ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2001

Seria: ELEKTRYKA z. 176 Nr kol. 1500

Grzegorz KAMIŃSKI[1], Andrzej SMAK[2]

WYBRANE ZAGADNIENIA OPTYMALIZACJI SILNIKA KULISTEGO Z TOCZĄCYM SIĘ WIRNIKIEM

Streszczenie. Coraz szersze zastosowanie w przemyśle, automatyce, urządzeniach nawigacyjnych zaczynają odgrywać silniki elektryczne o ruchu złożonym. Jednym z jego przedstawicieli jest silnik o wirniku kulistym. Rozróżnia się silniki kuliste z wirnikiem wirującym i toczącym. Kolejną możliwością zastosowania tego silnika może być przemysł motoryzacyjny. Celem modelowania jest sprawdzenie możliwości zastosowania silnika z wirnikiem kulistym jako elementu wykonawczego w skrzyni biegów samochodu osobowego. Trójwymiarowe modele silnika zostały zamodelowane w programie Opera, który pozwala na dokonanie analizy rozkładu pola magnetycznego oraz obliczenia momentu rozruchowego wirnika. Celem modelowania jest uzyskanie optymalnego rodzaju i kształtu wzbudnika silnika kulistego, przy którym zostałby osiągnięty maksymalny moment obrotowy wirnika, przy zadanych wymiarach zewnętrznych.

SELECTED PROBLEMS OF OPTIMIZATION OF SPHERICAL MOTOR WITH ROLLING ROTOR

Summary. Nowadays, the complex motion electric motors are very popular in industry, automation and navigation devices. The motor with the spherical geometry is one of them. These motors give many possibilities of a motion thanks to a variety of constructions and bearing systems. The rotor may be situated in the centre of the aramture (rotating rotor) or the rotor rolls on the internal surface of the armature (rolling rotor). The next possibility of using the motor with spherical, rolling rotor is a gearbox in a vehicle, as a mechanism changing the gear. Modelling is made in 3D Opera software, which allowed to calculate the distribution of the magnetic filed and the torque of the rotor. The dimension and shape of the aramture is optimized to received the maximum torque.

Key words: switched motors, spherical motors

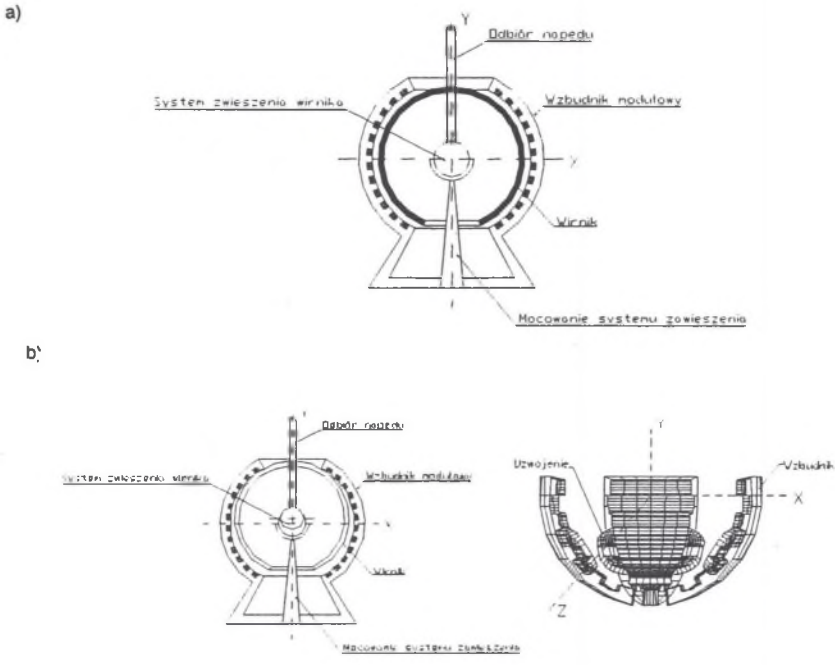
1.WSTĘP

W dzisiejszych czasach w przemyśle, automatyce, urządzeniach nawigacyjnych coraz większą rolę zaczynają odgrywać silniki elektryczne o ruchu złożonym. Jednym z przedstawicieli tego typu silników jest silnik o geometrii sferycznej. Są to silniki posiadające wirnik w kształcie kuli, który poprzez swoją różnorodność konstrukcji oraz sposobu ułożyskowania w stosunku do stojana daje wiele możliwości ruchowych.

