

Tadeusz Glinka, Emil Król, Tomasz Wolnik
BOBRME Komel, Katowice

MODEL POŁOWY BEZRDZENIOWEJ MASZINY TARCZOWEJ

FIELD MODEL OF CORELESS AXIAL FLUX MACHINES

Abstract: A very interesting construction of disc-type machines are coreless machines. Because there is no core in the stator this type of axial flux machines doesn't have a cogging torque, iron losses or eddy current. Axial flux machines are construction, which requires to make a 3D model. Presented in this paper are 3D field models of coreless axial flux machines, which map a prototype of the machine made. Demonstrated are methods of modeling particular elements and parameters of machines.

1. Wstęp

Projektowanie nowoczesnych maszyn elektrycznych stanowiących napęd pojazdów drogowych lub szynowych obydwa się najczęściej z wykorzystaniem trójwymiarowej metody elementów skończonych (MES 3D). Nowoprojektowane maszyny powinny charakteryzować się jak największym momentem z jednostki masy lub jak największą mocą z jednostki objętości. Minimalizacja masy maszyny elektrycznej jest istotna, gdyż wpływa to na masę pojazdu i na energię zużywaną na ruch pojazdu. Dzięki zastosowaniu trójwymiarowych modeli polowych można z dużą dokładnością przeprowadzić optymalizację maszyny, a co za tym idzie uzyskać jej minimalną masę przy odpowiednio wysokich współczynnikach masa/moc i moment/masa. Poszukując dobrego rozwiązania maszyny elektrycznej o minimalnej masie przy założonych parametrach należy wziąć pod uwagę maszyny tarczowe, które dzięki dużej średnicy i ograniczonej długości osiowej uzyskują bardzo korzystne parametry eksploatacyjne w porównaniu z klasycznymi maszynami cylindrycznymi. Dzięki swoim zaletom silniki tarczowe są często wykorzystywane w pojazdach o napędzie elektrycznym, gdzie wymaga się od nich dużego momentu chwilowego. Przy pokonywaniu przeszkód konieczny jest moment kilkukrotnie większy od tego rozwijanego przez napęd w czasie jazdy ustalonej pojazdu po płaskim i utwardzonym terenie. Dlatego też, w pojazdach wolnobieżnych, jako napęd coraz częściej stosuje się wolnoobrotowe silniki tarczowe zabudowane w kołach jezdnych. Spośród wielu rodzajów maszyn o strumieniu osiowym, na uwagę zasługuje bezrdzeniowa maszyna tarczowa ze względu na właściwości jakimi się cechuje. Przede wszystkim nie wy-

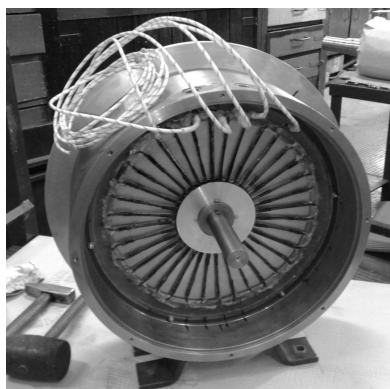
tworza ona momentu zaczepowego ze względu na brak rdzenia stojana, co może być szczególnie korzystne w zastosowaniach takich jak precyzyjne serwonapędy, urządzenia pozycjonujące czy różnego rodzaju obrabiarki. W bezrdzeniowym stojanie nie powstają straty w rdzeniu ferromagnetycznym, straty histerezy oraz straty od prądów wirowych. Ponadto maszyny tego typu cechuje wysoka sprawność. Do wad bezrdzeniowej maszyny tarczowej można zaliczyć problemy z odprowadzaniem nadmiaru ciepła z uzwojeń stojana oraz trudności z odpowiednim usztywnieniem uzwojeń, które podczas pracy narażone jest na duże poosiowe siły elektrodynamiczne.

Maszyny tarczowe są konstrukcjami, które wymagają obliczeń 3D ze względu na swoją budowę oraz dwukierunkowy rozptył strumienia magnetycznego. Obliczenia w płaszczyźnie 2D dla średnicy średniej tarcz dają jedynie wyniki przybliżone. W niniejszym artykule przedstawiono trójwymiarowy model komputerowy bezrdzeniowej maszyny tarczowej, który odwzorowuje prototyp wykonanej wcześniej maszyny. Omówiono sposób modelowania poszczególnych elementów maszyny oraz definiowania parametrów w programie komputerowym Maxwell 3D.

