

Krzysztof Szewczyk, Politechnika Częstochowska, Częstochowa
Rafał Golisz, TRW, Częstochowa

SILNIK SAMOHAMUJĄCY ZE STAŁYMI MAGNESAMI

PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR AS A BRAKE SYSTEM

Abstract: In the paper the possibility of use the Permanent Magnet motor as a inhibit system in the automation system has been presented. The same construction allow use the mashine as a brake and a motor. Using multi pole in the construction it is possible to increase precision of driving, and appropriate control allow use the same machinein in the both cases. All simulations for computing torque, flux density, cogging torque have been performed by programs Flux 2D, and FEMM using Finite Elements and Maxwell Stress Tensors Method.

Wstęp

Silniki z magnesami stałymi pełnią różne role w naszym otoczeniu. Wykorzystanie momentu zaczepowego jako elementu hamującego pozwala na zastosowanie tego rodzaju silnika jako hamulca. Jest wiele przykładów urządzeń używających tego rodzaju konstrukcji [1,5]. Wszędzie, gdzie mamy do czynienia z momentem czynnym są one wielce przydane. Jednym z przykładów zastosowania urządzeń tego rodzaju mogą być elektrownie wiatrowe, które ustawiane odpowiednio do kierunku wiatru używają silników wykonawczych stosunkowo rzadko. W pozostałym czasie turbina powinna być stabilnie ustawiona do kierunku wiatru i nie używać do tego dodatkowej energii.

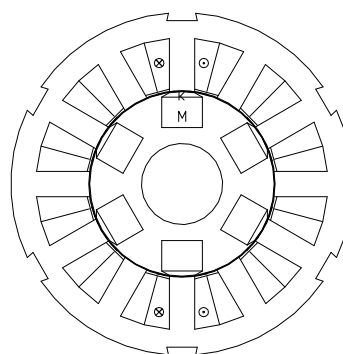
Wszelkie urządzenia pracujące w polu grawitacyjnym powinny być wyposażone w elementy samohamowne. Zastosowanie ich do niwelacji oddziaływania energii potencjalnej ma niebagatelne znaczenie nie tylko praktyczne, ale i ze względu na bezpieczeństwo pracy oraz przepisy prawne z tym związane.

W artykule przedstawiono zamysł konstrukcji silnika synchronicznego z magnesami stałymi mającego właściwości silnika samohamownego, wykorzystującego do tego celu właściwości momentu zaczepowego występującego w sposób naturalny w tego rodzaju silnikach.

Założenia do projektu

Projekt silnika oparto na założeniu 6/12 biegunowego silnika. Tego rodzaju konstrukcja nie posiada momentu reluktancyjnego. Autorzy postanowili jednak przebadac taką konstrukcję jako silnik przy założeniu specyficznego sterowania wykorzystującego jedynie część nabiegunków do wytworzenia momentu obrotowego. W celu uzyskania jak największego mo-

mentu hamującego do konstrukcji zastosowano powiększone magnesy stałe umieszczone w masie żelaza wirnika. Powiększone magnesy stałe powiększają kąt opasania nabiegunnika w wirniku, w wyniku czego występuje niedopasowanie pomiędzy nabiegunnikami stojana oraz wirnika. Autorzy wcześniej [4] wykazali, że istnieje możliwość dopasowania kąta opasania poprzez zastosowanie koncentratora magnetycznego. Oddziaływanie koncentratora pozwala na zwiększenie momentu zaczepowego, oraz obrotowego. Powiększona energia magnesów stałych pozwala na jej wykorzystanie zarówno do generowania momentu obrotowego, jak i powiększenia momentu zaczepowego.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny silnika 6/12 biegunowego

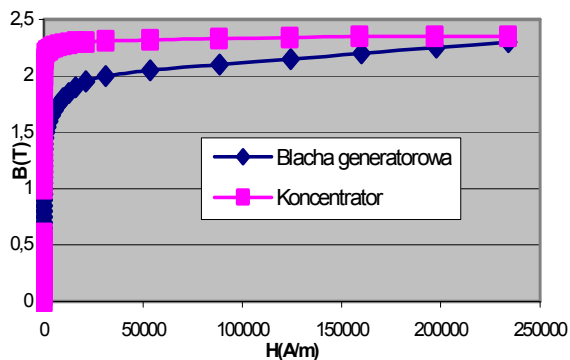
W artykule wykorzystano wyniki innych badań autorów nad możliwością zwiększania momentu zaczepowego w konstrukcji tego rodzaju. W rozpatrywanej konstrukcji wzięto pod uwagę oddziaływanie koncentratora (K na rys.1) na zwiększanie momentu zaczepowego.

Powierzchnia nabiegunnika stojana wynika z założeń konstrukcyjnych i zależy od wielu czynników. Powierzchnia nabiegunnika wirnika

w silniku z magnesami stałymi powinna być skorelowana z wielkością nabiegownika stojana. Ze względu na rozproszenie strumienia przenikającego z wirnika do stojana ograniczona jest szerokość magnesów stałych umieszczonych w wirniku. Jeżeli magnes będzie szerszy (na rys. 1 - 28mm), zwiększy się strumień rozproszenia magnesu stałego.

