

Jerzy KOŁOWROTKIEWICZ¹⁾, Krzysztof KOWALSKI²⁾

ANALIZA WPŁYWU USTAWIENIA SZCZOTEK NA ROZKŁAD POLA MAGNETYCZNEGO O WZBUDZENIU MAGNETOELEKTRYCZNYM MASZYNY PRĄDU STAŁEGO

Streszczenie. W pracy do analizy wpływu ustawienia szczotek na rozkład pola magnetycznego w magnetoelektrycznych maszynach prądu stałego wykorzystano opracowane w Zakładzie Maszyn Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej oprogramowanie do symulacji stanów pracy maszyn elektrycznych. W oprogramowaniu w celu wyznaczenia rozkładu pola magnetycznego zastosowano metodę elementów skończonych. W celu określenia wpływu ustawienia szczotek na rozkład pola opracowano procedurę do odwzorowania zmiany przepływu w żłobkach w zależności od ustawienia szczotek względem osi poprzecznej maszyny. Dla wybranych ustawień szczotek rozpatrzono zmiany położenia kąтового wirnika. Na podstawie rozkładu pola magnetycznego wyznaczono moment elektromagnetyczny silnika w funkcji kąta położenia wirnika.

INFLUENCE OF SETTING OF BRUSHES IN PERMANENT MAGNET DC MOTOR ON MAGNETIC FIELD DISTRIBUTION

Summary. The two dimensional field analysis was made for the simulation of the magnetic field distribution in a DC motor with a permanent magnet. The computing program developed by the Institute of Industrial Electrical Engineering of the Technical University of Poznań was used for calculation of the field distribution in the models. The software was written in Delphi 5 programming language and intended for calculation under inspection of the operating system Windows 9x. The authors worked out a special procedure for mapping the rotor slot current as a function of brush setting and of commutating coil number.

Key words: permanent magnet dc machine, torque pulsation, magnet field analysis

1. WPROWADZENIE

Magnesy wzbudzające maszyny elektryczne są narażone na rozmagnesowanie przez przepływ oddziaływania twornika. Przekroczenie dopuszczalnego poziomu przepływu twornika powoduje nieodwracalne zmniejszenie strumienia magnetycznego głównego. W wyniku tego pogarszają się podczas eksploatacji parametry użytkowe maszyny. Kompleksowe uwzględnienie zjawiska oddziaływania twornika jest możliwe tylko wtedy, gdy znany jest rozkład zmiennego w czasie pola magnetycznego w maszynie. Źródłem pola w maszynie magnetoelektrycznej są magnesy trwałe oraz uzwojenie twornika. W wyniku oddziaływania twornika następuje przesunięcie strefy neutralnej w kierunku przeciwnym do kierunku wirowania wirnika. Powoduje to pogorszenie się warunków komutacji, co uwidacznia się iskrzeniem na szczotkach. Zwiększone iskrzenie powoduje wypalanie komutatora, wzrost rezystancji przejścia i w wyniku wzrost strat mocy. W celu poprawienia warunków pracy zestyku ślizgowego można przesunąć szczotki w kierunku przeciwnym do kierunku wirowania twornika. Taka zmiana położenia szczotek powoduje jednak pojawienie się składowej podłużnej oddziaływania twornika osłabiającej strumień główny. Zjawisko to jest szczególnie groźne podczas rozruchu silnika, kiedy to prąd twornika może być nawet kilkanaście razy większy od prądu znamionowego. W skrajnym przypadku oddziaływanie podłużne twornika może być przyczyną częściowego rozmagnesowania magnesów trwałych. Przesunięcie szczotek w kierunku zgodnym z

¹⁾ Dr inż., Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, tel.: (61) 6652125, fax: (61) 6652381, e-mail: Jerzy.Kolowrotkiewicz@put.poznan.pl

²⁾ Dr inż., Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, tel.: (61) 6652125, fax: (61) 6652381, e-mail: Krzysztof.Kowalski@put.poznan.pl

kierunkiem wirowania twornika spowoduje natomiast komutację opóźnioną. Składowa podłużna oddziaływania twornika będzie wzmocniana wówczas strumień główny. W maszynie magnetoelektrycznej wypadkowe oddziaływanie twornika można kształtować zatem poprzez nastawienie kąta ustawienia szczotek względem osi neutralnej [2, 3]. W celu analizy wpływu oddziaływania twornika na rozkład pola oraz parametry funkcjonalne maszyny należy w przyjętym modelu matematycznym maszyny uwzględnić: schemat połączeń uzwojenia twornika, szerokość szczotek, obrót wirnika, położenie szczotek, rodzaj komutacji.

