Paweł DRZYMAŁA, Henryk WELFLE

Politechnika Łódzka, Instytut Mechatroniki i Systemów Informatycznych

doi:10.15199/48.2016.01.20

Weryfikacja eksperymentalna metody wyznaczania składowych przejściowych przebiegu momentu dla silnika klatkowego w stanie zwarcia dwufazowego

Streszczenie. *W pracy zaprezentowano weryfikację eksperymentalną metody wyznaczania składowych przejściowych przebiegu momentu dla silnika klatkowego w stanie zwarcia dwufazowego. Stan zwarcia dwufazowego w maszynie asynchronicznej klatkowej występuje zazwyczaj w sytuacji uszkodzenia izolacji uzwojenia stojana przez przebicie do fazy sąsiedniej. Metoda składowych przejściowych wyznaczania przebiegu momentu zaliczana jest o metod analitycznych, dających przybliżone rezultaty rozkładu momentu elektromagnetycznego. Wymaga ona znajomości podstawowych parametrów analizowanej maszyny indukcyjnej (rezystancji uzwojeń, reaktancji własnych i wzajemnych oraz znajomości budowy żłobków tego silnika). W artykule zaprezentowany został rozkład momentu dla silnika o mocy 1.5 kW w stanie zwarcia dwufazowego wykonanego na zaciskach zasilających maszynę.*

Abstract*. The paper presents an experimental verification of the method for determining the transient components of torque for given squirrel cage motor at the two-phase short circuit condition. A two-phase short circuit in the machine usually occurs damage to the insulation of the stator winding by piercing to adjacent phase. The method of transient components of the torque is classified as the analytical method, which gives approximate, distribution results of torque. It requires knowledge of the basic parameters analyzed induction machine (winding resistance, reactance and knowledge of the construction of motor). The article is presented torque distribution for 1.5 kW motor in the two-phase short circuit condition made on the terminals machine. (**Experimental verification of method determining the transient components of torque for squirrel-cage induction motor at the two-phase short circuit condition**).*

Słowa kluczowe: Silnik asynchroniczny, Zwarcie dwufazowe, składowe przejściowe momentu elektromagnetycznego.
Keywords: Asynchronous motor, Two-phase short circuit, transient components of electromagnetic torque.

Wprowadzenie

Nowoczesne metody modelowania stanowią obecnie istotną rolę w projektowaniu konstrukcji silników asynchronicznych klatkowych. Do metod tych zaliczyć można numeryczne metody polowe a zwłaszcza trójwymiarową metodę elementów skończonych z wymuszeniem napięciowym. Metoda elementów skończonych, pozwala obecnie na zasymulowanie wielu przypadków stanów nieustalonych, zachodzących w maszynie. Wymaga ona dużej mocy obliczeniowej sprzętu komputerowego oraz doświadczenia osoby zajmującej się budową tego typu modeli.

W zastosowaniach technicznych, nie zawsze jednak konieczna jest budowa modelu numerycznego, pozwalającego na uzyskanie bardzo dokładnych wyników obliczeń. W takich przypadkach często można posługiwać się metodami dającymi rezultaty przybliżone a więc o określonej dokładności. Metody takie w wielu przypadkach nie wymagają stosowania zaawansowanych, komercyjnych i drogich pakietów obliczeniowych, których obsługa wymaga dużego nakładu pracy i czasu obliczeń. Do metod dających rezultaty przybliżone zaliczyć można metodę składowych przejściowych.

W pracy zaprezentowano weryfikację eksperymentalną metody wyznaczania składowych przejściowych przebiegu momentu elektromagnetycznego silnika klatkowego o mocy 1.5kW w stanie zwarcia dwufazowego.

Metoda składowych przejściowych wymaga złożenia poszczególnych charakterystyk:

- składowej stałej,
- składowych aperiodycznych,
- składowych aperiodycznych okresowych.

Do złożenia wynikowego przebiegu momentu w stanie zwarcia dwufazowego konieczne jest uwzględnienie wszystkich dziewięciu wymienionych składowych.

