenia kształcenia kadr dla przemysłu. Kierowane przez niego Zjednoczenie Przemysłu Maszyn Elektrycznych zostało zlikwidowane pod koniec 1948 r. Jednocześnie rozszerzony został zakres działania i uprawnień Centralnego Zarządu Przemysłu Elektrotechnicznego w Warszawie, w którym powstały cztery dyrekcje branżowe. Dyrekcją branżową maszyn elektrycznych i transfor-

matorów kierował inż Leszek Zienkowski, bliski współpracownik Gogolewskiego przed 1939 r. w biurze technicznym ZE Rohn-Zieliński. Następują przy tym kolejne zmiany w zarządzaniu przemysłem w Polsce, zmierzające do jeszcze większego ograniczenia samodzielności przedsiębiorstw i wprowadzenia scentralizowanego kierowania produkcją. W grudniu 1948 r. zostało powołane w Katowicach Centralne Biuro Konstrukcyjne Maszyn Elektrycznych, przejmując pomieszczenia po zlikwidowanym ZPME. Stanowisko dyrektora CBKME objął prof. mgr inż. Zygmunt Gogolewski. W tymże roku opracował On plan rozwoju przemysłu maszyn elektrycznych w Polsce, zawierając w nim poglądy oraz zamierzenia, którym częściowo dał już wyraz w 1939 r. na XI Walnym Zjeździe SEP. Prof. Z. Gogolewski był zwolennikiem rozwijania przemysłu przede wszystkim na podstawie prac badawczych i projektowych rozwijanych w Polsce. W pracy [4] m.in. stwierdził: „Na czoło zagadnień wysuwa się zatem zadanie opracowania nowych konstrukcyjnych rozwiązań, zadanie stworzenia nowych polskich serii silników i transformatorów, przystosowanych do nowoczesnych wymagań i techniki produkcji. Specjalnie ważne jest to zagadnienie w dziale silników asynchronicznych o mocy do 100 kW i dziale transformatorów do 1600 kV·A ...”. Postulował On wprowadzenie nowoczesnej organizacji biur konstrukcyjnych, zmierzającej do ścisłej współpracy projektantów, konstruktorów i technologów.

Dzisiaj ponownie stajemy przed zadaniem wytyczenia kierunków rozwoju przemysłu maszyn elektrycznych i sprostaniu zagranicznej konkurencji. Warto zapoznać się ze śmiałymi i twórczymi koncepcjami przedstawionymi w pracy z 1948 r., z których znaczna część okazała się ponownie aktualna.

Na stanowisku dyrektora CBKME prof. Gogolewski miał wiele osiągnięć, zwłaszcza w opracowaniu silników prądu stałego największej mocy dla potrzeb hutnictwa oraz górnictwa. Spotykało Go także wiele przykrości. Nieufnie odnosił się do poleceń centralnych urzędów z Warszawy. Sam z urodzenia warszawianin nie zdołał doprowadzić do zgodnego współdziałania z Centralnym Zarządem Przemysłu Elektrotechnicznego oraz z tymi zespołami Instytutu Elektrotechniki w Warszawie, które zajmowały się rozwojem maszyn elektrycznych. Wydaje się, że o odejściu prof. Z. Gogolewskiego z Centralnego Biura Konstrukcyjnego w 1951 r. zadecydowało wymuszenie podjęcia produkcji silników indukcyjnych serii d według dokumentacji otrzymanej z ZSRR. Prof. Gogolewski był przeciwny w podjęciu produkcji tych silników. Przysłowiowe „uderzenie pięścią w stół” przez osoby uprawnione wówczas do narzucenia decyzji, a które kilka lat później opuściły Polskę, przesądziło o zaprzestaniu na szereg lat prac rozpoczętych w Polsce nad rozwojem nowoczesnych silników indukcyjnych i o uruchomieniu produkcji silników serii d. Dopiero po ok. 10 latach, głównie dzięki prof. T. Śliwińskiemu i współdziałaniu Instytutu Elektrotechniki w Warszawie, Branżowego Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Maszyn Elektrycznych KOMEL z zakładami produkcyjnymi, powstały w Polsce nowe typoszeregi silników indukcyjnych na światowym poziomie. Prof. Z. Gogolewski jeszcze za życia doczekał się uznania za swoją postawę na początku lat pięćdziesiątych.

W 1951 r. Prof. Z. Gogolewski objął kierownictwo Katedry Budowy Maszyn Elektrycznych na Politechnice Śląskiej - przemianowanej następnie na Katedrę Maszyn Elektrycznych - i poświęcił się głównie pracy naukowej oraz dydaktycznej. Utrzymywał

jednak bliskie związki z przemysłem, m.in. jako członek Komisji Głównej Elektrotechniki działającej w Komitecie Nauki i Techniki, jako uczestnik sesji ówczesnej Rady Wzajemnej Pomocy Gospodarczej oraz jako realizator prac badawczych dla BOBRME oraz dla zakładów produkcyjnych.

W pracy badawczej prof. Gogolewski zajmował się głównie transformatorami i maszynami prądu stałego. Wykorzystywał swoje duże doświadczenie i w większym stopniu dbał o praktyczną przydatność wyników niż o teoretyczną dokładność rozważań. Dobrym przykładem takiego ujęcia może być Jego pierwsza praca badawcza na temat strat dodatkowych w uzwojeniach [5]. Miał On dużą intuicję oraz doświadczenie w budowie układów elektroizolacyjnych transformatorów wysokiego napięcia. W tej dziedzinie współpracował z prof. E. Jezierskim. Wynikiem bliskiej współpracy tych dwóch przyjaciół była m.in. książka o budowie i projektowaniu transformatorów [9]. Rozdziały: o materiałach i układach izolacyjnych, konstrukcji układów, badaniach profilaktycznych oraz o uszkodzeniach transformatorów, obejmujące ok. 15% objętości książki, napisał prof. Gogolewski. Największym Jego osiągnięciem jest wydana w 1960 roku obszerna książka o projektowaniu maszyn prądu stałego [6]. Poprzedziły ją skrypty uczelniane wydane w 1951 oraz w 1955 r.

Jedną z ostatnich prac prof. Z. Gogolewskiego, nawiązującą do zagadnień konstrukcyjno-technologicznych, była publikacja zawierająca poglądy na aktualne zagadnienia produkcji turbogeneratorów [7].

Pełny dorobek publikacyjny prof. Z. Gogolewskiego zostanie zapewne przedstawiony w innych publikacjach okolicznościowych. W tym szkicu zwróciłem uwagę na Jego prace bezpośrednio związane z rozwojem przemysłu.

Prof. Zygmunt Gogolewski był współtwórcą najbardziej rentownego i najbardziej dynamicznie rozwijającego się za Jego życia przemysłu w Polsce. Trudno przecenić Jego wkład i zasługi w tej dziedzinie. Zapoznanie się z Jego życiorysem jest pomocne nie tylko do zrozumienia czasów minionych, ale także do oceny sytuacji obecnej, a może być pożyteczne przy wytyczaniu właściwych kierunków działania na przyszłość. Moje uznanie i szacunek dla prof. Z. Gogolewskiego ukształtowały się głównie pod wpływem dyskusji z prof. E. Jezierskim. Podzielał żal odczuwany przez prof. Jezierskiego, że ten tak zasłużony człowiek rozstawał się z umiłowaną przez siebie dziedziną z poczuciem doznanego zawodu.

LITERATURA

1. Gogolewski Z.: O warunkach rozwoju przemysłu maszyn elektrycznych. „Przegląd Elektrotechniczny”, 1930, nr.7, s. 163.
2. Gogolewski Z.: Pierwsze krajowe transformatory 150 kV. „Przegląd Elektrotechniczny”, 1938, nr.12.
3. Gogolewski Z.: Widoki rozwoju przemysłu elektrotechnicznego na tle osiągnięć ostatnich lat. „Przegląd Elektrotechniczny”, 1939, Nr.12, s. 428.
4. Gogolewski Z., Morsztyn K.: Plan rozwoju przemysłu maszyn elektrycznych. „Przegląd Elektrotechniczny”, 1948, ss.126÷129.

5. Gogolewski Z., Manitus J.: Straty dodatkowe w uzwojeniach. „Przegląd Elektrotechniczny”, 1948, ss.166÷171.
6. Gogolewski Z., Gabrys W.: Maszyny prądu stałego. Obliczenia. Konstrukcja. Zagadnienia Specjalne. PWT, Warszawa 1960.
7. Gogolewski Z.: Aktualna problematyka techniki turbogeneratorów wielkich mocy. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria „Elektryka” z.16, 1963, ss. 5÷17.
8. Januszewski P., Barthel W.: Polski przemysł elektrotechniczny. Przewodnik. Wydawnictwo Polskiego Związku Przemysłowców Elektrotechnicznych, Warszawa 1933.
9. Jezierski E., Gogolewski Z., Kopczyński Z., Szmit J.: Transformatory. Budowa i projektowanie. Wyd.II, WNT, Warszawa 1963.
10. Pilch A.: 50 lat Fabryki Maszyn Elektrycznych CELMA w Cieszynie (1920-1970). Wydawnictwo Śląskie, Katowice 1970.

Kazimierz BISZTYGA
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

PROFESOR ZYGMUNT GOGOLEWSKI W OCZACH STUDENTA I DYPLOMANTA Z LAT 1947-1950

Motto:

„Umiejętności dopotąd są jeszcze próżnym wynalazkiem,
może czczym rozumu wywodem albo próżniactwa zabawą,
dopokąd nie są zastosowane do użytku narodu”.

Stanisław Staszic „*O ziemiórództwie Karpat*”

Te myśli sformułowane przez ojca polskiego górnictwa oraz nauk o ziemi, tak na czasie prawie dwieście lat temu, były również aktualne, gdy w latach 1947-1950 miałem przyjemność słuchać wykładów i odrabiać ćwiczenia projektowe u profesora Zygmunta Gogolewskiego. Pierwszy cykl obejmował teorię, eksploatację i projektowanie transformatorów.

Zapotrzebowanie na inżynierów umiejących projektować i znających zasady eksploatacji transformatorów narzucało program kształcenia zgodny z ówczesną szkołą reprezentowaną przez Richtera i Vidmara.

Wykłady Profesora cechowało głębokie pojmowanie fizycznej strony zjawisk oraz poszukiwanie w miarę precyzyjnego ich opisu, może nie tak wyrafinowanego z punktu widzenia możliwości aparatu matematycznego, ale wystarczająco zaspokajającego wymagania technologii i eksploatacji. Tak między innymi powstała metoda obliczania strat dodatkowych w uzwojeniach.

Omijając uciążliwe w zastosowaniu i trudne w interpretacji funkcje Bessela wyprowadzał [1] przejrzystą metodą dość proste relacje dające wystarczającą zgodność z eksperymentem. Podobną metodyką posłużyłem się wyliczając straty dodatkowe w maszynach prądu stałego [2], gdy pracowałem w Centralnym Biurze Konstrukcji Maszyn Elektrycznych w Katowicach.

Okazją do szerszej dyskusji z Profesorem był egzamin z maszyn elektrycznych. W zastępstwie przebywającego na dłuższym urlopie prof. Kołka, po wstępnym „zdaniu” u adiunktów, Kolmera i Plamitzera, Profesor miał dokończyć egzaminowanie i wpisać oceny. Dyskusja, z rzadka przeplatana wyprowadzeniami takiej czy innej formuły, zeszła na problemy komutacji w maszynach prądu stałego i przez maszynę trójprzewodową Doliwo-Dobro-

wolskiego na przetwornicę jednotwornikową. Intuicyjne porównanie przeze mnie pracy przetwornicy z pracą autotransformatora i wynikające stąd zasady wymiarowania uzwojeń biegunów zwrotnych, tylko na moment wywołało może zdziwienie czy dezaprobatę Profesora, który wpisaniem pięknej oceny do indeksu zakończył egzaminowanie.

Następne kontakty z Profesorem to zaliczanie laboratoriów oraz projektowanie maszyn elektrycznych.

Szczególnie to ostatnie, bogate w dyskusje w małym pomieszczeniu na półpiętrze przy ulicy Katowickiej, pozostawiło niezatarte wspomnienie obcowania z człowiekiem o szerokich humanistycznych horyzontach, o bogatym doświadczeniu inżynierskim i obdarzonym przez naturę żartobliwie mówiąc „zmysłem elektromagnetycznym”. Krótki wykład lub dyskusję rozpoczęła zdanie: „weźmy obiekt, układ czy element i próbujmy opisać go możliwie precyzyjnie, a później starajmy się szukać rozwiązania”. Jak bardzo kontrastuje to z modnym: „weźmy równanie ...”, nie trzeba komentować. Metodykę Profesora przejąłem i stosowałem ją przez wiele lat w mojej pracy nauczycielskiej.

Po egzaminach z napędów elektrycznych w roku 1948 Profesor polecił mi zgłosić się do Dyrekcji CBKME w Katowicach, gdzie po kilku pytaniach (ile waży wieża Eiffla? lub: jakim dwuteownikiem należałoby wzmocnić podłogę, gdyby dyrektorskie biurko było z ołowiu?) zaproponował mi stanowisko projektanta z niezłym uposażeniem i rocznym płatnym urlopem na dokończenie studiów.

Regularne odwiedziny w CBKME - konsultacje pracy dyplomowej, której tematem był projekt generatora dla napędu maszyny wyciągowej, pozwoliły mi na głębsze poznanie Profesora jako człowieka oraz inżyniera i naukowca.

Rygorystyczny, lecz życzliwy - bez problemu przedłużył mi urlop gdy nie zdążyłem w terminie z pracą dyplomową. Inżynier o szerokich horyzontach swobodnie władający kilkoma językami, z bogatym doświadczeniem w dziedzinie konstrukcji maszyn elektrycznych, miał z całą pewnością doskonale wykształcony wspomniany już „zmysł elektromagnetyczny”. Uzupełniał ten zmysł ujęciami matematycznymi na miarę możliwości naddążania za rozwojem metod nowoczesnych. Rozsądnie niechętny czystemu formalizmowi przeszkadzającemu często w pracy inżynierskiej, działalności na co dzień, był gorącym zwolennikiem kształcenia inżynierów gotowych do natychmiastowego podjęcia obowiązków w oczekującym na nich przemyśle. Pod tym kątem widzenia przygotowywał niezwykle starannie wykłady. Każdy problem był rozpoczynany fizykalną analizą, po czym następowała próba ujęcia sformalizowanego z dyskusją czynionych niezbędnych założeń upraszczających. Do dziś uważam to za doskonałą szkołę inżynierskiego widzenia techniki i przygotowania do działalności zawodowej.

Gdy pod koniec roku 1952 rozstawałem się na mocy obopólnego porozumienia z CBKME, nie zerwałem kontaktów ani z Biurem, ani z Profesorem. Bywałem zapraszany na zebrania Rady Naukowej, opracowywałem koreferaty do projektów nowych maszyn. Gdy wreszcie w nowym miejscu pracy w AGH w Krakowie zorganizowane zostało dobre laboratorium, prowadziłem na zlecenie - już wówczas KOMELu - badania nowych typów maszyn. Wspólna inicjatywa profesora Gogolewskiego i prof. Manitusa z AGH zaowocowała organizowaniem w sposób przemienny w Krakowie i Gliwicach spotkań żartobliwie nazywanych

„Gogonaliami” i „Dniami Manicejskimi”. Były to doskonale okazje do dzielenia się osiągnięciami w tych ośrodkach najsilniej z napędem związanych. Mimo pojawiających się niekiedy kontrowersji w ujmowaniu i interpretowaniu niektórych problemów, nie doszło nigdy do jawnych nieporozumień między pracownikami obydwu ośrodków, co było ewidentnym rezultatem niekwestionowalnych autorytetów obydwu szefów: Gogolewskiego i Manitiusa.

W roku 1958 profesor Gogolewski był moim egzaminatorem w ramach przewodu kandydackiego. Przy tablicy, z kredą w ręce, w obecności trzech profesorów po wyczerpaniu problematyki „wokołokandydackiej” padło niespodziewanie pytanie o komutację w amplidyne. Wówczas przypomniał mi się egzamin z maszyn sprzed 11 lat.

Pod koniec roku 1960 Rada Wydziału Elektrotechniki AGH w Krakowie poprosiła prof. Gogolewskiego o recenzję mojej rozprawy już wówczas doktorskiej.

O niezwyklej skrupulatności i sumienności Profesora świadczy fakt sprawdzania wszystkich wyprowadzanych równań, tak że z niektórych uproszczeń tłumaczyłem się bardzo skrupulatnie.

Bardzo dobra recenzja rozprawy umocniła moją pozycję w AGH, pozwoliła na dalszą kontynuację współpracy między zespołami Gliwic i Krakowa. Ta współpraca układa się do dziś bardzo dobrze między następcami następców profesorów Gogolewskiego i Manitiusa.

Dlatego, spoglądając z perspektywy czasu, mogę spokojnie przyglądać się, jak owocuje szkoła prof. Gogolewskiego zakładająca u podstaw działalności inżynierskiej i naukowej uczciwość i rzetelność polegającą na głoszeniu prawd głęboko przemyślanych i ponoszeniu odpowiedzialności za nie. Jeśli udało mi się w sposób godziwy pełnić przez wiele lat rolę wykładowcy i nauczyciela kadry inżynierskiej oraz opiekuna młodej kadry naukowej, to w dużej mierze zawdzięczam to takim ludziom, jak profesor Gogolewski, *qui opera exegerant, quae nec Jovis ira nec ignis nec poterit ferrum nec edax abolere vetustas*.

LITERATURA

1. Z. Gogolewski, J. Manitius: Straty dodatkowe w uzwojeniach transformatorów. PE, 1948.
2. K. Bisztyga: Straty dodatkowe w miedzi uzwojeń maszyn elektrycznych.. Materiały Inf. CBKME Nr 9/10, Katowice, lipiec 1952.

Janusz LACH
Zakład Energetyczny Kraków SA
Waldemar OLECH
Energopomiar Gliwice
Sławomir PARTYGA
ABB ELTA Łódź

TRANSFORMATORY ELEKTROWNI ROŻNÓW

Streszczenie. Przedstawiono zarys historii BBC w Polsce oraz produkcji transformatorów w zakładach Rohn-Zieliński Żychlin. Produkcja transformatorów o górnym napięciu 150 kV była w latach 30 dużym osiągnięciem technicznym. Stan techniczny transformatorów pochodzących z tych zakładów, a pracujących w Elektrowni Rożnów opisano na podstawie badań diagnostycznych przeprowadzonych w latach 1967 i 1995.

TRANSFORMERS IN WATER POWER PLANT ROŻNÓW

Summary. A brief story about BBC in Poland and transformer production in Rohn-Zieliński factory Żychlin is presented in the paper. Transformers production with HV up to 150 kV in 30ies were a great technical achievement. Report of technical state of Rohn-Zieliński transformers installed in Water Power Plant Rożnów is based on diagnostic tests carried out in the years 1967 and 1995.

1. BROWN BOVERI W POLSCE

Szwajcarskie Towarzystwo Akcyjne Brown Boveri (BBC) założone w 1891 r. w Baden szybko zyskało renomę światową kierując swoją ekspansję głównie do krajów europejskich.

Polskie Zakłady Elektryczne Brown Boveri S.A. powstały w 1921 r. z siedzibą w Warszawie, a współzałożycielem ich był uprzedni reprezentant BBC w Warszawie - inż. Zygmunt Okoniewski.

Niezbędne obiekty do rozpoczęcia produkcji spółka nabyła w Żychlinie i Ustroniu (później w Cieszynie). Uruchomienie fabryki w Żychlinie nastąpiło pod koniec 1922 roku, a początkowo produkowano tam silniki o mocy do 20 KM i transformatory do 200 kV·A. Pierwszy silnik wyprodukowany w Żychlinie zaprezentowano na trzecich Targach Wschodnich we Lwowie, a w 1925 roku już pełny zestaw wyrobów na Międzynarodowych Targach w Poznaniu. W następnych latach aż do kryzysowego roku 1930 fabrykę sukcesywnie rozbudowywano, a pracami kierowali dyrektorzy: inż. Stanisław Śliwiński, a od 1927 roku inż. Jerzy Korwin Gosiewski.

Po początkowych sukcesach fabryki na początku lat 30 znalazła się ona później w sytuacji kryzysowej i decyzją centrali szwajcarskiej nastąpiło jej zamknięcie w sierpniu 1931 roku.

W 1932 r. Z. Okoniewski wystąpił z propozycją nabycia nieczynnej fabryki w Żychlinie przez firmę "Rohn-Zieliński". Historia tej polskiej firmy sięga roku 1879 i wiąże się z powstaniem niewielkiego zakładu produkującego w Warszawie maszyny do szycia. W latach 20 wraz z jej rozwojem zmieniono nazwę firmy na "Spółka Akcyjna Zakłady Mechaniczne i Odlewnia Rohn-Zieliński i S-ka".

W wyniku starań Z. Okoniewskiego powstała w 1932 roku spółka "Zakłady Elektromechaniczne Rohn-Zieliński Spółka Akcyjna". Licencję Brown Boveri nabyła od BBC najpierw fabryka w Żychlinie, a później w Cieszynie. Prezesem zarządu był w latach 1932–36 Z. Okoniewski, a w latach następnych w skład zarządu wchodził dyrektorzy: Karol Tymanek - przewodniczący oraz inż. Zygmunt Gogolewski i inż. Stanisław Skibiński (później Waclaw Cislowski). Fabryką w Żychlinie kierował do 1936 roku inż. Jerzy Gosiewski, później Waclaw Cislowski, a następnie inż. Zbigniew Grabiński. Inż. Z. Gogolewski pracował w Żychlinie najpierw jako konstruktor, a następnie jako dyrektor techniczny.

Druga połowa lat 30 charakteryzuje się w Żychlinie znacznym rozszerzeniem asortymentu produkowanych wyrobów. Warto tu wspomnieć o:

- zespołach maszynowych (do łodzi podwodnych) oraz przemysłowych (np. papiernictwo, górnictwo),



- silnikach asynchronicznych dużej mocy np. 1360 KM,
- transformatorach wysokiego napięcia.

2. TRANSFORMATORY FIRMY "ROHN-ZIELIŃSKI" ŻYCHLIN

W latach 1932-38 inwestycje w fabryce żychlińskiej koncentrowały się na unowocześnianiu wyposażenia technicznego zakładów i opracowywaniu nowych technologii. Między innymi zainstalowano transformator probierczy 500 kV i dodatkowe urządzenia dla warsztatu mechanicznego. Było to konieczne z uwagi na przewidywany wzrost zapotrzebowania na transformatory wysokonapięciowe.

Produkcja transformatorów oparta na licencji Brown Boveri rozwinęła się gwałtownie; o ile w 1935 r. wyprodukowano 5 transformatorów o łącznej mocy 17400 kV·A i masie ponad 45 ton, to w 1937 r. zbudowano już 16 transformatorów o łącznej mocy 103900 kV·A i masie 300 ton. W tym samym czasie roczne zużycie oleju transformatorowego wzrasta z 37 ton do 200 ton.

W latach 30 rozpoczęto budowę linii 150 kV związanej z programem tworzenia COP. Pierwszy fragment planowanej linii Rożnów-Mościce-Starachowice-Warszawa uruchomiono w 1937 roku na odcinku Mościce-Starachowice.

Na dostawę transformatorów dla tej inwestycji rozpisano przetarg wygrany przez zakłady żychlińskie (startowało 11 firm, w tym 4 krajowe). Do tej pory największymi transformatorami wyprodukowanymi w Polsce były transformatory 6000 kV·A na napięcia 40 kV i 3000 kV·A o górnym napięciu 60 kV. Budowa dwóch transformatorów 12000 kV·A 150/6 kV oraz dwóch o mocy 11000 kV·A 150/30/6 kV była dużym wyzwaniem technicznym. Konstrukcja transformatorów oparta była na licencji, ale w biurze konstrukcyjnym w Żychlinie odbywała się twórcza adap-

Nowy dowód spełnienia do naszej produkcji - 2 transformatory o mocy 24 000 kVA każdy - zamówiane wyłącznie przez jedną z największych elektrowni miejskich

24 000 kVA

220 000 V

OD BIURA DO ŻYCHLIŃSKI
KI ŻYCHLIŃSKI
WYBUDOWANO
DOWY WIELKICH
TRANSFORMA
TÓW DLA DO
STACJE ELEKTR
ZOSTAŁY PRZE
WYKONANIE
KONSTRUKCJE
ZBLIŻONYCH
ORAZ FUNKCJO
PRZEPRAWO
NI KRAJOWE
WE WZGLĘD
FABRYCZNYCH

ROHN-ZIELIŃSKI
B R O W N B O V E R I

tacja do warunków krajowych i powstały też własne rozwiązania. Z biegiem czasu ich udział wynosił do 50%.

Wygrany przetarg zaowocował również rozbudową hali montażowej i stacji prób, zainstalowaniem nowej suwnicy o udźwigu 50 t oraz nowej suszarni. Doposażono wydział mechaniczny w nożyce, prasy do cięcia i sztancowania blach, specjalne stanowisko do składania rdzeni, większe nawijarki i urządzenia do obróbki oleju. Realizacja zamówienia była uwarunkowana użyciem jak największej ilości materiałów krajowych oraz osiągnięciem parametrów wyrobów nie gorszych od analogicznych zagranicznych. Wykonane transformatory 12 MV·A pracowały w Zakładach Chemicznych Mościce i służyły do przekazywania do sieci 150 kV nadwyżek mocy z umiejscowionej tam elektrowni. Transformatory trójuzwojeniowe 11 MV·A służyły do rozbudowy sieci przesyłowej i rozdzielczej SN na terenie ZEORku, zasilającej zakłady budowane w ramach programu COP w rejonie Starachowic. W 1938 roku wykonano w Żychlinie największy transformator w międzywojennej Polsce o mocy 25 MV·A i górnym napięciu 37 kV. Dalsze zamówienia na transformatory dla Elektrowni Rożnów 16 MV·A (150+6×3,815/6,15 kV) nie zdążono zrealizować przed wybuchem wojny. Transformatory te wyposażone były w uzwojenia wyrównawcze o mocy 3 MV·A na napięciu 6 kV. Dostarczono je i uruchomiono na początku lat 40.

Inż. Zygmunt Gogolewski wywarł znaczny wpływ na poziom techniczny produkowanych transformatorów. Rozpoczął on pracę w Żychlinie w 1926 roku; w latach 1928-34 był szefem biura technicznego, odpowiedzialnym za opracowanie konstrukcji i technologii produkowanych wyrobów, a następnie do wybuchu wojny dyrektorem technicznym.

Za utrzymanie sprawności działania warsztatów odpowiedzialne było "biuro ruchu". Poziom zatrudnienia w Żychlinie sięgał w 1939 roku 1000 osób. Dyrektor techniczny zakładu inż. Zygmunt Gogolewski w tym czasie był wychowawcą i wzorem do naśladowania dla rzeszy pracowników na ogół bez niezbędnych doświadczeń zawodowych, zaangażowanych w produkcję wyrobów na poziomie europejskim. Wiele jego patentów wykorzystywano w fabryce żychlińskiej, a niektóre z nich zostały przejęte do zastosowania również przez licencjodawcę szwajcarskiego.

Szereg transformatorów produkcji przedwojennej i wojennej zakładów w Żychlinie po przełączeniu na 110 kV pracuje nadal w energetyce tylko przy nieznacznym obniżeniu mocy znamionowej (ze stosunku napięć wynikałaby konieczność zmiany o ponad 25%). Uzasadnione jest pytanie: jakie czynniki decydują o ich długowieczności? Zgodnie z dokumentacją BBC rdzenie transformatorów wykonywane były z blachy gorącowalcowanej o grubości 0,4 mm i stratności 1,3-1,45 W/kg, a były łączone na styk. Uzwojenia stosowano cylindryczne z podziałem na 3 części i gęstości prądu nie przekraczającej 3 A/mm². W celu złagodzenia asymetrii wyprowadzenia zaczepów wykonano z elementów skrajnych lub też stosowano uzwojenia wyrównawcze. Uzwojenia były powlekane olejoodpornym lakierem piecowym; docisk zapewniono za pomocą sprężyn. Stosowano klasyczny układ izolacji

głównej składającej się z tulei i kołnierzy bakelitowych. Na kliny, pierścienie dociskowe, klocki wsporcze i trzymacze odplywów używano drewna bukowego impregnowanego olejem. Warto dodać, że do transformatorów stosowano krajowy olej Państwowej Fabryki Olejów Mineralnych "POLMIN", produkowany z wysokojakościowej ropy naftenowej. Obowiązujące już wówczas przepisy określały charakterystyki oleju przygotowanego do napełniania transformatorów, wymagając prócz odpowiednich wartości wskaźników fizykochemicznych, również wartość napięcia probierczego określoną na wyższą od 150 kV/cm. W celu uzyskania tych wartości prowadzono obróbkę oleju polegającą m.in. na doprowadzeniu go do stanu wrzenia. W porównaniu do konstrukcji transformatorów z lat 50, w których używano jeszcze blachy gorącowałcowanej, ale o stratności 1,3-0,93 W/kg i zaplatanym rdzeniu, transformatory wyprodukowane przez Żychlin mają wprawdzie straty stanu jałowego wyższe o 30-50%, ale mniejsze straty obciążeniowe o 15-20%, co powoduje, że łączne straty są i tak korzystniejsze o 5-10%.

Na sukces długotrwałej, bezawaryjnej pracy omawianych transformatorów złożyło się wiele czynników, a m.in. poprawna selekcja materiałów, dokładne i staranne wykonanie montażu oraz właściwa kontrola międzyoperacyjna i ostateczna. Dla przykładu wystarczy podać, że wykonywano podwójną ilość potrzebnych elementów w celu przeprowadzania badań niszczących na połowie egzemplarzy. Napięcie probiercze wolnozmiennego uzwojenia GN wynosiło 350 kV. Wszystko to zaowocowało uzyskaniem wysokiej niezawodności pracy transformatorów. W latach 60 [1] było to już prawie 30 lat w eksploatacji, obecnie ponad 50. Analizę przyczyn długowieczności można znakomicie prowadzić na przykładzie transformatorów Elektrowni Rożnów. Co prawda, ich praca nie jest ciągła, tylko przerywana, ale nieregularne cykle pracy nie zawsze sprzyjają utrzymaniu dobrego stanu izolacji.

3. WYNIKI POMIARÓW TRANSFORMATORÓW W ELEKTROWNI ROŻNÓW

3.1. Pomiary wykonane w roku 1967

Praca dorywcza transformatorów wbrew pozorom nie jest łatwa dla urządzeń ze względu na możliwość absorpcji wody z powietrza do oleju przy stale zmieniających się temperaturach, co może przyspieszyć proces starzenia izolacji włóknistej. Możliwość taka w Rożnowie istniała, dopóki nie dokonano w roku 1965 hermetyzacji transformatorów. W żadnym z badanych transformatorów nie wymieniono oleju w trakcie eksploatacji, a jedynie w miarę potrzeby dolewano.

W ramach badania izolacji wykonano pomiary opornościowych wskaźników izolacji R_{60} , R_{60}/R_{15} , R_{300} , współczynnika stratności $\tan \delta$, pojemności C_{50} oraz pomiary elektrycznych i chemicznych własności oleju.

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie ważniejszych wyników pomiarów wskaźników izolacji wykonanych induktozem 2,5 kV oraz wysokonapięciowym mostkiem Scheringa przy napięciu 5 kV.

Tabela 1

Wyniki pomiarów izolacji pracujących dorywczo transformatorów w Elektrowni Rożnów

Typ i nr transformatora	Układ połączeń	Wskaźniki izolacji				Temp. oleju °C
		R ₆₀	R ₆₀ /R ₁₅	R ₃₀₀	tg δ	
		MΩ	-	MΩ	%	
TRF Ku 16000/150 nr 7684	GN-DN+Z	1750	1,25	2500	0,87	30
	DN-GN+Z	900	1,31	1450	1,06	
jw. nr 7716	GN-DN+Z	1900	1,34	2350	0,68	30
	DN-GN+Z	1250	1,56	1850	0,72	
jw. nr 7717	GN-DN+Z	800	1,54	1150	2,63	28
	DN-GN+Z	580	1,93	1200	2,23	
jw. nr 7718	GN-DN+Z	800	1,54	1250	1,77	28
	DN-GN+Z	580	1,85	1300	2,05	

Niektóre wyniki pomiarów własności oleju o najgorszych i przeciętnych własnościach zestawiono w tabeli 2. Pomiar tgδ oleju wykonywano przy napięciu 5 kV i częstotliwości 50 Hz, a oporność w naczyniu firmy Thomson przy użyciu induktora 5 kV typu *Megger*.

Tabela 2

Wyniki pomiarów własności oleju

Typ i nr transform.	tg δ	R ₃₀₀	U(p)	Temp. oleju	Liczba kwasowa
	%	MΩ	kV	°C	mg KOH/g
TRF Ku 16000/150 nr 7718	0,25	4200	48	20	0,173
	1,2	650	-	50	

Wyniki pomiarów wskaźników izolacji i oleju wskazują na zadowalający stan izolacji transformatorów, zgodny z wymaganiami "Instrukcji eksploatacji transformatorów mocy".

Osiągnięte wyniki eksploatacyjne transformatorów, mogące konkurować z osiągnięciami produjących firm europejskich, świadczyły o dobrej technologii stosowanej w zakładzie wytwórczym.

3.2. Pomiary wykonane w roku 1995

Kompleksowe badania transformatorów zainstalowanych w Elektrowni Rożnów zostały wykonane w listopadzie 1995 r. w celu pełnej oceny stanu technicznego transformatorów i oleju izolacyjnego.

Zakres przeprowadzonych badań na miejscu zainstalowania w Elektrowni objął:

- wykonanie pomiarów wskaźników izolacji: rezystancji R_{300} , pojemności i współczynnika stratności uzwojeń $\text{tg}\delta$ oraz prądów magnesujących i rezystancji uzwojeń,
- pobranie próbek oleju do analiz.

Badanie oleju w laboratorium Energopomiaru przeprowadzono oznaczając:

- skład i koncentrację gazu rozpuszczonego w oleju w celu określenia obecności wolno rozwijających się uszkodzeń wewnętrznych (przegrzań, iskrzeń, wyładowań zupełnych, niezupełnych itp.),
- wskaźników dielektrycznych i fizykochemicznych w zakresie obowiązującym dla olejów eksploatowanych w transformatorach o mocy do 100 MV·A.

Z uwagi na wyjątkowo długi okres użytkowania oleju i związaną z tym konieczność bardziej wnikliwej kontroli, prócz tego wykonano badania dodatkowe: wskaźnika polarności $\varepsilon-n^2$ i napięcia powierzchniowego σ oleju.

Obydwa te oznaczenia dają pełny obraz zmian starzeniowych w oleju i dlatego są bardzo przydatne w określeniu okresu jego dalszej zdolności eksploatacyjnej.

Uzyskane rezultaty badań zestawiono w tabelach 3 i 4.

