

Maciej Gwoździewicz, Jan Zawilak
Politechnika Wroclawska, Wroclaw

PORÓWNANIE JEDNOFAZOWEGO SILNIKA INDUKCYJNEGO I JEDNOFAZOWEGO SILNIKA SYNCHRONICZNEGO Z MAGNESAMI TRWAŁYMI. BADANIA EKSPERYMENTALNE

COMPARISON OF SINGLE-PHASE INDUCTION MOTOR AND SINGLE-PHASE PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR. EXPERIMENTAL RESULTS

Streszczenie: Artykuł przedstawia porównanie jednofazowego silnika indukcyjnego i jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim. Silniki posiadają identyczne pakiety blach stojana i różne wirniki oraz uzwojenia stojana. Wyniki dotyczą badań eksperymentalnych.

Abstract: The paper deals with comparison of single-phase induction motor and single-phase permanent magnet synchronous motor. The motors have the same stator cores and different rotors and stator windings. The comparison is based on the experimental results.

Słowa kluczowe: silnik jednofazowy, silnik synchroniczny, magnesy trwałe, wysoka sprawność
Keywords: single-phase motor, synchronous motor, permanent magnets, high efficiency

1. Wstęp

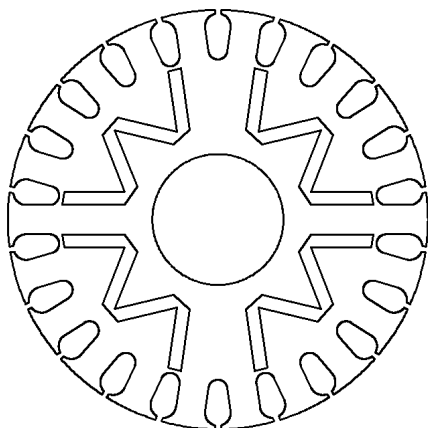
Norma IEC 60034 część 30 nakłada na producentów obowiązek produkowania silników elektrycznych o wymaganym minimalnym współczynniku sprawności. Ma to na celu obniżenie poboru energii elektrycznej przez zminimalizowanie strat pracujących silników elektrycznych. Obecnie norma ta obejmuje silniki elektryczne trójfazowe niskiego napięcia o mocy znamionowej od 0,75 do 75 kW oraz liczbie par biegunów $2p=2; 4; 6$. Nowy projekt ww. normy zakłada rozszerzenie zakresu mocy znamionowej obejmowanych silników elektrycznych do zakresu od 0,12 do 1000 kW, rozszerzenie liczby par biegunów do $2p=2; 4; 6; 8$ oraz objęcie silników wielofazowych, w tym silników jednofazowych.

Producenci maszyn elektrycznych w Polsce i na świecie wprowadzili do produkcji trójfazowe silniki o dużej sprawności, które spełniają wymagania normy IEC 60034. Ponieważ norma nie dotyczy silników jednofazowych to obecnie producenci tych maszyn nie zajmują się zagadnieniami sprawności tych maszyn. Obecnie produkowane jednofazowe silniki elektryczne nie spełniają wymaganego poziomu sprawności IE3, odpowiadającego silnikom trójfazowym. Należy zwrócić uwagę, że norma dotycząca silników jednofazowych ma obowiązywać do 1 stycznia 2017 roku.

W pracach [2, 8, 11] wykazano, że możliwe jest zbudowanie jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi, który ma znacznie większy współczynnik sprawności w porównaniu do odpowiadającego mu jednofazowego silnika indukcyjnego. Autorzy sądzą, że jednofazowe silniki z magnesami trwałymi z rozruchem bezpośrednim mogą być zastosowane w produkcji przemysłowej i będą spełniać wymagania normy dotyczące ich sprawności.