Można wykazać pozytywny wpływ zastosowania koncentratora magnetycznego. Ze względu na jego funkcję koncentrator może być wykonany z materiału o podwyższonej przewodności magnetycznej oraz o zwiększonej indukcji nasycenia nawet do 2,35 T. Tego rodzaju właściwościami charakteryzują się materiały o podwyższonej zawartości kobaltu z domieszką wanadu. (na rys.1 koncentrator zaznaczono strzałką). Zastosowanie materiału o podwyższonej permeancji oraz wysokim poziomie nasycenia (jak na wykresie z rys. 2)

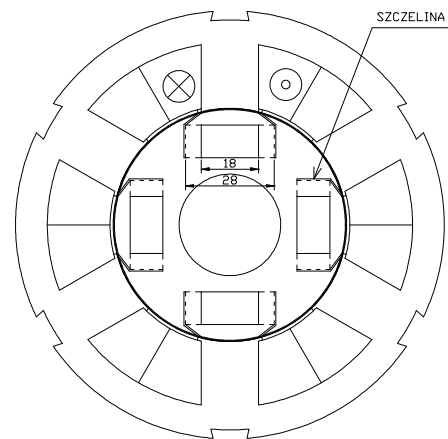
Przy powiększaniu magnesu stałego umieszczonego w wirniku, dopasowanie kąta opasania nabiegownika wirnika będzie skuteczniejsze przy połączeniu oddziaływania koncentratora razem z uformowaniem strumienia poprzez zastosowanie szczeliny powietrznej wokół magnesu stałego.



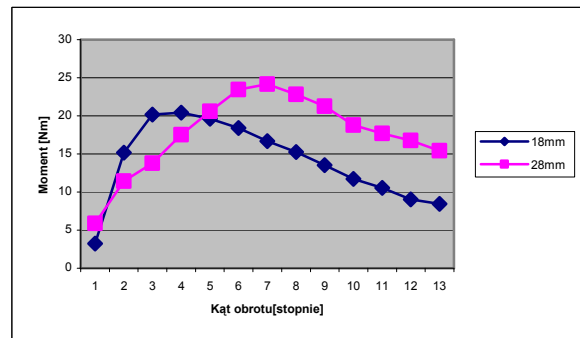
Rys. 2. Charakterystyka magnesowania blachy silnika oraz koncentratora

Wpływ na moment zaczepowy ma również kąt opasania wirnika [3]. Idea jego zwiększania przy użyciu koncentratora przedstawiona jest na rysunku 3, a jego oddziaływanie na wykresie 4.

Dodatkowo jego działanie można zwielokrotnić poprzez ukierunkowanie strumienia w stronę nabiegownika stojana poprzez wprowadzenie szczeliny powietrznej wokół magnesu stałego, zmniejszającej strumień rozproszenia zarówno magnesu, jak i koncentratora.



Rys.3. Przekrój silnika z magnesami stałymi gdzie M jest magnesem stałym o szerokości 18 lub 28 mm, wraz ze szczeliną powietrzną wokół magnesu



Rys. 4. Wykres zależności momentu statycznego wirnika w funkcji kąta obrotu dla różnych szerokości magnesów wirnika

Metodyka modelowania

Symulację wykonano w oparciu o Metodę Elementów Skończonych. Analizowany obszar podzielono na 2×10^5 elementów trójkątnych w przestrzeni 2D. Do obliczeń wykorzystano program narzędziowy przy uwzględnieniu zerowych warunków brzegowych. Szczególną uwagę zwrócono na obszary wrażliwe wokół szczeliny powietrznej badanego silnika, na ostrych i przewężonych elementach obwodu magnetycznego. Zastosowanie właściwego podziału przestrzeni na elementy trójkątne w szczelinie powietrznej pozwala na symulację obrotu wirnika bez konieczności każdorazowego procesu generowania siatki w całym modelu.

Symulację komputerową przeprowadzono w oparciu o Metodę Tensorów dla równania Maxwella [2], [7]. Składowa normalna tej siły działającej na promieniu r wytwarza moment elektromagnetyczny.

$$\vec{F} = \int_C \left[\frac{1}{\mu_0} B(\vec{B} \cdot \vec{n}) - \frac{1}{2\mu_0} B^2 \cdot \vec{n} \right] dC \quad (1)$$

$$T = r * F_t \quad (2)$$

Wielkości i wartości występujące we wzorach (1) i (2) oznaczają:

B - chwilowe wartości obwodowego rozkładu indukcji w szczeliny B [T],

n – jednostkowy wektor składowej normalnej prostopadłej do powierzchni wirnika,

μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [H/m]

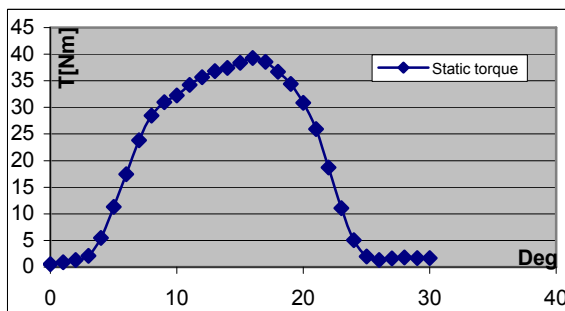
F- siła [N]

T- moment obrotowy [Nm]

Wielkość momentu wyliczana jest ze wzoru (2) przy uwzględnieniu promienia badanego wirnika oraz składowej siły działającej na powierzchnię wirnika prostopadłej do jego promienia.