W tabeli 3 zestawiono wyniki pomiarów wskaźników izolacji R_{300} i $\text{tg}\delta$ w temperaturze pomiaru i po przeliczeniu wartości na umowną temperaturę 30°C. Uzyskane wartości z dużym zapasem spełniają obowiązujące wymagania.

Najlepsze wyniki wykazuje transformator TR4, co może być związane z większym niż w pozostałych jednostkach zawilgoceniem izolacji papierowo-olejowej.

Porównując uzyskane wartości z otrzymanymi podczas pomiarów wykonanych ok. 30 lat wcześniej, stwierdza się niewielkie zmiany. Wyniki badań podstawowych parametrów dielektrycznych i fizykochemicznych olejów pobranych z transformatorów blokowych TR1 ÷ TR3 spełniają wymagania stawiane olejom w eksploatacji. Jedynie w transformatorze blokowym TR4 stwierdzono większy niż w pozostałych przypadkach poziom zawartości wody rozpuszczonej w oleju (przekraczający wartość przyjętą za dopuszczalną).

Tabela 3

Wyniki pomiarów wskaźników izolacji transformatorów zainstalowanych w Elektrowni Rożnów

Wskaźniki izolacji mierzone w układzie		TRANSFORMATOR												
		TR 1			TR 2			TR 3			TR 4			
		nr ZY 7884			nr ZY 7716			nr ZY 7717			nr ZY 7718			
GN-DN,E	R_{300} [MΩ]	4100	2583	przeliczone na 30°C	wartość przy 2°C	2310	8250	przeliczone na 30°C	wartość przy 3°C	5500	1540	4350	przeliczone na 30°C	1220
	tgδ	0.0099	0.014		0.0042	0.0109	0.0055	0.0143	0.0061	0.0159				
GN-DN,Z	R_{300} [MΩ]	1.4	882	przeliczone na 30°C	wartość przy 2°C	896	3200	przeliczone na 30°C	wartość przy 3°C	2150	600	1800	przeliczone na 30°C	500
	tgδ	0.0097	0.0137		0.0041	0.0107	0.0057	0.0148	0.0057	0.0149				
DN-GN,Z	R_{300} [MΩ]	1200	756	przeliczone na 30°C	wartość przy 2°C	812	2900	przeliczone na 30°C	wartość przy 3°C	1900	530	1400	przeliczone na 30°C	390
	tgδ	0.0101	0.0142		0.0044	0.0114	0.009	0.025	0.0085	0.0221				

Pomiary wykonano w listopadzie 1995 r.

Oznaczenia: GN, DN, uzwojenia górne i dolnego napięcia

 R_{300} - rezystancja zmierzona po upływie 300 s od chwili przyłożenia napięcia pomiarowego

tgδ - współczynnik stratności dielektrycznej.

Tabela 4

Wyniki badań oleju z transformatorów zainstalowanych w Elektrowni Rożnów

RODZAJ ANALIZY	TRANSFORMATOR			
	TR 1	TR 2	TR 3	TR 4
	nr Zy 7884	nr Zy 7716	nr Zy 7717	nr Zy 7718
Barwa Wygląd	5 klarowny zawiera osad	7 klarowny zawiera osad	7 lekko mętny zawiera osad	7 lekko mętny zawiera osad
Zawartość wody met. K. Fischera [g/t]	32	31	35	44
Liczba kwasowa [mg KOH/g]	0.13	0.19	0.25	0.28
Temperatura zapłonu [°C]	143	144	148	142
Napięcie przebicia [kV]	49	48	48	41
Względne odchylenie standardowe [%]	11.9	17.7	18.2	18.8
Rezystywność w temp. 50°C [Ω m]	1,7x1010	1,1x1010	7,0x109	8,6x109
Współczynnik strat dielektrycznych tg δ w temp. 50°C	0.0106	0.0161	0.0246	0.0198
Wskaźnik polarności $\epsilon-n^2$	0.0986	0.0703	0.0875	0.0818
Napięcie powierzchniowe [mN/m]	16	17	15	15
ANALIZA CHROMATOGRAFICZNA				
H ₂ - wodór	68	103	102	113
CH ₄ - metan	7	26	17	19
C ₂ H ₆ - etan	4	18	10	11
C ₂ H ₄ - etylen	5	9	8	9
C ₂ H ₂ - acetylen	1	1	1	1
C ₃ H ₈ - propan	2	11	6	8
C ₃ H ₆ - propylen	4	6	6	8
C ₄ H ₁₀ - butany	1	2	2	3
C ₄ H ₈ - butyleny	-	-	-	-
CO - tlenek węgla	302	450	444	533
CO ₂ - dwutlenek węgla	3754	5890	6124	7741
powietrze	72052	66084	67080	71454
Suma gazów palnych	394	626	596	715
Całkowita zawartość gazu [ppm]	76200	72600	73800	79900

Niestety, badania dodatkowe wskaźnika polarności $\varepsilon - n^2$ i napięcia powierzchniowego σ wykazały bardzo duży stopień zesterzenia oleju we wszystkich transformatorach blokowych kwalifikując go do wymiany. Potwierdza to obecność wytrącającego się osadu z oleju. Analiza chromatograficzna gazu rozpuszczonego w oleju w badanych przypadkach wykazała małe zawartości gazów palnych, a skład i koncentracja gazów świadczy o braku jakichkolwiek symptomów uszkodzeń wewnętrznych transformatorów. Stwierdzone niezna-
czne (śladowe) zawartości gazów palnych są wynikiem naturalnego procesu starzenia.

3.3. Wnioski ogólne

Transformatory zainstalowane w Elektrowni Rożnów przed 50 laty mają nadal zadowalający stan techniczny, jedynie olej z uwagi na długotrwałą eksploatację należy przewidywać do wymiany. Świadczy to dobrze zarówno o ich producencie, jak i personelu eksploatacyjnym elektrowni. Porównanie zakresu badań eksploatacyjnych w latach 60 i 90 jest dobrą ilustracją drogi, jaką przebyła diagnostyka techniczna w naszym kraju.

LITERATURA

1. Partyga S.: Wyniki badań izolacji transformatorów krajowej produkcji po 30-letniej eksploatacji. Energetyka nr 2/67.
2. Partyga S.: Diagnostyka techniczna transformatorów. Konferencja "Badania diagnostyczne transformatorów". Ustroń 1975.
3. Partyga S., Olech W.: Znowelizowane zasady eksploatacji transformatorów. Praca FPTE Energopomiar, 1978/79.
4. Olech W.: Ocena stanu technicznego transformatorów po długoletniej eksploatacji i możliwości jej uzdatnienia. Konferencja "Izolacja transformatorów", SEP, Gliwice 1992.
5. Olejniczak H.: Współczesne problemy oceny jakości olejów izolacyjnych nowych i użytkowanych. Seminarium, Siczki k. Radomia 1993.
6. Partyga S.: ABB w Polsce. WE nr 11/94.

Recenzent: Dr hab. inż. Jerzy Hickiewicz, prof. WSI Opole

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 marca 1996 r.

Ryszard SIKORA
Technical University of Szczecin

DIGITAL SIGNAL PROCESSING IN TEACHING ON ELECTRICAL MACHINES AND DRIVES

Summary. Digital signal processing is widely used for supply, control and protection of electric machines. Hence, the need of introducing this subject into programme of education for students of electrical faculties has arisen. The outline of such subject programme for student specializing in electric machines and drives has been presented in the paper. Schematic diagrams of supply systems with digital control (Fig. 1), reactive power compensation (Fig. 2) and parameters identification (Fig. 3) for electric machines have been shown. Introductory programme, focusing on specification of entries which must be taken into account in such programme, will be given in detail in the separate paper.

CYFROWE PRZETWARZANIE SYGNAŁÓW W PROGRAMIE NAUCZANIA MASZYN I NAPĘDÓW ELEKTRYCZNYCH

Streszczenie. Cyfrowe przetwarzanie sygnałów znajduje szerokie zastosowanie w zasilaniu, sterowaniu i zabezpieczaniu maszyn elektrycznych. Stąd też istotna potrzeba uwzględnienia powyższej tematyki w wykładach dla studentów wydziałów elektrycznych. W pracy przedstawiono zarys ramowego programu takiego przedmiotu przeznaczonego dla studentów specjalizujących się w maszynach i napędach elektrycznych. Przedstawiono schematy ideowe sterowanych cyfrowo układów zasilania (rys. 1), kompensacji mocy biernej (rys. 2) oraz identyfikacji parametrów (rys. 3) maszyn elektrycznych. Wstępny program, skupiający się na zestawieniu haseł, które muszą być uwzględnione w takim programie, zostanie szczegółowo rozwinięty w oddzielnej publikacji.

Pulsed and digital signals are nowadays widely applied for the control, feed, identification and protection of electrical machines and drives. For this reason digital signal processing should be introduced into teaching program for electrical machines and drives - oriented students. The fundamental information referring to digital signal processing (e.g. Z-transfor-

mation, FFT, digital filters and etc.) are presented in basic subjects (e.g. circuit theory) [2, 3, 4]. In teaching of electrical machines and drives only application of digital signals should be included. Digital (or pulses) signals are applied to:

1. Electrical machines feed.
2. Control of reactive power compensators.
3. Electrical machines parameters identification and for monitoring and protection.

Let us describe the problems mentioned above. In many applications the electrical machines are fed by digitally controlled pulsed currents (Fig. 1).

This kind of feed is widely applied for induction, stepper and reluctance motors. Digital processors are applied for control of passive and active (nonlinear) reactive power compensators.

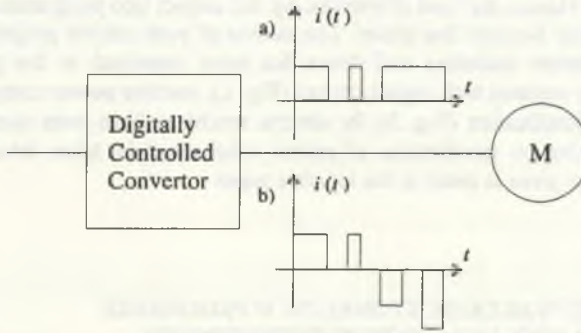


Fig. 1. Motor fed by digitally controlled current converter
Rys. 1. Silnik zasilany z cyfrowo sterowanego przekształtnika prądu

In Fig. 2 general scheme of the active compensation of reactive power is presented [5].

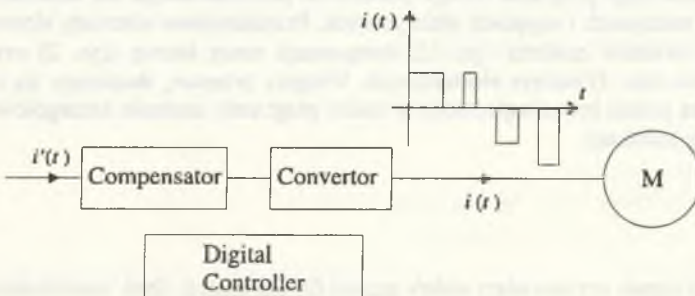


Fig. 2. Reactive power compensation
Rys. 2. Kompensacja mocy biernej

According to definition given by S. Fryze [1] a receiver supplied by any alternating current consumes only active power if the following formula is fulfilled:

$$u(t) = Ci(t) \tag{1}$$

where:

- $u(t)$ - voltage,
- $i(t)$ - current consumed by the receiver,
- C - constant.

Taking into account fig. 2 we can write:

$$i(t) = i(t)_a + i(t)_r \tag{2}$$

where:

- $i(t)_a$ - active current,
- $i(t)_r$ - reactive current consumed by the receiver,
- $i'(t)$ - current consumed by compensated receiver, for 100% compensation $i'(t) = i(t)_a$,
- $i'(t)_r$ - compensated reactive current, for 100% compensation $i'(t)_r = 0$.

Compensators are digitally controlled .

Digital systems are applied for electrical machines parameters identification. Measured signals after digital processing are used for monitoring and protection. In Fig. 3 general scheme of identification, monitoring, signalling and protection is presented.

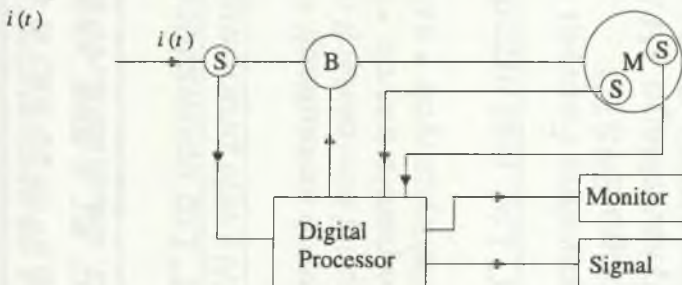


Fig. 3. Electrical machines parameters identification. S - sensor, B - breaker
 Rys. 3. Identyfikacja parametrów maszyn elektrycznych. S - sensor, B - hamulec

Collected by sensors spectrum of the: magnetic field, mechanical vibrations, deformations of current after digital processing are the source of informing and alarm signals. These signals can be used for monitoring or for emergency switch of a motor.

For digital signal processing special kind of digital filters are used e.g. predictive filters [4]. For monitoring purpose TV 2-D FIR and IIR [5] can be used. The problems presented above will be described in details in the full version of the paper.

REFERENCES

1. Fryze S.: Active, reactive and apparent power in electric circuits supplied by nonsinusoidal voltage (in Polish). *Przeгляд Elektrotechniczny*, No 7 and 8, 1931.
2. Lim J. S., Oppenheim A. V.: *Advanced Topics in Signal Processing*, Prentice Hall, New Jersey 1988.
3. Papoulis A.: *Circuits and Systems, A Modern Approach*, Holt, Rinehart and Winston, New York 1980.
4. Steiglitz K.: *An introduction to discrete systems*, John Wiley & Sons. Inc., New York 1974.
5. Supronowicz H.: *Reduction of higher harmonics in currents nonlinear loads supplied by power network*, Technical University of Warsaw, (in Polish), No 98, Warsaw 1995.

Recenzent: Dr hab. inż. Krzysztof Kluszczyński, prof. Politechniki Śląskiej

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 marca 1996 r.

Piotr WACH
Wyższa Szkoła Inżynierska w Opolu

PROJEKTOWANIE I ANALIZA UZWOJEŃ UŁAMKOWYCH MASZYN PRĄDU PRZEMIENNEGO

Streszczenie. Praca przedstawia zalgorytmizowaną metodę projektowania ułamkowych maszyn prądu przemiennego zarówno dwu-, jak i jednowarstwowych. Formalne związki pozwalają zaprojektować uzwojenia o małej i ułamkowej liczbie żłobków na biegun i fazę, a następnie dokonać w prosty sposób analizy wytwarzanego przez nie przepływu. Przedstawiona teoria stanowi dobrą podstawę do optymalizacji uzwojeń ułamkowych.

DESIGN AND ANALYSIS OF FRACTIONAL SLOT WINDINGS OF AC MACHINES

Summary. The paper presents an algorithmic method of designing fractional slot windings for AC machines, both of double and single layer type. The presented formulae allow to design windings with a small number of slots per pole and phase, and then to analyse its MMF harmonic spectra in a simple way. This theory is a good base for optimization of fractional slot windings.

1. WPROWADZENIE

Nazwa „uzwojenia ułamkowe” pochodzi od podstawowej liczby charakteryzującej budowę pasma fazowego maszyny prądu przemiennego - liczby żłobków przypadających na biegun i fazę w maszynie

$$q = \frac{Q_s}{2mp} \quad (1)$$

Gdy liczba q jest całkowita, uzwojenia takie nazywają się całkowite i są stosunkowo łatwe w konstruowaniu w tym sensie, że pod każdym biegunem znajdują się grupy, z których każda złożona z q połączonych zezwojów należy do kolejnej fazy. Tak więc w pasmie fazo-

wym uzwojenia całkowitego 3-fazowego każdy biegun tego uzwojenia jest utworzony przez boki zezwojów zajmujących $3q$ kolejnych złołków. Pod następnymi biegunami sytuacja się powtarza, z tym że kierunki włączenia grupy zezwojów w pasmo (nawinięcia) danej fazy są przeciwne. Dla uzwojenia całkowitego okresem powtarzalności jest więc obszar obejmujący parę biegunów uzwojenia. Dzięki tej właściwości najniższa harmoniczna przepływu wytwarzanego przez uzwojenia całkowite jest równa liczbie par biegunów $\rho = p$, a poprawnie zaprojektowane i nieuszkodzone uzwojenie wytwarza przepływ, którego spektrum obejmuje tylko harmoniczne o numerach będących nieparzystymi wielokrotnościami liczby par biegunów:

$$\rho = (2k - 1)p \quad k=1,2,\dots \quad (2)$$

Wymienione cechy symetrii, łatwość konstruowania oraz bardzo przerzedzone spektrum wytwarzanych harmoniczných przepływu stanowią zasadnicze zalety uzwojeń całkowitych. Natomiast ich wadą jest to, że dla określonej liczby par biegunów liczba złołków w stojanie musi być wielokrotnością $3mp$, to znaczy $6p$ dla uzwojeń trójfazowych, co stanowi nieraz kłopotliwe ograniczenie.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE PROJEKTOWANIA UZWOJEŃ UŁAMKOWYCH

Natomiast uzwojenia ułamkowe charakteryzują się tym, że iloraz q (1) jest ułamkiem. Dla uzwojeń 3-fazowych można go zapisać w następującej postaci:

$$q = \frac{Q_s}{6p} = I + \frac{b}{d} = \frac{t}{d}, \quad (3)$$

gdzie: t, d - są odpowiednio licznikiem i mianownikiem skróconego ułamka niewłaściwego,

I - część całkowita liczby q .

Aby zachować symetrię uzwojeń, liczba złołków stojana musi być podzielna przez liczbę m pasm fazowych (najczęściej 3), natomiast nie jest podzielna przez liczbę biegunów $2p$ - stąd ułamek w postaci (3):

$$\begin{aligned} Q_s &= k m \\ Q_s &\neq l 2p \end{aligned} \quad ; \quad k, l = 1, 2, \dots \quad (4)$$

Ułamkowy wynik średni w zakresie całego uzwojenia, dany liczbą (4), jest praktycznie uzyskiwany poprzez stosowanie grup składających się z różnej liczby zezwojów, a więc na przykład z grup o I oraz $I+1$ zezwojach, tak aby był spełniony ułamek określony liczbą q . Uzwojenia ułamkowe są więc złożone z grup o niejednakowej liczbie zezwojów i grupy te muszą, dla zachowania symetrii, być odpowiednio równomiernie rozmieszczone na obwodzie

maszyny. Występują więc tutaj powtarzające się fragmenty uzwojeń, należące do różnych pasm fazowych, obejmujące grupy o różnej liczbie zezwojów.

Takie powtarzające się fragmenty uzwojenia, niewspółmierne z liczbą biegunów, charakterystyczne dla uzwojeń ułamkowych nazywamy **segmentem uzwojenia** lub **nawiasem**. Te segmenty będą bezpośrednio służyły w projektowaniu pasm fazowych uzwojeń ułamkowych i przy określaniu ich właściwości. Stanowią one wraz z opracowaną metodologią istotę proponowanej metody, która pozwala w sposób mnemotechniczny projektować uzwojenia ułamkowe spełniające różne trudne wymagania, a więc przede wszystkim posiadające dużą liczbę par biegunów przy stosunkowo małej liczbie zębów dla danego uzwojenia.

Aby w sposób systematyczny zaprezentować omawianą metodę oraz nadać jej cechy ogólności, które pozwolą stosunkowo łatwo objąć nią zarówno uzwojenia dwuwarstwowe, jak i jednowarstwowe, jako wielkość wyjściową przyjmijmy zamiast liczby zębów Q_s , liczbę zezwojów Q_c na biegun i fazę:

$$v = \frac{Q_c}{6p} = \frac{u}{h} \quad (5)$$

W powyższej zależności liczby naturalne u , h stanowią odpowiednio licznik i mianownik skróconego ułamka wynikającego z ilorazu (5). Związki pomiędzy liczbą q , określającą liczbę zębów przypadających na biegun i fazę uzwojenia, a ilorazem określającym liczbę v są jasne. W przypadku uzwojeń dwuwarstwowych $Q_s = Q_c$ i dlatego także równe są obie liczby charakteryzujące uzwojenia: $q = v$.

Stąd jednakowa jest ich reprezentacja w postaci skróconych ułamków niewłaściwych

$$t = u ; \quad d = h \quad (6)$$

Natomiast dla uzwojeń jednowarstwowych liczba zezwojów jest o połowę mniejsza od liczby zębów, z czego wynika konieczność stosowania parzystej liczby zębów w tym przypadku. Skutkiem tego zachodzi również: $v = 1/2 q$, a **uzwojenia jednowarstwowe z mianownikiem $h = 2$ nie są ułamkowe**.

Oczywiście warunek symetrii (4) ulega także zmianie, bo odnosi się do podzielności całkowitej liczby zezwojów przez liczbę faz uzwojenia:

$$Q_c = k m \quad (7)$$

Skład pojedynczego segmentu uzwojenia ułamkowego jest przedstawiony w postaci nawiasu zawierającego liczby naturalne, które oznaczają liczbę zezwojów w poszczególnych kolejno występujących grupach. Budowa nawiasu reprezentującego k -ty segment uzwojeń jest następująca:

$$(a_{(k-1)h+1}, a_{(k-1)h+2}, \dots, \dots, a_{kh-1}, a_{kh}) = (s_k) \quad (8)$$

a_i - oznacza tutaj liczbę zezwojów występujących w i -tej grupie segmentu,

h - jest liczbą grup występujących w segmencie, jest to jednocześnie mianownik ułamka (5),

(s_k) - symbolizuje k -ty segment uzwojeń.

Natomiast suma zezwojów uzwojeń fazowych składających się na jeden segment w postaci (8) jest równa liczbie u , będącej licznikiem ułamka (5):

$$a_{(k-1)h+1} + a_{(k-1)h+2} + \dots \dots + a_{kh-1} + a_{kh} = u. \quad (9)$$

Powyższe zapisy wynikają z interpretacji ułamka (5), którego licznik oznacza po skróceniu najmniejszą liczbę zezwojów u przypadających na całkowitą krotność liczby biegunów i faz h .

Całe m -fazowe uzwojenie składa się z w segmentów w postaci (8):

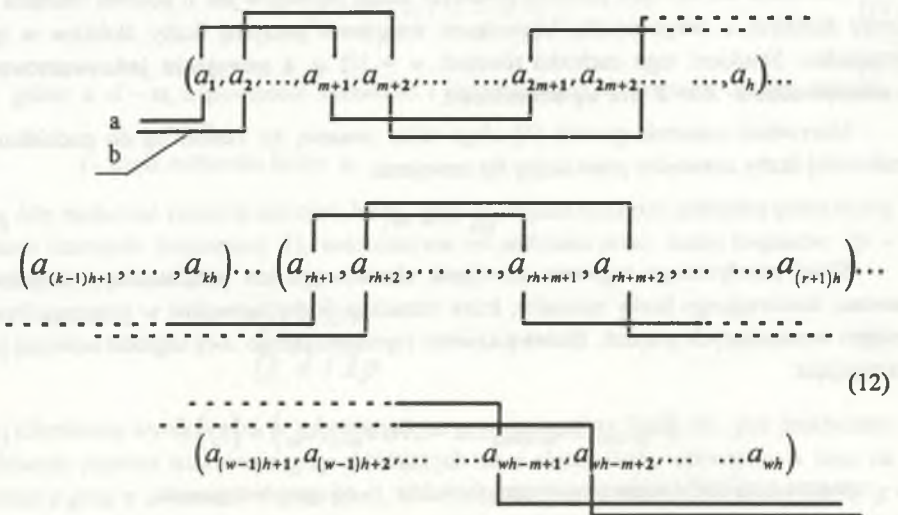
$$(s_1)(s_2) \dots \dots (s_k) \dots \dots (s_w). \quad (10)$$

Poszczególne segmenty są sobie równe, co wynika z faktu, że stanowią powtarzalne fragmenty uzwojeń maszyny. Rozróżnienie segmentów w postaci ciągu $(s_1) \dots \dots (s_w)$ jest potrzebne ze względu na to, że w poszczególnych segmentach inne elementy (grupy) są przypisane danemu pasmu fazowemu. Można to jeszcze przedstawić inaczej: segmenty w postaci nawiasów (s_k) są wszystkie jednakowe, ale przypisanie poszczególnych elementów (grup) pasmom fazowym następuje w różny sposób. Stąd wynika potrzeba zindywidualizowania indeksów oznaczających ciąg elementów tego schematu.

Liczba segmentów w musi być taka, aby całkowita liczba zezwojów była równa Q_c , stąd:

$$w = \frac{Q_c}{u}. \quad (11)$$

Budowa m pasm fazowych, na bazie struktury uzwojenia przedstawionego w postaci nawiasów (10), może być ujęta w formie następującego schematu:



A więc każde pasmo zawiera kolejno elementy, to znaczy grupy zezwojów, odległe od siebie o m pozycji, natomiast kierunek włączenia zezwoju w ciąg pasma jest w tej metodzie zapisu uzwojenia rozróżniony poprzez kierunek przechodzenia linii symbolizującej ciąg pasma przez pozycję elementu. Umownie przechodzenie tej linii od dołu oznacza grupę włączoną do obiegu pasma w sposób określony jako dodatni, a od góry jako ujemny, co będzie odpowiadało znakom $+$ lub $-$ w macierzy więzów (24).

W związku z przedstawieniem całego uzwojenia w postaci ciągu segmentów (10) i bardziej szczegółowo (12), należy sformułować warunki konieczne do zapewnienia symetrii uzwojenia:

1° Łączna liczba grup segmentów (elementów w nawiasach) w całym uzwojeniu o m pasmach musi być podzielna przez liczbę faz m , to oznacza:

$$w h = m k \quad ; \quad k = 1, 2, \dots$$

2° Liczba h elementów (grup) w pojedynczym segmencie i liczba faz m muszą być względnie pierwsze:

$$NWD(h, m) = 1. \quad (13)$$

Powyższy warunek symetrii pasm fazowych wynika stąd, że dane pasmo przechodząc przez kolejne segmenty, musi zawrzeć w sobie wszystkie elementy pojedynczego nawiasu występujące na h pozycjach. Jest to konieczne, ponieważ dany segment (nawias) nie rozpada się już na mniejsze fragmenty. W ogólności przecież, każdy element segmentu może być reprezentowany przez inną liczbę naturalną, to znaczy składać się z grup o innej liczności zezwojów. Formalnie oznacza to, że:

$$k m / (\text{mod } h) = 0, 1, 2, \dots, h - 1, \quad \text{dla } k = 1, 2, \dots, h,$$

a to oznacza dalej, że liczby h i m są względnie pierwsze.

Z 1° i 2° $\Rightarrow w = k m$, co oznacza, że liczba nawiasów w musi być podzielna przez liczbę faz. Należy przyjąć, że w łańcuchu segmentów może nastąpić powtarzalność większych fragmentów uzwojenia złożonych z kilku segmentów. Chodzi tu oczywiście o powtarzalność zawierającą w sobie przypisanie poszczególnych elementów (grup) do pasm fazowych uzwojenia. W pokazanym schemacie (12) pierwsze powtórzenie następuje po r -tym segmencie. Ponieważ z liczbą r będzie się wiązało praktyczne zagadnienie możliwości tworzenia gałęzi równoległych uzwojenia oraz wyznaczenia numeru najniższej harmonicznej przepływu wytwarzanego przez to uzwojenie, to istotne jest pytanie o wartość liczby r . Jak wynika ze schematu (12), liczba r może być wyliczona jako najmniejsza liczba naturalna spełniająca równanie:

$$r h / (\text{mod } 2m) = 0,$$

czyli:

$$r = \frac{2 m i}{h} \quad \begin{cases} r - \text{liczba całkowita} \\ i = \min \{1, 2, 3, \dots\} \end{cases} \quad (14)$$

Ponieważ zgodnie ze wzorem (13) h i m są względnie pierwsze, dlatego:

$$r = \frac{2m}{\text{NWD}(2m, h)}.$$

$$\begin{array}{ll} \text{Stąd dla: } h \text{ parzystego} & r = m, \\ h \text{ nieparzystego} & r = 2m. \end{array} \quad (15)$$

Bardzo istotny, z punktu widzenia spektrum wytwarzanych harmonicznym przepływu, jest iloraz w/r , który określa, ile powtórzeń fragmentu o r nawiasach zawiera całe uzwojenie. Na podstawie (5) i (15) można stwierdzić, że iloraz ten jest równy

$$\frac{w}{r} = \frac{Q_c}{u} \frac{\text{NWD}(2m, h)}{2m}, \text{ czyli } \frac{w}{r} = \frac{p}{h / \text{NWD}(2m, h)}. \quad (16)$$

Iloraz ten określa najniższą harmoniczną przepływu wytwarzaną przez uzwojenia ułamkowe i pokazuje, że jest ona dzielnikiem liczby par biegunów p . Występuje więc tak zwana „podharmoniczna”, ale jest to oczywiście podharmoniczna w odniesieniu do harmonicznym podstawowej $\rho = p$, a nie w odniesieniu do pierwszej harmonicznym przepływu $\rho = 1$. Oznaczmy ją jako

$$p' = \frac{w}{r}. \quad (17)$$

Na podstawie wzorów (16) i (17) można więc określić rząd najniższej harmonicznym przepływu wytwarzanej przez uzwojenia ułamkowe:

$$\begin{array}{ll} \text{dla } h \text{ parzystego:} & p' = \frac{2p}{h}, \\ \text{dla } h \text{ nieparzystego:} & p' = \frac{p}{h}. \end{array} \quad (18)$$

Ponieważ liczby m i h są względnie pierwsze, to odnośnie do spektrum harmonicznym przepływu można wyciągnąć dalsze wnioski. Badając cechę symetrii budowy pasma fazowego, obok (14) rozpatrzmy powtarzalność pasma dla połowy jego rozpiętości, to znaczy:

$$\tilde{r} h / (\text{mod } m) = 0. \quad (19)$$

Jego rozwiązanie: $\tilde{r} = \frac{m}{\text{NWD}(m, h)}$, wobec braku wspólnych dzielników m i h , daje wynik:

$$\tilde{r} = m, \quad (20)$$

zarówno dla h parzystego jak i nieparzystego.

Porównując to z rezultatami (15) można stwierdzić, że dla h nieparzystego pasmo posiada cechę antysymetrii w obrębie fragmentu uzwojenia obejmującego r segmentów. Oznacza to, że dla h nieparzystego

$$a_i = -a_{i+\frac{m}{2}}$$

lub

$$a_i = -a_{i+mh} \quad (21)$$

Natomiast dla h będącego liczbą parzystą, wobec faktu, że $r = m$ oraz $\bar{r} = m$, antisymetria nie zachodzi, jak również nie może zachodzić względem elementu wewnętrznego w segmencie, gdyż ich liczba jest parzysta. W wyniku tych rozważań można określić spektrum przepływu generowanego przez uzwojenia uławkowe następującymi zależnościami:

dla h będącego liczbą nieparzystą

$$\rho = (2k - 1)p' \quad ; \quad p' = \frac{p}{h}$$

a dla h parzystego (22)

$$\rho = k p' \quad ; \quad p' = \frac{2p}{h} \quad ; \quad k = 1, 2, \dots$$

Rezultat ten jest istotny, ponieważ pozwala z góry określić składowe harmoniczne przepływu wytwarzanego przez uzwojenia uławkowe. Liczbę p' określoną w relacji (22) nazywamy zredukowaną liczbą par biegunów.

Powróćmy teraz do analizy pojedynczego segmentu reprezentowanego przez nawias w postaci (8). Jego budowa wymagana ze względu na symetrię całego m -fazowego uzwojenia ograniczona jest przez dwa warunki. Liczba elementów nawiasu, to znaczy grup zezwojów musi wynosić h , a suma zezwojów w tych grupach, zgodnie z zależnością (9), wynosi u . Obie te liczby naturalne u , h są opisane wzorem (5) i objaśnione wcześniej. Natomiast poza warunkami symetrii, które traktujemy jako konieczne, powstaje pytanie: jak jest korzystnie rozdzielić u zezwojów na h grup tworzących segment wiedząc, że grupy nie mogą być równe - jak to ma miejsce w uzwojeniach całkowitych. Przez analogię do uzwojeń całkowitych i opierając się na intuicji można przyjąć, że korzystne jest możliwie równomierne rozłożenie grup zezwojów. Zagadnienie to zostanie rozważone bliżej w pracy [7]. Na obecnym etapie można przyjąć, że uzwojenie składa się z grup o dwóch licznosciach zezwojów: I oraz $I + 1$:

$$\left(\underbrace{I, I, \dots, I}_{a \text{ razy}}, \underbrace{e, e, \dots, e}_{b \text{ razy}} \right) \quad (23)$$

$$a + b = h \quad ; \quad e = I + 1 \quad ; \quad aI + be = u$$

Nawias w postaci (23) jest określony z dokładnością do istotnie różniących się przestawień elementów I, e . Liczba tych operacji odpowiada liczbie permutacji z przestawieniami tych elementów; są one w ramach nawiasu traktowane jako cykliczne. Wynika to stąd, że kolejny nawias jest zbudowany tak jak poprzedni i przesunięcia nawiasów zachowujące warunek (23) odpowiadają jedynie zmianie początku uzwojenia.

3. TWORZENIE MACIERZY WIĘZÓW I ANALIZA UZWOJENIA

Schematy typu (12) służą bezpośrednio do tworzenia macierzy więzów C , jak i schematu konstrukcyjnego uzwojenia. Macierz więzów [4] zawiera zapis związków pomiędzy zezwojami a pasmami fazowymi uzwojenia. Liczba wierszy odpowiada liczbie pasm fazowych, a liczba kolumn liczbie żłobków uzwojenia. Elementy macierzy ze zbioru $\{1, -1, 0\}$ oznaczają występowanie danego zezwoju w składzie odpowiedniego pasma wraz z kierunkiem nawinięcia, a właściwie kierunkiem włączenia w obieg pasma. Dla uzwojeń 3-fazowych macierz więzów posiada trzy wiersze odpowiadające pasmom fazowym oraz Q_c kolumn, które odpowiadają zezwojom. W macierzy tej każdy niezerowy element odpowiada zezwojowi i umownie przyjmujemy, że podaje on położenie boku zezwoju znajdującego się w górnej warstwie. Dolny bok zezwoju znajduje się oczywiście w odległości poskoiku Y_Q i nie jest zaznaczany w macierzy, a formalnie wpływa tylko na współczynnik skrętu. Macierz więzów ma więc następującą budowę:

$$C = \begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & 4 & \dots & & \dots & Q_c \\ \begin{matrix} a \\ -b \\ c \end{matrix} & \left[\begin{array}{ccccccccc} 1 & 1 & \dots & & & & \dots & & 0 \\ & & -1 & -1 & \dots & & \dots & & 0 \\ & & & & 1 & 1 & \dots & \dots & -1 \end{array} \right] \end{matrix} \quad (24)$$

Można dowieść [7], że przy tworzeniu macierzy więzów na podstawie schematu (12), pasma o numerach parzystych muszą mieć obieg pasmowy odwrócony, co odpowiada zamianie początków i końców tych uzwojeń. Zostało to zaznaczone w macierzy więzów (24) jako $-b$. Przedstawiona macierz więzów dotyczy uzwojeń dwuwarstwowych. Dla **uzwojeń jedno-warstwowych** modyfikacja polega na umieszczaniu w macierzy **obu boków** zezwojów, co jest dość użyteczne, jako że uzwojenia takie są trudniejsze w konstruowaniu, a zapis obu boków w macierzy pozwala uniknąć błędów.

