

WYBRANE PROBLEMY SILNIKÓW INDUKCYJNYCH SYNCHRONIZOWANYCH Z MAGNESAMI TRWAŁYMI (LSPMSM)

STRESZCZENIE

Artykuł stanowi zestawienie i zbiorczą analizę części publikacji dotyczących silników synchronicznych z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim (ang. LSPMSM). Omawiane będą modele, które mają magnesy umieszczone wewnątrz wirnika – typ „Buried”. Zestawienie ma na celu między innymi wskazanie cech wspólnych wielu różnych odmian maszyny spotykanych w literaturze. Wyniki opublikowanych prac pozwalają na wyciągnięcie pewnych wniosków dotyczących sposobu projektowania kształtu i rozmieszczenia magnesów w wirniku. Zebrane i porównane zostały również metody analitycznego modelowania tego typu konstrukcji.

Słowa kluczowe: silnik synchroniczny z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim, LSPMSM, wysoka sprawność, projektowanie

SELECTED PROBLEMS OF LINE START PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MACHINES (LSPMSM)

The paper presents a summary and complex analysis of a part of publications concerning synchronous motors with permanent magnets with line-start capability (LSPMSM). Models, in which permanent magnets are placed inside the rotor, so called "Buried" type, are discussed. The purpose of the comparison is, among other things, to point out some properties, that connect various types of the machine's geometry, one can find in professional literature. Results of tests performed in publications allow to draw some conclusions about the way of designing shape and placing permanent magnets in rotor. Methods of analytical modelling of this kind of construction are also gathered and compared.

Keywords: line-start permanent magnet synchronous machine, LSPMSM, high efficiency, designing

1. WSTĘP

Silnik indukcyjny synchronizowany z magnesami trwałymi LSPMSM (*Line Starting Permanent Magnet Synchronous Machine*) to twór stosunkowo nowy, którego rozwój postępuje wraz z ewolucją materiałów magnetycznych twardych. Zastosowanie magnesów ziem rzadkich NdFeB sprawia, że maszyny z magnesami trwałymi osiągają coraz lepszą wydajność. Wzrasta również odporność magnesów na temperaturę oraz korozję, co przez długi czas stanowiło przeszkodę w ich szerszym stosowaniu. Maszyny z magnesami charakteryzują się dużą sprawnością, można w nich ponadto uzyskać współczynnik mocy bliski jedności [5]. W dobie poszukiwań oszczędności energii elektrycznej fakt ten powoduje, że zainteresowanie takimi konstrukcjami rośnie. Silnik LSPMSM ma dodatkową zaletę, jaką jest możliwość rozruchu przez bezpośrednie podłączenie do sieci, dzięki klatce rozruchowej – podobnie jak w silniku indukcyjnym. Dzięki temu maszyna nie ma szczotek ani pierścieni ślizgowych, które stwarzają pewne problemy eksploatacyjne, nie wymusza również na użytkowniku stosowania dodatkowych układów rozruchowych. Wydaje się, że jedyną przeszkodą w rozpowszechnieniu konstrukcji silnika synchronicznego z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim jest jego stosunkowo duży koszt, którego większa część jest wynikiem stosowania drogich materiałów magnetycznych. Coraz to niższe ceny magnesów powodują jednak, że LSPMSM może stopniowo wypierać silnik indukcyjny o mniejszej sprawności (a więc większych kosztach użytkowania).

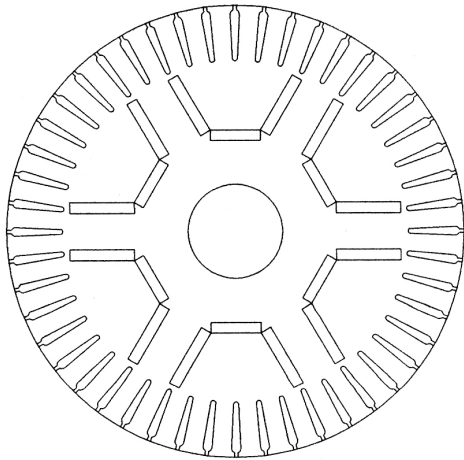
Maszyny z magnesami trwałymi są od dłuższego czasu wykonywane jako silniki małych mocy, niewielkich rozmiarów. Dzięki prostej budowie i niewielkim gabarytom znalazły zastosowanie w takich dziedzinach jak motoryzacja oraz narzędzia elektryczne. Dynamiczny rozwój materiałów magnetycznych twardych sprawia jednak, że budowane są coraz większe silniki. Przykładem jest tutaj silnik LSPMSM o mocy 1120 kW, skonstruowany w Chinach [10].

