

Tomasz MNICH
Katedra Maszyn i Urządzeń Elektrycznych

ZASTOSOWANIE ZWERYFIKOWANEGO POMIAROWO OBSERWATORA ZMIAN REZYSTANCJI KLATKI WIRNIKA SILNIKA INDUKCYJNEGO ZA POMOCĄ KARTY SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA dSPACE 1103 DO POPRAWY DOKŁADNOŚCI ESTYMACJI STRUMIENIA WIRNIKA

Streszczenie. W artykule porównano dokładność obserwacji zmian rezystancji klatki wirnika silnika indukcyjnego za pomocą metody zastępczych schematów cieplnych oraz na podstawie pomiarów temperatury na stanowisku laboratoryjnym. Następnie przedstawiono rezultaty zastosowania obserwatora zmian rezystancji do poprawy dokładności estymacji strumienia wirnika silnika indukcyjnego. Na zakończenie przedstawiono wyniki badań symulacyjnych układu obserwatora zmian rezystancji klatki wirnika wykonanych za pomocą karty szybkiego prototypowania dSPACE 1103

APPLICATION OF OBSERVER FOR RESISTANCE CHANGES OF INDUCTION MOTOR ROTOR CAGE USING RAPID PROTOTYPING SYSTEM dSPACE 1103 TO IMPROVEMENT OF ROTOR FLUX ESTIMATION ACCURACY

Summary. The paper deals with comparison of changes of induction motor rotor cage resistance by means of the method of thermal equivalent diagrams and basing on measurements of temperature on the laboratory stand. The effects of application of a resistance change observer to improvement of estimation accuracy of induction motor rotor flux are presented. The result of simulation investigations of the observer for rotor cage resistance changes performed by means of rapid prototyping system dSPACE1103 are given in the paper as well.

1. WPROWADZENIE

Algorytmy sterowania silnikami indukcyjnymi, stosowane w nowoczesnych układach napędowych, wymagają dużej dokładności identyfikacji parametrów elektromagnetycznych maszyn, takich jak rezystancje czy indukcyjności uzwojeń. W typowych układach parametry te są identyfikowane w stanie ustalonym, a następnie traktowane jako stałe. Prowadzi to do powstania niedokładności w sterowaniu urządzeń przez nie zasilanych, ponieważ taki sposób identyfikacji nie uwzględnia zmian parametrów elektromagnetycznych w trakcie pracy maszyny, spowodowanych np. jej nagraniem. Przykładem może tu być układ sterowania wektorowego, od którego wymaga się dużej dokładności, uzależnionej jednak między innymi od tego, jak dokładnie uda się układowi odtworzyć strumień wirnika. Strumień ten jest silnie

zależny od rezystancji klatki wirnika, która z kolei jest zależna od temperatury wirnika. Z wielu publikacji oraz badań wynika, że temperatura wirnika zmienia się dość znacznie w trakcie pracy maszyny, co pociąga za sobą zmiany rezystancji klatki wirnika. Zmiany te powodują, że strumień wirnika, który jest odtwarzany przez estymator lub obserwator, pozostaje stały, gdy faktycznie ulega on zmianom. Zmiany te powodują zmiany momentu elektromagnetycznego, jaki powstaje w silniku indukcyjnym. W celu zmniejszenia wpływu rezystancji można stosować zaawansowane metody jej identyfikacji, np. [3], które są czasochłonne i wymagają znacznego nakładu obliczeniowego. Dodatkowo, metody te często wymagają instalowania w maszynie dodatkowych czujników, np. prędkości obrotowej, co czasem jest niemożliwe (np. gdy użytkownik wykorzystuje obie końcówki wału lub gdy maszyna jest zabudowana). W takim przypadku znaczenia nabierają metody, które dają możliwość identyfikacji zmian rezystancji klatki wirnika w czasie rzeczywistym, lecz nie wymagają instalowania dodatkowych czujników poza standardowymi, które są umieszczone w układzie przekształtnikowym zasilającym silnik. Czujnikami takimi są czujniki rejestrujące aktualną wartość napięcia i prądu podawanego na silnik. W artykule zaprezentowano jedną z takich metod, która została zaadaptowana do identyfikacji zmian rezystancji w czasie rzeczywistym. Metodę zastosowano do poprawy estymacji strumienia wirnika w silniku indukcyjnym.

