

Jan Anuszczyk, Piotr Błaszczuk
Politechnika Łódzka, Łódź

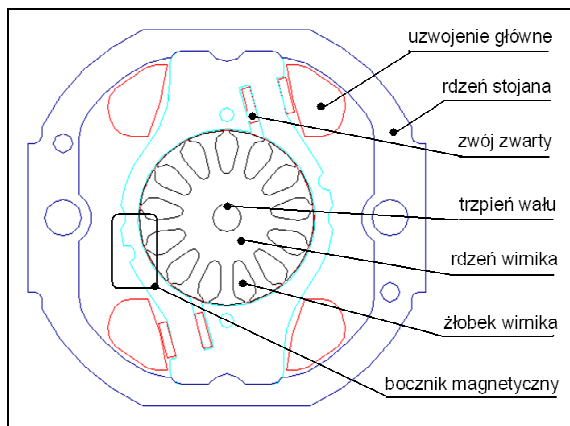
PROJEKTOWANIE MIKROSILNIKA Z FAZĄ ZWARTĄ Z WYKORZYSTANIEM METODY POŁOWEJ

SHADED-POLE MICROMOTOR DESIGN USING THE FIELD CALCULATION METHOD

Abstract: Analysed object is an induction micromotor with a short-circuited auxiliary phase (shaded-pole micromotor - SPM). The motor rating data are: output power 3 W, two poles, one short-circuited coil per pole. Due to flat – parallel distribution of the field and radial direction of flux in SPM, the computational analysis was limited to the cross section plane. Field calculations were done with OPERA 2d software, using finite element method. Basing of numerical simulations several models of the SPM motor have been defined. They were different in: topology of the magnetic shunt, the number of short-circuited coils per pole, also the number and shape of rotor's rods. Taking into account the manufacture conditions of the SPM motor, the shunt set up and geometry were proposed. The optimal solution of motor's magnetic circuit with the largest value of flux density in air gap and also the largest starting torque has been achieved basing on fixed overall dimensions.

1. Wprowadzenie

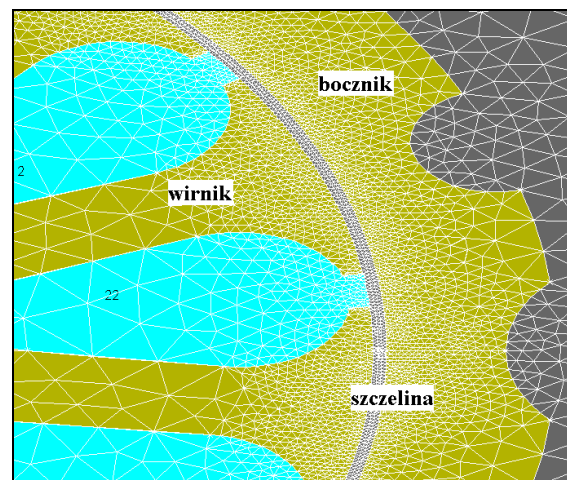
Silniki indukcyjne z pomocniczą fazą zwartą – SFZ (lub zwojem zwartym) są mikrosilnikami klatkowymi z uzwojeniem stojana skupionym umieszczonym na wydatnych biegunach. Najczęściej są wykonywane jako dwubiegunowe lub czterobiegunowe z jednym lub dwoma zwojami zwartymi.



Rys. 1. Silnik indukcyjny z pomocniczym zwojem zwartym

W celu uzyskania jak najlepszych właściwości rozruchowych silnika stosuje się aktualnie takie rozwiązanie konstrukcyjne rdzenia, w którym bieguny połączone są ze sobą bocznikami magnetycznymi, rys.1. Bocznik stanowi najistotniejszy element konstrukcyjny silnika. Dobór kształtu bocznika magnetycznego i usytuowania zwoju zwartego poprawiają rozkład indukcji w szczelinie co przekłada się na kształt wypadkowej charakterystyki momentu. Silniki

indukcyjne z pomocniczą fazą zwartą są najczęściej budowane na moce oddawane o wartościach od ułamków wata do około 200 W. Osiągane wartości momentu rozruchowego w tych silnikach wynoszą $(0,3 \div 0,9)M_N$. Należy podkreślić, że silniki te cechuje bardzo niska sprawność nie przekraczająca 30%.



