

STRUMIEŃ OSIOWY W MODELU 3D MES MASZINY INDUKCYJNEJ***

STRESZCZENIE

Artykuł poświęcony jest wyjaśnieniu zagadnienia powstawania strumienia magnetycznego osiowego w maszynie elektrycznej na przykładzie maszyny indukcyjnej. Przedstawiono podstawy teoretyczne oraz warunki konieczne powstawania strumienia osiowego. W celu ich potwierdzenia obliczeniami, stworzono model 3D maszyny. Wykorzystuje on elementy skończone węzłowe do aproksymacji potencjału skalarowego oraz krawędziowe do aproksymacji potencjału magnetycznego wektorowego. Uwzględnia skos prętów wirnika oraz prądy skrośne w blachach wirnika. Strumień osiowy jest obliczany przez całkowanie potencjału wektorowego wokół wału maszyny. Trójfazowe uzwojenia stojana zasilane są czteroprzewodowo. Przeprowadzono obliczenia stanów po załączeniu maszyny przy różnych prędkościach obrotowych. Symulowano pęknięcia pierścienia oraz pręta. Wyniki symulacji potwierdziły wyprowadzenia teoretyczne.

Słowa kluczowe: strumień osiowy, model 3D MES, elementy krawędziowe, stany dynamiczne maszyny

THE AXIAL FLUX IN THE 3D FEM MODEL OF THE INDUCTION MACHINE

The aim of this paper is to provide the explanation of the phenomenon of axial magnetic flux formation in the electric machine on the example of the induction machine. The theoretical bases and necessary conditions of the axial flux formation were presented. In order to verify theoretical considerations the 3D finite elements model of the induction machine was created. This model utilizes both nodal-based and edge-based formulation respectively for scalar and vector potential approximation. The rotor bar skew and cross currents were taken into consideration. The axial flux was calculated by the integration of the vector potential round the machine shaft. The three phase stator windings were supplied with the four-wire line. The calculations/simulations of the transient states of the machine at different rotational speeds were performed. The rotor bar and end ring faults were simulated. The theoretical considerations were confirmed by the results of simulations.

Keywords: axial flux, 3D FEM model, edge elements, transient states

1. WSTĘP

Strumieniem osiowym w maszynach elektrycznych wirujących nazywany jest strumień wektora indukcji magnetycznej przez powierzchnię prostopadłą do osi obrotu wirnika. Strumień osiowy jest strumieniem głównym w maszynach unipolarnych, natomiast w maszynach o typowym radialnym kierunku magnesowania pojawia się najczęściej jako skutek wewnętrznej niesymetrii elektromagnetycznej maszyny.

W przypadku zastosowań diagnostycznych, za strumień osiowy korzystnie jest uważać strumień wektora indukcji magnetycznej przez powierzchnię usytuowaną w strefie połączeń czołowych uzwojeń, prostopadłą do osi obrotu wirnika i ograniczoną od zewnątrz cieniem połączeń czołowych uzwojeń wirnika (względnie pierścienia klatki wirnika). Przy takim podejściu, strumień sprzężony z cewką obejmującą wał będzie częścią strumienia osiowego powstałego w maszynie, oczywiście jeśli średnica cewki jest mniejsza od zewnętrznej średnicy stojana.

Poprawne wyznaczenie obliczeniowe strumienia osiowego jest możliwe jedynie poprzez obliczenia polowe, w praktyce tylko FEM 3D. Korzystnie jest jednak poprzez analizę uproszczoną wyprowadzić warunek konieczny zaistnienia strumienia osiowego.

2. WARUNEK KONIECZNY WYSTĄPIENIA STRUMIENIA OSIOWEGO

Na rysunku 1a przedstawiono fragment przekroju podłużnego maszyny elektrycznej wirującej, na rysunku 1b przekrój poprzeczny strefy przyszczelinowej tej maszyny wraz z zaznaczonym śladem boków czynnych pojedynczego zezwoju.