2. OBSERWATOR ZMIAN REZYSTANCJI KLATKI WIRNIKA SILNIKA INDUKCYJNEGO

Podstawą zbudowania obserwatora zmian rezystancji klatki wirnika silnika indukcyjnego jest metoda zastępczych schematów cieplnych, omówiona między innymi w pracach [1, 4, 6, 9]. Dzięki zastosowaniu tej metody można odwzorowywać zjawiska cieplne w maszynie za pomocą wielowęzłowego schematu elektrycznego. W artykule wykorzystano schemat cieplny opisany w pracach [1, 6], który uwzględnia współzależność poszczególnych strat w maszynie nie tylko od przepływającego prądu w uzwojeniach, czy strat związanych z przemagnesowywaniem rdzenia, tarciami w łożyskach, lecz również wzajemne oddziaływanie ich na siebie. Dodatkową dokładność uzyskano, uwzględniając zależność strat w poszczególnych elementach silnika od ich temperatury. Daje to w konsekwencji bardzo dużą dokładność w określaniu przyrostów temperatury w stanie cieplnie niestabilnym, dzięki czemu można z dość dużą łatwością identyfikować zmiany parametrów elektromagnetycznych maszyny indukcyjnej, takich jak rezystancja wirnika.

W celu wyznaczenia przyrostów temperatury w stanie cieplnie niestabilnym, należy rozwiązać układ równań, który został określony na podstawie schematu cieplnego silnika indukcyjnego, opisanego w [4, 6].

$$C \frac{d\mathbf{v}_k(t)}{dt} + G\mathbf{v} = P, \quad (1)$$

gdzie:

- C - diagonalna macierz pojemności cieplnych poszczególnych elementów silnika;
- $\mathbf{v}_k(t)$ - wektor przebiegów czasowych średnich temperatur poszczególnych elementów silnika;
- G - macierz przewodności cieplnych;
- P - wektor strat generowanych w poszczególnych elementach silnika;
- t - czas.

Rozwiązując układ równań (1) otrzymuje się przebiegi czasowe średnich temperatur w wybranych elementach silnika, w tym również w klatce wirnika. Na podstawie tego przebiegu obliczono przyrosty rezystancji klatki wirnika, korzystając z zależności dla stanu cieplnie nieustalonego:

$$R_{ru} = R_r \cdot (1 + \alpha_{Al} \cdot \nu(t)) \Omega, \quad (2)$$

gdzie: R_r - rezystancja klatki wirnika w temperaturze 19°C [6],

α_{Al} - temperaturowy współczynnik zmiany rezystancji materiału, z którego wykonane jest uzwojenie wirnika;

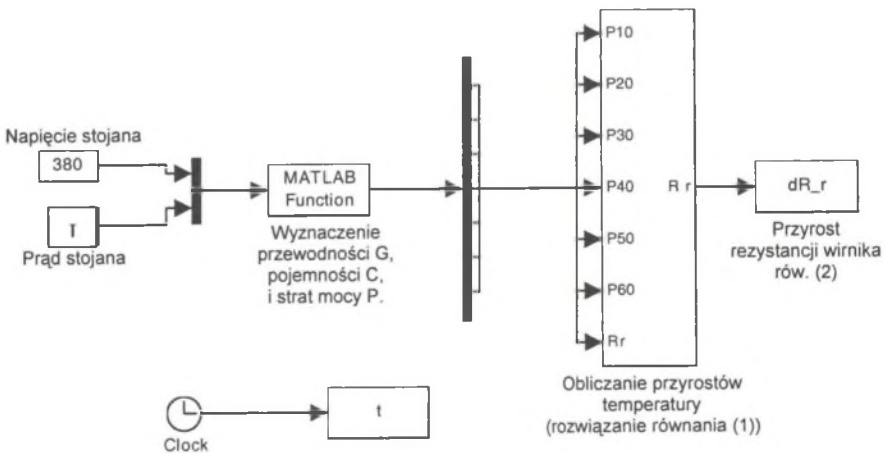
$\nu(t)$ - średnia temperatura klatki wirnika w chwili t .

Przy obliczaniu rezystancji klatki wirnika pominięto zjawisko wypierania prądu, z uwagi na to, że wirnik obracał się z prędkością bliską znamionowej (obciążenie nie było większe niż 1,5 I_N) oraz moc silnika była niewielka. Jako średnią temperaturę klatki wirnika przyjęto średnią temperaturę prętów, z uwagi na bardzo niewielkie różnice w przebiegach średnich temperatur w pierścieniach zwierających i prętach. Ponadto w obliczeniach pominięto zmiany prędkości obrotowej silnika spowodowane zmianami obciążenia.

W celu rozwiązania układu równań (1) oraz wyznaczenia przyrostów rezystancji klatki wirnika (2) wykorzystano metodę Rungego-Kutty czwartego rzędu. Wszystkie obliczenia oraz badania pomiarowe wykonano dla silnika indukcyjnego oznaczonego jako SZJe 34a, o danych znamionowych: $P_N=3$ kW, $U_N=220/380$ V, $I_N=11.3/6.5$ A, $n_N=1430$ obr/min. Badano obciążenia silnika prądem znamionowym I_N oraz zmianę wartości prądu stojana z wartości 1,3 I_N do wartości I_N i następnie ponowne zwiększenie prądu do 1,5 I_N (praca ze zmiennym momentem obciążającym).

