

Jan Anuszczyk, Piotr Błaszczak
Politechnika Łódzka, Łódź

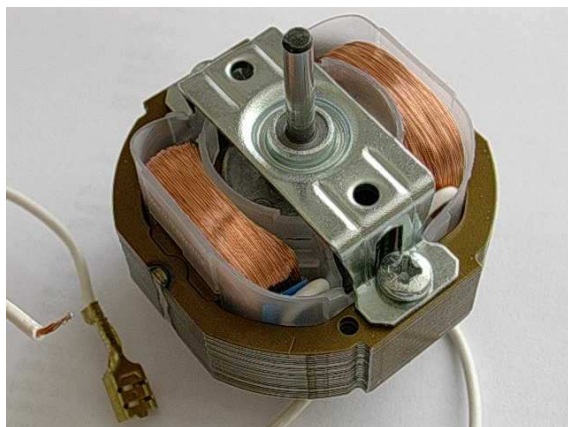
MODELOWANIE KONSTRUKCJI MIKROSILNIKA ZE ZWOJEM ZWARTYM NA PODSTAWIE ANALIZY POLOWEJ

THE MODELING OF MICROMOTOR CONSTRUCTION WITH COMPACT COIL USING FIELD ANALYSIS

Abstract: The analysis of magnetic circuit of shaded pole induction motor (SPM), for basic micro - motor type 925 powered 3W, was conducted. The magnetic shunt as well as number and location of the compact laps are the influencing on electromagnetic parameters SPM elements, making up the auxiliary starting winding of motor. In the row of field calculations was executed from utilization the software OPERA 2d for different constructions of magnetic circuit of motor, and the different number of laps (thirteen the computational models). The simplest construction, and the simultaneously cheapest solution are then magnetic shunt is executed as prolongation of stator poles from one compact lap on pole. The realization of shunt made from the same electrotechnical sheet, what the whole core of motor is profitable technologically, however to reach hard near this the satisfactory electromagnetic parameters. The base of comparison of parameters row studied models establish the optimum solution of magnetic circuit of motor, the largest value of flux density in air gap and also the largest starting moment of motor was obtained.

1. Wstęp

Silnik indukcyjny z pomocniczym uzwojeniem zwartym SFZ, posiada wydane bieguny z uzwojeniem jednofazowym skupionym i najczęściej jeden zwoj zwarty, Rys.1.



Rys.1. Silnik indukcyjny z pomocniczym uzwojeniem zwartym

Uzwojenie w postaci zwartego zwoju obejmujące część przekroju bieguna, rozdziela strumień główny i powoduje przesunięcie przestrzenne oraz czasowe strumienia pomocniczego. Charakterystycznym elementem silnika, wpływającym na jego charakterystyki mechaniczne jest bocznik magnetyczny. Liczne asymetrie zarówno w obwodzie elektrycznym jak i magnetycznym silnika SFZ, komplikują model matematyczny przyjmowany do obliczeń.

2. Silnik SFZ jako obiekt obliczeń polowych

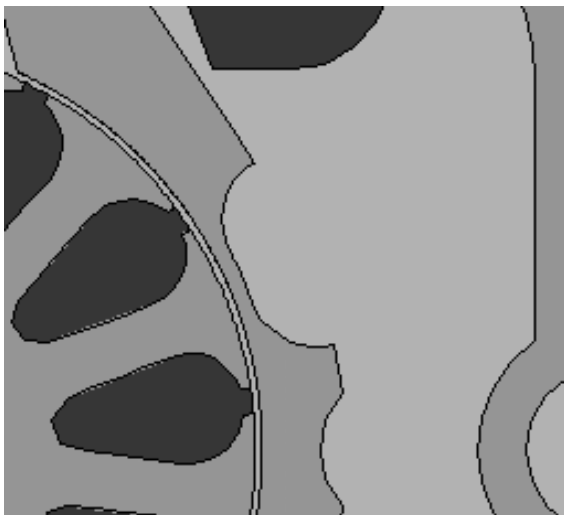
Silnik indukcyjny ze zwojem zwartym jest często porównywany do silnika dwufazowego lub silnika z zasilaną fazą pomocniczą [1].



