

Bronisław TOMCZUK, Jan ZIMON, Andrzej WAINDOK

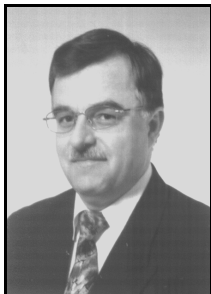
POLITECHNIKA OPOLSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI I INFORMATYKI,
INSTYTUT UKŁADÓW ELEKTROMECHANICZNYCH I ELEKTRONIKI PRZEMYSŁOWEJ

Obliczanie sił elektromagnetycznych w aktuatorach o ruchu liniowym z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych (MES)

Dr hab. inż. Bronisław TOMCZUK

Od 1996 profesor nadzwyczajny w Politechnice Opolskiej, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki. Prace w dziedzinie komputerowego modelowania i weryfikacji pomiarowej pola elektromagnetycznego w celu optymalizacji układów transformatorowych i elektromechanicznych. Doktorat i habilitacja na Wydz. Elektrotechniki i Elektroniki Pol. Łódzkiej. Biografia zamieszczona w „Who's Who in the World”. Członek SEP, PTETIS, Compumag Society (Londyn).

e-mail: tomczuk@po.opole.pl



Mgr inż. Jan ZIMON

Studia ukończył na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Opolskiej w 2002 roku. Od roku 2003 jest pracownikiem Zakładu Elektrotechniki Przemysłowej i doktorantem na tym Wydziale. Jego praca naukowo-badawcza jest związana z modelowaniem numerycznym systemu układów elektromagnetycznych szczególnie, łożysk magnetycznych.

e-mail: jz@po.opole.pl



Mgr inż. Andrzej WAINDOK

Studia ukończył na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Opolskiej w 2002 roku. Od roku 2003 jest pracownikiem Zakładu Elektrotechniki Przemysłowej i doktorantem na tym Wydziale. Jego zainteresowania obejmują modelowanie pól elektromagnetycznych w zastosowaniu do projektowania wspomaganego komputerem. Obecnie zajmuje się analizą pola magnetycznego aktuatorów liniowych i transformatorów.

e-mail: waindoka@po.opole.pl



Ze względu na potrzebę dostosowania łożyska do zmieniających się warunków pracy opracowano metodę połowego obliczenia jego parametrów elektromagnetycznych [2].

2. Siła ciągu w silniku tubowym

W pracy przedstawiono charakterystykę statyczną siła/prąd $F=f(I)$ prototypowego silnika liniowego o konstrukcji tubowej z magnesami trwałymi (PMTLM – Permanent Magnet Tubular Linear Motor) wykonanego w Politechnice Opolskiej [3]. Jest to 5-fazowy silnik krokowy (rys. 1).

Streszczenie

Podano wyniki obliczeń siły elektromagnetycznej dla silnika liniowego oraz łożyska magnetycznego. Przedstawiono geometrie konstrukcji obu obiektów oraz weryfikację pomiarową obliczeń. Wyniki obliczeń są zgodne z wynikami pomiarów.

Słowa kluczowe: silniki liniowe, łożyska magnetyczne, obliczenia połowe.

Electromagnetic force calculations in the linear motion actuators with using Finite Elements Method (FEM)

Abstract

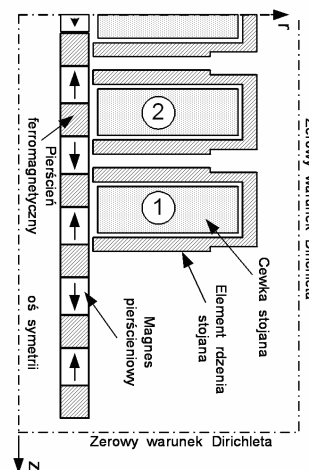
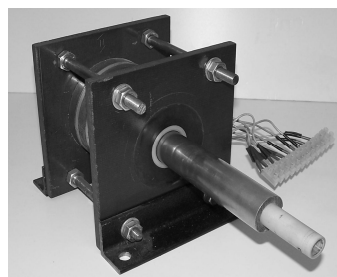
The calculation results of the electromagnetic force for a linear motor and magnetic bearing have been given. The geometries of the two objects, and measurements verification of the calculations have been presented. The calculation results are in good agreement with the measurement ones.