Aby uzyskać więcej niż jeden stopień swobody ruchów silnika, wirnik o kształcie kulistym posiada oś biegunową zoz' i jest objęty obudową charakteryzującą się wewnętrzną powierzchnią sferyczną (kulistą) (rys,1). Wirnik może być usytuowany współśrodkowo w obudowie w taki sposób, że odległości mierzone w kierunku promieniowym od jego powierzchni do elementów obudowy wytwarzających pole magnetyczne są jednakowe tworząc w ten sposób szczelinę powietrzną. Możliwe jest także rozwiązanie, gdzie wirnik toczy się po wewnętrznej powierzchni wzbudnika (rys.1).

W celu spowodowania ruchu obrotowego wirnika względem jednej z osi wzbudnik powinien być wyposażony w dwa strefowe obwody magnetyczne rozłożone na wycinkach kulistych, umieszczone symetrycznie względem osi prostopadłej do osi obrotu [1].

[1] Prof. ndzw. dr hab., Politechnika Warszawska, IME, Pl. Politechniki 1, Warszawa, tel. 6257273
[2] Mgr inż., Politechnika Warszawska, IME, Pl. Politechniki 1, Warszawa, fax/tel. 6219825



Rys. 1. Konstrukcje silników z wirnikiem kulistym: a) wirnik wirujący, b) wirnik toczący się
Fig. 1. Constructions of motors with a spherical rotor: a) rotating rotor, b) rolling rotor

Umieszczając we wzbudniku dwie pary strefowych obwodów magnetycznych, rozmieszczonych symetrycznie względem dwóch wzajemnie prostopadłych osi leżących w płaszczyźnie prostopadłej do osi biegunowej wzbudnika, możliwy będzie ruch obrotowy osi biegunowej wirnika o pewien kąt.

Natomiast dla uzyskania ruchu obrotowego wirnika wokół jednej z jego osi biegunowej (Y) wzbudnik powinien zawierać dodatkowe elementy wytwarzające pole wędrujące, wirujące dookoła danej osi biegunowej. Takimi elementami mogą być dodatkowe wzbudniki lub też modułowe obwody magnetyczne mające podwójną strefę żłobkowo-zębową.

Jednym z rozwiązań konstrukcyjnych silnika z wirnikiem sferycznym są silniki reluktancyjne. Są to silniki elektryczne, w których moment obrotowy jest wytwarzany poprzez dążenie części ruchomej (wirnika) do położenia, przy którym indukcyjność zasilanego uzwojenia osiąga największą wartość. Uzwojenie silnika reluktancyjnego składa się przeważnie z kilku oddzielnych pasm fazowych, które mogą być zasilane pojedynczo lub jednocześnie. Podczas pracy silnikowej pasmo fazowe jest zwykle zasilane podczas wzrostu wartości indukcyjności, a brak zasilania występuje przy spadku tej wielkości.

Szczególnym rozwiązaniem silnika reluktancyjnego jest specyficzna odmiana silnika przełączalnego. Są to konstrukcje z toczącym się wirnikiem RRSRM (Roling Rotor Switch Reluctance Motor), w których następuje zamiana impulsów elektrycznych na odpowiednie przemieszczenie kątowe – przetoczenie się wirnika po trajektorii, którą może być hipocykloida. Każdy impuls powoduje obrót wirnika o określony kąt, zależny od konstrukcji silnika, zwany 'krokiem' lub 'skokiem' silnika.

