ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2001
Seria: ELEKTRYKA z. 177 Nr kol. 1501

Wiesław JAŻDŻYŃSKI[1], Waldemar MILEJ[2]

WPŁYW KRYTERIUM IDENTYFIKACJI MODELU SILNIKA INDUKCYJNEGO NA JEJ WYNIKI

Streszczenie. Artykuł opisuje skuteczną metodę postępowania identyfikacyjnego oraz wyniki jej zastosowania do modelu silnika indukcyjnego klatkowego małej mocy, uwzględniającego nieliniowości obwodu magnetycznego. Podana jest propozycja wyboru najlepszego modelu w przypadku zastosowania optymalizacji wielokryterialnej oraz przedstawione są efekty zastosowania wiarygodnego modelu w praktyce w przypadku projektowania optymalnego silnika o wysokiej sprawności.

INFLUENCE OF INDUCTION MOTOR MODEL IDENTIFICATION CRITERION ON IDENTIFICATION RESULTS

Summary. An efficient identification method together with the relevant results concerning the model of a small squirrel-cage induction motor are presented in the paper. Saturation of magnetic circuits is taken into account. A proposal related to a selection of the best model in the case of applying multicriterial optimisation technique is presented as well. A consequence of applying the credible model in practice to design of an optimal high-efficient induction motor is demonstrated.

Key words: induction motor, identification, optimization, design

1.WSTĘP

Silnik indukcyjny jest obiektem fizycznym, którego model jest magnetycznie nieliniowy praktycznie we wszystkich stanach pracy. Przy małych obciążeniach nasycone są zwykle jarzma stojana i wirnika, przy dużych - strefa zębowa, zwłaszcza okolice przyszczelinowe. Znany i powszechnie stosowany model w postaci schematu zastępczego o parametrach stałych dobrze opisuje własności maszyny w okolicach punktu pracy, dla którego parametry schematu były wyznaczane. Jeżeli model ma mieć charakter uniwersalny, należy uwzględnić wpływ warunków pracy silnika.

Świadomość potrzeby uwzględnienia zjawiska nasycenia w analizie własności silników indukcyjnych istnieje od dawna, jednak praktyczne zastosowanie związanych z tym koncepcji było możliwe dopiero dzięki możliwościom obliczeniowym komputerów. Próby uwzględnienia nasycenia obwodów rozproszenia silnika można znaleźć w pracach autorów krajowych [11] i zagranicznych [1]. Naturalną konsekwencją tych prób były propozycje modeli oraz metod wyznaczania ich parametrów [2].

W pracy [3] zaproponowano i wykorzystano model do analizy symulacyjnej dynamiki silnika asynchronicznego pierścieniowego z rozrusznikiem wiroprądowym. Efekt dyfuzji silnego pola elektromagnetycznego do ferromagnetycznego rdzenia rozrusznika był opisany dwoma sposobami: poprzez rozwiązanie odpowiedniego parabolicznego równania cząstkowego wynikającego z równań Maxwella oraz poprzez zastosowanie opracowanej wcześniej tzw. karty uniwersalnej, umożliwiającej analizę różnych wariantów rozrusznika bez potrzeby rozwiązywania równań polowych. W drugim przypadku wykorzystany był model niestacjonarny. W pracy [5] wykonano identyfikację takiego modelu reprezentującego klatkowy silnik indukcyjny z prętami biernymi. Model uwzględniał zjawisko nasycenia obwodów magnetycznych głównego oraz rozproszeń, a także efekt wypierania prądu i był reprezentowany przez klasyczny schemat zastępczy silnika jednoklatkowego

[1] Dr hab.inż., Akademia Górniczo Hutnicza, 30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 30, tel.(0-12) 6172898, fax: (0-12) 6341096, e-mail: wjaz@uci.agh.edu.pl
[2] Mgr inż., Akademia Górniczo Hutnicza, 30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 30 tel.(0-12) 6172865, fax: (0-12) 6341096, e-mail: milej@kme.agh.edu.pl

używany w obliczeniach projektowych. Przy tworzeniu tego modelu zastosowano koncepcję opisaną w [3].

