

*silnik synchroniczny, magnesy trwałe, rozruch bezpośredni
modelowanie polowo-obwodowe*

Tomasz ZAWILAK*

WPLYW OSADZENIA MAGNESU NA PARAMETRY SILNIKA MAGNETOELEKTRYCZNEGO O ROZRUCHU BEZPOŚREDNIM

Na drodze obliczeń polowo-obwodowych zbadano wpływ osadzenia magnesu na właściwości silnika synchronicznego o rozruchu bezpośrednim (LSPMSM) wzbudzanego magnesami trwałymi. Przebadano trzy warianty różniące się wielkością szczeliny między magnesem a rdzeniem wirnika. Wyznaczając przebieg *sem* podczas biegu jałowego określono wpływ szczeliny na amplitudę pierwszej harmonicznej napięcia indukowanego. Dla badanych konstrukcji wyznaczono charakterystyki elektromechaniczne oraz określono wpływ szczeliny na znamionową sprawność oraz współczynnik mocy.

1. WSTĘP

Koszt energii wytraconej w trakcie eksploatacji silnika prądu przemiennego znacznie przekracza cenę jego zakupu. Z tego powodu występuje tendencja do ciągłego podnoszenia sprawności silników elektrycznych. Ciekawą alternatywę dla najbardziej rozpowszechnionych silników indukcyjnych stanowi silnik synchroniczny wzbudzany magnesami trwałymi przystosowany do rozruchu poprzez bezpośrednie przyłączenie do sieci (ang. *Line Start Permanent Magnet Synchronous Motor*). Konstrukcja tego typu posiada najczęściej magnesy płytkowe umieszczone poniżej klatki rozruchowej w odpowiednio przygotowanych otworach. Wymiar otworu na magnes musi być większy od wymiarów magnesu, wykonywanych z gwarantowaną tolerancją $\pm 0,1$ mm. Ze względu na proces pakietowania wirnika otwór na magnes jest zwykle wykonany z mniejszą tolerancją, której wartość zależy od technologii danego zakładu. Pomiędzy magnesem trwałym a żelazem wirnika powstaje szczelina. W maszynach małej mocy grubość tej szczeliny może być porównywalna z gru-

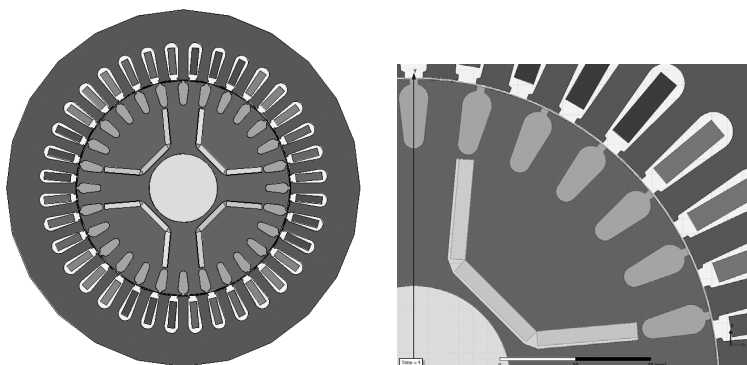
* Politechnika Wroclawska, Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, 50-372 Wrocław, ul. Smoluchowskiego 19, e-mail: tomasz.zawilak@pwr.wroc.pl

bością szczeliny pomiędzy stojanem a wirnikiem, może zatem wpływać na parametry silnika LSPMSM, takie jak współczynnik mocy, sprawność czy przeciążalność momentem. W znacznej części prac dotyczących projektowania silników LSPMSM szczelina magnesu nie jest uwzględniana [1–4] lub nie jest przedstawione ujęcie ilościowe zagadnienia.

Celem niniejszej pracy jest analiza wpływu szczeliny na magnes na właściwości eksploatacyjne maszyny typu LSPMSM.