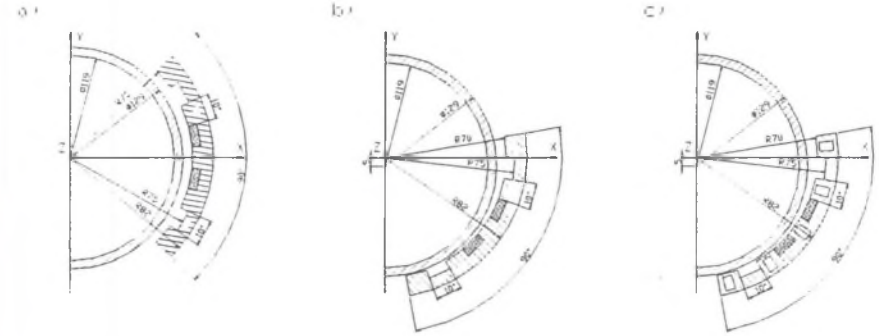
Jednak przeciwnie do typowych silników przełączalnych, w silniku z wirnikiem kulistym 'skok' jest bardzo duży. Dodatkowo silnik jest wyposażony w czujnik położenia wirnika, co powoduje, że impuls elektryczny nie zostanie podany do kolejnego elementu wykonawczego, dopóki wirnik nie zajmie określonej pozycji, wymuszonej poprzednim impulsem.

Ze względu na konstrukcję silniki przełączalne możemy podzielić na:
- reaktywne (reluktancyjne),
- z aktywnym wirnikiem (hybrydowe).

2. MODELOWANIE SILNIKÓW Z WIRNIKIEM TOCZĄCYM SIĘ

Podczas budowy modelu silnika kulistego z wirnikiem toczącym się zostały przyjęte następujące założenia:
- zewnętrzna średnica silnika nie może przekroczyć 180 mm,
- skok silnika powinien się zawierać w przedziale 5 - 20 stopni,
- wzbudnik posiada uzwojenia skupione,
- pominięto układ łożyskowania wirnika,
- ruch wirnika odbywa się bez poślizgu.

Zamodelowany został silnik posiadający cztery rozmieszczone symetrycznie wzbudniki modułowe. Silnik posiada wirnik symetryczny, który toczy się po wewnętrznej powierzchni wzbudnika. Jako że podczas jednego cyklu pracy silnika aktywny jest tylko jeden wzbudnik, zamodelowano ¼ całego silnika. Model został umieszczony w układzie współrzędnych kartezjańskich w taki sposób, że wzbudnik jest zawsze symetryczny względem płaszczyzny XY, natomiast obrót wirnika następuje względem osi równoległej do osi Z [2]. Przykładowe przekroje zamodelowanych silników oraz ich podstawowe wymiary pokazano na rys. 2.



Rys.2. Przekrój poprzeczny i wymiary modelów: a) wirnik wirujący, b) wirnik toczący się, c) wirnik toczący się po wprowadzeniu modyfikacji konstrukcji we wzbudniku
Fig.2. Cross-section and dimesions of models: a) rotating rotor, b) rolling rotor, c) rolling rotor after modifications of armature

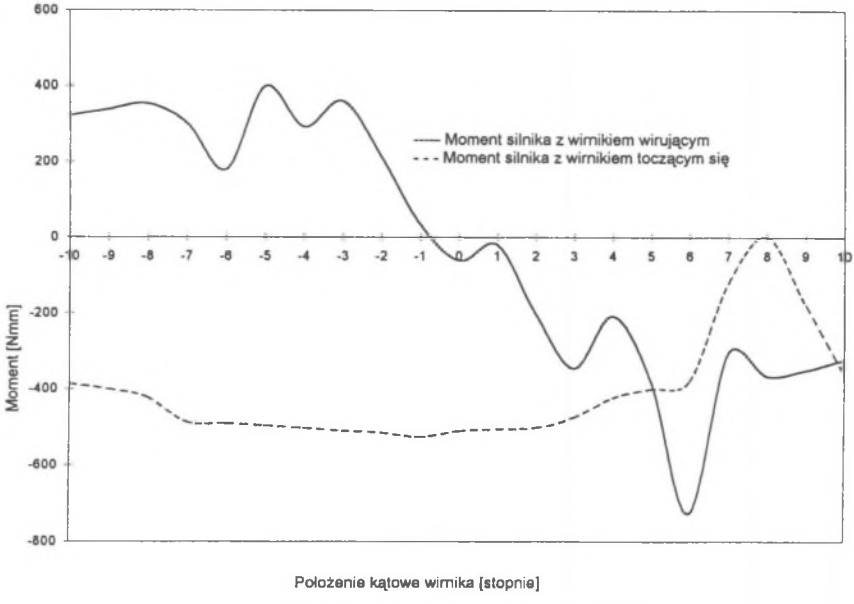
Wzbudnik w płaszczyźnie XZ zawarty jest w kącie 50°. Mimośród sferyczny - odległość między centralnym punktem wzbudnika a środkiem wirnika wynosi 5 mm. Przyjęto, że wzbudnik i wirnik są wykonane z materiałów ferromagnetycznych. W uzwojeniach została zadana gęstość prądu $J=5\ A/mm^2$. Na wszystkich płaszczyznach zewnętrznych modelu jako warunki brzegowe przyjęto $B_N=0$.