Tworzenie gałęzi równoległych dla uzwojeń ułamkowych przebiega na takich samych zasadach jak dla uzwojeń całkowitych, przy czym rolę pary biegunów p odgrywa zredukowana para biegunów p' (22).

Tak więc maksymalna możliwa do uzyskania liczba gałęzi równoległych wynosi:

- dla $h(d)$ będącego liczbą parzystą: $a_p = p'$,
 - dla $h(d)$ będącego liczbą nieparzystą: $a_n = 2p'$.
- (25)

Do analizy własności uzwojeń opisanych macierzą więzów korzystnie jest stosować wektor struktury zezwojowej uzwojeń, który w przypadku zezwojów o jednakowej liczbie zwojów ma postać:

$$\widehat{W}^p = \left[e^{j\rho\alpha_1}, e^{j\rho\alpha_2}, \dots, e^{j\rho\alpha_n}, \dots, e^{j\rho\alpha_{a_n}} \right] \quad (26)$$

gdzie: $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{Q_s}$ oznaczają kąty określające osie poszczególnych zezwojów, lub w przypadku uzwojeń o jednakowych zezwojach mogą to być kąty określające położenia na przykład lewych boków zezwojów.

Przyjmijmy także, oczywiście z praktycznego punktu widzenia, założenie, że zębki są wykonane w równych odstępach kątowych

$$\tau_s = \frac{2\pi}{Q_s}, \quad (27)$$

wtedy:

$$\widehat{\mathbf{W}}^\rho = \left[1 \quad e^{j\rho\tau_s} \quad \dots \quad e^{j\rho(k-1)\tau_s} \quad \dots \quad e^{j\rho(Q_s-1)\tau_s} \right]. \quad (28)$$

Wektor struktury zezwojowej posiada następujące istotne właściwości:

$$\widehat{\mathbf{W}}^{(Q_s, \pm\rho)} = \widehat{\mathbf{W}}^{\pm\rho} \Rightarrow \widehat{\mathbf{W}}^{(Q_s, +\rho)} = \widehat{\mathbf{W}}^\rho \quad \text{oraz} \quad \widehat{\mathbf{W}}^{(Q_s, -\rho)} = \widehat{\mathbf{W}}^\rho,$$

a także

$$\widehat{\mathbf{W}}^{\left(\frac{Q_s}{2}, +\rho\right)} = \widehat{\mathbf{W}}^{\left(\frac{Q_s}{2}, -\rho\right)}. \quad (29)$$

Liczba a nie we wszystkich przypadkach należy do zbioru harmoniczných, a nawet wspólnie z $Q_s/2$ może być liczbą ułamkową. Tworząc iloczyn

$$\widehat{\mathbf{a}}_i^\rho = \mathbf{C} \left(\widehat{\mathbf{W}}^\rho \right)^T, \quad (30)$$

lub w formie rozwiniętej, przedstawionej tu dla układu 3-fazowego uzwojeń i Q_s -zezwojów tworzących ten układ:

$$\begin{array}{l} \text{faza a} \\ \text{faza b} \\ \text{faza c} \end{array} \begin{bmatrix} \mathbf{a}_1^\rho e^{j\phi_1^\rho} \\ \mathbf{a}_2^\rho e^{j\phi_2^\rho} \\ \mathbf{a}_3^\rho e^{j\phi_3^\rho} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & & & \\ 0 & 0 & -1 & -1 & \dots & \\ 0 & \dots & & 0 & 1 & 1 & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{j\rho\alpha_1} \\ e^{j\rho\alpha_2} \\ \vdots \\ e^{j\rho\alpha_{Q_s}} \end{bmatrix}, \quad (31)$$

uzyskuje się możliwość łatwej analizy własności uzwojenia. Rezultatem mnożeń macierzowych jest macierz kolumnowa (31). Jej elementy zawierają liczby rzeczywiste $\mathbf{a}_1^\rho, \mathbf{a}_2^\rho, \mathbf{a}_3^\rho$, proporcjonalne do amplitud przepływu faz a, b, c ρ -tej harmoniczných oraz argumenty $\phi_1^\rho, \phi_2^\rho, \phi_3^\rho$ określające położenie przestrzenne wektora przepływu harmoniczných danej fazy. Wielkości te pozwalają określić wielkość oraz symetrię przepływu wytwarzanego przez uzwojenie fazy zarówno pod względem amplitudy, jak i położenia przestrzenne. Wielkości \mathbf{a}_i^ρ pozwalają także na obliczenie współczynnika grupy uzwojenia w następujący sposób:

$$k_g^\rho = \frac{3a^\rho}{Q_s} \quad (32)$$

Współczynnik grupy jest właściwie znormalizowaną wielkością a^ρ , a normalizacja następuje przez podzielenie jej przez liczbę zezwojów przypadających na pasmo fazowe.

Współczynnik grupy w postaci (32) wyraża w sposób względny moduł amplitudy przepływu grupy zezwojów rozłożonych w kolejnych złołbkach w stosunku do amplitudy przepływu, która byłaby wytworzona przez takie same zezwoje skupione. Wynika z niego wartość bezwzględna w stosunku do tradycyjnego wzoru określającego współczynnik grupy w postaci ilorazu funkcji sinusoidalnych.

Do oceny amplitudy wytwarzanej składowej harmonicznej przepływu należy jeszcze włączyć współczynnik skrótu i numer tej harmonicznej. W wyniku otrzymuje się wyrażenie (33), które w relatywny sposób przedstawia wielkość proporcjonalną do przepływu ρ -tej harmonicznej:

$$\bar{\theta}_i^\rho = \frac{p}{\rho} k_g^\rho k_p^\rho e^{jK} \quad (33)$$

Wyrażenie (33) zawiera także hiperbolicznie malejący czynnik p/ρ , który wynika z rozkładu na szereg Fouriera prostokątnej funkcji przepływu pojedynczego zezwoju znormalizowany, tak aby dla harmonicznej podstawowej był równy jedności.

W przypadku **uzwojeń jednowarstwowych** wektor struktury zezwojowej (26,28) zawiera kąty położenia poszczególnych złołbków stojana maszyny, a sumowanie (30,31) następuje po bokach zezwojów i zawiera już w sobie efekt skrótu. Dlatego wyrażenie (32), określające dla uzwojeń dwuwarstwowych współczynnik grupy, stanowi obecnie dla uzwojeń jednowarstwowych współczynnik uzwojenia:

$$k_u^\rho = \frac{3a^\rho}{Q_s} \quad \text{oraz} \quad \bar{\theta}_i^\rho = \frac{p}{\rho} k_u^\rho e^{jK} \quad (34)$$

Przedstawiony sposób zapisu budowy uzwojeń jednowarstwowych poprzez ujęcie w macierzy więzów obu boków zezwojów, poza ułatwieniem kontroli tego zapisu, ma jeszcze jedną zasadniczą zaletę. Nie zależy bowiem od rodzaju budowy uzwojenia jednowarstwowego. Nie ma w tym przypadku znaczenia, czy uzwojenie to jest **uzwojeniem grupowym** i ma różne rozpiętości zezwojów, a za to wspólną oś ich przestrzennego położenia, czy też jest uzwojeniem o **jednakowych zezwojach**, czy też uzwojeniem **koszykowym**. W każdym przypadku sumowanie „po bokach” zezwojów ujmuje cechy indywidualne tych zezwojów.

4. PRZYKŁAD

Przykład ten dotyczy przypadku, gdy liczba d , będąca w mianowniku skróconego ułamka niewłaściwego q (3), jest liczbą parzystą. Dane podstawowe projektowanego uzwojenia są następujące:

$$Q_s = 30, \quad p = 4, \quad m = 3.$$

Liczba złołków na biegun i fazę wynosi w tym przypadku:

$$q = \frac{Q_s}{6p} = \frac{30}{24} = \frac{5}{4} = \frac{t}{d}.$$

Wobec tego pojedynczy nawias (8) reprezentujący powtarzalny segment uzwojenia ma postać:

$$(2, 1, 1, 1).$$

Suma zezwojów takiego segmentu jest równa $t = 5$, a liczba grup zezwojów, z których się składa, wynosi $d = 4$. Liczba segmentów w powyższej postaci, z których składa się całe uzwojenie, jest równa:

$$w = \frac{Q_s}{t} = 6.$$

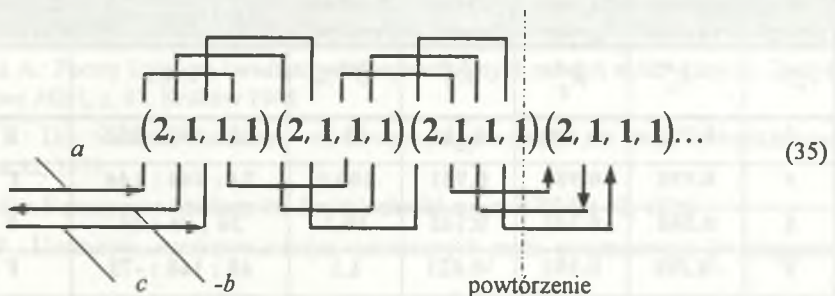
Zredukowana liczba par biegunów dla d parzystego zgodnie z (22) wynosi

$$p' = \frac{2p}{d} = \frac{8}{4} = 2.$$

Na podstawie wzorów (22) można także przewidzieć spodziewane spektrum składowych harmonicznych przepływu:

$$\rho = k p' = 2k = 2, 4, 6, \dots$$

Po wyliczeniach tych parametrów uzwojenia można już utworzyć podstawowy schemat uzwojenia opierając się na wzorcu (12):



Schemat uzwojenia (35) przedstawia tylko połowę uzwojenia, jako że ze względu na $p' = 2$ następuje pełne powtórzenie narysowanej części. Schemat ten dla uzwojeń dwuwarstwowych pozwala już na utworzenie macierzy więzów, ponieważ zawiera ona tylko jeden (górny bok) każdego zezwoju.

Najpierw zostanie jednak określony poskok zezwoju, co, poza wykonaniem pełnego schematu uzwojenia, pozwoli na obliczanie współczynników skroutu

$$Y = \frac{Q_s}{2p} = \frac{30}{8} = 3.75, \text{ stąd przyjęto } Y_Q = 4.$$

Macierz więzów, w związku z powtarzalnością wynikającą z $p' = 2$, składa się także z dwóch identycznych części, dlatego zostanie przedstawiona z piętnastoma kolumnami oznaczonymi podwójną numeracją, która dotyczy obu połówek uzwojenia.

$$C = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 \\ 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 & 24 & 25 & 26 & 27 & 28 & 29 & 30 \end{matrix} \\ \begin{matrix} a \\ -b \\ c \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & & & -1 & & & & 1 & & & & -1 & & \\ & & -1 & & & 1 & 1 & & & -1 & & & & 1 & \\ & & & 1 & & & & -1 & & & 1 & 1 & & & -1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Poskok zębkowy (27) wynosi $\tau_s = 12^\circ$, stąd wektor struktury zezwojowej uzwojeń (28) ma postać:

$$\bar{w}^p = \left[1 \quad e^{j\rho 12^\circ} \quad e^{j\rho 24^\circ} \quad \dots \quad \dots e^{j\rho 348^\circ} \right].$$

Wykonanie iloczynu wektorowego (31) i obliczenia na podstawie zależności (32) współczynników grupy oraz współczynników skrótu pozwalają na wyznaczenie ze wzoru (33) względnych wartości amplitud przepływu pasm fazowych i położenia kąтового osi tych przepływów. Wyniki tej analizy są zestawione w tabeli:

Uzwojenie dwuwarstwowe: $Q_s = 30$; $p = 4$; $m = 3$

Numer harm. przepł.	Współczynnik skrótu	Współczynnik grupy	Współczynnik uzwoj.	Względ. wartość przepł.	Położenie osi przepływów	Składowe symetr.
ρ	k_s^ρ	k_g^ρ	k_u^ρ	$\theta^\circ\%$	$\phi_{a,-b,c}$	
2	0.743	0.149	0.111	23.3	12 ; 132 ; 252	Γ
4	0.995	0.957	0.951	100.0	24 ; 264 ; 144	Γ^+
6	0.588	0.247	0.145	10.2	36 ; 36 ; 36	0
8	-0.208	0.102	-0.021	1.1	48 ; 168 ; -72	Γ
10	-0.867	0.200	-0.173	7.3	240 ; 120 ; 0	Γ^+
12	-0.951	0.647	-0.616	21.6	72 ; 72 ; 72	0
14	-0.407	0.109	-0.045	1.3	84 ; 204 ; -36	Γ
16	0.407	0.109	0.145	1.2	-84 ; 156 ; 36	Γ^+
18	0.951	0.647	0.616	14.4	-72 ; -72 ; -72	0

W tabeli można też zaobserwować symetrię wyników względem liczby $a = Q/2$, a oś symetrii zaznaczono w tabeli podwójną grubą linią.

5. UWAGI KOŃCOWE

Uzwojenia ułamkowe są stosowane nie tylko w małych maszynach, ale także w wolnoobrotowych maszynach dużej mocy. Ponadto ich stosowanie pozwala na ograniczenie oprzyrządowania technologicznego do wykonania blach stojanów maszyn. Do pełniejszego wykorzystania takich możliwości potrzebne jest jednak lepsze rozwiązanie szeregu problemów związanych z usuwaniem ich wad, to znaczy:

- optymalizacja uzwojeń pod względem widma i amplitud harmonicznego przepływu,
- ograniczenie momentów pasożytniczych,
- pełniejsze rozeznanie i ocena sił promieniowych,
- redukcja drgań i hałasu.

Problemy te, nie uwzględnione w artykule ze względu na jego zakres, są w znacznym stopniu rozważane w pracy [7].

LITERATURA

1. Heiles F.: *Wicklungen elektrischer Maschinen*. Springer Verlag 1953.
2. Hickiewicz J., Łukaniszyn M., Szymaniec s., Wach P.: On reducing the vibrations and noise level of induction motors with integral and fractional slot windings. *Archiv für Elektrotechnik* 73 (1990), 163-171, Springer Verlag.
3. Kluszczyński K., Mikiewicz R.: *Momenty pasożytnicze w indukcyjnych silnikach klatkowych*. Polskie Tow. Elektr. Teoret. i Stosowanej, Warszawa-Gliwice 1993.
4. Puchała A.: *Formy liniowe i kwadratowe niesymetrycznych maszyn elektrycznych*. Zeszyty Naukowe AGH, z. 87, Kraków 1964.
5. Punga F.: Die Nutenharmonischen von Drehstromgeneratoren mit Bruchlochwicklungen. *ETZ* Bd 52, 1931.
6. Rasch: Ein Beitrag zum Studium der Bruchlochwicklungen. *ETZ* Bd 47, 1926.
7. Wach P.: *Uzwojenia ułamkowe maszyn elektrycznych prądu przemiennego (w przygotowaniu)*.
8. Zawisła J.: *Uzwojenia zmiennobiegunowe maszyn elektrycznych prądu przemiennego*. Prace Naukowe Inst. Układów Elektromaszynowych, 37, seria: Monografie, z. 7, Politechnika Wroclawska 1986.

Recenzent: Dr hab. inż. Krzysztof Kluszczyński, prof. Politechniki Śląskiej

Wpłynęło do Redakcji dnia: 15 marca 1996 r.

Tadeusz WRÓBEL

Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

PRZEGLĄD ROZWOJU PRĄDNIC ZWIĘKSZONEJ CZĘSTOTLIWOŚCI TYPU INDUKTOROWEGO

Streszczenie. Po przeprowadzeniu podziału prądnic induktorowych zwiększonej częstotliwości przedstawiono przegląd rozwoju tych maszyn od ich wynalezienia do chwili obecnej i w perspektywie po dwutysięcznym roku. Zaprezentowano najważniejsze prace teoretyczne, doświadczalne i konstrukcyjne w tej dziedzinie z uwzględnieniem pozycji książkowych. Zwrócono uwagę na dorobek prof. Z. Gogolewskiego związany z prądnicami induktorowymi.

REVIEW OF THE DEVELOPMENT OF INDUCTOR -TYPE HIGH FREQUENCY ALTERNATORS

Summary. After reminding of classification of the inductor type high frequency alternators, the review of the development of them has been given, from the date of invention to present day and prospects for twenty-first century. The most important works in this field: theoretical, experimental and constructional including books, have been presented. Scientific achievements of Prof. Z. Gogolewski in subject of inductor-type alternators have been paid attention.

1. WPROWADZENIE

W materiałach XXXI Międzynarodowego Sympozjum Maszyn Elektrycznych w Ustroaniu (20-23.09.1995) opublikowano wnikliwy i głęboki przegląd rozwoju maszyn synchronicznych [1], oparty na 159 pozycjach literatury cytowanej. Ze względu na tak olbrzymią skalę przedsięwzięcia - zapewne - w pracy tej znalazło się stosunkowo mało miejsca na prądnice zwiększonej częstotliwości, w tym maszyny typu induktorowego.

Z tego względu pragnę pokusić się o pewne rozwinięcie tematu, przedstawiając skrótkowo, w miarę istniejącej możliwości objętościowej, zarys rozwoju prądnic induktorowych zwiększonej częstotliwości.

Ze względu na wartość częstotliwości prądnic synchroniczne (w tym również induktorowe) podzielić można na maszyny: małej (albo normalnej), średniej i wielkiej częstotliwości. Prądnice o częstotliwości większej niż normalna nazywa się umownie maszynami zwiększonej częstotliwości.

Prądnice małej częstotliwości obejmują zakres do 100 Hz włącznie. Jako zakres średniej częstotliwości przyjmuje się zwykle $100 \div 10\,000$ Hz. Za prądnice wielkiej częstotliwości można uważać maszyny o $f = 10\,000 \div 200\,000$ Hz. Do uzyskiwania tak znacznych częstotliwości służą prądnice induktorowe o specjalnej konstrukcji: prądnica Alexandersona i prądnica Thury'ego opisane w [2] i [3].

Częściowy podział prądnic zwiększonej częstotliwości ze względu na rodzaj konstrukcji i sposób wzbudzenia pojawił się w pracach [4, 5, 6]. Szczegółowy podział, aktualny do dziś, zaproponował autor niniejszego w [7].

Prądnice o biegunach stałych, zwane induktorowymi mogą być wzbudzane za pomocą elektromagnesów lub magnesów trwałych. Rozróżniamy ich dwa zasadnicze typy: prądnice różnobiegunową (heteropolarną) i jednakobiegunową (homopolarną). Każdy z tych rodzajów może mieć strukturę uzębienia typu Guya lub Lorentza - Schmidta.

2. ZARYS ROZWOJU PRĄDNIC INDUKTOROWYCH

Uważa się, że prądnica induktorowa pojawiła się po raz pierwszy w połowie XIX wieku. W 1854 r. opatentowano w Anglii maszynę, której zasada działania odpowiadała współczesnemu pojęciu maszyny induktorowej. W 1877 roku prądnice induktorową opatentował Paweł N. Jabłoczkow, urodzony w powiecie saratowskim w 1847 roku (francuski patent nr 119702).

Niektórzy autorzy nazywają taką maszynę prądnicą reluktancyjną [1, 8] od niemieckiego „der Reluktanz-Generator” [5, 9], lecz na całym świecie rozpowszechniła się nazwa, zbliżona do angielskiej „inductor type machine” [10] albo „inductor alternator” [6, 11, 12], lub odpowiednika rosyjskiego „generatory induktornogo tipa” [13], albo „indukturnyje generatory” [14, 15, 16], czy też „indukturnyje alternatory” [17]. Nazwa ta została też przyjęta w Polsce jako „prądnica induktorowa” [1, 3, 18, 19, 20].

Maszyna opatentowana przez Jabłoczkowa była już typową prądnicą induktorową - miała ona wirnik w postaci uzębionej tarczy. Zarówno uzwojenie wzbudzenia, jak i twornika znajdowały się na stojanie. W 1885 r. Aleksiej Klimenko uzyskał rosyjski patent na maszynę induktorową o dużej jak na owe czasy dla tego typu maszyny mocy 3,5 kW. Na tej samej zasadzie oparli również swoje rozwiązania Kingdon i Thompson.

Pracownik firmy AEG Michał O. Doliwo-Dobrowolski urodzony w Sankt Petersburgu (w 1862 r.) zajmował się badaniami prądnic induktorowych w celu porównania ich własności z własnościami klasycznych prądnic synchronicznych o biegunach zmiennych. W 1890 r.

Nicola Tesla urodzony w Smilan w Krocacji (w 1856 r.) opracował i zrealizował prądnicę induktorową o częstotliwości 15 000 Hz, prędkości obrotowej 2500 obr/min i mocy 1 kW. Nieco później, w latach 1893-1900 szereg prądnic induktorowych o częstotliwości 10 000 Hz i mocy 2 - 4 kW zrealizował Thury.

Sprzyjającym wydarzeniem dla dalszego rozwoju prądnic induktorowych było wynalezienie w 1895 r. radia. Zaisntniała potrzeba uzyskania źródła dużej mocy o częstotliwości 50-60 kHz do zasilania obwodu antenowego radiostacji. Niemożliwe było uzyskanie tak dużej częstotliwości przez zwiększanie liczby par biegunów i prędkości obrotowej. Idealnie nadawała się do tego celu prądnicę induktorowa, w której wielką częstotliwość można było uzyskać przez zwiększenie liczby zębów wirnika, zgodnie ze wzorem $f = Z n / 60$ [Hz].

Uzyskiwanie znacznych częstotliwości w prądnicach induktorowych było możliwe dzięki wynalezieniu w 1901 r. przez Francuza Georgesa Guya (brytyjski patent nr 18027) struktury strefy czynnej prądnic induktorowej, polegającej na tym, że podziałka żłobkowa wirnika jest równa podziałce żłobkowej stojana. Jest to prądnicę ze zmiennym (pulsującym) strumieniem w zębach wirnika. W prądnicę Guya, uzwojenie twornika umieszczone jest w specjalnych, dużych żłobkach, które obejmują pewną liczbę małych zębów, odpowiadających zębom wirnika [5, 6, 10, 21, 22]. Do dziś struktura Guya służy do uzyskiwania największych częstotliwości.

Prądnicę induktorowa z praktycznie stałym co do wartości bezwzględnej strumieniem w zębach wirnika została wynaleziona przez Karla Schmidta i opracowana przez firmę C. Lorenz A.G. znacznie później, bo dopiero w okresie drugiej wojny światowej. Niewątpliwie dobrze zorientowany w tej sprawie G. Hagedorn [23] nazywa ją prądnicę Schmidta lub Schmidta-Lorenza. Jednak w literaturze światowej bardzo rozpowszechniła się nazwa prądnicę Lorenza [4, 24, 25]. W późniejszych latach stosowano nazwę struktura Lorenza-Schmidta [18, 26].

Na lata początkowe naszego stulecia przypada szereg osiągnięć konstrukcyjnych w dziedzinie prądnic induktorowych. Najpierw K. A. Steinmetz zrealizował prądnicę o niedużej mocy 300 V A na częstotliwość 50 kHz, a następnie w 1906 r. prądnicę o mocy 59 kW, również na częstotliwość 50 kHz.

Najwyższą z uzyskiwanych dotychczas częstotliwości prądnic induktorowych osiągnął w 1909 r. Alexanderson, który zrealizował najpierw prądnicę na $f = 100$ kHz, a następnie 200 kHz [27]. Były one przeznaczone do urządzeń telegrafii bezprzewodowej.

W. P. Wołogdin zrealizował w Rosji w 1912 r. prądnicę o mocy 2 kW, częstotliwości 6 kHz i prędkości obrotowej 20 000 obr/min, a później 150 kW i 600 kW, we wszystkich przypadkach na $f = 15 - 20$ kHz [15].

Równoległe z opracowaniem nowych konstrukcji rozwijały się prace nad doskonaleniem własności prądnic induktorowych. W 1920 r. Robert Pohl opracował dokładną metodę określania strat dodatkowych w miedzi [28]. W 1921 r. K. Schmidt pracował nad maszynami induktorowymi przeznaczonymi do telegrafii bezprzewodowej [29]. W 1923 r. F. Rosenberg opracował metodę określania (i ograniczania) strat w stali, przydatną w przypadku prądnic

induktorowych [30]. W 1924 r. S. Chiba opracował problem stosowania w prądnicach induktorowych uzwojeń m-fazowych i określania odpowiedniej w tym przypadku liczby żłobków stojana [31].

Podstawy do opracowania metod obliczania obwodów magnetycznych prądnic induktorowych dały prace K. Metzlera, na przykład z r. 1927 [32]. Natomiast K. Schmidt w 1928 r. zajmował się rodzajami budowy generatorów średniej i wielkiej częstotliwości [33]. C. M. Laffoon w 1924 r. [34], J. H. Walker w 1933 r. [35] oraz J. Tittel w 1937 r. [36] zwrócili uwagę na fakt, że jeden z najstarszych typów generatorów elektrycznych znów znalazł szerokie zastosowanie do generowania prądów zwiększonej częstotliwości, szczególnie dla telegrafii bezprzewodowej, a także dla pieców indukcyjnych do obróbki metali (topienie, spawanie, suszenie).

W latach czterdziestych, już w czasie drugiej wojny światowej i tuż po jej zakończeniu, prace nad maszynami zwiększonej częstotliwości typu induktorowego zaczęły się intensywnie rozwijać w związku z ich zastosowaniem w radiolokacji i lotnictwie. Z tego okresu pochodzą interesujące prace J. H. Walkera [4, 11]. Cenna praca [11] była dużym wkładem do rozwoju maszyn typu induktorowego. Dała ona teoretyczne podstawy do projektowania zarówno prądnic jednakobiegunowych, jak i różnobiegunowych. Walker przedstawił w niej różne typy uzwojeń twornika i opracował wzory, wykazujące, że niektóre rodzaje uzwojeń zapewniają mniejsze oddziaływanie twornika niż inne. Wykazał konieczność stosowania obwodów tłumiących w przypadku uzwojeń wielofazowych. Zwrócił uwagę na szkodliwe prądy łożyskowe w prądnicach różnobiegunowych.

W pracy [4] Walker preferuje prądnicę różnobiegunową jako najkorzystniejszą w celu uzyskiwania wielkiej częstotliwości (do 50 000 Hz) z przeznaczeniem do topienia metali i hartowania powierzchniowego stali. Przedstawia elementy teorii tej maszyny.

Niektóre odbiorniki prądu przemiennego, na przykład stosowane w instalacji pokładowej samolotu, wymagają zbliżonego do sinusoidy kształtu krzywej napięcia, co w prądnicach induktorowych jest trudne do uzyskania. Stało się więc zadaniem poprawy kształtu krzywej napięcia tej prądnicy. Uzyskać to można przez opracowanie najkorzystniejszej struktury strefy czynnej. Przez szerokie pojęcie struktury strefy czynnej rozumie się wybór rodzaju uzębienia prądnicy: typu Guya lub Lorenza - Schmidta, określenie właściwych proporcji oraz liczby zębów stojana i wirnika, ich wymiarów geometrycznych, a także najkorzystniejszego kształtu zęba wirnika. Zagadnienia te mogą być rozwiązane na drodze teoretycznej lub doświadczalnej, obejmującej badania rozkładu indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej.

Spośród prac doświadczalnych na uwagę zasługuje praca R. W. Wiesemanna [37]. Metoda Wiesemanna polegała na żmudnym odtwarzaniu obrazów pól magnetycznych dla różnych wymiarów zęba prostokątnego za pomocą metody graficznej Lehmana - Richtera.

Praca Wiesemanna ma jednak ograniczony zasięg, gdyż brany jest pod uwagę wyłącznie ząb prostokątny, a rozważania prowadzone są wyłącznie dla biegu jałowego. Wyniki badań Wiesemanna obarczone są ponadto dużym błędem ze względu na małą dokładność modelowania graficznego.

W pracach N. Ja. Alpera [38] i A. A. Terzjana [39] badano współczynniki charakterystyczne pola magnetycznego w szczelinie powietrznej prądnicy induktorowej przydatne przy obliczaniu maszyny, posługując się specjalną makietą statyczną. Wpływ żłobków stojana pominięto.

Niektórzy autorzy posługiwali się metodą analityczną. N. N. Hancock w pracy [40] z 1957 r. sceptycznie odnosi się do możliwości uzyskania sinusoidalnego przebiegu w prądnicy induktorowej. Podaje on szereg warunków, jakie muszą być spełnione w tym celu. Proponuje metodę matematyczną określenia najkorzystniejszej liczby zębów stojana i wirnika, jednak przydatną tylko dla niektórych, szczególnych typów prądnic induktorowych.

Analizę matematyczną, zmierzającą do określenia najkorzystniejszej liczby zębów wirnika trójfazowej prądnicy induktorowej, przedstawił w 1960 r. A. K. Das Gupta w swoich pracach [12, 41]. Analiza ta odnosi się jednak tylko do szczególnych typów prądnic induktorowych. Dopiero Ł. Česnak i R. Palka w 1965 r. opublikowali bardziej ogólną teorię, przydatną dla wszystkich typów jednofazowych prądnic induktorowych zarówno Lorenza - Schmidta, jak i Guya [26]. Metodą analityczną posłużył się również B. S. Zečichin do określenia rozkładu pola magnetycznego w szczelinie powietrznej prądnicy induktorowej [42] oraz B. Oprendeck [43], który zajmował się określeniem optymalnych wymiarów zęba prostokątnego wirnika prądnicy jednakobiegunowej średniej częstotliwości przy biegu jałowym.

Ogólną cechą charakterystyczną tych opracowań jest przyjmowanie daleko idących założeń upraszczających, potrzebnych do otrzymania wymaganego rozwiązania analitycznego. Powierzchnia stojana przeważnie przyjmowana jest jako gładka (nie uzębiona) [43], badania analityczne dotyczą biegu jałowego, brany jest pod uwagę wyłącznie ząb o kształcie prostokątnym.

W 1964 r. została obroniona w Wojskowej Akademii Technicznej praca doktorska autora niniejszej publikacji pt. „Badania modelowe nad strukturą strefy czynnej jednofazowych prądnic induktorowych podwyższonej częstotliwości, wykonana pod promotorstwem prof. Zygmunta Gogolewskiego [44]. W pracy tej uwzględniono żłobkowanie stojana, badania prowadzono nie tylko przy biegu jałowym, lecz również pod obciążeniem, określono najkorzystniejsze kształty i proporcje zębów, opracowano i zrealizowano uniwersalny, ruchomy model fizyczny prądnicy induktorowej, według pomysłu prof. Z. Gogolewskiego [45], a także opracowano metodę modelowania fizycznego prądnic induktorowych za pomocą tego modelu oraz teoretyczne podstawy modelowania fizycznego tych prądnic, opierając się na teorii prawdopodobieństwa. Wyniki badań opublikowano w pracach wspólnych promotora i autora [18, 19, 46] oraz indywidualnych tego ostatniego [47, 48, 49].

Na lata sześćdziesiąte przypada okres intensyfikacji prac na temat prądnic induktorowych, wykonywanych w Akademii Nauk Łotewskiej SSR. Prace te dotyczą głównie badań pól magnetycznych w szczelinie powietrznej maszyny induktorowej w celu określenia jej podstawowych parametrów. Są to między innymi prace W. W. Apsita, Ł. E. Dombura i K. E. Skruzitisa.

Maszyna induktorowa małej mocy może również służyć jako prądnica tachometryczna z mostkowym układem prostowniczym i układem rewersji napięcia na wyjściu. Prądnicę taką opracował, zrealizował w WAT i przebadał autor niniejszego artykułu [50]. Ta jednopokietowa, jednakobiegunowa prądnica induktorowa o strukturze strefy czynnej typu Lorenza - - Schmidta z wyjściem stałoprądowym ma tę przewagę nad komutatorowymi prądnicami tachometrycznymi prądu stałego, że jest bezzestykowa, ma duże nachylenie charakterystyki i małe pulsacje napięcia.

3. PERSPEKTYWY ROZWOJOWE NA NAJBLIŻSZĄ PRZYSZŁOŚĆ I PO DWUTYSIĘCZNYM ROKU

Perspektywy rozwojowe prądnic induktorowych zwiększonej częstotliwości są duże, nie tylko ze względu na zastosowania w lotnictwie, lecz również z uwagi na ich przydatność w energetyce kosmicznej [51]. Rozpatrując podstawowe kierunki technicznego rozwoju kosmicznych systemów zasilania elektrycznego do roku 2000 i dalej, trzeba przewidywać gwałtowny wzrost wymaganej mocy elektrycznej systemów zasilania elektrycznego do 1000 MW.

W przyszłości przewiduje się wykorzystanie w systemach zasilania elektrycznego pojazdów kosmicznych prądu przemiennego o częstotliwości 20 kHz. Walory techniczne systemów zasilania elektrycznego przy tej częstotliwości podkreśla się w wielu pracach, a wśród nich [52].

Zastosowanie prądu przemiennego wielkiej częstotliwości umożliwia zmniejszenie masy układu zasilania elektrycznego wskutek zmniejszenia masy sieci rozdzielczej i ewentualnych przetwornic oraz zwiększenie sprawności i niezawodności systemu zasilania elektrycznego. W badaniach przeprowadzonych na zlecenie NASA stwierdzono, że system zasilania elektrycznego prądu przemiennego o $f = 20$ kHz ma w przybliżeniu o 30% mniejszą masę i o 5 - 10% większą sprawność w porównaniu z systemami prądu przemiennego na $f = 60$ Hz i $f = 400$ Hz, a także systemem zasilania prądu stałego [52].

Do zasilania wielu odbiorników urządzeń pokładowych niezbędne są źródła wysokiego napięcia, które uzyskiwano z udziałem transformatora podwyższającego. Jest korzystne zastosowanie w tym przypadku generatora wysokiego napięcia, którego zadanie najlepiej może spełnić prądnica induktorowa.

Prądnica przeznaczona do pracy w warunkach kosmicznych powinna mieć nie tylko dużą odporność na wysokie temperatury, lecz również na promieniowanie radioaktywne. Powinna mieć też odpowiednio długi czas pracy. Temperatura nagrzewania części maszyn elektrycznych stosowanych w kosmosie może dochodzić do 300°C. Ze względu na silne promieniowanie w maszynach tych stosuje się izolację ceramiczną i nie należy stosować typowych smarów. Stosuje się smarowanie ciekłymi metalami, najczęściej ciekłym potasem,

który służy jednocześnie jako czynnik chłodzący, konieczny by nie przekroczyć granicznej temperatury. Taką specjalną prądnicę induktorową opisano w [51].

