

Piotr Cierzniewski¹

SILNIK TARCZOWY DO MAŁYCH POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH Z NAPĘDEM BEZPOŚREDNIM

W artykule przedstawiono zasadę działania, budowę oraz właściwości bezrdzeniowego silnika tarczowego z magnesami trwałymi umieszczonymi na tarczy wirnika do zastosowania w małym pojeździe elektrycznym jako napęd bezpośredni. Na podstawie analizy istniejących rozwiązań w których w większości przypadków występują przekładnie mechaniczne zaproponowano rozwiązanie napędu bezpośredniego. Przeprowadzono obliczenia projektowe i symulacyjne silnika tarczowego na podstawie których określono parametry eksploatacyjne. Przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne napędu umieszczonego bezpośrednio w kole pojazdu, a także jego zalety i wady oraz przykłady zastosowań.

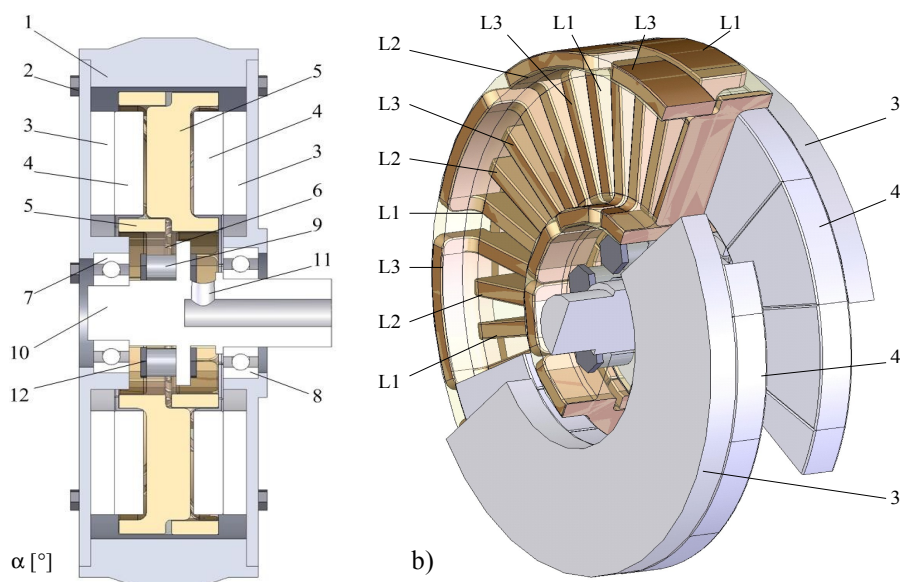
1 WPROWADZENIE

Silniki tarczowe z komutacją elektroniczną i magnesami trwałymi w obwodzie wzbudzenia znajdują coraz szersze zastosowania w wielu dziedzinach. Stosowane one są głównie w układach napędowych, w których występują ograniczenia, co do długości osiowej silnika oraz gdzie wymagana jest duża dynamika działania. Silniki te charakteryzują się wysokim momentem elektromagnetycznym. Jako przykłady zastosowań można wymienić napędy elektryczne pojazdów z silnikiem wbudowanym w piastę koła. Konstrukcja taka pozwala na wyeliminowanie przekładni mechanicznych oraz sprzęgieł, jakie wystąpiły by przy zastosowaniu wysokoobrotowego silnika walcowego. Konstrukcje silników tarczowych ulegają stałemu rozwojowi. W procesie projektowania silników elektrycznych ważna jest analiza procesów w nim zachodzących, a szczególnie określenie w nim rozkładu pola elektromagnetycznego. Zjawiska elektromagnetyczne mają charakter nieliniowy, dlatego metody analityczne lub analityczno-empiryczne nie są w stanie w pełni opisać zjawisk zachodzących w maszynach elektrycznych. Obecnie obliczenia pola elektromagnetycznego w maszynach elektrycznych są prowadzone najczęściej przy pomocy metod numerycznych z wykorzystaniem np. metody elementów skończonych, pozwalających na analizę pola elektromagnetycznego w stanach przejściowych i stacjonarnych, z uwzględnieniem właściwości materiałowych i środowiska pracy zbliżonych do warunków rzeczywistych.