Rys.2. Przekrój poprzeczny silnika SFZ model 1

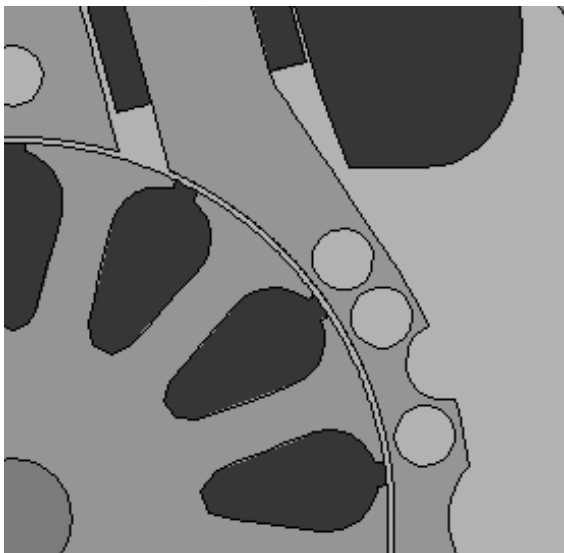
Główna różnica dotyczy kąta przestrzennego między osiami magnetycznymi obydwu uzwojeń. W przypadku SFZ kąt ten oznaczony jako α jest na ogół mniejszy od 90° (dla silnika z zasilaną fazą - 90°); ponadto nie występuje napięcie zasilania fazy pomocniczej [2]. Duży wpływ na parametry silnika ze zwojem zwartym ma dobór kształtu bocznika magnetycznego, Rys. 2. Analizowane modele opisano w

tabelach 1 i 2. Jego kształt wpływa na rozkład indukcji w szczelinie powietrznej, a także powiększa kąt przestrzenny między fazą główną i fazą pomocniczą [5]. Odpowiednie ukształtowanie bocznika magnetycznego wpływa na parametry silnika, a zwłaszcza na jego moment elektromagnetyczny.



Rys. 3. Przekrój poprzeczny silnika SFZ, bocznik poprawiony

Często spotyka się zbyt szerokie boczniki magnetyczne, które nie spełniają swojej roli. Dlatego dla szeregu rozwiązań badanego silnika, przeprowadzono badania symulacyjne dotyczące zmiany reluktancji bocznika [6].



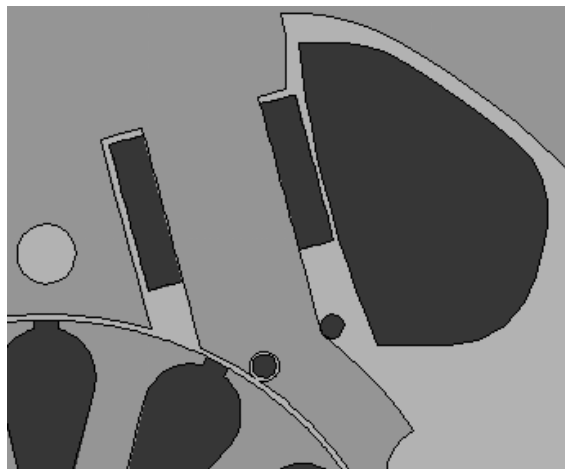
Rys. 4. Przekrój poprzeczny silnika SFZ, bocznik technologiczny

Na podstawie badań wykazano, że wycięcie pokazane na Rys. 3 powinno mieć kształt wydłużony, rozłożony wzdłuż szczeliny powietrznej tak, aby linie sił pola stojana wnikały do

wirnika na ściśle określonej części obwodu wirnika. Biorąc pod uwagę korzystne rozwiązanie silnika SFZ pod względem technologicznym, zaproponowano bocznik technologiczny, Rys. 4. Takie rozwiązanie silnika SFZ pozwala uniknąć kosztów związanych ze zmianami oprzyrządowania podczas wykrawania blach stojana. Projektowanie silników ze zwartą fazą pomocniczą to przede wszystkim rozwiązywanie problemów ich sprawności i momentu elektromagnetycznego. Tutaj połączenie określonej technologii ze zmianami adekwatnymi do poniesionych kosztów pozwalają na osiągnięcie zadowalających rezultatów. Polowe metody analizy [3], pokazują że to rozwiązanie zapewnia zwiększenie momentu elektromagnetycznego w analizowanym silniku.