Keywords: linear motors, magnetic bearings, field calculations.

1. Wstęp

Silniki liniowe są stosowane jako urządzenia automatyki oraz sprzętu powszechnego użytku [5]. Wzrost ich popularności wiąże się z brakiem potrzeby stosowania dodatkowych urządzeń zmieniających ruch obrotowy na liniowy, pośredniczących między napędem a obciążeniem. Dzięki stosowaniu nowych materiałów i konstrukcji, charakteryzują się one coraz większą szybkością i precyzją działania.

Łożyska magnetyczne można zaliczyć do aktuatorów o ruchu liniowym, bowiem siła elektromagnetyczna jest przeważnie wytwarzana w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach promiennie do osi wału. W praktyce, aby dobrze ułożyskować wał napędu stosuje się zespoły łożysk, a w szczególności łożyska aktywne magnetycznie [6].



Rys. 1. Zdjęcie badanego silnika wraz z przekrojem
Fig. 1. Picture of the analysed motor with the cross-section

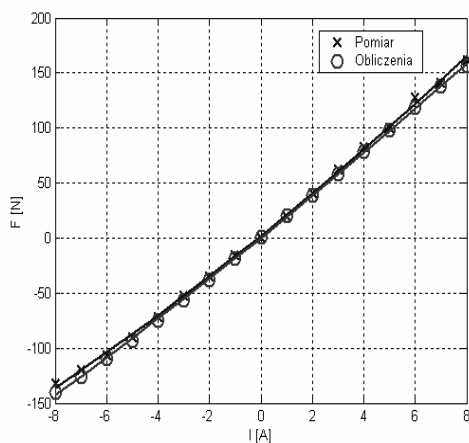
W celu analizy z wykorzystaniem MES, pominięto prądy wirowe i założono quasistacjonarność pola. Rozwiązano magnetostatische zagadnienie brzegowe. Ze względu na symetrię osiową, nieliniowe równanie różniczkowe ma postać [4]:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{\mu(B)} \frac{\partial A_\varphi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r \cdot \mu(B)} \frac{\partial A_\varphi}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\mu(B)} \frac{\partial A_\varphi}{\partial z} \right) - \frac{1}{\mu(B)} \frac{A_\varphi}{r^2} = J_\varphi \quad (1)$$

W modelu uwzględniono nieliniowe parametry materiałowe stojana i biegnika jak np. $\mu(B)$ – czyli przenikalność magnetyczną magnetowodu.

Wyznaczono charakterystykę siły w funkcji prądu zasilania dla neutralnego położenia biegnika [3]. Siłę obliczono w oparciu o tensor naprężeń Maxwella \vec{T} [4]. Obliczone wartości siły zweryfikowano pomiarowo dla przypadku zasilania cewki sąsiadującej z cewką skrajną (cewka 2, rys. 1).

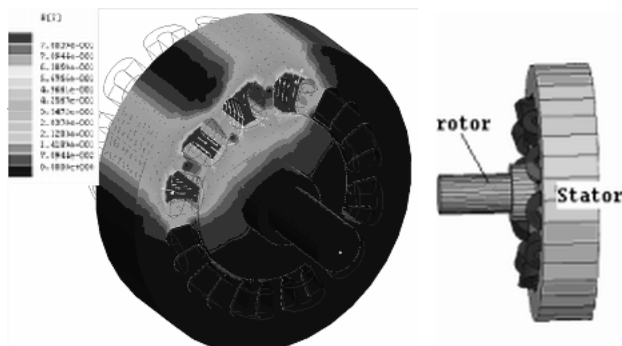
Pomimo nieliniowości rdzenia, wartość siły zależy prawie liniowo od prądu wzbudzenia (rys. 2). Widoczna jest dobra zgodność obliczeń z pomiarami.



