

ZYGMUNT GOGOLEWSKI
Katedra Maszyn Elektrycznych

TADEUSZ WRÓBEL
Wojskowa Akademia Techniczna

BADANIA MODELOWE PRĄDNIC INDUKTOROWYCH
NA PODWYŻSZONĄ CZĘSTOTLIWOŚĆ

Streszczenie. W pracy opisano uniwersalny model fizyczny prądnicy induktorowej. Uzasadniono znaczenie badań modelowych dla postępu prac naukowo-badawczych w dziedzinie prądnic induktorowych. Przeanalizowano bibliografię przedmiotu.

Prądnica induktorowa wynaleziona przez P.N. Jabłoczkowa w 1877 roku (francuski patent Nr 119702) początkowo szeroko stosowana, później na długo zarzucona, obecnie znów znalazła się w centrum uwagi. Jest ona szczególnie korzystna jako maszyna podwyższonej częstotliwości, gdyż częstotliwość sem indukowanej w jej uzwojeniu twornika określona jest jak wiadomo zależnością:

$$f = \frac{Z n}{60} [\text{Hz}]$$

gdzie:

- Z - liczba zębów wirnika,
- n - prędkość obrotowa w obr/min.

W prądnicy induktorowej, której liczba zębów wirnika równa jest liczbie biegunów magnetycznych odpowiedniej klasycznej prądnicy synchronicznej uzyskać można dwukrotnie większą częstotliwość (przy jednakowej prędkości obrotowej).

Maszyny podwyższonej częstotliwości mają szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach przemysłu, jak również w technice wojskowej. Bardziej szczegółowo zagadnienie to omówiono w pracy T. Wróbla [8].

Prądnica induktorowa, której działanie oparte jest na zasadzie zmiennej reluktancji znana jest w dwu rozwiązaniach: jako prądnica homopolarna (jednakobiegunowa) i heteropolarna (różnobiegunowa). W prądniccy homopolarnej strumień magnetyczny zamyka się w płaszczyznach przechodzących przez wał maszyny. W czasie obrotu wirnika znak strumienia w jego zębach nie zmienia się. W prądniccy heteropolarnej strumień magnetyczny zamyka się w płaszczyznach prostopadłych do wału maszyny. Strumień w zębach wirnika zmienia przy tym swój znak w czasie wirowania.

Strefa czynna prądnicy induktorowej wykonywana jest przeważnie w dwu wersjach: pierwsza znana jest pod nazwą prądnicy Lorenza-Schmidta, druga występuje jako typ Guya - wprowadzona przez francuza Georges Guya w 1901 roku, brytyjski patent 18027.

Prądnicę Lorenza-Schmidta określić można ogólnie jako maszynę o praktycznie stałym co do wartości bezwzględnej strumieniu w zębie wirnika. Charakterystyczna jest dla niej podziałka zębowa wirnika większa od podziałki zębowej stojana (zwykle dwukrotnie). W prądniccy Guya strumień magnetyczny w zębach wirnika zmienia się co do wartości bezwzględnej (pulsuje). Podziałka zębowa wirnika równa jest podziałce zębowej stojana.

Bardzo istotne znaczenie w procesie doskonalenia prądnic induktorowych i przystosowywania ich do wymagań współczesnej techniki mają badania nad strukturą strefy czynnej: zagadnienie doboru optymalnych wymiarów geometrycznych zębów, ich najkorzystniejszy kształt, badanie rozkładu indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej, otrzymywanie najkorzystniejszego przebiegu krzywej sem itd. Zagadnienia te mogą być rozpatrywane na drodze doświadczalnej lub teoretycznej.

Spośród prac doświadczalnych na uwagę zasługuje praca R.W. Wiesemanna [7]. Metoda Wiesemanna polega na żmudnym odtwarzaniu obrazów pól magnetycznych dla różnych wymiarów zęba prostokątnego za pomocą metody graficznej Lehmana-Richtera podanej w fundamentalnej pracy Lehmana [3].

Praca Wiesemanna ma jednak ograniczony zasięg, gdyż brany jest pod uwagę wyłącznie ząb prostokątny, 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 [1] i A.A. Tierzjana [6] badano współczynniki charakterystyczne pola magnetycznego w szczelinie powietrznej prądnicy induktorowej przydatne przy obliczaniu maszyny posługując się specjalną makietą statyczną. Wpływ żłobków stojana pominięto.