3. Modele uwzględniające dodatkowe zwoje zwarte w silniku SFZ

W testach obliczeniowych silnika typu 925 Niewiadów, wprowadzono dodatkowy zwoj zwarty na każdym z biegunów w celu powiększenia momentu rozruchowego [7].



Rys. 5. Przekrój poprzeczny silnika SFZ, dodatkowy zwoj zwarty

Ze względu na płasko-równoległy rozkład pola i radialny kierunek strumienia w SFZ, analiza obliczeniowa została ograniczona do płasko-przekroju poprzecznego [8].

Obliczenia silnika zostały wykonane za pomocą oprogramowania OPERA 2d, przy zastosowaniu metody elementów skończonych [4]. Jednym z etapów projektowania silnika SFZ było wprowadzenie dwóch okrągłych zwojów zwartych na każdym biegunie silnika - model 5. Na podstawie uzyskanych wyników symulacji dla modelu 3, stwierdzono brak pozytywnego wpływu dodatkowego zwoju zwartego na mo-

ment rozruchowy silnika SFZ. Porównując wartości momentu rozruchowego dla modeli 2 oraz 3 mamy odpowiednio $M_R=4,12 \cdot 10^{-4}$ Nm oraz $M_R = 4,01 \cdot 10^{-4}$ Nm; widać niewielkie zmniejszenie wartości momentu rozruchowego. Przedstawiony model 3 został zdefiniowany na podstawie kilku wcześniejszych rozwiązań silnika z uwzględnieniem różnego kąta przestrzennego usytuowania drugiego zwoju zwartego [7].

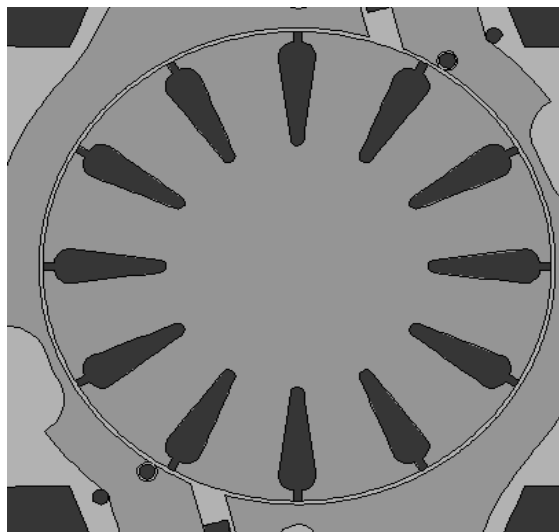


Rys.6. Przekrój poprzeczny silnika SFZ, dwa zwoje zwarte okrągłe

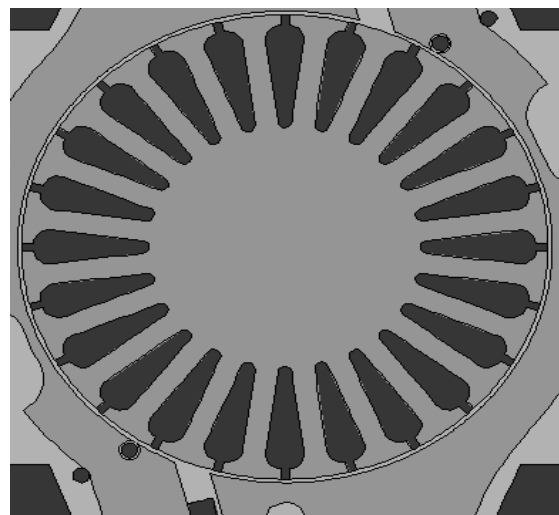
4. Rozwiązania żłobków wirnika dla projektowanego SFZ

