

Maciej Gwoździewicz, Jan Zawilak
Politechnika Wroclawska, Wroclaw

JEDNOFAZOWY SILNIK SYNCHRONICZNY Z MAGNESAMI TRWAŁYMI O ROZRUCHU BEZPOŚREDNIM. KONSTRUKCJE MAGNETOWODU

SINGLE-PHASE LINE START PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR. MAGNETIC CIRCUIT CONSTRUCTIONS

Abstract: Influence of the permanent magnet assembly on the single-phase permanent magnet synchronous motor on the running motor properties was investigated. Field-circuit synchronous motor models were applied in Maxwell ver. 14. EMF, THD and cogging torque were investigated. The optimum permanent magnet assembly motor solution with the best auxiliary winding parameters was presented.

1. Wstęp

Wśród licznych pozycji literaturowych i badań laboratoryjnych widać wyraźną tendencję do szybkiego rozwoju silników synchronicznych z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim i wdrażania ich do produkcji masowej. Silniki tego typu budową przypominają silniki indukcyjne różniąc się od nich obecnością magnesów trwałych w wirniku [1, 2]. Obecność klatki w wirniku zapewnia możliwość rozruchu asynchronicznego oraz stabilizację pracy przy obciążeniu silnika [6, 7]. Silniki tego typu cechują bardzo dobre właściwości eksploatacyjne oraz przeciętne właściwości rozruchowe [5, 8]. Obecnie podejmowane są próby wykonania tego typu silników średniej mocy [3, 4].

Jako wzbudzenie silnika synchronicznego z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim wśród obecnie dostępnych materiałów najlepszym rozwiązaniem są magnesy neodymowe NdFeB, które charakteryzują się dużą gęstością energii oraz dużą indukcją remanencji, jednakże obecna polityka Chin (główny światowy dostawca pierwiastków ziem rzadkich) powoduje gwałtowny wzrost cen magnesów neodymowych, co zmusza konstruktorów silników synchronicznych z magnesami trwałymi do ograniczania objętości magnesów trwałych w projektowanym silniku.

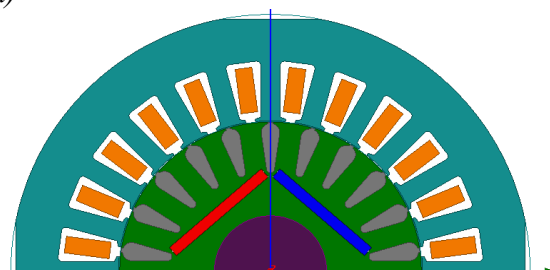
Jednofazowe silniki synchroniczne z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim mają budowę analogiczną do trójfazowych silników synchronicznych z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim. Głównym problemem w tego typu silnikach jest wąskie jarzmo wirnika, przez co ilość miejsca w wirniku do zainstalowania w nim magnesów trwałych jest mocno

ograniczona. Następczo to dodatkowych trudności przy projektowaniu tego typu maszyn.

