

Michał TOCZKOWSKI¹
Piotr PAPLICKI²

DWUWIRNIKOWY SILNIK MAGNETO- ELEKTRYCZNY TYPU CYLINDRYCZNEGO O RUCHU PRZECIWBIEŻNYM W PĘDNIKU GONDOLOWYM

Artykuł prezentuje koncepcje silnika elektrycznego z magnesami trwałymi na wirniku wewnętrznym i zewnętrznym w zastosowaniu do nowego typu pędnika gondolowego o ruchu przeciwbieżnym o podwyższonej sprawności, do napędów wolnoobrotowych obiektów techniki morskiej. Na podstawie wyników badań symulacyjnych, przedstawiono sposób tworzenia obwodu magnetycznego silnika, który zapewnia kompensację różnicy wytwarzanych momentów elektromagnetycznych dwóch wirników. Przedstawiono nowe rozwiązanie konstrukcyjne pędnika gondolowego, wewnątrz którego rozmieszczono elementy czynne silnika, jego zalety i wady oraz przykłady możliwych zastosowań w elektrotechnice morskiej.

1 WSTĘP

Rozwój elektrycznych układów napędowych o regulowanej prędkości obrotowej zapoczątkowany w latach 80-tych ubiegłego wieku, związany głównie z pojawieniem się przekształtników prądu przemiennego oraz nowych materiałów magnetycznych, doprowadził do pojawienia się w ostatnich latach nowych typów pędników z napędem elektrycznym. Na tle obecnie stosowanych silną pozycję utrzymuje napęd gondolowy (POD Propulsion System), w którym silnik elektryczny jest zamontowany bezpośrednio na krótkim wale pędnika ze śrubą nienastawną i umieszczony w zanurzonej gondoli obrotowej. Powszechnie stosowany na statkach pasażerskich, promach i wycieczkowcach z uwagi na możliwość zapewnienia komfortu pływającym nim pasażerom. Ponadto ze względu na wysoką manewrowość oraz możliwość szybkiego

¹ Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki, Zakład Urządzeń Elektrycznych i Elektrotechniki Morskiej, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, tel.: (091) 449-42-39; e-mail: mtoczkowski@ps.pl

² Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki, Zakład Urządzeń Elektrycznych i Elektrotechniki Morskiej, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, tel.: (091) 449-45-45; e-mail: paplicki@ps.pl

samopozycjonowania i pozycjonowania dynamicznego znajduje zastosowanie na statkach obsługi, off-shore, holownikach, lodołamaczach oraz okrętach hydrograficznych.

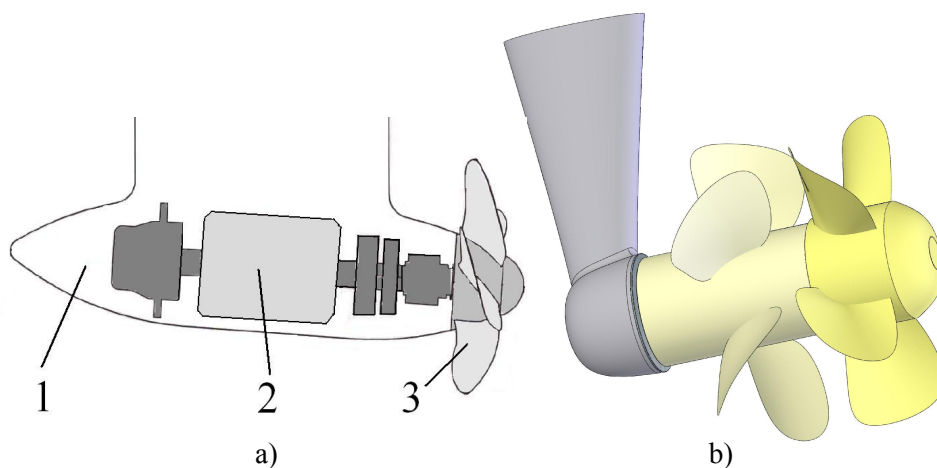
Innym perspektywnym napędem jest napęd mieszany oparty na koncepcji CRP (Contra Rotating Pod), a złożone ze śruby z napędem spalinowym, osadzonej w kadłubie i śruby napędzanej silnikiem elektrycznym umieszczonym w gondoli pod kadłubem statku, który może w przyszłości zdobyć wielką popularność zwłaszcza na wielkich akwenach otwartych. Taki napęd, oprócz świetnej manewrowości i podwyższonej sprawności w mniejszym stopniu oddziałuje na środowisko, co jest istotnie, między innymi, w czasie podejścia do portu.

Wykorzystując nową wiedzę na temat maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi, możliwe staje się opracowanie nowego typu pędnika, który realizując napęd śrub przeciwbieżnych będzie posiadał właściwości i zalety napędu gondolowego.

2 KONCEPCJA PĘDNIKA GONDOLOWEGO Z DWU-WIRNIKOWYM SILNIKIEM CYLINDRYCZNYM Z MAGNESAMI TRWAŁYMI

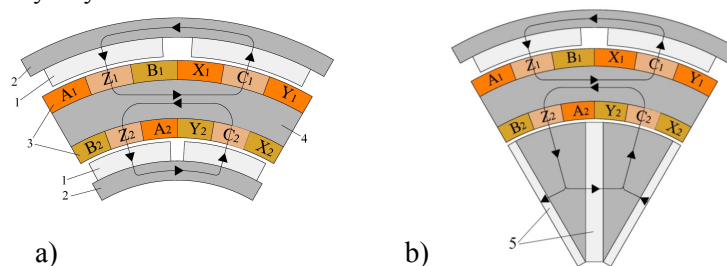
W napędach gondolowych (rys.1a) silnik elektryczny (2), coraz powszechniej stosowany synchroniczny z magnesami trwałymi, umieszczany jest w gondoli (1), który napędza poprzez wał i układ sprzęgła śrubę napędową (3). Moce napędów POD dla dużych jednostek pływających sięgają rzędu kilku MW przy prędkościach obrotowych do 200 obr/min.