W przypadku obwodu, jak na rysunku 1a, można zapisać

$$\Theta_k^*(\alpha) - H_{\delta k}(\alpha) \cdot \delta_z(\alpha) \equiv \int_{l_1} \overline{H}_u \overline{dl} \quad (1)$$

gdzie:

$H_{\delta k}(\alpha)$ – natężenie pola w szczelinie,

$\Theta_k^*(\alpha)$ – przepływ objęty linią całkowania położoną na płaszczyźnie, której ślad w przekroju poprzecznym maszyny tworzy kąt α z osią rozpatrywanego zezwoju (rys. 1b),

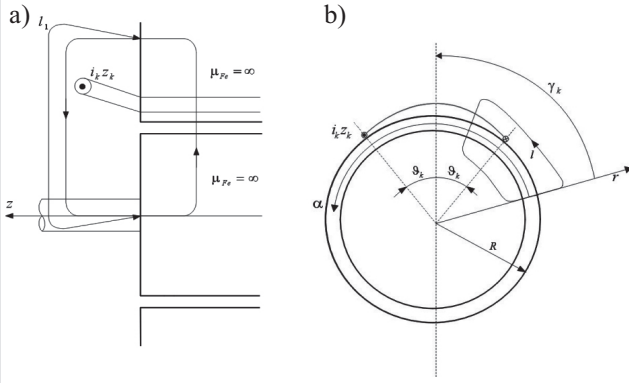
$\delta_z(\alpha)$ – szczelina zastępcza przypisana punktowi na obwodzie stojana o współrzędnej α , wynikła z analizy pola szczelinowego [4, 5],

$\overline{H}_u$ – natężenie pola wzdłuż krzywej l_1 .

* Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki

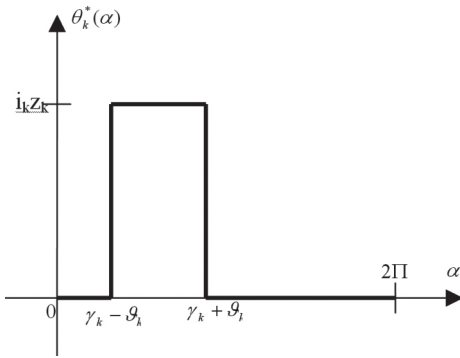
** Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych

*** Artykuł uzyskał pozytywne recenzje i był prezentowany podczas Międzynarodowego Sympozjum Maszyn Elektrycznych SME 2006 w Krakowie



Rys. 1. Przekrój maszyny: a) podłużny; b) poprzeczny

Fig. 1. Longitudinal section of the machine (a);
b) cross-section of the machine



Rys. 2. Funkcja przepływu dla obwodu z rysunku 1a

Fig. 2. Current flow function for the circuit shown in Figure 1

Jeśli poskok zezwoju wynosi $2\vartheta_k$, przepływ $\Theta_k^*(\alpha)$ zmienia się jak na rysunku 2.

Wartość całki z wzoru (1), obliczanej wzdłuż krzywej l_1 , można przedstawić w postaci

$$\int_{l_1} \bar{H}_u \bar{dl} = H_{up}(\alpha, r) \cdot l_u(\alpha, r) \quad (2)$$

gdzie:

$H_{up}(\alpha, r)$ – natężenie pola na powierzchni czołowej jarzma stojana,

$l_u(\alpha, r)$ – wielkość wynikająca z równości (2); może być traktowana jako „zastępcza długość” linii sił.

Jeśli przyjąć, że istnienie strumienia osiowego praktycznie nie wpływa na strumień w szczelinie, co dla typowych konstrukcji jest na ogół uzasadnione, natężenie pola w szczelinie można określić, wykorzystując płaski model pola. Z prawa przepływu, dla linii całkowania l jak na rysunku 1b, można zapisać

$$\Theta_k(\alpha) \approx H_{\delta k}(0) \cdot \delta_z(0) - H_{\delta k}(\alpha) \cdot \delta_z(\alpha) \quad (3)$$

przy czym

$$\Theta_k(\alpha) = -\Theta_k^*(\alpha) \quad (4)$$

Wartość iloczynu $H_{\delta k}(0) \cdot \delta_z(0)$ można wyznaczyć z prawa ciągłości pola magnetycznego.

