

WARSZAWSKA SZKOŁA NAUKOWA MASZYN ELEKTRYCZNYCH NIEKONWENCJONALNYCH

Marek ULATOWSKI¹, Wojciech URBAŃSKI²

Politechnika Warszawska

1. tel. 22-234-79-72 e-mail: marek.ulatowski@pw.edu.pl
2. tel. 22-234-74-36 e-mail: wojciech.urbanski@pw.edu.pl

Streszczenie: Jednym z zasadniczych nurtów aktywności naukowej i technicznej w Zakładzie Maszyn Elektrycznych PW w okresie blisko 90 lat jest projektowanie i budowanie prototypów maszyn elektrycznych niekonwencjonalnych. Te nowatorskie prace zapoczątkował Henryk Kozłowski. Od roku 1935 zajmował się badaniami nowego rodzaju konstrukcji silników asynchronicznych ze śrubowym układem blach stojana, której celem było lepsze wykorzystanie materiałów: żelaza i miedzi. Rozwiązanie to uzyskało liczne międzynarodowe patenty. Od lat 70 XX wieku twórcą nowego podejścia do konstruowania przetworników elektromechanicznych, inspiratorem dla młodej kadry ZME i mentorem warszawskiego politechnicznego ośrodka zajmującego się realizowaniem zleceń o szczególnie dużej innowacyjności jest prof. Grzegorz Kamiński. W kierowanym przez niego Zakładzie Maszyn Elektrycznych opracowano algorytmy projektowe, układy pomiarowe i buduje się prototypy maszyn o unikatowych właściwościach. Są one także niejednokrotnie patentowane. W okresie kilkudziesięciu ostatnich lat powstawały m.in. takie konstrukcje, jak: silniki sferyczne, liniowo-obrotowe, pompy ciekłych metali, separatory elementów nieferromagnetycznych, mieszadła, maszyny dyskowe, silniki kinematycznych magazynów energii, silniki napędów głównych pojazdów elektrycznych i wagonów szynowych *Personal Rapid Transit*.

Słowa kluczowe: Zakład Maszyn Elektrycznych PW, silniki niekonwencjonalne, silniki liniowe, silniki sferyczne.

1. POCZĄTKI KATEDRY

W kwietniu 1919 roku powstała Katedra Maszyn Elektrycznych. Jest to jeden z najstarszych zakładów Politechniki Warszawskiej. Aktywność naukowa oraz dydaktyczna w obrębie tej ważnej dyscypliny jest kontynuowana więc już od ponad 100 lat. W tym okresie kilkudziesięciu doświadczonych naukowców, nauczycieli akademickich i obsługujących ich pracowników technicznych, także administracyjno-księgowych stworzyło sprawny zespół, który mógł aktywnie działać w wielu istotnych obszarach elektrotechniki. Konstruowane były maszyny klasyczne, prowadzono badania zjawisk fizycznych: elektromagnetycznych, cieplnych i mechanicznych towarzyszących przemianom energii i tworzone algorytmy obliczeniowe modernizowanych ustrojów, w tym turbogeneratorów; Zakład Maszyn Elektrycznych pełnił także funkcję swoistego „pogotowia technicznego” wykonując w trybie pilnym projekty oraz ekspertyzy, budował na zlecenia płynące z przemysłu, sił zbrojnych i rozmaitych przedsiębiorstw produkcyjnych urządzenia,

których podstawowym elementem wykonawczym były silniki i prądnice.

Oczywiście niezwykle istotną sferą aktywności pracowników była także dydaktyka, skupiona wokół okazałego Laboratorium Maszyn Elektrycznych, stale rozwijanego i wzbogacanego o kolejne stanowiska pomiarowe. Nie sposób pominąć w tym miejscu roli służb technicznych ZME. W warsztatach politechnicznych zatrudnieni byli najwyższej próby fachowcy - „złote rączki”, potrafiący wykonać niezwykle złożone elementy budowanych maszyn elektrycznych i ustrojów pomiarowych.