LITERATURA

1. Dąbrowski M. I.: Przegląd rozwoju maszyn synchronicznych. Materiały konferencyjne : XXXI Międzynarodowe Sympozjum Maszyn Elektrycznych. Maszyny synchroniczne, Ustroń 20 - 23 września 1995, s. 33 - 54.
2. Minardi M.: Alternatori a ferro rotando a media e alta frequenza. Electrificazione, Milano, 1953.
3. Wróbel T.: O prądnicach średniej i wielkiej częstotliwości. Biuletyn WAT nr 10, 1960 s. 98 - 120.
4. Walker J. H.: High frequency alternators. Journal I.E.E. London nr 31, 1946, s.67 - 80.
5. Schmitz T.: Der Mittelfrequenzgenerator nach System Guy. ETZ - A, Berlin 1957, Bd 78 nr 10, s. 358 - 361.
6. Raby K. F.: High frequency inductor alternators. Electrical Times, London, 23 October 1958, s. 613 - 617.
7. Wróbel T.: Prądnicę zwiększonej częstotliwości. Wyd MON, Warszawa 1972.
8. Straszewski A.: Układ zastępczy prądnicy reluktancyjnej średniej częstotliwości o polu tętniącym. Prace Instytutu Elektrotechniki nr 25, 1961.
9. Putz W.: Neuere Entwicklungen in Bau elektrischer Maschinen. ETZ - A, 1955.
10. Pohl R.: Theory of pulsating - field machines. Journal I.E.E. nr 31, London 1946, s. 37 - 47.
11. Walker J. H.: The theory of the inductor alternator. Journal I.E.E., 1942 s. 227 - 241.
12. Das Gupta A. K.: Mathematical analysis of inductor alternators. Transactions AIEE nr 50, 1960, s. 684 - 689.
13. Alper N. J.: Generatory induktornogo tipa. Vestnik elektropromyslennosti, Moskwa nr 8, 1957.
14. Szarow W. S.: Elektromaszinyje induktornyje generatory. Gosenergoizdat, 1961.
15. Alper N. Ja., Tierzjan A. A. : Induktornyje generatory. Energia, Moskwa 1970.
16. Żeżerin R. P.: Induktornyje generatory. Gosenergoizdat, Moskwa - Leningrad 1961.
17. Krasnoszapka M. M.: Induktornyje alternatory powyszzennoj czastoty. WWA im. Żukowskiego, 1948.
18. Gogolewski Z., Wróbel T.: Badania modelowe prądnic induktorowych na podwyższoną częstotliwość. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka nr 98, z. 17, 1964, s. 3 - 11.

19. Gogolewski Z., Wróbel T.: Geometria strefy czynnej prądniczy induktorowej typu Lorenza - Schmidta. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka nr 158, z. 20, 1966, s. 3 - 27.
20. Bajorek Z.: Elektromaszynowe elementy automatyki, WNT, Warszawa 1969.
21. Büssing W.: Das Betriebsverhalten der Guy - Maschine. E. u. M. Bd. 76 nr 9, 1959, s. 1 - 9.
22. Bunea V.: About the theory of Guy high frequency generator. Revue d'electrotechnique et d'energetique. 1962, nr 1: s. 57 - 77, nr 2: s. 249 - 277.
23. Hagedorn G.: Mittelfrequenz - Generatoren grösserer Leistung. Sonderbauformen Elektrischer Maschinen, GMBH Berlin 1958, s. 128 - 154.
24. Davies E., Pedersen N.: An experimental and theoretical study of the Lorenz - type inductor alternator under load. IEEE Transactions of Applications and Industry, nr 67, 1963, s. 174 - 178.
25. Aleksiejewa M. M.: Maszynnye generatory powyszennoj czastoty. Energia, Leningrad 1967.
26. Czesnak Ł., Palka R.: Obszczaja teoria odnofaznych induktornyh generatorow. Izw. Wuzow „Elektromechanika” nr 10, 1965 s. 1084 - 1095.
27. Aleksanderson: Hochfrequenzmaschinen für drahtlose Telegraphie. ETZ 1912.
28. Pohl R.: Eine einfache Theorie der zusätzlichen Verluste im Nutenkupfer von Wechselstrom - Maschinen. Elektrotechnische Zeitschrift 41, 1920, s. 908.
29. Schmidt K.: Die Maschinen für drahtlose Telegraphie. Elektrotechnische Zeitschrift 42, 1921, s. 245 i 280.
30. Rosenberg F.: Wirbelströme in massivem Eisen. Elektrotechnik und Maschinenbau, 41, 1923, s. 317.
31. Chiba S.: Notes on polyphase high - frequency alternators. Journal IEE, 62, 1924, s. 947.
32. Metzler K.: Die Magnetisierungscharakteristik der Gleichpol - Induktortype. Archiv für Elektrotechnik, 19, 1927, s. 57.
33. Schmidt K.: Fortschritte im Bau von Mittel - und Hochfrequenzmaschinen. Elektrotechnische Zeitschrift, 49, 1928, s. 1565.
34. Laffoon C. M.: High - frequency alternators. Electric Journal, 21, 1924, s. 416.
35. Walker J. H.: Recent developments in high - frequency alternators. BTH. Activities, 9, 1933, s. 81.
36. Tittel J.: Grenzleistungen im Bau von Mittel - und Hochfrequenzmaschinen. VDE Fachberichte 9, 1937, s. 65.
37. Wiesemann R. W.: Graphical determination of magnetic fields. Transactions AIEE, Febr. 1927.
38. Alper N. Ja.: Rasczet magnitnyh polej w zazorie induktornoj maszyny s postojannym potokom. Wiestnik Elektropromyslennosti nr 3, 1962.

39. Tierzjan A. A.: Magnitnoje pole w wozdusznom zazorie induktornych maszin s pulsirujuszczim potokom. Wiestnik Elektropromyslennosti nr 5, 1962.
40. Hancock N. N.: The production of a sinusoidal flux wave with particular reference to inductor - alternator. The Proceedings IEE nr 5, 1957, s. 167 - 173.
41. Das Gupta A. K.: Analitical method to find the best number of stator and rotor teeth of inductor alternator for 3 - phase sinusoidal voltage generation. AIEE Transactions v. 50, 1960, s. 674 - 679.
42. Zeczichin B. S.: Magnitnoje pole w zazorie induktornoj masziny s pulsirujuszczim potokom zubca rotora. Issledowanije specjalnych awjacionnych el. maszin. Oborongiz, Moskwa 1961.
43. Opredeck B.: Asupra determinarii formei optime a dentilor generatoarelor de medie freuenta de tip omopolar. Bull. Stint. si Tehn. Inst. Politehn. nr 2, 1957.
44. Wróbel T.: Badania modelowe nad strukturą strefy czynnej jednofazowych prądnic induktorowych podwyższonej częstotliwości. Rozprawa doktorska, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 1964.
45. Gogolewski Z.: Analiza projektu wstępnego dla dokumentacji generatora synchronicznego jednofazowego 250 kV·A, 750/1000 V, 1960 okr/s. Gliwice 1952. Praca nie publikowana.
46. Gogolewski Z., Wróbel T.: Układ zastępczy modelu fizycznego, jako uniwersalny układ zastępczy prądnicy induktorowej. Biuletyn WAT nr 5, 1965, s. 85 - 100.
47. Wróbel T.: Wpływ trzeciej harmonicznej poprzecznego strumienia twornika na kształt fali napięcia homopolarnej prądnicy induktorowej. Biuletyn WAT nr 6, 1965, s. 67 - 79.
48. Wróbel T.: Zagadnienie proporcji zęba wirnika prądnicy induktorowej. Biuletyn WAT nr 12, 1966, s. 155 - 168.
49. Wróbel T.: Określenie liczby zębów stojana prądnicy induktorowej typu Lorenza-Schmidta. Biuletyn WAT nr 4, 1971, s. 115 - 123.
50. Wróbel T.: Induktorowa prądnica tachometryczna o wyjściu stałoprądowym ze zmniejszoną pulsacją napięcia. Rozprawy Elektrotechniczne z. 2, 1979, s. 613 - 631.
51. Wróbel T.: Militarne kosmiczne systemy energetyczne przyszłości. Przegląd Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej, 1991 cz.I: nr 3, s. 66 - 73, cz.II: nr 10, s. 59 - 65.
52. Aronson B. B.: High - frequency power for space. Mach. Design, nr 20, 32, 34, 36, 1986.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Glinka, Politechnika Śląska

Wpłynęło do Redakcji dnia 5 lutego 1996 r.

Abstract

The inductor-type alternators are classified according to the range of frequencies into small, medium and high frequency machines. The review of their development from the date of invention to present day and beyond year 2000 is presented. Some periods of rising interest in machines of this type are shown in the article. The first period (XIX century) was connected with a tendency to obtain a relatively high frequency up to 15 kHz and power up to 4 kW. The radio invention effected on the further, higher interest in inductor-type alternators at the end of XIX and the beginning of XX century. The frequency was within the range 50 - 60 kHz. The great construction achievements were observed in that time (Alexanderson 200 kHz.)

The further development of alternators is connected with the evolution of wireless telegraph and induction furnaces which took place in the twenties and the thirties. Many works which aimed at improving inductor-type alternators appeared in this period (R. Pohl, K. Schmidt, J. H. Walker).

After the Second World War the interest was caused by application inductor-type alternators in radiolocation and aviation. Many theoretical works appeared (N. N. Hancock, A. K. Das Gupta, W. W. Apsit, Z. E. Dombur). The inductor type alternators appeared as a tachogenerators in the seventies. They were commonly used in control systems.

The wider use of inductor type-alternators will be possible beyond 2000 year when the 20 kHz frequency will be implemented in space power systems.

Jerzy HICKIEWICZ

Mariusz BOGUCKI

Grzegorz HRYCAJ

Wyższa Szkoła Inżynierska w Opolu

CHARAKTERYSTYKI STATYCZNE SILNIKA PIERŚCIENIOWEGO DWUSTRONNIE ZASILANEGO

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono model matematyczny silnika pierścieniowego dwustronnie zasilanego. Przeprowadzono badania symulacyjne ustalonego stanu pracy. Określono sposób sterowania napięciem wirnika w celu uzyskania najkorzystniejszych właściwości silnika.

STEADY-STATE CHARACTERISTICS OF A DOUBLY-FED SLIP-RING MOTOR

Summary. The paper presents a mathematical model of a doubly-fed slip-ring induction motor. The investigations of various steady-state characteristics have been carried out basing on this model. The way of the rotor voltage regulation in order to obtain the most advantageous properties of the motor has been given.

1. WSTĘP

Pierwsze informacje o wielofazowej maszynie indukcyjnej pierścieniowej, której uzwojenia stojana jak i wirnika zasilane są z dwu odrębnych źródeł napięcia przemienne, o nastawianej amplitudzie i częstotliwości, pochodzą jeszcze z końca ubiegłego wieku i dotyczą patentu [1] firmy Siemens Halske. W opublikowanych w 1931 roku pracach [2] W. T. Kasjanow nazywa taką maszynę synchroniczną ze wzbudzeniem przemiennoprądowym. Jednak dopiero rozwój w dziedzinie techniki przekształtnikowej pozwolił na pełne wykorzystanie właściwości maszyn indukcyjnych pierścieniowych dwustronnie zasilanych MDZ. Zainteresowanie MDZ wynikało z możliwości osiągnięcia prędkości większej od synchronicznej, a

przede wszystkim z możliwości pracy przy stosunkowo dużym współczynniku mocy, jak i dużej sprawności przy nastawianej, w szerokim zakresie, prędkości kątovej wirnika.

W Polsce bardzo obszerne badania MDZ prowadzono w ośrodku Poznańskim. W pracach przede wszystkim Szaflarskiego jak również Samcika, Słodzinki [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13], a ponadto w pracy [6] wykazano szereg właściwości MDZ, w szczególności charakterystyczną zależność prądów stojana i wirnika od napięcia wirnika, o kształcie krzywych „V”, jak i również określono wartości napięcia wirnika odpowiadające optymalnym warunkom pracy MDZ.

Korzystając z [3] [5] w przedstawionej pracy zajęto się zbadaniem niektórych statycznych właściwości MDZ.

2. MODEL MATEMATYCZNY

Formułując model matematyczny MDZ przyjęto zwykle stosowane założenia, a więc liniowość obwodów magnetycznych, jednoharmoniczny rozkład indukcji w szczelinie, pominięto straty w rdzeniu, jak i straty mechaniczne. Przyjęto ponadto, że uzwojenia stojana jak i wirnika połączone są w gwiazdę i zasilane napięciami sinusoidalnymi. Przy takich założeniach, wprowadzając dwuosiową transformację równań opisujących MDZ na płaszczyznę wirującą z prędkością odpowiadającą pulsacji napięcia stojana, równania obwodów stojana i wirnika

$$\begin{aligned} \underline{U}_s &= R_s \underline{I}_s + \frac{d\Psi_s}{dt} + j\omega_s \Psi_s, \\ \underline{U}_w &= R_w \underline{I}_w + \frac{d\Psi_w}{dt} + j(\omega_s - \omega) \Psi_w \end{aligned} \quad (1)$$

oraz zależności pomiędzy strumieniami sprzężonymi stojana i wirnika a prądami

$$\begin{aligned} \Psi_s &= \frac{x_\mu + x_\sigma}{\omega_s} \underline{I}_s + \frac{x_\mu}{\omega_s} \underline{I}_w, \\ \Psi_w &= \frac{x_\mu}{\omega_s} \underline{I}_s + \frac{x_\mu + x_\sigma}{\omega_s} \underline{I}_w \end{aligned} \quad (2)$$

i równanie ruchu

$$\frac{J}{P} \frac{d\omega}{dt} = M_s - M_m, \quad (3)$$

w którym ω to prędkość kątovej wirnika, a moment elektromagnetyczny:

$$M_s = 3p \frac{x_\mu}{\omega_s} \operatorname{Im}\{\underline{I}_s \underline{I}_w^*\}, \quad (4)$$

w stanie pracy ustalonej zachodzi

$$\frac{d\Psi_s}{dt} = \frac{d\Psi_w}{dt} = 0,$$

natomiast:

$$\underline{U}_s = U_s e^{j\gamma}, \quad \underline{U}_w = U_w e^{j\gamma}$$

Równanie ruchu sprowadza się do tożsamości $M_e = M_m$, natomiast równania obwodów elektrycznych, po wyeliminowaniu z nich strumieni sprzężonych, sprowadzają się do zależności algebraicznych prądów od napięć i poślizgu s .

$$\begin{aligned} \underline{U}_s &= (R_s + jx_{cs} + jx_{\mu})I_s + jx_{\mu}I_w \\ \frac{\underline{U}_w}{s} &= jx_{\mu}I_s + \left(\frac{R_w}{s} + jx_{cw} + jx_{\mu} \right)I_w \end{aligned} \quad (5)$$

Wprowadzając dodatkowo oznaczenia

$$k_s = 1 + \frac{x_{cs}}{x_{\mu}} \quad k_w = 1 + \frac{x_{cw}}{x_{\mu}} \quad x_{\sigma} = x_{cs} + x_{cw}k_s$$

oraz przyjmując, że:

$$\begin{aligned} \underline{U}_s &= jU_s \\ \underline{U}_w &= U_w e^{j\gamma} = U_w (\cos \gamma + j \sin \gamma) \end{aligned}$$

można wyrazić składowe osiowe prądów stojana i wirnika w stanie pracy ustalonej:

$$I_{su} = \frac{U_s \left(k_w x_{\sigma} + \frac{R_w^2 k_s}{s^2 x_{\mu}} \right) - \frac{U_w}{s} \left[\left(R_s k_w + \frac{R_w k_s}{s} \right) \cos \gamma - \left(x_{\sigma} - \frac{R_s R_w}{x_{\mu} s} \right) \sin \gamma \right]}{\left(R_s k_w + \frac{R_w k_s}{s} \right)^2 + \left(x_{\sigma} - \frac{R_s R_w}{s x_{\mu}} \right)^2}$$

$$I_{sw} = \frac{U_s \left\{ R_s \left(k_w^2 + \frac{R_w^2}{s^2 x_{\mu}^2} \right) + \frac{R_w}{s} \right\} - \frac{U_w}{s} \left[\left(R_s k_w + \frac{R_w k_s}{s} \right) \sin \gamma - \left(x_{\sigma} - \frac{R_s R_w}{x_{\mu} s} \right) \cos \gamma \right]}{\left(R_s k_w + \frac{R_w k_s}{s} \right)^2 + \left(x_{\sigma} - \frac{R_s R_w}{s x_{\mu}} \right)^2}$$

$$I_{sw} = \frac{\frac{U_w}{s} \left[\left[R_s + \frac{R_w}{s} \left(k_s^2 + \frac{R_s^2}{x_{\mu}^2} \right) \right] \cos \gamma + \left(x_{\sigma} k_s + \frac{R_s^2 k_w}{x_{\mu}} \right) \sin \gamma \right] - U_s \left(x_{\sigma} - \frac{R_s R_w}{x_{\mu} s} \right)}{\left(R_s k_w + \frac{R_w k_s}{s} \right)^2 + \left(x_{\sigma} - \frac{R_s R_w}{s x_{\mu}} \right)^2}$$

$$I_{wv} = \frac{U_w}{s} \left\{ \left[R_s + \frac{R_w}{s} \left(k_s^2 + \frac{R_s^2}{x_\mu^2} \right) \right] \sin \gamma - \left(x_\sigma k_s + \frac{R_s^2 k_w}{x_\mu} \right) \cos \gamma \right\} - U_s \left(R_s k_w + \frac{R_w k_s}{s} \right) \quad (6)$$

$$\left(R_s k_w + \frac{R_w k_s}{s} \right)^2 + \left(x_\sigma - \frac{R_s R_w}{s x_\sigma} \right)^2$$

a na ich podstawie określić moment elektromagnetyczny

$$M_e = 3p \frac{x_\mu}{\omega_s} (I_{sv} I_{wu} - I_{su} I_{wv}) \quad (7)$$

Moment elektromagnetyczny [3] ma trzy składowe, dwie asynchroniczne zależne odpowiednio od kwadratu napięć stojana i wirnika oraz synchroniczną zależną od iloczynu obu napięć. Znajomość składowych osiowych prądu pozwala określić moce czynne stojana i wirnika

$$P_s = U_s I_{sv} \quad (8)$$

$$P_w = U_w I_{wu} \cos \gamma + U_w I_{wv} \sin \gamma$$

moce bierne

$$Q_s = U_s I_{su} \quad (9)$$

$$Q_w = U_w I_{wu} \sin \gamma - U_w I_{wv} \cos \gamma$$

całkowite straty

$$\Delta P = 3R_s I_s^2 + 3R_w I_w^2 \quad (10)$$

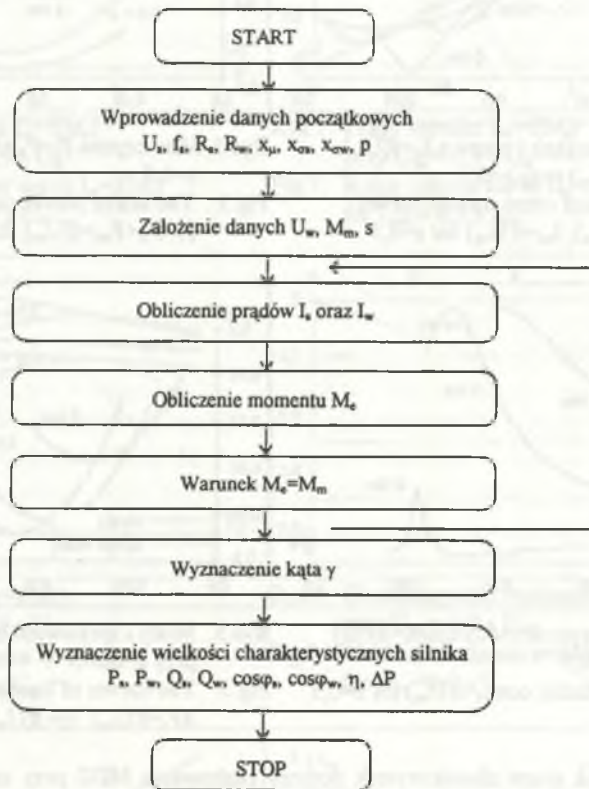
oraz sprawność MDZ

$$\eta = \frac{M_e \omega_s (1-s)}{P_s + P_w + \Delta P} \quad (11)$$

3. WYNIKI OBLICZEŃ

Przyjmując, że amplituda napięcia zasilania stojana i jego częstotliwość są wartościami stałymi, zachowanie MDZ w stanie ustalonym zależy od trzech niezależnie nastawianych wielkości: momentu obciążenia, wartości skutecznej napięcia wirnika oraz jego częstotliwości. Zakładając, że uzwojenia wirnika są zasilane z niezależnego źródła, przeprowadzono obliczenia zgodne z algorytmem pokazanym na rysunku 1. Przyjmując jako zadane do obliczeń wartości napięcie wirnika, jego częstotliwość, moment obciążenia określono kąt γ , a następnie obliczono prądy, moce, sprawność itp. wielkości MDZ. Obliczenia przeprowadzono w języku Turbo Pascal 6.0 wykorzystując do obliczeń silnik typu Szue24b (przezwojony) o danych

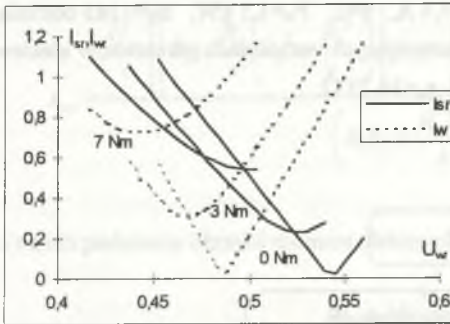
znamionowych: $U_{SN}=195$ V, $f_{SN}=50$ Hz, $I_{SN}=5,4$ A, $p=2$, $P_N=1,1$ kW, $n_N=1385$ obr/min, $M_N=7,59$ Nm, $U_{WN}=185$ V, $I_{WN}=4,2$ A oraz o następujących wartościach parametrów elektromagnetycznych: $R_s=R_w=1,32$ Ω , $x_{\sigma s}=x_{\sigma w}=1,9$ Ω , $x_{\mu}=34,75$ Ω .



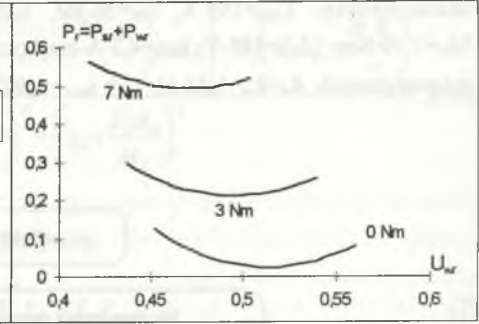
Rys. 1. Algorytm obliczeniowy

Fig. 1. The algorithm of computations

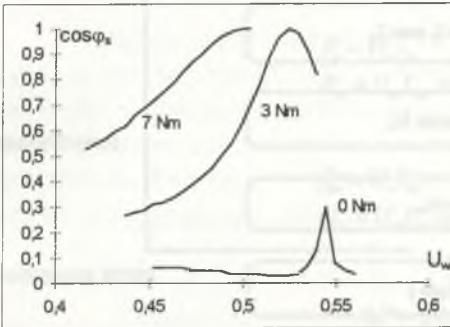
Pierwsza grupa charakterystyk dotyczy zachowania się MDZ przy stałym momencie obciążenia w zależności od wartości napięcia wirnika. Na rysunkach 2, 3, 4, 5 podano zależności prądów stojana i wirnika, mocy pobieranej, współczynnika mocy stojana, strat oraz sprawności silnika od napięcia wirnika przy stałych wartościach momentu obciążenia i częstotliwości wyrażone w jednostkach względnych.



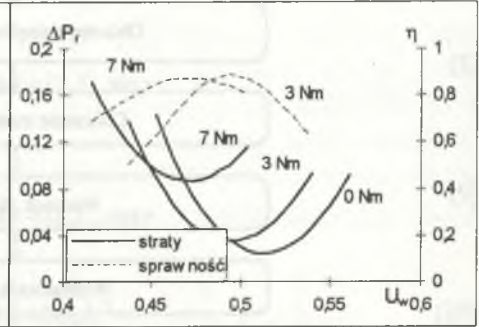
Rys. 2. Prądy stojana i wirnika $I_{sr}=f(U_{wr})$,
 $I_{wr}=f(U_{wr})$ przy $s=0,5$
 Fig. 2. Stator and rotor current curves
 $I_{sr}=f(U_{wr})$, $I_{wr}=f(U_{wr})$ for $s=0,5$



Rys. 3. Moc czynna $P_r=P_{sr}+P_{wr}=f(U_{wr})$ przy
 $s=0,5$
 Fig. 3. The active power curve
 $P_r=P_{sr}+P_{wr}=f(U_{wr})$ for $s=0,5$

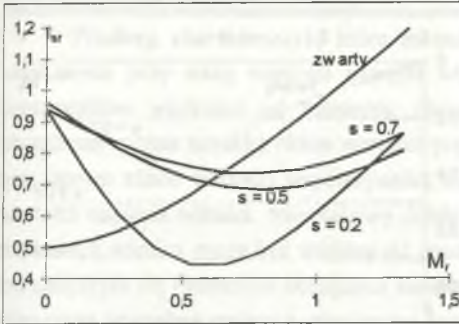


Rys. 4. Współczynnik mocy $\cos \phi_s=f(U_{wr})$
 przy $s=0,5$
 Fig. 4. Power factor $\cos \phi_s=f(U_{wr})$ for $s=0,5$



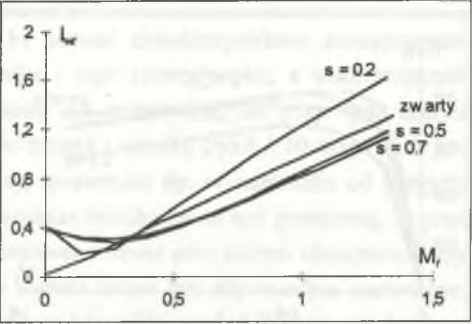
Rys. 5. Straty i sprawność $\Delta P_r=f(U_{wr})$, $\eta=f(U_{wr})$
 przy $s=0,5$
 Fig. 5. The curves of losses and efficiency
 $\Delta P_r=f(U_{wr})$, $\eta=f(U_{wr})$ for $s=0,5$

Następna grupa charakterystyk dotyczy zachowania MDZ przy zadanych warunkach zasilania wirnika, a zmieniającym się obciążeniu, jak również porównania MDZ z silnikiem o zwartych pierścieniach wirnika. Na kolejnych rysunkach przedstawiono zależności prądu stojana, prądu wirnika, sprawności i prędkości wirnika (charakterystyka mechaniczna) od momentu obciążenia przy różnych wartościach częstotliwości napięcia wirnika, jak i przy zwartych pierścieniach. Charakterystyki mechaniczne przedstawiono linią ciągłą w zakresie obciążeń, w których prądy stojana bądź wirnika nie przekraczają wartości znamionowych. Linią przerywaną przedstawiono charakterystyki mechaniczne aż do wartości momentu krytycznego. Rysunki 6, 7, 8, 9 sporządzono dla napięcia wirnika $U_{wr} = 0,9 s U_{sr}$, a rysunki 10, 11, 12, 13 dla napięcia wirnika $U_{wr} = s U_{sr}$.



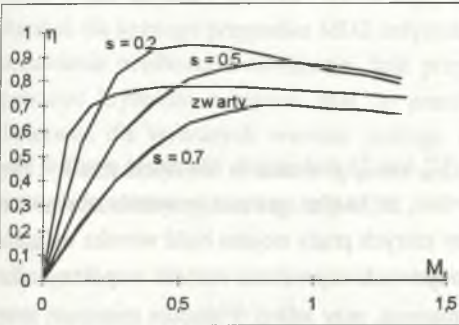
Rys. 6. Prądy stojana $I_{sr}=f(M_r)$
przy $U_{wr} = 0,9 s U_{sr}$

Fig. 6. Stator current curve $I_{sr}=f(M_r)$
for $U_{wr} = 0,9 s U_{sr}$



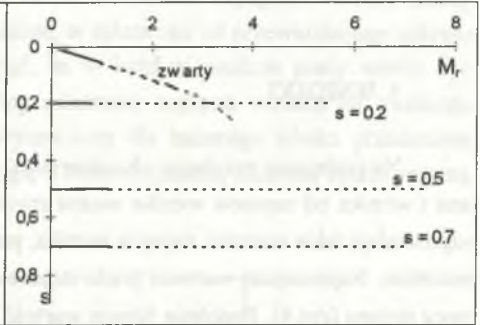
Rys. 7. Prądy wirnika $I_{wr}=f(M_r)$
przy $U_{wr} = 0,9 s U_{sr}$

Fig. 7. Rotor current curve $I_{wr}=f(M_r)$
for $U_{wr} = 0,9 s U_{sr}$



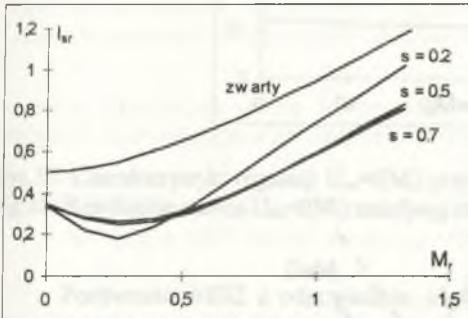
Rys. 8. Sprawność $\eta=f(M_r)$
przy $U_{wr} = 0,9 s U_{sr}$

Fig. 8. Efficiency curve $\eta=f(M_r)$
for $U_{wr} = 0,9 s U_{sr}$



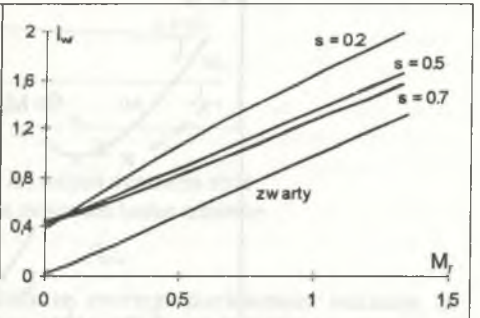
Rys. 9. Charakterystyki mechaniczne $s=f(M_r)$
przy $U_{wr} = 0,9 s U_{sr}$

Fig. 9. Mechanical curves $s=f(M_r)$
for $U_{wr} = 0,9 s U_{sr}$



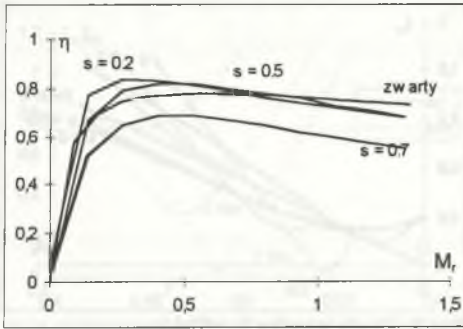
Rys. 10. Prądy stojana $I_{sr}=f(M_r)$
przy $U_{wr} = s U_{sr}$

Fig. 10. Stator current curve $I_{sr}=f(M_r)$
for $U_{wr} = s U_{sr}$



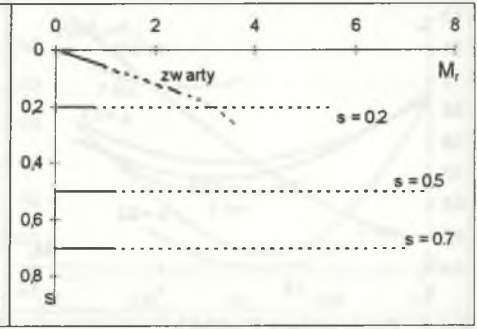
Rys. 11. Prądy wirnika $I_{wr}=f(M_r)$
przy $U_{wr} = s U_{sr}$

Fig. 11. Rotor current curve $I_{wr}=f(M_r)$
for $U_{wr} = s U_{sr}$



Rys. 12. Sprawność $\eta=f(M_r)$ przy $U_{wr} = s U_{sr}$

Fig. 12. Efficiency curve $\eta=f(M_r)$ for $U_{wr} = s U_{sr}$

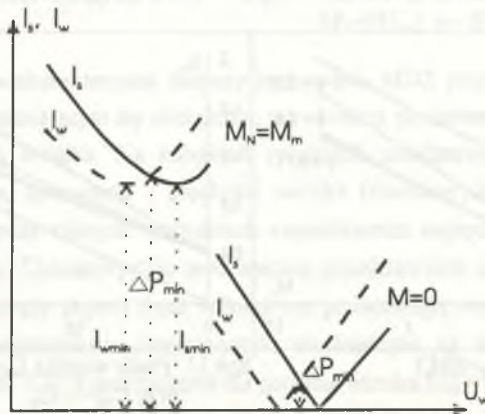


Rys. 13. Charakterystyki mechaniczne $s=f(M_r)$ przy $U_{wr} = s U_{sr}$

Fig. 13. Mechanical curves $s=f(M_r)$ for $U_{wr} = s U_{sr}$

4. WNIOSKI

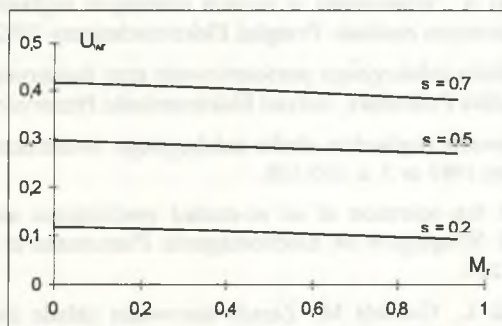
Na podstawie przebiegu charakterystyk „V” (rys.2) podających zależność prądów stojana i wirnika od napięcia wirnika można stwierdzić, że każdej wartości momentu obciążenia odpowiadają takie wartości napięcia wirnika, przy których prądy stojana bądź wirnika osiągają minimum. Najmniejszej wartości prądu stojana odpowiada największa wartość współczynnika mocy stojana (rys.4). Podobnie istnieje wartość napięcia, przy której występuje minimum strat w silniku, czyli maximum sprawności (rys.5). Praktycznie odpowiada ona wartości napięcia, przy której prąd stojana i sprowadzony na stronę stojana prąd wirnika są sobie równe (rys. 14).