2. OPIS MODELU

Model czterobiegunowego silnika o mocy 2 kW (400 V, 3,7 A) zbudowano za pomocą oprogramowania Maxwell 2D (Ansys Corp). W celu jak najbardziej wiernego zamodelowania zjawisk wybrano typ rozwiązania „transient”, pozwalający na modelowanie pracy maszyny przy wymuszeniu napięciowym, z jednoczesnym uwzględnieniem ruchu. Geometrię modelu przedstawiono na rysunku 1. Obliczenia wykonano dla trzech wariantów, różniących się grubością szczeliny magnesu (0,0; 0,2 oraz 0,4 mm). Wielkość szczeliny powietrznej pomiędzy stojanem a wirnikiem wynosiła 0,25 mm zaś grubość magnesu 2 mm.



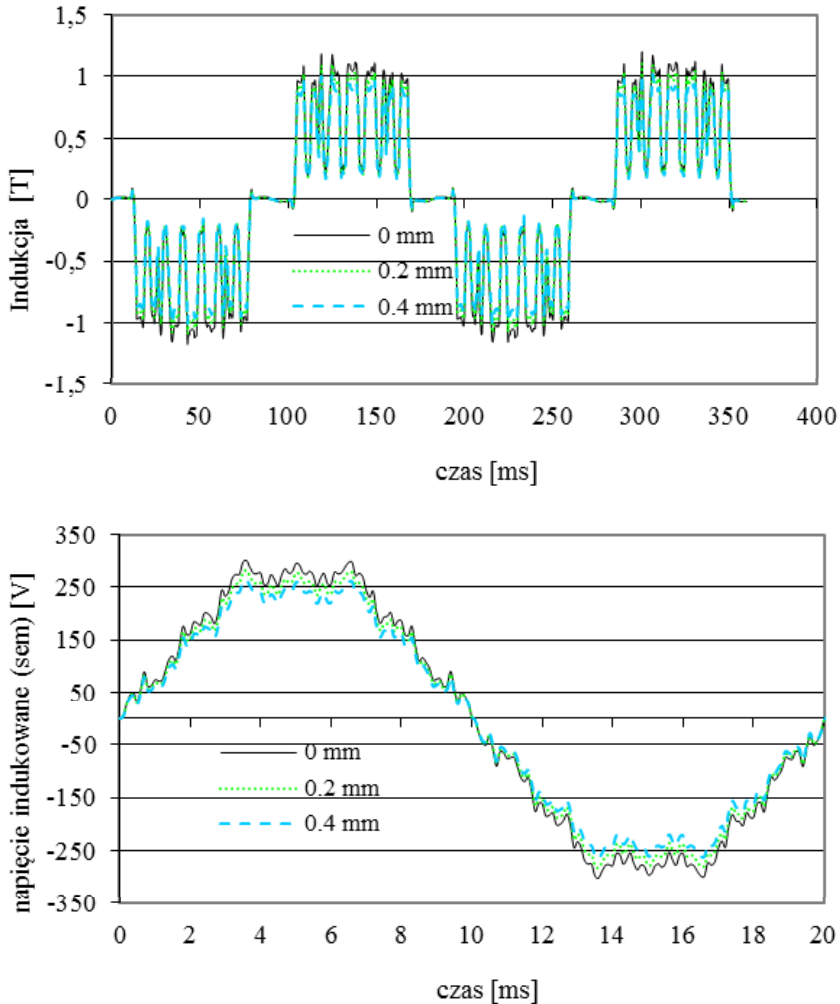
Rys. 1. Geometria części polowej rozpatrywanego modelu silnika LSPMSM
Fig. 1. Geometry of studied LSPMSM construction

3. WYNIKI BADAŃ

3.1. STAN BEZPRĄDOWY

Szczelina powietrzna pomiędzy magnesem a magnetowodem stanowi dodatkowy opór magnetyczny dla strumienia wytwarzanego przez magnesy. Z tego powo-

du jej zwiększanie powoduje obniżenie indukcji w szczelinie, co jest widoczne na rysunku 2. Powoduje to tym samym odpowiednie zmniejszenie napięcia indukowanego w uzwojeniu (rysunek 2). Wartość sem obniża się o 7% w przypadku szczeliny 0.2 mm oraz o 13% dla szczeliny 0.4mm w porównaniu do modelu idealnego.