W artykule przedstawiono postępowanie identyfikacyjne opisane wcześniej [5-8] w zastosowaniu do niskonapięciowego silnika małej mocy [12]. Przedmiotem analizy był silnik Sg90L-4 o danych: P_N=1.5kW, 2p=4, f_N=50Hz, U_N=3x380V.
Artykuł jest częściowo wynikiem prac własnych autora[1)] prowadzonych na AGH w roku 2001.

2.MODEL I JEGO PARAMETRY

Podobnie jak we wcześniejszych pracach [5-8] przyjęto, że model jest reprezentowany za pomocą klasycznego schematu zastępczego ze zmiennymi parametrami.

Od dość dawna prowadzi się prace dotyczące analizy zmienności parametrów modeli maszyn elektrycznych z wykorzystaniem odpowiednich obliczeń polowych. Otrzymane wyniki są wiarygodne, o ile dotyczą obliczeń 3D, jednak w przypadku 2D istnieje poziom niepewności spowodowany istnieniem połączeń czołowych, skosu żłobków wirnika i innych elementów zmuszających do traktowania maszyny jako obiektu przestrzennego. W artykule przyjęto założenie, że wiarygodne wstępne informacje na temat zmienności parametrów mogą być uzyskane także za pomocą procedury używanej w klasycznych obliczeniach projektowych. W artykule wykorzystano w tym celu model zaproponowany w pracy [4] i zmodyfikowany w celu zwiększenia dokładności za pomocą odpowiedniego postępowania identyfikacyjnego opisanego w [8].

Przeprowadzone postępowanie było podobne do opisanego w pracy [6] dla silnika indukcyjnego o mocy znamionowej 630kW i napięciu zasilającym 6kV. Zaobserwowano następujące różnice jakościowe:

- nieznaczne zmiany rezystancji zastępczej wirnika wraz ze zmianą poślizgu,
- wyraźnie większy wpływ zjawiska nasycenia na wartości reaktancji rozproszenia,
- większą zmienność reaktancji magnesującej w zależności od napięcia zasilającego.

Powyższe uwagi mają wyjaśnienie w różnicach konstrukcyjnych silników i zostały wykorzystane przy definiowaniu funkcji parametrów schematu zastępczego wybranego modelu. Ostatecznie przyjęto następującą ich postać:

$$
\begin{aligned}
&R_s = R_{s0}\, k_\tau(\tau_s)\\
&X_s(I_s) = a_1 \cdot [1 + a_2 \cdot \kappa \cdot (a_3 \cdot I_s)]\\
&R_{Fe}(s, E_s) = 3/\left[\left(1 + s^{1.5}\right) \cdot \left(a_{r0} + a_{r2} \cdot E_s^2 + a_{r4} \cdot E_s^4 + a_{r6} \cdot E_s^6\right)\right]\\
&X_\mu(E_s) = a_{X0} + a_{X1} \cdot E_s + a_{X2} \cdot E_s^2 + a_{X3} \cdot E_s^3\\
&R_r'(s) = a_4 \cdot k_\tau(\tau_r)\\
&X_r'(s, I_s) = a_5 \cdot [1 + a_6 \cdot \kappa \cdot (a_3 \cdot I_s)].
\end{aligned}
\tag{1}
$$

Wartości wszystkich parametrów $\{a_i\}$ w zależnościach (1) były wyznaczane w procesie identyfikacji, przy czym wielkości $a_1 \div a_6$ były zmiennymi optymalizacji, natomiast parametry definiujące R_{Fe} oraz X_μ były wyliczane w każdej iteracji procedury za pomocą regresji liniowej.