2. PROJEKTOWANIE LSPMSM

Pierwszym krokiem w analizie silników z magnesami trwałymi jest określenie ich rozmiarów oraz rozmieszczenia, w zależności od żądanego strumienia w szczelinie powietrznej. Rodzaj użytego materiału magnetycznego twardego decyduje o rozmiarze i ilości magnesów. Konieczne jest, przynajmniej z pewnym przybliżeniem, oszacowanie warunków pracy magnesu, może bowiem dojść do jego rozmagnesowania w wyniku wysokiej temperatury bądź zbyt dużego natężenia pola odmagasowującego. Ze względów mechanicznych należy zapewnić w blachach wirnika mostki z żelaza, które zapewnią spójność konstrukcji i umożliwią przeniesienie momentu elektromagnetycznego na wał maszyny. Wszystkie te czynniki powodują, że projektant musi znaleźć kompromis pomiędzy żądanymi cechami elektrycznymi maszyny a jej właściwościami mechanicznymi.

* Doktorant na Wydziale EAIiE Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

L. Lefevre, J. Soulard, H.-P. Nee w artykule [1] z 2000 roku przedstawili sposób na projektowanie krok po kroku silnika z magnesami w kształcie przedstawionym na rysunku 1.



Rys. 1. Wirnik LSPMSM analizowany w pracy [1]

Za kryteria doboru parametrów modelu zostały przyjęte sprawność, właściwości rozruchowe oraz zdolność do synchronizacji. Zamieszczone zostały wzory analityczne na harmoniczne indukcji w szczelinie, potwierdzone z dobrą zgodnością za pomocą programu do obliczeń metodą elementów skończonych.

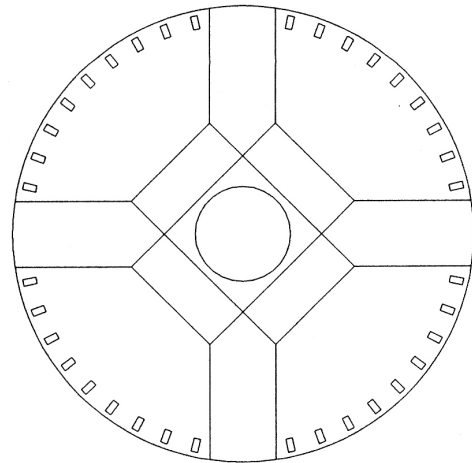
Podobna tematyka została podjęta później w artykule [8] z 2002 roku, którego autorami są F. Libert, J. Soulard, J. Engström. Został tam zamieszczony algorytm opisujący sposób projektowania maszyn synchronicznych z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim, zastosowany do silnika o mocy 75 kW, a także analityczny model dynamiczny silnika LSPMSM. Przeprowadzono dokładną analizę własności rozruchowych oraz momentu w stanie synchronicznym. Obliczenia zostały potwierdzone metodą elementów skończonych przy pomocy programu Flux 2D.

Rok później, czyli w roku 2003, F. Libert, J. Soulard przedstawili artykuł [11], w którym zawarli zmodyfikowany algorytm projektowania PMSM (*Permanent Magnet Synchronous Motor*), zastosowany do kilku różnych konstrukcji silnika z magnesami trwałymi. Przedmiotem analizy były typy: magnesy naklejone na wirnik (Surface Mounted), włożone w wycięte luki po zewnętrznej stronie (Inset) oraz wewnątrz wirnika (Burried), a także kształt „V” wewnątrz wirnika (V-Shape Burried). Nie została uwzględniona klatka istniejąca w LSPMSM, jednak przedstawiono wnioski dotyczące sposobu efektywnego kształtowania oraz umiejscowienia w wirniku magnesów trwałych.

Wielkość i położenie magnesów trwałych jest w pewien sposób determinowana przez stan pracy z prędkością synchroniczną, natomiast rozmiary klatki przez stan rozruchu i dochodzenia do prędkości synchronicznej. Wzajemne ułożenie magnesów i klatki decyduje jednak o takich wielkościach jak wahania momentu powodujące hałas generowany przez maszynę czy też wielkość strumienia rozproszenia magnesów odpowiedzialnego za zmniejszenie strumienia użytecznego w szczelinie powietrznej.