Parametrem, który istotnie wpływa na wartość momentu rozruchowego jest prąd wirnika. Podjęto próbę przeanalizowania wpływu wirnika na parametry elektromagnetyczne rozpatrywanego SFZ. W efekcie powstały modele od 7 do 13, dla których został sprawdzony wpływ oddziaływania wirnika na wytwarzany moment, Rys.7, 8, 9. Dla modeli 7 i 9 wprowadzono zmiany kształtu żłobka wirnika przy jednoczesnej zmianie liczby żłobków. Przeprowadzono obliczenia dla 24 żłobków w wirniku (model 7) i 12 żłobków w wirniku (model 9).

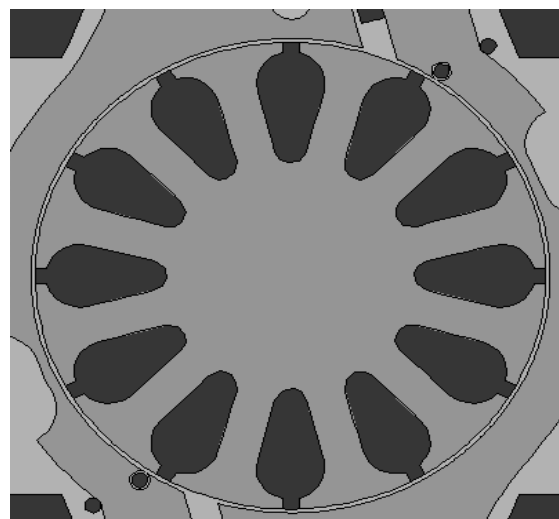
Przy tak zmienionych wirnikach przeprowadzono obliczenia z uwzględnieniem pierwotnego bocznika magnetycznego (model 6), oraz wszystkich wcześniejszych od 1 do 13 modeli silnika, uwzględniających dodatkowe zwoje zwarte w różnych konfiguracjach.



Rys.7. Przekrój poprzeczny silnika SFZ wirnik 3 z 12 żłobkami



Rys.8. Przekrój poprzeczny silnika SFZ wirnik 2 z 24 żłobkami



Rys.9. Przekrój poprzeczny silnika SFZ wirnik 5 z 12 żłobkami

5. Wyniki analizy kolejnych modeli SFZ

Celem przeprowadzonych obliczeń było modelowanie obwodu magnetycznego oraz uzwojenia pomocniczego silnika bazowego typu 925 tak, aby ostatecznie zaproponować wytwórcy silników SFZ rozwiązanie charakteryzujące się dobrymi parametrami rozruchowymi i eksploatacyjnymi (moment, prędkość obrotowa, sprawność). Zastosowany pakiet Opera umożliwia dość swobodne definiowanie modelu obliczeniowego analizowanego przetwornika. W tabeli 1 i 2 opisano trzynaście modeli obliczeniowych, które poddano szczegółowej analizie.

Tab.1. Opis poszczególnych modeli SFZ, część 1

Model	Opis	Moment rozruchowy	Prąd uzwojenia głównego stojana	Prąd zwoju zwartego 1	Prąd zwoju zwartego 2	Prąd zwoju zwartego 3	Prąd zwoju zwartego 4
		10e-3 Nm	A	A	A	A	A
1	Standardowy	0,073	0,078	30,244	27,653	0,000	0,000
2	Najlepszy boczny	0,412	0,107	26,038	24,123	0,000	0,000
3	2 z dodatkowym zwojem	0,404	0,105	25,420	24,086	6,622	6,839
4	3 bez 1 zwoju zwartego	0,460	0,105	0,000	0,000	6,759	7,033
5	Zwoje zwarte okrągłe (wirnik 3)	0,590	0,083	27,641	27,840	16,304	16,335
6	1 z (wirnik 3)	0,182	0,060	30,857	30,843	0,000	0,000
7	3 z (wirnik 2)	0,210	0,104	24,708	24,734	6,702	6,906
8	2 z (wirnik 3)	0,530	0,081	26,316	26,305	0,000	0,000
9	3 z (wirnik 3)	0,610	0,080	25,513	25,561	6,615	6,817