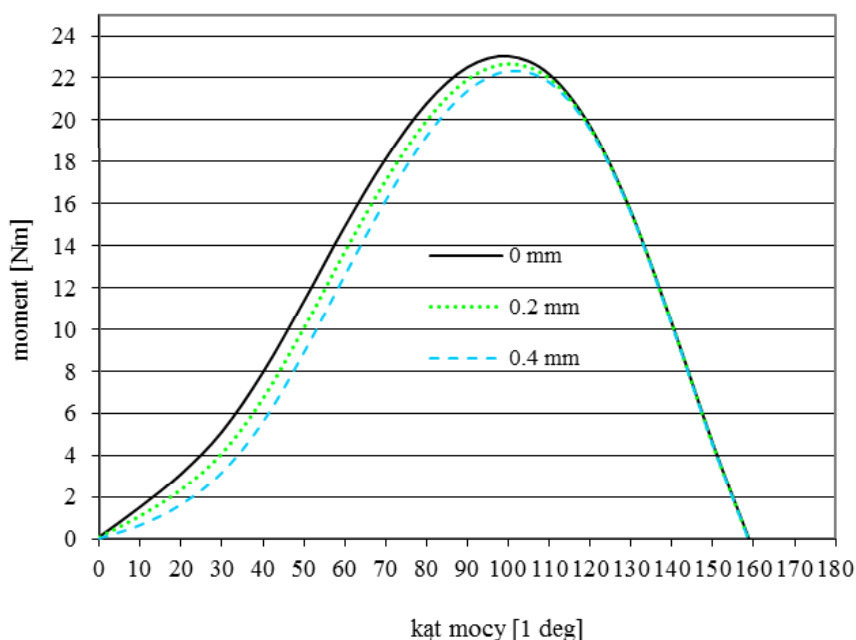


Rys. 2. Obwodowy rozkład indukcji w szczelinie powietrznej oraz przebieg napięcia indukowanego dla badanych wariantów konstrukcji silnika LSPMSM

Fig. 2. Air gap flux distribution and back EMF waveform of studied LSPMSM models

3.2. STAN OBCIĄŻENIA

Zakładając wymuszenie napięciowe wykonano obliczenia dla stanu obciążenia maszyny LSPMSM. Poszczególne punkty pracy uzyskano poprzez zmianę początkowego położenia wirnika, co odpowiada zmianom kąta mocy. Przeprowadzone obliczenia dla stanu pracy synchronicznej pozwalają na wyznaczenie zależności momentu obrotowego od kąta mocy badanych modeli maszyn z magnesami trwałymi (rysunek 3). Można zauważyć, że zwiększanie szczeliny magnesu trwałego powoduje nieznaczne zmniejszenie momentu synchronicznego dla tego samego kąta mocy. Zjawisko to jest naturalną konsekwencją obniżania się *sem* od magnesów trwałych.

