

*jednofazowy silnik indukcyjny, jednofazowy silnik synchroniczny  
magnesy trwałe, rolety, markizy*

Maciej GWOŹDZIEWICZ\*, Jan ZAWILAK\*

## **DWUKIERUNKOWY JEDNOFAZOWY SILNIK SYNCHRONICZNY Z MAGNESAMI TRWAŁYMI**

W artykule przedstawiono konstrukcję dwukierunkowego jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim. W programie Maxwell wersja 16.0 zbudowano model połowo-obwodowy. Poddano analizie różne konstrukcje wirnika i ich wpływ na parametry silnika.

### **1. WSTĘP**

Dwukierunkowe jednofazowe silniki elektryczne są powszechnie stosowane w aplikacjach małej mocy (do 2 kW) wymagających ciągłej zmiany kierunku wirowania. Typowym zastosowaniem silników tego typu są rolety, bramy garażowe, markizy itp. Przykład takiego silnika indukcyjnego (w obudowanie przystosowanej do bezpośredniego montażu w wałku rolety wraz z przekładnią planetarną i kondensatorem pracy) pokazano na rysunku 1. Schemat elektryczny dwukierunkowego jednofazowego silnika prądu przemiennego pokazano na rysunku 2. Dwukierunkowy jednofazowy silnik prądu przemiennego charakteryzuje się tym, że liczba zwojów uzwojenia głównego i pomocniczego stojana jest taka sama. Zmianę kierunku wirowania uzyskuje się przez przełączenie kondensatora do jednego lub drugiego pasma fazowego (rys. 2).

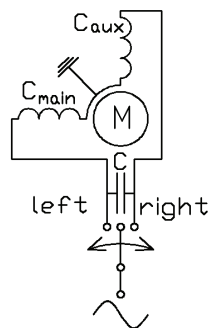
Silnik taki zasilany jest przewodem 4-żyłowym (2 żyły fazowe, 1 neutralna, 1 ochronna).

---

\* Politechnika Wroclawska, Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, 50-372 Wrocław, ul. Smoluchowskiego 19, maciej.gwozdziejicz@pwr.wroc.pl, jan.zawilak@pwr.wroc.pl



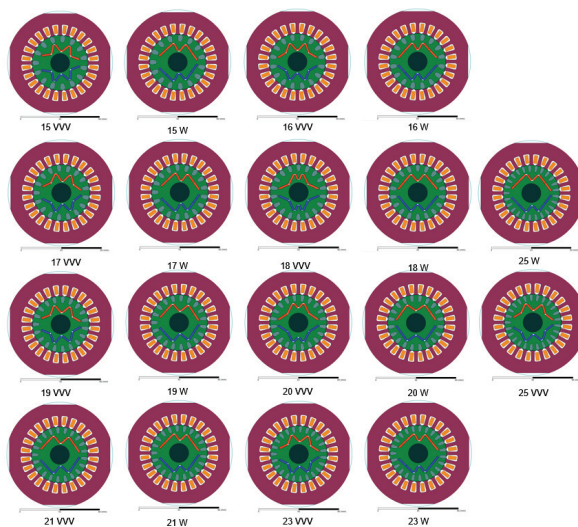
Rys. 2. Dwukierunkowy  
jednofazowy silnik indukcyjny  
przystosowany do montażu w rolcie



Rys. 3. Schemat elektryczny  
jednofazowego dwukierunkowego  
silnika prądu przemiennego

