

Piotr Kisielewski, Maciej Antal, Dariusz Gierak, Paweł Zalas
Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej

ZASTOSOWANIE MAGNESÓW TRWAŁYCH W SILNIKACH ELEKTRYCZNYCH DUŻEJ MOCY

APPLICATION OF PERMANENT MAGNETS IN LARGE POWER ELECTRIC MOTORS

Abstract: Design of a large power permanent magnet synchronous motor was presented. The solutions of the problems occurred during the motor design process were discussed. A method of the motor starting using variable number of poles was presented. This method enables an asynchronous starting the motor at a first speed and then change-over into a second one and synchronization. An assembly method of the permanent magnets into a rotor was also presented. The assembling problem regarding a big interaction between rotor permanent magnets and stator core was solved. The permanent magnets are assembling into the rotor after its mounting in the motor.

1. Wstęp

Zastosowanie magnesów trwałych w maszynach elektrycznych prądu przemiennego umożliwia podwyższenie ich sprawności względem maszyn synchronicznych z uzwojeniem wzbudzenia oraz maszyn asynchronicznych. W porównaniu z maszynami synchronicznymi z klasycznym wzbudzeniem, maszyny z magnesami trwałymi nie wymagają zasilania uzwojenia wzbudzenia, co oznacza brak strat w obwodzie wzbudzenia. Natomiast w porównaniu z maszynami asynchronicznymi silniki synchroniczne z magnesami trwałymi mają również większy współczynnik mocy [4, 5].

Magnesy trwałe stosowane są obecnie z powodzeniem w maszynach małej mocy. Takie silniki synchroniczne zostały wszechstronnie zbadane i wykonano ich prototypy [6, 7]. Zastosowanie magnesów trwałych w generatorach synchronicznych zwiększa ich sprawność. Kosztem takiego rozwiązania konstrukcyjnego jest brak możliwości regulacji mocy biernej [2, 3]. Regulowanie tej mocy mogłyby zapewnić układy hybrydowe wzbudzone zarówno magnesami jak i uzwojeniami wzbudzenia zasilanymi napięciem stałym. Jest to jednak rozwiązanie konstrukcyjnie i technologicznie trudniejsze [1].

Podstawowymi problemami, jakie pojawiają się przy projektowaniu silnika synchronicznego z magnesami trwałymi są: sposób rozruchu silnika oraz sposób montażu wirnika z magnesami w maszynie.

W silniku synchronicznym z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim załączenie stojana przy nieruchomym wirniku powoduje powstanie, jak w silniku indukcyjnym, momentu

napędowego od klatki rozruchowej. Istnienie strumienia wzbudzenia od magnesów trwałych powoduje powstanie momentu hamującego, który jest skierowany przeciwnie do momentu napędowego. W przypadku generatorów problem ten nie występuje gdyż są one łączone z siecią zawsze po spełnieniu warunków synchronizacji. Klatka tłumiąca umieszczona na wirniku służy jedynie do tłumienia kołysań w przypadku pojawienia się stanów przejściowych podczas pracy.

Montaż wirnika z magnesami w maszynie stanowi problem gdyż znaczne siły oddziaływania magnesów bardzo utrudniają wkładanie, centrowanie i mocowanie kompletnego wirnika w maszynie.