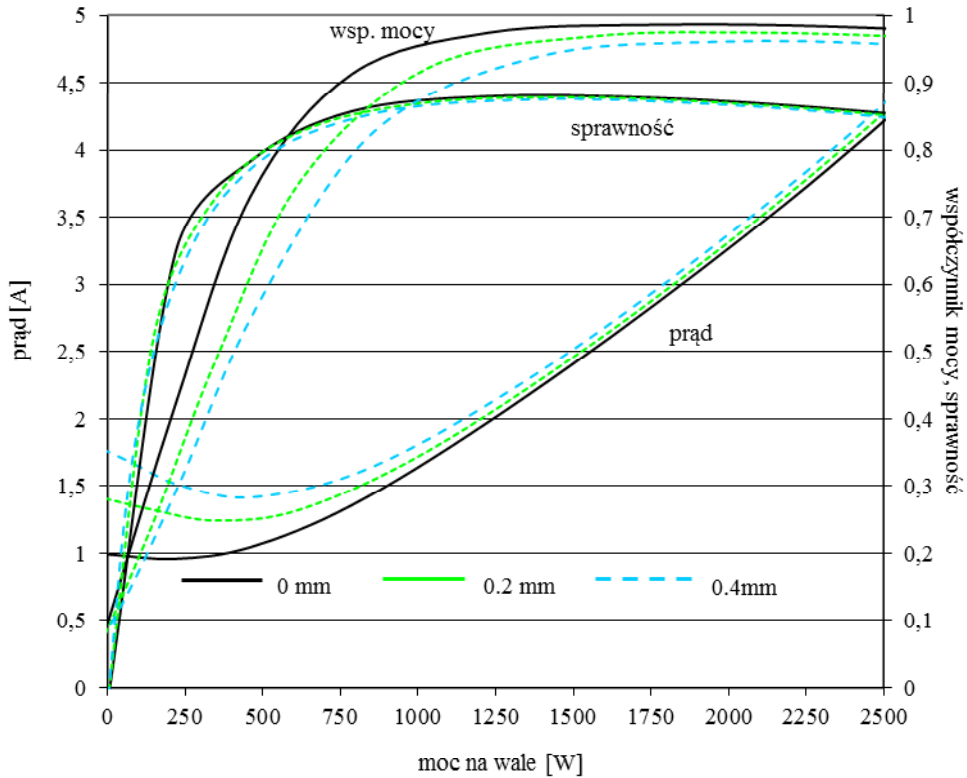


Rys. 3. Charakterystyka kątowa $M = f(\nu)$ badanych konstrukcji silnika LSPMSM

Fig. 3. Torque vs. load angle for studied LSPMSM models

Wyznaczono charakterystyki elektromechaniczne (obciążenia) dla rozpatrywanych wariantów silnika LSPMSM. Wyniki obliczeń w postaci skutecznej wartości prądu twornika, współczynnika mocy oraz sprawności w funkcji mocy na wale przedstawiono na rysunku 4. Zgodnie z oczekiwaniami zwiększanie szczeliny powietrznej na magnes powoduje pogorszenie parametrów eksploatacyjnych silnika LSPMSM. Obniżeniu ulega współczynnik mocy, szczególnie w zakresie obciążeń mniejszych od 50%

mocy znamionowej. Dla biegu jałowego przy szczelinie 0,4 mm można zaobserwować prawie dwukrotny wzrost prądu pobieranego z sieci.



Rys. 4. Charakterystyka elektromechaniczna dla badanych konstrukcji silnika LSPMSM
Fig. 4. Full load characteristics for studied LSPMSM models.

4. WNIOSKI

Przeprowadzone badania potwierdzają konieczność uwzględniania w procesie projektowania silników LSPMSM szczeliny powietrznej pomiędzy magnesem a magnesowodem. Dla małych maszyn szczelina ta może stanowić znaczący udział oporu magnetycznego, co prowadzi do kilkunastoprocentowego spadku strumienia magnetycznego wytwarzanego przez magnesy trwałe. W konsekwencji rośnie znacząco prąd biegu jałowego, obniżeniu ulega współczynnik mocy oraz nieznacznie przeciążalność momentem. Aby utrzymać założone parametry należy na etapie projektowania skorygować wymiary magnesów.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010–2013 jako projekt badawczy POIG.01.01.02-00-113/09.

LITERATURA

- [1] JAZDZYNSKI W., BAJEK M., *Modeling and bi-criterial optimization of a Line Start Permanent Magnet Synchronous Machine to find an IE4 class high-efficiency motor*. ICEM 2010, Proceedings, Italy (Rome), Sept. 6–8, 2010, pp. 1–6.
- [2] KNIGHT A.M., MCCLAY C.I., *The design of high efficiency line-start motors*, IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 36, Iss. 6, Nov.–Dec. 2000, pp. 1555–1562.
- [3] KURIHARA K., RAHMAN M.A., *High efficiency Line-start interior permanent magnet synchronous motor*. IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 40, No. 3, 2004, pp. 789–796.
- [4] LIBERT F., SOULARD J., ENGSTROM J., *Design of a 4-pole line start permanent magnet synchronous motor*, ICEM 2002, Proceedings, Belgium, Aug. 25–28, 2002, paper no. 153.

THE INFLUENCE OF AIR GAP FOR MAGNET ON LINE START PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR PERFORMANCE

The paper deals with the influence of magnet air gap on parameters of Line Start Permanent Magnet Synchronous Motor. To examine this phenomena time stepping finite element model was built. Three models with different magnet's air duct are considered. There are shown calculation results such as flux density distribution and back EMF waveform at no load. It is noticed that magnet air duct causes back emf decrease up to 13%. Moreover it also leads to lower power factor and higher no load line current.