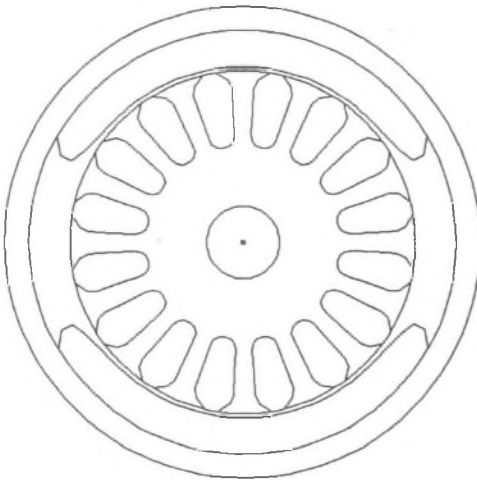
W artykule do symulacji zjawisk w magnetoelektrycznej maszynie prądu stałego wykorzystano dwuwymiarowy model połowy [4]. Rozkład pola wyznaczony został przy wykorzystaniu oprogramowania do symulacji stanów pracy maszyn elektrycznych opracowanego w Zakładzie Maszyn Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej [6]. Program napisano w języku programowania Delphi 5 [5] i wdrożono do obliczeń pod kontrolą systemu operacyjnego Windows 9x. W rozważaniach uwzględniono nieliniowe właściwości magnetyczne ferromagnetyka miękkiego oraz magnesów trwałych, obrót wirnika oraz ustawienie szczotek. W rozważaniach przyjęto, że znany jest prąd w uzwojeniu twornika, założono przy tym komutację prostoliniową. W celu uwzględnienia wpływu na rozkład pola przesunięcia szczotek oraz zmieniającej się wraz z obrotem wirnika liczby komutujących cewek opracowano procedury odwzorowujące żłobkowe składniki przepływu oddziaływania twornika [1].

2. ANALIZA POLA W SILNIKU O WZBUDZENIU MAGNETOELEKTRYCZNYM

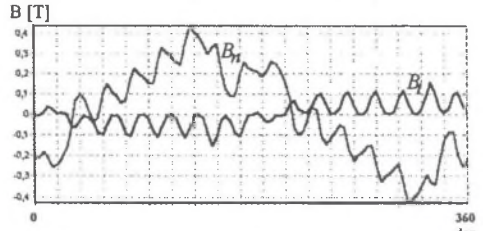
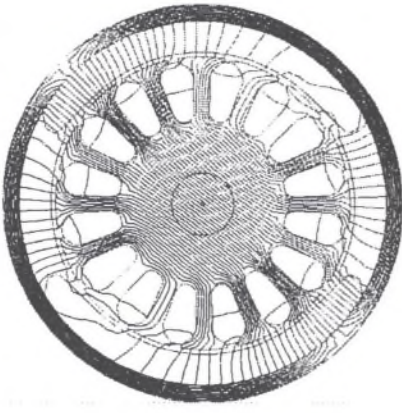
Rozpatrywano silnik o momencie znamionowym 1 N·m, napięciu $U=28$ V i prądzie znamionowym $I=1$ A. Jest on wzbudzany magnesem ferrytowym umieszczonym w stojanie. Strukturę maszyny przedstawiono na rys.1. Uzwojenie twornika ma poskok 7, jest nawinięte maszynowo (typ H) i przyłączone do 32 wycinków komutatora. Dla przyjętego schematu uzwojenia i sposobu nawinięcia w każdym żłobku znajdują się boki czterech cewek dołączonych do czterech wycinków komutatora. Szczotka ma szerokość dwu wycinków. Komutujące cewki mają zatem boki leżące w 6 żłobkach. W celu zbadania wpływu położenia szczotek na właściwości silnika wyznaczono rozkład pola i moment elektromagnetyczny dla wybranych ustawień szczotek w funkcji kąta obrotu wirnika, przy czym dla danego ustawienia szczotek z uwagi na warunki periodyczności

ograniczono się do analizy rozkładu pola dla wybranych 20 położań α wirnika względem stojana. Kąt α zawierał się w przedziale od 0 do $2\pi/7$, gdzie 7 - liczba żłobków wirnika. Dla każdego kąta α brano pod uwagę położenie boków komutujących cewek i korygowano przepływ od prądów w żłobkach wirnika. Odwzorowanie wpływu kąta obrotu α oraz zmieniającego się rozkładu przepływu od prądów w żłobkach miało na celu wyznaczenie pulsacji momentu związanych z obrotem wirnika. Badania powtarzano dla wybranych kątów określających położenie szczotek względem osi poprzecznej maszyny.