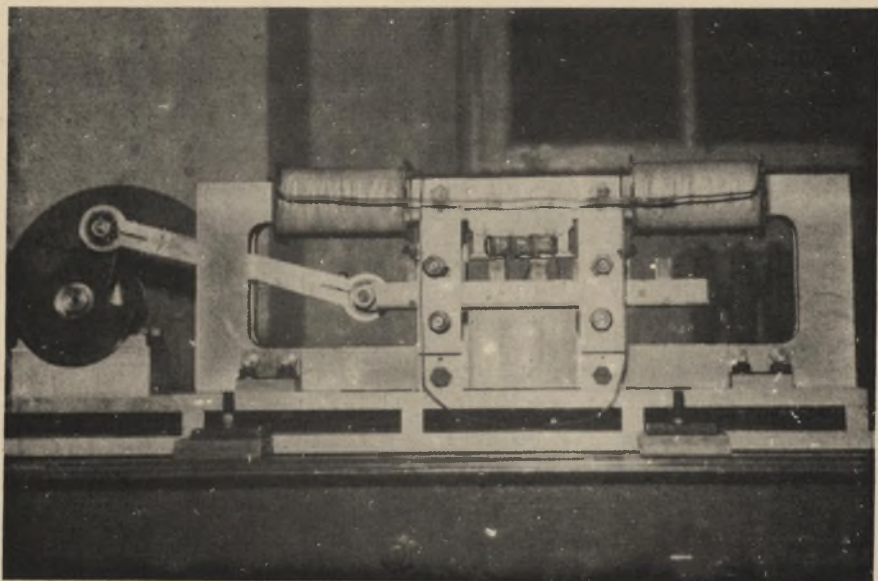
Metodą analityczną posłużyło się kilku autorów, przeważnie dla określenia rozkładu pola magnetycznego w szczelinie powietrznej prądnicy induktorowej, wśród nich: B.S. Zeczichin [9] i [10]. Praca teoretyczna B. Oprendecka [4] ma nieco szerszy charakter.

Ogólną cechą charakterystyczną tych opracowań jest przyjmowanie daleko idących założeń upraszczających potrzebnych do otrzymania wymaganego rozwiązania analitycznego. Powierzchnia wytoczenia stojana przeważnie przyjmowana jest jako gładka (nie uzębiona) [9], co jak wykazał B. Oprendeck w pracy [5] nie jest ściśle. Badania analityczne dotyczą biegu jałowego. Badany jest wyłącznie ząb o kształcie prostokątnym.

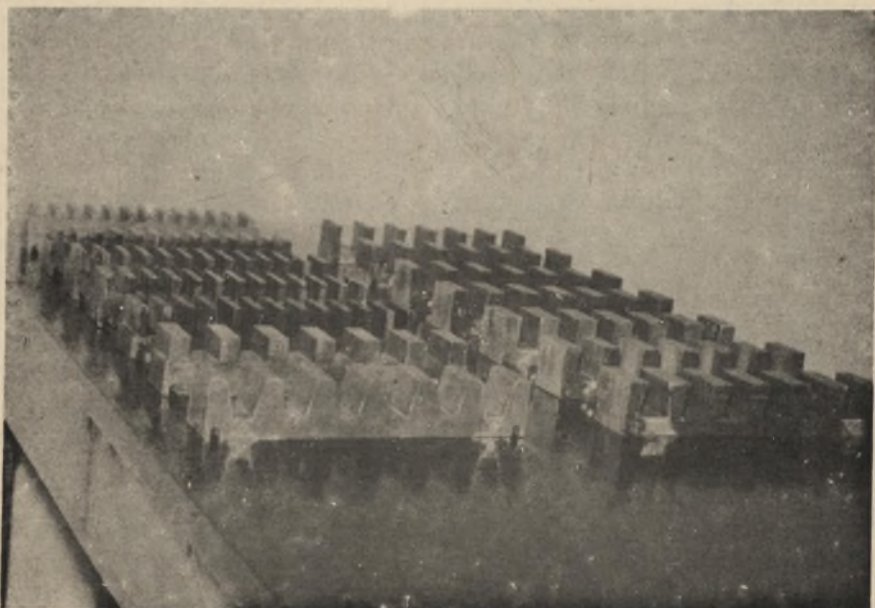
W latach 1961-1962 opracowany został i wykonany w Wojskowej Akademii Technicznej uniwersalny model fizyczny prądnicy induktorowej, którego idea podana została przez Z. Gogolewskiego w 1952 roku w pracy [2].