Dla pola płaskiego w obrębie jarzma stojana i wirnika o długości l_{Fe} zachodzi

$$\mu_o R l_{Fe} \int_0^{2\pi} H_{\delta k}(\alpha) d\alpha = 0 \quad (5)$$

Stąd

$$H_{\delta k}(0) \cdot \delta_z(0) = \frac{\int_0^{2\pi} \lambda(\alpha) \Theta(\alpha) d\alpha}{\int_0^{2\pi} \lambda(\alpha) d\alpha} =$$

$$= \frac{(-i_k z_k) \int_{\gamma_k - \vartheta_k}^{\gamma_k + \vartheta_k} \lambda(\alpha) d\alpha}{\Lambda_u} = -i_k z_k \frac{\Lambda_k}{\Lambda_u}$$

We wzorze (6) wykorzystano oznaczenie permeancji jednostkowej szczeliny $\lambda(\alpha)$

$$\lambda(\alpha) = \frac{\mu_o}{\delta_z(\alpha)} \quad (7)$$

Po uwzględnieniu (6) i (4) otrzymuje się z (3)

$$H_{\delta k}(\alpha) = \frac{1}{\delta_z(\alpha)} \left(\Theta_k^*(\alpha) - i_k z_k \frac{\Lambda_k}{\Lambda_u} \right) \quad (8)$$

Na podstawie (2), (1) oraz (8) uzyskuje się teraz

$$H_{up}(\alpha, r) = \frac{1}{l_u(\alpha, r)} \int_{l_1} \bar{H}_u \bar{dl} =$$

$$= \frac{\Theta_k^*(\alpha) - H_{\delta k}(\alpha) \cdot \delta_z(\alpha)}{l_u(\alpha, r)} = \frac{i_k z_k}{l_u(\alpha, r)} \frac{\Lambda_k}{\Lambda_u} \quad (9)$$

Elementarny strumień osiowy $\Delta\phi_u$, wychodzący z jarzma stojana pierścieniem o promieniu R_r i szerokości Δ_r , wynosi

$$\Delta\phi_u = \left(\mu_o \int_0^{2\pi} H_{up}(\alpha, r) R_r d\alpha \right) \Delta_r \quad (10)$$

Jeśli konstrukcja maszyny pozwala przyjąć, że zastępcza długość linii sił jest funkcją jedynie współrzędnej r , wówczas strumień objęty pierścieniem będzie równy

$$\Delta\phi_u = 2\pi \frac{\mu_o R_r}{l_u(r)} i_k z_k \frac{\Lambda_k}{\Lambda_u} \Delta_r \quad (11)$$

Wymuszeniem dla strumienia osiowego jest w (11) iloczyn amperozwojów $i_k z_k$ oraz permeancji Λ_k

$$\Delta\phi_u \approx c_u i_k z_k \Lambda_k \quad (12)$$

Gdy strumień osiowy pochodzi od L – połączeń czołowych obwodów elementarnych maszyny, tzn. zezwojów, cewek i oczek klatki, można zapisać:

$$\phi_u \approx c_u \sum_{k=1}^L i_k z_k \Lambda_k \quad (13)$$

gdzie:

$i_k z_k$ – amperozwoje k -tego połączenia czołowego lub prąd wycinka pierścienia klatki (z uwzględnieniem zwrotu prądów),

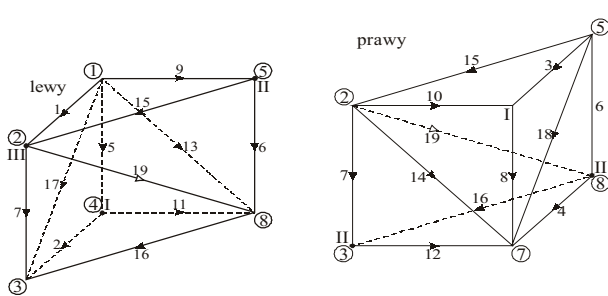
L – liczba obwodów elementarnych w maszynie, tzn. łącznie zezwojów, cewek i oczek klatki,

$\Lambda_k = \int_{\gamma_k - \vartheta_k}^{\gamma_k + \vartheta_k} \frac{\mu_o}{\delta_z(\alpha)} d\alpha$ – permeancja szczeliny w obrębie obwodu elementarnego, tzn. w przedziale kątowym $\gamma_k - \vartheta_k$, $\gamma_k + \vartheta_k$, gdzie γ_k jest położeniem osi k -tego obwodu elementarnego, natomiast ϑ_k połową jego rozpiętości.

