

Paweł Zalas, Ludwik Antal

Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej

SILNIK SYNCHRONICZNY Z KOMPAKTOWYM WIRNIKIEM HYBRYDOWYM O ROZRUCHU BEZPOŚREDNIM

LINE START SYNCHRONOUS MOTOR WITH COMPACT HYBRID ROTOR

Streszczenie: Przedstawiono wybraną konstrukcję silnika synchronicznego małej mocy przeznaczonego do rozruchu bezpośredniego i napędzającego pompy lub wentylatory. Zbadano wpływ wartości całkowitego momentu bezwładności układu napędowego oraz rodzaju charakterystyki i wartości momentu obciążenia na przebiegi rozruchowe podstawowych wielkości elektromechanicznych. Wyznaczono również podstawowe parametry eksploatacyjne. Obliczenia wykonano za pomocą dwuwymiarowego połowo-obwodowego modelu maszyny, wykorzystując metodę elementów skończonych.

Abstract: The paper presents the design of the selected line start low-power synchronous motor, designed for drive pumps and fans. The influence of the resultant moment of inertia of the drive system and the characteristics and values of the load torque on waveforms of the basic quantities during starting has been investigated. The main operating parameters were also calculated. The calculations were performed using a two-dimensional field-circuit model of the machine, using the finite-element method.

Słowa kluczowe: maszyny elektryczne, magnesy trwałe, rozruch, synchronizacja, obliczenia MES

Keywords: electrical machines, permanent magnet, starting, synchronization, FEM calculation

1. Wstęp

Nowoczesne konstrukcje silników magneto-elektrycznych znajdują coraz szersze zastosowanie w układach napędowych różnego typu [1] oraz różnej mocy. Oprócz konstrukcji bazujących na technologii budowy typowego silnika indukcyjnego [4] projektowane są również maszyny o budowie hybrydowej wykorzystujące technologię proszkową [2]. Na fizyczne wykonanie takich konstrukcji pozwala technologia opracowana przez Instytut Tele-i Radiotechniczny z Warszawy [3]. Zastosowanie technologii proszkowej do wykonania rdzenia magnetycznego oraz magnesów, oprócz zwiększenia możliwości kształtowania geometrii obwodu magnetycznego ma na celu zmniejszenie liczby procesów technologicznych związanych z wytworzeniem gotowego produktu, a tym samym obniżenie sumarycznego kosztu produkcji maszyny. Zastosowanie magnesów hybrydowych pozwala zróżnicować parametry magnetyczne różnych ich fragmentów. Przez to można zwiększyć indukcję w szczeliny silnika, ukształtować sinusoidalną zmianę indukcji i zwiększyć odporność skrajnych obszarów magnesu na odmagnesowanie. Elementem wytwarzającym moment rozruchowy może być tuleja przewodząca osadzona na cylindrycznym rdzeniu wirnika z magnesami. Taką konstrukcją

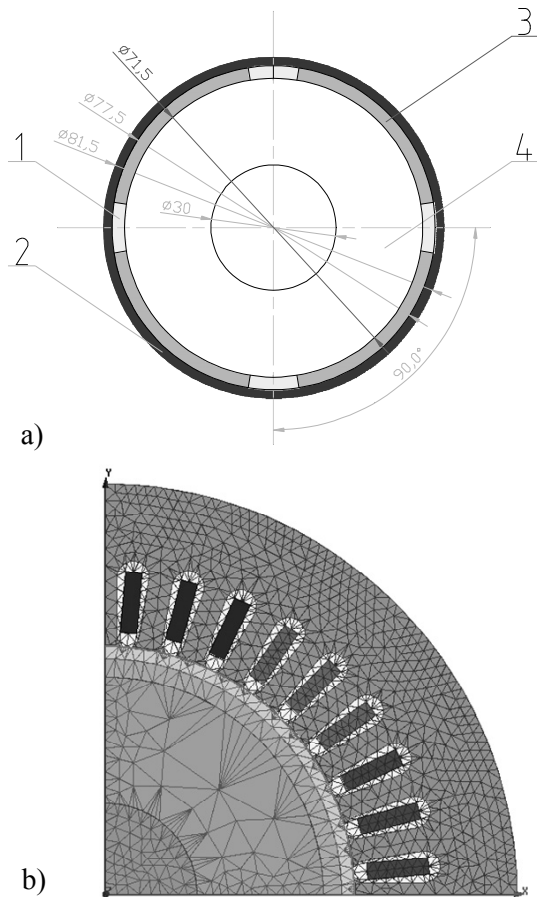
uzasadniają względy technologiczne. Dla silników o rozruchu bezpośrednim (LSPMSM) z wirnikiem pakietowanym z blachy elektrotechnicznej i z odlewaną klasyczną kłatką rozruchową, zwiększenie momentu początkowego i zdolności synchronizacji oraz jednoczesne osiągnięcie dobrych właściwości eksploatacyjnych stanu ustalonego jest trudne i zależy od wymiarów i materiału klatki. W przypadku rozpatrywanej konstrukcji hybrydowej występują podobne problemy i jest to ściśle związane z grubością i materiałem tulei rozruchowej oraz rodzajem, wielkością i rozmieszczeniem magnesów trwałych o budowie hybrydowej.