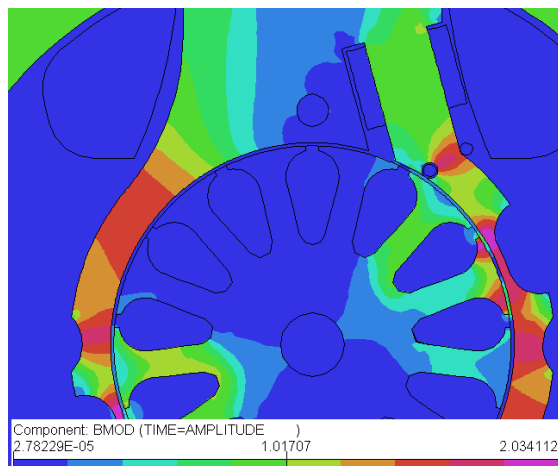
Przekonstruowany boczny w modelu 2, zapewni większy moment rozruchowy $M_R = 4,12 \cdot 10^{-4}$ Nm.

Pomimo najkorzystniejszego z fizycznego punktu widzenia usytuowania drugiego zwoju zwartego na biegunie stojana, rozwiązanie to nie poprawia jednak parametrów silnika. Kolejny, 4 model silnika, rozpatrywano dla takiej samej geometrii SFZ jak w modelu 3, tym razem bez pierwszego zwoju zwartego. Taka koncepcja została wprowadzona przy założeniu, że pierwszy zwój zwarty może mieć na tyle dominujące działanie, że wpływ dodatkowego drugiego zwoju będzie w zasadzie pomijalny.

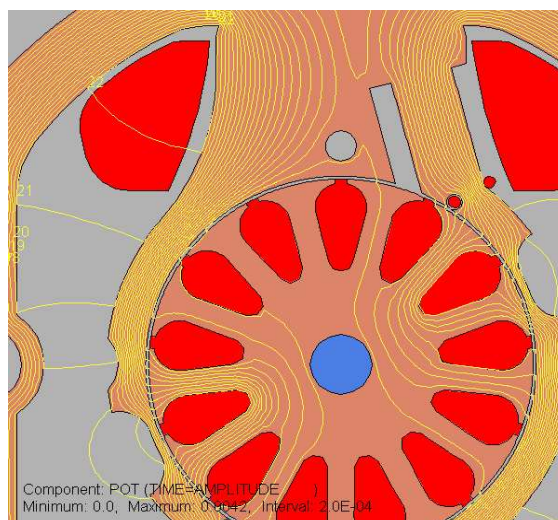
Model 4 wskazuje jednak na pewne oddziaływanie drugiego zwoju zwartego i dla takiej topologii silnika, moment rozruchowy minimalnie się zwiększa do wartości $M_R = 4,6 \cdot 10^{-4}$ Nm.

Przeprowadzone dalsze obliczenia przy zmienianym kącie przestrzennym położenia drugiego zwoju zwartego w stosunku do przyjętego pierwotnie są niekorzystne. Uwzględniono również zmianę kształtu przekroju pierwszego

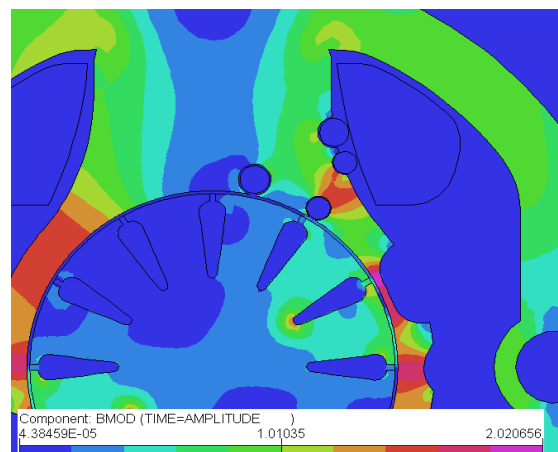
zwoju zwartego. Celem tej zmiany było sprawdzenie teorii mówiącej, że kolejny zwój zwarty poprawia parametry elektromagnetyczne silnika. Tak powstał model 5 z dwoma zwojami zwartymi o przekroju kołowym.