3. OBLICZENIA

3.1. Porównanie silnika o wirniku umieszczonym centralnie z silnikiem o wirniku toczącym się

Dla obu silników obliczenia zostały wykonane przy tych samych wymiarach zewnętrznych maszyny (rys. 2). Z wyników obliczeń, pokazanych na rys. 3 wynika, że silnik z wirnikiem umieszczonym centralnie uzyskuje większy moment rozruchowy, ale występuje on tylko przy konkretnym położeniu wyrnika. Natomiast silnik z wirnikiem toczącym się w większym zakresie

zmian kątowych położenia wirnika uzyskuje dużą wartość momentu. Maksymalne momenty rozruchowe dla obu tych silników przypadają dla różnych położeń wirnika.

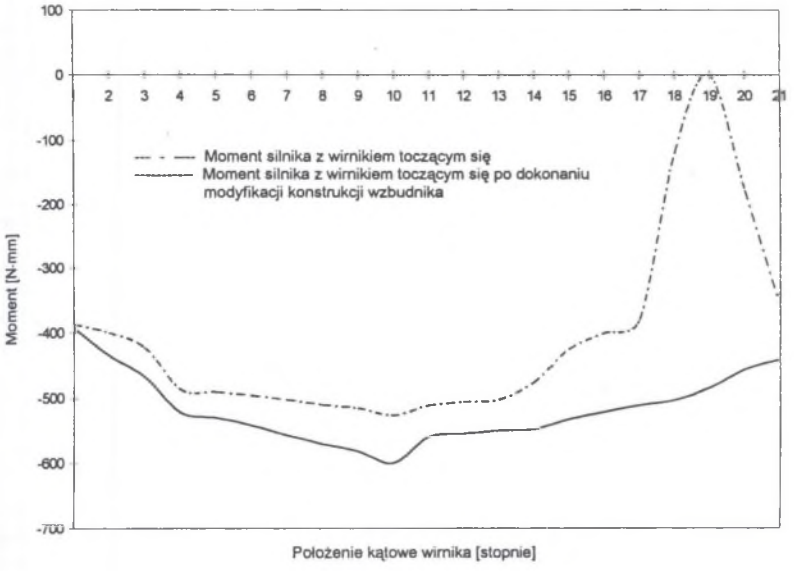


Rys. 3. Charakterystyka kątowa momentu
Fig. 3. Angular characteristic of torque

Jak widać z przebiegów, moment rozruchowy w przypadku silnika z wirnikiem umieszczonym centralnie zmienia znak w pobliżu osi symetrii zęba, wokół którego uzwojenie jest zasilane (rys. 2). Natomiast w przypadku silnika z wirnikiem toczącym się wirnik zatrzymał się 8° po przekroczeniu osi symetrii zęba, a także nie ulega zmianie kierunek obrotu wirnika. Wynika to w dużej mierze z faktu, że uzwojenie tego silnika nie jest symetryczne. Także wielkość szczeliny powietrznej jest większa niż w przypadku silnika z wirnikiem umieszczonym centralnie (rys. 2).

3.2. Obliczenia silnika z wirnikiem toczącym się – modyfikacja wzbudnika

Po obliczeniach wstępnych dokonano modyfikacji konstrukcji wzbudnika, o tych samych wymiarach co w poprzednim przypadku, polegającej na wykonaniu w kierunku promieniowym pioniowych otworów w zębach wzbudnika (rys. 2c). Modyfikacja ta miała na celu zagęszczenie linii sił pola, co powinno dać efekt w postaci większego momentu rozruchowego wirnika. W wyniku dokonanych obliczeń teza ta została potwierdzona. Wartość momentu rozruchowego wirnika wzrosła w całym zakresie zmian położenia wirnika. Wartość maksymalna momentu rozruchowego została osiągnięta w tym samym położeniu wirnika co w poprzednim przypadku (rys. 4).



