

Dominik WOJTASZCZYK*

METODY OGRANICZANIA PULSACJI MOMENTU ELEKTROMAGNETYCZNEGO PRĄDNICY TARCZOWEJ WZBUDZANEJ MAGNESAMI TRWAŁYMI

W artykule przedstawiono przyczyny powstawania pulsacji momentu elektromagnetycznego w prądnicach wzbudzanych magnesami trwałymi. Wskazano metody ich ograniczania, a także przedstawiono wyniki badań symulacyjnych dotyczących wpływu kształtu i położenia magnesów trwałych na moment zaczepowy generatora tarczowego z poprzecznym strumieniem pola magnetycznego. Model w postaci tarczowej upraszcza konstrukcję wirnika ze względu na możliwość użycia do jego budowy materiałów nieprzewodzących. Wzbudzenie maszyny stanowią magnesy trwale umieszczone na wirniku w taki sposób, aby wektor strumienia pola magnetycznego był skierowany prostopadłe do wektora prędkości wirnika. Twornik prądniccy stanowi uzwojenie wykonane w postaci dwóch pierścieni, które umieszczono pomiędzy kolumnami ferromagnetycznego rdzenia tworzącego stojan maszyny. Parametry obwodu elektromagnetycznego odwzorowano Metodą Elementów Skończonych w oprogramowaniu Maxwell3D.

SŁOWA KLUCZOWE: prądnicza tarczowa, pulsacje momentu, moment zaczepowy

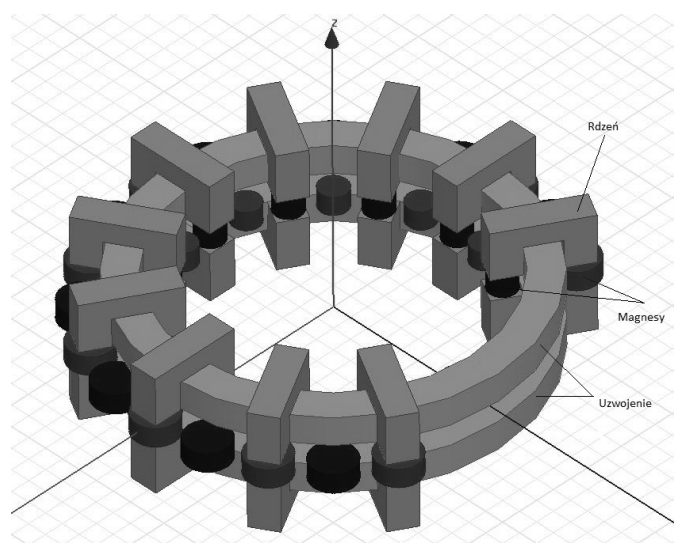
1. WSTĘP

Prądnice tarczowe wzbudzone magnesami trwałymi znajdują szerokie zastosowanie, m. in. jako generatory w elektrowniach wiatrowych. Rosnąca popularność tego typu maszyn związana jest głównie z rozwojem technologii produkcji magnesów trwałych, opartych na pierwiastkach ziem rzadkich, szczególnie neodymowo-żelazowo-borowych (NdFeB). Prądnice tarczowe ponadto charakteryzują się prostą konstrukcją oraz znacznie większą gęstością mocy, niż maszyny konwencjonalne. W energetyce zawodowej i rozproszonej można wyróżnić wiele typów generatorów tarczowych. Wyróżnić można przede wszystkim maszyny rdzeniowe i bezrdzeniowe. Te pierwsze, oprócz wspomnianych wcześniej zalet, posiadają jedną dominującą wadę - pulsacje momentu elektromagnetycznego. W niniejszej pracy przedstawione zostały podstawowe metody ograniczania pulsacji momentu elektromagnetycznego w prądniczy tarczowej wzbudzonej magnesami trwałymi z poprzecznym strumieniem pola magnetycznego.

* Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Prezydenta S. Wojciechowskiego w Kaliszu.