2.1. Model do badań symulacyjnych obserwatora zmian rezystancji klatki wirnika silnika w stanach cieplnie nieustalonych

Badaniom symulacyjnym poddano model cieplny maszyny indukcyjnej opisany w [6], którego schemat blokowy pokazano na rys. 1.



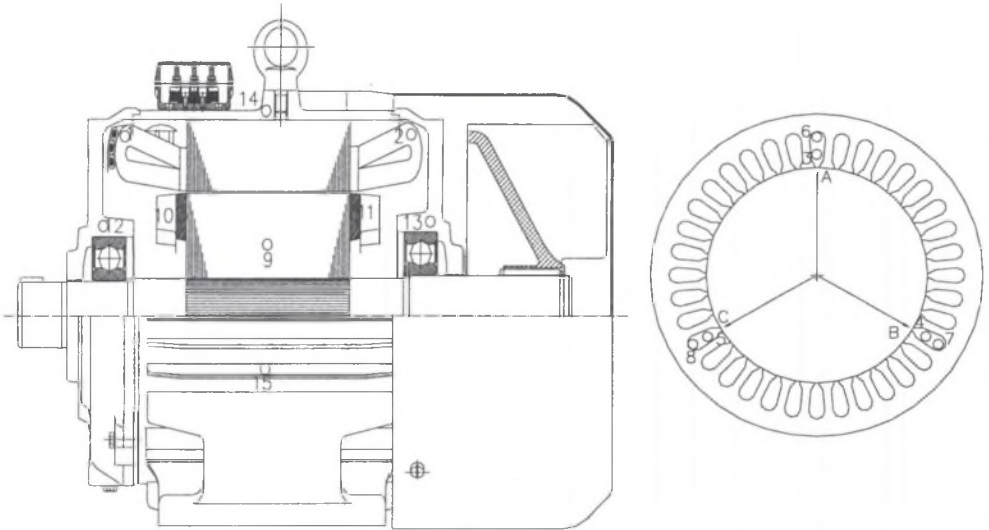
Rys. 1. Schemat układu zbudowanego w środowisku Matlab Simulink określającego przyrosty rezystancji klatki wirnika silnika indukcyjnego w stanach cieplnie nieustalonych

Fig. 1. Schematic diagram of system built in Matlab Simulink determining rises in resistance of induction motor squirrel sage in thermal transient states

Zadaniem bloku „Matlab Function” jest wyznaczenie przewodności cieplnych G_x pomiędzy poszczególnymi elementami maszyny, pojemności cieplnych C_k poszczególnych fragmentów maszyny oraz straty mocy $P_k(t)$ generowanych w k -tym fragmencie uzwojenia w temperaturze $\nu_k(t)$. W drugim bloku rozwiązywany jest układ równań (1) w kolejnych chwilach czasu i na tej podstawie przyrost rezystancji klatki wirnika.

2.2. Stanowisko do badań pomiarowych zmian temperatury silnika indukcyjnego w stanach cieplnie nieustalonych

Pomiary cieplne [10] wykonano na stanowisku składającym się z dwóch maszyn, z których jedna jest maszyną indukcyjną wyposażoną w 15 czujników pomiarowych, których sygnały są wyprowadzane za pomocą głowicy Hottingera do pulpitu pomiarowego, druga stanowi obciążenie. Silnik wyposażony w czujniki pomiarowe jest takim samym silnikiem, jaki został poddany badaniom symulacyjnym.



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia termopar w silniku indukcyjnym zainstalowanym na stanowisku laboratoryjnym

Fig. 2. Diagram of distribution of thermoelements in induction motor installed on the laboratory stand

Pomiary wykonano multimetrem cyfrowym, mierząc sygnały z termopar co kilka minut. Następnie tak odczytane wartości zostały przeliczone na temperaturę silnika, korzystając z charakterystyki cechowania termopar zastosowanych w badanym silniku. W artykule zamieszczono jedynie wyniki pomiarów wykonanych w klatce wirnika, jednak stanowisko umożliwia pomiar znacznie większej ilości punktów w maszynie [4].

2.3. Porównanie wyników symulacji komputerowej z wynikami pomiarów wykonanych na stanowisku laboratoryjnym

W celu zweryfikowania badań symulacyjnych przyjęto dwa przypadki pracy silnika:

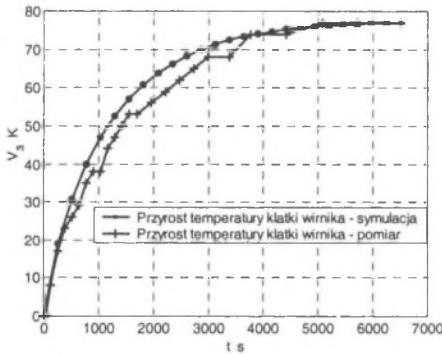
- pracę przy obciążeniu silnika prądem znamionowym I_N ,

- pracę ze zmiennym obciążeniem – silnik był początkowo obciążony prądem $1,3I_N$, następnie zmniejszono prąd do wartości I_N , a następnie ponownie zwiększono obciążenie do wartości $1,5I_N$.