3. SYNCHRONIZACJA

W momencie zbliżania się prędkości maszyny do synchronicznej, moment synchronizujący powoduje „wciągnięcie” w stan pracy synchronicznej. Może się jednak okazać, że w wyniku zbyt małego momentu, silnik nie będzie w stanie dojść do stanu ustalonego. Taką sytuację przeanalizował T.J.E. Miller w pracy [4] z 1983 roku. Przedstawił wyniki analizy modelu z rysunku 2 we współrzędnych dq .



Rys. 2. Wirnik LSPMSM analizowany w pracy [4]

T.J.E. Miller skupił się głównie na własnościach rozruchowych modelu oraz jego zdolności do synchronizacji. Zamieszczone zostały m.in. charakterystyki momentu oraz prędkości przy dochodzeniu do prędkości synchronicznej, a także warunki, przy których synchronizacja jest możliwa. Obliczenia analityczne zostały potwierdzone eksperymentalnie, na rzeczywistym silniku.

Moment synchronizujący jest określony zależnością

$$T_S = \frac{EV}{X_d} \sin \delta - \frac{V^2}{2} \left[\frac{1}{X_d} - \frac{1}{X_q} \right] \sin 2\delta.$$

Pierwszy człon równania odpowiada za moment wytwarzany przez magnesy i jest zależny od ich wielkości, położenia oraz materiału (reprezentowany przez siłę elektromotoryczną E przez nie indukowaną), natomiast drugi – za moment reluktancyjny (pochodzący od niesymetrii magnetycznej wirnika, a więc zróżnicowania reaktancji X_d i X_q). Wartość maksymalna momentu T_S to tzw. moment zaczepowy, decydujący o przeciążalności maszyny.

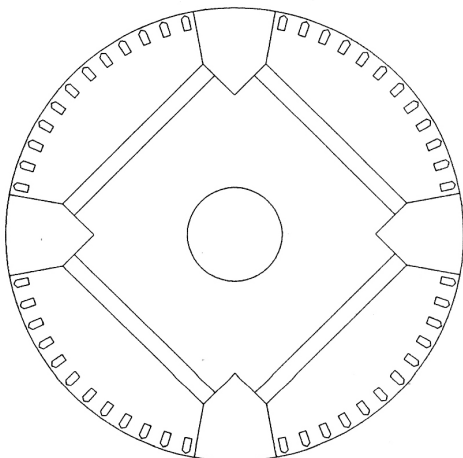
Lepsza synchronizacja ma miejsce przy udziale magnesu z materiału o większej energii magnetycznej, a więc takiego, który w czasie obrotu indukuje większe napięcie w otwartym obwodzie twornika. Duży wpływ ma również rezystancja klatki, która powinna być w miarę możliwości minimalizowana.

Miller wysnuł również wniosek o wyższości silnika LSPMSM od reluktancyjnego synchronicznego (SRM) pod względem własności rozruchowych.

Problemy z synchronizacją zostały również przeanalizowane przez zespół: F. Libert, J. Soulard i J. Engström [8]. Ich zdaniem mogą one wystąpić w wyniku zbyt dużej wartości momentu hamującego pochodzącego od magnesów, jak również zbyt dużej bezwładności wirnika czy też zbyt dużej rezystancji klatki w połączeniu ze zbyt małymi magnesami trwałymi. Teza ta została potwierdzona przez charakterystyki rozruchowe otrzymane na podstawie modelu analitycznego, którego parametry zostały wyliczone przez program do obliczeń polowych.

4. PORÓWNANIE WŁASNOŚCI LSPMSM Z RÓŻNYMI MATERIAŁAMI MAGNESÓW TRWAŁYCH

E. Richter, T.W. Neumann w pracy [2] z września 1984 roku porównali dwa magnesy: samarowo-kobaltowy oraz ferrytowy, w zastosowaniu do modelu jak na rysunku 3.