Funkcje $k_r(\tau_s)$ oraz $k_\tau(\tau_r)$ reprezentują zależność rezystancji od temperatury. W modelu uwzględniono straty w rdzeniu wirnika. W definicji funkcji reaktancji rozproszenia przyjęto modyfikację modelu nasycenia zaproponowanego przez Normana.

W przypadku m odelu o parametrach stałych zmiennymi identyfikacji były wielkości a_1, a_4, a_5, natomiast a_{R0}, a_{X0} były wyliczane w każdej iteracji. Pozostałe współczynniki były równe zero.

Opis postępowania dotyczącego identyfikacji modelu obliczeń projektowych został pominięty ze względu na złożoność problemu. Niektóre informacje można znaleźć w [8].

3. METODA I DEFINICJA PROBLEMU IDENTYFIKACJI

Wykorzystano metodę identyfikacji zaproponowaną i sprawdzoną wcześniej [5-8] dla silnika o mocy 630kW. Głównymi ideami przy opracowaniu metody były łatwość pozyskania potrzebnych wyników pomiarów oraz uniwersalność, dokładność i względna prostota modelu. Pierwszą cechę osiągnięto poprzez założenie, że wykorzystane zostaną wyniki próby typu. Pomiary takie są wykonywane obligatoryjne i okresowo przez producentów maszyn elektrycznych. Do chwili obecnej nie spotkano się z przypadkiem odmowy udostępnienia takich danych. Uniwersalność modelu jest zabezpieczona poprzez wykorzystanie wyników pomiarowych próby biegu jałowego (zmienność parametrów gałęzi poprzecznej schematu w całym zakresie pracy), próby zwarcia (zmienność reaktancji rozproszenia w całym przewidywanym zakresie zmian) oraz próby grzania (dokładność odwzorowania własności silnika w okolicach znamionowego obciążenia). Przeprowadzone wcześniej studia dotyczące procedury obliczeń projektowych oraz własności modeli niestacjonarnych doprowadziły do opracowania takiego modelu dla silników indukcyjnych. Względna prostota polega na tym, że z formalnego punktu widzenia zaproponowane modele niestacjonarne pozostają modelami o własnościach modeli magnetycznie liniowych, ale mogą uwzględniać zjawiska nieliniowe, a także efekt wypierania prądu w prętach wirnika.

Parametry $a_1 \div a_6$ modelu opisanego w poprzednim punkcie zostały wyznaczone przy zastosowaniu metody regresji nieliniowej. Minimalizowana była funkcja chi-kwadrat, zmodyfikowana w taki sposób [8], aby uwzględnić różne priorytety dla poszczególnych residuów, co było konsekwencją zastosowania optymalizacji wielokryterialnej. Do wyznaczenia całego zbioru kompromisowego zastosowano metodę mnożników. Ponieważ do wyznaczenia funkcji parametrów gałęzi poprzecznej wykorzystano metodę regresji liniowej minimalizującą funkcję błędu modelu dla biegu jałowego, liczbę funkcji kryterialnych można było zmniejszyć do dwóch. W rezultacie w procesie identyfikacji uwzględnione zostały dwie funkcje kryterialne, definiujące bikryterialny problem programowania nieliniowego. Funkcje te reprezentowały:

- stan pracy znamionowej (funkcja błędu f_N),
- stan zwarcia (funkcja błędu f_Z).

Do utworzenia funkcji f_N i f_Z wykorzystano następujące dane pomiarowe próby grzania i zwarcia:

- wartości skuteczne prądu fazowego stojana,
- moc czynną pobieraną przez silnik.

Przyjmując powyższe oznaczenia problem identyfikacji można zdefiniować następująco:

$$\text{Problem } P_V : \min_{a} F_V \mid a \in X_a \subset \Re^M , \tag{2}$$

gdzie: $F_V = \alpha_N \cdot f_N + (1-\alpha_N) \cdot f_Z$, $\alpha_N \in [0,1]$.