Jako temperaturę początkową w obu przypadkach przyjęto temperaturę otoczenia 19°C . Temperatura ta była temperaturą ustaloną silnika. Temperatura otoczenia nie zmienia się w trakcie pomiarów.

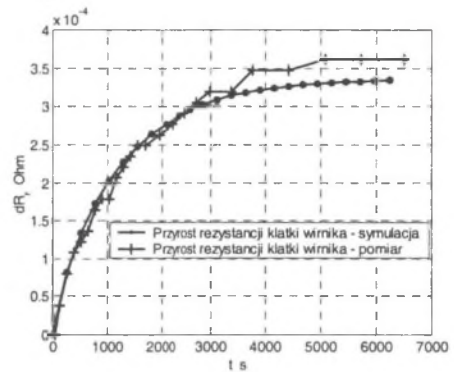
Otrzymano następujące wyniki:

- Obciążenia silnika prądem znamionowym I_N .



Rys. 3. Porównanie przebiegów przyrostu temperatury klatki wirnika otrzymane w wyniku badań symulacyjnych i pomiarowych

Fig. 3. Comparison of resistance rises waveforms of rotor cage obtained from simulations and measurements

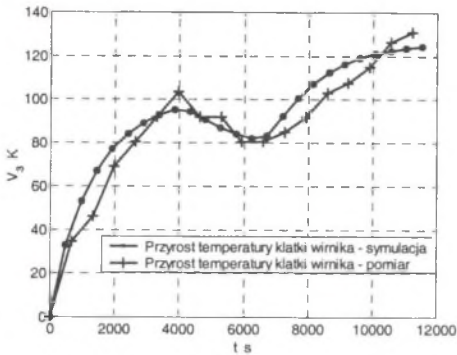


Rys. 4. Porównanie przebiegów przyrostu rezystancji klatki wirnika otrzymane w wyniku badań symulacyjnych i pomiarowych

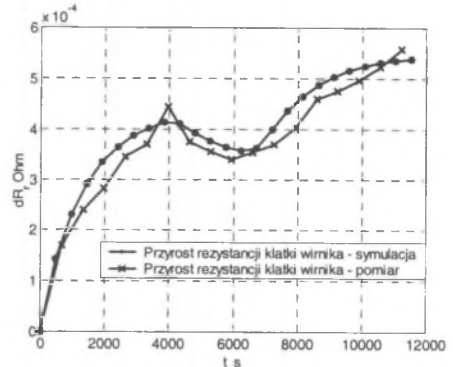
Fig. 4. Comparison of resistance rises waveforms of rotor cage obtained from simulations and measurements

Z przebiegu charakterystyki z rys. 3 widać dużą zbliżność badań symulacyjnych z pomiarami średniej temperatury klatki wirnika silnika indukcyjnego. Zbliżność ta jest szczególnie duża w początkowej fazie pracy maszyny, po pewnym czasie staje się nieznacznie mniejsza. Jednak różnica ta nie jest duża i wynosi około 5°C . Świadczy to o dobrym odwzorowaniu zjawiska nagrzewania silnika przez model cieplny. Daje to podstawę do stwierdzenia, że odwzorowanie przyrostu rezystancji klatki wirnika będzie również dokładne. Potwierdza to przebieg charakterystyki z rys. 4, na której widać przyrost rezystancji klatki wirnika otrzymany w wyniku przeliczenia przyrostu temperatury klatki wirnika otrzymanego z pomiarów i z modelu symulacyjnego na podstawie równania (2). Widać tu również dużą zbliżność w szczególności w początkowym okresie pracy maszyny.

- Praca ze zmiennym obciążeniem - silnik był początkowo obciążony prądem $1,3I_N$, następnie zmniejszono prąd do wartości I_N , a następnie ponownie zwiększono obciążenie do wartości $1,5I_N$.



Rys. 5. Porównanie przebiegu przyrostów temperatury klatki wirnika dla pracy ze zmiennym obciążeniem otrzymane z pomiarów i badań symulacyjnych



Rys. 6. Porównanie przebiegu przyrostów rezystancji klatki wirnika dla pracy ze zmiennym obciążeniem otrzymane z pomiarów i badań symulacyjnych

W przypadku pracy silnika indukcyjnego pracującego ze zmiennym obciążeniem (rys. 5) widać, że dokładność odtwarzania temperatury klatki wirnika jest nieco mniejsza od poprzedniego przypadku, jakim była praca przy stałym obciążeniu. Jednak różnica w odtwarzaniu przyrostów temperatury przez model matematyczny oraz przez pomiary jest w tym przypadku również niewielka i wynosi maksymalnie ok. 10°C. Na podstawie charakterystyki z rys. 5, korzystając z równania (2), obliczono przyrosty rezystancji klatki wirnika, które zostały przedstawione na rys. 6. Można stwierdzić, że dokładność jej odtwarzania jest również duża. Należy zaznaczyć, że zmiana temperatury o 10°C powoduje zmianę rezystancji pręta aluminiowego o 3,6%, co jest wartością wystarczającą do dalszych badań, które zostaną zaprezentowane w dalszej części artykułu.