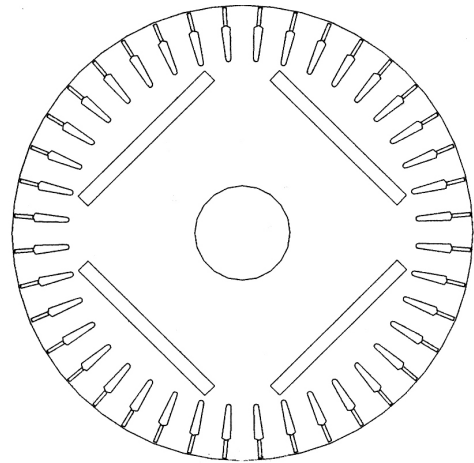


Rys. 3. Wirnik LSPMSM analizowany w pracy [2]

Model analityczny w wersji z SmCo został zweryfikowany za pomocą rzeczywistej maszyny. Zostały przedstawione wzory analityczne na siłę elektromotoryczną indukowaną przez magnesy oraz moment w stanie pracy synchronicznej. Wnioskiem analizy jest, że korzystniejsze, ze względu na osiągi maszyny, jest zastosowanie lepszego materiału magnetycznego, jakim jest SmCo.

W publikacji [3] M.A. Rahman oraz A.M. Osheiba, przedstawili silnik, z dwoma wirnikami o różnych materiałach magnetycznych – SmCo₅ oraz NdFeB (Neomax – 30H), wykonany dla modelu jak na rysunku 4.

Analitycznie wyznaczono, a następnie potwierdzono eksperymentalnie charakterystyki momentu, współczynnika mocy i iloczynu współczynnika mocy i sprawności dla stanu pracy synchronicznej. Na podstawie modelu analitycznego został zasymulowany rozruch maszyn, z którego wyniknęło znacznie korzystniejsze zastosowanie materiału NdFeB – również ze względu na moment hamujący od magnesów (*breaking torque*).



Rys. 4. Wirnik LSPMSM analizowany w pracy [3]

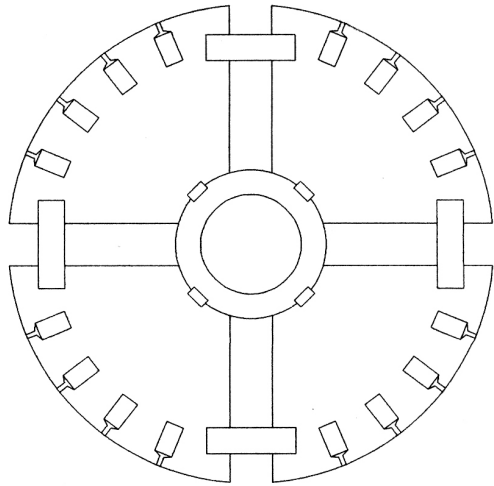
5. MODEL LSPMSM I METODY JEGO WYZNACZANIA

Ważnym krokiem w projektowaniu LSPMSM jest wyznaczenie modelu analitycznego bądź zamodelowanie konstrukcji w programie do obliczeń metodą elementów skończonych. Często okazuje się, że do otrzymania pełnego modelu analitycznego konieczne jest zastosowanie tej właśnie metody, z powodu trudności w określeniu takich wielkości jak rozkład indukcji w szczeliny, strumienia generowanego przez magnesy czy wreszcie reaktancji synchronicznych X_d i X_q [8]. Niekiedy obliczenia metodą elementów skończonych są przydatne do weryfikacji modelu analitycznego, np. do sprawdzenia czy nie doszło do zbyt dużego nasycenia w pewnych miejscach maszyny i przez to straty w żelazie nie przekroczyły akceptowalnego poziomu.

W literaturze istnieje kilka modeli analitycznych silnika LSPMSM. Ze względu na fakt istnienia w wirniku stałego strumienia magnetycznego pochodzącego od magnesów, podobnie jak w maszynie synchronicznej z uzwojeniem wzbudzenia, wygodnie jest posługiwać się transformacją Parka. Znaczna większość modeli analitycznych prezentowanych w literaturze jest opisana właśnie we współrzędnych dq , natomiast do wyznaczenia ich parametrów jest wykorzystywana metoda elementów skończonych.

W pracy [3] z 1990 roku M.A. Rahman i A.M. Osheiba wyprowadzili i dokładnie objaśnili model analityczny silnika LSMPSM. Magnes trwały został tu potraktowany jako uzwojenie zasilane prądem stałym, a więc przedstawiony jako prąd i reaktancja magnesująca. Podany został sposób analityczny wyznaczania reaktancji synchronicznych d i q , uwzględniający nasycenie żelaza.