Uniwersalny model fizyczny prądnicy induktorowej pokazany na rys.1 składa się z jarzma stalowego, do którego przymocowany jest wymienny pakiet, wykonany z wzajemnie odizolowanych blach. Jest on odpowiednikiem żelaza czynnego stojana prądnicy induktorowej. W żłobkach pakietu umieszczone jest uzwojenie twornika. Uzwojenie wzbudzenia w postaci dwu cewek osadzonych na jarzmie - zasilane prądem stałym z baterii akumulatorów - służy do wytwarzania silnego pola magnetycznego.

W polu porusza się ruchem posuwisto-zwrotnym zębatka (również wykonana z blach), zmieniając swoje położenie względem żelaza czynnego stojana. Ruch posuwisto-zwrotny zębátky uzyskano za pomocą mechanizmu korbowego, napędzanego silnikiem obcowzbudnym, którego prędkość obrotowa regulowana jest przez zmianę przyłożonego napięcia. Zębatka jest odpowiednikiem wirnika prądnicy induktorowej.



Rys.1. Uniwersalny model fizyczny prądnicy indukcyjnej



Rys.2. Partia elementów wymiennych modelu fizycznego prądnicy indukcyjnej, która poddana była badaniom

Skutkiem zmian reluktancji spowodowanych przez ruch zębataki, w cewce uzwojenia twornika indukuje się zmienna sem podobnie jak to się dzieje w prądnicach induktorowej.

Żelazo czynne (zarówno nieruchome jak i ruchome) jest wymienne, co pozwala na badanie strefy czynnej prądnic induktorowych przy minimalnych kosztach. Bez trudu uzyskiwać można dowolne wymiary geometryczne zębów stojana i wirnika zachowując podobieństwo w stosunku do istniejącej maszyny induktorowej. Pozwala to na badanie zarówno strefy czynnej typu Lorenza-Schmidta jak i Guya. Na rys.2 przedstawiono partię zębatek, które poddane były badaniom.

Na modelu możliwa jest regulacja prędkości obrotowej jak również przepływu wzbudzenia w dużych granicach. Bez trudu zmieniać można również szczelinę powietrzną.

Model fizyczny pozwala na przeprowadzenie wszechstronnych badań prądnic induktorowych bez potrzeby wykonywania licznych modeli i prototypów. Godnym podkreślenia jest to, że na modelu fizycznym badać można stan obciążenia prądnic induktorowej.

Wyniki badań można rejestrować dwójako:

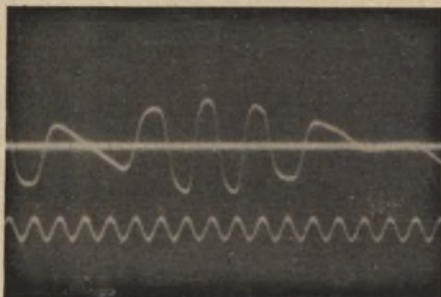
1) Wykonywać zdjęcia oscylograficzne przebiegów sem, napięć i prądów, wyciągać wnioski na podstawie analizy oscylogramów. Na oscylogramach można rozpatrywać jeden okres zmian danej wielkości (dla stanu ustalonego).

2) Można odczytywać wskazania przyrządów pomiarowych. Na podstawie tych odczytów, dokonanych w stanie quasi-ustalonym wyciąga się wnioski co do pracy w stanie ustalonym co daje dobre wyniki.

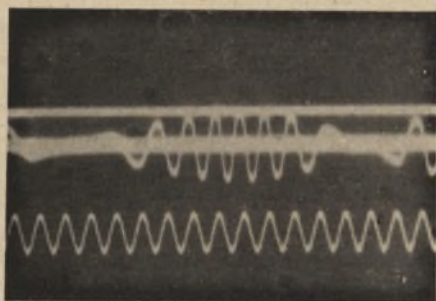
Oscylogramy przebiegów sem, napięć i prądów zdjęte na modelu fizycznym przedstawione są na rys.3 i 4.

