

Tomasz Zawilak, Maciej Gwoździwicz
Politechnika Wroclawska, Wroclaw

WPLYW SZEROKOŚCI MAGNESU TRWAŁEGO NA WŁAŚCIWOŚCI PRĄDNICY SYNCHRONICZNEJ Z MAGNESAMI TRWAŁYMI NA POWIERZCHNI WIRNIKA

THE INFLUENCE OF MAGNET'S WIDTH ANGLE ON THE PERFORMANCE OF SURFACE MOUNTED PERMANENT MAGNET GENERATOR

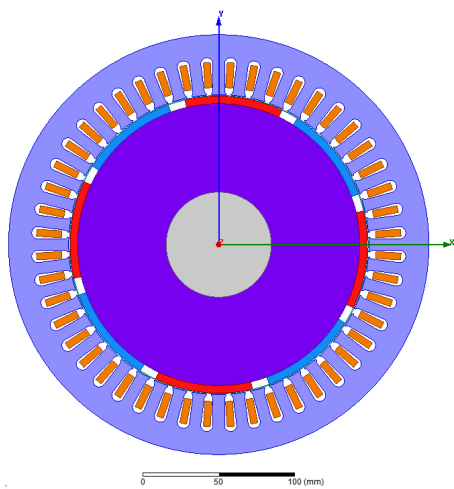
Abstract: Influence of the permanent magnet width on the synchronous generator with permanent magnets on the rotor surface properties was investigated. Field-circuit synchronous generator model was applied in Maxwell ver. 14. Two types of stator winding connection was analysed. Higher harmonic analyses were investigated.

1. Wstęp

Możliwość dowolnego łączenia uzwojenia stojana maszyn trójfazowych pozwala na dostosowanie napięcia znamionowego do warunków sieciowych. Dodatkowo dla niskonapięciowych prądnic synchronicznych dużej mocy skojarzenie uzwojeń w trójkąt ułatwia właściwy dobór liczby zwojów szeregowych przypadających na żłobek. Dla maszyn wzbudanych magnesami trwałymi, ze względu na wysoki udział wyższych harmonicznych [2,3,4,5] powszechnie przyjęło się nie zalecane łączenie uzwojeń stojana w trójkącie.

Celem niniejszej pracy jest analiza wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych prądnicy z magnesami trwałymi na pracę przy skojarzeniu uzwojeń fazowych stojana w gwiazdę oraz trójkąt.

2. Model polowo-obwodowy silnika



Rys. 1. Część polowa modelu prądnicy

W programie Maxwell wersja 14 zbudowano model polowo-obwodowy prądnicy synchronicznej z magnesami trwałymi na powierzchni wirnika. Moc znamionowa prądnicy $S_n=15$ kVA, napięcie znamionowe $U_n=440$ V i prędkość znamionowa $n_n=750$ rpm. Do wzbudzenia wybrane zostały magnesy neodymowe typu N33SH o indukcji remanencji $B_r=1,15$ T i natężeniu koercji magnetycznej $H_{cb}=836$ kA/m. Część polowa modelu prądnicy synchronicznej jest widoczna na rys. 1.

W modelu zmieniano szerokość magnesów trwałych przez zmianę współczynnika wypełnienia podziałki biegunowej magnesem trwałym wyrażonego wzorem (1):

$$k_{magnes} = \frac{b_{magnes}}{\tau} \quad (1)$$

Znamionowy współczynnik $k_{magnes_n}=0,85$. W trakcie badań współczynnik k_{magnes} zmieniano w zakresie (0,5–0,9).

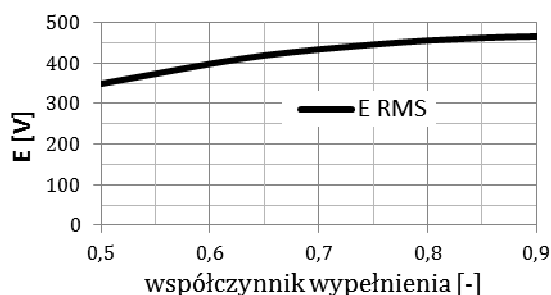
Uzwojenie stojana jednowarstwowe symetryczne połączono w gwiazdę i w trójkąt w celu zbadania wpływu połączenia uzwojenia stojana na właściwości prądnicy synchronicznej.

Jako prędkość pracy została założona prędkość znamionowa.

Jako obciążenie zostało wybrane obciążenie czysto rezystancyjne.