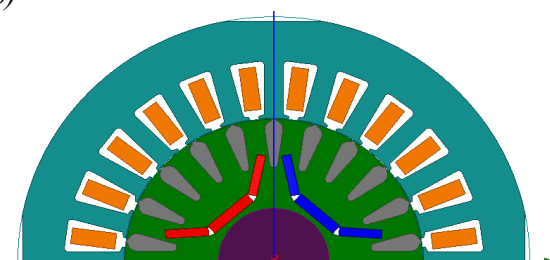
2. Konstrukcje magnetowodu

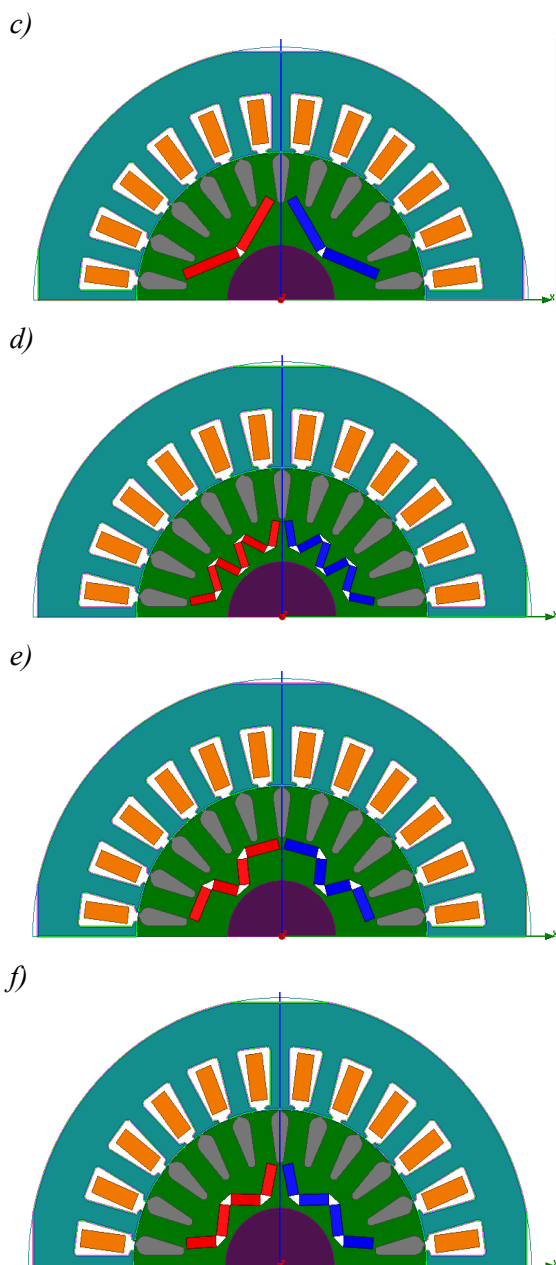
Modele polowo-obwodowe silników synchronicznych z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim zbudowano w programie Maxwell wersja 14. Do budowy modeli wykorzystano konstrukcję mechaniczną i magnetowid stojana jednofazowego silnika indukcyjnego typu SEh 80-4B o mocy $P_n=1,1$ kW zasilanego napięciem $U_n=230$ 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. Części polowe modeli jednofazowych silników synchronicznych o różnym rozmieszczeniu magnesów pokazano na rysunku 1.

a)



b)





Rys. 1. Części polowe modeli jednofazowych silników synchronicznych o różnym ułożeniu magnesów trwałych

W analizowanych modelach silników zmieniano ułożenie magnesów o przekroju prostokątnym zachowując ich objętość sumaryczną. We wszystkich modelach zachowano takie same kształty i wymiary żłobków wirnika.

3. Badania SEM i współczynnika THD

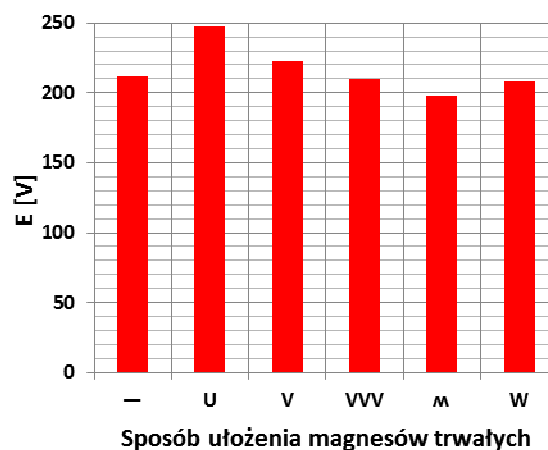
Wpływy sposobu ułożenia magnesów trwałych w wirniku jednofazowego silnika synchronicznego na wartość pierwszej harmonicznej siły elektromotorycznej, współczynnik THD wyrażonego wzorem:

$$THD_E = \frac{\sqrt{\sum_2^{40} (E_h)^2}}{E_1} \quad (1)$$

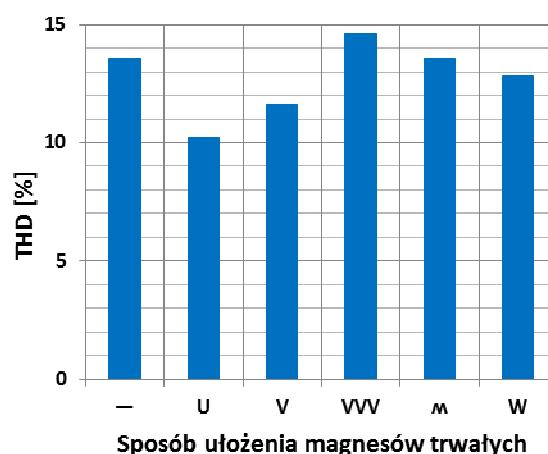
oraz moment zaczepowy:

$$M_{zaczepowy} = M_{\max} - M_{\min} \quad (2)$$

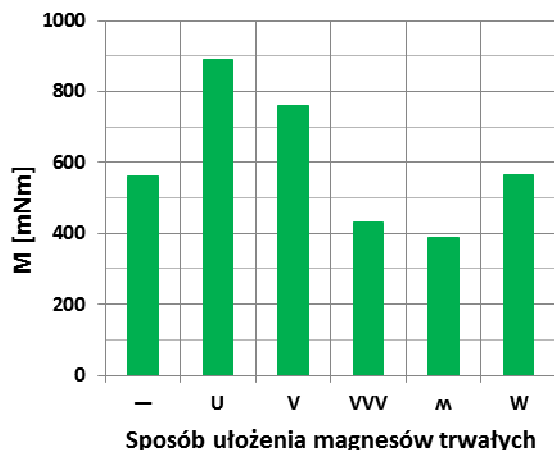
pokazano na rysunkach 2, 3 oraz 4.



Rys. 2. Wpływ sposobu ułożenia magnesów trwałych na wartość pierwszej harmonicznej SEM



Rys. 3. Wpływ sposobu ułożenia magnesów trwałych na wartość współczynnika THD



Rys. 4. Wpływ sposobu ułożenia magnesów trwałych na wartość momentu zaczepowego

Na podstawie rysunków 2, 3 oraz 4 można stwierdzić, że sposób ułożenia magnesów trwałych w wirniku ma znaczący wpływ na wartość indukowanej siły elektromotorycznej, jej wyższe harmoniczne i moment zaczepowy maszyny.

Ze względu na największą wartość siły elektromotorycznej i najmniejszą wartość współczynnika THD do dalszych badań przyjęto modele pokazane na rysunku 1b (magnesy ułożone wg litery U).

4. Dobór parametrów fazy pomocniczej

Wykorzystując program Maxwell wykonano badania symulacyjne jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi ułożonymi w kształcie U. W różnych wersjach obliczeń zmieniano liczbę zwojów uzwojenia fazy pomocniczej oraz pojemność kondensatora pracy. Przykładowe wyniki symulacji przedstawiono na rysunku 5.

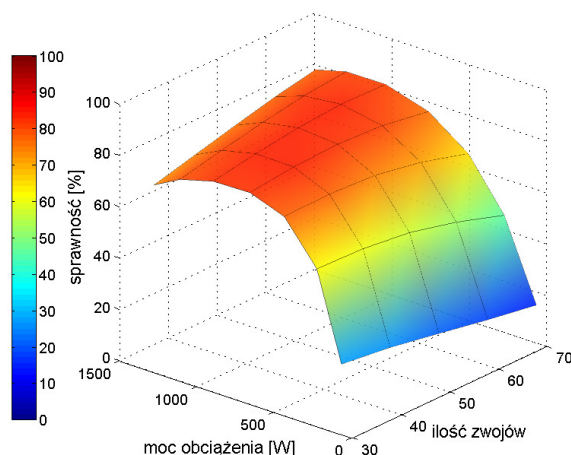
Z trakcie obliczeń poszukiwano takich parametrów fazy pomocniczej, dla których silnik osiągał maksymalną sprawność dla mocy $P_n=1,1$ kW (jako następnej po $P=0,75$ kW, w typoszeregu mocy znamionowych).