2. Koncepcja silnika synchronicznego dużej mocy z magnesami trwałymi

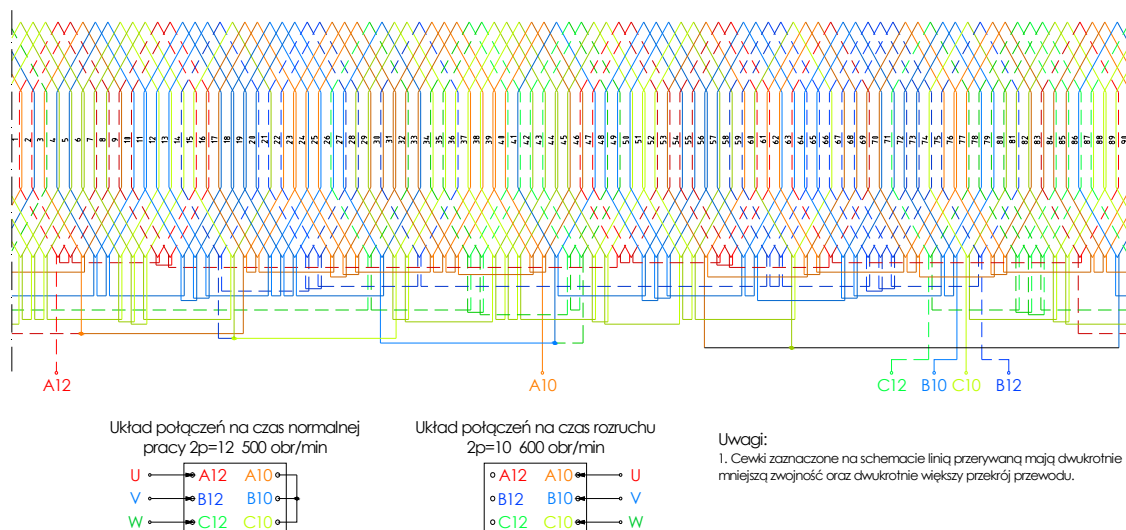
Zaprojektowano silnik synchroniczny dużej mocy (1,5 MW) z magnesami trwałymi. W zaproponowanej konstrukcji rozwiązano zarówno problem rozruchu jak i problem montażu wirnika z magnesami w silniku.

2.1. Konstrukcja uzwojenia stojana silnika synchronicznego dużej mocy z magnesami trwałymi

W klasycznym silniku synchronicznym z załączonym wzbudzeniem rozruch byłby znacznie utrudniony ze względu na moment hamujący będący wynikiem występowania strumienia wzbudzenia. Dlatego rozruch zawsze przeprowadza się bez zasilania uzwojenia wzbudzenia. Dodatkowo uzwojenie wzbudzenia jest zwierane, aby ograniczyć osiągające znaczne wartości napięcie indukowane w tym uzwo-

jeniu. W silniku z magnesami trwałymi niemożliwe jest „wyłączenie” magnesów. Co prawda stosuje się układy, które mają dodatkowe uzwojenie wytwarzające strumień przeciwny do strumienia magnesów, ale są one skomplikowane konstrukcyjnie i przynoszą niezadowalający efekt. W prezentowanej konstrukcji silnika zastosowano dwubiegowe uzwojenie stojana. Jedną z prędkości obrotowych jest prędkością roboczą silnika, druga natomiast służy tylko do rozruchu. Liczba biegunów magnetycznych uzwojenia stojana załączonego do pracy ustalona jest taka sama jak liczba biegunów magnetycznych wirnika. Na czas rozruchu uzwojenie stojana jest połączone tak, aby liczba biegunów przez nie wytwarzana była mniejsza. W omawianym silniku zastosowano 12 biegunów do

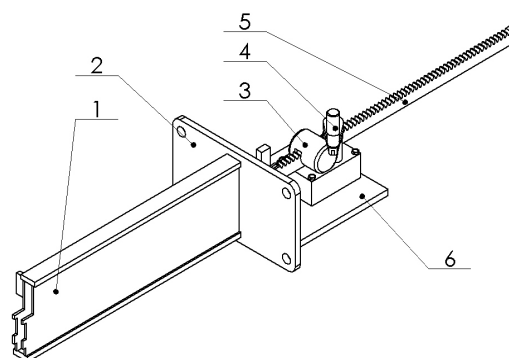
pracy normalnej oraz 10 biegunów na czas rozruchu. Przy częstotliwości 50 Hz napięcia zasilającego odpowiada to prędkościom synchronicznym 500 obr/min i 600 obr/min. Załączenie uzwojenia stojana na inną liczbę par biegunów niż liczba par biegunów wirnika powoduje „wyzerowanie” momentu hamującego od magnesów. Wówczas silnik startuje asynchronicznie. Po przekroczeniu prędkości 500 obr/min stojan jest odłączany od sieci a następnie ponownie, w odpowiedniej chwili czasowej, załączany, ale tym razem na mniejszą prędkość obrotową. Następuje synchronizacja od góry. Na rysunku 1 przedstawiono schemat uzwojenia stojana omawianego silnika.