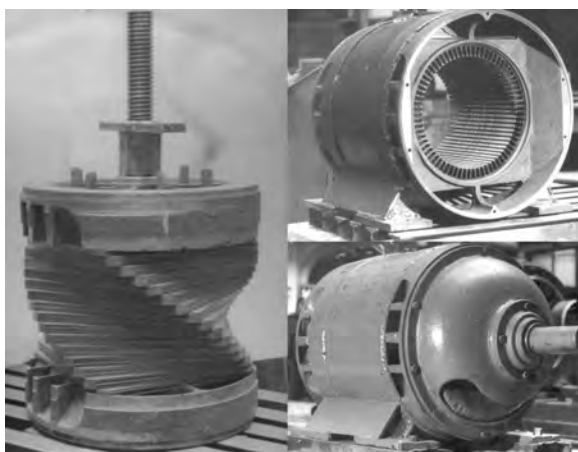
Jednym z istotnych pól odróżniających ośrodek warszawski od innych podobnych zakładów funkcjonujących niemal przy każdej z polskich politechnik było skupienie uwagi konstruktorów na maszynach realizujących zadania napędowe w sposób niekonwencjonalny.

Za pierwszą z tej dziedziny pracę uznać należy opracowanie w roku 1935 innowacyjnego chłodzenia silników indukcyjnych dużej mocy przez prof. Henryka Kozłowskiego; niewątpliwie jednak powstanie i rozwój warszawskiej szkoły maszyn niekonwencjonalnych związane jest z działalnością profesora Grzegorza Kamińskiego, od kilkudziesięciu lat animatora aktywności naukowej w tym obszarze i promotora licznej rzeszy dyplomantów oraz doktorantów. Znakomita większość opisywanych w artykule konstrukcji została zaprojektowana przez prof. Grzegorza Kamińskiego lub była tworzona pod jego kierunkiem.



Rys. 1. Prof. dr hab. inż. Grzegorz Kamiński, kierownik Zakładu Maszyn Elektrycznych PW

Powracając do dokonań „maszynowców” okresu dwudziestolecia międzywojennego warto choć krótko scharakteryzować pierwszą pracę inicjującą niekonwencjonalne rozwiązania ośrodka warszawskiego. Polegała ona na przygotowaniu nie okrągłych, ale kwadratowych blach stojanów motorów asynchronicznych, a następnie spakietowaniu ich w sekcjach przesuniętych o jeden lub kilka żłobków. W sposób zasadniczy intensyfikowało to odbiór ciepła z wnętrza maszyny i pozwalało podnieść jej obciążenie o kilkanaście procent. Rozwiązanie chronione było międzynarodowymi patentami i rozwijane przez doktoranta profesora - Janusza Koska, już po II wojnie światowej.



Rys. 2. Silnik indukcyjny dużej mocy ze zintensyfikowanym systemem chłodzenia wg patentu prof. H. Kozłowskiego

2. DZIAŁALNOŚĆ PO 1945 ROKU

Pierwsze lata powojenne nie zapowiadały specjalności, fenomenu nawet, jakim było przez dziesięciolecia trwające zainteresowanie pracowników ZME unikatowymi konstrukcjami przetworników elektromechanicznych. Zniszczony przemysł, energetyka, transport potrzebował w jak najkrótszym czasie odbudowy swej infrastruktury, możliwie szybkiego rozwinięcia mocy produkcyjnych, modernizacji linii technologicznych oraz zaspokajania zapotrzebowania społeczeństwa na sprzęt gospodarstwa domowego - AGD i elektronarzędzia. Na niekonwencjonalne rozwiązania zagadnień technicznych trzeba było poczekać do połowy lat siedemdziesiątych XX wieku.

Grzegorz Kamiński - magister wówczas, rozpoczął pracę zawodową w Zakładzie Maszyn Elektrycznych w 1973 roku. Już w roku 1975 powstał pierwszy silnik otwierający trwający do dziś trend projektowania i budowania na Politechnice Warszawskiej silników liniowych. To one inicjowały rozwój metod konstruowania maszyn niekonwencjonalnych.

Cechą szczególną pierwszej maszyny liniowej (rys. 3) był bieznik wykonany jako tkana taśma z cienkich przewodów miedzianych, dzięki czemu charakteryzowała się elastycznością i trwałością. Trudno było znaleźć wykonawcę tak niezwykłego zamkniętego pasa i dopiero warsztat tkacki w jednej ze wsi na Lubelszczyźnie podjął się tego zadania.