Rys. 14. Krzywe „V”

Fig. 14. The „V” curves

Przebieg charakterystyk, które można by nazwać charakterystykami zewnętrznymi, uzyskanych przy stałej wartości napięcia wirnika i jego częstotliwości, a uzależniających poszczególne wielkości od momentu obciążenia też potwierdza, że przy tym samym obciążeniu można uzyskać różne wartości prądu stojana i wirnika (rys.6 i 10 oraz 7 i 11), a tym samym różne wartości współczynnika mocy, sprawności itp. w zależności od przyjętej wartości napięcia wirnika. Niewłaściwy dobór napięcia wirnika może być przyczyną, że prąd stojana lub wirnika może być większy od znamionowego nawet przy małym obciążeniu. Przy zmieniającym się momencie obciążenia napięcie wirnika winno być odpowiednio nastawiane, przy czym potrzebne zmiany nastawianego napięcia są niewielkie, rzędu kilku procent, bowiem nawet niewielkie zmiany napięcia wirnika powodują wyraźną zmianę w rozplywie prądów stojana i wirnika. Najkorzystniejszy przedział zmian napięcia wirnika zawarty jest pomiędzy charakterystycznymi punktami podanymi na rysunku 14 odpowiadającymi minimalnym wartościom prądu stojana i wirnika. Widać stąd, że zakres sterowania napięciem wirnika należy określać dla każdego przypadku MDZ indywidualnie, w zależności od przewidzianego zakresu nastawiania prędkości i obciążenia. Jeśli przyjąć, że w każdym punkcie pracy winno być spełnione kryterium minimum strat, to przebieg zależności napięcia wirnika od momentu obciążenia dla wybranych wartości poślizgu wyznaczony dla badanego silnika przedstawia rys.15. Charakterystyki te można by przez analogię z konwencjonalną maszyną synchroniczną nazwać charakterystykami regulacji MDZ.



Rys.15. Charakterystyki regulacji $U_{wr}=f(M_r)$ przy kryterium minimum strat
Fig.15. Regulation curves $U_{wr}=f(M_r)$ satisfying the minimum losses criterion

Porównanie MDZ z odpowiednim silnikiem ze zwartymi pierścieniami wskazuje, że MDZ niezależnie od możliwości nastawiania prędkości wirnika daje możliwość uzyskania większej sprawności, współczynnika mocy przez odpowiednie sterowanie napięciem wirnika, jak również posiada większą przeciążalność momentem. Wnioski uzyskane z badań potwierdzają wyniki przedstawione w cytowanych uprzednio pracach.

LITERATURA

1. Patentschrift nr 109208 Keiserliches Patentamt, Deutsches Reich 18.11.1898, opublikowane 14.03.1900 Kraftmaschine Antriebs und Control system für elektrische Kraftübertragung Siemens und Halske Berlin.
2. Kasjanow W.T.: Elektriczeskaja maszina dwojnogo pitanija kak obszczij słučaj masziny peremennogo toka. Elektriczesstwo 1931 Nr 21: s. 1189-1197, Nr 22: s. 1282-1288.
3. Dzierżanowski A., Hickiewicz J., Michalski M., Wach P.: Badania statycznych i dynamicznych własności napędowych silnika indukcyjnego dwustronnie zasilanego na podstawie modelu matematycznego. Materiały Krajowej Konferencji Napędu Elektrycznego i Energoelektryki. Komitet Elektroniki PAN, AGH Kraków, Zeszyt 3B, 1977, s. 216-228.
4. Hickiewicz J.: Praktyczne aspekty dynamiki silników indukcyjnych. Studia i monografie Z73 WSI Opole 1994.
5. Hrycaj G., Bogucki M.: Badania symulacyjne silnika indukcyjnego dwustronnie zasilanego. Praca dyplomowa, WSI w Opolu, Katedra Automatyzacji i Diagnostyki Układów Elektromechanicznych, 1995.
6. Przybylski J., Walczyna A.: Właściwości statyczne i dynamiczne układu napędowego z maszyną indukcyjną dwustronnie zasilaną. Przegląd Elektrotechniczny 1985, nr 2.
7. Samcik L.: Właściwości asynchronicznej maszyny pierścieniowej przy dwustronnym zasilaniu. Praca doktorska, Politechnika Poznańska, Wydział Elektryczny 1983.
8. Samcik L., Szaflarski A.: Właściwości w stanach ustalonych trójfazowej maszyny pierścieniowej przy dwustronnym zasilaniu. Przegląd Elektrotechniczny 1992, nr 4, s. 78-82.
9. Simiński R.: Praca silnika indukcyjnego pierścieniowego przy dwustronnym zasilaniu. Praca dyplomowa, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki Przemysłowej 1972.
10. Słodzinka W.: Sterowanie prędkością silnika indukcyjnego dwustronnie zasilanego. Przegląd Elektrotechniczny 1983 nr 3, s. 105-108.
11. Szaflarski A.: About the operation of an ac-excited synchronous machine at the near-optimum region. XII Sympozjum on Electromagnetic Phenomena in Nonlinear Circuits, Poznań 1994, s. 249-254.
12. Szaflarski A., Samcik L., Gwóźdź M.: Zasady sterowania układu dwustronnie zasilanej trójfazowej maszyny pierścieniowej z tranzystorową przetwornicą częstotliwości. Przegląd Elektrotechniczny, 1992, nr 12, s. 269-273.
13. Szaflarski A.: O pewnych właściwościach maszyny dwustronnie zasilanej. Mat. V Symp. „Podstawowe problemy energoelektroniki”, Gliwice-Ustroń, marzec 1993, s. 251-256.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Glinka, Politechnika Śląska

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 marca 1996 r.

Abstract

The paper presents a mathematical model of an induction slip-ring motor formed under typical assumptions, which is supplied from a stator as well as a rotor side - the so called doubly fed motor (DFM). This model has been used to prepare an algorithm for computations of steady-state curves of the DFM. All exemplary characteristics have been computed for a small 1,1 kW; 1385 rev/min motor. Two groups of curves are presented: the first one giving the currents, power, efficiency, etc. of DFM as the rotor voltage function for the constant torque of the motor. The second group of curves, called external characteristics, present the currents, power, efficiency, etc. as the function of the load torque. This group of curves has been compared with the characteristics of the same motor with shorted rings.

It is shown in the paper that if the DFM works with various velocities and load, the rotor voltage should be matched so that the steady operation in full range is possible with the advantageous efficiency, power factor, etc. Employing the minimum losses criterion for the DFM, the function of the rotor voltage versus load torque has been found. This function has been called the regulation function of the motor. The comparison of DFM with the motor with shorted slip-rings shows, that the former has got higher overload factor and can achieve better efficiency and power factors, due to the possible adjustment of the rotor voltage.

Krzysztof M. SERAFIN
Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

MIKROPROCESOROWE STEROWNIKI SILNIKÓW SKOKOWYCH

Streszczenie. Przedstawiono podział sterowników silników skokowych wraz z przykładowymi rozwiązaniami praktycznymi oferowanymi na rynku przez firmy produkujące elementy i układy elektroniczne. Omówiono rodzaje sterowników mikroprocesorowych i zasadę ich pracy. Zaprezentowano przykładowe rozwiązanie konstrukcyjne miniskokowego sterownika silnika skokowego współpracującego z mikroprocesorem Z80.

MICROPROCESSOR STEP MOTOR CONTROLLERS

Summary. Classification of step motors controllers has been presented in the paper. Practical solutions of controllers offered by some manufacturers have been described as an illustration of specific types of step motors controllers. Types of microprocessor step motors controllers and the basic description of their principles of operation has been given. The example of practical solution of microstep step motor controller which cooperates with microprocessor Z80 has been presented as well.

1. WPROWADZENIE

Silniki skokowe, zaliczane do mikromaszyn elektrycznych, przeżywają w ostatnich latach swoisty renesans dzięki szerokiemu wprowadzeniu techniki mikroprocesorowej do układów sterowania tymi silnikami. Silniki skokowe powszechnie stosowane są w takich urządzeniach, jak: zegarki, drukarki komputerowe, napędy dyskietek, roboty przemysłowe itp. W silniku skokowym ruch wirnika ma charakter dyskretny - zmiana położenia kąowego uzyskiwana jest w takt zmian sygnałów sterujących generowanych w sterowniku. Konstrukcja silnika, która właściwie od przeszło stu lat jest niezmienna i typowa dla maszyn synchronicznych, gwarantuje wysoką niezawodność pracy oraz możliwość stosowania prostych rozwiązań sterowników. I chociaż silnik skokowy może być sterowany nawet bardzo prostym,

jednoukładowym sterownikiem, największe rezerwy w doskonaleniu napędów elektrycznych z silnikami skokowymi tkwią właśnie w układach sterowania. Generalnie można stwierdzić, że im bardziej rozbudowany i bardziej skomplikowany sterownik, tym większe możliwości dostosowania napędu do wymagań użytkownika oraz lepsze parametry pracy osiągnane przez silnik i cały napęd.

2. RODZAJE ELEKTRONICZNYCH UKŁADÓW STEROWANIA SILNIKAMI SKOKOWYMI

Ambicją każdego producenta elektronicznych układów automatycznej regulacji i kontroli procesów przemysłowych jest oferowanie końcowemu użytkownikowi również sterowników silników skokowych. W gąszczu różnorodnych ofert układów sterowania silnikami skokowymi można wyróżnić dwa główne rodzaje urządzeń:

- specjalizowane układy scalone zawierające w jednej obudowie prawie wszystkie elementy elektronicznego komutatora silnika skokowego,
- sterowniki w postaci kart tworzących w sumie zestaw w rodzaju komputera przemysłowego.

Pierwsze z nich, które można znaleźć w katalogach właściwie wszystkich znanych na świecie firm produkujących układy scalone, dają użytkownikowi - projektantowi właściwie nieograniczone możliwości tworzenia własnego napędu. Oczywiście modyfikowanie raz stworzonego napędu pociąga za sobą wymianę zastosowanych układów ze względu na to, że są one w stanie realizować tylko ściśle określone funkcje. Zwykle tego typu urządzenia nie są budowane na bazie techniki mikroprocesorowej.

Przykładem tego typu układów jest np. układ scalony TLE 4727/4728G wyprodukowany przez firmę Siemens. Opracowany przede wszystkim do zastosowań przemysłowych składa się z dwóch komutatorów sterujących bipolarnym silnikiem skokowym. Prąd pasm jest stabilizowany układem impulsowej regulacji natężenia prądu. Układ ma wejścia, przez które może uzyskiwać informację o rzeczywistej amplitudzie prądu pasma. Układ zapewnia sterowanie silnika w zakresie napięć 4.75 do 16 V z obciążeniem prądowym wynoszącym 0.7 A na pasmo. Wewnętrzne zabezpieczenia od przeciążeń i zwarc wplywają pozytywnie na bezawaryjną pracę napędu. Wykrycie tego typu niesprawności przez układ powoduje generację sygnału błędu na jednym z wyjść układu [1].

Drugim konkretnym rozwiązaniem sprzętowym jest to, które poprzez możliwość ingerowania w oprogramowanie zapewnia dostosowanie sterownika do indywidualnych potrzeb i wymagań użytkownika. Proces zmiany oprogramowania dokonywany jest za pomocą zewnętrznego mikrokomputera lub, jak jest to coraz szerzej praktykowane, bezpośrednio za pomocą klawiatury systemowej, komunikując się z mikroprocesorem sterownika.

Przykładem tego typu układów jest np. sterownik ELD-200 oferowany przez szwajcarską firmę Portescap umożliwiający sterowanie czteropasmowym silnikiem, którego prąd pasma może zawierać się w granicach 0.4 - 2.0 A. Regulacja wartości prądu stopnia końco-

wego - dyskretna z 8 poziomami. Możliwa jest praca pełnoskokowa lub półskokowa. Dwa podzakresy częstotliwości pracy: 100÷4000 Hz i 2÷40 kHz. Dla drugiego podzakresu wprowadzone jest stopniowe rozpędzanie w czasie 60 ms i stopniowe hamowanie w czasie 30 ms [2].

3. RODZAJE MIKROPROCESOROWYCH UKŁADÓW STEROWANIA SILNIKAMI SKOKOWYMI

Układy sterowania silników skokowych, z uwagi na skomplikowane i różnorodne funkcje realizowane przez napędzane urządzenia są coraz częściej sterownikami mikroprocesorowymi. Sterowniki te stosunkowo łatwo mogą przejąć rolę wielu zespołów sterowania napędami skokowymi, a ponadto zapewnić optymalizację sterowania. Niezbędne jest w tym przypadku zastosowanie interfejsu, stanowiącego układ pośredniczący pomiędzy systemem mikroprocesorowym a układami mocy zasilającymi bezpośrednio pasma uzwojeń silnika skokowego.

W zależności od stopnia zaangażowania mikroprocesora do realizacji innych zadań sterowania zakres funkcji sterowania napędu skokowego może być różny. Generalnie można wydzielić dwie grupy interfejsów:

- do programowego sterowania napędów skokowych,
- do układowo - programowego sterowania napędów skokowych.

W pierwszym przypadku system mikroprocesorowy realizuje wszystkie funkcje sterowania napędu skokowego (włącznie z komutacją), w drugim - tylko część funkcji, pozostałe realizowane są przez indywidualne układy wykonane w innej technice [3].

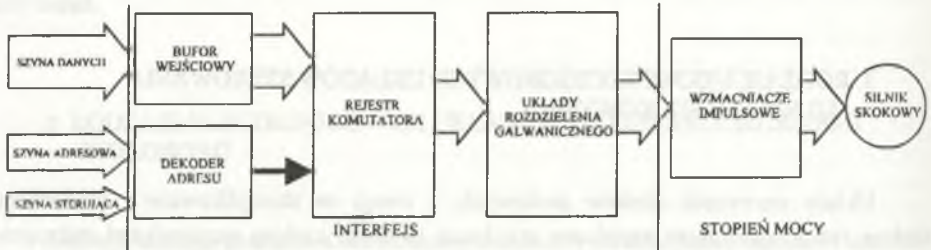
3.1. Sterowanie programowe silników skokowych

Generacja wielofazowych ciągów impulsów sterujących silnikiem skokowym może być realizowana bezpośrednio przez mikroprocesor. Funkcja modułu pośredniczącego między systemem mikroprocesorowym a wzmacniaczem mocy silnika sprowadza się do zapamiętania w rejestrze typu "latch" kolejnych sekwencji przełączeń pasm uzwojeń silnika według czasu określonego przez zegar zrealizowany w sposób programowy lub zegar wykorzystujący programowany licznik znajdujący się w systemie. Schemat funkcjonalny takiego modułu pośredniczącego przedstawiony jest na rys. 1.

Poszczególne bloki modułu spełniają następujące funkcje:

- bufor wejściowy - zapewnia standardowe obciążenie szyny danych systemu, bez względu na rozwiązanie układowe rejestru komutatora,
- dekodery adresu - zapewnia wpisanie informacji do rejestru w chwili jednoznacznie określonej przez mikroprocesor,
- rejestr komutatora - jest n-bitowym rejestrem typu latch przetrzymującym stany przełączeń pasm silnika; liczba bitów zależy od typu sterowanego silnika i sposobu realizowania stopni mocy,

- układy rozdzielania galwanicznego - zapewniające separację obwodów wzmacniaczy mocy od układów systemu mikroprocesorowego eliminują wpływ na system zakłóceń generowanych w układach mocy w chwilach przełączeń.



Rys. 1 Schemat funkcjonalny modułu sprzężenia dla sterowania programowego
Fig. 1. Block diagram of a software based interface

Sprowadzona do minimum liczba elementów elektronicznych układu interfejsu sprawia, że sterowanie programowe silnika skokowego wyróżnia się dużą odpornością na zakłócenia. Błędy pozycjonowania mogą wystąpić jedynie z winy błędów w programie.

Dane sterujące silnikiem przechowywane są w rejestrach mikroprocesora. W pamięci stałej (ROM, EPROM) są zapisane parametry definiujące ruch silnika (np. opis funkcji, z jaką realizowane jest rozpędzanie, hamowanie, nawrót, tablica współczynników czasu przełączeń itp.). W pamięci RAM systemu zapisane są parametry bieżące określające realizowany cykl pracy (całkowita liczba skoków, liczba miniskoków, kierunek obrotów). Rozwiązanie konstrukcyjne modułu interfejsowego zależy od typu sterowanych silników, liczby silników, a także od rodzaju zastosowanych wzmacniaczy mocy.

Programowe sterowanie silników skokowych znacznie angażuje czas mikroprocesora, szczególnie w przypadkach sterowania kilku silników oraz przy dużych szybkościach ruchu. Maksymalne częstotliwości uzyskiwane w tej metodzie sterowania są rzędu kilku kHz [3]. Wynika to z sumy czasów realizacji programu obsługi przerwania licznika odmierzającego czas komutacji, programu pobrania z pamięci i przesłania do rejestru stanu komutatora oraz programu zliczania przebytej drogi. W przypadku gdy napęd skokowy stawia większe wymagania lub system mikroprocesorowy poza sterowaniem silnika realizuje inne programy, niezbędne jest stosowanie poniżej opisanej metody.

3.2. Sterowanie układowo-programowe silników skokowych

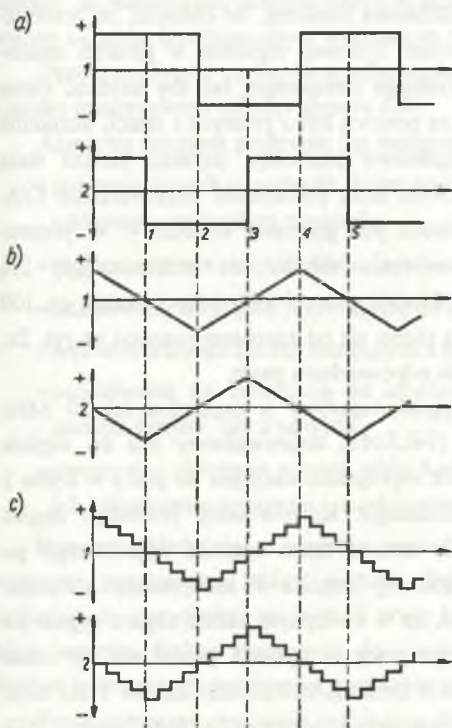
Tego typu mikroprocesorowe sterowniki znajdują zastosowania wszędzie tam, gdzie konieczna jest także obsługa innych zadań. Charakteryzują się one znacznie bardziej rozbudowanymi układami sprzężenia. Komutator jest zwykle sterowany przez wyjścia licznika pracującego jako dzielnik częstotliwości o zmiennym w czasie współczynniku podziału częstotliwości.

Przejęcie realizacji części funkcji mikroprocesora przez inne układy umożliwia rozbudowanie programu sterowania poprzez wprowadzenie nowych parametrów definiujących ruch

silnika. Jedną z tego typu modyfikacji algorytmu sterowania jest sterowanie miniskokowe. Metoda ta pozwala znacznie zmniejszyć wartości podstawowego, wynikającego z konstrukcji silnika, skoku na drodze elektronicznej [4].

Aby zapewnić pracę miniskokową silnika, trzeba opracować taki układ sterowania, który wytworzy sygnały o poziomach pośrednich pomiędzy maksymalną i minimalną wartością sygnału źródła. Dzięki takiemu wymuszeniu prądu w pasmach silnika wytwarzają strumień magnetyczny, którego przestrzenne położenie w obwodzie magnetycznym silnika wynika z wartości tych prądów. Tak więc wypadkowy wektor strumienia magnetycznego zajmuje położenie pośrednie pomiędzy położeniami określonymi przez konstrukcję silnika.

Uzyskanie pracy miniskokowej jest możliwe przez dostarczenie do pasm silnika przebiegów prądowych o pseudoanalogowym kształcie, przy czym moment obrotowy i stabilność powinny odpowiadać warunkom pracy konwencjonalnej - pełnoskokowej [5].



Rys. 2. Przebiegi prądowe przy pracy silnika skokowego: a) przebiegi konwencjonalne dla skoków podstawowych, b) przebiegi analogowe dla miniskoków, c) dyskretne przebiegi dla miniskoków

Fig. 2. Current curves of step motor: a) normal full step mode, b) analogue curves for microstepping, c) incremental curves for microstepping

4. PRZYKŁADOWE ROZWIĄZANIE STEROWNIKA REALIZUJĄCEGO STEROWANIE UKŁADOWO - PROGRAMOWE

Podstawowymi elementami składowymi mikroprocesorowego sterownika realizującego sterowanie układowo - programowe są: mikrokomputer i komutator elektroniczny. Wielką zaletą sterownika jest możliwość zastosowania dowolnego układu mikroprocesorowego, np. z mikroprocesorem Z80. Zadaniem komutatora elektronicznego jest przetworzenie tabliczki funkcji sterujących obliczonych w programie użytkowym mikrokomputera na przebiegi elektryczne zasilające poszczególne pasma silnika. W prezentowanym przykładowym układzie zastosowano rozwiązanie najoszczędniejsze i gwarantujące zachowanie bardzo dobrych właściwości napędu. Schemat elektryczny sterownika (komutatora) miniskokowego przedstawia rysunek 3.

Omawiany układ realizuje sterowanie miniskokowe silnikiem, co oznacza, że przetwarzanie C/A polegające na zamianie liczby w postaci cyfrowej zapisanej w pamięci mikrokomputera na odpowiadające jej wypełnienie przebiegu sterującego, tak aby uzyskać różne wartości średnie prądu pasma, dokonywane jest za pomocą kilku prostych i tanich liczników cyfrowych. Wzmacniacze mocy sterowane impulsowo pozwalają uzyskać bardzo dużą sprawność. Jednocześnie przetwornik taki zapewnia dużą dokładność przetwarzania C/A, bowiem elementem decydującym o jego dokładności jest generator kwarcowy. W prezentowanym rozwiązaniu uzyskano błąd pozycjonowania wirnika nie przekraczający 2% w stosunku do skoku podstawowego oraz częstotliwość pracy 5 kHz przy podziale na 100 miniskoków. Przebiegi prądów w pasmach silnika różnią się od zaprezentowanych na rys. 2c, gdyż ich analogowa postać jest funkcją \sin i \cos dla odpowiednich pasm.

Działanie komutatora jest następujące. Sygnał zegarowy o częstotliwości 30 MHz podzielony wstępnie przez 16 w liczniku U6 (74LS161) doprowadzony jest do wejścia zliczającego CLK0 licznika 0 układu 8253. Licznik zaprogramowany jest do pracy w trybie 3 jako generator symetrycznego przebiegu prostokątnego. Kolejne takty przebiegu zegara powodują zmniejszanie zawartości licznika o 2, zmianę stanu sygnału wyjściowego po osiągnięciu zera, załadowanie wartości początkowej licznika i kontynuację zliczania. Narastające zbocze na wyjściu OUT 0 powoduje, że w następnym takcie zegara sygnał na wyjściu OUT 1 licznika 1 zaprogramowanego do pracy w trybie 1 przechodzi do stanu niskiego. Stan niski na tym wyjściu trwa do chwili zliczenia zawartości licznika 1 do zera. Opadające zbocze na wyjściu OUT 1 powoduje ustawienie przerzutnika wyjściowego U5B oraz zapis do licznika '193 przesłanej z komputera mniej znaczącej części liczby będącej wartością funkcji sinus. Odliczanie w liczniku '193 jeszcze nie nastąpi, bo wyjście OUT 1 połączone z wejściem LOAD '193 nadal jest w stanie niskim. Dopiero po przejściu sygnału z wyjścia OUT 1 do stanu wysokiego nastąpi odliczanie w liczniku '193 w tempie zegara 30 MHz. Po odliczeniu w liczniku '193 do zera na wyjściu B0 tego licznika generowany jest krótki impuls ujemny, który zeruje przerzutnik wyjściowy U5B. Analogicznie kształtują się

przebiegi sygnałów w liczniku 2 układu 8253 i przyporządkowanym mu liczniku U3 "193 oraz przerzutniku wyjściowym U5A. Liczniki 1 i 2 układu 8253 odliczają czas trwania ośmiu starszych bitów liczb odpowiadających funkcjom sterującym odpowiednio sin i cos, a przyporządkowane im liczniki '193 odliczają czas trwania czterech młodszych bitów tych liczb. Mimo że układ 8253 zawiera trzy szesnastkowe liczniki, które z powodzeniem zrealizowałyby przetwarzanie liczb 12-bitowych, zastosowanie liczników '193 było konieczne, ponieważ maksymalna częstotliwość impulsów na wejściach CLK układu 8253 może wynieść 2 MHz. Niemożliwe jest więc odliczanie przez nie w tempie 30 MHz wynikającym z zakresu częstotliwości pracy silnika. Dla 2 MHz zegara silnik pracowałby z maksymalną częstotliwością $2 \text{ MHz} / 4096 = 488,3 \text{ Hz}$.

Sygnały z wyjścia przetwornika poprzez zespół inwerterów przekazywane są do wzmacniaczy mocy pracujących jako klucze tranzystorowe. Do współpracy sterownika z komputerem skonstruowano dekodery adresów urządzeń we/wy. Dekoder, w tym przypadku, jest prostym układem kombinacyjnym wykonanym przy użyciu układów małej skali integracji.

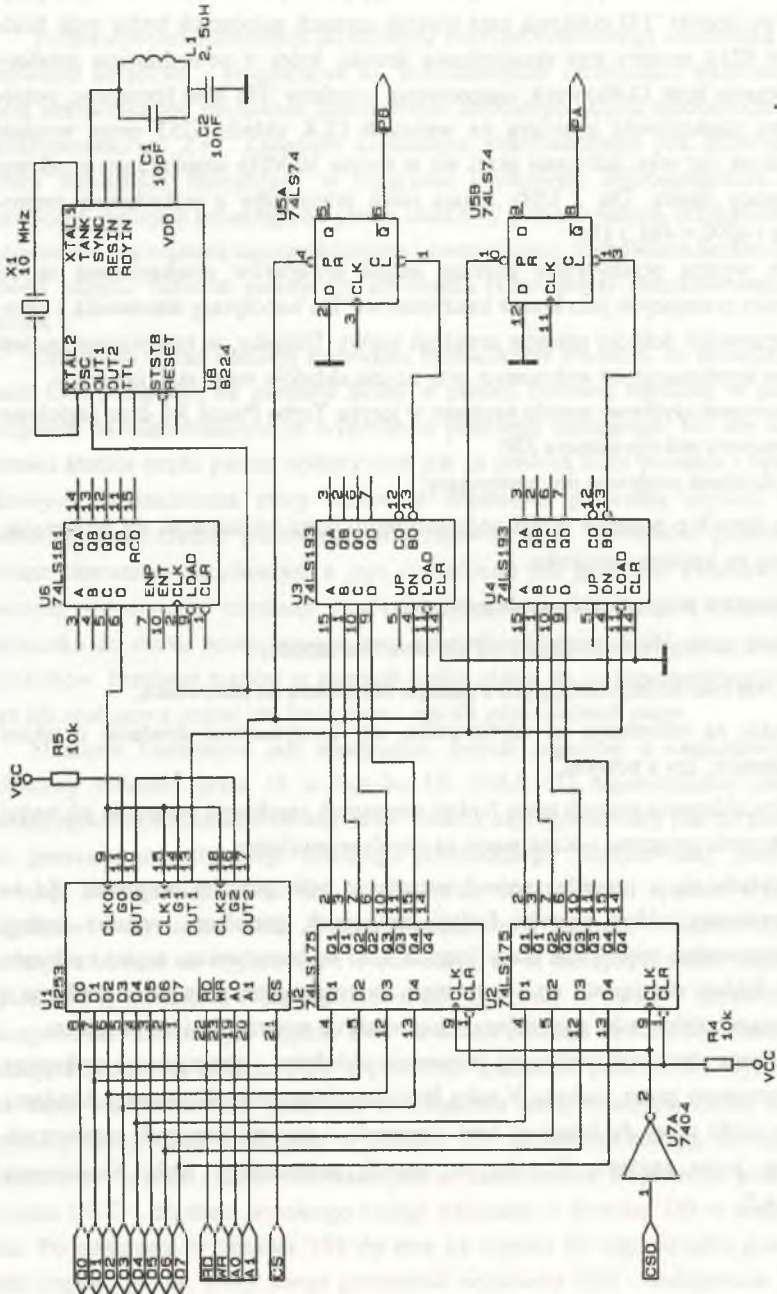
Oprogramowanie użytkowe zostało napisane w języku Turbo Pascal 3.0 oraz częściowo w języku maszynowym mikroprocesora Z80.

Algorytm działania programu jest następujący:

- pobranie danych o podziale skoku podstawowego, ilości miniskoków do wykonania, opóźnienia po każdym miniskoku,
- obliczanie przez program tablic funkcji sterujących,
- oczekiwanie na impuls wyzwalający od użytkownika napędu,
- wysłanie wartości funkcji sterujących z pamięci komputera do sterownika,
- oczekiwanie na informację od użytkownika, czy kontynuować działanie z takimi samymi danymi, czy z nowymi,
- ewentualne obliczanie nowych tablic funkcji sterujących i realizacja programu jak wyżej lub zakończenie programu i oczekiwanie na impuls wyzwalający.

Program składa się z procedur wywoływanych w pętli głównej programu. Są to procedury: generowania tablicy wartości funkcji sterujących, przesłania wartości funkcji sterujących do sterownika, inicjowania pracy licznika 8253 w komutatorze, zapisu i odczytu tablicy wartości funkcji sterujących do i z pamięci dyskowej oraz procedury graficzne i tekstowe informujące użytkownika o sposobie posługiwania się programem i sterownikiem.

Zaprezentowany sterownik realizujący sterowanie układowo - programowe wykonany został i zaprogramowany przez studenta V roku Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej jako część pracy dyplomowej. Inny sterownik o znacznie lepszych parametrach został wykonany przez studenta II roku w ramach studenckiego Koła Naukowego Elektroników WAT.



Rys. 3. Schemat elektryczny sterownika (komutatora) miniskopowego
Fig. 3. Electric diagram of microstep motor controller

5. UWAGI KOŃCOWE

Różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych napędów elektrycznych może powodować czasami trudności w obiektywnym doborze optymalnego dla użytkownika układu. Napędy z silnikami skokowymi są powszechnie stosowane w wielu dziedzinach przemysłu i wszystko wskazuje, że ich stosowanie będzie coraz szersze. Projektowanie ich i wykonanie w obecnej chwili nie stwarza większych problemów, a jak to zostało wyżej zaprezentowane - jest możliwe do zrealizowania nawet przez studentów.

Należy również podkreślić wręcz autonomiczną możliwość współpracy tego napędu z układami cyfrowymi nadzorującymi i kontrolującymi procesy przemysłowe.

Warto przy tej okazji zauważyć, jak silna jest obecnie ingerencja układów elektronicznych oraz elementów techniki mikroprocesorowej w obszar klasycznej elektrotechniki, a zwłaszcza w tę część, która dotyczy maszyn elektrycznych.

LITERATURA

1. Stepper motor driver IC TLE 4727/4728G with two full-bridge output stages, Siemens Components, nr 3, 1994.
2. Katalog firmy Portescap: Motion Solutions, 1995.
3. Pieńkos J., Moszczyński S., Pluta A.: Układy mikroprocesorowe 8080/8085 w modułowych systemach sterowania, WKŁ, Warszawa 1988.
4. Serafin K.: Metody ograniczania oscylacji wirnika silnika skokowego, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, nr 6, 1992, s. 111-123.
5. Wróbel T.: Silniki skokowe, WNT, Warszawa 1993.

Recenzent: Dr hab. inż. Kazimierz Gierlotka, Politechnika Śląska

Wpłynęło do Redakcji dnia 3 lutego 1996 r.

Abstract

Frictional horse power machines and especially step motors are widely used all over the world. Step motors as a part of electric drives have been known for many years. These synchronous motors are cheap and reliable however the electronic controllers have an essential role in increasing electric drive parameters.

Step motors controllers can be divided into two categories: chipset devices and elements which are built in a form of computer card - becoming in this way an industrial type computer. Many manufacturers offer step motor controllers for example: Siemens TLE 4727/4728G

chipset and Portescap ELD-200 card. Chipsets are designed for drive with earlier defined and calculated parameters. The exchange of a step motor or change in load require another chipset controller implementation. Industrial computers are programmable in site and are very flexible if the load or electric parameters are changed.

Card type controllers are based on microprocessors technology and can be divided into two categories: interfaces for step motor controlling by software and interfaces for step motor controlling by software and hardware. The role of both interfaces is to connect microprocessor to step motor in drive. The step motor is permanently controlled by microprocessor in the first interface. Although this solution is very efficient, the microprocessor is not able to perform other tasks in industrial processing. That problem is solved by the second type of interface in which the role of microprocessor is limited mainly to communicative function with user. The interfaces for step motors controlled by software and hardware are commonly used in microstepping controllers. The task which is additionally performed by microprocessor is calculation of proper current levels in motor phases to obtain more angular positions of step motor shaft.

The article presents the designed and realized interface for step motors controlled by software and hardware. This interface is based on microprocessor Z80. Some aspects of software are also discussed.

Adam POZOWSKI
AEG Mefta, Sp. z o.o.

TRANSFORMATORY ŻYWICZNE „MEFTABLOK” - NOWOCZESNY WYRÓB W NOWOCZESNEJ FABRYCE

Streszczenie. W artykule przedstawiono nowy wyrób AEG-Mefta - transformatory żywiczne „MEFTABLOK”. Opisano budowę tych transformatorów, a także ogólne zasady, którymi należy się kierować przy doborze odpowiedniego rodzaju transformatorów rozdzielczych w procesie inwestycyjnym.

CAST RESIN TRANSFORMERS „MEFTABLOK” - A MODERN PRODUCT OF A MODERN FACTORY

Summary. The paper is a presentation of the new product of AEG-Mefta: „MEFTABLOK” - the cast resin transformer. An outline of the main features of these transformers has been given as well as general guidelines have been presented to be followed when choosing the right type of a distribution transformer for the investment.

1. TRANSFORMATORY „MEFTABLOK” NA TLE ROZWOJU TRANSFORMATORÓW ROZDZIELCZYCH

Transformatory rozdzielcze w swej stuletniej historii przeżywały wiele etapów rozwoju. W swym początkowym stadium były to głównie transformatory suche o izolacji z włókna bawełnianego. Transformatory te były stosunkowo drogie i nieodporne ruchowo. Istotnym postępowaniem w dziedzinie transformatorów rozdzielczych były transformatory olejowe z izolacją na bazie papieru i oleju mineralnego. Transformatory te przez długie lata stanowiły przeważającą większość produkowanych transformatorów rozdzielczych. Równoległe niektóre firmy produkowały transformatory suche na bazie izolacji szklanej przesyconej lakierami elektroizolacyjnymi. W miejscach gdzie nie można było instalować transformatorów olejowych ze względu na zagrożenie pożarowe stosowano transformatory z Askarelem-niepalną cieczą izolacyjną. W początku lat 80 okazało się jednak, że ciecz ta stanowi olbrzymie zagrożenie,

ponieważ wydziela podczas palenia dioksyny i związki rakotwórcze. Transformatory z askaralem wymieniano więc na transformatory żywiczne i suche. Prawdziwym przełomem w tej sytuacji było zastosowanie w połowie lat 60 technologii do próżniowego zalewania mieszaniną żywiczną cewek transformatorów suchych. Początkowo stosowano w tym celu mieszaniną żywic szkłoepoksydowych z kwarcem. Transformatory wykonywane tą metodą dorównywały pod względem wytrzymałości napięciowej transformatorom olejowym. Miały jednak szereg wad. Jedną z nich była mała odporność na szoki termiczne, np. przy gwałtownych zmianach obciążenia lub przy pracy w niskich temperaturach. Stały rozwój konstrukcji i technologii tej gałęzi transformatorów doprowadził do powstania nowych wyrobów pozbawionych wad pierwszych rozwiązań. Obecnie wśród transformatorów z uzwojeniami zatopionymi w żywicy spotyka się dwa główne rozwiązania:

- transformatory z uzwojeniami owiniętymi matami szklanymi, i zalewanymi mieszanką epoksydową pod próżnią,
- transformatory z uzwojeniami z izolacją nawiniętą włóknem szklanym przesyconym „mokrą” żywicą.

