

Marek Lis
Politechnika Częstochowska, Częstochowa

CHARAKTERYSTYKA MAGNETO-MECHANICZNA SILNIKA BEZSZCZOTKOWEGO O WZBUDZENIU OD MAGNESÓW TRWAŁYCH O STEROWANIU TRAPEZOIDALNYM

MAGNETO-MECHANIC CHARACTERISTIC IN THE BRUSHLESS MOTOR WITH PERMANENT MAGNET INDUCTION AND TRAPEZOIDAL DRIVING

Abstract: In the paper the algorithm of computing magneto-mechanic characteristic has been presented. The model of BLDC motor with constant magnets on the rotor, supplied by 3-phase source have been performed by ANSYS and Flux 2D programs using FEM Method. In the simulation the dependence on the feedback magnetic circuits, electromagnetic torque, currents, and angle of rotor rotation has been taken into consideration. It was done in two parts:

- by creation model of machine, and
- by computing magneto mechanic characteristic.

All results the simulations have shown on the graphic diagrams.

1. Algorytm rozwiązania problemu

Algorytm rozwiązania problemu obliczania wartości charakterystyk magneto-mechanicznych silników z magnesami trwałymi przewiduje przeprowadzenie obliczeń, pobudowań geometrycznych, przekształcania układów współrzędnych i in. w dwóch etapach:

- a) stworzenie modelu końcowo-elementowego budowa modelu geometrycznego silnika bezstykowego o wzbudzeniu od magnesów trwałych dla danych przypadków w przestrzeni dwuwymiarowej, jako zbioru obszarów (płaszczyzn) o różnych właściwościach magnetycznych. W strefach powietrznych i w obszarach zajętych przez uzwojenie stojana, stosunek między natężeniem i indukcją pola magnetycznego opisuje się wzorem $\vec{H}_\delta = \mu_0 \vec{B}_\delta$, w rdzeniach stalowych przewodu magnetycznego – $\vec{H}_{Fe} = H[\vec{B}_{Fe}]$, w biegunach wirnika zbudowanych z magnesów trwałych – $\vec{H}_M = H[\vec{B}_M]$ z uwzględnieniem kierunku namagnesowania;
- naniesienie siatki elementów skończonych na model geometryczny z jednoczesnym kształtowaniem maszywów ze współrzędnymi jego węzłów w numeracji lokalnej i globalnej, czyli tworzenie modelu końcowo-elementowego,
- ustalenie warunku granicznego Dirichleta;
- przyjęcie "dróg", wzdłuż których będzie się przeprowadzać całkowanie dla dalszego obliczenia sprzężeń magnetycznych obwodów elektrycznych i momentu elektromagnetycznego;

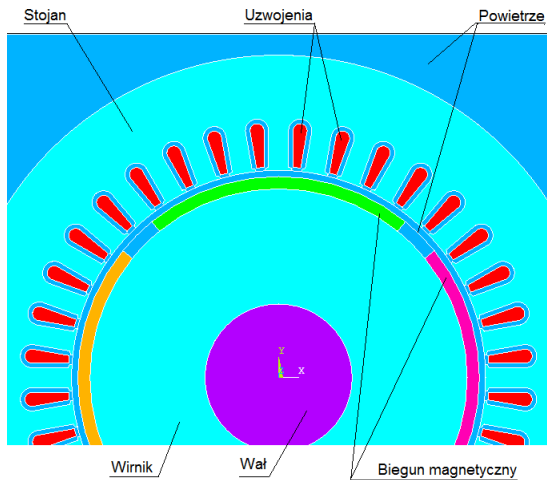
- b) obliczenie jednego punktu charakterystyki magneto-mechanicznej silnika bezstykowego o wzbudzeniu od magnesów trwałych

- określenie kąta obrotu wirnika, który odpowiada lokalizacji (rozkładowi) obszarów modelu końcowo-elementowego. Jeżeli dany kąt γ różni się od określonego więcej niż o $\pm 0,1\%$ wtedy przeprowadza się przebudowę modelu końcowo-elementowego (usuwanie siatki w szczelinie powietrznej, obrót wirnika na kąt zadany, budowanie nowej siatki w szczelinie powietrznej),
- ustalenie obciążeń – gęstości prądów w węzłach siatki elementów końcowych, odpowiadających cewkom uzwojenia stojana, zgodnie z zadanymi prądami i_1, i_2, i_3 obwodów elektrycznych stojana,
- algebrizacja funkcjonalów;
- rozwiązywanie układu nieliniowego równań algebraicznych względem nieznanymi wartości potencjału wektorowego magnetycznego \vec{A} ;
- obliczenie pól wektorów \vec{H} i \vec{B} po znanym polu wektora \vec{A} ;
- obliczenie wartości sprzężeń magnetycznych obwodów elektrycznych stojana oraz momentu elektromagnetycznego.