Z przedstawionego wzoru (13) dla strumienia ϕ_u wynika, iż o istnieniu strumienia osiowego decyduje nie tylko suma amperozwojów, ale także permeancja w ramach każdej cewki.

3. MODEL 3D MASZINY ASYNCHRONICZNEJ

Maszyna asynchroniczna w wersji trójwymiarowej została zamodelowana metodami FEM. We wirniku uwzględniono blachowanie za pomocą tensora reluktywności magnetycznej blach v . Uwzględniono również tensor przewodności materiału γ . W ten sposób model uwzględnia prądy skrośne w zębach i jarzmie wirnika, płynące między prętami w żelazie oraz prądy w miedzi w prętach i pierścieniach. Najpierw maszyna została zamodelowana elementami sześciociennymi, a następnie każdy z tych elementów został zastąpiony przez układ sześciu elementów czworosiennych. Umożliwiło to łatwe uwzględnienie skosu prętów wirnika poprzez właściwe zadanie wartości tensora przewodności pręta lub żelaza w czworosiennach z lewej lub prawej strony sześciociennika. Jest to przedstawione na rysunku 3.



Rys. 3. Podział elementu sześciociennego na sześć elementów czworosiennych

Fig. 3. Division of a hexahedral element into six tetrahedral elements

Za pomocą tych elementów został zamodelowany wał wirnika, blachy stojana wraz ze żłóbkami oraz obudowa wraz ze strefą łożysk. Tworzony model 3D wykorzystywał potencjał wektorowy $\vec{A}$ oraz w obszarach przewodzących, tzn. w blachach, prętach i pierścieniach wirnika, dodatkowo potencjał skalarny ϕ . Indukcja magnetyczna jest obliczana ze wzoru $\vec{B} = \text{rot } \vec{A}$. Przyjmuje się, że gęstość prądu uzwojeń trzech faz stojana daje się wyrazić za pomocą dodatkowo wprowadzonego dla każdej i -tej fazy wektora $\vec{T}_{0i}$ ze wzoru $\vec{J}_{0i} = \text{rot } \vec{T}_{0i}$. Dlatego równanie I prawa Maxwella dla obszaru nieprzewodzącego $\Omega_{\text{nieprz.}}$ można zapisać $\text{rot}(\vec{v} \cdot \text{rot } \vec{A}) = \text{rot } \vec{T}_0$ gdzie $\vec{T}_0 = \sum_{i=1}^3 \vec{T}_{0i}$. Dla ośrodków przewodzących, gdzie tworzą się prądy wirowe, obowiązuje równanie dla tych prądów

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{d}{dt} \vec{B} = -\frac{d}{dt} \text{rot } \vec{A} = \text{rot} \left(-\frac{d}{dt} \vec{A} - \text{grad} \left(\frac{d}{dt} \phi \right) \right).$$

Dla ogólności zapisu, uwzględniono tu zależność $\text{rot} \left(\text{grad} \left(\frac{d}{dt} \phi \right) \right) = 0$. Po opuszczeniu działania rotacji można zapisać wzór na gęstość prądów wirowych indukowanych w prętach, pierścieniach i blachach wirnika $\vec{J}_w = \gamma \left(-\frac{d}{dt} \vec{A} - \text{grad} \left(\frac{d}{dt} \phi \right) \right)$. Dodatkowo należy uwzględnić bezźródłowość gęstości prądu $\text{div } \vec{J} = 0$ i otrzymujemy układ równań, opisujący pole elektromagnetyczne w maszynie:

$$\begin{cases} \text{rot}(\vec{v} \cdot \text{rot } \vec{A}) = \vec{J} = \gamma \left(-\frac{d}{dt} \vec{A} - \text{grad} \left(\frac{d}{dt} \phi \right) \right) + \text{rot } \vec{T}_0 \\ -\text{div} \left[\gamma \left(\frac{d}{dt} \vec{A} + \text{grad} \left(\frac{d}{dt} \phi \right) \right) \right] = 0 \end{cases} \quad (14)$$