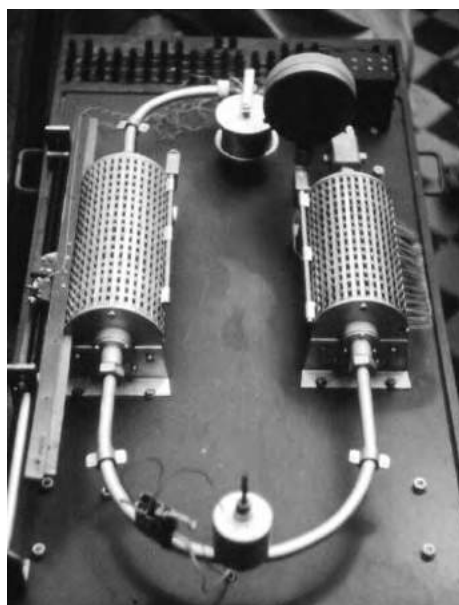
Silników liniowych powstawały bardzo liczne odmiany, zarówno prądu stałego, jak i przemiennego. Często wykonywano je dla konkretnego klienta, np. fabryka wyrobów wiórowych zamówiła takie bardzo nowatorskie rozwiązanie napędowe oparte o silnik liniowy z bieznikiem w postaci pionowego, miedzianego płaskownika

o wielometrowej długości, które planowano wykorzystać do transportu ciężkich, prasowanych płyt.



Rys. 3. Pierwszy silnik liniowy zbudowany w ZME w 1975 roku

Silniki liniowe mają potencjalnie szerokie pole zastosowań choćby ze względu na możliwość eliminowania przekładni mechanicznej. Takie maszyny charakteryzujące się znacznymi siłami projektowane były więc do napędu bram, a nawet miały tak „egzotyczne” zastosowania, jak zamki klatek dla słońi w warszawskim ZOO czy rygle wind dla osób niepełnosprawnych. Ich wykonanie wymagało rozwiązania szeregu skomplikowanych zagadnień technologicznych. Silniki liniowe i liniowo-obrotowe: lite, warstwowe, dwuklatkowe, wykonywane często były nowatorskimi metodami np. natryskowo - „malowaniem miedzią”.

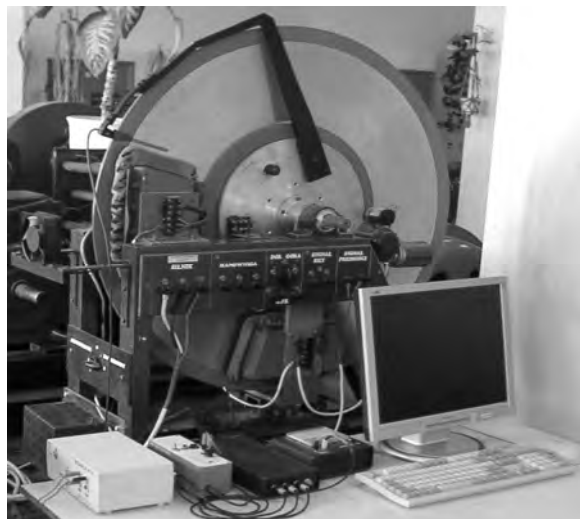


Rys. 4. Pompa ciekłego metalu

Na przełomie lat 70/80 została wykonana w ZME PW maszyna szczególna - pompa ciekłego metalu. Takie właśnie pompy wykorzystujące do chłodzenia ciekły sód pracują w reaktorach atomowych, zwłaszcza okrętów podwodnych. W ZME zastosowano rtęć i testowano pompę zarówno w reżymie pracy silnikowej, jak i generatorowej. Prace nad opracowaniem złożonych zagadnień hydrodynamicznych tego przetwornika umożliwiły wypromowanie aż czterech dyplomantów. Ostatnim z nich był, obecnie członek Rady

Naukowej warszawskiego Instytutu Elektrotechniki, doktor habilitowany Konrad Dąbała.