2. Symulacje komputerowe

Celem obliczeń matematycznych jest sprawdzenie dokładności proponowanego algorytmu

obliczeń charakterystyk magneto-mechanicznych silników z magnesami stałymi.



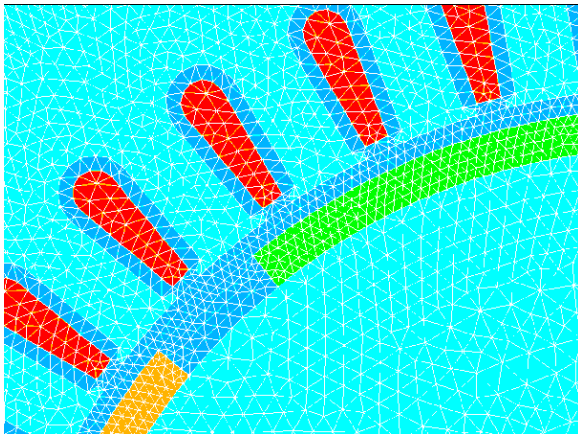
Rys. 1. Przekrój poprzeczny silnika PMSg132 S4 BLDC

Obliczenia matematyczne przeprowadzono dla silnika PMSg132 S4 BLDC produkcji BOBREME „Komel”. Obliczenia symulacyjne wykonano w oparciu o środowisko ANSYS.

Przekrój poprzeczny silnika PMSg132 S4 BLDC podany jest na rys.1.

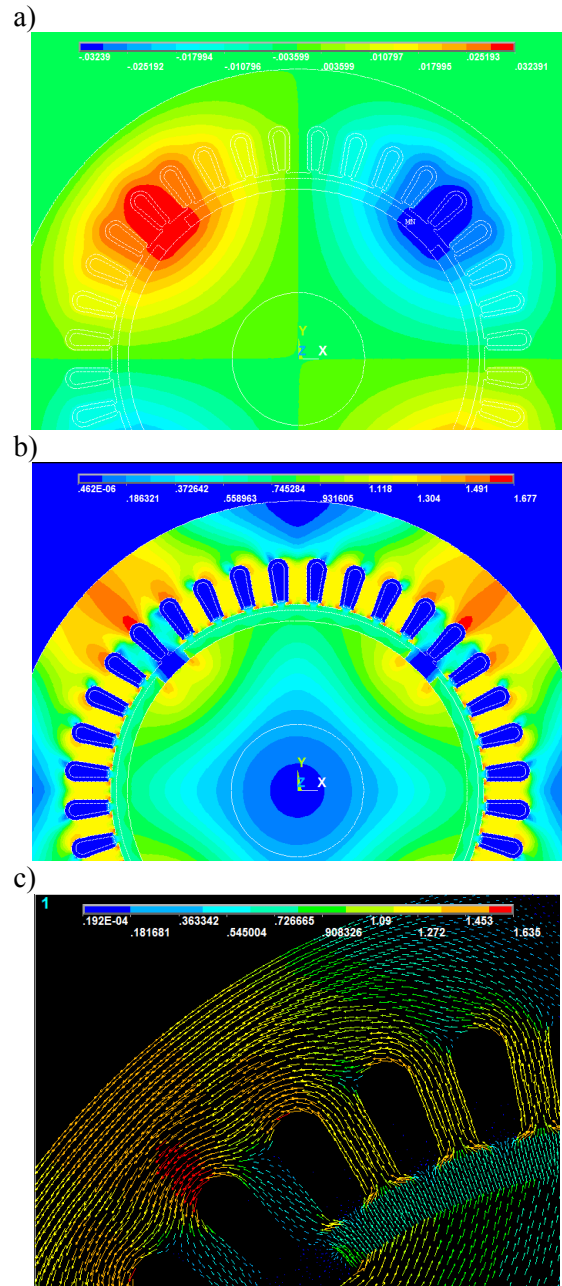
Obszary tego samego koloru będą miały, w odniesieniu magnetycznym, takie same właściwości.