Do aproksymacji potencjału skalarnego ϕ zastosowano współrzędne lokalne czworosiennika związane z jego wierzchołkami, które są elementami węzłowymi $N_i = [L_1^e, L_2^e, L_3^e, L_4^e]$. Do aproksymacji potencjału wektorowego zastosowano elementy krawędziowe. Element i -tej krawędzi czworosiennika o wierzchołkach i_1 oraz i_2 oraz o długości l_i można zapisać $\vec{N}_i^e = (L_{i_1}^e \cdot \nabla L_{i_2}^e - L_{i_2}^e \cdot \nabla L_{i_1}^e) \cdot l_i$. Dlatego aproksymację można przedstawić jako: $\vec{A} = \sum_i \vec{N}_i \cdot A_i$ oraz $\phi = \sum_i N_i \cdot \phi_i$. Równania (14) zostały doprowadzone do słabego sformułowania Galerkinia poprzez pomnożenie równań przez dowolne wariacje potencjałów i poprzez scałkowanie po całej objętości maszyny. Ostatecznie rozwiązywano układ równań liniowych

$$\begin{bmatrix} v[R] & 0 & 0 \\ 0 & v[R] + \gamma \frac{d}{dt} [C] & \gamma \frac{d}{dt} [D] \\ 0 & \gamma \frac{d}{dt} D^T & \gamma \frac{d}{dt} [G] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X = \vec{A}|_{\gamma=0} \\ X = \vec{A}|_{\gamma>0} \\ X = \phi|_{\gamma>0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_0 \\ T_0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} [R]_{ij} &= \iiint_V \text{rot } \vec{N}_i \cdot \text{rot } \vec{N}_j dV \\ [G]_{ij} &= \iiint_V \text{grad } N_i \cdot \text{grad } N_j dV \\ [C]_{ij} &= \iiint_V \vec{N}_i \cdot \vec{N}_j dV \\ [D]_{ij} &= \iiint_V \vec{N}_i \cdot \text{grad } N_j dV \\ [T_0]_{ij} &= \iiint_V \text{rot } \vec{N}_i \cdot \vec{T}_0 dV \end{aligned} \quad (16)$$

Stosowane elementy bazowe krawędziowe charakteryzują się brakiem dywergencji $\left(\text{div } \vec{N}_i = 0 \right)$. Dlatego otrzymany układ równań ma macierz singularną (posiada wartości własne zerowe). Przykładem takiego równania jest np. $\text{rot} \left(\vec{v} \cdot \text{rot } \vec{A} \right) = \vec{J}_0$, którego rozwiązaniem jest zarówno $\vec{A}$, jak też $\vec{A} + \text{grad } \varphi$, przy dowolnym φ , bo $\text{rot}(\text{grad } \varphi) = 0$. Układ taki pozwala się rozwiązywać metodami iteracyjnymi, pod warunkiem, że w prawej stronie układu nie występują wektory własne odpowiadające wartościom własnym zerowym macierzy. Można to osiągnąć, budując prawą stronę układu z tych samych członów, z których zbudowana jest macierz układu. W rozpatrywanym przypadku są to człony $\text{rot } \vec{N}_i$, dla których $\text{div}(\text{rot } \vec{N}_i) = 0$. Dlatego przedstawiony układ da się rozwiązać metodami iteracyjnymi, np.: metodą sprzężonych gradientów, metodą minimalnego residuum, metodą Czebyszewa, jak również innymi metodami.