Interesującą odmianą klasycznego silnika liniowego jest także maszyna łukowa (rys. 5). Jest to maszyna liniowa prądu przemiennego z dwoma niezależnie zasilanymi wzbudnikami umieszczonymi po obu stronach tarczy. Dzięki bogatemu wyposażeniu pomiarowemu oraz oprogramowaniu stała się elementem ciekawego stanowiska dydaktycznego w Laboratorium Maszyn Elektrycznych.



Rys. 5. Silnik łukowy

Bardzo wiele rozwiązań nowatorskich przetworników opartych było o ideę maszyn reluktancyjnych. Były to silniki przełączalne o powiększonym momencie bezwładności - a więc wirniku zewnętrznym, silniki prądu stałego o toczącym się wirniku, tzw. dyskowe oraz mieszadła elektromagnetyczne (rys. 6).



Rys. 6. Mieszadło elektromagnetyczne

Jedną z najbardziej spektakularnych konstrukcji zaprojektowanych i następnie zbudowanych w Zakładzie Maszyn Elektrycznych była maszyna o wirniku kulowym (sferycznym). Powstała seria tych ustrojów różniących się nie tylko średnicami, ale także umiejscowieniem wzbudników, które były konstruowane w pasie „równikowym” sfery oraz jako „podbiegunowe”.

Dla maszyn sferycznych przewidywano rozmaite rozwiązania łożyskowania oraz przeniesienia napędu (pierścienie Cardana, poduszka wodna, powietrzna). Także w tym przypadku - pole ich zastosowań jest ogromne.

Wszyscy goście odwiedzający Zakład są nimi szczególnie zainteresowani.

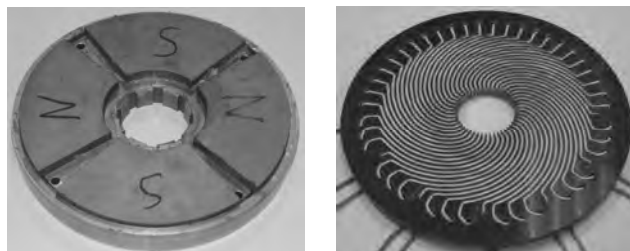


Rys. 7. Silnik sferyczny prof. Grzegorza Kamińskiego o największej średnicy, oglądany przez gości ZME - licealistów z Nowej Dęby

Odpowiadając na wszechobecne trendy proekologiczne zaprojektowano i zbudowano separator elektrodynamiczny, który wykorzystując zjawisko indukowania prądów wirowych umożliwił rozdzielenie cząstek przewodzących nieferromagnetycznych (Cu, Sn, żel, brąz, Al, dural) od otaczających je zanieczyszczeń.

Ostatnie lata wspomniane będą jako pełne wyzwań okresy projektowania trzech złożonych bardzo konstrukcji: silnika kinematycznego magazynu energii, silnika samochodu elektrycznego oraz napędu wagonu pojazdu szynowego funkcjonującego w systemie *Personal Rapid Transit*.

Pierwsze zadanie polegało na zaprojektowaniu oraz zbudowaniu maszyny elektrycznej będącej „sercem” magazynu energii, tzw. bezwładnika – *flywheela*. Był to silnik rozpędzający wirującą masę o dużym momencie bezwładności do prędkości kilkudziesięciu tysięcy obrotów na minutę, a następnie, w przypadku wystąpienia przerwy w zasilaniu, błyskawicznie podejmujący pracę jako prądnica trójfazowa zamieniająca energię kinetyczną flywheela na elektryczną i przekazująca ją, poprzez przekształtnik energoelektryczny, bezpośrednio do odbiorników.



Rys. 8. Wirnik i uzwojenie stojana silnika flywheela

Zadanie to było bardzo trudne technicznie, wymagało opanowania problemów związanych z poważnymi siłami bezwładności, z chłodzeniem ustroju pracującym w próżni oraz ze zmniejszeniem strat, tak by ograniczyć dyssypację energii mechanicznej po naładowaniu magazynu, czyli

rozpędzeniu masy wirującej. Analiza tych zagadnień przyniosła rozwiązanie w postaci maszyny bezdrzeniowej z wirnikiem zaopatrzonym w dwie pary nowoczesnych magnesów sporządzonych z pierwiastków tzw. ziem rzadkich (rys. 8) oraz uzwojenia stojana wykonanego z przeplatanych cienkich przewodów typu *Litz*.