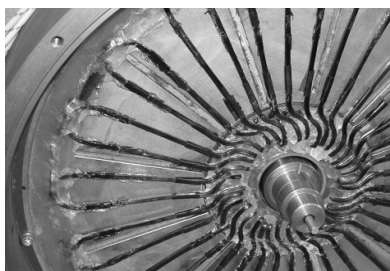
2. Prototyp bezrdzeniowej maszyny tarczowej

W rozdziale tym przedstawiono wykonany prototyp bezrdzeniowej maszyny tarczowej (rys. 1) oraz podano główne wymiary tarcz wirnika, magnesów trwałych oraz dane dotyczące bezrdzeniowego uzwojenia stojana.

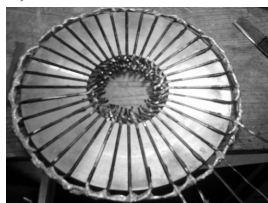
a)



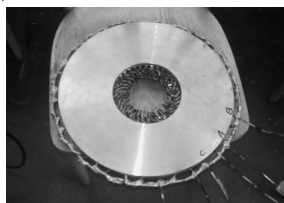
b)



c)



d)



Rys. 1. Prototyp bezrdzeniowej maszyny tarczowej a) widok ogólny, b) magnesy trwałe oraz uzwojenie, c), d) uzwojenie bezrdzeniowej maszyny w stalowej tarczy wzornikowej

Podstawowe dane modelu fizycznego bezrdzeniowej maszyny tarczowej:

Wirnik

Średnica zewnętrzna tarczy wirnika 335mm
 Średnica wewnętrzna tarczy wirnika 134mm
 Liczba magnesów trwałych jednej tarczy 12
 Indukcja remanencji magnesu - $B_r = 1.073$ [T]
 Natężenie koercji magnesu - $H_c = 788$ [kA/m]
 Grubość magnesów $h_m = 4$ mm

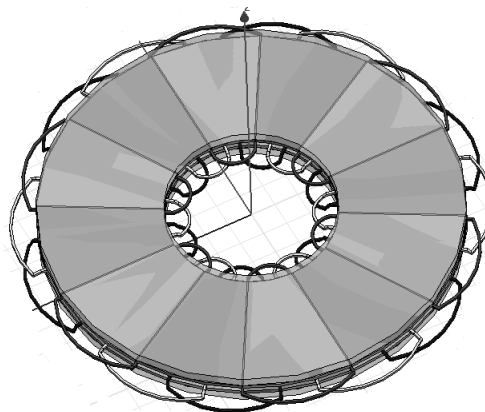
Stojan

Liczba cewek fazowych $N_s = 6$
 Liczba zwojów w cewce $N = 2$
 Liczba biegunów uzwojenia $2p = 12$
 Liczba faz uzwojenia $m = 3$
 Poskok uzwojenia $Y = 3$

Grubość szczeliny powietrznej (jednostronnie) $\delta = 4$ mm
 Wymiary drutu nawojowego 2×1 mm

3. Model 3D bezrdzeniowej maszyny tarczowej

Model bezrdzeniowej maszyny tarczowej utworzony został w programie Maxwell 3D (rys.2). Składa się on z dwóch tarcz stanowiących elementy wirujące maszyny oraz bezrdzeniowego uzwojenia stojana umieszczonego pomiędzy tarczami. Na jednej tarczy wirnika znajduje się 12 magnesów trwałych umieszczonych naprzemiennie tzn. obok magnesu o polaryzacji N leży magnes o polaryzacji S. Istotnym jest, aby model maszyny umieszczony był symetrycznie względem globalnego układu odniesienia.

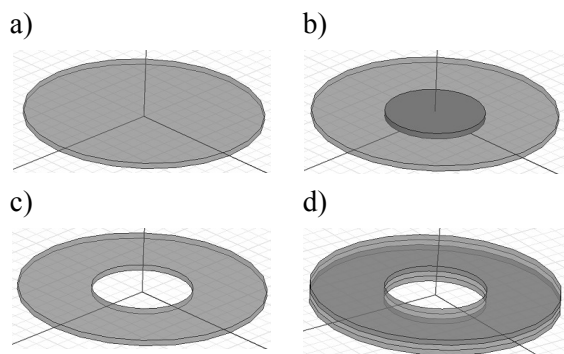


Rys. 2. Model bezrdzeniowej maszyny tarczowej

4. Tarcze wirnika

Model tarcz wirnika utworzono wykorzystując funkcję „draw cylinder”. W pierwszej kolejności utworzono walec o średnicy równej średnicy zewnętrznej tarcz wirnika, a następnie wewnątrz powstałego walca narysowano drugi walec o średnicy równej średnicy wewnętrznej tarcz wirnika. Za pomocą funkcji „subtract” od walca o większej średnicy odjęto walec o średnicy mniejszej. Ostatnim etapem było utworzenie drugiej tarczy wirnika. Do tego celu wykorzystano funkcję „Mirror Duplicate”, za pomocą której tworzy się odbicie lustrzane zaznaczonego wcześniej elementu względem np. środka układu współrzędnych.