Rys. 2. Model numeryczny silnika SFZ

2. Charakterystyka obiektu badań

Przedstawione obliczenia projektowe z wykorzystaniem metody polowej dotyczą mikrosilnika produkowanego przez FAD Niewiadów (typ 925) o mocy 3W, $2p=2$, $Q_r=13$ - tablica 1. Jednym z najbardziej przydatnych środowisk obliczeniowych do analizy obiektów o niesymetrycznej i skomplikowanej geometrii jaką

cechuje się SFZ jest metoda elementów skończonych (MES). Stanowi ona podstawowe narzędzie służące do wspomaganých polowo

Tablica 1. Zestawienie wybranych modeli obliczeniowych

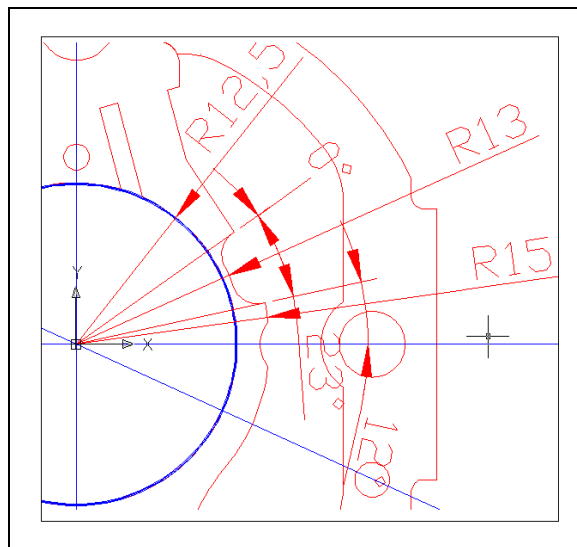
Lp	Nazwa modelu	Opis modelu
1	1NMES	Silnik typu 925 produkcji FAD Niewiadów, wirnik nr 1 $Q_r=13$
2	2MES	Silnik na bazie modelu 1NMES z najlepszym bocznikiem przy wycięciu zewnętrznym, wirnik nr 1 $Q_r=13$
3	3MES	Silnik SFZ: najlepszy bocznik zewn., dodatkowy zwój zwarty o przekroju kołowym na każdym biegunie, wirnik nr 1 - $Q_r=13$
4	4MES	Silnik SFZ: najlepszy bocznik zewnętrzny, dwa zwoje o przekroju kołowym na każdym biegunie, wirnik nr 3 - $Q_r=12$, wąskie żłobki
5	5MES	Silnik SFZ po optymalizacji: jeden zwój zwarty prostokątny, bocznik technologiczny, wirnik nr 1 - $Q_r=13$

obliczeń elektromagnetycznych przetworników i jednocześnie symulacji rozkładu natężenia pola, indukcji magnetycznej czy też głębokości wnikania strumienia magnetycznego w ich obwodach.

3. Opis metody i modeli połowych

Siatka podziałowa będąca podstawą modelu numerycznego silnika jest przedstawiona na rys.2. Wynika ona z odwzorowania graficznego obiektu z rys.3. Biorąc pod uwagę obliczenia przeprowadzone przy użyciu MES, istotne jest określenie dokładności uzyskiwanych wyników. Parametrem decydującym o dokładności rozwiązania jest liczba elementów podziałowych, ponieważ wraz ze wzrostem gęstości sieci, rozwiązanie dąży do rozwiązania ciągłego. Określono zmienność wartości średniej indukcji w szczelinie powietrznej w funkcji liczby węzłów dla określenia dostatecznej liczby elementów. Na podstawie obliczeń stwierdzono, że średnia wartość indukcji za-

czyna się ustalać przy liczbie węzłów przekraczających 50 tysięcy.



Rys. 3. Silnik SFZ odwzorowanie graficzne w środowisku AutoCad dla modelu połowego

4. Wyniki obliczeń

Opis wybranych modeli obliczeniowych zawiera tablica 1. Model 1NMES przedstawiony na rys.4, dotyczy przypadku z bocznikiem produkcyjnym, który nie spełnia swojego zadania.