Rys.10. Rozkład indukcji w silniku (SFZ), model 3

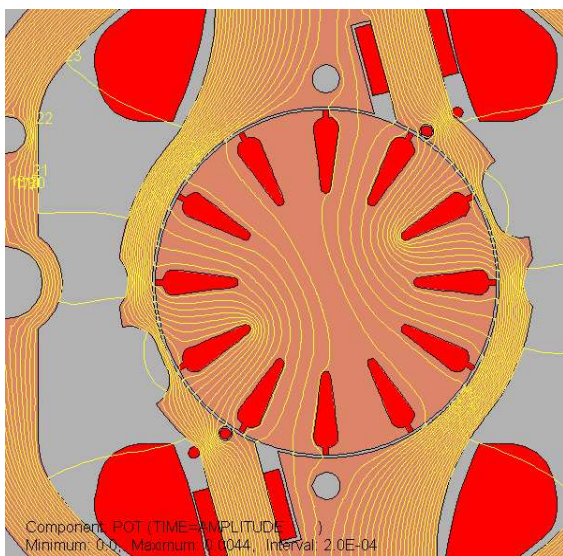


Rys.11. Rozkład linii pola w silniku SFZ, model 4



Rys.12. Rozkład indukcji w silniku SFZ, model 5

Analiza modelu 5 z dwoma zwojami zwartymi pokazuje, że moment rozruchowy dla takiego rozwiązania silnika nie zwiększa się. Analizując współdziałania uzwojenia głównego z pierwszym zwojem zwartym – (model 4), oraz oddziaływanie uzwojenia głównego z pierwszym i drugim zwojem zwartym – (model 5) – stwierdzono, że przyczyna braku sumowania się tych oddziaływań, może pochodzić od tłumiącego działania wirnika.



Rys. 13. Rozkład linii pola w silniku SFZ model 9

Biorąc pod uwagę zmieniony wirnik z 24 żłobkami stwierdzono, że zwiększenie liczby żłobków (czyli materiału przewodzącego w wirniku) w stosunku do materiału magnetycznego nie przynosi oczekiwanego rezultatu. Stwierdzono także, że nieodpowiedni stosunek objętości (masy) tych materiałów powoduje wypieranie pola z wirnika i w efekcie następuje pogorszenie parametrów silnika. Istnieje optymalny z punktu widzenia wartości wytwarzanego momentu stosunek udziału tych materiałów. Odpowiednia liczba żłobków wirnika na obwodzie a przede wszystkim głębokość żłobka ma bardzo istotne znaczenie, co przetestowano dla modelu 9, 10, 11 w którym uzyskano momenty $M_R = 6 \cdot 10^{-4}$ Nm, $M_R = 1,02 \cdot 10^{-3}$ Nm, oraz $M_R = 9,47 \cdot 10^{-4}$ Nm.

W modelu 10 i 11 został pokazany wpływ wirnika nr 5, który zasadniczo różni się od wirnika produkcyjnego liczbą prętów (tutaj 12), oraz szerokością i wysokością zęba. Zdefiniowane modele jak powyżej, uzasadniają wprowadzanie nowych rozwiązań wirnika, przy jednocześnie odpowiednim rozwiązaniu stojana i odpowiedniej konstrukcji bocznika magnetycznego. Za-

stosowanie dla silnika SFZ bocznika magnetycznego nazwanego technologicznym, obrazuje złożoną specyfikę silników ze zwojem zwartym.