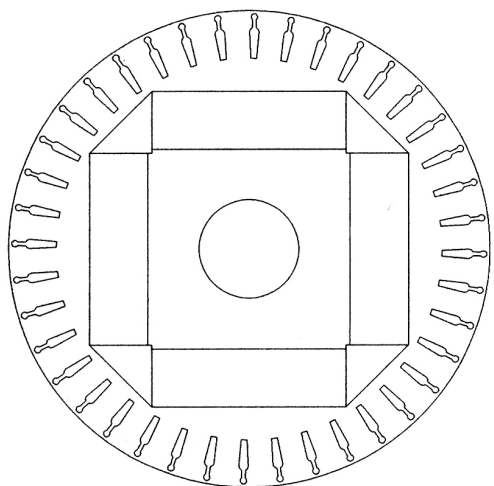
Artykuł [5] z 2004 roku, którego autorami są K. Kurihara i M.A. Rahman, zawiera metodę analizy silnika LSPMSM. Zaproponowany został algorytm postępowania krok po kroku, z użyciem wzorów analitycznych oraz metody elementów skończonych, prowadzący do wyznaczenia właściwości dynamicznych maszyny, z uwzględnieniem tłumienia. Został wykonany prototyp silnika jak na rysunku 5, którego pomiary charakterystyk zostały skonfrontowane z modelem, dając bardzo dobre rezultaty.



Rys. 5. Wirnik LSPMSM analizowany w pracy [5]

Wykreślono m.in. charakterystyki prądu i prędkości od czasu, kształt siły elektromotorycznej indukowanej przez magnesy, zachowanie silnika przy sterowaniu $U/f = \text{const}$. Porównanie LSPMSM z silnikiem indukcyjnym podsumowano wnioskiem o znacznie lepszych właściwościach utworzonej konstrukcji.

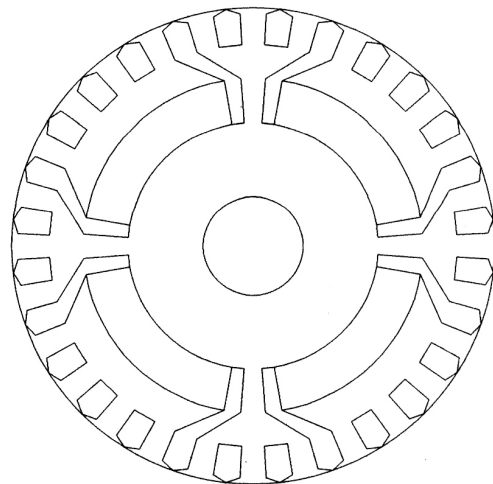
D. Pavlík, V.K. Garg, J.R. Repp i J. Weiss zademonstrowali [6] w 1988 roku nową metodę wyznaczania reaktancji synchronicznych X_d i X_q , uwzględniającą efekt nasycenia. Zostały one otrzymane z energii magnetycznej za pomocą metody elementów skończonych. Poprawność nowej techniki została potwierdzona na modelu silnika indukcyjnego, przez porównanie z wzorami analitycznymi. Następnie omawiana metoda została zastosowana dla silnika LSPMSM jak na rysunku 6.



Rys. 6. Wirnik LSPMSM analizowany w pracy [6]

Na podstawie otrzymanych reaktancji X_d i X_q (zależnych od rozmiarów magnesów trwałych) można określić własności maszyny. W związku z tym została podana metodyka postępowania dla określenia wymiarów magnesów.

T.J.E. Miller, M. Popescu, C. Cossar, M. McGilp i J.A. Walker w publikacji z 2003 roku [7] podali metodę wyznaczania momentu LSPMSM, opartą na wykresie fazowym $\psi(i)$, otrzymaną za pomocą metody elementów skończonych. Metoda ta umożliwia również wyznaczenie parametrów modelu analitycznego LSPMSM (X_d , X_q , E_0), jednak według autorów jest bardziej uniwersalna – pozwala na analizę nie tylko przy przebiegach sinusoidalnych (jak klasyczna metoda wykresów fazowych). Wyniki porównane są z wartościami uzyskanymi eksperymentalnie dla silnika jak na rysunku 7.



Rys. 7. Wirnik LSPMSM analizowany w pracy [7]

Jednym z parametrów modelu analitycznego, którego wyznaczenie nasuwa pewne trudności, jest strumień Ψ_M w szczeliny powietrznej pochodzący od magnesów trwałych obecnych w wirniku. Jest on potrzebny do skonstruowania pełnego modelu analitycznego silnika LSPMSM. Sposób na jego analityczne oszacowanie można znaleźć w rozprawie doktorskiej T. Heikkilä [9]. Zostały tam wykonane pewne założenia upraszczające, które dla badanej konstrukcji zostały potwierdzone za pomocą metody elementów skończonych.