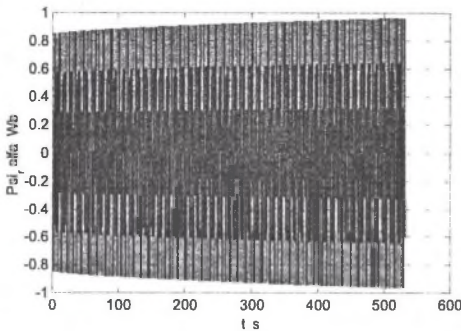
3. ZASTOSOWANIE OBSERWATORA ZMIAN REZYSTANCJI KLATKI WIRNIKA SILNIKA INDUKCYJNEGO DO POPRAWY DOKŁADNOŚCI ESTYMACJI STRUMIENIA WIRNIKA

Jak wcześniej wspomniano, rezystancja klatki wirnika silnika indukcyjnego jest ważnym elementem, szczególnie w przypadku układów sterowania, w których jedną z wielkości wymaganych w poprawnej pracy jest strumień wirnika. Rezystancja ta ma duży wpływ na przebieg strumienia wirnika, a jednocześnie jest parametrem, który się silnie zmienia w funkcji przyrostów temperatury. Układem, który wymaga dużej dokładności estymacji strumienia wirnika, jest układ sterowania wektorowego, określanej w literaturze [11] jako RFOC (z ang. Rotor Flux Oriented Control).

Badaniem symulacyjnym poddano estymator strumienia wirnika, w układzie $\alpha\beta$ ($\omega_x = 0$) [5, 11] opisany równaniami dla składowych osiowych:

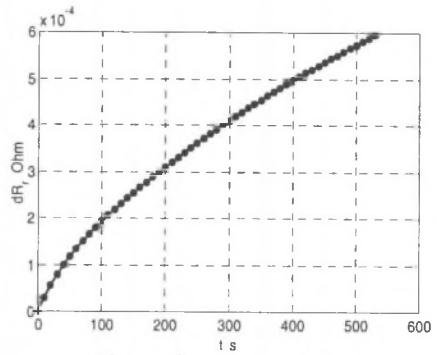
$$\frac{d\Psi_{ra}}{dt} = \frac{L_m R_r}{L_r} I_{sa} - \frac{R_r}{L_r} \Psi_{ra} - \omega_r \Psi_{r\beta}, \quad (3)$$

Otrzymano następujące wyniki:



Rys. 8. Przebieg zmian strumienia wirnika silnika indukcyjnego dla osi α otrzymany z modelu silnika indukcyjnego oraz obserwatora strumienia wirnika

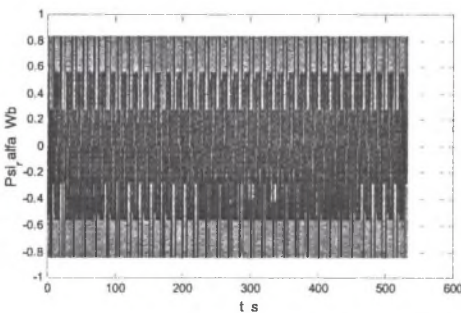
Fig. 8. Changes of induction motor rotor flux for axis α obtained from the induction motor model and the rotor flux observer



Rys. 9. Przebieg zmian rezystancji klatki wirnika silnika indukcyjnego otrzymany z estymatora rezystancji klatki wirnika

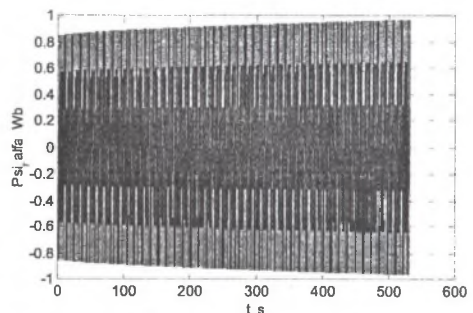
Fig. 9. Changes of induction motor rotor resistance obtained from the estimator of rotor cage resistance

Na podstawie przebiegu składowej α strumienia wirnika (rys. 8) można zauważyć że nieznacznie zwiększa się jego wartość. Jest to spowodowane zwiększaniem się rezystancji wirnika silnika indukcyjnego, która zwiększa się w wyniku powstawania strat związanych z przepływem prądu przez uzwojenia maszyny oraz w wyniku innych strat uwzględnianych przez model cieplny. W przypadku gdyby pominąć układ estymacji rezystancji wirnika, która to rezystancja ulega zmianom, (rys. 9), wówczas estymator strumienia wirnika nie miałby informacji o zmianie rezystancji uzwojenia, co prowadzi do błędów przedstawionych na rys. 10. Rysunek ten ilustruje pracę estymatora strumienia wirnika w przypadku, gdy nie ma on informacji o zmianach rezystancji wirnika. W rzeczywistości jednak strumień wirnika w silniku się zmienia (rys. 11).