Rys. 4. Charakterystyka kątowa momentu
Fig. 4. Angular characteristic of torque

4. PODSUMOWANIE

Silniki z wirnikami kulistymi są konstrukcjami o dość skomplikowanej geometrii: wirnik ma kształt kuli, a wzbudnik jej wycinka. Do tego często dochodzi skomplikowany system zawieszenia wirnika. Ale w stosunku do „tradycyjnych" (walcowatych) silników elektrycznych oferuje znacznie większe możliwości ruchu wirnika.

Silnik z wirnikiem toczącym się oferuje większy moment obrotowy, w większym zakresie położeń kątowych wirnika, niż silnik z wirnikiem wirującym. Modyfikując konstrukcje silnika można uzyskać jeszcze lepsze parametry pracy. Dalsze obliczenia będą polegały na dalszej modyfikacji wybranych parametrów wzbudnika i wirnika silnika z wirnikiem toczącym się, w celu uzyskania jak największego momentu rozruchowego, przy zadanych wymiarach zewnętrznych silnika.

LITERATURA

1. Kamiński G.: Silniki o ruchu złożonym, OWPW, Warszawa 1994.
2. Kamiński G., Smak A.: Modelowanie silnika z wirnikiem kulistym, SME, Szklarska Poręba 2000.

Recenzent: Dr hab. inż. Ernest Mendrela
Profesor Politechniki Opolskiej

Wpłynęło do Redakcji dnia 10 lutego 2001 r.

Abstract

The motor with the spherical geometry is an example of a complex motion electric motor, which is popular in industry, automation and navigation devices. These motors have spherical-shaped stator and rotor and give many possibilities of a motion. The rotor may be situated in the centre of the armature (rotating rotor) or the rotor rolls on the internal surface of the armature (rolling rotor) (Fig. 1). The rotation motion of the rotor is possible thanks to two diametrally opposite placed inductors [1].

A reluctance motor is another construction of the machine with spherical rotor. The rotor heads towards a postion where a supplied winding generates the maximum flux density. The winding in the reluctance motor consists of a few separated phase segments, which can be supplied separately or simultaneously.

A switched reluctance motor is a special construction of a reluctance motor. The discrete executive elements in this construction change electric impulses into a rotation motion of a rotor. The rotor changes its position by the specified angle, which is called a „step" or a „jump". In opposition to typical switched motors, in motors with a spherical rotor a „step" is very big.

When creating models in 3D Opera software the following assumptions are made:

- outer diametr of the motor is smaller than 180 mm,
- a step range of the rotor is 5-20 degrees,
- an armature has a concentrated widing,
- bearing system is disregard,
- a slip is equal to 0.

The motor has 4 modular armature and a rolling rotor. There is built ¼ part of the motor, because during one work cycle only one aramture is supplied. The model is placed in the cartesian coordinate system. The XY plane is the symmetry plane for the armature. The rotor rotates aroud an axis, which is parallel to the Z axis. The current density is 5 A/mm^2. The boundary conditions on all exteral surfaces of the model are B_N=0 [2].

First, the motor with the rotating rotor and the motor with the rolling rotor are compared (Fig 2: a) and b)). The outer dimesion of the both motors is the same. The motor with the rotating rotor offers higher value of the torque, but only in one, specific position of the rotor. The motor with the rolling rotor has a large torque in a wide range of the rotor position. In oposite to the motor with rotating rotor, the asymmetric widing is used in the rotor with the rolling rotor. The result is as follows: the points of the maximum torque and points at which the rotors stop are different for these both motors (Fig. 3).

Then, the construction of the aramture in the motor with the rolling rotor is modifed. The small holes in radial direction are made in the aramture (Fig. 2 c)) . As expected, the torque is larger for all positions of the rotor (Fig. 4).

At this point, further work is in progress. The construction of the armature is modifed to receive the maximum value of the torque at the same outer dimesion.