W artykule przedstawiono wyniki analizy numerycznej wpływu grubości oraz materiału tulei rozruchowej na właściwości rozruchowe oraz eksploatacyjne silnika synchronicznego małej mocy o kompaktowej budowie wirnika wzbudzanego magnesami trwałymi o konstrukcji hybrydowej, przeznaczonego do rozruchu bezpośredniego.

2. Badania symulacyjne

Dla analizy właściwości rozruchowych i eksploatacyjnych silnika synchronicznego z kompaktowym wirnikiem hybrydowym opracowano połowo-obwodowy model obliczeniowy silnika za pomocą oprogramowania Maxwell 2D (Ansys Corp). Przyjęto, że część magnetowodu

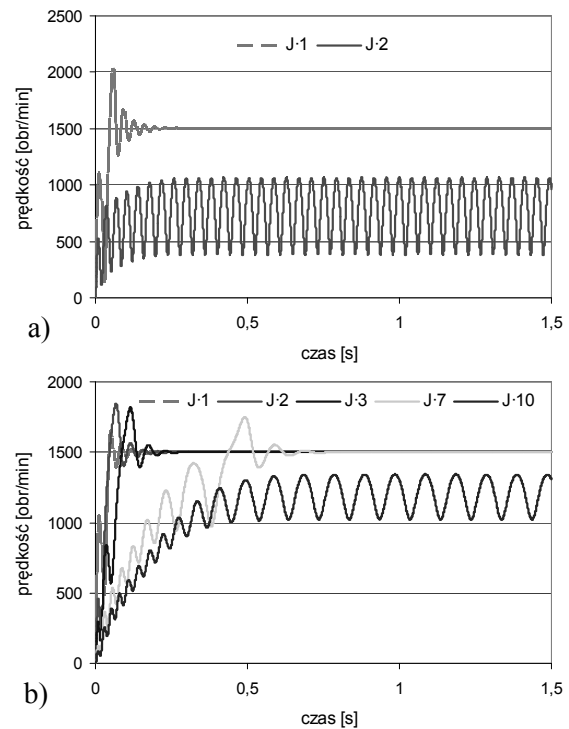
magnetycznie miękka (rys.1a-4) jest wykonana z proszku żelaza Somaloy 500, a magnesy hybrydowe złożone są z silniejszego magnesu neodymowego o parametrach $H_c=909000\text{A/m}$, $B_r=1,05\text{T}$ typu N42SH (rys.1a-3) oraz dielektrycznego magnesu wykonanego z proszku MQP-A o parametrach $H_c=404970\text{A/m}$, $B_r=0,6\text{T}$ (rys.1a-1). Elementem obwodu wirnika wytwarzającym moment rozruchowy jest tuleja (rys.1a-2) wykonana z miedzi lub aluminium, nasadzona na cylindryczny wirnik. Konstrukcję mechaniczną wirnika oraz fragment magneto-wodu wraz z siatką dyskretyzacyjną pokazano na rysunku 1b. W budowie rozpatrywanego silnika wykorzystano stojan i elementy konstrukcyjne silnika indukcyjnego typu Sh90L-4.