Rys. 10. Przebieg strumienia wirnika w osi α otrzymanego z estymatora strumienia wirnika, bez uwzględnienia zmian rezystancji klatki wirnika

Fig. 10. Rotor flux in axis α obtained from flux rotor estimator without taking into account changes of rotor cage resistance



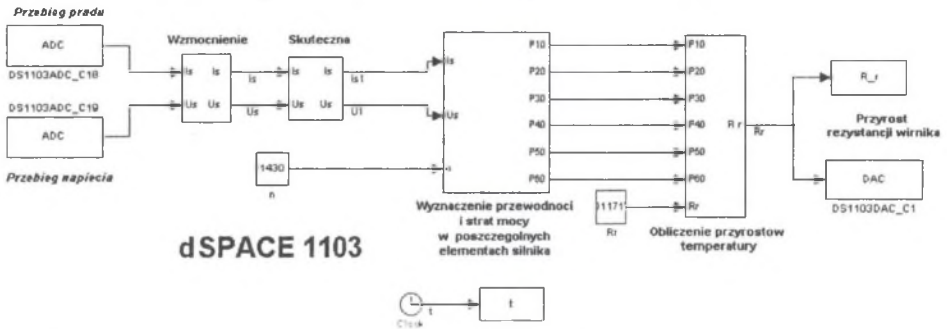
Rys. 11. Przebieg strumienia wirnika w osi α otrzymany z modelu matematycznego silnika indukcyjnego, z uwzględnieniem zmian rezystancji wirnika

Fig. 11. Rotor flux in axis α obtained from mathematical model of induction motor when taking into account changes of rotor resistance

Konsekwencją złego odtworzenia strumienia wirnika jest pogorszenie się jakości regulacji układu sterowania, co w przypadku wymaganej dużej dokładności może doprowadzać do sytuacji awaryjnych.

4. WYKORZYSTANIE KARTY SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA dSPACE 1103 DO OBSERWACJI ZMIAN REZYSTANCJI KLATKI WIRNIKA SILNIKA INDUKCYJNEGO

Obserwacja przyrostu rezystancji klatki wirnika, przy wykorzystaniu metody zastępczych schematów cieplnych, wymaga pewnego nakładu obliczeniowego ze strony komputera, szczególnie jeśli ma być wykonywana w czasie rzeczywistym, na podstawie pomiarów na rzeczywistym obiekcie. W tym celu, poza danymi konstrukcyjnymi maszyny, wymagane są dwa sygnały, które bezpośrednio muszą być zmierzone w silniku – napięcie i prąd stojana. W celu obliczenia przyrostów rezystancji autor wykorzystał kartę szybkiego prototypowania firmy dSPACE 1103, z oprogramowaniem ControlDesk. Karta ta daje bardzo duże możliwości obliczeniowe dzięki zastosowaniu dwóch współpracujących ze sobą procesorów sygnałowych. Na rys. 12 przedstawiono schemat blokowy układu obserwatora zmian rezystancji klatki wirnika, zbudowany w środowisku Matlab Simulink i zaimplementowany do karty dSPACE 1103.



Rys. 12. Schemat blokowy identyfikatora zmian rezystancji klatki wirnika silnika indukcyjnego dla karty dSPACE 1103

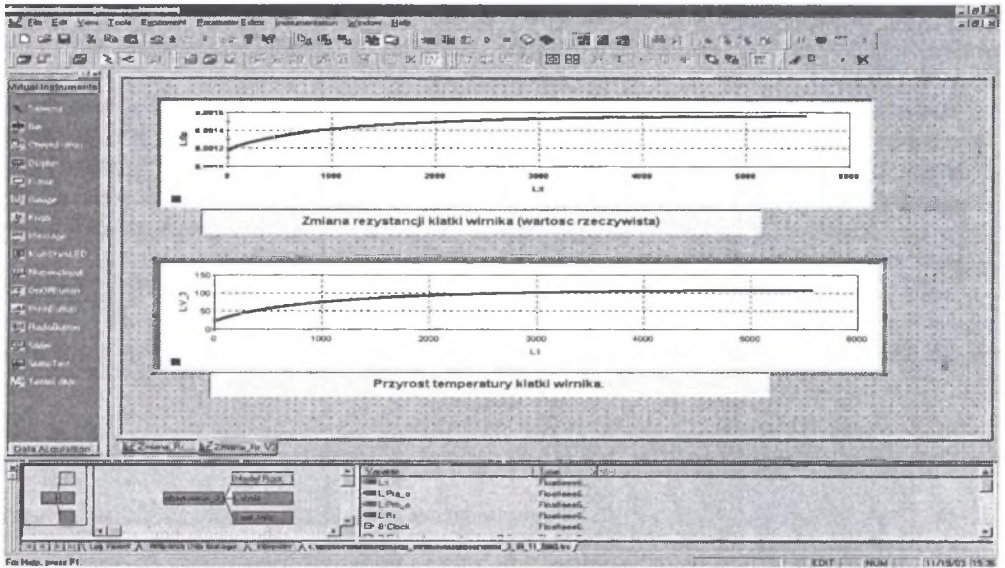
Fig. 12. Block diagram of identifier of changes induction motor rotor cage resistance for rapid prototyping system dSPACE 1103