¹ Politechnika Szczecińska Instytut Elektrotechniki
70-313 Szczecin, ul. Sikorskiego 37 tel.(091) 449-42-70, e-mail: cierz@ps.pl

2 KONSTRUKCJA SILNIKA TARCZOWEGO

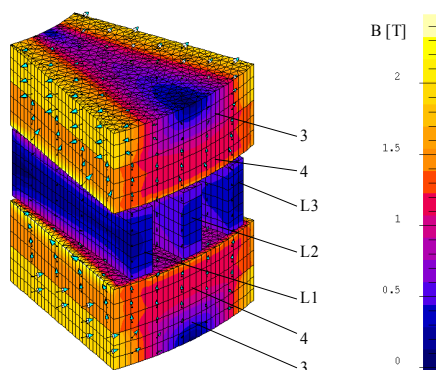
Konstrukcje bezrdzeniowego silnika tarczowego pokazano na rys.1. Średnica wewnętrzna obracającej się korpusu obudowy 1 wynosi 166 mm. Ściany boczne 2 przymocowane są do niej za pomocą śrub. Do każdej ze ścian bocznych obudowy przymocowane jest jarzmo ferromagnetyczne 3 wykonane w postaci pierścienia o grubości 8 mm, średnicy wewnętrznej 68 mm i zewnętrznej 148 mm. Do każdego z jarzm ferromagnetycznych przyklejonych jest 12 wysokoenergetycznych magnesów trwałych 4 namagnesowanych naprzemiennie N-S-N-S.... Magnesy trwałe 4 są wykonane w postaci segmentów – wycinków pierścienia o kącie rozwarcia 30° średnicy wewnętrznej 68 mm i zewnętrznej 148 mm oraz grubości 10 mm. Obudowa silnika 1 jarzma ferromagnetyczne 3 i magnesy trwałe 4 tworzą wirnik maszyny. Pomiędzy magnesami trwałymi znajduje się szczelina powietrzna o szerokości 17 mm, w której umieszczone są jednowarstwowe trójfazowe L1, L2, L3 uzwojenia 5 wykonane zgodnie z technologią SEMA (Segmented ElectroMagnetic Array) tworzące stojan silnika. W każdej fazie znajduje się 6 uzwojeń. Wszystkie promieniowo ułożone fragmenty uzwojeń 5 o wymiarach 5x15x40 mm znajdują się w jednej płaszczyźnie, podczas gdy części czołowe ułożone wzdłuż obwodu kołowego leżą powyżej i poniżej płaszczyzny aktywnej. Uzwojenia 5 po odpowiednim ukształtowaniu ich połączeń czołowych w celu otrzymania odpowiedniej sztywności stojana należy ułożyć w formie i zalać żywicą 6. W żywicy umieszczono 6 tulei 9 pozwalających na przymocowanie uzwojeń stojana do nieruchomego wału silnika 10 za pomocą śrub 12. W wydrążeniu wału 11 należy poprowadzić przewody zasilające uzwojenia. Na wale 10 umieszczono łożyska 7 i 8 łączące obudowę i wał silnika.



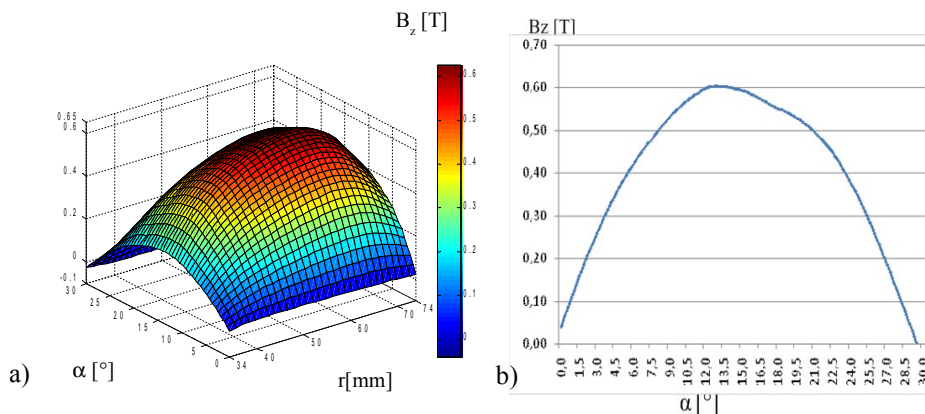
Rys.1. Konstrukcja bezrdzeniowego silnika tarczowego