Oba rozwiązania dają podobny efekt - transformator pewny ruchowo, odporny na narażenia napięciowe i zwarciove, odporny na szoki termiczne. Transformatory te są w pełni bezpieczne ekologicznie w miejscu zainstalowania i dużo bezpieczniejsze od transformatorów olejowych pod względem pożarowym

2. ZAGADNIENIA EKSPLOATACJI TRANSFORMATORÓW ROZDZIELCZYCH

Eksploatację transformatorów rozdzielczych, tzn. transformatorów służących do transformowania energii z sieci średnich napięć (6-30 kV) na napięcia niskie, można rozpatrywać pod kątem odbiorów, jakie mają zasilać, miejsca zainstalowania, oraz parametrów sieci odbiorczej i zasilającej. Generalnie wyróżniamy następujące charakterystyczne zastosowania transformatorów rozdzielczych:

- zasilanie sieci drobnych odbiorców wiejskich,
 - zasilanie sieci drobnych odbiorców miejskich,
 - zasilanie poszczególnych oddziałów dużych zakładów przemysłowych,
 - zasilanie średniej wielkości zakładów przemysłowych,
 - zasilanie pojedynczych odbiorów sterowanych urządzeniami energoelektronicznymi
- Każde z ww. zastosowań wymaga krótkiego omówienia.

Transformatory w wiejskich sieciach rozdzielczych to najczęściej transformatory małej mocy 16-100 kV·A i napięciu znamionowym 15-20 kV. Są one instalowane najczęściej jako stacje słupowe i jako takie zasilane z napowietrznych linii SN. Do takiego zastosowania najwłaściwsze są transformatory olejowe z olejem mineralnym. Przy mocach znamionowych tego rzędu są one wielokrotnie tańsze od innych transformatorów. Transformatory te mają nawet w wykonaniu standardowym stosunkowo niskie straty jałowe, co jest niezwykle istotne zważywszy na specyfikę dobowych poborów mocy odbiorców wiejskich. Ich małe rozmiary i

ciężar pozwalają ograniczyć wymiary słupów nośnych. Transformatory olejowe hermetyczne i hermetyzowane posiadają także dużą odporność na przepięcia atmosferyczne. Jedynie w obszarach, w których niedopuszczalne jest powstanie wycieków oleju (zlewnie wody pitnej, parki narodowe, rezerваты), alternatywą dla transformatorów olejowych są transformatorowe stacje słupowe. Ich koszt jest stosunkowo wysoki, ponieważ muszą pracować w odpowiedniej obudowie chroniącej przed narażeniami klimatycznymi. Jednak niejednokrotnie jest to jedyne rozwiązanie gwarantujące pełne bezpieczeństwo ekologiczne w miejscu zainstalowania.

Transformatory w sieciach zasilających miejskich to dzisiaj głównie transformatory olejowe usytuowane w stacjach poza budynkami mieszkalnymi, oraz w komorach wewnątrz budynków. Obserwowany w ostatnich latach wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w gospodarstwach miejskich niesie za sobą wielokrotnie konieczność wymiany transformatora na transformator o wyższej mocy. Zamiana na transformator olejowy może być trudna ze względu na konieczność wykonania dodatkowych instalacji do wychwytywania wycieków oleju. Także względy wykonania dodatkowej ochrony przeciwpożarowej mogą podnieść koszty takiej operacji. W tym przypadku korzystniejsze będzie zastosowanie transformatora żywicznego lub suchego konwencjonalnego. W zakresie mocy 400-1000 kV·A koszt tych transformatorów kształtuje się jak 1,8-1,3 kosztu transformatora olejowego. Jednocześnie transformatory te dają pełne bezpieczeństwo pożarowe. Przy planowaniu instalacji transformatora w nowych budynkach zdecydowanie najkorzystniejsze jest stosowanie transformatorów suchych konwencjonalnych lub transformatorów żywicznych. Gwarantuje to najniższy poziom ogólnych kosztów inwestycyjnych, oraz najlepsze parametry eksploatacyjne. Transformatory żywiczne i suche stosowane w budynkach mieszkalnych i budynkach użytkowych powinny charakteryzować się obniżonym poziomem hałasu.

Transformatory rozdzielcze w dużych zakładach przemysłowych stosowane są z reguły do zasilania oddziałów produkcyjnych. Są to zazwyczaj transformatory o mocy od 630 do 2500 kV·A. Najczęściej spotykane napięcie zasilania w tej grupie to 6,3 kV. Zastosowanie transformatorów suchych lub żywicznych ułatwia wiele rozwiązań projektowych. Na przykład, można umiejscowić transformatory w jednym pomieszczeniu z aparaturą łączeniową rozdzielni. Transformatory te w odpowiedniej obudowie zapewniają pełne bezpieczeństwo obsługi. Interesująca jest możliwość zainstalowania tych transformatorów w obudowie łukochronnej. W zakładach o bardzo rozległym obszarze istnieje możliwość stosowania przewoźnych stacji transformatorowych z transformatorami żywicznymi.

Transformatory przeznaczone do zasilania urządzeń energoelektroniki powinny być wykonywane pod konkretne wymagania zasilanego układu. Są to zwykle transformatory o mocy 630-1600 kV·A. Do tego celu nie jest wskazane stosowanie typowych, katalogowych transformatorów rozdzielczych. Wyższe przyrosty temperatury uzwojeń, spowodowane harmonicznymi prądami, oraz wyższe przyrosty temperatury rdzenia i podwyższony poziom hałasu będące wynikiem harmonicznego napięcia muszą być uwzględnione już na etapie projektowania. Generalnie transformatory suche charakteryzują się w tym trybie pracy lepszymi parametrami. Posiadają one większą możliwość chwilowych przeciążeń ze względu na wyższą w porównaniu z transformatorami olejowymi cieplną stałą czasową. Także w tym przypadku niezwykle istotna jest przewaga transformatorów bez łatwo palnych cieczy chł-

dzących pomagająca na możliwości zainstalowania praktycznie w dowolnym miejscu zakładu bez dodatkowych kosztów inwestycyjnych.

Transformatory przeznaczone do zasilania średniej wielkości zakładów przemysłowych - to w większości przypadków transformatory o mocy 630-1600 kV·A. W poprzednich latach były to w większości transformatory olejowe, zainstalowane w specjalnie przygotowanych komorach. Obecnie w nowo budowanych fabrykach najczęściej stosowane są transformatory żywiczne, jako najlepiej spełniające wymagania eksploatacyjne. Także w starszych zakładach, w przypadku konieczności powiększenia mocy, można z powodzeniem zastąpić transformator olejowy transformatorem suchym lub żywicznym o wyższej mocy, bez konieczności poniesienia dodatkowych nakładów inwestycyjnych.

Generalnie w większości z zastosowań transformatorów rozdzielczych najbardziej racjonalnym wyborem jest instalacja odpowiedniej odmiany transformatora żywicznego. W sieciach, gdzie nie występują szczególnie silne przepięcia atmosferyczne lub łączeniowe, do zabudowy wewnętrznej nadają się także konwencjonalne transformatory suche. Sprawdzają się one doskonale w tych warunkach do napięcia znamionowego 15 kV. Dotyczy to w szczególności transformatorów suchych nowej generacji serii TFISO. Mając na uwadze zmieniające się wymagania rynku AEG-Mefta rozpoczęła na początku lat 90 prace nad opracowaniem własnej serii transformatorów żywicznych. Zaowocowało to uruchomieniem w połowie 1994 r. produkcji transformatorów żywicznych „MEFTABLOK”.

3. TRANSFORMATORY „MEFTABLOK” - ICH BUDOWA I ZASTOSOWANIE

3.1. Budowa rdzenia

Transformatory „MEFTABLOK” posiadają rdzeń z blach zimnowalcowanych o niskiej stratności. Cięcie blach rdzenia odbywa się na w pełni zautomatyzowanej linii, co pozwala na uzyskanie wykrojów o wysokiej dokładności wymiarów, pozbawionych gratu. Stosowanie ukosowania blach w węzłach oraz prasowanie jarzma bez otworowania blach pozwala uzyskać bardzo niski poziom strat biegu jałowego transformatora.

3.2. Ochrona antykorozyjna

Rdzeń transformatora malowany jest dwuskładnikowym lakierem chromianowym z dodatkiem pigmentu antykorozyjnego. Elementy konstrukcji prasującej malowane są farbami epoksydowymi. W przypadku wykonań specjalnych możliwe jest wykonanie malowania zestawem farb epoksydowych i poliuretanowych.

3.3. Budowa uzwojeń DN

Uzwojenia DN wykonywane są w większości (od mocy 400 kV·A) przypadków z taśmami miedzianymi. Pomędzy taśmami miedzianymi nawijany jest prepreg-taśma izolacyjna termo-

utwardzalna. Po utwardzeniu spaja ona taśmy miedziane w odporny na siły zwarciove monolit. Zastosowanie taśmy miedzianej jako materiału nawojowego skutecznie ogranicza osiowe siły zwarciove. Jednocześnie odpowiedni sposób zaklinowania na rdzeniu uodparnia uzwojenie na działanie promieniowych sił zwarciowych. Metoda nawijania pozwala na łatwe tworzenie kanałów chłodzących, dzięki którym wyrównuje się rozkład temperatury wewnątrz uzwojenia. Jednocześnie najwyższe napięcia występujące wewnątrz uzwojenia to napięcia międzyzwojowe, czyli napięcia bardzo niskie. Ponieważ zastosowane taśmy izolacyjne mają wysokie parametry elektryczne, tak skonstruowane uzwojenie jest wysoce odporne na narażenia napięciowe.

3.4. Budowa uzwojeń GN

Uzwojenia GN wykonywane są jako uzwojenia żywiczne w technologii rovingowej. Warstwowy rozkład cewki zapewnia liniowy rozkład napięcia udarowego, a co za tym idzie, bardzo dobrą odporność na przepięcia. Uzwojenie GN tworzone jest poprzez naprzemienne nakładanie warstw włókna szklanego przesyconego żywicą epoksydową oraz przewodu miedzianego w izolacji lakierowej kl H. Właściwy dobór warstw włókna szklanego zapewnia optymalną izolację główną i międzywarstwową. Cały proces nawijania odbywa się na sterowanych komputerowo nawijarkach. Włókno szklane nakładane w procesie nawijania „na mokro”, tzn. z nieutwardzoną żywicą pod odpowiednim naciąganiem, tworzy zwarty monolit odporny na wszelkie udary mechaniczne. Jednocześnie technologia ta nie stwarza zagrożenia powstawania wtrącin powietrza, w których mogą zapalać się wyładowania niezupełne. Uzwojenie po nawinięciu utwardzane jest w sterowanych mikroprocesorowo suszarkach.

3.5. System prasowania uzwojeń

Uzwojenia DN i GN osadzone są na elastycznych wstawkach zapewniających doskonałą ich współpracę pomiędzy sobą i z rdzeniem magnetycznym. Pomiedzy uzwojeniem GN i DN nie znajdują się żadne kliny, na których zwykle osadzają się zanieczyszczenia. Gwarantuje to właściwą pracę transformatora także w warunkach silnego zapylenia.

3.6. Obudowy

Transformatory „MEFTABLOK” mogą zostać dostarczone w obudowach o stopniu ochrony IP20 lub IP23. Dzięki w pełni skomputeryzowanemu procesowi projektowania i konstrukcji możliwe są różne rozwiązania wyprowadzeń mocy oraz dopasowania do wyposażenia rozdzielni. Transformatory o mocy do 250 kV·A mogą zostać dostarczone w obudowach IP43 dostosowanych do ustawienia na słupie. Istnieje także możliwość dostarczenia transformatorów o mocy 630-1600 kV·A i napięciu 6.3 kV w obudowie łukochronnej.

3.7. Zastosowanie

Transformatory żywiczne „MEFTABLOK” znajdują zastosowanie we wszystkich sytuacjach opisanych w rozdz. 2. Spełniają one normę IEC 726 dotyczącą transformatorów suchych i żywicznych oraz na życzenie mogą spełniać inne narodowe normy. W zależności od tego, jaki rodzaj odbiorów mają zasilać, AEG-Mefta wyróżnia następujące typy tych transformatorów:

Typ transformatora	Rodzaj odbiorów	Parametry	Stopień ochrony
TZM	Typowy transformator rozdzielczy	Standardowe	IP00, IP20, IP23
TZMB	Do stacji wewnątrz budynków	Straty jałowe o ok. 30% niższe, obniżony poziom hałasu	IP00, IP20, IP23
TZMF	Do zasilania urządzeń energoelektroniki	O 15% niższe przyrosty temperatur, indukcja obniżona o ok. 20%	IP00, IP20, IP23
TZMFS	Do zasilania urządzeń energoelektroniki ze szczególnie wysokim udziałem wyższych harmonicznych	O 25% niższe przyrosty temperatur, indukcja obniżona o 25%	IP00, IP20, IP23
TZM3F	Trójzwojeniowe do zasilania przekształtników 12-pulsowych	Niższe przyrosty temperatury, indukcja obniżona o ok. 15%	IP00, IP20, IP23
TZMT	Do zasilania prostowników trakcyjnych	Indukcja obniżona o 5%	IP00, IP20, IP23
TZM3T	Trójzwojeniowy do zasilania prostowników trakcyjnych	Indukcja obniżona o 5%, niższe przyrosty temperatur	IP00, IP20, IP23
TZMG	Do układów wzbudzenia generatorów	Indukcja obniżona o 5%	IP23
TZMS	Do stacji słupowych	Obniżone straty jałowe	IP43

4. KIERUNKI ROZWOJU TRANSFORMATORÓW ROZDZIELCZYCH

Transformatory żywiczne stanowią obecnie dużą część stosowanych transformatorów rozdzielczych. Od 20 lat obserwuje się w Europie Zachodniej zastępowanie transformatorów olejowych, szczególnie wyższych mocy, transformatorami żywicznymi. Jest to związane przede wszystkim z coraz większą troską o środowisko naturalne. Transformatory żywiczne, także po zużyciu, nie będą stanowiły dla niego obciążenia. Zużyte cewki poddaje się procesowi rozkruszania w celu odzyskania miedzi, a pozostałą żywicę wypala się w piecach pirolitycznych.

W stacjach umieszczonych wewnątrz budynków nie stosuje się już praktycznie transformatorów olejowych ze względu na zastrzone przepisy przeciwpożarowe oraz przepisy o ochronie środowiska naturalnego. Koszty energii wymuszają także stały postęp w dziedzinie ulepszania technologii i konstrukcji w kierunku obniżania strat, szczególnie strat biegu jałowego.

W Polsce transformatory żywiczne stosowane są od niedawna, jednak znajdują coraz więcej zastosowań. Można przypuszczać, że do 2000 r. transformatory te wraz z transformatorami suchymi konwencjonalnymi będą zajmować co najmniej 30% rynku transformatorów rozdzielczych, z tendencją do stałego wzrostu.

Recenzent: Dr hab. inż. Jerzy Hickiewicz, prof. WSI w Opolu

Wpłynęło do Redakcji dnia 18 marca 1996 r.



Wydawnictwo Naukowe PWN
ul. Senacka 11, 00-950 Warszawa
tel. (022) 629-4242, 629-4243, 629-4244, 629-4245
fax (022) 629-4246, 629-4247, 629-4248, 629-4249

024100101
T 024 101 010
K 024 101 010
024 101 010 010

Janusz SOBOTA
AEG Mefta, Sp. z o.o.

TRANSFORMATORY OLEJOWE O RDZENIU Z TAŚM AMORFICZNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono kierunki postępu w budowie transformatorów olejowych rozdzielczych, wzajemne powiązania pomiędzy poziomem strat biegu jałowego a masą i kosztem części aktywnej transformatora. Następnie opisano nowy materiał magnetyczny „Metglas” oraz doświadczenia AEG Mefta Sp. z o.o. w stosowaniu tego materiału.

OIL TRANSFORMERS WITH AMORPHOUS STRIP CORE

Summary. The paper presents development trends in construction of distribution oil transformers; correlations between the level of no-load losses and the mass and cost of the transformer activ part. In the latter part of the paper a new magnetic material ‘Metglas’ has been discussed and the AEG Mefta Sp. z o.o.’s experiences with its use.

1. WPROWADZENIE

Postęp w budowie transformatorów olejowych rozdzielczych prowadzi do budowy transformatorów o coraz lepszych parametrach technicznych. Zmiany budowy przedstawiono na bazie doświadczeń firmy AEG Mefta Sp. z o. o., której autor jest pracownikiem. Szczególnie dużo miejsca w artykule poświęcono nowemu materiałowi magnetycznemu o nazwie Metglas, który ma szansę na dokonanie nowego przełomu w budowie transformatorów. Metglas jest materiałem produkowanym przez amerykańską firmę Allied Signal, a nazwa materiału jest zastrzeżona.

2. ROZWÓJ ROZDZIELCZYCH TRANSFORMATORÓW OLEJOWYCH

Postęp w budowie transformatorów odbywa się na drodze stosowania coraz lepszych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych oraz stosowania coraz lepszych materiałów.

2.1. Nowe rozwiązania konstrukcyjne i technologiczne

- Nowe układy izolacyjne powodujące zmniejszenie odległości izolacyjnych, przy zachowaniu dotychczasowej wytrzymałości dielektrycznej.
- Stosowanie kolumn rdzeni o niekołowym przekroju poprzecznym (owalnym, prostokątnym).
- Stosowanie nowego sposobu składania rdzeni, tzw. step-lap, prowadzącego do obniżenia strat biegu jałowego transformatorów.
- Nawijanie uzwojeń dolnego napięcia bezpośrednio na kolumnie rdzenia, co powoduje zmniejszenie odległości izolacyjnych oraz eliminuje konieczność stosowania szablonów nawojowych.
- Stosowanie nowoczesnych nawijarek uzwojeń górnego napięcia, umożliwiających stopniowanie izolacji międzywarstwowej, co powoduje zmniejszenie średniej grubości izolacji i zwiększa współczynnik wypełnienia uzwojeń.

2.2. Postęp w stosowaniu lepszych materiałów

Decydujące znaczenie w tym względzie mają materiały czynne, czyli materiały, z których wykonane są uzwojenia i rdzeń transformatora. Na uzwojenia stosowana jest głównie miedź elektrotechniczna i nie należy się spodziewać, by materiał ten mógł być zastąpiony innym lepszym. Natomiast można zaobserwować stałą poprawę parametrów technicznych materiałów używanych do budowy rdzeni magnetycznych. Na początku lat 70 do masowego użycia weszła w Polsce blacha transformatorowa walcowana na zimno, która zastąpiła blachę gorąco-walcowaną. Następnie pojawiła się blacha typu MOH, a później blacha z laserową obróbką powierzchni. Każdy nowy rodzaj blachy charakteryzuje się coraz niższą stratnością. Obecnie w budowie transformatorów stosowane są blachy zimnowalcowane, typu MOH i z laserową obróbką powierzchni. Blachy te różnią się parametrami i ceną i dla różnych zastosowań opłacalne jest stosowanie różnych rodzajów blach.

Skalę postępu w budowie transformatorów obrazuje tabela 1, w której przedstawiono straty transformatorów produkowanych w AEG Mefta Sp. z o.o. na przykładzie transformatora o mocy 100 kV·A. W pierwszym wierszu przedstawiono parametry transformatorów produkowanych do końca 1990 roku, w wierszu drugim transformatorów produkowanych obecnie na rynek krajowy, a w wierszach trzecim i czwartym produkowane obecnie na rynki eksportowe. Z tabeli 1 wynika tendencja do stałego obniżania poziomu strat, szczególnie strat biegu jałowego.

Tabela 1

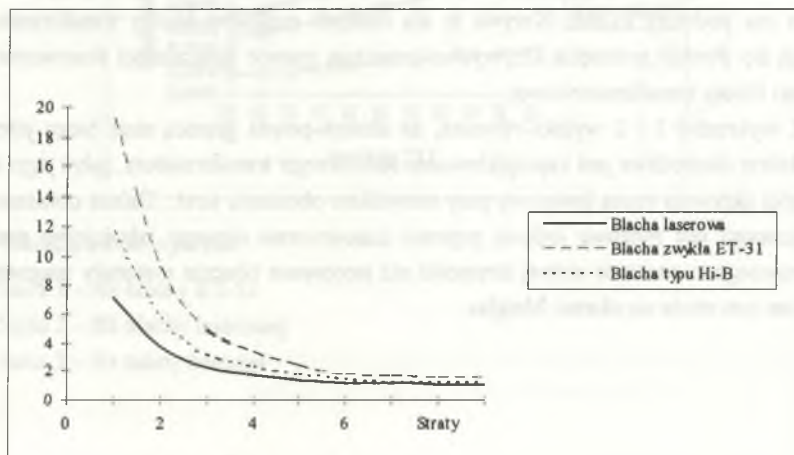
Straty i masy transformatorów olejowych na przykładzie transformatorów o mocy 100 kV·A

Typ transformatora	Straty jałowe W	Straty zwarcia W	Masa kg
TNOSA-100/15 Produkowany do 31.12.1990	360	1650	760
TNOSI-100/15 Produkowany obecnie	260	1650	620
TNOSM-100/15 o obniżonych stratach	210	1750	540
TNOSM-100/15 o bardzo niskich stratach	150	1450	860

Przy stosowaniu tych samych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych obniżanie strat biegu jałowego prowadzi do podwyższenia masy materiałów użytych do budowy transformatora i do podwyższenia kosztu jego wytworzenia. Dla różnych poziomów strat najniższy koszt wytworzenia uzyskuje się przy zastosowaniu różnych rodzajów blachy transformatorowej. Wzajemne zależności pomiędzy stratami biegu jałowego, masą części aktywnej transformatora i kosztem części aktywnej przedstawiają poniższe wykresy:

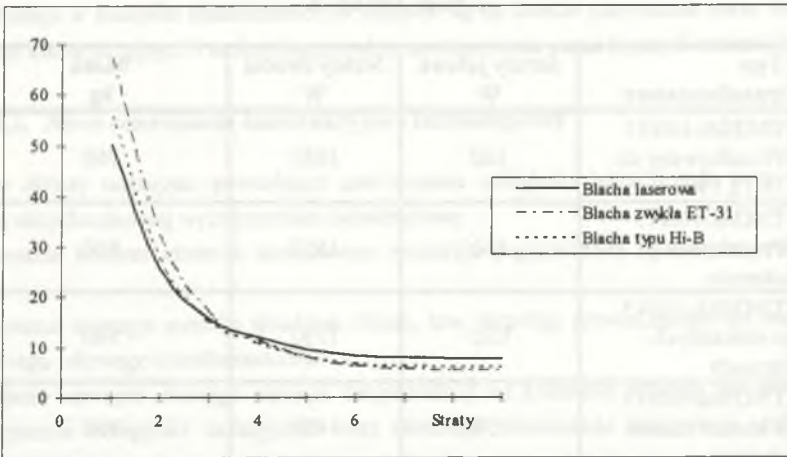
Wykres 1

Zależność masy części aktywnej transformatora od strat biegu jałowego



Wykres 2

Zależność kosztu części aktywnej transformatora od strat biegu jałowego



Na wykresach 1 i 2 straty transformatora, masa części aktywnej i koszt części aktywnej podane są w jednostkach względnych. Krzywe zależności mają taki sam przebieg niezależnie od mocy transformatora, przy czym straty biegu jałowego transformatora o poziomie normalnym odpowiadają wartości 5 na osi x, a straty o poziomie bardzo niskim wartości 2,5.

Krzywa zależności masy części aktywnej transformatora od strat biegu jałowego przypomina hiperbolę, która przy dużych stratach przechodzi w prostą równoległą do osi x. Przy zastosowaniu do budowy transformatora lepszego rodzaju blachy transformatorowej krzywa przesunę się na wykresie w lewo. Różnice w masie części aktywnej przy zastosowaniu różnych rodzajów blachy wynoszą dla strat o poziomie normalnym - kilka procent, dla strat bardzo niskich kilkadziesiąt procent. Krzywa zależności kosztu części aktywnej od strat biegu jałowego ma podobny kształt. Krzywe te dla różnych rodzajów blachy transformatorowej przecinają się. Punkty przecięcia krzywych wyznaczają granice opłacalności stosowania danego rodzaju blachy transformatorowej.

Z wykresów 1 i 2 wynika również, że istnieje pewna granica strat biegu jałowego, poniżej której niemożliwe jest zaprojektowanie sensownego transformatora, gdyż jego koszt i masa części aktywnej rosną lawinowo przy niewielkim obniżeniu strat. Dalsze obniżenie strat biegu jałowego jest możliwe jedynie poprzez zastosowanie nowego jakościowo materiału magnetycznego o znacznie niższej stratności niż stosowane obecnie materiały magnetyczne. Materiałem tym może się okazać Metglas.

3. ROZWÓJ KONSTRUKCJI TRANSFORMATORÓW Z ZASTOSOWANIEM BLACH AMORFICZNYCH

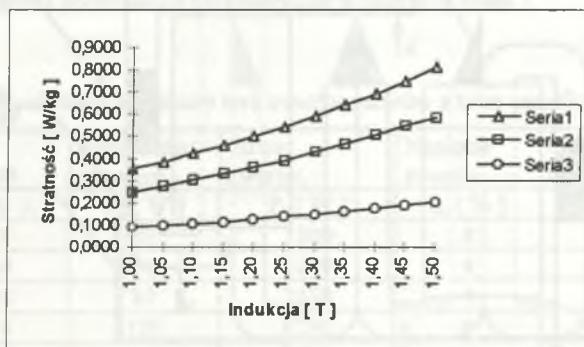
Transformatory o rdzeniach z Metglasu produkowane są już w skali masowej w Stanach Zjednoczonych i w Japonii. Metglas jest amorficznym materiałem magnetycznym miękkim, charakteryzującym się bardzo niską stratnością. Produkowany jest w postaci bardzo cienkich taśm o grubości kilkunastu mikronów. Taśmy są wytwarzane w procesie bardzo szybkiego studzenia stali, tak szybkiego i że w taśmie nie zdąży wytworzyć się struktura krystaliczna. Rdzenie wykonuje się metodą zwijania i rozcinania. Rdzenie amorficzne posiadają inne własności mechaniczne i magnetyczne w porównaniu z rdzeniami tradycyjnymi. Charakterystyczne ich cechy to:

- bardzo niska stratność,
- mała indukcja nasycenia - około 1,45 T,
- mała wytrzymałość mechaniczna i kruchość,
- konieczność stosowania obróbki cieplnej rdzeni w polu magnetycznym.

Najbardziej interesującą cechą z punktu widzenia budowy transformatorów jest bardzo niska stratność rdzeni. Porównanie stratności taśmy amorficznej i blachy transformatorowej tradycyjnej przedstawia wykres 3.

Wykres 3

Porównanie stratności różnych materiałów magnetycznych



Oznaczenia do wykresu:

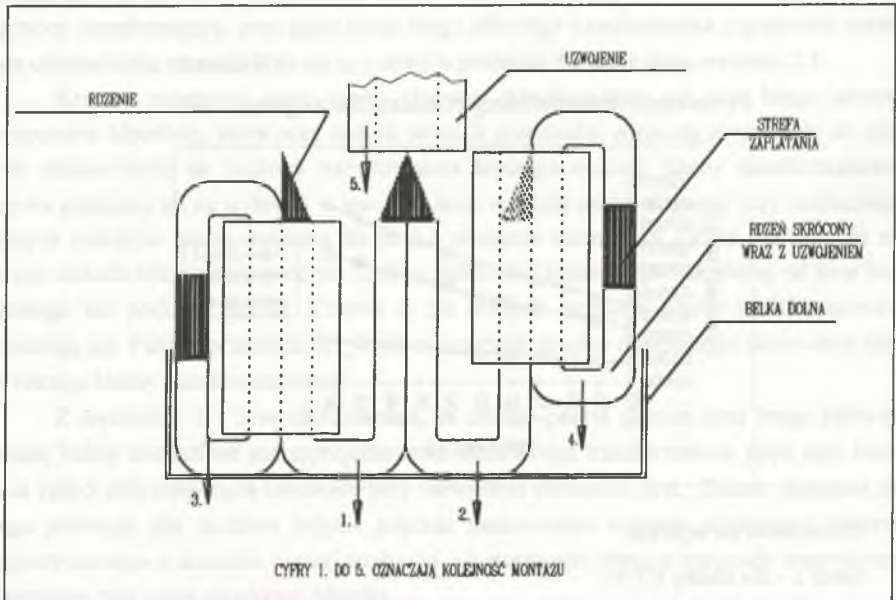
Seria 1 - dla blachy ET-31

Seria 2 - dla blachy laserowej

Seria 3 - dla taśmy Metglas

Z własności mechanicznych materiału Metglas, jego kruchości i małej wytrzymałości mechanicznej wynika konieczność stosowania innych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych przy produkcji transformatorów. Przede wszystkim stosunkowo łatwe jest wykonanie rdzenia jednofazowego, natomiast rdzeń trójfazowy trójkolumnowy jest technologicznie bardzo trudny do wykonania. Dlatego większość firm wytwarzających transformatory z rdzeniami z Metglasu wykonuje transformatory trójfazowe w układzie pięciokolumnowym - łącząc 4 rdzenie jednofazowe w rdzeń trójfazowy pięciokolumnowy. Przekrój kolumny takiego rdzenia jest prostokątem, a więc i uzwojenia transformatora muszą mieć przekrój prostokątny. Uzwojenia o takim kształcie są bardziej wrażliwe na działanie sił zwarciovych; dla zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości uzwojenia klei się. Wygląd rdzenia oraz jeden ze sposobów montażu uzwojeń transformatora z rdzeniem amorficznym przedstawiono na rys. 1.

Drugą niekorzystną cechą materiału Metglas jest jego kruchość. W transformatorze tradycyjnym rdzeń jest zarazem elementem mechanicznym przenoszącym naprężenia mechaniczne. Uzwojenia, belki prasujące, system zawieszenia mocowane są do rdzenia. Rdzeń Metglasowy nie może pełnić tej roli. Dlatego w tego rodzaju transformatorach stosuje się rozwiązania konstrukcyjne, w których naprężenia mechaniczne przenoszą uzwojenia, a rdzeń pozostaje mechanicznie nieobciążony.



Rys. 1. Przykład montażu uzwojeń na rdzeniu amorficznym
Fig. 1. Example of winding assembly around the amorphous core

4. PARAMETRY UZYSKIWANE W TRANSFORMATORACH METGLAS

4.1. Parametry transformatorów o mocy 100 kV·A

W AEG Mefta wykonano i przebadano kilka transformatorów amorficznych, wszystkie o mocach 100 kV·A. Obecnie budowany jest transformator 400 kV·A. Jeden z transformatorów, po pozytywnym zakończeniu prób typu został zainstalowany w Górnośląskim Zakładzie Energetycznym SA w Gliwicach i pracuje już dwa lata. Parametry podstawowe tego transformatora przedstawia tabela 2.

Tabela 2

Typ transformatora	TNOSAM-100/15
Straty biegu jałowego - po wykonaniu	75 W
Straty biegu jałowego - po próbach typu	82 W
Straty zwarcia	1771 W
Masa transformatora	755 kg

4.2. Plany na przyszłość

W AEG Mefta Sp. z o.o. planuje się dalsze prowadzenie prac rozwojowych w dziedzinie transformatorów amorficznych. Prace te zostaną zakończone wdrożeniem serii transformatorów amorficznych o mocach od 63 kV·A do 630 kV·A. Przewiduje się, że seria transformatorów będzie miała podstawowe parametry, jak w poniższej tabeli 3.

Tabela 3

Przewidywane parametry serii transformatorów z taśm amorficznych

Moc	Straty biegu jałowego	Straty zwarcia	Napięcie zwarcia	Masa całkowita
S_n [kV·A]	P_0 [W]	P_z [W]	u_z [%]	[kg]
63	45	1300	4	500
100	60	1650	4	675
160	85	2350	4	845
250	120	3250	4	1200
400	160	4600	4	1645
630	190	6750	6	2200

Recenzent: Dr hab. inż. Jerzy Hickiewicz, prof. WSI w Opolu

Wpłynęło do Redakcji dnia 18 marca 1996 r.

Aleksander ZIELONKA
ABB Dolmel Ltd

PRODUKCJA GENERATORÓW W ABB DOLMEL LTD - NOWE WYROBY I DIAGNOSTYKA

Streszczenie. W artykule omówiono możliwości pomiarowe Zespołu Diagnostyki Producenta Generatorów ABB Dolmel Ltd na tle działalności firmy. Przedstawiono specjalne metody badań maszyn elektrycznych przy wykorzystaniu najnowszej komputerowej aparatury pomiarowej.

GENERATOR MANUFACTURING IN ABB DOLMEL LTD - NEW PRODUCTS AND DIAGNOSTICS

Summary. ABB Dolmel Ltd. is a part of the world-wide ABB Group operating in the Power Plant Segment. The company was established in October 1990 as a result of the transformation of the Lower Silesian Electrical Machines Manufacturing Works DOLMEL into a joint venture. ABB Dolmel Ltd has 45 years of experience in production of turbogenerators and hydrogenerators for industrial power plants and power utilities, for water power plants and slow speed Diesel driven generators. Our production range covers:

- turbogenerators:
 - air-cooled up to 300 MV · A
 - hydrogen-cooled up to 350 MV · A
 - water/hydrogen-cooled up to 900 MV · A
- industry generators up to 40 MV · A
- hydrogenerators up to 330 MV · A
- Diesel-driven generators up to 17 MV · A

ABB Dolmel Ltd provides a full range of comprehensive services for generators and related equipment, such as:

- assembly work and inspection
- diagnostics
- modernizations.

Because of increasing demands of local market the Diagnostic Team was established in 1993. A base of the Team's activity is ABB Diagnostics System which covers all aspects concerning generators. The most modern, computer aided equipment helps to collect, store and analyse high quality measurement results.

The high quality execution of all orders is guaranteed by a well-developed quality assurance system, which confirms to the ISO 9001 standards.

Firma ABB Dolmel Ltd została założona w 1990 roku i prowadzi działalność w zakresie produkcji, sprzedaży i serwisu generatorów dla energetyki zawodowej i przemysłowej. Firma należy do Segmentu Power Plants Grupy ABB. Segment ten zajmuje się produkcją kompletnych elektrowni i ich komponentów, takich jak: kotły dla wszystkich typów paliw, turbiny i generatory.