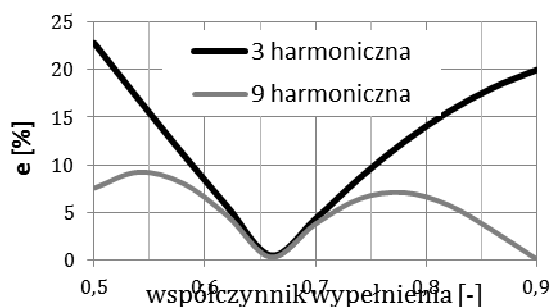
3. Wyniki obliczeń symulacyjnych

Wpływ zmiany współczynnika wypełnienia podziałki biegunowej magnesem trwałym na wartość indukowanej siły elektromotorycznej jest przedstawiony na rys. 2.



Rys. 2. Wykres wartości RMS siły elektromotorycznej w zależności od współczynnika wypełnienia

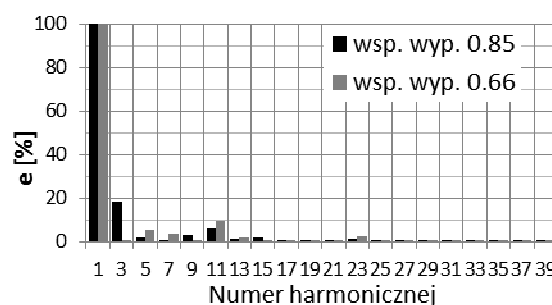
Na podstawie wyników przedstawionych na rys. 2 wynika, że współczynnik wypełnienia podziałki biegunowej magnesem trwałym ma istotny wpływ na wartość indukowanej siły elektromotorycznej. Na uwagę zasługuje to, że otrzymana zależność nie jest zależnością liniową. Wartość współczynnika wypełnienia podziałki biegunowej magnesem trwałym ma istotny wpływ na zawartość wyższych harmonicznych. W przypadku połączenia uzwojenia stojana w trójkąt, 3-cia i 9-ta harmoniczna mają kluczowe znaczenie, ponieważ harmoniczne rzędu 3-go i jego wielokrotności mają tę samą fazę we wszystkich fazach i zamykają się w obwodzie trójkąta powodując dodatkowe straty mocy w miedzi. Wpływ zmiany współczynnika wypełnienia podziałki biegunowej magnesem trwałym na wartości 3-ciej i 9-tej harmonicznej indukowanej siły elektromotorycznej są przedstawione na rys. 3.



Rys. 3. Zależność wartości 3-ciej i 9-tej harmonicznej siły elektromotorycznej od współczynnika wypełnienia

Z zależności ukazanych na rys. 3 widać wyraźnie, że dla współczynnika $k_{\text{magnes}} \approx 0,66$ wartość 3-ciej i 9-tej harmonicznej siły elektromotorycznej osiągają minimum, natomiast dla znamionowej wartości współczynnika $k_{\text{magnes}_n} = 0,85$ wartości 3-ciej i 9-tej harmonicznej siły elektromotorycznej są znaczne. Porównanie wartości harmonicznych siły elektromotorycznej dla

$k_{\text{magnes}} = 0,85$ oraz $k_{\text{magnes}} = 0,66$ jest pokazane na rys. 4, zaś porównanie wartości RMS i THD w tab. 1.