Zestaw elementów skończonych pokazano na rys. 2.



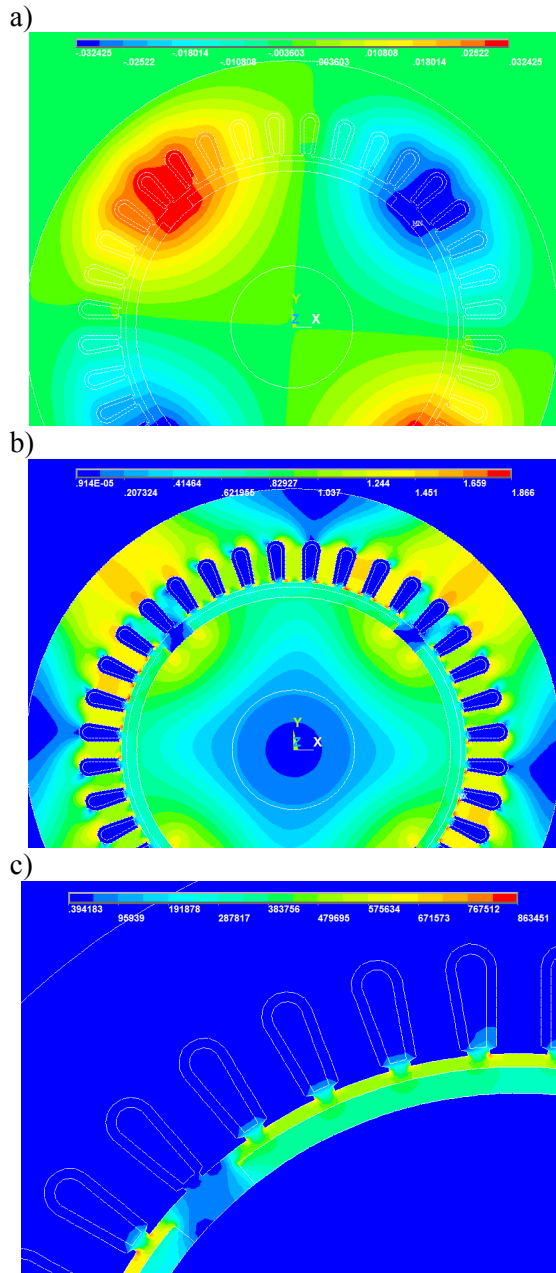
Rys. 2. Szczegóły (fragment) siatki elementów skończonych

Różne sposoby interpretacji graficznej wyników obliczeń pola magnetycznego pokazano na rys. 3 i 4.



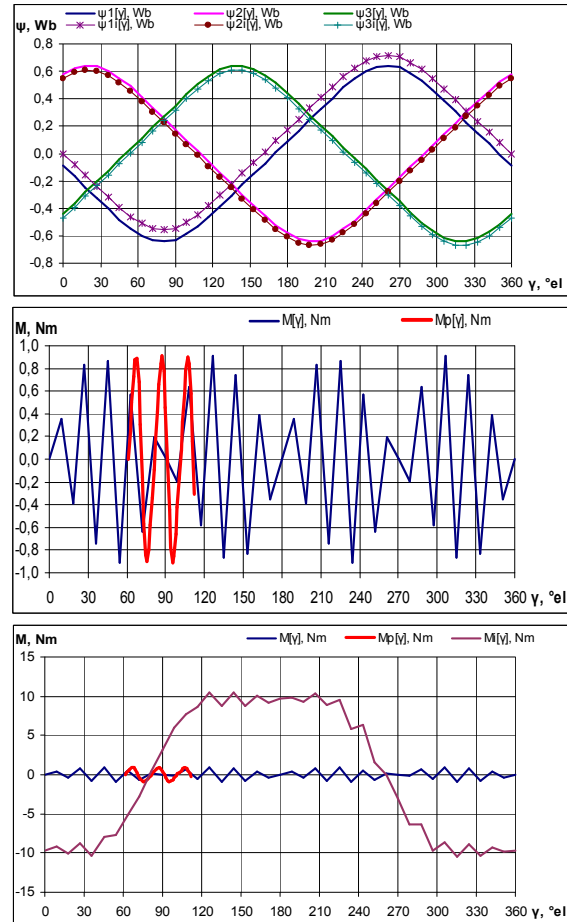
Rys. 3. Graficzne przedstawienie właściwości pola magnetycznego w przypadku braku prądów twornika i kącie $\gamma = 0$ rad: a) pole wektorowe potencjału magnetycznego, $V \cdot s/m$; b) rozkład modułu wektora indukcji pola magnetycznego, T ; c) rozkład wektora indukcji pola magnetycznego, T ;