Włączenie ABB Dolmel Ltd do rodziny ABB umożliwiło transfer technologii, dostęp do nowych rynków oraz wsparcie kierownictwa nowoczesnymi metodami zarządzania. Efektem 40-letniej pracy Dolmela a następnie ABB Dolmel Ltd jest ponad 150 wyprodukowanych generatorów o łącznej mocy ponad 40 000 MV·A, które pracują w elektrowniach na całym świecie. Aby stać się partnerem innych firm w grupie ABB i dołączyć do grona najlepszych producentów urządzeń do wytwarzania energii elektrycznej, firma przeszła szereg przeobrażeń restrukturyzacyjnych. Jednym z nich jest program kompleksowego kierowania jakością, tzw. Total Quality Management TQM. Realizując ten program wdrożono w 1993 roku System Jakości bazujący na międzynarodowej normie jakości ISO 9001. W październiku 1993 roku uzyskano jego certyfikację przez niemiecką firmę certyfikacyjną Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Qualitätsmanagementsystemen mbH oraz świadectwo Europejskiej Sieci Jakości EQ Net. System Jakości bazujący na normie ISO 9001 obejmuje cały cykl związany z realizacją zamówienia klienta, a więc ofertowanie, projektowanie, produkcję, montaż, eksploatację i serwis. Posiadanie certyfikatu ISO 9001 jest dla firmy warunkiem efektywnego działania na rynku międzynarodowym, podnosi wiarygodność i zaufanie klienta do wyrobów i usług.

Strategię ABB Dolmel Ltd określają następujące kierunki rozwoju:

- utrzymanie dominacji na rynku krajowym w zakresie sprzedaży nowych generatorów,
- utrzymanie pozycji wiodącego wykonawcy modernizacji urządzeń eksploatowanych w elektrowniach, wprowadzanie na rynek nowych generatorów chłodzonych powietrzem,
- zdobycie pozycji kluczowego dostawcy generatorów powietrznych i wodno-wodorowych dla sieci sprzedaży ABB,
- rozwinięcie potencjału technicznego zdolnego do współuczestnictwa w rozwoju generatorów ABB.

ABB Dolmel Ltd realizuje na rynku polskim Misję ABB przez:

- zaspokojenie potrzeb na dostawy generatorów:
 - bardziej niezawodnych ,
 - oszczędniejszych ,
 - wydajniejszych,
- działalność respektującą wymogi ekologiczne środowiska,
- szeroką współpracę zarówno z klientami, jak i poddostawcami oraz wprowadzanie do polskiej energetyki nowych rozwiązań technicznych zaspokajających wszystkie wymagania klienta.

Fundamentalnym warunkiem powodzenia realizacji Misji ABB Dolmel Ltd jest wspólne idące w jednym kierunku działanie wszystkich pracowników naszej firmy. Uzyskanie satysfakcji klienta ze współpracy z ABB Dolmel Ltd jest celem strategicznym firmy, warunkującym utrzymanie rynków. Satysfakcja ta musi być osiągnięta poprzez działanie zapewniające:

- wysoką jakość wyrobów,
- krótkie cykle wykonania,
- dostawę na czas,
- współpracę i reagowanie na życzenia klientów w całym cyklu projektowania, produkcji i eksploatacji wyrobów.

Program ten, zwany w koncernie ABB "Customer Focus" dotyczy praktycznie wszystkich komórek ABB Dolmel Ltd i jest przez nie, zgodnie z planem realizowany. Dominująca obecność ABB Dolmel Ltd na rynku lokalnym jest sprawą prestiżu firmy i warunkiem jej pomyślnego rozwoju.

Firma wykorzystuje na krajowym rynku następujące atuty:

- nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne i technologie bazujące na technice ABB i własnych opracowaniach,
- znajomość rynku, problemów i potrzeb klientów,
- współpraca z klientem w całym zakresie od projektu poprzez eksploatację do napraw i modernizacji.

Stwarza to mocną pozycję ABB Dolmel Ltd jako dostawcy nowych wyrobów i ugruntowuje obecność na rynku serwisowym.

Obecność na rynku lokalnym jest zapewniona poprzez aktywność w następujących obszarach działań:

- lokalne inwestycje energetyki zawodowej i przemysłowej - strategiczna, ścisła współpraca z ABB Zamech Ltd,
- lokalne kanały eksportowe, np. Elektrim, Megadex,
- istniejące elektrownie - rehabilitacje, remonty, serwis bieżący, diagnostyka, doradztwo techniczne w zakresie generatorów.

Obsługą rynku lokalnego zajmują się w ABB Dolmel Ltd dwie organizacje handlowe w obszarze PSU:

- Dział Sprzedaży Nowych Wyrobów,
- Dział Serwisu.

Dla usprawnienia procesu sprzedaży i akwizycji działalność ich wspierana jest przez przedstawicieli regionalnych ABB Dolmel Ltd ulokowanych w największych ośrodkach przemysłowych kraju. Ze względu na dużą konkurencyjność wyrobów firma ABB Dolmel Ltd może stać się kluczowym dostawcą generatorów do sieci sprzedaży ABB, która jest:

- podstawowym kanałem sprzedaży na eksport,
- najbardziej efektywnym sposobem dostępu do rynków zagranicznych.

Sieć sprzedaży ABB jest rynkiem o niezwykle wysokich wymaganiach jakościowych i terminowych. Sprostanie tym wymaganiom jest uwarunkowane stałą poprawą efektywności produkcji.

Głównym produktem firmy ABB Dolmel Ltd są generatory energetyczne w następujących wielkościach i rozwiązaniach konstrukcyjnych:

- generatory chłodzone powietrzem do 300 MV · A,
- generatory chłodzone wodorem do 350 MV · A,
- generatory chłodzone wodą i wodorem do 900 MV · A.

Są to wyroby budowane na bazie licencji, pokrywające asortymentem cały zakres mocy i rozwiązań zgodnie z wymaganiami krajowego rynku energetycznego i sieci ABB.

W sierpniu 1995 roku zakończono w ABB Dolmel Ltd produkcję największego na świecie generatora chłodzonego powietrzem o mocy 300 MV · A z serii TOP-AIR. Jednostka ta wykonana na licencji ABB przeznaczona jest do współpracy z turbiną gazową GT-26. Próby ruchowe na Stacji Prób potwierdziły słuszność założeń konstrukcyjnych zarówno od strony elektrycznej, jak i mechanicznej. Generator osiągnął założoną moc i wysoką sprawność wynoszącą 98,75% dla klasy izolacji „B”. Powierzenie wykonania generatora firmie ABB Dolmel Ltd było dowodem zaufania koncernu i przekonania o wysokim poziomie intelektualnym i wytwórczym spółki. Załoga wywiązała się z tego niełatwego zadania bardzo dobrze, przez co umocniła w koncernie pozycję producenta specjalizującego się w wytwarzaniu nowoczesnych generatorów chłodzonych powietrzem.

Ponadto ABB Dolmel Ltd jest producentem:

- generatorów przemysłowych do 40 MV · A,
- hydrogeneratorów do 330 MV · A,
- generatorów do wolnoobrotowych zespołów dieslowskich do 17 MV · A.

Dla tych pozycji utrzymywana jest stała gotowość do podjęcia ich produkcji w przypadku ożywienia rynku krajowego lub możliwości eksportu.

W kategorii produktów należy również umieścić usługi, jak:

- modernizacje eksploatowanych generatorów 63, 120 i 200 MW w oparciu o standardowe pakiety modernizacyjne, opracowane na bazie wieloletnich doświadczeń eksploatacyjnych z uwzględnieniem najnowszej techniki ABB, podnoszące w sposób zasadniczy ich walory eksploatacyjne,
- kompleksową diagnostykę w zakresie:
 - stanu izolacji,
 - stanu rdzenia i jakości zaklinowania,
 - stanu dynamicznego.

Firma wykorzystuje tu pozycję producenta znającego doskonale wyrób od samego początku, posiadającego dane bieżące wykorzystywane dla przedłużenia okresu eksploatacji i minimalizacji kosztów remontów i napraw.

Biuro Techniczne ABB Dolmel Ltd dysponuje wiedzą na temat produktów, opartą na długoletnich i szerokich doświadczeniach Dolmela oraz najnowszych osiągnięciach technicznych koncernu ABB. Biuro wdraża i realizuje projekty rozwojowe zgodne z ustaleniami Centrum Wiodącego Techniki. Konstruktorzy ABB Dolmel Ltd opracowali zestaw pakietów modernizacyjnych generatorów 200 MW, które są obecnie wprowadzane w realizowanych zamówieniach. Przygotowano już modernizację generatorów 6÷32 MW, 63 MW i 120 MW, natomiast wstępnej analizie technicznej poddano generatory 2÷32 MW, 3000 obr/min oraz 2,5 ÷20 MW o prędkości obrotowej 1500 obr/min.

W miesięczniku "Energetyka" nr 5/1994 mgr inż. Józef Krupa w artykule "Zwiększenie mocy turbogeneratorsa z 200 do 230 MW" przedstawia modernizację turbogeneratorsów TWW-200. Generatorsy te były produkowane w Dolmela na bazie dokumentacji zakładu Elektrosita z Leningradu. Konstruktorzy firmy ABB Dolmel Ltd opracowali program modernizacji tych generatorsów uwzględniając propozycje użytkowników, postęp techniczny w dziedzinie konstrukcji, materiałów izolacyjnych, a także ogromną wiedzę fachowców zgromadzoną w ciągu prawie 50-letniej działalności Dolmela i prawie stu lat poprzedniczki ABB - firmy BBC. Na licencji BBC rozpoczęto w Dolmela już w roku 1976 produkcję generatorsów o mocy 360 MW dla Elektrowni Bełchatów, Opole i na eksport. Artykuł przedstawia opis prac modernizacyjnych, przyjęty nowy system chłodzenia wirnika, nowe materiały izolacyjne użyte do produkcji, a także wyniki pomiarów cieplnych przeprowadzonych w Elektrowni Kozienice, Jaworzno III, Połaniec i Łaziska. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że zmodernizowane wirniki nie tylko spełniają wymagania stawiane dla klasy izolacji F, lecz również nie przekraczają - zgodnie z deklaracją producenta - dopuszczalnej temperatury dla klasy izolacji B.

W związku z rosnącym zapotrzebowaniem na nowoczesną kompleksową diagnostykę generatorsów powstał w połowie roku 1993 w ABB Dolmel Ltd Zespół Diagnostyki, którego głównym zadaniem jest świadczenie usług diagnostycznych w zakresie badań urządzeń produkujących energię elektryczną. Bazą działania Zespołu jest system diagnozy ABB oparty na bogatym doświadczeniu firm rodziny ABB oraz aparaturze badawczej wykonanej wg najnowocześniejszych technologii z uwzględnieniem komputerowych systemów do pomiarów i analizy uzyskanych wyników. Zakupienie przez ABB Dolmel Ltd takiej aparatury w ABB Kraftwerke AG Szwajcaria, teoretyczne i praktyczne przeszkolenie specjalistów Zespołu Diagnostyki w Szwajcarii oraz ciągły nadzór ekspertów firmy ABB Kraftwerke AG nad działaniami prowadzonymi przez Zespół jest gwarancją wykonywania pełnowartościowych właściwie interpretowanych badań generatorsów.

ABB Dolmel Ltd będąc producentem z tradycjami, posiada wieloletnie doświadczenie nie tylko w zakresie specyfiki konstrukcji i technologii remontów, lecz również w zakresie technik diagnostycznych stosowanych w zróżnicowanych warunkach prowadzonych badań. Współpraca z innymi grupami diagnostycznymi rodziny ABB, korzystanie z banku danych, jaki mieści się w Szwajcarii oraz wdrażanie najnowszej aparatury i współczesnych metod badań

pozwała na bardziej szczegółowe badanie maszyn, dokładne analizowanie wyników oraz na tej podstawie dostarczanie użytkownikom informacji, wskazówek i zaleceń na temat dalszej eksploatacji, zakresu konserwacji i remontu.

Zespół Diagnostyki producenta, posiadając bezpośredni dostęp do dokumentacji oraz najnowszej myśli koncernu ABB, ma szczególne podstawy do efektywnego prowadzenia prób i badań. Uzyskane informacje diagnostyczne są zbierane i archiwizowane w banku danych, co ma rzeczywisty wpływ na poprawę bezpieczeństwa działania i użytkowania generatorów, zapewnia ich wysoką dyspozycyjność oraz pozwala ocenić trendy w eksploatacji. Wynikiem końcowym prowadzonych działań diagnostycznych jest szczegółowe sprawozdanie techniczne zawierające dokumentację wyników uzyskanych w czasie przeprowadzonych prób wraz ze wszystkimi niezbędnymi świadectwami, spisem norm stanowiących podstawę przeprowadzenia badań oraz tym co najważniejsze dla użytkownika, czyli zestawem wniosków i zaleceń na przyszłość.

Istotnym elementem działania Zespołu Diagnostyki jest szybkość reakcji na zgłaszane zapotrzebowanie rynku. Jest to kwestia niezwykle ważna dla użytkowników turbogeneratorów dużej mocy, dla których dobowa produkcja energii elektrycznej osiąga znaczne kwoty. Konieczność spełnienia normy ISO 9001 nakłada na Zespół obowiązek reagowania na sygnały ze strony klienta w ciągu 24 h.

Postęp techniczny powoduje, że kontrolą obejmowany jest coraz większy zestaw parametrów technicznych, a prowadzone pomiary muszą cechować się coraz większą wiarygodnością i dokładnością. Konsekwencją tego postępu jest ciągła modernizacja bazy instrumentalnej Zespołu. Wielokanałowe zestawy pomiarowe wspomagane najnowocześniejszą techniką komputerową umożliwiają gromadzenie bogatego zestawu informacji specjalistycznych ułatwiających ocenę stanu generatora.

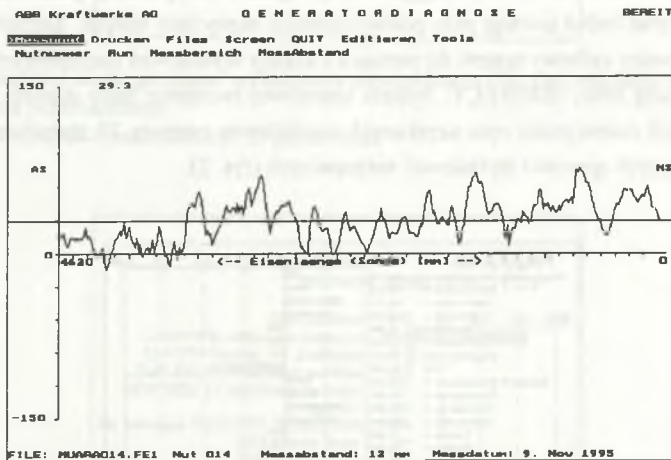
Kierunkiem działań Zespołu Diagnostyki jest kompleksowa kontrola maszyn elektrycznych obejmująca wybrane specjalistyczne dziedziny badań: analizę stanu dynamicznego, badania izolacji uzwojenia stojana i wirnika, wibroakustykę, zakłócenia radioelektryczne, systemy ciepło-wentylacyjne oraz kontrolę i analizę parametrów pracy generatora, układów wyposażenia i wzbudzenia.

Przykładem nowych możliwości jest wzbogacenie bazy instrumentalnej o zestaw ADRE 3 firmy BENTLY NEVADA, który zapewnia symultaniczną 16-kanałową akwizycję dynamicznych danych pomiarowych pozwalających orzekać o charakterystykach dynamicznych turbozespołu. Oznacza to, że w ramach jednego rozruchu turbozespołu istnieje możliwość zgromadzenia danych dotyczących wszystkich łożysk turbozespołu. Dane te stanowią następnie podstawę orzekania, np. o poprawności montażu.

Wyposażeniem dodatkowym służącym do pomiaru i oceny drgań jest wielofunkcyjny, przenośny przyrząd VIBROPORT 41 firmy SCHENCK umożliwiający jednoczesny pomiar w dwu niezależnych kanałach z bezpośrednim wydrukiem uzyskanych wyników. Ważną sprawą, szczególnie po przeprowadzonym remoncie w obszarze czoł prętów uzwojenia stojana dużych turbogeneratorów, jest sprawdzenie, czy rezonans drgań własnych czoł nie występuje

w niebezpiecznej strefie 100 Hz, co mogłoby być powodem przyspieszonej degradacji izolacji prętów. Analiza charakterystyk widmowych drgań czoł przeprowadzana jest w ABB Dolmel Ltd przy wykorzystaniu aparatury firmy Hewlett Packard. Dane zgromadzone w czasie rozruchu mogą stanowić również doskonały materiał odniesienia do podobnych danych zgromadzonych w czasie odstawienia turbozespołu. Porównanie obu zbiorów danych pozwala ocenić fakt zaistnienia zmian stanu technicznego, a także wielkość odstępstwa od stanu uznawanego za normalny.

W polskiej energetyce stosowana jest powszechnie wysokoprądowa metoda badania rdzenia generatorem strumieniem magnetycznym o indukcji ok. 1T pozwalająca wykryć zwarcia między blachami pakietu. Jest to metoda kłopotliwa, wymagająca zastosowania transformatora znacznej mocy i kamery termowizyjnej lub lokalizacji obszarów o podwyższonej temperaturze metodą dotykową. Zastępuje ją dokładniejsza i czulsza metoda komputerowa pozwalająca na wykrywanie zwarć w żelazie przy niskiej indukcji (ok. 5% wartości znamionowej).



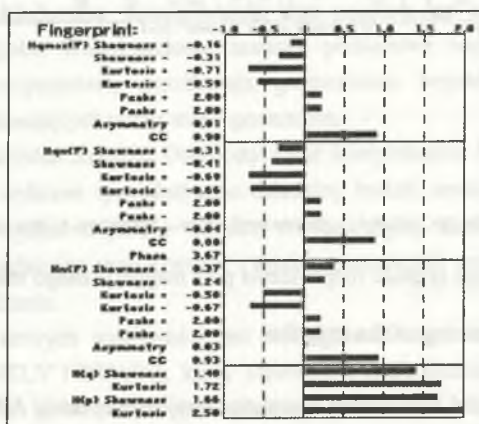
Rys. 1. Przykład przebiegu sygnału rozproszenia pola magnetycznego między zębami pakietu blach

Fig. 1. Example of measuring of the stray flux

Firma ABB Dolmel Ltd posiada aparaturę szwajcarskiej firmy ABB Kraftwerke AG do kontroli rdzenia tą metodą i każda wyprodukowana w firmie maszyna posiada zarejestrowane przebiegi sygnału rozproszenia pola magnetycznego wszystkich żłobków (rys. 1), aby przy kolejnych pomiarach możliwe było określenie trendów rozwoju wykrytych uszkodzeń. Do pomiarów prądów zwarciovych wykorzystano cewkę Rogowskiego poruszającą się wzdłuż żłobków na samojezdnym wózku, przekazującą sygnały do aparatury rejestrującej umieszczonej poza generatorem. Badanie rdzenia stojana tą metodą wykonuje się opierając się na wewnętrznej instrukcji koncernu ABB. Podobna komputerowa aparatura, aczkolwiek działa-

jąca na innej zasadzie, wykorzystywana jest do oceny zaklinowania prętów uzwojenia stojana. Metoda ta polega na pomiarze wymuszonych drgań poszczególnych klinów żłbkowych i zarejestrowaniu wyników. Samojezdny wózek poruszający się wzdłuż żłbków transportuje elektromagnetyczny młotek uderzający w kliny z częstotliwością 50Hz oraz czujnik drgań. Dzięki precyzyjnemu zapisowi wyników pomiarów na dyskietce można również śledzić tendencje rozwoju jakości zaklinowania przy następnych pomiarach. Właściwe zaklinowanie części żłbkowej prętów uzwojenia stojana ma znaczny wpływ na stan izolacji, gdyż zabezpiecza pręty przed promieniowym i osiowym przemieszczaniem, eliminuje naprężenia izolacji czoł, a także uniemożliwia ścieranie zewnętrznej ochrony przeciwjarzeniowej prętów, co mogłoby być powodem wzrostu poziomu wyładowań niezupełnych i przyspieszonej degradacji warstwy izolacyjnej. Z tego względu okresowo powtarzane pomiary pozwalają wykryć poluzowane kliny i w czasie najbliższego remontu poprawić jakość zaklinowania.

W celu wykrycia lokalnych defektów w izolacji, oprócz wykonywanych pomiarów współczynnika strat dielektrycznych $tg \delta$, należy wykonywać pomiary poziomu wyładowań niezupełnych oraz badać izolację przy podwyższonych napięciach stałych. Zespół Diagnostyki wdrożył najnowszy cyfrowy system do pomiaru i analizy wyładowań niezupełnych typu TEAS 571 szwajcarskiej firmy HAEFELY. System umożliwia tworzenie bazy danych w oparciu o fingerprint, czyli numeryczny opis uzyskanych wyników za pomocą 29 statystycznych operatorów obrazujących zjawisko wyładowań niezupełnych (rys. 2).

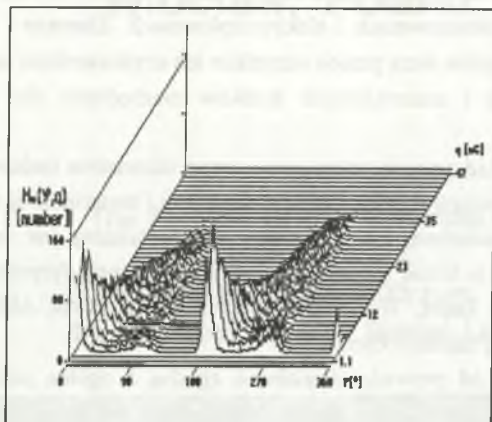


Rys. 2 Fingerprint (statystyczny obraz zjawiska wyładowań niezupełnych)

Fig. 2 Fingerprint (statistical pattern of PD-activity)

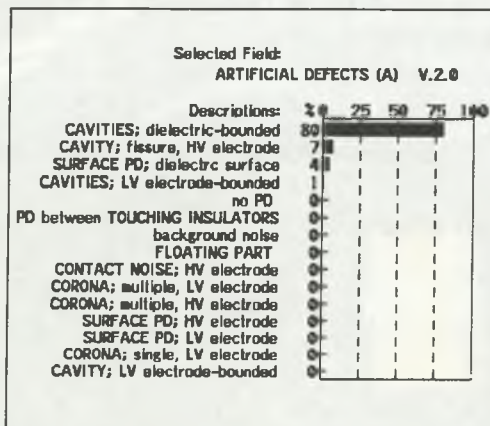
Możliwość cyfrowego zapisu wyników badań pozwala na porównanie ze sobą cyklicznie wykonywanych pomiarów tego samego obiektu, tworzenie trójwymiarowych obrazów wielkości ładunku pozornego i liczby impulsów w funkcji kąta fazowego napięcia

przemiennej (rys. 3), porównanie uzyskanych wyników fingerprint do katalogu błędów i automatyczną identyfikację defektów z dużym prawdopodobieństwem (rys. 4).



Rys. 3. Przestrzenny obraz poziomych wyładowań niepełnych i liczby impulsów w funkcji fazy napięcia przemiennego

Fig. 3. 3-dimensional distribution of PD parameters



Rys. 4. Klasyfikacja obrazu wyładowań niepełnych na podstawie banku danych

Fig. 4. Classification of measurement results based on defect patterns collected in data bank

Dzięki temu możliwe jest śledzenie procesów starzeniowych izolacji i ocena stopnia jej degradacji pod wpływem czynników termicznych, mechanicznych czy elektrycznych (wpływ pola elektrycznego, przepięć). System ten spełnia wymogi IEC Publication 270 oraz przewyższa dokładnością i możliwościami dotychczas stosowaną aparaturę analogową.

Specjaliści Zespołu Diagnostyki ABB Dolmel Ltd wyposażeni w ww. aparaturę, kooperując z innymi firmami ABB, wykonują wiele ekspertyz, prac pomiarowych i usług doradczych lepszych pod względem jakościowym i merytorycznych zarówno na terenie naszej firmy jak również w elektrowniach i elektrociepłowniach. Zbierane i archiwizowane informacje o stanie generatorów służą przede wszystkim ich użytkownikom w celu właściwej oceny ludzkich, finansowych i materiałowych środków niezbędnych dla przyszłych napraw i remontów.

ABB Dolmel Ltd posiada także nowoczesne laboratoria badawcze stojące na straży jakości. Stanowiska kontroli mechanicznej, elektrycznej i materiałowej posiadają nowoczesny sprzęt i aparaturę pomiarową, której aktualny stan techniczny jest regularnie sprawdzany, zgodnie z wdrożonym w firmie Systemem Jakości. Laboratoria dysponują wysoko kwalifikowaną i doświadczoną kadrą. Wszystko to składa się na obraz ABB Dolmel Ltd, firmy nowoczesnej i budzącej zaufanie klienta.

ABB Dolmel Ltd prowadzi działalność zgodną z ogólną polityką koncernu ABB. Przedsięwzięcia koncernu z jednej strony przyczyniają się do rozwoju ekonomicznego i wzrostu rentowności firm ABB, a z drugiej minimalizują szkodliwy wpływ na środowisko naturalne. W celu potwierdzenia swojego zaangażowania w działalność proekologiczną, w 1991 r. ABB zostało sygnatariuszem Karty Biznesu Międzynarodowej Izby Handlowej, przez co zobowiązało się do działania zgodnego z zasadami tej karty. Na podstawie karty stworzono w 1992 r. Program Zarządzania Ekologicznego. ABB Dolmel Ltd bierze bezpośredni udział w realizacji tego programu.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Glinka, Politechnika Śląska

Wpłynęło do Redakcji dnia 22 marca 1996 r.

Dariusz SZCZĘŚNY
Dolmel Drives Ltd.
Zakład Maszyn Trakcyjnych

PRĄDNICZE SYNCHRONICZNE DO MODERNIZACJI LOKOMOTYW SPALINOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono produkowane przez Dolmel Drives Ltd nowe prądnice synchroniczne przeznaczone do modernizacji lokomotyw spalinowych. Opisano budowę prądnicy głównej i jej wzbudnicy. Zaprezentowano także inne urządzenia oferowane wraz z prądnicą, tj. prostownik i regulator prądnicy.

SYNCHRONOUS GENERATORS FOR MODERNIZATION OF DIESEL LOCOMOTIVES

Summary. The paper presents new synchronous generators manufactured by Dolmel Drives Ltd for modernization of diesel locomotives. The construction of main generator and its exciter has been described. The other devices offered with the generator i.e. rectifier and controller have also been presented.

1. WPROWADZENIE

Większość lokomotyw spalinowych eksploatowanych w Polsce posiada przekładnię elektryczną składającą się z silnika spalinowego, prądnicy głównej i silników elektrycznych prądu stałego. Obecnie stosowane silniki spalinowe są nieekonomiczne w eksploatacji ze względu na częste przeglądy oraz duże zużycie paliwa lub są całkowicie wyeksploatowane. Prądnice wchodzące w skład agregatu prądotwórczego są prądnicami prądu stałego, a więc wymagają częstych przeglądów ze względu na komutator i charakteryzują się stosunkowo niską sprawnością. Polskie przedsiębiorstwa, chcąc modernizować lub wymienić wyeksploatowany tabor, stają przed alternatywą, kupować nowe, czy modernizować istniejące lokomotywy. Nowe lokomotywy spalinowe mogą zawierać co prawda najnowsze zdobycze techniki (falowniki, silniki asynchroniczne), ale charakteryzują się też wysoką ceną. Jeżeli rachunek ekonomiczny wykazuje nieopłacalność takiej inwestycji, pozostaje modernizacja

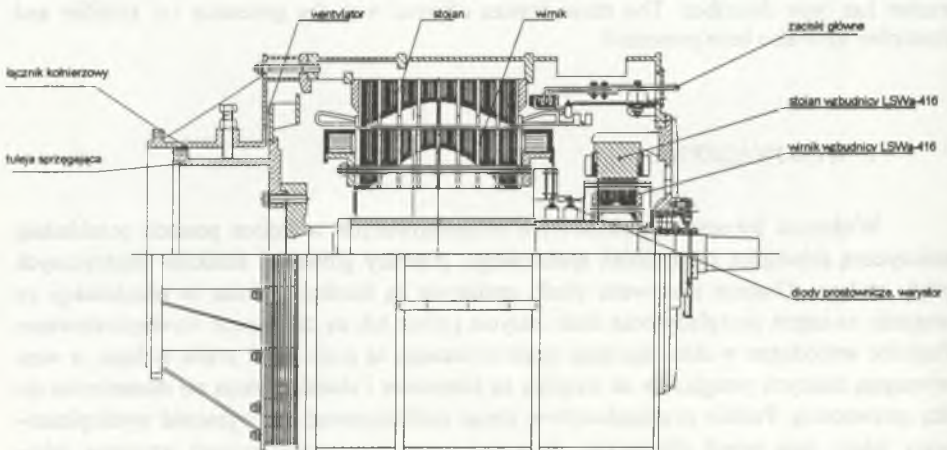
istniejących lokomotyw spalinowych. Modernizacja ta ogranicza się w większości przypadków do wymiany tylko silnika spalinowego lub do wymiany całego agregatu prądowłórczego. Przystarzały silnik zastąpiony zostaje nowoczesnym szybkoobrotowym silnikiem spalinowym o dużej żywotności. Całkowitej zmianie ulega także prądnica główna. Przystarzała prądnica prądu stałego zostaje zastąpiona nowoczesną sterowaną przez elektroniczny regulator synchroniczną prądnicą prądu przemiennego. Dolmel Drives Ltd podjął się dostarczania części elektrycznej do modernizowanych lokomotyw spalinowych, tzn.:

- prądnicy głównej wraz ze wzбудnicą,
- prostownika,
- regulatora prądnicy głównej.

Pierwszym przedsiębiorstwem, które skorzystało z oferty Dolmel Drives Ltd, jest Przedsiębiorstwo Transportu Kolejowego i Gospodarki Kamieniem S.A. w Rybniku. Zajmuje się ono, oprócz przewozów kolejowych, przeprowadzaniem napraw głównych i rewizyjnych lokomotyw spalinowych. Na mocy umowy z 1994 roku Dolmel Drives Ltd dostarczył zespół przeznaczony do modernizacji lokomotywy produkcji ČKD Praha typu S-200 składający się z:

- prądnicy głównej LSG-1200-90,
- prostownika PT1-2400/600 wykonanego na zamówienie Dolmel Drives Ltd przez Zakłady Elektronowe Lamina S.A. w Piasecznie,
- regulatora URW-95 opracowanego wspólnie przez Instytut Maszyn i Napędów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej oraz Dolmel Drives Ltd

Prądnica jest przeznaczona do współpracy z silnikiem spalinowym typu 12V396TC14 firmy MTU. W jednym kadłubie znajdują się dwie maszyny - właściwa prądnica główna i jej wzbudnica (rys. 1). Obie maszyny są osadzone na wspólnym wale. Kadłub zamknięty jest z jednej strony tarczą łożyskową, z drugiej wbudowano specjalne łączniki do podłączenia silnika spalinowego.



Rys. 1. Szkic prądnicy LSG-1200-90

Fig. 1. Outline of LSG-1200-90 generator

2. PRĄDNICA GŁÓWNA

Przy projektowaniu nowej prądnicy założono, że po modernizacji powinny być w pełni wykorzystywane możliwości istniejących silników trakcyjnych. Tak więc jako dane wejściowe do projektu wzięto przede wszystkim pod uwagę możliwości silników trakcyjnych, a nie dane znamionowe zastępowanej prądnicy. Poza tym dane wejściowe uwzględniały moc i prędkość obrotową silnika spalinowego. W wyniku wzajemnych ustaleń z Klientem ustalono, że prądnica powinna posiadać następujące podstawowe parametry:

Moc znamionowa	1200	kV · A
Prędkość obrotowa	1800	obr/min
Klasa izolacji	H	
Przewietrzanie	własne	

Parametry po stronie prądu stałego:

Maksymalne napięcie	670	V
Maksymalny prąd ciągły	2350	A
Prąd zwarcia	4000	A

Prądnica główna jest sześciobiegunową, trójfazową prądnicą synchroniczną zawierającą wirnik cylindryczny. Podczas projektowania prądnicy uwzględniono jej współpracę z mostkiem prostowniczym. Z tego względu w wirniku umieszczona jest klatka tłumiąca. Ma ona na celu zmniejszenie reaktancji podprzejściowych, szczególnie ważnych przy współpracy z prostownikiem. W przypadku zbyt dużych reaktancji, już przy względnie małych prądach, prostownik może wchodzić w drugi obszar pracy (komutacja złożona), co powoduje obniżenie napięcia wyjściowego. Zbyt duże reaktancje mogą również stwarzać trudności z osiągnięciem wymaganego prądu zwarcia.

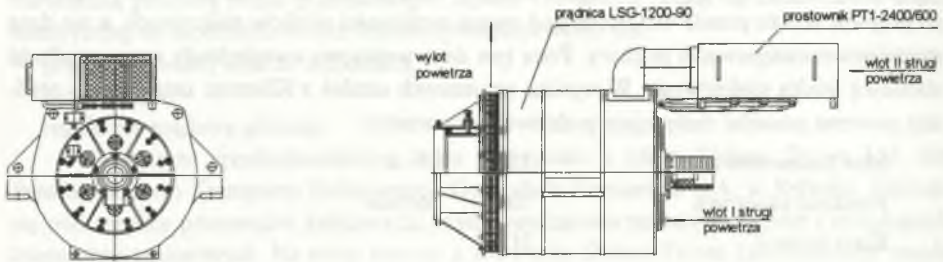
W uzwojeniach twornika umieszczone są termorezystory PT100. Pomiar temperatury przez termorezystory jest wykorzystywany przez regulator. Dzięki temu można dowolnie obciążać prądnicę bez obawy o przekroczenie dopuszczalnych temperatur. W przypadku wzrostu temperatury uzwojenia twornika powyżej dopuszczalnej granicy regulator obniża moc wyjściową prądnicy poprzez obniżenie prądu wzbudzenia.

W prądnicę przewidziano przewietrzanie własne. Wentylator zasysa powietrze poprzez prostownik i poprzez otwory w tarczy łożyskowej. Przepływ części powietrza przez prostownik jest spowodowany koniecznością chłodzenia diod prostowniczych (rys. 2).

3. PROSTOWNIK PT1-2400/600

Trójfazowe napięcie o częstotliwości znamionowej 90 Hz wytwarzane przez prądnicę jest prostowane w sześciopulsowym prostowniku diodowym. W prostowniku oprócz diod prostowniczych i radiatorów wbudowano także urządzenia pomiarowe. Składają się na nie prze-

kładniki prądowe i transformatoriki pomiarowe po stronie prądu przemiennego, przetworniki pomiarowe do pomiaru napięcia i prądu po stronie prądu stałego. Na radiatorach zamocowano termorezystory w celu ochrony diod przed przeciążeniami.