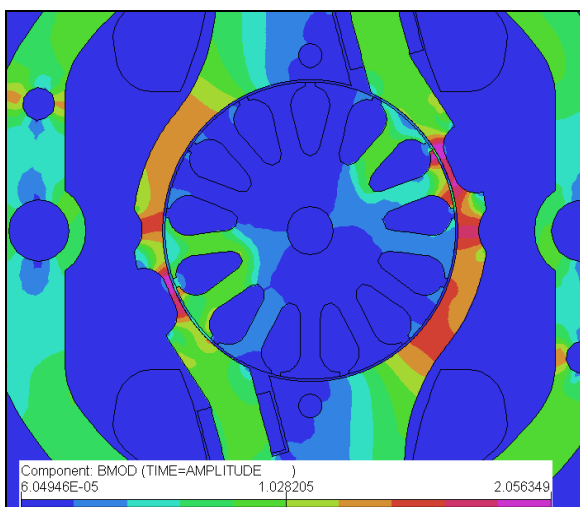
Rys. 4. Przekrój poprzeczny silnika SFZ, model 1NMES - bocznik produkcyjny

Opracowując szereg modeli obejmujących wiele wariantów zmian kształtu bocznika magnetycznego otrzymano ostatecznie model 2MES z wydłużonym wycięciem zewnętrznym, rys. 5. Rozpatrując rozwiązanie tego modelu silnika 2MES, można stwierdzić, że uzyskano bardzo korzystne wartości momentu rozruchowego, tablica 2.



Rys. 5. Przekrój poprzeczny silnika SFZ, model 2MES - bocznik z wycięciem zewnętrznym

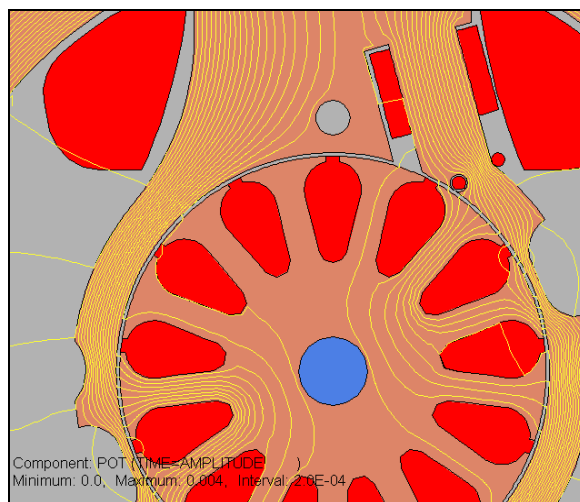
Niezależnie od położenia zębka wirnika w stosunku do bocznika magnetycznego, w modelu 2MES obserwujemy obejmowanie jednego lub dwóch zębów liniami pola magnetycznego, czyli silne współdziałanie pola stojana z polem wirnika.



Rys. 6. Rozkład indukcji w silniku SFZ, model 2MES - bocznik z wycięciem zewnętrznym

Na podstawie obliczeń stwierdzono, że wycięcie pokazane na rys.5 powinno mieć kształt wydłużony, rozłożony wzdłuż szczeliny powietrznej tak, aby linie pola stojana wnikały do wirnika na ściśle określonej części obwodu wirnika. Znaczny wzrost wartości indukcji elektromagnetycznej dla 2MES w porównaniu z rozwiązaniem poprzednim daje dużo większy moment rozruchowy silnika $M_r=0,41 \times 10^{-3} \text{Nm}$ w porównaniu do silnika 1NMES, w którym $M_r=0,073 \times 10^{-3} \text{Nm}$. Kolejny model 3MES

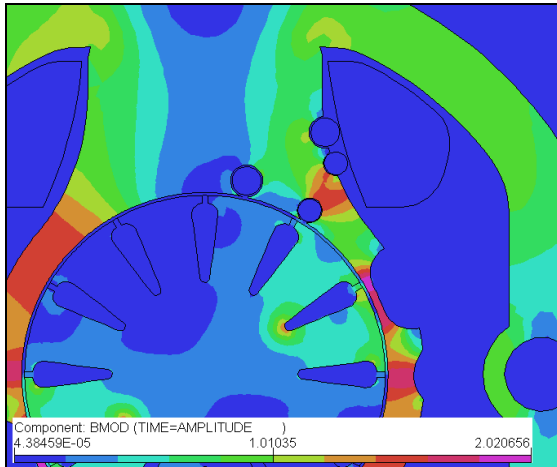
przestawia etap projektowania silnika SFZ obejmujący wprowadzenie dodatkowego drugiego zwoju zwartego na każdym z biegunów. Wprowadzenie takiego rozwiązania ma na celu poprawę charakterystyki momentu silnika, zarówno w obszarze momentu rozruchowego jak i maksymalnego.