Obszar dopuszczalny X_a został zdefiniowany w taki sposób, aby stosunek parametrów X_r do X_s zawierał się w przedziale [0.5, 2.5], co miało znaczenie, gdy w procesie wyznaczania zbioru rozwiązań kompromisowych któreś kryterium zaczynało dominować w sposób szczególny.

Więcej szczegółów dotyczących zastosowanego postępowania identyfikacyjnego można znaleźć we wcześniejszej literaturze, podanej na wstępie tego punktu.

4. POMIARY

Zdefiniowanie problemu identyfikacji w postaci podanej w poprzednim punkcie określa zakres pomiarów koniecznych do przeprowadzenia postępowania tak w zakresie stanów pracy maszyny, jak i wielkości fizycznych. Wykonano i wykorzystano wyniki pomiarów dla stanu jałowego, zwarcia i próby grzania. W celu weryfikacji wykonano również pomiary charakterystyk obciążenia.

Mierzone były wartości skuteczne napięć i prądów fazowych stojana, oraz wejściowa moc czynna. W przypadku gdy duże znaczenie przypisuje się rezystancji wirnika, w metodzie

wykorzystywany jest również pomiar poślizgu znamionowego [6]. Mierzone były również rezystancje fazowe stojana przed i po każdej próbie. Przyjęto założenia upraszczające:

- względne zmiany rezystancji stojana i wirnika w czasie są takie same,
- zmiana rezystancji w czasie trwania próby jest liniową funkcją czasu.

Istnieje możliwość wykorzystania w identyfikacji wyników pomiarowych momentu rozruchowego, ale celowość takiego postępowania jest w fazie studiów. Po pierwsze, wykonanie takiego pomiaru w ramach próby typu nie jest obligatoryjne i opracowana metoda miałaby ograniczone zastosowanie. Po drugie, istnieją wątpliwości, która metoda pomiaru lub estymacji momentu jest najwłaściwsza do celów identyfikacji. Dotychczasowe badania wskazują na niejednokrotnie znaczne różnice między funkcjami momentów wyznaczonymi różnymi metodami.

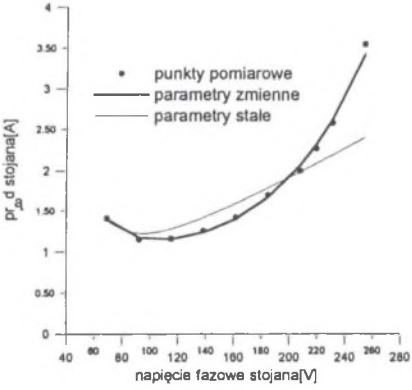
Pomiary były wykonywane równolegle z wykorzystaniem tradycyjnego sprzętu klasy 0.5 oraz cyfrowego toru pomiarowego z przetwornikiem a/c. Porównanie wyników wykazało, że przy jakości dostępnego sprzętu, głównie separatorów napięciowych, bardziej wiarygodne są wyniki pomiarów klasycznych, zwłaszcza w przypadku małych wartości współczynnika mocy.

5. WYNIKI OBLICZEŃ ORAZ WPŁYW KRYTERIUM IDENTYFIKACJI

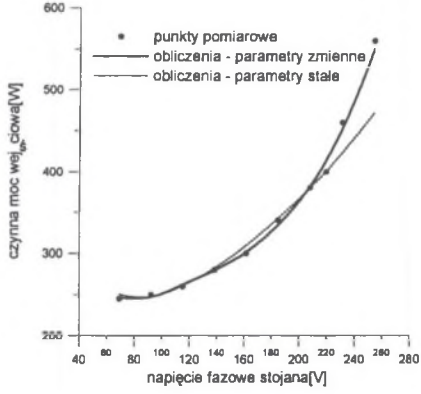
W celach porównawczych postępowanie identyfikacyjne zostało przeprowadzone dla dwóch modeli:

- Model C - model reprezentowany przez schemat zastępczy z parametrami stałymi
- Model V – model z parametrami zmiennymi.