2. MODEL PRĄDNICY

Przedmiotem opracowania jest model prądnicy przedstawiony na rysunku 1. O wymiarach geometrycznych prezentowanej maszyny stanowią promień zewnętrzny i wewnętrzny, które wynoszą odpowiednio 150 mm i 100 mm oraz wysokość, która wynosi 77 mm. Wirnik wykonany jest w postaci tarczy diamagnetycznej, wewnątrz której umieszczono magnesy stałe tworzące dwa pierścienie po 24 magnesy neodymowe NdFeB35 o wysokości 15 mm.



Rys. 1. Model generatora tarczowego z poprzecznym strumieniem magnetycznym

Stojan maszyny wykonany jest z dwóch identycznych części umieszczonych po obydwu stronach wirnika. Zarówno część górna jak i dolna składa się z 12 rdzeni ferromagnetycznych wykonanych w postaci pakietu blach elektrotechnicznych tworzących kształtkę typu u. Wymiary geometryczne kształtek dobrano w taki sposób, aby przekrój ich ramion tworzył kwadrat, którego długość boku wynosi 15 mm. Wysokość kształtki rdzenia wynosi 22 mm. Uzwojenie prądnicy w kształcie dwóch cylindrów, wykonano drutem nawojowym o średnicy 1 mm i umieszczono pomiędzy ramionami rdzeni w taki sposób, aby cewki wypełniały całą przestrzeń okna kształtki u, którego rozmiar wynosi 20 x 15 mm.

Analizę połową obwodu elektromagnetycznego modelu prądnicy przeprowadzono za pomocą obliczeń numerycznych w programie Maxwell3D, który w algorytmie obliczeniowym wykorzystuje Metodę Elementów Skończonych (MES).

3. PULSACJE MOMENTU ELEKTROMAGNETYCZNEGO I METODY ICH OGRANICZANIA

Moment elektromagnetyczny prądnicy tarczowej z poprzecznym strumieniem ma charakter pulsacyjny. Źródłem pulsacji są głównie dwa zjawiska występujące w tego typu maszynach. Pierwszym jest moment zaczepowy (ang. cogging torque), który powstaje w wyniku współdziałania pola magnetycznego wytworzonego przez magnesy trwałe z wirnikiem lub stojanem o kątovej zmienności przewodności magnetycznej. Wyznaczany jest w stanie bezprądowym, a średnia jego wartość w zakresie podziałki biegunowej wynosi zero. Drugą składową pulsacji momentu jest moment tętniący (ang. ripple torque), który powstaje na skutek oddziaływania prądu płynącego w uzwojeniu stojana z polem magnetycznym wirnika o kątovej zmienności reluktancji. W prądnicach tarczowych dominującym składnikiem pulsacji momentu jest moment zaczepowy.

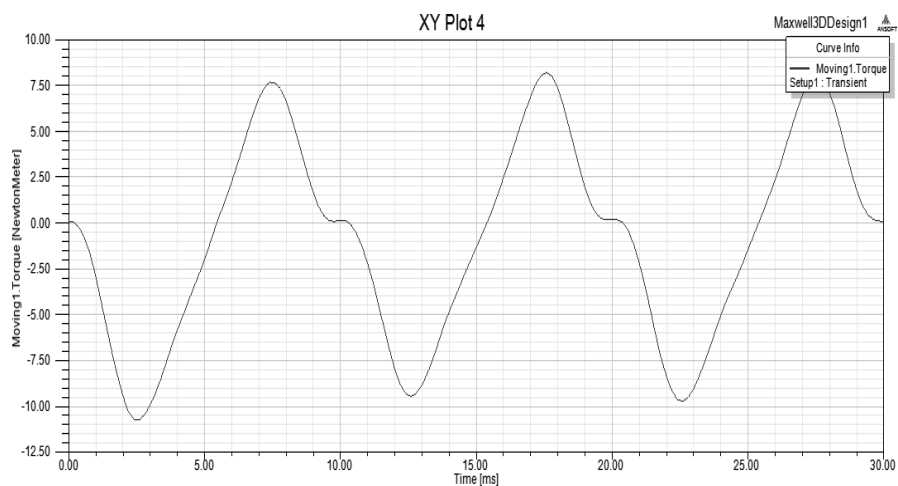
Do najczęściej stosowanych metod zmniejszania momentu zaczepowego w generatorach wzbudzanych magnesami trwałymi można zaliczyć: stosowanie skosu żłobków stojana lub skosu magnesów, niesymetryczne rozmieszczenie magnesów na obwodzie wirnika, dobór odpowiedniego kształtu i wymiarów zębów, dobór odpowiedniego kształtu oraz położenia magnesów trwałych.