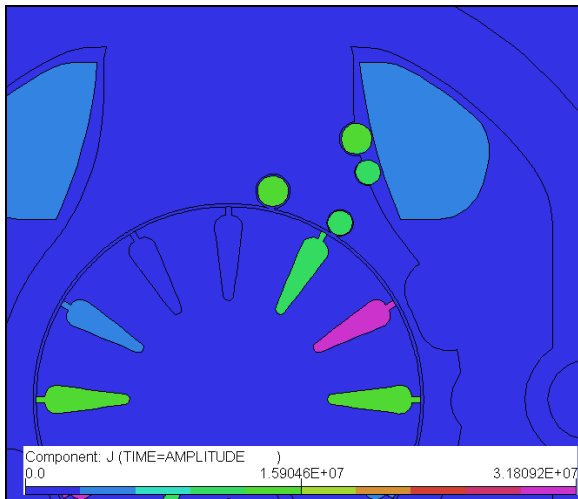
Rys. 7. Rozkład linii pola w silniku SFZ, model 3MES - dodatkowy zwoj zwarty

Analizując wpływ dodatkowego zwoju zwartego na parametry silnika SFZ należy stwierdzić, że powoduje on wzrost średniego momentu elektromagnetycznego w całym zakresie prędkości silnika. Przyczyną tego wzrostu jest dodawanie się oddziaływań pól zarówno od uzwojenia głównego z pierwszym zwojem zwartym jak i z drugim zwojem zwartym. Kolejny model 4MES jest rozwiązaniem, które wprowadza szereg zmian zarówno w obwodzie stojana jak i wirnika. Uwzględnia najkorzystniejsze rozwiązanie bocznika magnetycznego z modelu 2MES. W obwodzie stojana wprowadza dwa zwoje zwarte pod każdym z biegunów. Zwoje zwarte w tym przypadku mają przekrój kołowy i są usytuowane pod uzwojeniem głównym stojana. Modyfikacja w modelu 4MES obejmuje również obszar wirnika, w którym wprowadzono $Q_r=12$ zębów o przekroju dwukrotnie mniejszym w stosunku do modelu wyjściowego.

Rozwiązania zastosowane w modelu 4MES skutkują dalszym wzrostem momentu rozruchowego do wartości $M_r=0,59 \times 10^{-3} \text{Nm}$. Porównując to z wartościami momentów z poprzednich modeli, silnik ten ma największy moment rozruchowy spośród opracowanych rozwiązań połowych.

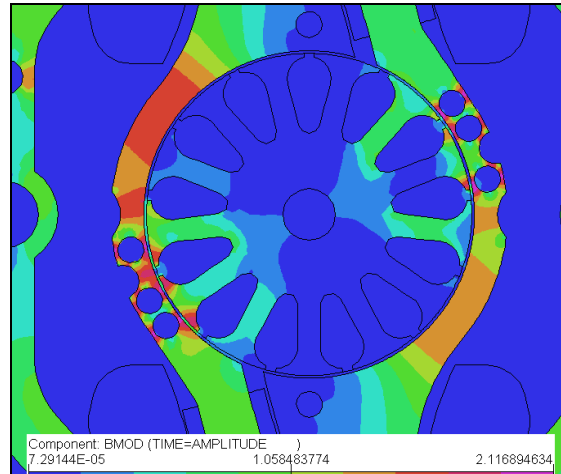


Rys. 8. Rozkład indukcji w silniku SFZ, model 4MES – dwa zwoje zwarte o przekroju kołowym



Rys. 9. Wyniki analizy polowej silnika SFZ, model 4MES - rozkład gęstości prądowej

Na podstawie rozkładu gęstości prądu w uzwojeniach silnika można określić elementy konstrukcyjne, w których występują najwyższe przyrosty temperatur. Największe wartości prądów występujące w zwojach zwartych wynoszą: $I_2 = 26$ A oraz $I_3 = 16$ A. Zbliżone do podanych prądy występują także w wirniku. Efektem dużych prądów i dużej wartości indukcji elektromagnetycznej jest generacja w szczelinie powietrznej dużego momentu rozruchowego ($M_r=0,59 \times 10^{-3}$ Nm). Ostatni opisany model stanowi efekt procesu optymalizacyjnego przeprowadzonego w innym programie badań. Wynik ten został również zweryfikowany obliczeniami polowymi z wykorzystaniem Opery – model 5MES.