Wynik dopasowania obu modeli do danych pomiarowych dla stanu biegu jałowego jest przedstawiony na rysunkach 1 i 2.



Rys.1. Wynik dopasowania dla prądu stojana w stanie pracy jałowej
Fig.1. Matching results for r. m. s. stator current at no-load condition

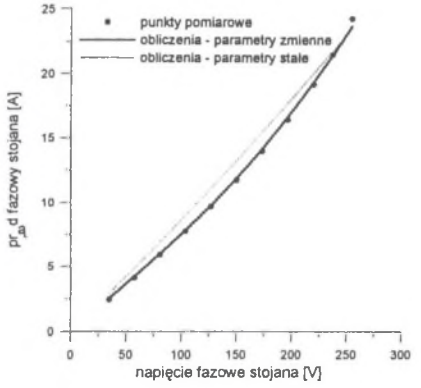


Rys.2. Wynik dopasowania dla prądu stojana w stanie pracy jałowej
Fig.2. Matching results for r.m.s. stator current at no-load condition

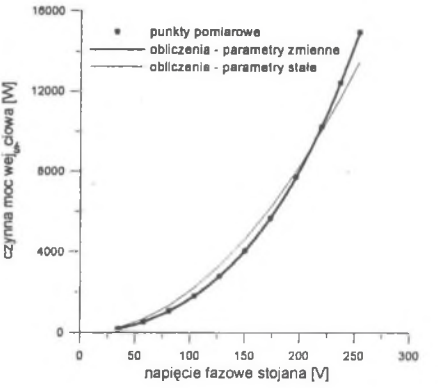
Podobne wyniki dla stanu zwarcia są przedstawione na rysunkach 3 i 4.

Rysunki 5, 6 przedstawiają zmienność parametrów dla podstawowych stanów pracy silnika ustaloną w wyniku postępowania identyfikacyjnego.

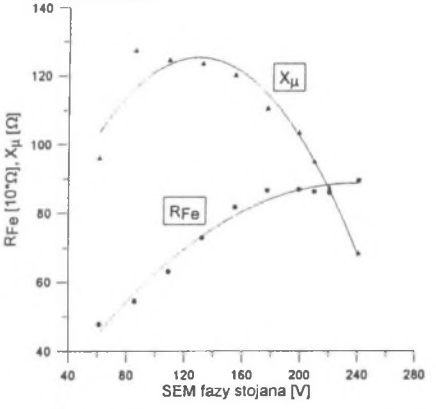
W celu weryfikacji modelu w stanach dynamicznych przeprowadzono obliczenia symulacyjne rozruchu silnika. Wyniki porównania dla momentu elektrycznego są przedstawione na rysunku 7, przy czym dodatkowo naniesiono estymatę momentu średniego otrzymaną w taki sam sposób jak w [8] po zróżniczkowaniu i wygładzeniu funkcji prędkości w czasie rozruchu i wybiegu silnika.



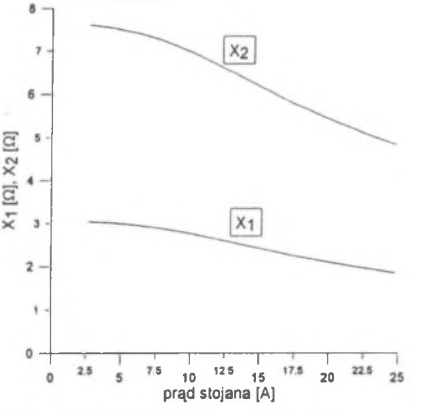
Rys.3. Wynik dopasowania dla prądu stojana w stanie zwarcia
Fig.3. Matching results for r.m.s. stator current for locked rotor



Rys.4. Wynik dopasowania dla czynnej mocy wejściowej w stanie zwarcia
Fig.4. Matching results for input active power at no-load condition