6. WŁASNE BADANIA NAD SILNIKAMI LSPMSM

Własne badania konstrukcji silników z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim obejmują między innymi takie zagadnienia jak sposób rozmieszczenia magnesów w wirniku oraz kształt klatki. W pracy [12] zostało wykonane porównanie konstrukcji z magnesami wewnątrz wirnika, ułożonymi w kształt liter U oraz W (typy „U” i „W”). Wyniknął z niego wniosek o lepszych właściwościach typu „U” pod względem momentu rozruchowego. Druga konstrukcja okazała się lepsza w stanie pracy z prędkością ustaloną synchroniczną, z powodu większej przeciążalności. Dalsze prace mają na celu optymalizację geometrii magnesów oraz klatki LSPMSM, w celu minimalizacji strumienia rozproszenia magnesów trwałych i maksymalizacji sprawności.

7. PORÓWNANIE SILNIKA LSPMSM Z INDUKCYJNYM

Maszyna synchroniczna z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim stanowi poważną konkurencję dla stosowanych powszechnie silników indukcyjnych w zastosowaniach takich jak pompy, wentylatory. Charakteryzuje się ona większą sprawnością, przez co jest tańsza w eksploatacji. Dokładne porównanie tych dwóch konstrukcji zostało przedstawione przez zespół: K. Kurihara i M.A. Rahman [5] w 2004 roku. Zaprojektowana i wykonana została maszyna o mocy 600 W, średnicy zewnętrznej stojana 128 mm i długości pakietu blach wirnika 70 mm. Porównanie z silnikiem indukcyjnym (MI) o podobnej mocy przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Porównanie silnika LSPMSM z asynchronicznym

Parametry	LSPMSM	MI
Prędkość obrotowa n [obr/min]	1500	1434
Napięcie zasilania V_i [V]	140	200
Moment T [Nm]	3,82	4,0
Sprawność η [%]	86,2	73,3
Współczynnik mocy pf.	0,986	0,688
Moc wejściowa P_i [W]	696	818
Moc wyjściowa P_o [W]	600	600
Produkt $\eta \times \text{pf}$. [%]	85,0	50,4
Maksymalna moc wyjściowa $P_{o\max}$ [W]	1115	1240
Prąd rozruchowy I_r [A]	9,40	11,52

Prąd rozruchowy został zmierzony przy zasilaniu obydwu maszyn napięciem zmiennym 140 V i o częstotliwości 50 Hz. Jak widać, nawet przy obniżonym zasilaniu, prąd I_r silnika indukcyjnego jest większy o około 22%. Dla nominalnych warunków zasilania LSPMSM ma większą sprawność, współczynnik mocy bliski 1 oraz mniejszy prąd pobierany z sieci. Zachowuje przy tym wartość momentu T zbliżoną do silnika indukcyjnego. Niektóre wyniki porównania własności obu maszyn znajdują się również w pracach [12] i [13].

Z wyżej przedstawionego porównania wynika jasno, że zastąpienie silnika indukcyjnego maszyną LSPMSM o takiej samej mocy przyniosłoby znaczne oszczędności. Wynika to z dużej sprawności silnika z magnesami trwałymi, w którym podczas pracy z prędkością synchroniczną nie ma strat w wirniku wywołanych poślizgiem. Jediną wadą konstrukcji LSPMSM jest większy koszt wykonania, na który w głównej mierze wpływają drogie magnesy.

8. WNIOSKI

Właściwie we wszystkich omawianych konstrukcjach można zauważyć tendencję do minimalizowania strumienia rozproszenia magnesów trwałych. Objawia się to poprzez zbliżanie magnesów maksymalnie blisko szczeliny powietrznej lub klatki o małej, bliskiej powietrzu przenikalności magnetycznej, bądź też poprzez ograniczanie magnesów obszarami o podobnych do powietrza właściwościach magnetycznych. Dzięki tym zabiegom zwiększany jest strumień roboczy w szczelinie, oznaczający lepsze wykorzystanie stosunkowo drogiego materiału magnetycznego twardego. Odsunięcie magnesów od klatki prowadzi do konieczności stosowania barier dla strumienia, zapobiegających utracie części strumienia magnesów na odległości między magnesami a klatką. Brak takich barier mógłby doprowadzić do całkowitego zwarcia strumienia magnesów trwałych.