Na rysunku 2 przedstawiono rozkłady pola magnetycznego, oraz rozkład składowych indukcji magnetycznej: normalnej B_n , oraz stycznej B_t na powierzchni wirnika dla prądu o wartości pięciokrotnie większej od znamionowej przy różnych ustawieniach szczotek. Wartość ta odpowiada prądowi rozruchowemu analizowanego silnika przy bezpośrednim załączeniu do źródła zasilania.

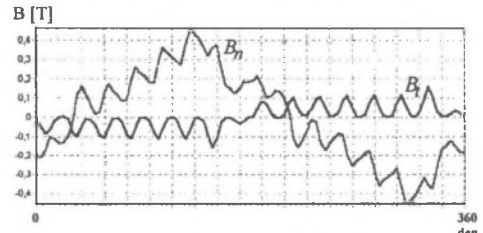
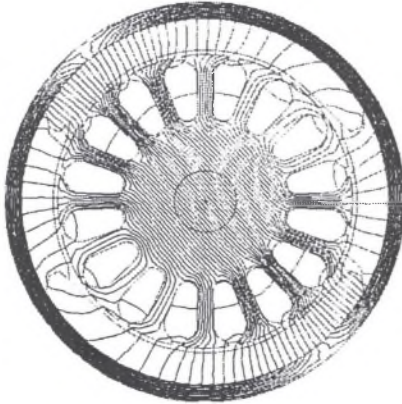


Rys. 1. Struktura maszyny
Fig. 1. Machine structure



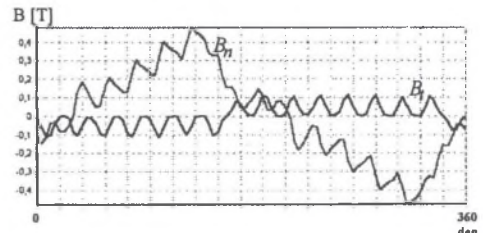
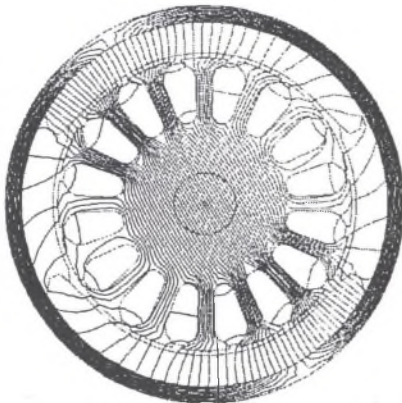
szczotki przesunięte o 22.5° w kierunku przeciwnym do kierunku wirowania

the brushes shifted about 22.5° in opposite to direction of rotation



szczotki w strefie neutralnej

the brushes in the neutral zone



szczotki przesunięte o 22.5° w kierunku zgodnym z kierunkiem wirowania

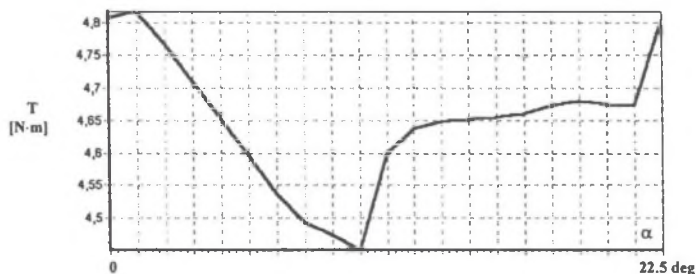
the brushes shifted about 22.5° in direction of rotation

Rys. 2. Rozkłady pola magnetycznego w maszynie oraz rozkład składowych: indukcji magnetycznej B_n , B_t na powierzchni wirnika dla $l=5l_n$