Na rys.3 pokazano przebieg napięcia na zaciskach uzwojenia twornika modelu przy biegu jałowym dla zębataki o podziałce zębowej $\tau_w = 40$ mm. U dołu oscylogramu 3 (oraz pozostałych oscylogramów) widoczna jest podstawa czasu o częstotliwości 50 Hz.

Dokładniejsze wyniki w stanie quasi ustalonym da się uzyskać na zębatace o podziałce zębowej $\tau_w = 20$ mm, w tym przypadku w każdym suwie pracy modelu uczestniczy większa liczba zębów. Oscylogram przebiegu napięcia dla



Rys.3. Oscylogram przebiegu napięcia na zaciskach uzwojenia twornika modelu przy biegu jałowym dla zębátky o $\tau_w = 40$ mm



Rys.4. Oscylogram przebiegu napięcia modelu przy b.jałowym dla $\tau_w = 20$ mm

tego przypadku przedstawia rys.4. Dobierając odpowiednio prędkość ruchu posuwisto-zwrotnego zębataki da się uzyskać częstotliwość 50 Hz co znacznie ułatwia pomiary.

Na modelu fizycznym dadzą się zdejmować również oscylograficzne przebiegi prądu, napięcia i sem dla różnych rodzajów obciążenia.

W ramach badań nad dobozem optimum zęba wirnika prądnicy induktorowej badano partię zębatek o różnych kształtach prostokątnych i proporcjach przy różnych wartościach szczeliny powietrznej δ .

Opisana metoda okazała się celowa, gdyż pozwoliła na wybór optymalnego zęba wirnika zarówno ze względu na potrzebę uzyskania odpowiednio dużej wartości skutecznej sem, jak też i z uwagi na to by kształt krzywej napięcia był jak najbardziej zbliżony do sinusoidy.

Rękopis złożono w redakcji w listopadzie 1963 r.

LITERATURA

- [1] N.Ja. Alper: Rasczet magnitnych polej w zazorje induktornoj masziny s postojannym potokom. Wiestnik Elektropromyszlenosti 3/1962.
- [2] Z. Gogolewski: Analiza projektu wstępnego dla dokumentacji generatora synchronicznego jednofazowego 250 kVA 750/1500 V 1960 okr/sek. Gliwice 1952. Praca nie publikowana.
- [3] Th. Lehmann: Graphische Methode zur Bestimmung des Kraftlinienverlaufs. ETZ 30/1909.
- [4] B. Oprendeck: Asupra determinarii formei optime a dintilor generatoarelor de medie frecventa de tip omopolar. Bull. Stint. si Tehn. Inst. Politehn. 2/1957.

- [5] B. Opredeck: Influenta deschiderii crestaturii statorice asupra tensiunii induse la mersul in gol la generatoarele de medie frecventa de tip inductor. Praca nie publikowana.
- [6] A.A. Tierzjan: Magnitnoje pole w wozdusznom zazorie induktornych maszin s pulsirujuszczim potokom. Wiestnik Elektropromyszlennosti 5/1962.
- [7] R.W. Wiesemann: Graphical determination of magnetic fields. Transactions AIEE Febr./1927.
- [8] T. Wróbel: O prądnicach średniej i wielkiej częstotliwości. Bialetyn WAT 10/1961.
- [9] B.S. Zeczichin: Magnitnoje pole w zazorie induktor-noj masziny s pulsirujuszczim potokom zubca rotora. Issledowanije specjalnych awjacionnych el. masz. Oberongiz Moskwa 1961.
- [10] B.S. Zeczichin: Magnitnoje pole w zazorje induktor-noj masziny w režymie chołostogo choda. Izw. Wys-szych Ucz. Zaw. Elektromechanika 1/1961.

МОДЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ИНДУКТОРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

С о д е р ж а н и е

В статье дается описание универсальной физической модели индукторного генератора. Приводится обоснование значения испытаний на моделях для усовершенствования научно-исследовательских работ в области индукторных машин. Дан анализ библиографии вопроса.

RECHERCHES DE MODÈLES DES ALTERNATEURS À FER TOURNANT
A FRÉQUENCE AUGMENTÉE

R é s u m é

Dans ce rapport, on a décrit le modèle physique de l'alternateur à fer tournant. On a justifié l'importance des recherches de modèles pour le progrès des travaux des recherches scientifiques dans le domaine des alternateurs à fer tournant. On a analysé la bibliographie du sujet.