Tab.2. Opis poszczególnych modeli SFZ, cz. II

Model	Opis	Moment rozruchowy [Nm]	Prąd uzwojenia głównego stojana	Prąd zwoju zwartego 1	Prąd zwoju zwartego 2	Prąd zwoju zwartego 3	Prąd zwoju zwartego 4
			A	A	A	A	A
10	9 z (wirnik 5)	1,020	0,104	24,678	24,833	6,396	6,848
11	5 z (wirnik 5)	0,947	0,106	26,594	27,007	16,759	16,702
12	rozwiązanie technologiczne z wirnikiem 5	0,930	0,114	24,900	24,295	0,000	0,000
13	rozwiązanie technologiczne z wirnikiem standardowym	1,806	0,112	24,975	24,727	0,000	0,000

6. Wnioski

Obliczenia wykonano dla różnych wariantów silnika ze zwojem zwartym w sensie materiału i kształtu jego obwodu magnetycznego. Porównując wyniki uzyskane dla szeregu przedstawionych modeli ustalono rozwiązanie najlepsze uwzględniające dwa zwoje zwarte na biegunie, które znacznie poprawia parametry elektromagnetyczne SFZ. Stwierdzono, że wprowadzenie kolejnego zwoju zwartego na biegunie wnosi poprawę wyłącznie przy zmienionej konstrukcji wirnika. Dodatkowy zwój zwarty i 12 żłobków wirnika przedstawione w modelu 9 dają wzrost momentu rozruchowego z $M_R = 4 \cdot 10^{-4}$ Nm do $M_R = 6 \cdot 10^{-4}$ Nm. Wprowadzenie bocznika technologicznego modelem 12, 13 prowadzi do uzyskania momentu rozruchowego od $M_R = 9 \cdot 10^{-4}$ Nm do $M_R = 1,8 \cdot 10^{-3}$ Nm. Wykazano, że zwiększenie momentu rozruchowego przez wprowadzenie dodatkowego zwoju przy nie zmienionym wirniku nie jest możliwe. Odpowiedni dobór parametrów stojana (bocznik magnetyczny, kolejny zwój zwarty) wraz z przekonstruowanym wirnikiem przynosi efekt powiększenia momentu. Ważne jest wprowadzenie zwoju zwartego z odpowiednim kątem przesunięcia w stosunku do pierwszego zwoju zwartego tak, aby mogły dodawać się ich oddziaływania. Istotnym elementem wprowadzanych zmian w silnikach SFZ jest odpowiednia konfiguracja i kształt bocznika magnetycznego, a także optymalnie zaprojektowany wirnik.

7. Literatura

- [1]. Glinka T. , Szymański Z. : *Analiza obwodu elektromagnetycznego jednofazowego silnika indukcyjnego z trzema zwojami zwartymi na biegunie* Zeszyty Naukowe AGH, Kraków 1981.
- [2]. Cioska A. : *Analiza wpływu niesymetrii uzwojeń stojana i nierównomierności szczeliny powietrznej na charakterystyki silników indukcyjnych* Zeszyty Naukowe AGH, Kraków 1981.
- [3]. Makowski K.: *Jednofazowe silniki indukcyjne z pomocniczym uzwojeniem zwartym w ujęciu obwodowo - polowym* OWPW, Wrocław 2000.
- [4]. OPERA 2d. : *Vector Fields Limited 24 Bankside Kidlington Oxford OX5 1JE* England
- [5]. Makowski K.: *Selection of magnetic shunts of a single-phase shaded pole induction motor by a circuit-field method* XV Symposium on Electromagnetic Phenomena in Nonlinear Circuits, Belgium 1998.
- [6]. Anuszczyk J., Błaszczuk P.: *Obliczenia bocznika magnetycznego silnika indukcyjnego z fazą zwartą* Zeszyty Problemowe Nr 69, BOBRME KOMEL, 2004.
- [7]. Varga J. *Analysis of the characteristics of single phase shaded pole induction motor with two short-circuited auxiliary phases* IEEE Transactions on Energy Conversion, 1997.
- [8]. Dąbrowski M.: *Projektowanie maszyn elektrycznych prądu przemiennego* WNT Warszawa 1988.

Autorzy

Jan ANUSZCZYK

Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki,
Elektroniki, Informatyki i Automatyki,
ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź,
E-mail: anuszj@p.lodz.pl

Piotr BŁASZCZYK

Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki,
Elektroniki, Informatyki i Automatyki,
ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź,
E-mail: olo799@poczta.fm