Redukcję momentu zaczepowego wynikającą ze stosowania skosu żłobków i odpowiedniego kształtu zębów można stosować w maszynach o strukturze cylindrycznej. W przypadku analizowanego modelu, o strukturze tarczowej, gdzie rdzeń wykonany jest w postaci gładkiej tarczy, ograniczenie pulsacji można osiągnąć poprzez odpowiedni kształt rdzenia oraz odpowiednio dobrany kształt i położenie magnesów.

4. POŁOŻENIE I KSZTAŁT MAGNESÓW TRWAŁYCH

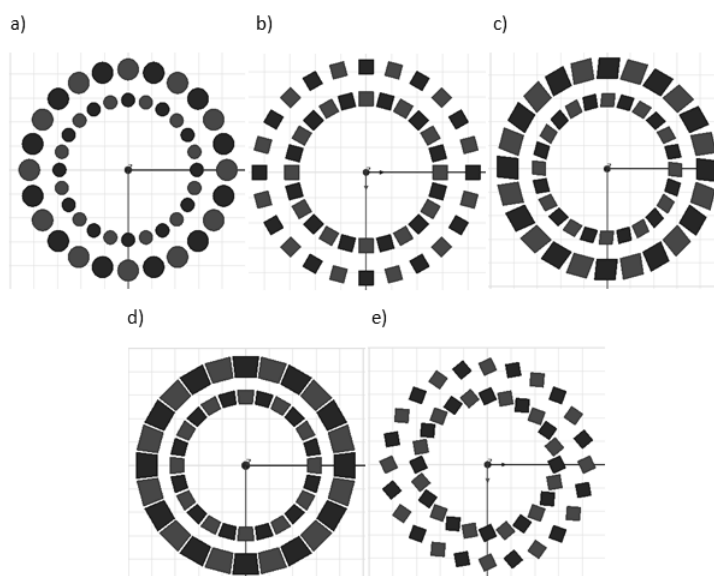
Rozmiar i sposób zamocowania magnesów trwałych na tarczy wirnika ma zasadniczy wpływ na przebieg momentu elektromagnetycznego prądnicy. Ich położenie ma bowiem istotny wpływ na amplitudę pulsacji momentu. Moment elektromagnetyczny w maszynach z magnesami trwałymi jest proporcjonalny do indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej. Modyfikacja kształtu magnesu w celu porównania momentu zaczepowego jest zatem możliwa tylko wtedy, kiedy nie powoduje zmian indukcji w szczelinie. Można to osiągnąć zachowując stałe pole powierzchni podstawy magnesu, przy niezmiennej jego wysokości.

Na rysunku 2 przedstawiono przebieg momentu zaczepowego generowany przez analizowany model prądnicy z magnesami trwałymi o trapezowym kształcie podstawy.



Rys. 2. Moment zaczepowy generatora z magnesami o trapezowym kształcie podstawy

W celu sprawdzenia wpływu kształtu i położenia magnesów na generowane pulsacje momentu elektromagnetycznego prądnicy, wykonano obliczenia momentu zaczepowego dla kilku charakterystycznych układów magnesów przedstawionych na rysunku 3.



Rys. 3. Badane kształty magnesów trwałych: a) okrągłe, b) kwadratowe, c) równoległoboczne, d) trapezowe, e) kwadratowe obrócone

Uzyskane wyniki obliczeń symulacyjnych momentu zaczepowego dla różnych kształtów magnesów przedstawiono w tabeli 1. W tabeli zamieszczono wyniki dla magnesów o podstawie w kształcie trapezu, koła, kwadratu oraz równoległoboku o różnym kącie nachylenia boków. Wyniki te podano w postaci współczynnika momentu δ_M . Współczynnik ten określa stosunek momentu zaczepowego generowanego przez prądnicę o magnesach w dowolnym kształcie, do momentu generowanego przez prądnicę o magnesach w kształcie trapezowym.