## 2. MODEL POŁOWO-OBWODOWY BADANEGO SILNIKA

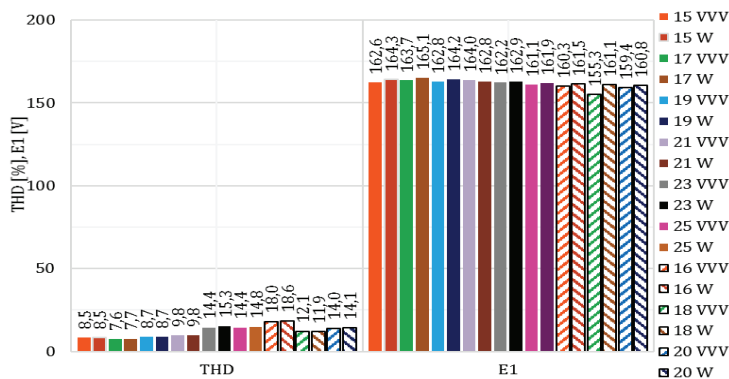
Wykorzystując program Maxwell wersja 16 opracowano dwuwymiarowe modele połowo-obwodowe dwukierunkowego jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim. Do budowy modeli wykorzystano konstrukcję mechaniczną oraz magnetowód stojana jednofazowego silnika indukcyjnego masowej produkcji typu SEh 80-2B o następujących danych znamionowych:  $P_n = 1,1$  kW,  $U_n = 230$  V,  $I_n = 7,0$  A,  $f_n = 50$  Hz,  $n_n = 2780$  obr./min. Wersje opracowanych modeli silników, których numer modelu oznacza liczbę zębów w wirniku, pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Modele symulacyjne  
dwukierunkowych jednofazowych  
silników synchronicznych z magnesami  
trwałymi o rozruchu bezpośrednim

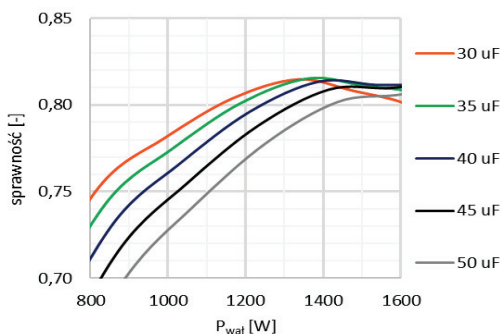
### 3. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH MODELI SILNIKÓW Z MAGNESAMI TRWAŁYMI

Wykorzystując opracowane modele polowo-obwodowe dwukierunkowych silników synchronicznych wykonano obliczenia i zbadano wpływ liczby żłobków wirnika i kształt magnesów trwałych na wartość SEM (wersja modelu) oraz współczynnik THD SEM. Wyniki obliczeń symulacyjnych pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Wpływ liczby żłobków wirnika (wersja modelu) oraz kształtu magnesów trwałych na SEM i współczynnik THD SEM dwukierunkowego jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi

Z przeprowadzonych badań symulacyjnych wynika, że najlepszym jest model silnika nr  $17W$ , w którym liczba żłobków wirnika  $Q_r = 17$  a magnesy trwałe ułożone są w kształcie  $W$ . Na uwagę zasługuje fakt, iż wirnik  $17W$  jest niesymetryczny a kąt elektryczny pomiędzy osiami biegunów  $\alpha_{el} \neq 180^\circ$ . Takie rozwiązanie korzystnie wpływa na współczynnik THD SEM indukowanej od magnesów trwałych.



Rys. 5. Wykres sprawności w funkcji obciążenia dwukierunkowego jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi dla różnych wartości pojemności kondensatora pracy

Następnie zbadano wpływ pojemności kondensatora pracy na właściwości silnika. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 5.

Z uzyskanych wyników obliczeń symulacyjnych wynika, że największą sprawność  $\eta_{\max} = 81,6\%$  dla  $P_2 = (0,9-1,0) P_n$  ma silnik z kondensatorem o pojemności kondensatora pracy  $C_{\text{run}} = 35 \mu\text{F}$ .

W tabeli 1 zestawiono wyniki obliczeń parametrów eksploatacyjnych dwukierunkowego jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi PMSM, z wirnikiem wg modelu 17W, i porównano je z fabrycznym silnikiem indukcyjnym jednofazowym.