Do analizy silnika LSPMSM zostało użytych kilka modeli analitycznych. Istnieją w nich parametry takie, jak strumień wytwarzany przez magnesy czy też reaktancje synchroniczne X_d i X_q , które są wyznaczalne za pomocą obliczeń analitycznych. Jest to czaso- i pracochłonne, szczególnie w czasie projektowania, kiedy geometria modelu ulega zmianie. Z tego powodu wielu autorów decyduje się na wykorzystanie programu do obliczeń polowych do przyspieszenia procesu projektowania. Połączenie metody obwodowej z polową pozwala na stworzenie algorytmów, w których zmiennymi są najbardziej interesujące przez wzgląd na eksploatację parametry takie, jak sprawność czy zdolność do samorozruchu i synchronizacji.

Literatura

- [1] Lefevre L., Soulard J., Nee H.-P.: *Design procedure for line-start permanent magnet motors*. Proceedings of the IEEE Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics, NORpie 2000, Aalborg, Dania, 2000
- [2] Richter E., Neumann T.W.: *Line start permanent magnet motors with different materials*. IEEE Transactions on Magnetics, nr 20, t. 5, 1984, 1762–1764
- [3] Rahman M.A., Osheiba A.M.: *Performance of large line-start permanent magnet synchronous motors*. IEEE Transactions on Energy Conversion, nr 5, t. 1, 1990, 211–217
- [4] Miller T.J.E.: *Synchronization of line-start permanent-magnet AC motors*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, nr PAS-103, t. 7, 1984, 1822–1828
- [5] Kurihara K., Rahman M.A.: *High-efficiency line-start interior permanent-magnet synchronous motors*. IEEE Transactions on Industry Applications, nr 40, t. 3, 2004, 789–796
- [6] Pavlik D., Garg V.K., Repp J.R., Weiss J.: *A finite element technique for calculating the magnet*. IEEE Trans. Energy Conversion, nr 3, t. 1, 1988, 116–122
- [7] Miller T.J.E., Popescu M., Cossar C., McGilp M., Walker J.A.: *Calculating the interior permanent-magnet motor*: International Electric Machines and Drives Conference IEMDC'03, t. 2, 2003, 1181–1187
- [8] Libert F., Soulard J., Engström J.: *Design of a 4-pole line start permanent magnet synchronous motor*. Proceedings of the International Conference on Electrical Machines, ICEM 2002, Brugge, Belgia, 2002
- [9] Heikkilä T.: *Permanent magnet synchronous motor for industrial inverter applications – analysis and design*. Lappeenranta, Finlandia, Lappeenranta University of Technology, 2002 (rozprawa doktorska)

- [10] Zhao Q., Wang X., Yu S., Zhang D., An Z., Tang R.: *Study and design for large line-start permanent magnet synchronous motors*. Sixth International Conference on Electrical Machines and Systems ICEMS 2003, t. 1, 132–133, 9–11 listopada, Pekin (Beijing), Chiny, 2003
- [11] Libert F., Soulard J.: *Design Study of Different Direct-Driven Permanent-Magnet Motors for a Low Speed Application*. Journal Electromotion, nr 10, t. 4, 2003, 252–257
- [12] Jażdżyński W., Bajek M.: *Wybrane konstrukcje silników indukcyjnych synchronizowanych (LSPMSM) – analiza porównawcza*. Materiały konferencyjne XLII Międzynarodowego Sympozjum Maszyn Elektrycznych SME'06, 207–210, 3–6 lipca, Kraków, Polska, 2006
- [13] Bajek M.: *Analiza własności silnika indukcyjnego i asynchronicznego synchronizowanego metodą połową*. Kraków, Polska, Akademia Górniczo-Hutnicza, 2006 (praca dyplomowa magisterska)

Wpłynęło: 15.04.2007



Marcin BAJEK

Urodził się 27 stycznia 1982 roku w Sosnowcu. Ukończył IV Liceum Ogólnokształcące w Rzeszowie. Jest absolwentem kierunku elektrotechnika na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH. Aktualnie kontynuuje naukę na studiach doktoranckich na tym samym kierunku.

e-mail: martinbajek@yahoo.co.uk