Tabela 1. Współczynnik momentu δ_M

<i>Lp.</i>	<i>Kształt magnesu</i>	δ_M [%]
1	trapezowe	100
2	okrągłe	46,7
3	kwadratowe	73,3
4	kwadratowe obrócone o 10°	53,3
5	kwadratowe obrócone o 20°	43,7
6	kwadratowe obrócone o 25°	43
7	kwadratowe obrócone o 30°	46
8	równoległoboczne o kącie 85°	86,7
9	równoległoboczne o kącie 80°	71
10	równoległoboczne o kącie 75°	70
11	równoległoboczne o kącie 70°	63,3
12	równoległoboczne o kącie 65°	56,7
13	równoległoboczne o kącie 60°	50
14	równoległoboczne o kącie 55°	44
15	równoległoboczne o kącie 50°	39
16	równoległoboczne o kącie 45°	40

5. PODSUMOWANIE

W artykule omówiono przyczyny powstawania pulsacji momentu elektromagnetycznego prądnicy tarczowej wzbudzonej magnesami trwałymi. Przedstawiono wyniki badań symulacyjnych momentu zaczepowego dla kilku wybranych układów magnesów, które potwierdzają, że kształt magnesu bardzo mocno wpływa na wielkość pulsacji momentu. Odpowiedni dobór kształtu oraz położenia magnesów może spowodować obniżenie momentu zaczepowego nawet o 60%. Największy moment zaczepowy generują prądnice z magnesami trapezowymi, najmniejszy zaś prądnice z magnesami równoległobocznymi o 50° kącie nachylenia boków.

LITERATURA

- [1] Dosiek L., Cogging Torque Reduction in Permanent Magnet Machines, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 43, no. 6, November/December 2007.
- [2] Glinka T., Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [3] Glinka T., Król E., Białas A., Wolnik T., Silniki tarczowe z magnesami trwałymi, Zeszyty Problemowe-Maszyny Elektryczne nr 87/2010.
- [4] Hosseini S., Moghani J.S., Ershad N.F., Jensen B.B., Design, Prototyping, and Analysis of a Novel Modular Permanent-Magnet Transverse Flux Disk Generator, IEEE Transactions on Magnetics, vol. 47, no. 4, April 2011.
- [5] Hsiao C.-Y., Yeh S.-N., Hwang J.-C., A Novel Cogging Torque Simulation Method for Permanent-Magnet Synchronous Machines, Energies, no. 4, 2011.
- [6] Młot A., Konstrukcyjne metody ograniczania pulsacji momentu elektromagnetycznego w bezszczotkowym silniku prądu stałego z magnesami trwałymi, Autoreferat rozprawy doktorskiej, Opole 2007.
- [7] Svechkarenko D., On Design and Analysis of a Novel Transverse Flux Generator for Direct-driven Wind Application, Ph.D. Thesis, Stockholm, Sweden 2010.

METHODS OF LIMITING PULSATION OF ELECTROMAGNETIC TORQUE IN A PERMANENT MAGNETS DISC GENERATOR

The article presents the causes of the electromagnetic torque ripple in a permanent magnet generators induced. Mentioned methods of reduction, as well as the results of simulation studies on the effect of the shape and position of the permanent magnet generator for cogging torque disc with transverse magnetic flux. Model in simplifying the structure of the rotor blade due to its ability to use non-conductive materials of construction. The excitation equipment and the permanent magnets are arranged on the rotor in such a way that the flux vector of the magnetic field is directed perpendicular to the velocity vector of the rotor. The armature winding of the generator is constructed in the form of two rings that provided between the columns of the ferromagnetic core forming the stator of the machine. Electromagnetic circuit parameters mapped Finite Element Method in Maxwell3D software.