2. Konstrukcja jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi

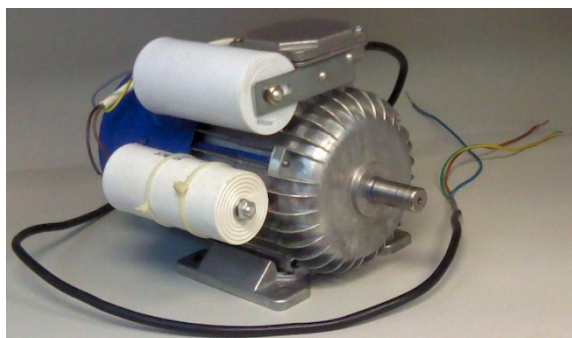
W programie Maxwell w. 14 zaprojektowano model polowo-obwodowy jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim (SPLSPMSM). W zaprojektowanym modelu silnika wykorzystano magnetowód stojana i konstrukcję mechaniczną jednofazowego silnika indukcyjnego (SPIM) typu SEh 80-4B o mocy $P_n=0,75$ kW o napięciu $U_n=230$ V. Do wzbudzenia wybrano magnesy neodymowe typu N38SH o indukcji remanencji $B_r=1,24$ T i natężeniu koercji magnetycznej $H_{cb}=990$ kA/m [1, 3 4, 5, 6, 7, 9, 10]. Przekrój zaprojektowanego magnetowodu wirnika przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przekrój blachy wirnika jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi

Z wyników obliczeń wynika, że faza główna uzwojenia może pozostać taka sama, natomiast w fazie pomocniczej uzwojenia stojana grupy należy połączyć równolegle.

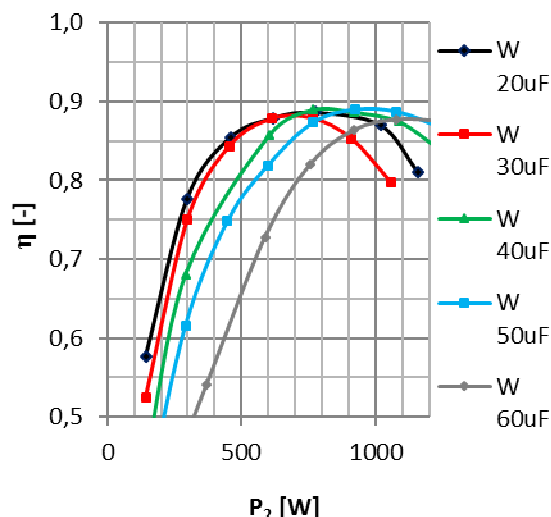
Widok modelu jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi z kondensatorami pracy i rozruchowym pokazano na rysunku 2.



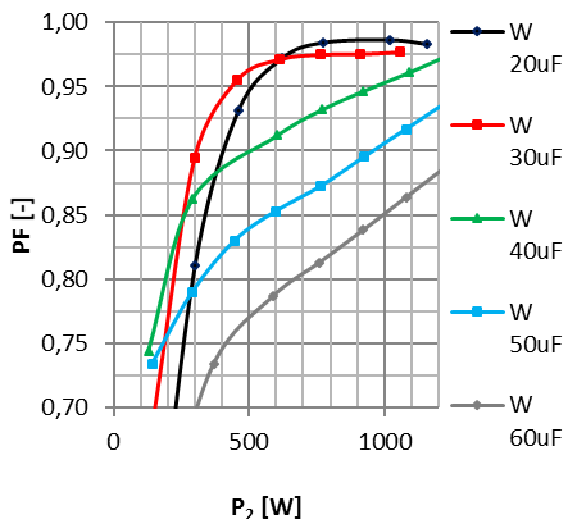
Rys. 2. Model jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim

3. Porównanie właściwości eksploatacyjnych silników SPLSPMSM oraz SPIM

W trakcie badań eksperymentalnych zbadano wpływ pojemności kondensatora pracy na właściwości eksploatacyjne silnika. Wyniki badań przedstawiono na rysunkach 3 i 4.