Gdy za pomocą przedstawionej metody rozwiązujemy, tak jak w maszynie asynchronicznej obwody z cewkami magnetycznie sprzężonymi, to należy uwzględnić, że wektor T_0 można zapisać: $\vec{T}_0 = \sum_{j=1}^{\text{uzw}} \vec{T}_j \cdot i_j$, gdzie i_j to prąd j -tego uzwojenia, a $\vec{T}_j$ to wektor odpowiadający temu uzwojeniu, tzn. $\vec{T}_j = \vec{T}_0$, gdy wszystkie prądy, z wyjątkiem j -tego są równe zero, a j -ty prąd wynosi 1 A. Wówczas $\vec{T}_0$ przenosimy w układzie równań z prawej na lewą stronę i wprowadzamy nowe niewiadome, które są prądami faz stojana. Dodatkowymi równaniami są równania napięciowe cewek $\frac{d}{dt} \Psi_j + R_j \cdot i_j = u_j$, gdzie strumień Ψ_j jest sprzężony z j -tym uzwojeniem. Ten strumień Ψ_j można zapisać jako

$$\Psi_j = \int_V \vec{T}_j \cdot \vec{B} dV = \int_V \vec{T}_j \cdot \text{rot } \vec{A} dV.$$

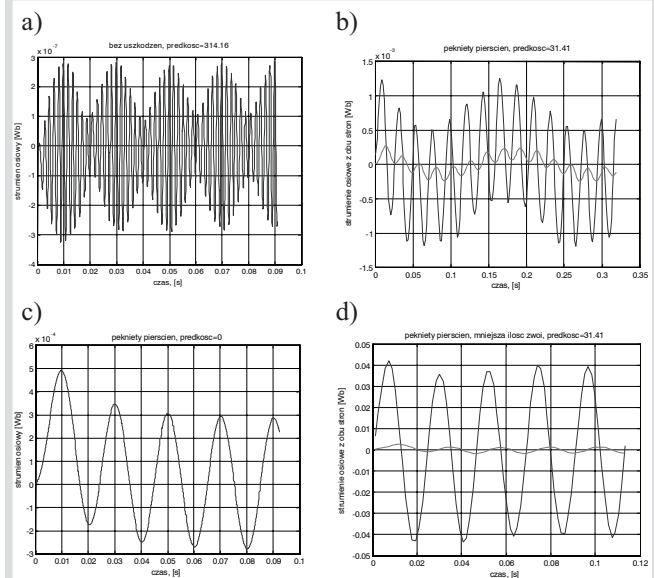
Obrót wirnika uwzględniany jest przez przesunięcia węzłów umieszczonych w szczeliny maszyny i związanej

z tym deformacji czworokątów. Gdy przesunięcie jest równe długości krawędzi czworokąta, to czworokąt wraca do swojego wyjściowego kształtu, a numery węzłów i krawędzi na granicy wirnika i szczeliny są zmieniane. W szczeliny powietrznej uwzględniono trzy warstwy szczelności i związanych z nimi czworokątów. Moment obrotowy, jak też trzy składowe siły działające na wirnik były obliczane metodą Coulomba z warstwy czworokątów przy stojaniu. Nasycenie się żelaza było wprowadzane przez program nadrzędny sterujący obliczeniami.

4. OBLICZENIA STANÓW PRZEJŚCIOWYCH ZA POMOCĄ MODELU 3D MASZyny ASYNCHRONICZNEJ

Przedstawione równania zostały zaprogramowane w środowisku Matlaba. Obliczenia stanów przejściowych maszyny przeprowadzono w ACK-Cyfronet w Krakowie. Wykorzystano technikę macierzy rzadkiej dostępną w Matlabie.

Modelowano maszynę asynchroniczną z jedną parą biegunów o 12 zębach stojana i 11 prętach wirnika, których skos odpowiada jednej podziałce żłobkowej stojana. Uzwojenie stojana jest trójfazowe, cięciwowe. Krok czasowy obliczeń przyjęto $dt = 0,00005$ s. Ogólna liczba niewiadomych wynosiła 245 833, w tym 12 768 niewiadomych węzłów z potencjałami skalarnymi, przy 188 496 czworokątach. Ogólna liczba węzłów wynosiła 35 910. Liczba niezerowych elementów w macierzy głównej rzadkiej układu wynosiła 4 458 931. Przebieg strumienia osiowego jest przedstawiony na rysunkach 4a–d.