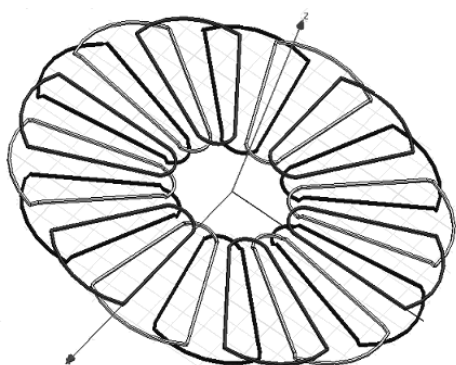
Po utworzeniu modelu tarcz wirnika przyporządkowano im odpowiedni rodzaj materiału, którym w tym przypadku była stal. Poszczególne etapy modelowania tarcz wirnika przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Sposób tworzenia tarcz wirnika bezrdzeniowej maszyny tarczowej

5. Bezrdzeniowe uzwojenie

Kolejnym elementem trójwymiarowego modelu jest bezrdzeniowe uzwojenie stojana (rys. 4). Składa się ono z 18 cewek, z których każda stanowi osobny element. Dla każdej cewki przyporządkowuje się tzw. „coil terminal” określający kierunek przepływu wymuszenia (rys. 5). W zakładce „Coil Terminal” podaje się również liczbę zwojów dla jednej cewki, w tym przypadku liczba zwojów modelu cewki bezrdzeniowej maszyny tarczowej wynosi 2.



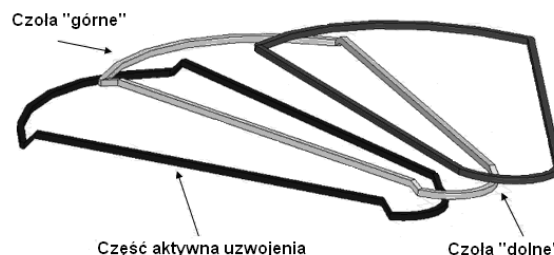
Rys. 4. Model bezrdzeniowego uzwojenia



Rys. 5. Model pojedynczej cewki wraz z przyporządkowanym „coil terminal”

Sposób utworzenia modelu pojedynczej cewki jest dość złożony głównie ze względu na konieczność odpowiedniego formowania czoł „górnych” oraz „dolnych” uzwojenia. Model

cewki składa się z kilku oddzielnych elementów (rys. 6) między innymi: części aktywnej, czoła górnego oraz czoła dolnego, które połączone zostały ze sobą za pomocą funkcji „Unit”. Po utworzeniu modelu pojedynczej cewki, pozostałe cewki zamodelowano wykorzystując funkcję „Around Axis Duplicate”. Materiałem przyporządkowanym dla cewek uzwojenia bezrdzeniowej maszyny tarczowej jest miedź.

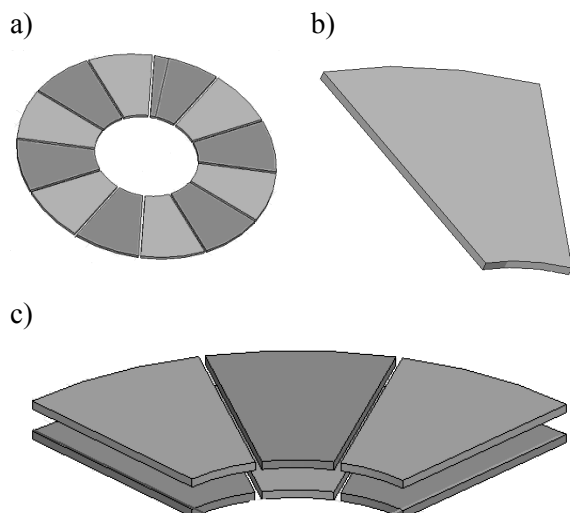


Rys. 6. Modele pojedynczych cewek należące do różnych faz uzwojenia bezrdzeniowej maszyny tarczowej

Po przyporządkowaniu każdej z cewek ich „coil terminal” grupuje się je w fazy oraz zadaje rodzaj wymuszenia w zakładce „Excitations”. Uzwojenie modelowanej maszyny jest uzwojeniem trójfazowym, którego poszczególne fazy połączone zostały ze sobą w edytorze – „External Circuit”. Fazy uzwojenia modelu bezrdzeniowej maszyny tarczowej połączone są w gwiazdę.