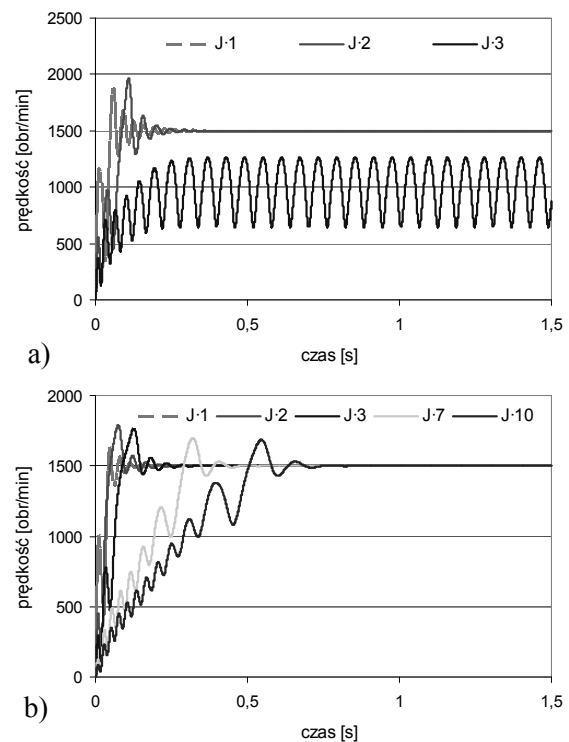
Rys. 1. Konstrukcja mechaniczna (a) oraz fragment magnetowodu z siatką dyskretyzacyjną (b) modelowanego silnika

Wykonano obliczenia procesu rozruchu badanej konstrukcji silnika. Przyjęto moment obciążenia o wartości $10,16\text{ N}\cdot\text{m}$ o charakterystyce wentylatorowej oraz moment stały (ile wynosi moment stały?) i uwzględniono różną grubość

oraz różny materiał tulei wytwarzającej moment rozruchowy.

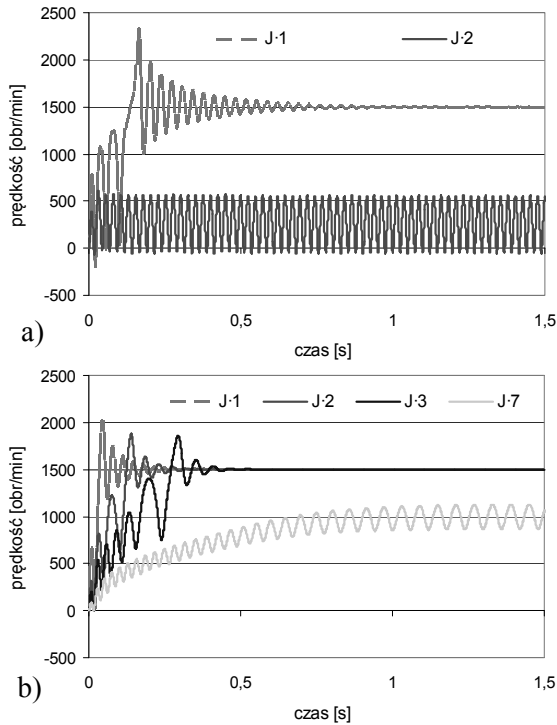


Rys. 2. Przebiegi prędkości podczas rozruchu silnika z tuleją aluminiową o wysokości 1mm (a) oraz 3mm (b) i momentu obciążenia o charakterystyce wentylatorowej

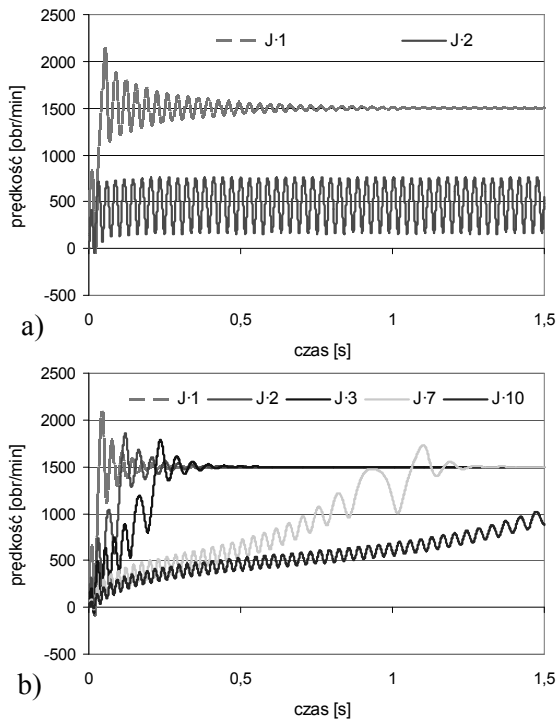


Rys. 3. Przebiegi prędkości podczas rozruchu silnika z tuleją miedzianą o wysokości 1mm (a) oraz 3mm (b) i momentu obciążenia o charakterystyce wentylatorowej

Obliczenia wykonano dla różnych krotności momentu bezwładności wirnika wynoszącej $J = 0,0029 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$. Wyniki obliczeń pokazano na rysunkach 2–5.