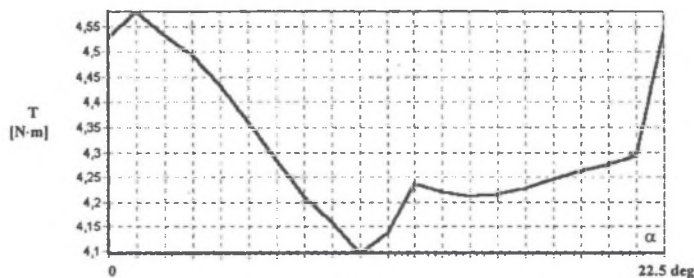
Fig. 2. Distributions of the magnetic field in a machine and of the magnetic flux density components B_n and B_t in the air gap; at $l=5l_n$

Na rys. 3 przedstawiono zmienność momentu elektromagnetycznego w funkcji kąta obrotu wirnika dla pięciokrotnego prądu znamionowego w zakresie jednej podziałki żłobkowej przy trzech różnych ustawieniach szczotek.

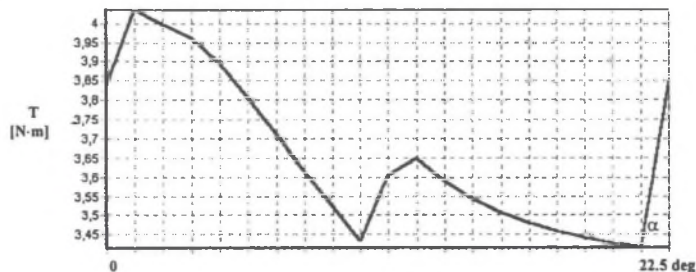
a)



b)



c)



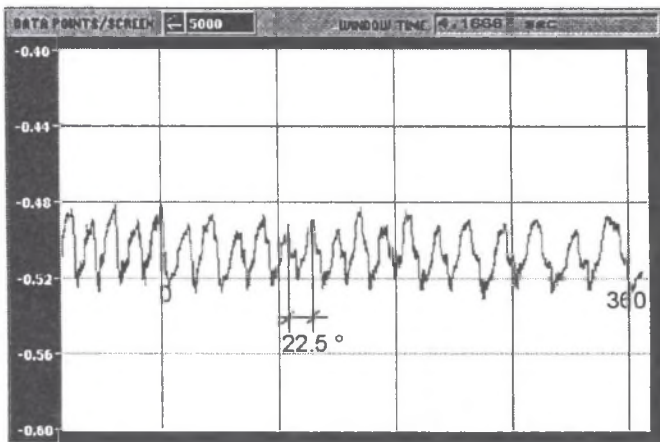
Rys. 3. Moment elektromagnetyczny w funkcji kąta obrotu wirnika dla prądu $I=5I_n$ w zakresie jednej podziałki żłobkowej

- a) szczotki przesunięte o 22.5° w kierunku przeciwnym do kierunku wirowania
- b) szczotki w strefie neutralnej
- c) szczotki przesunięte o 22.5° w kierunku zgodnym z kierunkiem wirowania

Fig. 3. Electromagnetic torque in function of the angular rotor position α within one rotor slot pitch at $I=5I_n$

- a) brushes shifted by 22.5° in direction opposite to rotation
- b) brushes in the neutral zone
- c) brushes shifted by 22.5° in direction of rotation

Rezultaty obliczeń porównano z wynikami pomiarów wykonanymi na silniku. Moment silnika mierzono za pomocą wałka skrętnego typu T5 firmy Hottinger Messtechnik GmbH. Prędkość obrotowa wynosiła około 15 obr/min. Silnik był obciążony stałym w czasie momentem mechanicznym. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Pulsacje momentu w funkcji kąta obrotu wirnika dla prądu $I=5I_n$,
 Fig. 4. The shape of pulsating torque in function of the rotor position at $I=5I_n$,