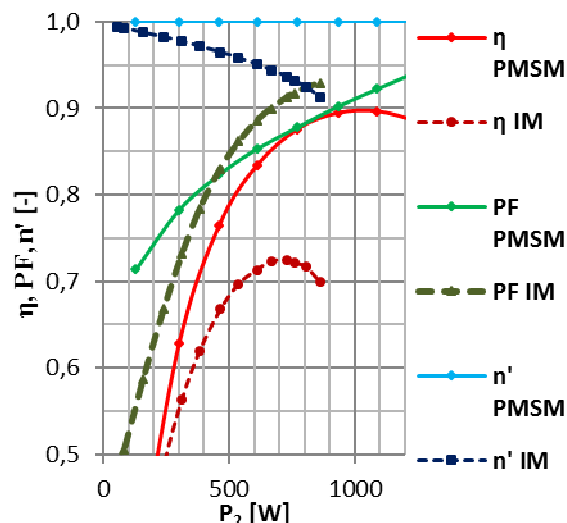
Rys. 3. Wpływ pojemności kondensatora pracy na przebieg krzywej sprawności jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi



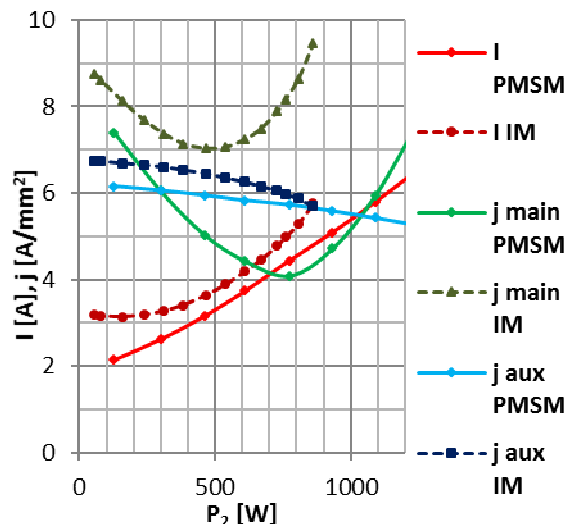
Rys. 4. Wpływ pojemności kondensatora pracy na przebieg krzywej współczynnika mocy jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi

Ze względów cieplnych wynika, że moc znamionowa badanego silnika wynosi $P_n=1,1$ kW natomiast optymalna wartość pojemności kondensatora pracy $C_{run}=50$ μ F.

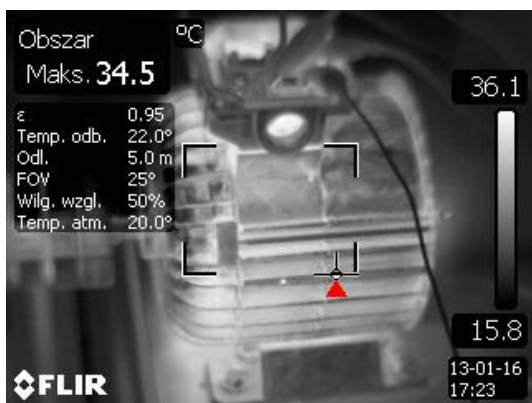
Oba modele silników: indukcyjny w wykonaniu fabrycznym i synchroniczny z magnesami przebadano, a wyniki pomiarów pokazano na rysunkach 5, 6, 7 oraz w tabeli 1.



Rys. 5. Porównanie wykresów pomiarów: prędkości, współczynnika mocy, sprawności silników SPLSPMSM oraz SPIM



Rys. 6. Porównanie wykresów pomiarów: prądów stojana, gęstości prądów uzwojenia głównego i gęstości prądów uzwojenia pomocniczego silników SPLSPMSM oraz SPIM



Rys. 7. Termogram silnika SPLSPMSM obciążonego mocą $P_n=1,1$ kW

Tab. 1. Zestawienie parametrów silników SPLSPMSM oraz SPIM otrzymanych z badań laboratoryjnych

| wielkość | jednostka | SPIM | SPLSPMSM |
|------------------------|-------------------|-------------|------------|
| P | W | 750 | 1100 |
| n | rpm | 1400 var | 1500 const |
| η | % | 72,5 | 89,5 |
| PF | - | 0,915 | 0,920 |
| I | A | 4,9 | 5,8 |
| j_{main} | A/mm ² | 8,1 | 6,0 |
| j_{aux} | A/mm ² | 6,2 | 5,4 |
| $\Delta T_{obudowa}$ | K | 45,3 | 20,3 |
| $\Delta T_{uzwojenie}$ | K | 51,5 | 26,3 |
| M_{max}/M_n | - | 1,34 | 1,37 |