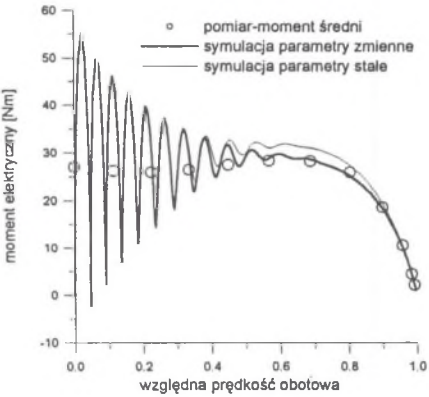


Rys.5. Zmienność parametrów gałęzi magnesującej
Fig. 5. Variation of magnetising parameters



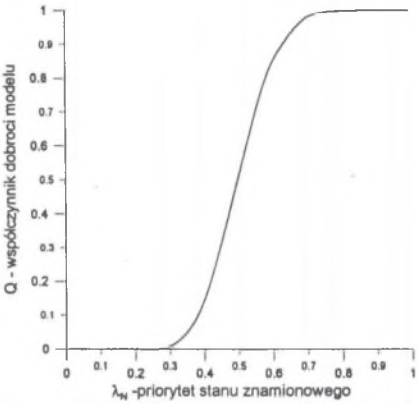
Rys.6. Zmienność reaktancji rozproszenia
Fig.6. Variation of leakage reactances

Współczynnik α_N posiada znaczenie priorytetu, który wpływa na wyniki identyfikacji oraz wartość współczynnika dobroci modelu Q. Współczynnik Q w przypadku klasycznego problemu regresji nieliniowej jest związany z rozkładem chi-kwadrat i jest używany do oceny modelu przez fizyków. Uważa się, że dla Q>0.1 model jest wiarygodny. W pracy [8] wielkość Q została zmodyfikowana w celu przystosowania do problemów regresji wykorzystujących optymalizację wielokryterialną. Zależność $Q = f(\alpha_N)$ na rys.8 wyznaczono w trakcie rozwiązywania problemu P_V. Można zauważyć, że przyjęcie wartości α_N =0.4 czyni zadość wymogowi wiarogodności modelu. Dla takiej wartości zostały przedstawione wyniki na rys. 1-7.



Rys.7. Porównanie momentu rozruchowego dla modeli ze stałymi i zmiennymi parametrami

Fig.7. Comparison start-up torque for the models with constant and variable parameters

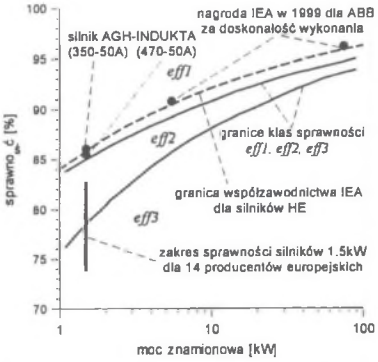


Rys. 8. Zależność współczynnika dobroci modelu od priorytetu stanu pracy znamionowej

Fig. 8. Influence of the rated condition priority on the model goodness-of-fit coefficient

6. ZNACZENIE DOKŁADNOŚCI MODELU

Wiarygodność modelu ma zasadnicze znaczenie w zastosowaniach praktycznych. Przykład skuteczności użycia opracowanej metody identyfikacji do wyznaczenia modelu obliczeń projektowych wykorzystanego później do optymalizacji konstrukcji jest przedstawiony na rysunku 9 i w tablicy 1. Postępowanie było częścią prac, których celem było opracowanie projektu trójfazowego silnika indukcyjnego wysoko sprawnego SEE90L-4 o poziomie sprawności co najmniej klasy eff1 wg CEMEP, tzn.85% [9].