Na schemacie tym przedstawiono dwa bloki (ADC) oznaczone jako przebieg prądu i przebieg napięcia. Są to przetworniki analogowo - cyfrowe przetwarzające ciągły sygnał wejściowy (napięcie i prąd) na sygnały dyskretne. Następnie w bloku „wzmocnienie” sygnał ten jest wzmacniany do poziomu sygnału rzeczywistego. Blok ten jest wymagany, z uwagi na to, że przetworniki analogowo - cyfrowe akceptują sygnały napięciowe na poziomie ± 10 V, zatem aby można było podać sygnał z rzeczywistej maszyny, należy użyć jeszcze jednego przetwornika, który dostosuje nam sygnał analogowy do poziomu dopuszczalnego przez kartę. W efekcie karta otrzymuje sygnał słabszy, który nie może być wykorzystany do obliczania strat mocy, gdyż byłyby one zbyt małe i nie odzwierciedlałyby rzeczywistych zjawisk w maszynie. Kolejny blok oblicza wartość skuteczną sygnałów wejściowych. W następnym bloku wyznaczone są przewodności i straty mocy w silniku. Należy tu zaznaczyć, że przewodności wyznaczone są raz i pozostają niezmiennie, natomiast straty mocy są przeliczane na nowo w każdym cyklu obliczeniowym w celu uzależnienia ich od aktualnie obliczonej

temperatury. Przyrosty temperatury silnika są wyznaczane w kolejnym bloku, w którym oblicza się również aktualną rezystancję (z uwzględnieniem jej zmian termicznych). Wartość ta może być wysłana na zewnątrz poprzez przetwornik cyfrowo - analogowy (DAC) i rejestrowana np. rejestratorem, lub dzięki oprogramowaniu ControlDesk dołączonemu do karty dSPACE prezentowana na ekranie.

Przeprowadzono badania symulacyjne tak opracowanego oprogramowania, z tym że rolę sygnałów, które są mierzone w maszynie (napiecie i prąd), spełniały sygnały podawane z dwóch generatorów, które podawały sygnał sinusoidalny. Zastąpienie maszyny indukcyjnej dwoma generatorami było spowodowane względami bezpieczeństwa samej karty dSPACE 1103 oraz chęcią sprawdzenia, czy układ będzie działał przy podawaniu sygnałów zewnętrznych (nie generowanych programowo). Człon wzmocnienia został tak ustawiony, aby sygnał podawany do bloku obliczającego wartość skuteczną odpowiadał jego rzeczywistej wartości (zmierzonej uprzednio miernikiem na stanowisku laboratoryjnym). Wartość rzeczywista napięcia wynosiła U_N , a prądu $2I_N$.

Wizualizację wyników wykonano za pomocą oprogramowania ControlDesk. Otrzymano następujące wyniki (rys. 13):



Rys. 13. Przebieg zmian rezystancji klatki wirnika oraz temperatury klatki wirnika obliczone za pomocą karty szybkiego prototypowania dSPACE 1103

Fig. 13. Changes of rotor cage resistance and temperature computed by means of rapid prototyping system dSPACE 1103

Program został tak zaprojektowany, aby poza obserwowaniem rzeczywistej wartości rezystancji klatki wirnika, informował o aktualnej średniej temperaturze wybranego elementu maszyny – w tym przypadku klatki wirnika. Dokonywane jest to bez dodatkowego nakładu obliczeniowego ze strony karty.

Na podstawie powyższych badań można stwierdzić, że korzystając z karty dSPACE 1103 można z dużą dokładnością śledzić zmiany rezystancji klatki wirnika w silniku indukcyjnym. Dzięki ogromnej mocy obliczeniowej można śledzić te zmiany w czasie rzeczywistym, lub

jeśli jest taka potrzeba, można przewidywać, jaka będzie rezystancja lub temperatura klatki wirnika po jakimś czasie, gdy maszyna zostanie obciążona danym prądem. Zmniejsza to ryzyko uszkodzenia termicznego silnika przy różnych przeciążeniach. Z drugiej strony, dzięki możliwości identyfikacji zmian rezystancji, karta może swobodnie współpracować z zewnętrznym układem regulacji, w którym jest wymagana informacja o aktualnej wartości rezystancji.