Rys. 1. Schemat połączeń dwunastobiegowego silnika dużej mocy z magnesami trwałymi

2.2. Konstrukcja wirnika silnika synchronicznego dużej mocy z magnesami trwałymi

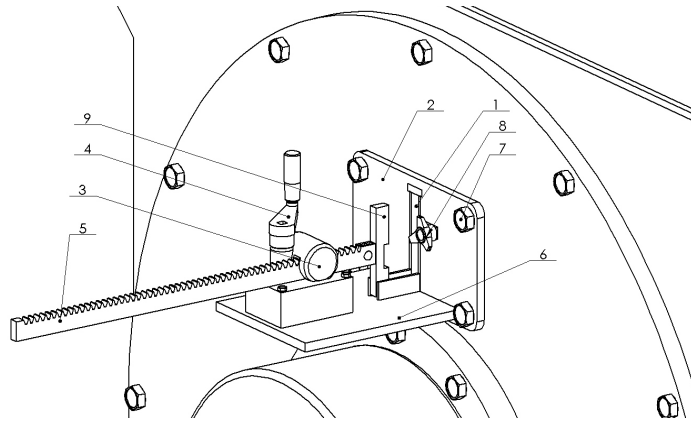
Najprostszym sposobem montażu silnika z magnesami trwałymi jest włożenie do stojana wirnika wraz z zamontowanymi magnesami. Taki sposób montażu jest stosowany w maszynach z magnesami trwałymi małej mocy. W dużych maszynach włożenie wirnika wraz z zamontowanymi magnesami do stojana, ze względu na znaczne siły oddziaływania magnesów, jest praktycznie niemożliwe. Dlatego w zaprojektowanej konstrukcji w pierwszej kolejności jest wkładany do stojana wirnik bez magnesów trwałych, a następnie przy użyciu specjalnych przyrządów oraz otworów w tarczach łożyskowych montuje się magnesy w maszynie.



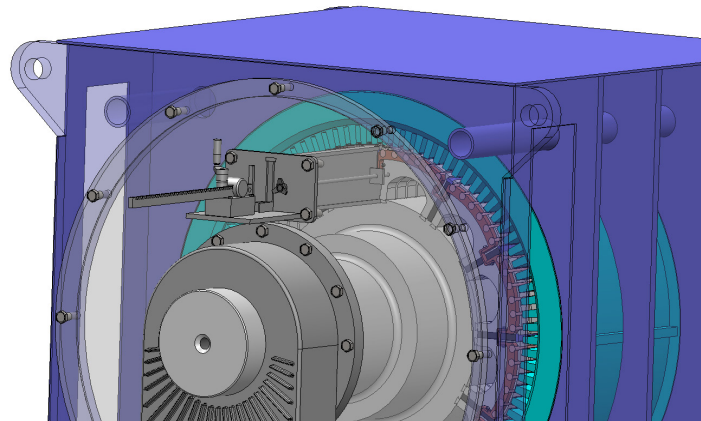
Rys. 2. Przyrząd do montażu i demontażu magnesów trwałych: 1 - prowadnica, 2 - mocownik, 3 - przekładnia ślimakowa, 4 - korba, 5 - listwa zębata, 6 - podstawa przyrządu

Przyrząd do montażu i demontażu magnesów w wirniku, przedstawiony na rysunku 2, jest wykonany ze stali niemagnetycznej i składa się z prowadnicy rurowej, trzpienia do przesuwania magnesów oraz zębatej, samohamownej przekładni do napędu trzpienia. Widok