Porównanie parametrów eksploatacyjnych jednofazowego silnika synchronicznego z magnesami trwałymi i odpowiadającego mu jednofazowego silnika indukcyjnego zestawiono w tabeli 1.

Na podstawie wyników zamieszczonych w tabeli 1 można stwierdzić, że silnik jednofazowy z magnesami trwałymi ma znacznie lepsze parametry, niż odpowiadający mu silnik indukcyjny, a mianowicie:

- większą moc jednostkową,

- większą sprawność,
- większy współczynnik mocy.



Rys. 5. Wpływ ilości zwojów uzwojenia pomocniczego na przebieg sprawności dla kondensatora $C_{pracy}=40\mu F$

5. Wnioski

Na podstawie wykonanych obliczeń symulacyjnych można stwierdzić, że sposób ułożenia magnesów trwałych w jednofazowym silniku synchronicznym ma duży wpływ na jego właściwości. Istotnymi kryteriami oceny są: wartość indukowanej siły elektromotorycznej, wartości współczynnika THD oraz momentu zaczepowego.

Tabela 1. Porównanie parametrów badanych silników jednofazowych: indukcyjnego (IM) oraz synchronicznego z magnesami trwałymi (PMSM)

parametr		Silnik indukcyjny IM	silnik z magnesami trwałymi PMSM
P	kW	0,75	1,1
η	%	73	84
$\cos\varphi$	–	0,92	0,95

Artykuł opracowano w ramach projektu „Przedsiębiorczy doktorant - inwestycja w innowacyjny rozwój regionu”(Program Operacyjny Kapitał Ludzki, Priorytet VIII Regionalne Karty Gospodarki, Działanie 8.2 Transfer Wiedzy, Poddziałania 8.2.2 Regionalne Strategie Innowacji). Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

6. Literatura

- [1]. Bernatt J., Stanisław G., *Nowe rozwiązanie konstrukcyjne dwubiegowej prądnicy synchronicznej z magnesami trwałymi*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne 88/2010.
- [2]. Bernatt J., *Silniki trakcyjne z magnesami trwałymi – nowa jakość napędów elektrycznych*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne 74/2006.
- [3]. Kisielewski P., Antal M., Gierak D., Zalas P., *Zastosowanie magnesów trwałych w silnikach elektrycznych dużej mocy*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne 92/2011.
- [4]. Lu Q., Huang X., Ye Y. Fang Y., *Experiment and analysis of high power line-start PM motor*, Przegląd Elektrotechniczny 2/2012.
- [5]. Rossa R., *Poprawa charakterystyk elektromechanicznych silników SynRM poprzez wprowadzenie magnesów trwałych do wirnika*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne 77/2007.
- [6]. Rossa R., *Obliczanie charakterystyk elektromechanicznych silnika reluktancyjnego dowzbudzanego magnesami trwałymi*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne 75/2006.
- [7]. Rossa R., *Zastosowanie metody polowo – obwodowej do obliczania parametrów silników synchronicznych z magnesami trwałymi przy pracy synchronicznej*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne 72/2005.
- [8]. Zawilak T., Antal L., *Porównanie silnika indukcyjnego z silnikiem synchronicznym z magnesami trwałymi i rozruchem bezpośrednim*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej 25/2005.

Autorzy

mgr inż. Maciej Gwoździewicz
maciej.gwozdzievicz@pwr.wroc.pl
prof. Jan Zawilak
jan.zawilak@pwr.wroc.pl
Politechnika Wroclawska
Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych
50-372 Wrocław, ul. Smoluchowskiego 19