Rys.9. Porównanie sprawności prototypu silnika AGH-INDUKTA dla blachy 470-50A o stratności 2.0W/kg oraz 350-50A o stratności 1.5W/kg (produkcji krajowej) z silnikami niektórych producentów europejskich [9,10]

Fig.9. Comparison of the AGH-INDUKTA motor efficiency for electrical sheet 470-50A of 2.0W/kg specific loss, and 350-50A (1.5W/kg) (manufactured in Poland), with motors of some European manufactrers [9,10]

Tablica 1

Porównanie uzyskanego wyniku z wynikami dla najlepszych trzech prototypów silnika SEE90L-4 wykonanych w INDUKCIE w ramach porozumienia fabryk maszyn elektrycznych zrzeszonych w Grupie Elektrim Motor (BESEL, INDUKTA, CELMA i EMIT) z Instytutem Elektrotechniki oraz BOBRME Komel.

Prototyp	Sprawność [%] (bez strat mech.)	$\cos\varphi_N$
I	83.70	0.748
II	84.99	0.737
III	83.18	0.720
AGH-INDUKTA	86.17	0.738

7. WNIOSKI

Przeprowadzone badania i analiza pozwalają sformułować następujące wnioski:

1. Opracowana metoda identyfikacji,polegająca na:
   - wykorzystaniu danych pomiarowych próby typu: próby grzania, biegu jałowego i zwarcia,
   - użyciu jako wielkości odniesienia prądu stojana i czynnej mocy wejściowej,
   - minimalizacji funkcji chi-kwadrat zmodyfikowanej dla potrzeb optymalizacji wielokryterialnej jest skutecznym narzędziem określenia wiarygodnego modelu monoharmonicznego silnika indukcyjnego.
2. Proponowany model niestacjonarny, będący kompromisowym rozwiązaniem pomiędzy modelem magnetycznie liniowym oraz nieliniowym, jest bardziej wiarygodny od modeli o parametrach stałych.
3. Efekty ekonomiczne stosowania wiarygodnych modeli obliczeń projektowych w optymalizacji konstrukcji silników indukcyjnych mogą być bardzo poważne.

LITERATURA

1. De Mello F.P., and Walsh G.W.: Reclosing transients in induction motors with terminal capacitors. Trans.AIEE (power App. Sys.), vol.80, Feb.1961, s.1206-1213.
2. Hickiewicz J., Macek-Kamińska K., Wach P.: Smulation investigation and parameters estimation of induction machines model considering saturation of leakage inductances. Proceedings of the International Conference on Electrical Machines ICEM'88, Pisa, 1988, vol.III, s.271-276.
3. Jażdżyński W.: A Model for the Simulation od Dynamic States in the System of Slip-Ring Induction Motor and Eddy-Current Starter. Proceedings of the AMSE International Conference on "Applied Modelling and Simulation", AMS'81, Lyon, 7-11 September 1981, s.261-262.
4. Jazdzynski W.: Multicriterial optimisation of squirrel-cage induction motor design. Proc.IEE, Pt.B, 1989, 136, s.299-307.
5. Jazdzynski W.: A Procedure for Determining Variable Parameters of Induction Motor Models. Proceedings of IASTED International Conference on "Applied Informatics", Annecy, France, 1994, s.139-142.
6. Jażdżyński W.: Identyfikacja modeli maszyn indukcyjnych ze szczególnym uwzględnieniem silnika z prętami biernymi, Materiały konferencyjne XXX Sympozjum Maszyn Elektrycznych SME'94, Kazimierz Dolny, 13-17 czerwiec 1994, s.183-190.
7. Jazdzynski W.: Nonstationary Models of Induction Motors and their Identification with the Help of Multicriterial Optimisation. Proceedings of the International Conference on Electrical Machines ICEM'96, vol.III, Vigo, Spain, 1996, s.40-45.
8. Jażdżyński W.: Projektowanie maszyn elektrycznych oraz identyfikacja ich modeli z wykorzystaniem optymalizacji wielokryterialnej. Wydawnictwa AGH, seria „Rozprawy i Monografie" nr.28, Kraków 1995.
9. Jażdżyński W., Ślosarczyk K.: Optymalizacja konstrukcji silnika indukcyjnego SEE90L-4 w wersji energooszczędnej klasy *„eff1"* wg CEMEP. Zeszyty Problemowe X Seminarium Technicznego BOBRME Komel, (maj 2001), (dostarczone Organizatorom 28 lutego 2001).
10. Karvinen J.: Future Perspectives of Electrical Machines and Market Trends. Proceedings of the International Conference on Electrical Machines ICEM 2000, vol. 1, Espoo, Finland, 28-30 August 2000, pp.1-4.
11. Kudła J.: Wpływ nieliniowości głównego obwodu magnetycznego maszyny na jej własności elektromagnetyczne, Mat. IX Sympozjum „Zjawiska elektromagnetyczne w obwodach nieliniowych". Poznań, 1984, s.293-299.
12. Milej W., Szułakiewicz M.: Identyfikacja modeli silników indukcyjnych, Praca dyplomowa, AGH Kraków, 1998 (maszynopis).