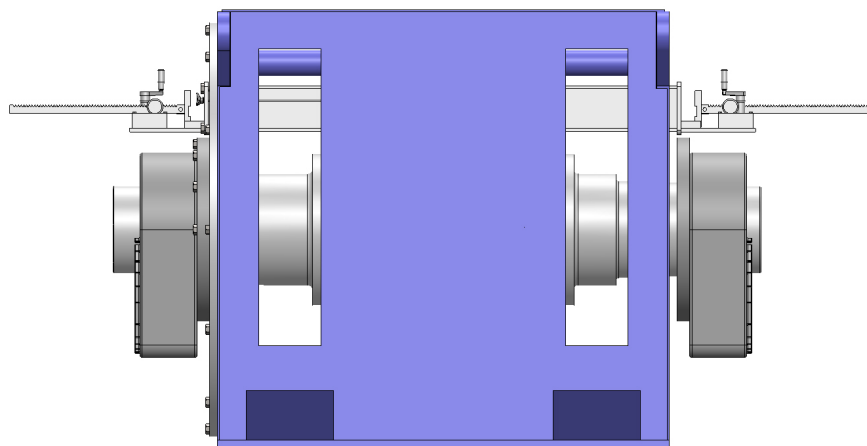
przyrządu zamontowanego na tarczy łożyskowej przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Zaprojektowany układ zawiera dwa identyczne przyrządy zamontowane na dwóch tarczach łożyskowych silnika (rys. 5).



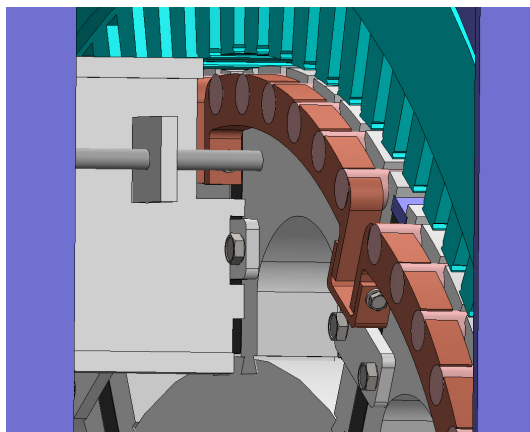
Rys. 3. Zamocowanie przyrządu na tarczy łożyskowej: 1 - prowadnica, 2 - mocownik, 3 - przekładnia ślimakowa, 4 - korba, 5 - listwa zębata, 6 - podstawa przyrządu, 7 - śruba mocująca, 8 - blokada wirnika, 9 - docisk magnesu