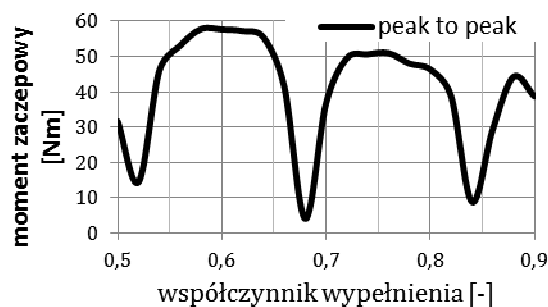


Rys. 4. Analiza harmonicznych sem dla różnych współczynników wypełnienia

Tab. 1. Porównanie wartości RMS i THD sem dla różnych współczynników wypełnienia

wsp. wyp.	-	0,85	0,66
THD	%	19,6	11,5
E rms	V	463	418

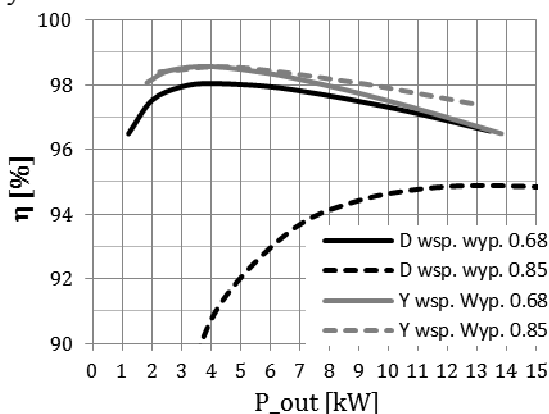
Na podstawie rys. 4 i tab. 1 widać jednoznacznie, że właściwy dobór wartości współczynnika wypełnienia podziałki biegunowej magnesem trwałym ma istotny wpływ na THD siły elektromotorycznej. Jest to narzędzie, które umożliwia ograniczenie wyższych harmonicznych, ale w przypadku prądnic synchronicznych z magnesami trwałymi na obwodzie wirnika kosztem wartości RMS siły elektromotorycznej. Współczynnik wypełnienia podziałki biegunowej magnesem trwałym ma również wpływ na moment zaczepowy. Wpływ współczynnika wypełnienia na moment zaczepowy (wartość peak to peak, czyli wartość maksymalna minus minimalna) jest przedstawiony na rys. 5.



Rys. 5. Wpływ współczynnika wypełnienia na moment zaczepowy

Na podstawie rys. 5 widać, że minimum momentu zaczepowego występuje dla $k_{\text{magnes}} \approx 0,68$. Ta wartość współczynnika wypełnienia oraz jego wartość znamionowa była dalej analizowana w badaniach.

W przypadku połączenia uzwojenia stojana maszyny synchronicznej w trójkąt w obwodzie zamkną się 3-cia harmoniczna i jej wielokrotności powodując dodatkowe straty w miedzi. Wpływ rodzaju połączenia na przebieg sprawności względem mocy obciążenia dla analizowanej prądnicy synchronicznej z magnesami trwałymi na wirniku jest przedstawiony na rysunku 6.



Rys. 6. Przebieg krzywej sprawności dla różnych rodzajów połączenia uzwojenia stojana

Na podstawie rys. 6 widać wyraźnie, że połączenie uzwojenia stojana prądnicy synchronicznej przy niewłaściwym doborze współczynnika wypełnienia podziałki biegunowej magnesem trwałym ma ogromny wpływ na sprawność prądnicy z powodu strat mocy w miedzi związanych z płynięciem 3-ciej harmonicznej i jej wielokrotności prądu przez zamknięte uzwojenie stojana. Przy połączeniu uzwojenia stojana w gwiazdę nie ma to znaczenia, ponieważ w takim przypadku 3-cia i jej wielokrotności prądu nie tworzą zamkniętego obwodu umożliwiającego przepływ prądu. Ponadto, w przypadku połączenia uzwojenia stojana w gwiazdę sprawność prądnicy w górnym zakresie obciążenia jest większa dla większego współczynnika wypełnienia podziałki biegunowej magnesem trwałym z powodu większej wartości siły elektromotorycznej.

4. Wnioski

Dobór wartości współczynnika wypełnienia podziałki biegunowej magnesem trwałym w prądnicach synchronicznych z magnesami trwałymi na obwodzie ma istotny wpływ na przebieg siły elektromotorycznej i jej harmonicznych. Poprzez właściwy dobór jego wartości można umożliwić połączenie uzwojenia stojana w trójkąt bez dodatkowych strat w miedzi

stojana związanych z płynięciem 3-ciej i jej wielokrotności prądu przez zamknięty obwód stojana.

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.

5. Literatura

- [1]. Chen J. Y., Chen C. Z., *Investigation of a new AC electrical machine winding*, IEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 145, No. 2, March 1998, s. 125-132.
- [2]. Kurihara K., Wakui G., Kubota T., *Steady-state performance analysis of permanent magnet synchronous motors including space harmonics*, IEEE Transactions on Magnetics Vol. 30, no 3, 1994, s. 1306-1315.
- [3]. Zawilak T., Antal L., *Pulsacje momentu elektromagnetycznego w silnikach synchronicznych z magnesami trwałymi i rozruchem bezpośrednim*, Proceedings of XLI International Symposium on Electrical Machines SME'2005, Poland, 14 - 17 June 2005, s.149-156.
- [4]. Zawilak T., Antal L., Zawilak J., *Wpływ obciążenia na odkształcenie prądu w silniku prądu przemiennego z magnesami trwałymi*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne BOBRME KOMEL, nr 71 2006, s.143-148.
- [5]. Zawilak T., Gwoździewicz M., *Limitation of higher harmonics in line start permanent magnet synchronous motor by star-delta mixed stator winding*, konferencja CEM 2011, 2 s.

Autorzy

mgr inż. Maciej Gwoździewicz
maciej.gwozdziewicz@pwr.wroc.pl
dr inż. Tomasz Zawilak
tomasz.zawilak@pwr.wroc.pl

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