Bardzo interesującymi, uwieńczonymi sukcesem (patentami) działaniami naukowo-inżynierskimi było zaprojektowanie i wykonanie oryginalnych silników do napędu samochodów elektrycznych montowanych wewnątrz kół pojazdów oraz silników niewielkich autonomicznych wagonów kolejki, poruszających się po estakadach i łączących w miastach centra handlowe, dworce, lotniska.



Rys. 9. Bieguny stojana, zewnętrzny wirnik oraz pojazd napędzany silnikami elektrycznymi ZME PW; wagon PRT i elementy silnika liniowego w nim montowane

Obserwowany obecnie postęp techniczny wszelkich napędów nie omija również maszyn elektrycznych stanowiących ich najważniejszy moduł. Te innowacyjne, nowoczesne konstrukcje zaliczyć można do kategorii niekonwencjonalnych. Od wielu lat rozwijane w ZME PW inspirowały naukowo pracowników, stanowiły obszar prac dyplomowych i doktorskich. Wiele z nich weszło również do dydaktyki uzupełniając wyposażenie politechnicznych stanowisk laboratoryjnych.

WARSAW SCIENCE SCHOOL OF UNCONVENTIONAL ELECTRICAL MACHINES

One of the main streams of scientific and technical activity in the Division of Electrical Machines (DEM) at the Warsaw University of Technology over the past nearly 90 years has been the design and construction of prototypes of unconventional electrical machines. These innovative works were initiated by Henryk Kozłowski. From 1935 onwards, he was involved in research on a new type of design of asynchronous motors with a twisted stator core arrangement, the aim of which was to make better use of the iron and copper materials. This solution was granted numerous international patents. Since the 1970s, Prof. Grzegorz Kamiński has been the creator of a new approach to the construction of electromechanical transducers, an inspiration for the young staff of DEM and a mentor for the Warsaw polytechnic centre involved in carrying out particularly innovative work orders. In the Division of Electrical Machines headed by him, design algorithms and measuring systems have been developed and prototypes of machines with special properties have been being built. They are also frequently patented. In the last few decades, the Warsaw University of Technology has developed, among others, such structures as: spherical motors, linear-rotary motors, liquid metal pumps, electrodynamic separators, stirrers, disk machines, kinematic energy storage motors, main propulsion motors and Personal Rapid Transit rail cars.

Keywords: Division of Electrical Machines, unconventional motors, linear motors, spherical motors.



Rys. 10. Pracownicy ZME PW - realizatorzy rozwiązań niekonwencjonalnych przetworników elektromechanicznych: (od lewej) mgr inż. Rafał Jakubowski, st. mistrz Marek Ulatowski, dr inż. Adam Biernat, doc. dr inż. Wojciech Urbański, prof. dr hab. inż. Grzegorz Kamiński, dr hab. inż. Włodzimierz Przyborowski, dr inż. Jan Szczypior

3. BIBLIOGRAFIA

1. Biernat A., Bucki B., Kamiński G., Pochanke A., Przyborowski W., Staszewski P., Smak A., Szczypior J., Urbański W.: *Bezszytkowa maszyna wirująca*. Patent UPRP, nr 205455. Warszawa, 2010.
2. Kamiński G.: *Silniki elektryczne o ruchu złożonym*. OWPW, 1994.
3. Kamiński G.: *Silniki elektryczne z toczącymi się wirnikami*. OWPW, 2003.
4. Kamiński G., Staszewski P., Urbański W.: *Switched Reluctance Motor als Wälzmaschine - 25 Jahre Hochschulkooperation Dresden - Warszawa*. Berichte und Informationen - Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, 2/2007, s. 74-79.
5. Urbański W.: *Analiza rozwiązań konstrukcyjnych współczesnych silników realizujących pracę w cyklu dorywczym*. 39th International Symposium on Electrical Machines SME'2003. Gdańsk-Jurata, 2003, s. 89 + CD.
6. Żagan W. (red.): *Historia zakładów oraz współczesna fotografia Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej w roku jubileuszu 90-lecia 1921-2011*. Rozdz.: *Zakład Maszyn Elektrycznych*. BEL Studio, Warszawa, 2011, s. 184-203.