Wyniki obliczeń pola magnetycznego silnika dla obciążenia jednej fazy prądem 15 A pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Graficzne przedstawienie właściwości pola magnetycznego dla prądów twornika $i_1 = 15A$, $i_2 = i_3 = 0$ i kąta $\gamma = 0$ rad: a) pole wektorowego potencjału magnetycznego, $V \cdot s/m$; b) rozkład modułu wektora indukcji pola magnetycznego, T ; c) rozkład modułu wektora natężenia pola magnetycznego, A/m

Charakterystyki magneto-mechaniczne maszyny, jako zależności sprzężeń magnetycznych obwodów oraz momentu elektromagnetycznego od kąta obrotu wirnika, dla idealnego biegu jałowego pokazano w postaci wykresów na rys. 5.



Rys. 5. Zależności sprzężeń magnetycznych Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 i momentu elektromagnetycznego M od kąta obrotu wirnika γ na biegu jałowym oraz przy prądach twornika $i_1 = 15A$, $i_2 = i_3 = 0$

Krok zmiany kąta γ ($9^\circ E.$), okazał się niewystarczającym, aby odpowiednio odzwierciedlić zmiany momentu reakcyjnego silnika. Przeliczenie charakterystyk magneto-mechanicznych z krokiem $1,3^\circ E.$ w zakresie kątów $60 \div 112^\circ E.$ przedstawiono na rys. 5 i oznaczono jako $M_p[\gamma]$.

Zależności sprzężeń magnetycznych obwodów oraz momentu elektromagnetycznego od kąta obrotu wirnika, dla stałych prądów stojana $i_1 = 15A$, $i_2 = i_3 = 0$, także pokazane są na rys.5. Wartości odpowiadające temu trybowi pracy, mają w oznaczeniach indeks „i”.

3. Wnioski

Zgodnie ze schematem uzwojenia osie magnetyczne fazy U są nachylone do osi prostokątnego kartezjańskiego układu współrzędnych pod kątami 40° i 130° geom., pod warunkiem,

że złołek №1 będzie mieć położenie kątowe 95° geom. Jeśli wzdłużna oś magnetyczna któregokolwiek z biegunów wirnika pokrywa się z osiami magnetycznymi fazy U, to moduł fazowego sprzężenia magnetycznego będzie osiągać wartość maksymalną. Przy przeliczeniu na stopnie elektryczne, dla $2p = 4$, położenia te są równe 80° i 260° E. Właśnie w tych pozycjach na rys. 5 sprzężenie magnetyczne ψ_1 osiąga maksimum. Jak widać z rysunku, sprzężenie magnetyczne obwodu ψ_1 przez który płynie prąd 15 A, ma składową stałą, spowodowaną tym prądem. Okoliczności te pośrednio, na poziomie fizycznym, potwierdzają prawidłowość przedstawionych obliczeń.

4. Literatura

- [1]. Information – *VACuumshmelze, Rare-Earth Permanent Magnet Materials, VACODYM®, VACOMAX®*
- [2]. Krzysztof Szewczyk, Adam Kościelniak, Ryszard Kot *Analysis of magnetic circuits for a hybrid stepper motor with cogging torque reduction IX Sympozjum Pomiarów Magnetycznych Częstochowa 22-23 10.2009, publikacja Przeglądu Elektrotechnicznego 2010*
- [3]. *Flux 10 2D/3D applications, User's guide – Vol3*

Autor

dr inż. Marek Lis Politechnika Częstochowska
Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa,
E-mail: lism@el.pcz.czest.pl