3 MODEL NUMERYCZNY SILNIKA TARCZOWEGO

W celu wyznaczenia rozkładu indukcji magnetycznej i momentu elektromagnetycznego powstającego w konstrukcji bezrdzeniowego silnika tarczowego pokazanego na rys.1 stworzono model do obliczeń numerycznych oparty o metodę elementów skończonych w programie FLUX 3D przedstawiony na rys.2. Ze względu na symetrię układu oraz w celu zwiększenia dokładności obliczeń (zwiększoną ilość elementów siatki), badania przeprowadzono na wycinku jednej podziałki biegunowej τ_s o kącie rozwarcia równym 30° (1/12 modelu). W modelu tym przyjęto następujące parametry magnesów trwałych 4: pozostałość magnetyczną $B_r = 1,46$ T i względną przenikalność magnetyczną $\mu_{mag}=1,028$. Gęstość prądu w przekroju poprzecznym promieniowo ułożonych gałęzi uzwojeń L1 i L3 przyjęto 5 A/mm² a w gałęzi L2 10 A/mm².



Rys.2. Model numeryczny bezrdzeniowego silnika tarczowego



Rys.3. Rozkład składowej użytecznej indukcji magnetycznej B_z :

- a) na płaszczyźnie leżącej w odległości 8,5 mm od magnesy trwałego – pośrodku szczeliny powietrznej; b) na promieniu 54 mm w odległości 8,5 mm od magnesy trwałego

Na rys. 2 przedstawiono rozkład indukcji magnetycznej w modelu silnika oraz pokazano siatkę obliczeń numerycznych oraz zaznaczono strzałkami kierunki linii pola magnetycznego. Obliczenia wykonano w stanie statycznym. Można zauważyć, że indukcja w jarzmie ferromagnetycznym 3 na granicy styku pomiędzy dwoma magnesami

osiąga znaczące wartości. Moment elektromagnetyczny silnika wyznaczony na podstawie obliczeń numerycznych przy współczynniku zapełnienia uzwojeń $k_{Cu}= 0,8$ wynosi
 $M_e=14,78$ Nm.

Na rys.3 przedstawiono rozkład składowej użytecznej indukcji magnetycznej B_z na płaszczyźnie leżącej w odległości 8,5 mm od magnesy trwałego – pośrodku szczeliny powietrznej i na tej samej płaszczyźnie na promieniu $r=54$ mm.

4 WNIOSKI

Wykorzystanie w napędach bezpośrednich silników bezrdzeniowych typu tarczowego z magnesami trwałymi umieszczonymi na tarczy wirnika oraz zastosowanie do ich sterowania komutatora elektronicznego pozwala na wyeliminowanie w układzie napędowym przekładni i sprzęgła mechanicznego oraz komutatora elektro-mechanicznego co znacznie upraszcza konstrukcję napędu oraz podwyższa jego sprawność i niezawodność. Silniki takie mogą być zastosowane np.: do napędu wózków inwalidzkich. W przedstawionej konstrukcji bezrdzeniowego silnika tarczowego nie występuje moment zaczepowy oraz pulsacje momentu w czasie wirowania.

5.LITERATURA

1. Cierzniewski P.: *Coreless axial flux PM machine with two external rotors*, Przegląd Elektrotechniczny 2007, Nr 11, str. 142-144.
2. Glinka T., Jakubiec M.: *Rozwiązania silników tarczowych*, Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe BORNE KOMEL Nr 77/2007 str. 243-249
3. Łukaniszyn M., Wróbel R., Jagieła M.: *Komputerowe modelowanie bezszczotkowych silników tarczowych wzbudzanych magnesami trwałymi*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej 2002 150 s.

DISC TYPE MOTORS FOR APPLICATIONS IN SMALL VEHICLES WITH DIRECT DRIVE

The paper presents operational principle, construction and properties of coreless disc type motor with permanent magnets placed on rotor's disc, to be applied in small vehicles as direct drive. Basing on existing solutions, mostly having mechanical gearboxes, new conception of direct drive has been suggested. Design calculations and simulations of disc motor have been conducted and operational parameters have been determined. Construction of driver installed directly in a wheel of a vehicle has been presented, as well, as its advantages, disadvantages and examples of application.