Rys. 4. Strumień osiowy: a) bez uszkodzeń; b, c, d) pęknięty pierścień; prędkość obrotowa: a) $\omega = 314$ rad/s; b) $\omega = 31,4$ rad/s; c) $\omega = 0$; d) $\omega = 31,4$ rad/s (mniej zwoi)

Fig. 4. Axial flux: a) without faults; b, c, d) broken ring, rotational speed: a) $\omega = 314$ rad/s; b) $\omega = 31.4$ rad/s; c) $\omega = 0$; d) $\omega = 31.4$ rad/s (less windings)

5. WNIOSKI

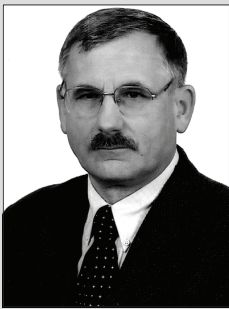
Przeprowadzone obliczenia numeryczne za pomocą programu 3D FEM potwierdziły wnioski płynące z rozważań teoretycznych odnośnie powstawania strumienia osiowego w maszynie elektrycznej. Wykazały również skuteczność tworzonego programu przy badaniu przebiegów dynamicznych maszyny elektrycznej.

Wymienione własności strumienia osiowego czynią go przydatnym w diagnostyce maszyn elektrycznych wirujących prądu przemiennego. Metoda kontroli poziomu strumienia osiowego jest szczególnie przydatna w wykrywaniu nieprawidłowości uzwojeń trójfazowych (np. zwarcie zwojowych) oraz uszkodzeń pierścieni klatek wirników maszyn indukcyjnych i synchronicznych [4, 5].

Literatura

- [1] Demenko A.: *Obwodowe modele układów z polem elektromagnetycznym*. Poznań, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2004
- [2] Gołębiowski L., Gołębiowski M.: *Obwody elektryczne, cz. II i III*. Rzeszów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej 2004
- [3] Kluszczyński K.: *Momenty pasożytnicze w indukcyjnych silnikach klatkowych*. Gliwice-Warszawa, PTETiS 1993
- [4] Noga M., Rams W., Skwarczyński J.: *Method and Equipment for Synchronous Machines Diagnosis*. Int. Conf. on Evolution and Modern Aspects of Synchr. Machines, Zurich 1991, 733–737
- [5] Skwarczyński J.: *Asymetrie wewnętrzne jawnobiegunowych maszyn synchronicznych*. Elektrotechnika z. 16, Zeszyty Naukowe AGH, nr 1350, Kraków 1990

Wpłynęło: 26.09.2006

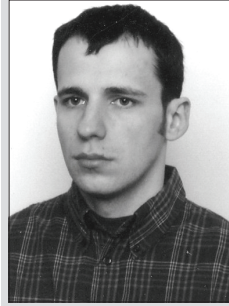


Lesław GOŁĘBIOWSKI

Urodził się 01.11.1946 roku w Rzeszowie, gdzie uczęszczał do I Liceum Ogólnokształcącego. W 1970 roku ukończył Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie na kierunku elektrotechnika i podjął pracę na Politechnice Rzeszowskiej. Pracował w Katedrze Maszyn Elektrycznych, był też kierownikiem Ośrodka Ob-

liczeniowego. Od 1975 roku pracuje z Zakładzie Podstaw Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Pracę doktorską *Stany dynamiczne maszyny asynchronicznej*, której promotorem był prof. Arkadiusz Puchała obronił w 1974 roku na AGH w Krakowie. Natomiast pracę habilitacyjną *Residualne modele maszyn elektrycznych* obronił w 1996 roku na AGH w Krakowie. Jego zainteresowania naukowe obejmują: metodę elementów skończonych w obliczaniu stanów dynamicznych maszyn elektrycznych i układów prostownikowych z autotransformatorem, metody numeryczne elektrotechniki, języki programowania.