Rys. 2. Prądnicą LSG-1200-90 z prostownikiem PT1-2400/600
Fig. 2. Generator LSG-1200-90 with rectifier PT1-2400/600

4. WZBUDNICA LSWa-416

Wzbudnica prądnicy głównej jest szesnastobiegunową prądnicą synchroniczną. Posiada swoje wzbudzenie w stojanie i twornik w wirniku. Napięcie generowane w tworniku wzbudnicy jest prostowane sześciopulsowym wirującym mostkiem diodowym. Wyjście z mostka bezpośrednio zasilą układ wzbudzenia prądnicy głównej. Dzięki takiemu rozwiązaniu uniknięto stosowania szczotek zasilających uzwojenie wzbudzenia prądnicy głównej. Wzbudnica została tak zaprojektowana, by przy regulacji napięcia sterującego od 0 do 110V (napięcie obwodów pomocniczych w lokomotywie) można było uzyskać pożądane charakterystyki zewnętrzne prądnicy. Wzbudnica posiada następujące podstawowe dane znamionowe po stronie prądu stałego:

Moc znamionowa	9.8	kW
Prędkość obrotowa	1800	obr/min
Napięcie wyjściowe	70	V
Prąd wyjściowy	140	A
Prąd sterujący	7.7	A
Napięcie sterujące	40	V

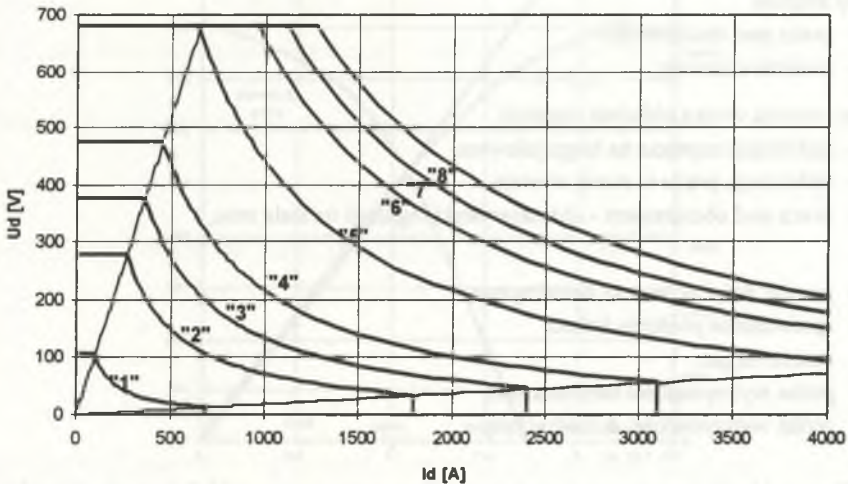
5. REGULATOR URW-95

Regulator jest odpowiedzialny za odpowiednie formowanie charakterystyk zewnętrznych prądnicy. Regulator ma dwie możliwości tworzenia charakterystyk zewnętrznych prądnicy, według zadanej stałej mocy przy poszczególnych prędkościach silnika spalinowego, lub według sygnału napięciowego wskazującego aktualne obciążenie silnika spalinowego (silnik przeciążony, niedociążony, obciążony zgodnie z krzywą optymalnej pracy).

Na rys 4. przedstawiono charakterystyki zewnętrzne prądnicy przy regulacji według stałej mocy. Prędkości i moce odpowiadające poszczególnym stopniom pracy silnika przedstawia poniższa tabela.

Tabela 1

Prędkość	Moc silnika spal.	Moc na wale prądnicy
[obr/min]	[kW]	[kW]
1800	1050	920,2
1700	925	808,8
1600	800	696,2
1400	550	467,1
1200	300	233,8
1000	200	146,7
800	125	81,5
600	50	13,8



Rys. 3. Charakterystyki zewnętrzne prądnicy LSG-1200-90 przy regulacji według stałej mocy
 Fig. 3. The output characteristics of LSG-1200-90 generator regulation at constant power

Niezależnie od podstawowej funkcji, jaką jest regulacja mocy wyjściowej prądnicy, regulator zapewnia:

- stabilizację maksymalnego prądu i napięcia na poziomie przewidzianym dla poszczególnych stopni pracy,
- zapobieganie poślizgom z wykorzystaniem istniejących elementów w układzie lokomotywy,
- odzwbudzenie silników trakcyjnych,
- zabezpieczenie pracy generatora i prostownika przed przeciążeniami i niektórymi stanami awaryjnymi układu silnik-generator-prostownik.

6. PRÓBY

We wrześniu 1995 roku w Dolmel Drives Ltd przeprowadzono próby typu osobno prądnicy i wzbudnicy oraz całości zespołu. Program prób obejmował:

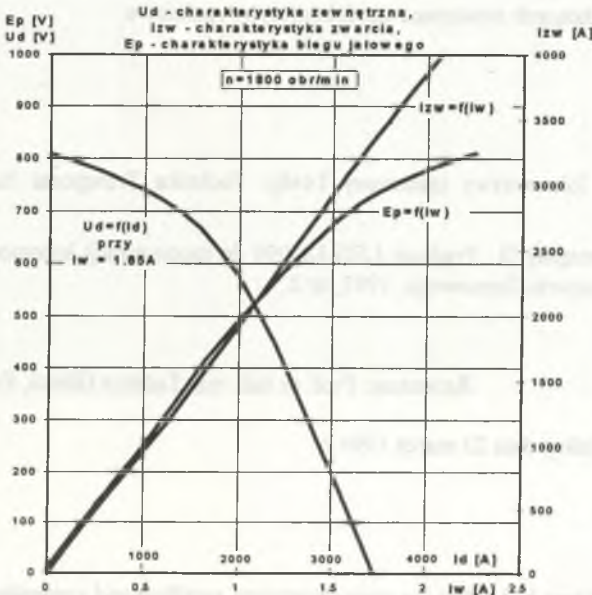
- 1) próby prądnicy przy wzbudzeniu z niezależnego źródła przy pracy z i bez prostownika
 - bieg jałowy,
 - zwarcie ustalone i udarowe,
 - nagrzewanie przy biegu jałowym i zwarcu;
- 2) próby wzbudnicy
 - bieg jałowy,
 - zwarcie ustalone i udarowe,
 - praca pod obciążeniem;
- 3) próby zespołu
 - praca pod obciążeniem,
 - zwarcie udarowe;
- 4) próby zespołu wraz z układem regulacji
 - stabilizacja napięcia na biegu jałowym,
 - stabilizacja prądu w stanie zwarcia,
 - praca pod obciążeniem - charakterystyki regulacji na stałą moc,
- 5) inne
 - pomiar ilości powietrza chłodzącego,
 - sprawdzenie poziomu hałasu,
 - pomiar drgań,
 - próba wytrzymałości mechanicznej,
 - próba wytrzymałości dielektrycznej.

Przy próbach zmontowanej prądnicy wykorzystano zestaw składający się z prądnicy LSG-1200-90 i prądnicy prądu stałego GP846. Całość została sprzęgnięta w jeden zespół, w którym prądnica LSG-1200-90 pracowała w układzie pracy zwrotnej. Próby z jednej strony

potwierdziły, że prądnica spełnia wymagania klienta i zalecenia IEC 349, a z drugiej strony sprawdziły poprawność projektowych obliczeń elektromagnetycznych. Na podstawie prób sporządzono m.in. charakterystykę zwarcia, biegu jałowego i zewnętrzną (rys. 4) oraz obliczono m.in. reakcje charakterystyczne i stałe czasowe. W poniższej tabeli przedstawiono kilka z tych wielkości.

Tabela 2

Wielkość	Wartość	
X_d	0,78	jw.
X_a	0,72	jw.
K_o	1,52	jw.
X'_d	0,08	jw.
X''_d	0,06	jw.
X_2	0,06	jw.
T_{do}	1,04	s
T'_d	0,15	s
T''_d	0,021	s
T_a	0,0092	s



Rys. 4. Charakterystyka zwarcia, biegu jałowego i zewnętrzna prądnicy LSG-1200-90
Fig. 4. Short circuit, open circuit and output characteristics of LSG-1200-90 generator

7. UWAGI KOŃCOWE

W najbliższym czasie odbędą się próby zespołu zamontowanego w lokomotywie S-200 w PTKiGK S.A. Po przejściu prób eksploatacyjnych przewidywana jest produkcja seryjna. Jednocześnie podjęte zostały prace nad produkcją kolejnych prądnic przeznaczonych do modernizacji lokomotyw spalinowych. Prądnice te powstaną na bazie prądnicy LSG-1200-90. W zależności od wymagań silnika spalinowego i silników trakcyjnych może ulegać zmianie:

- sposób połączenia z silnikiem spalinowym,
- długość czynna żelaza,
- układ połączeń uzwojeń twornika.

Do całej rodziny prądnic zostanie zastosowana ta sama wzbudnica LSWa-416. Jest to następny element w unifikacji rodziny prądnic.

Należy jeszcze wspomnieć, że konstrukcja następnych prądnic LSG-1200-90 uległa małym zmianom w stosunku do prototypu. Próby wykazały, że można zoptymalizować całość konstrukcji poprzez m.in. skrócenie pakietu żelaza, zmianę miedzi w wirniku i stojanie, skrócenie wzbudnicy. Dzięki temu zmniejszono masę maszyny, wzrosła sprawność prądnicy i poprawiono własności regulacyjne zespołu. Należy zaznaczyć, że wszystkie nasze rozwiązania zastosowane przy konstruowaniu i produkcji prądnic synchronicznych oraz układów regulacji objęte są ochroną patentową.

Mamy nadzieję, że nasza oferta kompleksowej dostawy spotka się z zainteresowaniem wszystkich firm chcących modernizować lokomotywy spalinowe.

LITERATURA

1. Modernizacja lokomotywy spalinowej T448p. Technika Transportu Szynowego, 1995, nr 2.
2. Gurgul A., Szczęsny D.: Prądnica LSG-120090 do modernizacji lokomotyw spalinowych. Technika Transportu Szynowego, 1995, nr 2.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Glinka, Politechnika Śląska

Wpłynęło do Redakcji dnia 23 marca 1996 r.

Abstract

Dolmel Drives Ltd offers the main generators, rectifiers and controllers for modernization of diesel locomotives. The paper presents LSG-1200-90 main generator with build-in exciter - LSWa-416, PT1-2400/600 rectifier and URW-95 controller. That devices are dedicated to build in locomotive S-200. The generator has special connectors to link

12V396TC14 Diesel Engine made by MTU corporation. Fig. 1 and Fig. 2 show the outline of the generator. The construction of generator has been described in chapter 2. URW-95 controller regulates excitation of LSWa-416 exciter. The output regulation characteristics of LSG-1200-90 generator at constant power has been presented in Fig. 3. Test routine of the generator and its results have been presented in chapter 6. Short circuit, open circuit and output characteristics of LSG-1200-90 generator have been shown in Fig. 4. The same parameters (reactances and time-constants) have been presented in table 2.

Generator Synchroniczny HLA



Jerzy CHAMERSKI
Damian MAĆKIEWICZ
inż. Stanisław WAŃCZYK
Dolmel Drives Ltd., Wrocław

SILNIKI INDUKCYJNE BUDOWANE W DOLMEL DRIVES LTD

Streszczenie. W artykule przedstawiono silniki indukcyjne wysokiego napięcia budowane w Dolmel Drives Ltd we Wrocławiu. Przedstawiono aktualny zakres produkcji i podstawowe rozwiązania konstrukcyjne. Omówiono m.in. izolację uzwojenia stojana wykonaną w systemie nasycania próżniowo-ciśnieniowego oraz niektóre rozwiązania ograniczające hałas.

INDUCTION MOTORS MANUFACTURED BY DOLMEL DRIVES LTD

Summary. The paper presents H.V. induction motors manufactured by Dolmel Drives Ltd in Wrocław. Current range of production is presented, as well as basic design features of the motors. Among others the stator winding insulation, made in VPI system and some of the design measures reducing motor noise are described.

1. WPROWADZENIE

Dolmel Drives Ltd powstał w 1990 roku w wyniku przekształcenia istniejącego od 1947 roku państwowego przedsiębiorstwa DZWME Dolmel we Wrocławiu, przejmując z tego przedsiębiorstwa między innymi produkcję silników indukcyjnych.

Pierwsze silniki wyprodukowano w 1950 roku na podstawie dokumentacji otrzymanej z zakładu w Żychlinie. W ich konstrukcji widoczne były powiązania z rozwiązaniami stosowanymi w firmie BBC, ponieważ zakład w Żychlinie pracował w okresie międzywojennym na licencji tej firmy. W latach 1953÷1955 opracowano pierwszą zunifikowaną serię silników indukcyjnych o zakresie mocy 200÷4000 kW, przy liczbie biegunów $2p=16÷6$.

W latach 1956÷1959 zaprojektowano turbosilniki z wirnikiem klatkowym o mocy 1000÷4000 kW, przy $2p=2$ oraz grupę niskoobrotowych silników asynchronicznych synchronizowanych (SAS) do napędu młynów w cementowniach. W roku 1960 wprowadzono do produkcji silniki budowy zamkniętej z chłodzeniem rurowym o mocy 200÷1250 kW, przy $2p=12÷4$. W latach 1966÷1971 opracowano nową serię silników indukcyjnych obejmującą zakres mocy 250÷6300 kW, przy $2p=24÷4$ oraz nową serię turbosilników z wirnikiem klatkowym o zakresie mocy 1250÷5000 kW, przy $2p=2$. Ponadto wykonano wiele silników specjalnych, takich jak: silniki przeciwybuchowe do napędu sprzęzarek tłokowych, silniki wyciągowe i walcownicze, silniki dwubiegowe i pionowe.

Aktualnie produkowane są silniki serii "e" i rozwijana jest produkcja nowej generacji silników oznaczonych symbolem "f". W Dolmel Drives Ltd funkcjonuje System Zapewnienia Jakości wg ISO 9001 certyfikowany przez Bureau Veritas Quality International (BVQI).

2. OMÓWIENIE PRODUKOWANYCH SILNIKÓW INDUKCYJNYCH

Silniki indukcyjne projektowane i budowane w Dolmel Drives Ltd obejmują szeroki zakres mocy i prędkości obrotowych - liczba biegunów $2p=2÷24$. Górne wartości mocy produkowanych silników wynoszą:

- 2000 kW przy $2p=24$,
- 10000 kW przy $2p=4$,
- 6300 kW przy $2p=2$.

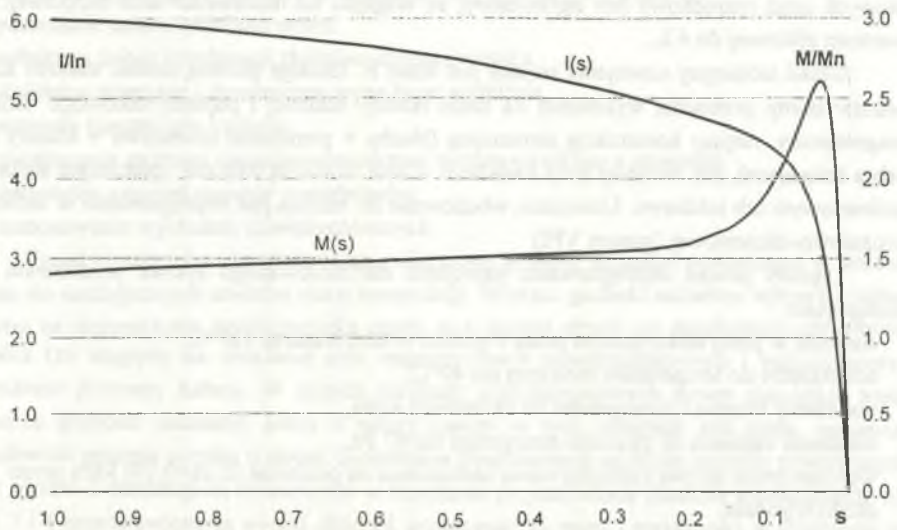
W związku z powyższym oraz w wyniku różnorodnych zastosowań i warunków pracy silniki mają zróżnicowane formy wykonania, sposoby chłodzenia i stopnie ochrony. Bazowym produktem są silniki na napięcie 6000 V, z wałem poziomym i wirnikiem klatkowym. Produkowane są również silniki pierścieniowe i silniki z wałem pionowym.

W dalszej części referatu omawiane będą wyłącznie silniki klatkowe. Silniki takie, w wykonaniu standardowym, projektowane są jako głębokozłobkowe z prętem uzwojenia wirnika o przekroju trapezowym. Silniki te mają dobre parametry rozruchowe, ich moment rozruchowy wynosi $(0.9÷1.2) M_N$.

Silniki o wymaganym momencie rozruchowym $(1.4÷2) M_N$ stanowią wykonanie specjalne i projektowane są jako maszyny dwuklatkowe.

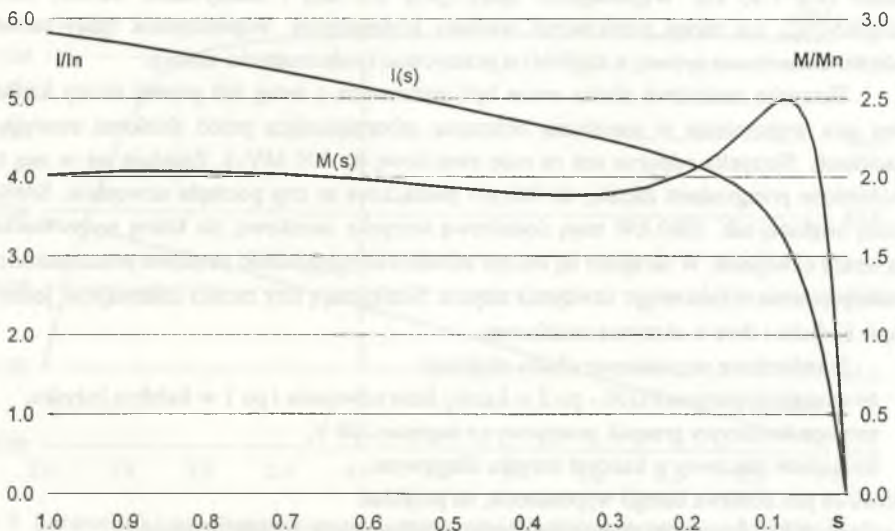
Na rys. 1 i 2 przedstawiono przykładowe przebiegi momentu obrotowego i prądu rozruchowego, odpowiednio dla silnika głębokozłobkowego i dwuklatkowego.

Silniki klatkowe zaprojektowane są tak, że przy wentylatorowej charakterystyce momentu oporowego urządzenia napędzanego mogą wykonać dwa kolejne rozruchy ze stanu zimnego i jeden rozruch ze stanu gorącego. Powyższe jest standardem, dla którego w dokumentacji technicznej silnika określona jest wartość dopuszczalnego masowego momentu bezwładności urządzenia napędzanego. W dokumentacji tej podawany jest także maksymalny zewnętrzny moment bezwładności, przy którym silnik może wykonać jeden rozruch ze stanu zimnego. Krotność prądu rozruchowego wynosi $(4÷6) I_N$. Najczęściej prąd rozruchowy zbliżo-



Rys. 1. Charakterystyki rozruchowe silnika klatkowego (głębokożłobkowego) 3300 kW, 6 kV, $2p=10$

Fig. 1. Starting current and torque curves of deep-slot squirrel-cage induction motor 3300 kW, 6 kV, $2p=10$



Rys. 2. Charakterystyki rozruchowe silnika dwuklatkowego 450 kW, 6 kV, $2p=6$

Fig. 2. Starting current and torque curves of double-cage induction motor 450 kW, 6 kV, $2p=6$

ny jest do wartości $5.5 I_N$. W przypadku silników okrętowych do napędu sterów strumieniowych prąd rozruchowy jest ograniczony, ze względu na możliwości sieci okrętowej, do wartości zbliżonej do $4 I_N$.

Układ izolacyjny uzwojenia stojana jest klasy F. Izolację główną cewek stanowi kilka warstw taśmy porowatej wykonanej na bazie tkaniny szklanej i papieru mikowego. Rdzeń magnetyczny, mający konstrukcję samonośną (blachy + pierścienie dociskowe + klamry lub zebra ściągające), jest zwojony poza kadłubem. Czoła cewek są wiązane oplecionym sznurem poliesterowym lub szklanym. Uzwojenie wbudowane do rdzenia jest impregnowane w technice próżniowo-ciśnieniowej (system VPI).

Typowy proces impregnowania uzwojenia dla stosowanego syciwa przedstawia się następująco:

- suszenie w piecu elektrycznym przez 6 godzin w temperaturze 130°C ,
- schłodzenie do temperatury mniejszej niż 40°C ,
- wsadzenie rdzenia z uzwojeniem do szczelnego kotła,
- obniżenie ciśnienia do poziomu mniejszego niż 67 Pa ,
- wprowadzenie syciwa i utrzymywanie nadciśnienia na poziomie $(0.18\pm 0.19)\text{ MPa}$ przez około 6 godzin,
- obcieknięcie syciwa,
- utwardzanie syciwa w piecu przez minimum 6 godzin w temperaturze 130°C .

Uzwojenie wykonane w systemie VPI ma bardzo dobre własności dielektryczne i jest odporne na wpływy środowiska oraz obciążenia elektrodynamiczne. Do oceny jakości impregnacji uzwojenia wykonuje się pomiary współczynnika strat dielektrycznych $\text{tg}\delta$ co $0.2 U_N$ w przedziale $(0.2\div 1.2) U_N$. Współczynnik $\text{tg}\delta_{0.2}$ (przy $0.2 U_N$) i maksymalna wartość ilorazu $(\Delta\text{tg}\delta/\Delta U)_{\text{max}}$ nie mogą przekroczyć wartości kryterialnych. Współczynnik $\text{tg}\delta_{0.2}$ mówi o jakości utwardzenia syciwa, a $\Delta\text{tg}\delta/\Delta U$ o przesyleniu i jednorodności izolacji.

Skrzynka zaciskowa silnika może być usytuowana z lewej lub prawej strony kadłuba. Jest ona wyposażona w membranę ochronną zabezpieczającą przed skutkami zwarcia na zaciskach. Skrzynka odporna jest na moc zwarcia do $500\text{ MV}\cdot\text{A}$. Znajdują się w niej trzy oddzielone przegrodami zaciski, do których podłączone są trzy początki uzwojenia. Silniki o mocy większej niż 3000 kW mają dodatkową skrzynkę zaciskową, do której wyprowadzone są końce uzwojenia. W skrzynce tej można zabudować przekładniki prądowe przeznaczone do zabezpieczenia różnicowego uzwojenia stojana. Silniki mają trzy zaciski uziemiające: jeden na łapie kadłuba i dwa w skrzynce zaciskowej.

Standardowe wyposażenie silnika obejmuje:

- termometry oporowe Pt100 - po 2 w każdej fazie uzwojenia i po 1 w każdym łożysku,
- antykondensacyjny grzejnik postojowy na napięcie 220 V ,
- termometr cieczowy w każdym łożysku ślizgowym.

Możliwa jest dostawa innego wyposażenia, na przykład:

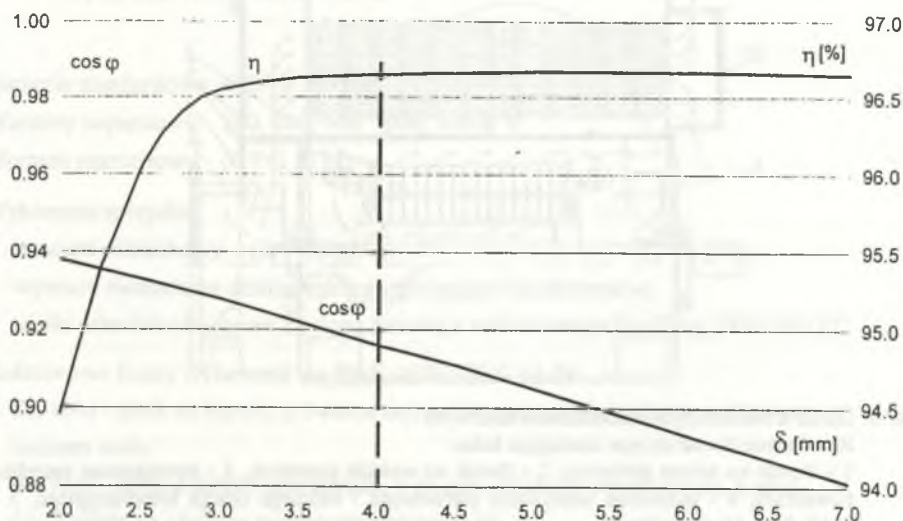
- gniazda lub przetworniki do pomiaru drgań i do diagnostyki łożysk tocznych,
- inna liczba lub rodzaj termometrów oporowych,
- termistory (PTC) do zabezpieczenia cieplnego uzwojenia.

Silniki mają obniżony poziom hałasu. W silnikach o liczbie biegunów $2p \geq 4$ poziom ciśnienia akustycznego (mierzony w odległości 1m) wynosi $L_p \leq 85\text{dB(A)}$.

Ograniczenie hałasu uzyskano przez:

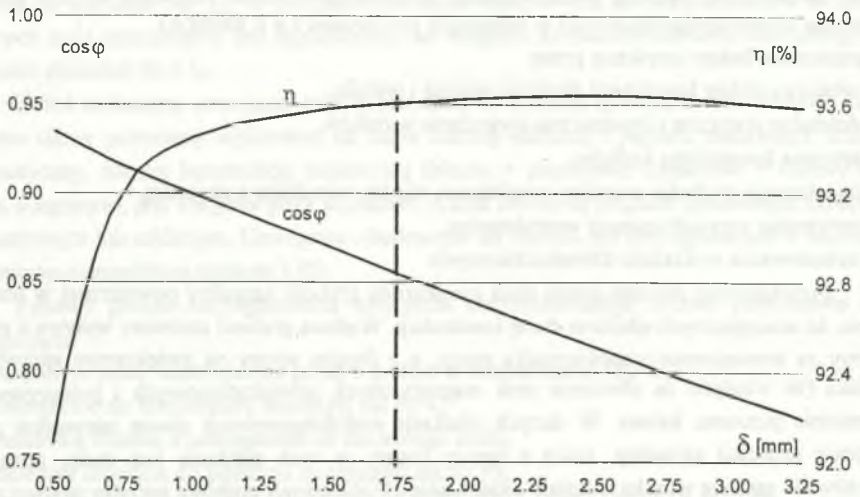
- właściwy dobór kombinacji żłobków stojana i wirnika,
- dokładne statyczne i dynamiczne wyważanie wirników,
- sztywną konstrukcję kadłuba,
- zwiększenie grubości szczeliny powietrznej między wirnikiem a stojanem,
- optymalne zaprojektowanie wentylatorów,
- zastosowanie wykładzin dźwiękochłonnych.

Projektowane obecnie silniki mają zwiększoną grubość szczeliny powietrznej w porównaniu do analogicznych silników starej konstrukcji. Większa grubość szczeliny wpływa z jednej strony na zmniejszenie współczynnika mocy, a z drugiej strony na zwiększenie sprawności silnika (ze względu na obniżenie strat magnetycznych powierzchniowych i pulsacyjnych) i obniżenie poziomu hałasu. W dużych silnikach wielobiegunowych nawet niewielkie zwiększenie grubości szczeliny, która z natury rzeczy w tych silnikach jest mała, ogranicza możliwość zatarcia wirnika o stojan. Stosowanie zwiększonych grubości szczelin powietrznych jest zgodne z tendencjami światowymi w dziedzinie projektowania silników indukcyjnych. Na rys. 3 i 4 przedstawione są wyniki obliczeń współczynnika mocy i sprawności w zależności od grubości szczeliny dla dwóch różnych silników. Rozwiązania konstrukcyjne stosowane do obniżenia poziomu hałasu, na przykładzie silnika zamkniętego z chłodzeniem rurowym, pokazane są na rys.5.



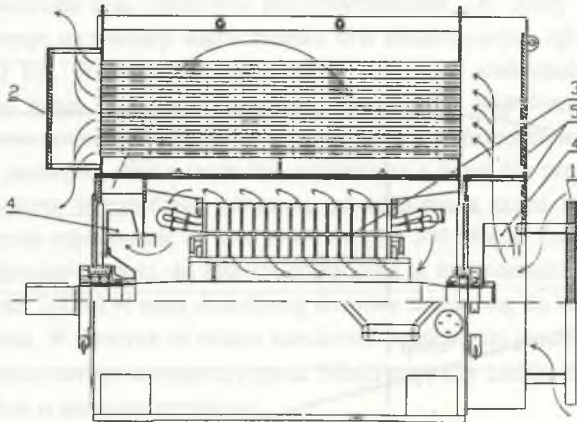
Rys. 3. Sprawność i współczynnik mocy w zależności od grubości szczeliny δ silnika klatkowego (głębokożłobkowego) 6300 kW, 6 kV, $2p=4$

Fig. 3. Efficiency and power factor in function of air-gap δ of deep-slot squirrel-cage induction motor 6300 kW, 6 kV, $2p=4$



Rys. 4. Sprawność i współczynnik mocy w zależności od grubości szczeliny δ silnika dwuklatkowego 450 kW, 6 kV, $2p=6$

Fig. 4. Efficiency and power factor in function of air-gap δ of double-cage induction motor 450 kW, 6 kV, $2p=6$



Rys. 5. Silnik z zamkniętym chłodzeniem rurowym

Rozwiązania konstrukcyjne obniżające hałas:

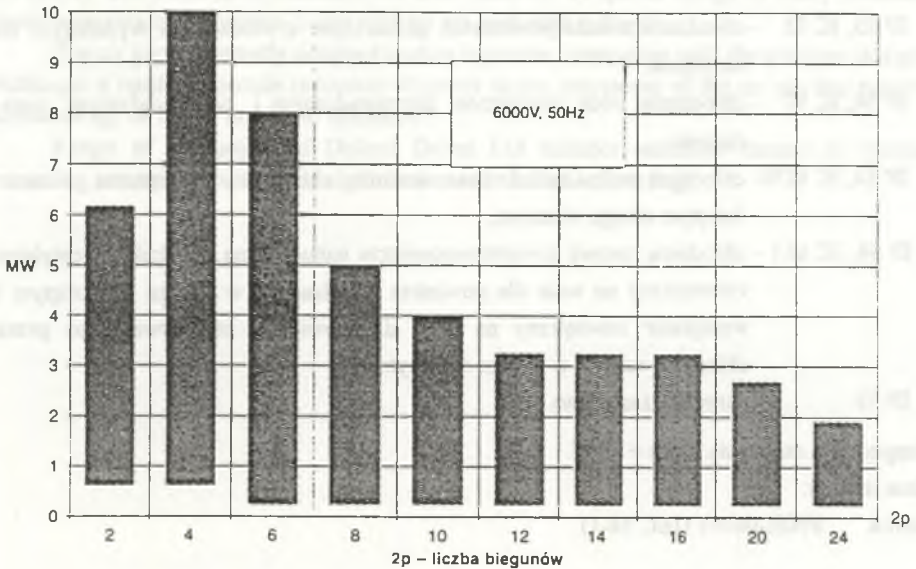
1 - tłumik na wlocie powietrza, 2 - tłumik na wylocie powietrza, 3 - powiększona szczelina powietrzna, 4 - optymalne wentylatory pierwotnego i wtórnego obiegu wentylacyjnego, 5 - wykładzina dźwiękochłonna.

Fig. 5. Totally enclosed air-to-air cooled motor

Design fetures reducing the noise level:

1 - suppressor at the air inlet, 2 - suppressor at the air outlet, 3 - increased air-gap, 4 - optimal fans of the primary and secondary ventilation cycle, 5 - soundproof lining.

3. STANDARDOWY ZAKRES PRODUKCJI



4. PARAMETRY TECHNICZNE

Napięcie standardowe: 6000 V, 50 Hz

Warianty napięciowe: 380, 500, 660, 3000, 10000 V

Moment rozruchowy: $(0.9 \div 1.2) M_N$

Wykonania specjalne:

- moment rozruchowy $(1.4 \div 2.0) M_N$,
- wymiary montażowe dostosowane do istniejących fundamentów,
- silniki przeciwwybuchowe z osłoną gazową z nadciśnieniem ExpII wg PN/E-08112.

Podstawowe formy wykonania wg PN/E-06707 (IEC 34-7):

- IM 1001- silnik na łapach, z dwiema tarczami łożyskowymi i jednym walcowym końcem wału,
- IM 7311- silnik z łapami uniesionymi, z dwoma stojakami łożyskowymi, z płytą fundamentową i jednym walcowym końcem wału,
- IM 4011- silnik z wałem pionowym, z kołnierzem na kadłubie, z dwiema tarczami łożyskowymi i jednym walcowym końcem wału skierowanym w dół.

Podstawowe stopnie ochrony wg PN/E-06705 (IEC 34-5) i sposoby chłodzenia wg PN-IEC 34-6:

- IP 23, IC 01 - chłodzenie własne powietrzem pobieranym z otoczenia i wydalanym do otoczenia,
- IP 54, IC 37 - chłodzenie obce powietrzem doprowadzanym i odprowadzanym rurociągiem,
- IP 54, IC 81W- chłodnica wodna nabudowana na silniku, chłodzenie powietrzem w zamkniętym obiegu własnym,
- IP 54, IC 611 - chłodnica rurowa powietrze-powietrze nabudowana na silniku, wentylator wewnętrzny na wale dla powietrza chłodzącego w obiegu zamkniętym i wentylator zewnętrzny na wale dla powietrza przepływającego przez chłodnicę rurową w obiegu otwartym,
- IP 55 - skrzynka zaciskowa.

Temperatura otoczenia: do + 40°C

Klasa izolacji: F

Norma: PN/E-06701 (IEC 34-1).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Glinka, Politechnika Śląska

Wpłynęło do Redakcji 23 marca 1996 r.

Abstract

In the paper high voltage induction motors manufactured by Dolmel Drives Ltd, Wrocław are presented. Production of induction motors in state enterprise DZWME Dolmel, transformed in 1990 into Dolmel Drives Ltd, started in 1950. During next years several series of induction motors were developed, covering wide power and speed range and designed for various applications. Current production range of Dolmel Drives Ltd includes induction motors of outputs from 250 kW to 10000 kW and number of poles from 2 to 24.

Cage motors, which are the main part of Dolmel Drives Ltd induction motors production, have good starting parameters: starting torque is $(0.9 \div 1.2)M_N$, in special designs up to $2 M_N$. Exemplary starting characteristics of deep-slot-cage and double-cage motors are shown in Figs. 1 and 2.

The stator windings of the motors have vacuum pressure impregnated (VPI) insulation, which has excellent electrical and mechanical parameters. Stator terminal boxes are resistant to short-circuit effects at a short-circuit power up to 500 MV·A. Standard accessories installed in the motors include Pt100 resistance temperature detectors in stator winding and bearings and anticondensation heater.

The motors have reduced noise: sound pressure level at 1 m distance is less than 85 dB(A). The noise level reduction has been achieved by special design of many constructional elements of the motors. Some of them are presented in Fig. 5.

The air gap in currently designed motors is greater, comparing with the previous designs. Although it results in certain reduction of power factor, increasing of the air gap has positive influence eg. on motor noise and efficiency.

Range of production of Dolmel Drives Ltd includes induction motors of various mounting arrangements, degrees of protection and methods of cooling.