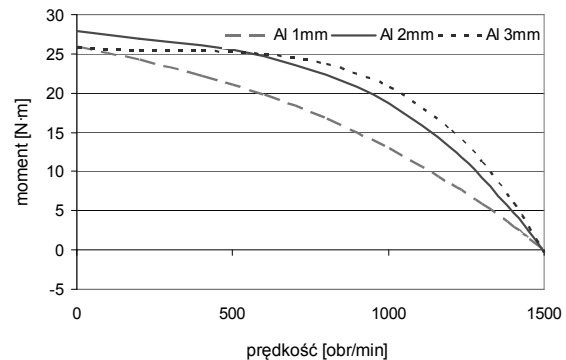
Rys. 4. Przebiegi prędkości podczas rozruchu silnika z tuleją aluminiową o wysokości 1mm (a) oraz 3mm (b) i stałego momentu obciążenia



Rys. 5. Przebiegi prędkości podczas rozruchu silnika z tuleją miedzianą o wysokości 1mm (a) oraz 3mm (b) i stałego momentu obciążenia

Niezależnie od zastosowanego materiału przewodzącego tulei o wysokości 1mm (rys. 2a, 3a, 4a, 5a) właściwości rozruchowe silnika są bardzo ograniczone. Zwiększenie grubości tulei do 3mm znacznie poprawia właściwości rozruchowe, a w przypadku zastosowania jako materiału miedzi skuteczny rozruch i synchronizacja może być dokonana dla bezwładności układu napędowego 10-cio krotnie większej niż bezwładność samego wirnika.

Dla wyznaczenia charakterystyki mechanicznej wykonano serię obliczeń dla stałych prędkości obrotowych wirnika zmieniając ich wartość parametrycznie. Moment elektromagnetyczny obliczono jako wartość średnią z przebiegu momentu w funkcji czasu. Wyznaczono również poszczególne składowe momenty asynchronicznego. Moment pochodzący od tulei rozruchowej został obliczony poprzez zamodelowanie zerowego strumienia hybrydowych magnesów trwałych. W obliczeniach przyjęto, że w miejscu magnesów znajduje się materiał o właściwościach magnetycznych próżni. Przykładowe wyniki obliczeń momentu asynchronicznego pochodzącego od tulei aluminiowej dla różnej jej grubości pokazano na rysunku 6.

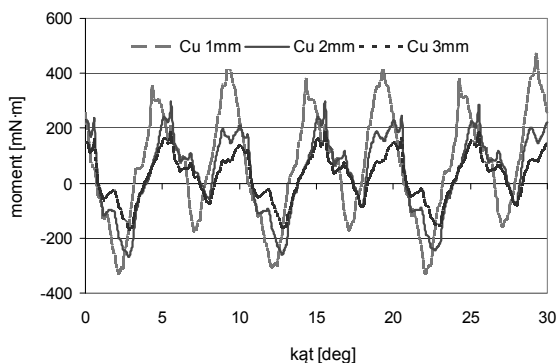


Rys. 6. Przebiegi momentu asynchronicznego od tulei przewodzącej (tuleja aluminiowa)

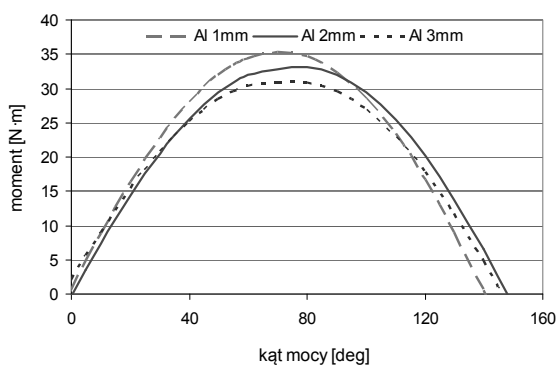
Zwiększenie grubości tulei rozruchowej z 1 do 2mm spowodowało zwiększenie momentu rozruchowego silnika. Dalsze powiększenie jej grubości do 3mm nie wywołało dalszego powiększenia momentu rozruchowego, ale zmieniło przebieg momentu asynchronicznego.