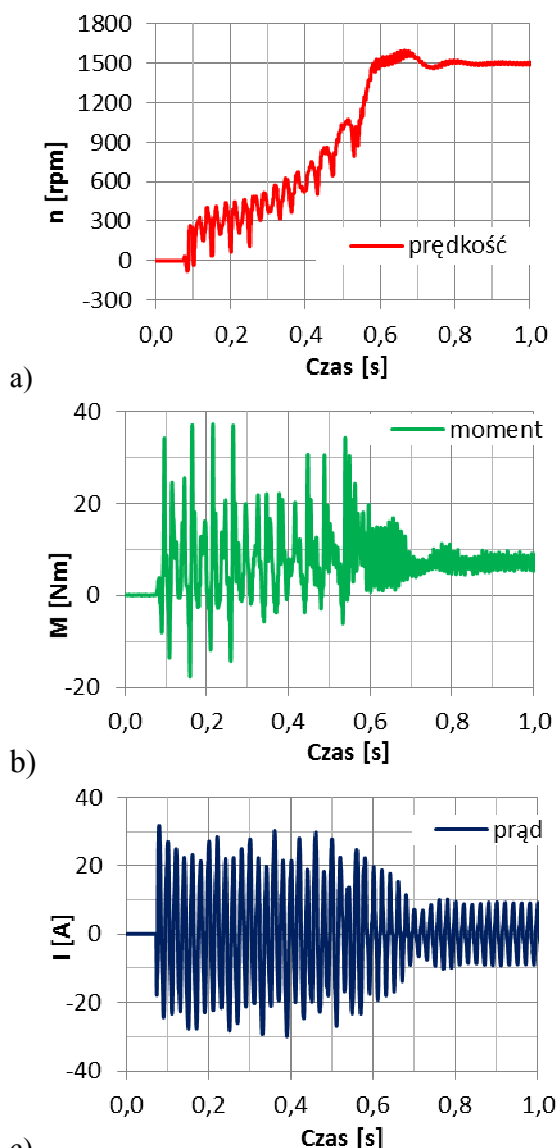
Z uzyskanych wyników badań wynika jednoznacznie, że jednofazowy silnik synchroniczny z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim (SPLSPMSM) ma znacznie lepsze właściwości eksploatacyjne niż odpowiadający mu jednofazowy silnik indukcyjny (SPIM). Moc znamionowa P_n jest większa o 47 %, a sprawność o 17 % uzyskiwane z tej samej objętości silnika. Wartości współczynników mocy obu silników są porównywalne. Ze względu na większą moc prąd pobierany przez silnik SPLSPMSM jest większy o 18 %, niż prąd w silniku SPIM, ale gęstości prądów w uzwojeniu fazy głównej i pomocniczej w silniku SPLSPMSM są mniejsze. Z wykonanych pomiarów cieplnych (rys. 7) wynika, że silnik z magnesami trwałymi SPLSPMSM ma znacznie mniejsze przyrosty temperatur uzwojenia stojana i obudowy silnika w porównaniu do silnika SPIM. Przeciężalność obu silników ma porównywalne wartości. Wartość przeciężalności momentem stanowiła główne ograniczenie mocy znamionowej silnika typu SPLSPMSM.

4. Właściwości rozruchowe silnika SPLSPMSM

Badania symulacyjne silnika SPLSPMSM wykazały, że do rozruchu tego typu silnika niezbędny jest kondensator rozruchowy o pojemności znacznie większej od pojemności kondensatora pracy. Jest to główną wadą silnika SPLSPMSM w porównaniu do silnika SPIM. Przed badaniami eksperymentalnymi założono,

że kondensator rozruchowy należy wyłączyć po synchronizacji np. przekaźnikiem czasowym. W trakcie badań eksperymentalnych okazało się, że w przypadku napędu urządzenia o charakterystyce wentylatorowej można zastosować wyłącznik odśrodkowy odłączający kondensator rozruchowy.