Wyniki symulacji

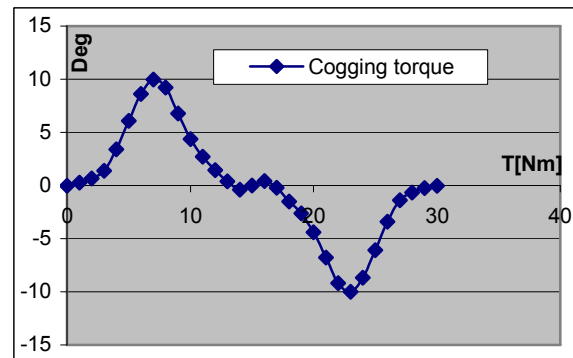
Wyniki symulacji przedstawiono na rys.5. Symulacji dokonano dla kąta obrotu od 0° do 30°. Mały dla niewielkich kątów moment obrotowy szybko się powiększa osiągając 39,28 Nm dla 15° kąta obrotu wirnika. Z wykresu wynika, że moment obrotowy dla kątów obrotu pomiędzy 5 a 25° jest bardzo duży, jednakże dla niewielkich kątów osiąga maksymalnie ok. 1,6 Nm. Moment rozruchowy w niekorzystnym przypadku jest niewielki, dlatego też silnik może wystartować jedynie przy niewielkim obciążeniu.



Rys. 5. Statyczny moment obrotowy w zależności od kąta obrotu

Autorzy dokonali również obliczeń momentu zaczepowego w badanym silniku. Wykres zależności momentu zaczepowego od kąta obrotu wirnika przedstawiono na rys. 6. Z wykresu wynika, że oddziaływanie momentu zaczepowego

na pozycjonowanie wirnika jest dość intensywne. Moment maksymalny wynosi 10,01 Nm i ma wyraźne maksimum dla 7 i 23°.



Rys.6. Zależność momentu zaczepowego od kąta obrotu wirnika

Z wykresu wynika również, że moment zaczepowy wyraźnie ustala pozycję wirnika, gdyż zbocza po obu stronach maksimum są ostro opadające. Pozycjonowanie wirnika co ok. 15° pozwala na stosunkowo precyzyjne pozycjonowanie. Zwiększenia precyzji można dokonać poprzez zwiększenie ilości nabiegunków lub zastosowanie przekładni.

Przy powiększaniu magnesu stałego umieszczonego w wirniku, dopasowanie kąta opasania nabiegunka wirnika będzie skuteczniejsze przy połączeniu oddziaływania koncentratora razem z uformowaniem strumienia poprzez zastosowanie szczeliny powietrznej wokół magnesu stałego.

Dotychczasowe badania wskazują możliwości osiągnięcia lepszych rezultatów poprzez choćby użycie szczeliny powietrznej jako elementu zmniejszającego strumień strat w wirniku. Autorzy planują dalszą pracę nad silnikiem o znacznie większym momencie obrotowym oraz większym momentem zaczepowym.

Literatura

- [1]. Kasper K., Fiedler J., Schmitz D., Doncker R., Noise Reduction Control Strategies for Switched Reluctance Drives, Vehicle Power and Propulsion Conference, 2006. VPPC'06. IEEE, 1-6
- [2] Flux 10 2D/3D applications, User guide - Vol. 3, 43-52.
- [3]. Szewczyk K., Guja A., Zmiana kąta opasania wirnika i jej wpływ na moment rozwijany przez silnik, Zesz. Nauk. Politechniki Częstochowskiej, nr 157, Elektrotechnika z.18 cz.1, 186-189.
- [4]. Szewczyk K., Golisz R., Znaczenie użycia koncentratora magnetycznego w obwodzie magnetycznym silnika synchronicznego ze stałymi Magnesami wewnątrz wirnika, Zeszyty Problemowe –

Maszyny Elektryczne BOBRME KOMEL, nr 91/2011, s. 5-7, Rytro 2011r.

[5]. Kazuaki Nakata, Kenji Hiramoto, Masuayuki Sanada, Sigeo Morimoto, Yoji Takeda *Noise reduction for switched reluctance motor with a hole. PCC – Osaka 2002.*

[6]. Information – *VACuumshmelze, Rare-Earth Permanent Magnet Materials, VACODYM®, VACOMAX®*

[7]. Meeker D., *Finite Element Method Magnetic V3.1 User Manual 2001.*

Autorzy

dr inż. Krzysztof Szewczyk
Politechnika Częstochowska
Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa
E-mail: szewczyk500@gmail.com

mgr inż. Rafał Golisz
ul. Polskiej Organizacji Wojskowej
42-200 Częstochowa
E-mail : rafalgolisz@o2.pl