Tabela 1. Porównanie dwukierunkowych jednofazowych silników indukcyjnego i synchronicznego

typ silnika		IM	PMSM
$P_n$	kW	1,1	1,5
$n_n$	obr./min	2780	3000
$\eta_n$	%	72,0	81,1
$\cos\varphi$	–	0,97	0,95
$I_n$	A	7,0	8,2

Na podstawie wyników zestawionych w tabeli 1 wynika, że dwukierunkowy jednofazowy silnik synchroniczny z magnesami trwałymi ma znacznie lepsze właściwości eksploatacyjne od odpowiadającemu mu dwukierunkowego jednofazowego silnika indukcyjnego. Należy zwrócić uwagę, że przez zastosowanie magnesów trwałych można uzyskać o ok. 36% większą moc znamionową w tym samym gabarycie silnika.

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie wykonanych badań symulacyjnych można stwierdzić, że możliwe jest zbudowanie dwukierunkowego jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi. W porównaniu z obecnie produkowanymi silnikami indukcyjnymi ma znacznie większą sprawność. Przez zastosowanie magnesów trwałych można uzyskać większą moc znamionową w tej samej objętości maszyny. Natomiast bardziej interesującym jest zmniejszenie objętości maszyny przy zachowaniu mocy znamionowej. Ma szczególne znaczenie dla dwukierunkowych napędów, w których silniki umieszcza się wewnątrz wałków z materiałem markizy lub pancierzem rolety.

## LITERATURA

- [1] ALIABAD A.D. MIRSALIM M., ERSHAD N.F., *Line-Start Permanent-Magnet Motors: Significant Improvements in Starting Torque, Synchronization, and Steady-State Performance*, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 46, Issue 12, 2010, 4066–4072.
- [2] FENG X., LIU L., KANG J., ZHANG Y., *Super premium efficient line start-up permanent magnet synchronous motor*, 2010 XIX International Conference on Electrical Machines (ICEM), Rome, Italy, 6–8 September 2010, 1–6.
- [3] GUANG Y., JUN M., JIAN-XIN S., YU W., *Optimal design and experimental verification of a line-start permanent magnet synchronous motor*, 2008, ICEMS 2008. International Conference on Electrical Machines and Systems, 2008, 3232–3236.
- [4] GWOZDZIEWICZ M., ZAWILAK J., *Single-phase line start permanent magnet synchronous motor rotor designing*, Przegląd Elektrotechniczny, 2013.
- [5] KURIHARA K., WAKUI G., KUBOTA T., *Steady-state performance analysis of permanent magnet synchr. motors including space harmonics*, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 30, No. 3, 1994.
- [6] LIANG F., LEE B. H., JUNG-PYO H., HYUK N., *Estimation of Magnet Reduction in Single-Phase Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motor*, Industry Applications Society Annual Meeting, 2009, IAS 2009, IEEE.
- [7] LIN D., ZHOU P., LAMBERT N., *Starting Winding Optimization in Single-Phase*, Electrical Machines (ICEM), 2010 XIX International Conference.
- [8] Popescu M., Miller T.J.E., mcgilp M.I., *Torque behavior of 1-phase permanent magnet AC motor, Energy Conversion*, IEEE Transactions on, Vol. 21, 2006.
- [9] YANG G., MA J., SHEN J.X., WANG Y., *Optimal design and experimental verification of a line-start permanent magnet synchronous motor*, ICEMS 2008, International Conference on Electrical Machines and Systems, 2008, 3232–3236.
- [10] ZHONG H., WANG X., WANG D., *Analysis and Design of a New Type High-efficiency Single-phase Induction Motor Based on Negative Sequence Magnetic Field Compensation*, Electrical Machines and Systems, 2008. ICEMS 2008.

## TWO-DIRECTIONAL SINGLE-PHASE SYNCHRONOUS MOTOR

The paper deals with constructions of two-directional two-pole single-phase line start permanent magnet synchronous motor. Circuit-field single-phase line start permanent magnet synchronous motor models were applied in Maxwell ver. 16 program. Various rotor constructions were taken into account. Influence of the rotor construction on the motor properties was examined.