Zmiana grubości tulei wpływa również na właściwości eksploatacyjne silnika. Można to zauważyć na przykładzie obliczonego przebiegu momentu zaczepowego w funkcji położenia wirnika dla badanej konstrukcji silnika LSPMSM. Wyniki badań zostały przedstawione na rysunku 7. Dla obu materiałów tulei wraz ze zwiększeniem jej grubości maksymalne warto-

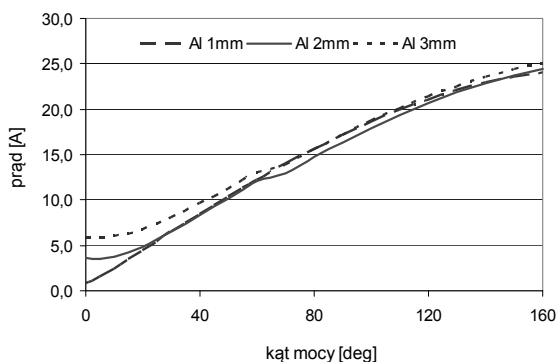
ści momentu zaczepowego ulegają zmniejszeniu, co jest bezpośrednim następstwem odsunięcia magnesów i powiększenia szczeliny powietrznej między magnesami a stojanem.



Rys. 7. Przebiegi momentu zaczepowego w funkcji położenia wirnika (tuleja miedziana)



Rys. 8. Charakterystyka kątowna $M=f(\alpha)$ silnika LSPMSM z tuleją aluminiową



Rys. 9. Prąd pobierany z sieci w funkcji kąta mocy dla silnika LSPMSM z tuleją aluminiową

Przeprowadzono obliczenia dla stanu pracy synchronicznej pozwalające na wyznaczenie zależności momentu obrotowego oraz prądu pobieranego z sieci w funkcji kąta obciążenia badanego modelu maszyn z magnesami hybrydowymi. Wykresy tych charakterystyk dla rozpatrywanego modelu silnika LSPMSM przedstawiono na rysunkach 8 oraz 9. Przebiegi wy-

znaczonych charakterystyk są typowe dla tego typu maszyn. Na podstawie obliczonych charakterystyk można stwierdzić, że zwiększenie grubości tulei rozruchowej powoduje zmniejszenie przeciążalności statycznej silnika dla obu przyjętych materiałów tulei. Wzrasta natomiast wartość prądu pobieranego przez silnik z sieci.

3. Wnioski

Analizowana konstrukcja silnika LSPMSM charakteryzuje się niską wartością maksymalnego momentu zaczepowego co jest następstwem braku zębowania wirnika. Poprawę właściwości rozruchowych oraz zmniejszenie pulsacji momentu podczas pracy ustalonej można uzyskać przez zwiększenie grubości tulei rozruchowej. Dzieje się to jednak kosztem właściwości eksploatacyjnych. Dla obu analizowanych materiałów przewodzących tulei rozruchowej i przyjętego kształtu, parametrów oraz wysokości magnesów hybrydowych najkorzystniejsze właściwości silnika zapewnia tuleja o grubości około 2 mm.

4. Literatura

- [1] Antal L., Zalas P.: *Soft and synchronous starting of low-power SMPMSM motor*. Przegląd Elektrotechniczny, nr 2b/2013, s. 173-176
- [2] Jędrzycka C., Nowak M., Radziuk K., Stachowiak D.: *Magnesy hybrydowe w silnikach synchronicznych o rozruchu własnym*. Materiały X Jubileuszowego Seminarium Naukowego Wybrane Zagadnienia Elektrotechniki i Elektroniki, 27-29 września 2012, Ustroń
- [3] Kapelski D., Jankowski B., Karbowski M., Przybylski M., Ślusarek B.: *Research of magnetic properties of hybrid composite elements*, Przegląd Elektrotechniczny, nr 5a/2012, s. 26-27
- [4] Zalas P.: *Magnesy trwale w wirniku silnika synchronicznego małej mocy*. Prace Nauk. IMNiPE PW. nr 65, Wrocław, 2011, s. 99-116

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy

POIG.01.01.02-00-113/09

Autorzy:

dr inż. Paweł Zalas
dr hab. inż. Ludwik Antal, prof. PWR
Politechnika Wrocławska,
Instytut Maszyn, Napędów
i Pomiarów Elektrycznych,
ul. Smoluchowskiego 19
50-372 Wrocław

Recenzent

dr inż. Paweł Idziak