3. WNIOSKI

Zarówno obliczenia symulacyjne, jak i pomiary wykonane na modelu wykazały znaczny wpływ zmiany położenia szczotek w stosunku do geometrycznej strefy obojętnej silnika na rozkład pola magnetycznego w silniku, a w szczególności na stopień odmagnesowania magnesu trwałego. Symulacja komputerowa wykazała także dużą pulsację momentu obrotowego w czasie obwodowego przesunięcia wirnika o jedną podziałkę żłobkową, którego przebieg zależy od położenia szczotek. Wyniki symulacji są zbieżne z wynikami pomiarów. W programie założono stałą wartość indukcji na powierzchni magnesów w stanie jałowym (stałą magnetyzację wewnątrz magnesu trwałego). Symulacja komputerowa dla prądu $I=5A$, odpowiadającego prądowi bezpośredniego rozruchu, wskazuje na bardzo duże oddziaływanie twornika, indukcja w przestrzeni międzybiegunowej w przypadku cofniętych szczotek sięga $0.2 T$. Przesunięcie szczotek zgodnie z kierunkiem wirowania twornika zmniejsza odmagnesowanie magnesu trwałego. Analizując otrzymane wyniki symulacji komputerowych (częściowo potwierdzone pomiarami) można stwierdzić, że w analizowanym silniku przesunięcie szczotek o około 10° w kierunku wirowania wirnika, tj. o jedną podziałkę żłobkową znacznie zmniejszy odmagnesowanie magnesu trwałego przy rozruchu. Sposób ten jest możliwy do wykorzystania tylko w silnikach pracujących w układach o stałym kierunku wirowania.

LITERATURA

1. Andrzejewski B.: Wpływ ustawienia szczotek na pracę magnetoelektrycznego silnika prądu stałego małej mocy. Praca magisterska, Politechnika Poznańska 2000.
2. Dudzikowski I., Janiszewski S.: Analiza parametrów rozruszników samochodowych o magnesach trwałych, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, nr 48, Wrocław 2000.
3. Dudzikowski I.: Moment i prędkość obrotowa dwubiegowego silnika z magnesami trwałymi, Prace Naukowe Instytutu Układów Elektromaszynowych Politechniki Wrocławskiej, nr 17, Wrocław 1974 str. 57-78.
4. Silvester P.P., Chari R.L., Finite Elements for Electrical Engineers, Cambridge University Press, Cambridge 1983.
5. Strzałkowski K.: Podstawy delphi, Wydawnictwo Stachurski, Kielce 2000.

6.Szelaż W.: Analiza Stanów Pracy i Synteza Silników Synchronicznych Magnetoelektrycznych, Politechnika Poznańska Rozprawy, nr 331, Poznań 1998.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Władysław Paszek

Wpłynęło do Redakcji dnia 10 lutego 2001 r.

Abstract

The two dimensional field analysis has been made for the simulation of the magnetic field distribution in a DC motor with a permanent magnet. The computing program developed by the Institute of Industrial Electrical Engineering of the Technical University of Poznań was used for calculating the field distribution in the models. The software was written in programming language Delphi 5 and intended for calculation under inspection of the operating system Windows 9x. The computing process was executed when taking into account:

- non-linear magnetic properties of permanent magnet and soft magnet materials,
- moving of the rotor,
- changes of the brush setting position,
- armature current being herein fixed (user has the possibility to change the current value before starting of calculation),
- the assumption of straight linear commutation.

The authors worked out a special procedure for mapping the magnetomotive force contribution of rotor slot current as a function of brush setting and of commutating coil number.

The investigated motor had the following rating: armature current $I=1$ A, torque $T=1$ Nm at supply voltage $U=28$ V. The model structure is shown in Fig.1. The winding was performed automatically as winding of H-type with winding pitch 7 and connected to 32 commutator segments. The brush width corresponds to two commutator segments. The influence of the brush setting on the magnetic field distribution and electromagnetic torque was calculated for the selected brush arrangements as a function of the rotor angle position.

Taking into account the fact that the field distribution changes periodically, the calculations were carried out only for twenty selected values of the angle α (the angle between the rotor and stator axes). During the experiment the angle α was changed from 0 to $2\pi/z$, where z denotes the slot rotor number. The angle α and the changing of m. m. f. distribution influence the pulsating torque component. The investigations were repeated for the selected angles of brush settings in relation to the magnetic armature winding axis. The computing results are presented in Figs. 2 and 3.

The simulation tests reveal a high value of the pulsating torque within one slot pitch. The torque value is a function of the angle α . The field distribution dependeds on the brush setting. The brush shift in the rotating direction decreases the demagnetization effects on the permanent magnets.

Pracę zrealizowano w ramach tematu TB 42-601/2001 DS