e-mail: golebiye@prz.rzeszow.pl



Marek GOŁĘBIOWSKI

Urodził się 15.05.1978 roku w Rzeszowie, gdzie uczęszczał do IV Liceum Ogólnokształcącego. W 2002 roku ukończył Politechnikę Rzeszowską na kierunku automatyka z informatyką i podjął pracę na Politechnice Rzeszowskiej. Pracuje w Zakładzie Podstaw Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Wykonuje pracę doktorską *Wpływ indukcyjności rozproszenia autotransformatorów zasilających wielopulsowe układy prostownikowe na współczynnik odkształceń prądów sieciowych*, której promotorem jest prof. Jerzy Lewicki. Jego zainteresowania naukowe obejmują: metodę elementów skończonych w obliczaniu układów prostownikowych z autotransformatorem, języki i systemy programowania, obliczanie stanów przejściowych układów elektrycznych.

e-mail: yegolebi@prz.rzeszow.pl



Marian NOGA

Profesor dr hab. inż. profesor zwyczajny AGH, Katedra Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych AGH w Krakowie, absolwent WEGiH (1961) AGH w Krakowie, automatyka. 1961–2002 AGH, Katedra Maszyn i Pomiarów Elektrycznych, 1969 doktorat, 1975 habilitacja, 1983 uzyskanie tytułu prof., 1997 prof. zw., od 1974 rzeczoznawca SEP, od 1979 weryfikator i rzeczoznawca SITPH, 1978–1984 prodziekan Wydziału EAiE AGH, 1979–1993 kierownik zakładu maszyn elektrycznych Instytutu Maszyn i Sterowania Układami Elektroenergetycznymi AGH, 1981–1988 z-ca dyrektora IMiSUE, od 1993 kierownik Katedry Maszyn Elektrycznych AGH, 1976–1989 Uniwersytet Śląski, kierownik Zakładu Elektrotechniki i Automatyki, 1982–1984 z-ca dyrektora Instytutu Problemów Techniki, 1984–1989 prof. nadzw., 1989–2004 organizator i dyrektor Akademickiego Centrum Komputerowego „Cyfronet” w Krakowie. SO.: 12 patentów wynalazczych, projekt i realizacja akademickiej sieci komputerowej (centrum komputerowe). Autor lub współautor 120 artykułów, trzech książek, wykonawca ekspertyz i projektów technicznych. Członek: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. IEEE (od 1994), Association of Computing Machinery (od 1998), Rotary Club Kraków – Wawel (1997), członek zarządu (2006), International Society for Telemedicine and eHealth członek zarządu (2002), członek Sekcji Geoinformatyki PAU, Polski Komitet Normalizacyjny, członek Komitetu Technicznego nr 302 ds. Zastosowań Informatyki w Ochronie Zdrowia, członek konsorcjum HP Consortium for Advanced Scientific And Technical Computing (HP-CAST), Przewodniczący Rady Naukowej, członek założyciel Stowarzyszenia HL-7 Polska (afiliacja przy HL-7 – USA), Towarzystwo Przyjaciół Sztuki Kraków, członek Zarządu (1996).

e-mail: m.noga@cyfronet.krakow.pl



Jerzy SKWARCZYŃSKI

Doktor hab. inż., urodzony 15 lipca 1944 roku w Krakowie. Dyplom mgr. inż. elektryka na Wydziale EGiH w 1967 roku (Nr 640/V/66/WE). Stopień doktora nauk technicznych w roku 1976, stopień doktora habilitowanego w 1992 roku. Od 1967 roku zatrudniony w Katedrze Ma-

szyn i Pomiarów Elektrycznych AGH kolejno na stanowi-

skach: asystent, st. asystent, adiunkt, a od 1994 roku – profesor nadzwyczajny. W latach 1993–1999 prodziekan Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH. Od roku 1999 profesor i kierownik Zakładu Elektrotechniki i Elektroniki Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Tarnowie. W latach 1969–1970 w ramach urlopu bezpłatnego kierownik Laboratorium Energetycznego Wytwórni Silników Wysokoprężnych w Andrychowie. Rzeczoznawca SEP.

e-mail: jskw@agh.edu.pl