Rys. 2. Siła w funkcji prądu w cewce 2 (rys. 1)
Fig. 2. Force as a function of current

3. Siła naciągu promieniowego w łożysku magnetycznym

Na rysunku 3 przedstawiono strukturę łożyska magnetycznego 12 biegunowego. Łożysko to zbudowane jest ze statora oraz wirnika, na którym znajduje się bieżnia ferromagnetyczna. Model obliczeniowy łożyska wykonano w pakiecie Maxwell3D wykorzystującym MES. Zastosowano potencjał skalarny magnetyczny oraz wektorowy elektryczny. Ze względu na symetrię łożyska, modelowano tylko jego połowę. Na granicach obszaru obliczeniowego zadano zerowe warunki Dirichleta.

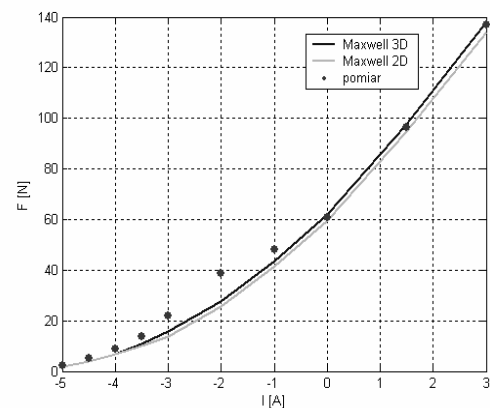


Rys. 3. Mapa rozkładu indukcji magnetycznej, wraz ze szkiecem łożyska
Fig. 3. Model of the analysed bearing and an example of 3D map of the magnetic flux density

Na podstawie rozkładu indukcji, możliwe jest wyznaczenie podstawowych parametrów całkowitego pola, takich jak siła działająca na wał oraz indukcyjność uzwojeń wzbudzących. Metodą prac wirtualnych obliczono siłę działającą na wał łożyska magnetycznego.

$$F = - \frac{\Delta W}{\Delta x} \Big|_{i=const} \quad (2)$$

Wartość siły obliczano poprzez zastosowanie specjalnej siatki elementów skończonych, w której czworokątne leżące wzdłuż zewnętrznej powierzchni bieżni wału, są wirtualnie zniekształcone. Zatem obliczenie siły wymaga jedynie jednokrotnej analizy pola. Wykres siły elektromagnetycznej w funkcji prądu sterowania przedstawiono na rysunku 4. Widać dobrą zgodność obliczeń z pomiarami, co potwierdza poprawność modelu matematycznego łożyska.



Rys. 4. Siła działająca na wał w zależności od prądu sterowania
Fig. 4. Force as a function of control current

4. Podsumowanie

Ze względu na objętość pracy, nie zamieszczono rozkładów pola dla różnych położenia ruchomych elementów w/w aktuatorów liniowych.

Liniowa zależność siły silnika PMTLM od prądu stwarza dobre możliwości sterowania, czego nie można stwierdzić w przypadku łożyska magnetycznego.

Wyniki pomiarów potwierdziły poprawność modeli polowych.

5. Literatura

- [1] Tomczuk B., Zimon J., Gosiewski Z., Falkowski K.: Obliczenia elektromagnetyczne i weryfikacja pomiarowa wybranych parametrów aktywnego łożyska magnetycznego. -Pomiary, Automatyka, Kontrola, 2005 nr 10, 2005, s. 12-16.
- [2] Tomczuk B., Zimon J.: Trójwymiarowe modelowanie pola w łożysku magnetycznym. -Śląskie Wiadomości Elektryczne, 2005 nr 5, 2005, s. 9-12.
- [3] Tomczuk B. Waindok A., Magnetic field calculations of a permanent magnet tubular linear motor (PMTLM), X Konferencja ZKwE, Poznań, 2005, s. 89-90.
- [4] Tomczuk B., Waindok A., Obliczenia parametrów statycznych silnika liniowego tubowego z magnesami trwałymi, XLI Sympozjum Maszyn Elektrycznych, Jarnołtówek, 2005, s. 316-320.
- [5] Tomczuk B., Waindok A.: „Wizualizacja wyników obliczeń polowych przyjaznych środowisku siłowników elektromagnetycznych”, Chemia-Dydaktyka-Ekologia-Metrologia, Opole, 2006 (w druku).
- [6] Tomczuk B., Zimon J.: „Ekologiczne łożyska magnetyczne”, Chemia-Dydaktyka-Ekologia-Metrologia, Opole, 2006 (w druku).