Rys. 10. Rozkład indukcji w silniku SFZ, model 5MES – rozwiązanie końcowe

Model 5MES charakteryzuje się innym niż opisane wyżej rozwiązaniem bocznika magnetycznego. Jego inowacyjność polega na tym, że jest osłabione połączenie biegunów silnika.

Tablica 2. Zestawienie wyników obliczeń wybranych modeli SFZ

Lp	Model	Moment rozruchowy	Prąd uzwojenia głównego stojana
		Nm x 10 ⁻³	A
1	1NMES	0,073	0,078
2	2MES	0,412	0,107
3	3MES	0,404	0,105
4	4MES	0,590	0,083
5	5MES	1,408	0,112

Struktura bocznika posiada wewnętrzne wycięcia kołowe rozłożone wzdłuż przewężenia, co zapewnia sztywność konstrukcji. Ich usytuowanie jest ściśle związane z rodzajem wirnika, oraz liczbą zwojów zwartych w danym modelu. Dla modelu silnika 5MES uzyskano z obliczeń moment rozruchowy na poziomie $M_r=1,41 \times 10^{-3}$ Nm. Porównując tą wartość momentu z poprzednimi rozwiązaniami widać bardzo korzystną różnicę. Również istotnym elementem jest wartość prądu w uzwojeniu głównym – tabela 2. Widać, że dla końcowego modelu pobór prądu z sieci jest niewiele większy. Świadczy to o większej sprawności przy rozruchu silnika

5MES w stosunku do wcześniejszych rozwiązań. Z punktu widzenia sprawności silnika SFZ można przyjąć, że poprawnie zaprojektowany pojedynczy zwój zwarty jest najkorzystniejszym rozwiązaniem, gdyż każdy kolejny zwój zwarty będzie stanowił źródło dodatkowych strat mocy.

5. Wnioski

- Optymalne zaprojektowanie bocznika magnetycznego jest kluczowym zadaniem projektu SFZ. Oprócz bocznika, oczywistym istotnym elementem silnika wpływającym na jego parametry jest poprawnie zaprojektowany wirnik, który współdziała z bocznikiem. Potwierdza to przykład modelu 2MES o liczbie zębów $Q_r=13$, analiza którego wskazuje na wyraźne powiększenie wartości momentu w stosunku do rozwiązania produkcyjnego.
- Wprowadzenie dodatkowego zwoju zwartego na biegunie powoduje wzrost momentu tylko przy określonej konstrukcji wirnika.
- Wprowadzenie bocznika magnetycznego zoptymalizowanego - model 5MES, prowadzi do uzyskania największego momentu rozruchowego o wartości $M_r = 1,408 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}$. Ten wariant stanowi najlepsze rozwiązanie obwodu magnetycznego projektowanego silnika SFZ.

6. Literatura

- [1]. Anuszczyk J., Błaszczak P.: *Modelling of shaded pole induction motor's magnetic circuit using field calculations*. Proceedings of 12th ISEF'2005, Paper No.EE-2.5, Baiona, Spain, 2005.
- [2]. Anuszczyk J., Błaszczak P.: *Optimization of shaded pole micromotor using field calculations and evolutionary algorithms*. Proceedings of 20th EPNC'2008, Paper No.75, Lille, France, 2008.
- [3]. Makowski K.: *Jednofazowe silniki indukcyjne z pomocniczym uzwojeniem zwartym w ujęciu obwodowo – polowym*. Prace Naukowe IMNPE. Oficyna Wydawnicza PWr, Wrocław, 2000.
- [4]. OPERA 2d. : *Vector Fields Limited 24 Bankside. Kidlington Oxford OX5 1JE*, England, 2006.
- [5]. Zhou S., Rajanathan C., Sapeluk A., Ozvern C.: *Finite-Element-Aided design optimization of a shaded-pole induction motor for maximum starting torque*. IEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, No. 5, 2000.

Autorzy

Jan Anuszczyk, prof. PŁ jest kierownikiem Zakładu Trakcji Elektrycznej w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej. Wy-

dział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki.

Adres: ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź.

E-mail: jan.anuszczyk@p.lodz.pl

Piotr Błaszczak, mgr inż. jest doktorantem w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej. Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki.

Adres: ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź.

E-mail: piotr.blaszczak@p.lodz.pl