5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych i pomiarowych stwierdzono, że można obserwować zmiany rezystancji klatki wirnika silnika indukcyjnego korzystając z metody zastępczych schematów cieplnych. Metoda ta daje dużą dokładność w odtwarzaniu średniej temperatury klatki wirnika, co zostało potwierdzone na stanowisku laboratoryjnym. Na podstawie znajomości średniej temperatury klatki wirnika można określać przyrost lub aktualną wartość rezystancji. Pomiaru temperatury klatki wirnika, zostały przeprowadzone za pomocą miernika uniwersalnego, co z pewnością prowadzi do powstawania błędów pomiarowych. Jednak widać, że zbieżność wyników symulacji i pomiarów jest duża. Największa różnica pomiędzy obliczona temperaturą a zmierzoną wynosi 10°C , co wydaje się dokładnością zadowalającą, z uwagi na to, że błąd, jaki się wówczas popełnia przy identyfikacji zmiany rezystancji, jest na poziomie 3,5%.

Korzystając z tej metody, można w znacznym stopniu poprawić dokładność estymacji strumienia wirnika silnika indukcyjnego, dzięki czemu układy wymagające estymacji strumienia wirnika będą działały ze znacznie większą dokładnością. Szczególnie układy sterowania wektorowego są wrażliwe na niedokładną estymację strumienia wirnika. Zastosowanie karty dSPACE 1103 do identyfikacji zmian rezystancji klatki wirnika daje możliwość określania jej bezpośrednio na obiekcie rzeczywistym. Dzięki temu w przyszłości będzie możliwa współpraca karty z osobnym układem sterowania wektorowego, w którym będzie można korygować zmiany rezystancji, dzięki czemu praca układu będzie znacznie dokładniejsza. Dodatkową zaletą opracowanego oprogramowania współpracującego z kartą dSPACE 1103 jest możliwość informowania o stanie cieplnym maszyny, co jest szczególnie ważne w przypadku jej pracy w stanie przeciążenia.

LITERATURA

1. Cioska A., Drak B., Kluszczyński K., Miksiewicz R., Różycki A.: Komputerowe projektowanie silników asynchronicznych trójfazowych. Opracowanie wykonane w Instytucie Maszyn i Urządzeń Elektrycznych Politechniki Śląskiej, Gliwice maj 1990.
2. Dąbrowski M.: Projektowanie maszyn elektrycznych. WNT, Warszawa 1994.
3. Garces J. L.: Parameter adaptation for the speed-controlled static ac drive with a squirrel cage induction motor. IEEE Trans. Ind. Appl. No.2 1980, p. 173-178.
4. Krok R.: Zweryfikowany pomiarowo model cieplny do monitorowania rozkładu temperatury w silniku indukcyjnym. XXXVIII International Symposium on Electrical Machines SME 2002, s.129-138.
5. Mnich T.: Układ estymacji rezystancji silnika indukcyjnego. III Ogólnopolskie Warsztaty Doktoranckie OWD 2001, s. 64-68.
6. Mnich T.: Wykorzystanie metody zastępczego schematu cieplnego do identyfikacji zmian rezystancji klatki wirnika silnika indukcyjnego w stanach ustalonych i nieustalonych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Elektryka (przygotowany do druku).

7. Orłowska-Kowalska T.: Badania symulacyjne i eksperymentalne układu wektorowego sterowania silnika indukcyjnego z obserwatorem stanu. XXXVIII International Symposium on Electrical Machines SME 2002, s.255-268.
8. Paszek S.: Dynamika maszyn elektrycznych prądu przemiennego. Wydawnictwo Helion, Gliwice 1998.
9. Pełczewski W.: Zagadnienia cieplne w maszynach elektrycznych. PWT, Warszawa 1956.
10. Różycki A.: Laboratorium badań ciepłno-wentylacyjnych maszyn elektrycznych i transformatorów. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1982.
11. Żywiec, A., Niestrój R., Rzeźnikiewicz G.: Mikroprocesorowy układ polowo zorientowanego sterowania wektorowego silnikiem indukcyjnym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Elektryka nr 171, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000, s.159-172.

Wpłynęło do Redakcji dnia 10 grudnia 2003 r.

Recenzent: Dr hab. inż. Piotr J. Chrzan
Profesor Politechniki Gdańskiej

Abstract

The paper presents the results of simulation investigations and measurements of a system for identification of changes of induction motor cage resistance. This system is based on the induction motor thermal model. The basic equations of the induction motor thermal model are given. The system identifying changes in resistance (Fig.1) was constructed on the basis of these equations. The model for measurements, realised in a laboratory, is described. The results of comparison of the temperature (Fig. 3 and Fig. 5) and the rotor cage resistance changes (Fig. 4 and Fig. 6) obtained from measurements and computer simulations are presented. The model was used for improvement of the accuracy of determining the induction motor rotor flux. The diagram of the system is shown in Fig. 7, while the results in Fig. 8 and Fig. 9. The simulation investigations of the system were carried out by means of the rapid prototyping system dSPACE 1103.