Rys. 4. Usytuowanie przyrządu w silniku



Rys. 5. Rozmieszczenie przyrządów na maszynie

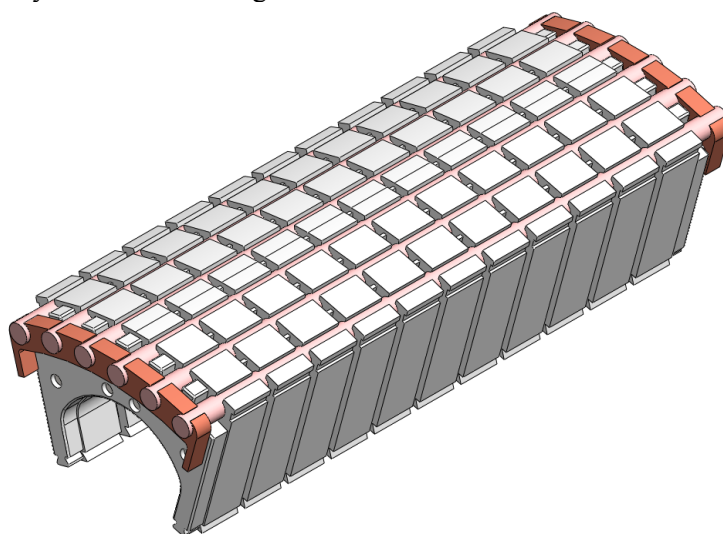


Rys. 6. Montaż magnesów trwałych w wirniku

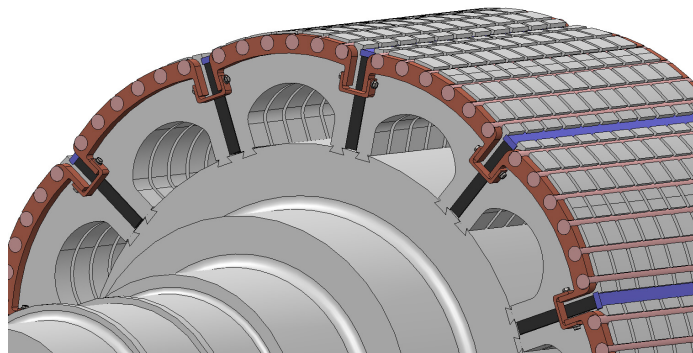
Montaż magnesów należy rozpocząć od ustawienia wirnika w odpowiedniej pozycji i jego zablokowania przy użyciu sworznia (rys. 6). Następnie jeden z przyrządów zostaje maksymalnie wsunięty w żłobek przeznaczony na magnesy. Z drugiej strony maszyny należy kolejno wkładać magnesy do przewodnicy aż do jej zapelnienia magnesami. W kolejnym etapie montażu stopniowo wysuwa się pierwszy przyrząd ze żłobka, jednocześnie wsuwając magnesy drugim przyrządem. Następnie należy wyjąć przyrząd pchający, włożyć kolejne magnesy do przewodnicy i czynność powtórzyć aż do zapelnienia żłobka wirnika magnesami. Po wciśnięciu magnesów należy przykręcić do blach dociskowych wirnika, wykonane ze stali niemagnetycznej, blokady widoczne na rysunku 6. Blokady te zapobiegają wysuwaniu się magnesów z wirnika. Ewentualny demontaż magnesów

z wirnika należy wykonać w odwrotnej kolejności używając tych samych przyrządów. Aby niepotrzebnie nie zwiększać oporów tarcia w łożyskach oraz uniknąć samoczynnego ustawiania się wirnika w określonych pozycjach ze względu na niewyważenie, magnesy należy montować po przekątnej.

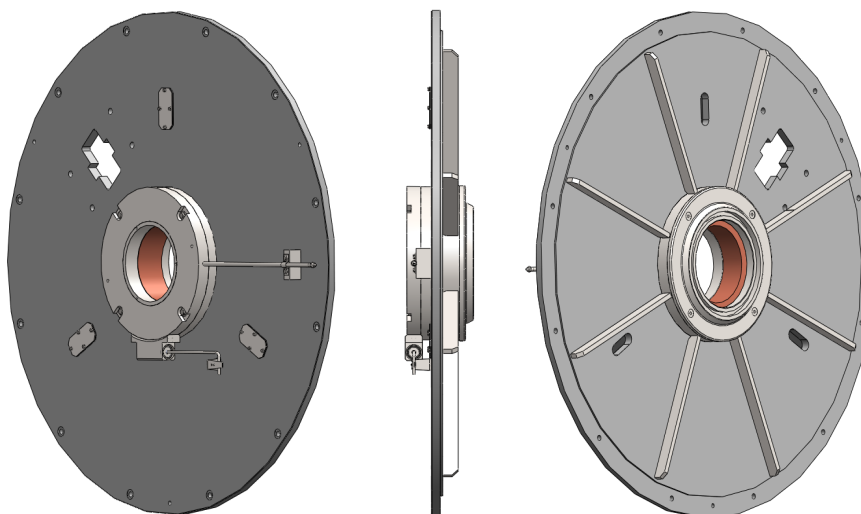
Prezentowana technologia montażu magnesów wymaga specjalnej konstrukcji biegunów wirnika oraz tarcz łożyskowych. Zaprojektowane rozwiązania przedstawiono na rysunkach 7-9. Na rysunku 7 widać biegun kompletny składający się z pakietów blach przedzielonych kanałami wentylacyjnymi oraz klatki rozruchowej. Na rysunku 8 przedstawiono wirnik kompletny z zamontowanymi biegunami, a na rysunku 9 tarczę łożyskową, w której znajdują się otwory przeznaczone do montażu przyrządu.