Recenzent: Dr hab. inż. Krystyna Macek-Kamińska
Profesor Politechniki Opolskiej

Wpłynęło do Redakcji dnia 10 marca 2001 r.

Abstract

An efficient identification approach related to induction motors is described and demonstrated in the paper. A model with variable parameters is proposed. It takes into account saturation phenomenon, eddy-current effect and time-varying resistances. A small induction motor of 1.5kW is under investigation. The motor is portrayed by a single-cage equivalent circuit, and its parameters are functions (1) of time, r.m.s. stator current, and stator winding e.m.f.. The procedure has earlier been applied successfully [5-8] to a large induction motor with iddle rotor bars. Type-test measurement data, obligatorily and periodically performed by manufacturers of induction motors, in the form of r.m.s stator current, input active power, and slip for the rated condition are chosen to be the relevance quantities. When taking into account no-load, locked-rotor and heating the test data ensure the correct simulation results for the majority of motor operation cases. The nonlinear regression method is applied to find identification variable values defining the model parameters. The resulting bicriterial optimisation problem (2) is solved by means of a posteriori articulation of preferences technique. The minimised chi-square function consists of two error functions representing the distance between the motor and its model for the rated and locked-rotor conditions. The linear regression matching procedure for no-load operation is performed for any call of a subroutine deriving quantities used by the optimisation algorithm. The comparative results for two models (with constant and variable parameters) are presented for no-load [Fig.1, Fig.2], and for locked-rotor [Fig.3, Fig.4] tests. Variation of the equivalent circuit main parameters for both the tests is demonstrated in Fig.5 and Fig.6. As a verification of the model comparison of the simulation results of a start-up electrical torque for both the models (constant- and variable-parameter) is presented in Fig.7 together with a measurement estimate of the average one. A proposal of a procedure to select the best model from the compromise set relevant to the bicriterial problem is put forward. The goodness-of-fit coefficient determined for the model, based upon chi-square distribution and modified accordingly to multicriterial approach, is applied to draw a required conclusion, see Fig.8. This coefficient has been considered in the paper as a measure of the influence of an identification criterion defined in a form of an error function for the rated condition. Economical consequences of obtaining a credible model in practical applications when designing optimal high-efficiency motor of the same rating are given in Fig.9. The main conclusion is that the proposed identification approach is efficient and accurate enough to obtain for instance spectacular optimisation results in practice [9]. In a comparison to high-efficient motors manufactured on the base of designs proposed by other parties, INDUKTA collaborating with AGH has manufactured a motor with an efficiency which is more than 1% higher, see Table 1. Allowing the assumed electrical sheet of a specific loss 2.0W/kg to be replaced by an 1.5W/kg one, it is possible to increase the rated efficiency over 86%, and it qualifies the motor to get the IEA Award of Excellence Motors.