6. Magnesy trwałe

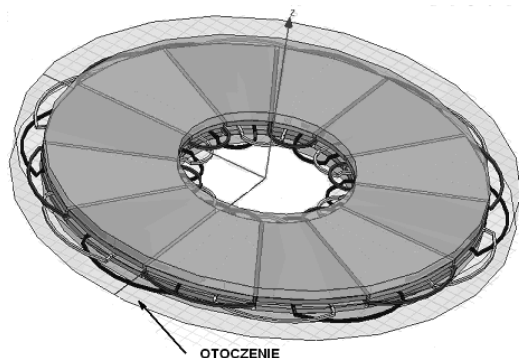
Magnesy trwałe umieszczone są na stalowych tarczach wirnika bezrdzeniowej maszyny tarczowej. Dane dotyczące magnesów podano w rozdziale 2. Sposób umieszczenia poszczególnych magnesów przedstawiony został na rysunku 7. Na jednej tarczy wirnika obok magnesu o polaryzacji N leży magnes o polaryzacji S. Dodatkowo naprzeciw magnesu N jednej tarczy wirnika leży magnes S drugiej tarczy wirnika (rys. 7c). Po utworzeniu elementu reprezentującego magnes trwały należy zdefiniować jego główne parametry oraz zadać odpowiedni wektor magnetyzacji. Z uwagi na fakt, że program Maxwell 3D nie pozwala na przyporządkowanie dwóch różnych kierunków wektora magnetyzacji dla jednego rodzaju materiału, utworzone zostały dwa rodzaje materiałów odpowiadające magnesowi biegunowości N oraz magnesowi biegunowości S. Pod względem właściwości fizycznych nie różnią się one od siebie w żaden sposób.



Rys. 7. Model magnesów trwałych a) magnesy trwale jednej tarczy wirnika, b) pojedynczy model magnesu c) naprzemiennie umiejscowione magnesy trwale

7. Otoczenie

Po utworzeniu modelu bezrdzeniowej maszyny tarczowej, koniecznym jest jeszcze utworzenie obiektu reprezentującego otoczenie. W tym przypadku jest to walec, wewnątrz którego znajduje się model maszyny (rys. 8). „Otoczenie” traktowane jest jako obszar ograniczający obliczenia polowe. Środowiskiem materiałowym dla obiektu „otoczenie” jest powietrze.



Rys. 8. Model bezrdzeniowej maszyny tarczowej wraz z elementem „otoczenie”

8. Podsumowanie

Wykonany model bezrdzeniowej maszyny tarczowej umożliwia wykonanie obliczeń MES w programie Maxwell 3D. Obliczenia 3D modelu z odpowiednio dokładną siatką elementów skończonych są obliczeniami długotrwałymi. W celu skrócenia czasu obliczeń warto wydzielić z modelu fragment odpowiadający podziałce

biegunowej i przeprowadzić obliczenia jedynie dla tego fragmentu modelu.

9. Literatura

- [1]. Cierzniewski P.: *Bezrdzeniowy silnik tarczowy z magnesami trwałymi*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne nr.77 – 2007.
- [2]. Glinka T., Tomaszkiwicz W.: *Silniki tarczowe*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne nr.80 – 2008
- [3]. Wolnik T.: *Modelowanie polowe silnika bezszczotkowego tarczowego do napędu pojazdów samochodowych*. Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Zakład Maszyn i Inżynierii Elektrycznej w Transporcie, Gliwice 2009.

„Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt badawczy”

Autorzy

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Glinka
 t.glinka@komel.katowice.pl
 Mgr inż. Emil Król
 e.krol@komel.katowice.pl
 Mgr inż. Tomasz Wolnik
 t.wolnik@komel.katowice.pl
 Branżowy Ośrodek Badawczo Rozwojowy
 Maszyn Elektrycznych „KOMEL”
 40-203 Katowice,
 Al. Roździeńskiego 188.