Rys. 7. Biegun wirnika silnika dużej mocy z magnesami trwałymi



Rys. 8. Wirnik silnika dużej mocy z magnesami trwałymi



Rys. 9. Tarcza łożyskowa strony napędowej silnika dużej mocy z magnesami trwałymi

3. Podsumowanie

Opracowany projekt silnika dużej mocy z magnesami trwałymi skutecznie rozwiązuje istotne problemy konstrukcyjne i technologiczne. Zastosowanie przełączalnego uzwojenia stojana na dwie prędkości obrotowe zapewnia właściwy rozruch. Montaż magnesów trwałych dopiero po zamontowaniu wirnika w maszynie jest technologicznie wykonalny. Zapewniają to zaprojektowane przyrządy montażowe.

4. Literatura

- [1] Da Zhang, Chaohui Zhao, Lei Zhu, Yemen Ding, Chong Yu, Chencheng Tian: *On hybrid excitation claw-pole synchronous generator with magnetic circuit series connection*, Electrical Machines and Systems, 2008, ICEMS 2008, International Conference on, 2008, pp. 3509 - 3513.
- [2] Don-Ha Hwang, Ki-Chang Lee, Do-Hyun Kang, Yong-Joo Kim, Kyeong-Ho Choi, Doh-Young Park: *An modular-type axial-flux permanent magnet synchronous generator for gearless wind*

power systems. Industrial Electronics Society, 2004, IECON 2004, 30th Annual Conference of IEEE, Vol. 2, DOI: 10.1109/IECON.2004.1431782, 2004, pp. 1396-1399 Vol. 2.

[3] Haraguchi H., Morimoto S., Sanada M.: *Suitable design of a PMSG for a large-scale wind power generator*. Energy Conversion Congress and Exposition, 2009, ECCE 2009, IEEE DOI: 10.1109/ECCE.2009.5315965, 2009, pp. 2447 – 2452.

[4] Zawilak T., Antal L.: *Porównanie silnika indukcyjnego z silnikiem synchronicznym z magnesami trwałymi i rozruchem bezpośrednim*. Zagadnienia maszyn, napędów i pomiarów elektrycznych. Wrocław, Oficyna Wydaw. PWroc., 2005, s. 212-221.

[5] Zawilak T., Antal L.: *Porównanie silnika indukcyjnego oraz synchronicznego z magnesami trwałymi i rozruchem bezpośrednim - badania eksperymentalne*. Problemy eksploatacji maszyn i napędów elektrycznych. PEMINE, Ryto, [23-25] maj 2007. Katowice: BOBRME "Komel", 2007, s. 277-282.

[6] Zawilak T., Antal L.: *Dwubiegowy silnik synchroniczny z magnesami trwałymi*. Przegląd Elektrotechniczny. 2006 R. 82, nr 11, s. 61-63.

[7] Zawilak T., *Dwubiegowy silnik synchroniczny z magnesami trwałymi o stosunku prędkości obrotowych 2:3*. XLIII International Symposium on Electrical Machines. SME 2007, Conference proceedings, Poznań, Poland, July 2-5, 2007, Poznań 2007, s. 121-124.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy POIG.01.01.02-00-113/09

Autorzy

dr inż. Maciej Antal
dr inż. Dariusz Gierak
dr inż. Piotr Kisielewski
dr inż. Paweł Zalas

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

Recenzent

Prof. dr hab. inż. Grzegorz Kamiński