Przykładowy rozruch silnika SPLSPMSM z kondensatorem pracy $C_{run}=50\ \mu\text{F}$ oraz kondensatorem rozruchowym $C_{start}=100\ \mu\text{F}$ wyłączanym przez wyłącznik odśrodkowy pokazano na rysunku 8.



Rys. 8. Wykresy: a) prędkości, b) momentu, c) prądu w trakcie rozruchu silnika SPLSPMSM obciążonego momentem o charakterystyce wentylatorowej

5. Wnioski

Możliwe jest zbudowanie jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim (SPLSPMSM). Silnik tego typu ma znacznie lepsze właściwości eksploatacyjne od odpowiadającego mu jednofazowego silnika indukcyjnego (SPIM).

Silnik typu SPLSPMSM w porównaniu do silnika SPIM ma znacznie większą moc i sprawność oraz znacznie mniejsze przyrosty temperatur.

Silnik typu SPLSPMSM w porównaniu do silnika typu SPIM charakteryzuje się gorszymi właściwościami rozruchowymi - wymaga dodatkowego kondensatora rozruchowego odłączanego po rozruchu.

W przypadku napędów o charakterystyce wentylatorowej można zastosować typowy wyłącznik odśrodkowy.

6. Literatura

- [1]. Gwoździewicz M., Zawilak J., Influence of the permanent magnets arrangement on the single-phase line start permanent magnet synchronous motor performances, *Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały*, 2012.
- [2]. Gwoździewicz M., Zawilak J., Influence of the rotor construction on the single-phase line start permanent magnet synchronous motor performances, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2011, nr 10.
- [3]. Gwoździewicz M., Zawilak J., Jednofazowy silnik synchroniczny z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim. Konstrukcje magnetowodu., *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, 2012, nr 95.
- [4]. Kurihara K., Kubota T., Nitawaki D., Rotor Design for High Starting Performance of a Self-Starting Single-Phase Permanent-Magnet Motor, *Przegląd Elektrotechniczny* 7b/2012.
- [5]. Liang Fang; Lee, B.H.; Jung-Pyo Hong; Hyuk Nam., Estimation of Magnet Reduction in Single-Phase Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motor, *Industry Applications Society Annual Meeting, 2009. IAS 2009. IEEE*.
- [6]. Lin D., Zhou P., Lambert N.: Starting Winding Optimization in Single-Phase. *Electrical Machines (ICEM), 2010 XIX International Conference*.
- [7]. Makowski K., Wilk M., Determination of dynamic characteristics of the single-phase capacitor induction motor, *Przegląd Elektrotechniczny* 5/2011.
- [8]. Popescu M., Miller T.J.E., McGilp M.I., Torque behavior of 1-phase permanent magnet AC motor, *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, Volume: 21, 2006.

[9]. Szewczyk K., Golisz R., Walasek T., Kucharczyk Z., The influence of an air gap around the permanent magnets with the flux concentrator in Permanent Magnet Synchronous Motor with Internal Magnetic Circuits, *Przegląd Elektrotechniczny* 12b/2011.

[10]. Yang G., Ma J., Shen J.X., Wang Y.: Optimal design and experimental verification of a line-start permanent magnet synchronous motor. 2008. ICEMS 2008. International Conference on Electrical Machines and Systems, 2008, p. 3232–3236.

[11]. Zhong H., Wang X., Wang D.: Analysis and Design of a New Type High-efficiency Single-phase Induction Motor Based on Negative Sequence Mag-

netic Field Compensation. *Electrical Machines and Systems*, 2008, ICEMS 2008.

Autorzy

mgr inż. Maciej Gwoździewicz
maciej.gwozdziejewicz@pwr.wroc.pl

prof. Jan Zawilak

jan.zawilak@pwr.wroc.pl

Politechnika Wrocławska
Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elek-
trycznych
50-372 Wrocław, ul. Smoluchowskiego 19