Modyfikując istniejący układ pędnikowy jednośrubowy, poprzez wprowadzenie silnika dwuwirnikowego, możliwe jest opracowanie nowego typu pędnika przeciwbieżnego, którego widok przedstawiono na rysunku 1b.



Rys.1. Widok pędnika; gondolowego w układzie klasycznym – a);
konceptualnego o ruchu przeciwbieżnym –b)

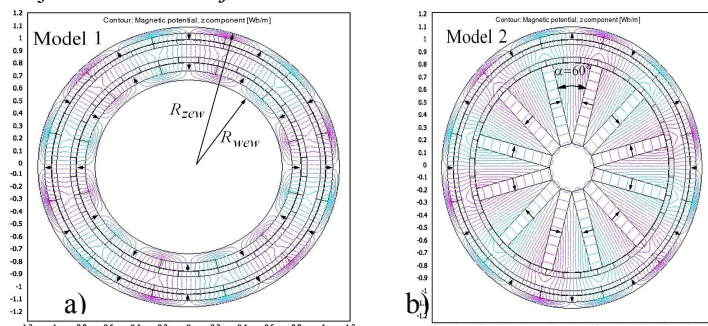
Obwód magnetyczny silnika do realizacji ruchu przeciwbieżnego przedstawiono na rysunku 2. Struktura zawiera dwa wirniki z magnesami (1) i jarzmami stalowymi (2), które oddzielone są podwójną warstwą 3-fazowych uzwojeń twornika (3) rozmieszczonych na stojani (4) w postaci blach pakietowanych. Magnesy o kształcie wycinka pierścienia magnesowane są w kierunku promieniowym (rys.2a) o wymiarach wynikających z założeń geometrycznych struktury i wymaganych parametrów elektromagnetycznych silnika. Moment działające na wirniki będą miały różne wartości, które wynikają z innych długości promieni działania siły, przy założeniu równych okładów prądowych. Na rysunku 2b przedstawiono sposób modyfikacji obwodu magnetycznego wirnika wewnętrznego poprzez ułożenie gwiazdowe magnesów, które koncentrując pole w szczelinie wewnętrznej umożliwią kompensację różnic momentów elektromagnetycznych.



Rys. 2. Przekrój struktury obwodu magnetycznego silnika dwuwirnikowego z magnesami: promieniowymi -a); w układzie gwiazdowym po stronie wewnętrznej -b)

3 BADANIA SYMULACYJNE

W celu wyznaczenia momentów elektromagnetycznych T_w , T_z : odpowiednio wirnika wewnętrznego i zewnętrznego, opracowano dwuwymiarowy model połowy struktury silnika z magnesami promieniowymi Model 1 (rys. 3a) oraz z magnesami gwiazdowymi dla wirnika wewnętrznego Model 2 (rys.3b) o parametrach: $B_r = 1,44$ T, $\mu_r=1,028$. Wyniki badań zestawiono w tabeli 1. Moment elektromagnetyczny działający na 1 metr długości czynnej wirników obliczono na podstawie symulacji przy założeniu gęstości prąd w uzwojeniach twornika $j = 5$ A/mm².



Rys. 3. Rozkład linii pola magnetycznego oraz wymiary: Model 1 -a); Model 2 -b)

Tab. 1. Momenty elektromagnetyczne w modelu silnika dwuwirnikowego

<i>model</i>	T_w [kNm]	T_z [kNm]
<i>Model 1</i>	556,2	557,2
<i>Model 2</i>	475,0	553,0

4 WNIOSKI

Zastosowanie magnesów gwiazdowych (Model 2) rozłożonych pod kątem $\alpha = 60^\circ$ skutecznie realizuje kompensację różnic momentów elektromagnetycznych dwóch wirników. Ponadto przedstawiona struktura obwodu magnetycznego o średnicy zewnętrznej 2,24 m i grubościach magnesów zewnętrznych 50 mm, umożliwia wytwarzanie momentów ok. 550 kNm na metr długości czynnej maszyny. Dla prędkości obrotowej $n = 180$ obr/min zapewni moc 10 MW (każdego wirnika), co odpowiada poziomowi mocy pędników gondolowych stosowanych dla dużych jednostek pływających.

5 LITERATURA

1. Matusiak J., Hydrodynamic aspects of hybrid propulsors using the contra-rotating propeller concept, Marine News, (2004) No.1, p.12-13
2. Paplicki P.: Configurations of slotless permanent magnet motors with counter-rotating rotors for ship propulsion drives. Przegląd Elektrotechniczny nr 11, str. 121-123, 2007.
3. Qu, R., T. A. Lipo, "[Design and Parameter Effect Analysis of Dual-Rotor, Radial-Flux, Toroidally-Wound, Permanent-Magnet Machines](#)," IEEE Transactions on Industry Applications, Bol. 40, (2004), No. 3, 771-779
4. Szmit E.: Nowe oczekiwania – rozwój technologii. Podsumowanie roku 2005. Biuletyn Informacyjny PRS S.A., Grudzień (2005)

PERMANENT MAGNET MACHINES WITH COUNTER-ROTATING MOTION OF DUAL-ROTOR FOR POD PROPULSION SYSTEM

This paper presents conception of permanent magnet machines with counter-rotating motion of inner and outer rotors for new type, low-speed, high-efficiency POD propulsion system. On the basis of simulation results principles of constructing magnetic circuit of machine were presented. New construction solutions, benefit, disadvantage and application at new concept of propeller drive are presented.