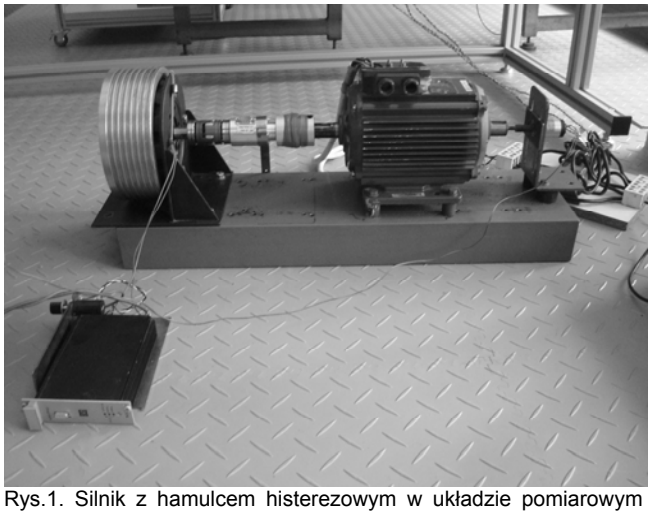
Metoda ta wymaga znajomości parametrów analizowanej maszyny indukcyjnej: rezystancji uzwojeń, reaktancji własnych i wzajemnych oraz znajomości budowy żłobków tego silnika.

Układ pomiarowy do weryfikacji eksperymentalnej metody składowych przejściowych momentu elektromagnetycznego

Układ pomiarowy do badania przebiegów prądów i momentu podczas zwarcia dwufazowego złożony był z:

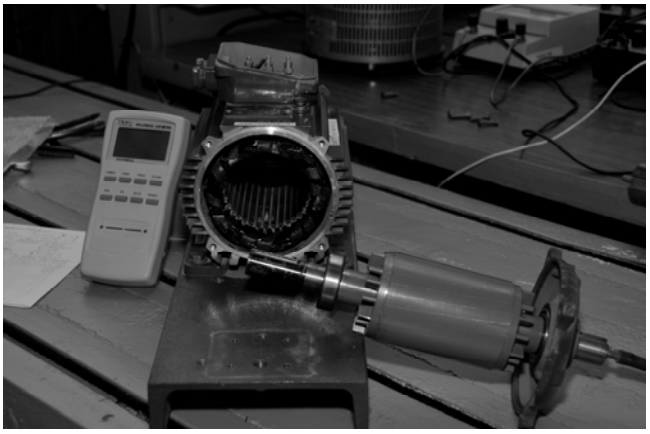
- badanego silnika indukcyjnego klatkowego o mocy 1,5kW,
- hamulca histerezowego, który pozwalał na utrzymywanie stałej wartości momentu na wale,
- przekładników prądowych i napięciowych LEM,
- kart pomiarowych firmy Ambex, komputera i programu umożliwiającego rejestrację wartości chwilowych sygnałów zadanych.

Silnik z hamulcem histerezowym w układzie pomiarowym do badania przebiegów podczas zwarć 2-fazowych zaprezentowany został na rysunku Rys.1.



Rys.1. Silnik z hamulcem histerezowym w układzie pomiarowym do badania przebiegów podczas zwarć 2-fazowych

Pomiar parametrów silnika asynchronicznego klatkowego o mocy 1.5kW zaprezentowany został na rysunku Rys.2.



Rys.2. Pomiar parametrów silnika asynchronicznego klatkowego o mocy 1.5kW do wyznaczania składowych przejściowych podczas zwarcia 2-fazowego.

Nieustalony stan elektromechaniczny sztywnego wału maszyny elektrycznej opisuje równanie momentów obrotowych:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(I_w\omega_m)=\frac{\mathrm{d}I_w}{\mathrm{d}t}\omega_m+I_w\frac{\mathrm{d}\omega_m}{\mathrm{d}t}=T_e+T_m \quad (1)$$

gdzie: I_w - wartość chwilowa momentu bezwładności mas wirujących, ω_m - prędkość kątowa wirowania wału maszyny, T_e - moment elektromagnetyczny, T_m - moment mechaniczny, $I_w\,\omega_m$ - moment pędu mas wirujących.

Jeżeli moment bezwładności ma wartość stałą, to równanie (1) uprościć można do postaci (2):

$$I_w\frac{\mathrm{d}\omega_m}{\mathrm{d}t}=T_e+T_m \quad (2)$$

Moment elektromagnetyczny T_e jest wynikiem wzajemnego oddziaływania strumienia sprzężonego i prądów w uzwojeniu stojana i wirnika.

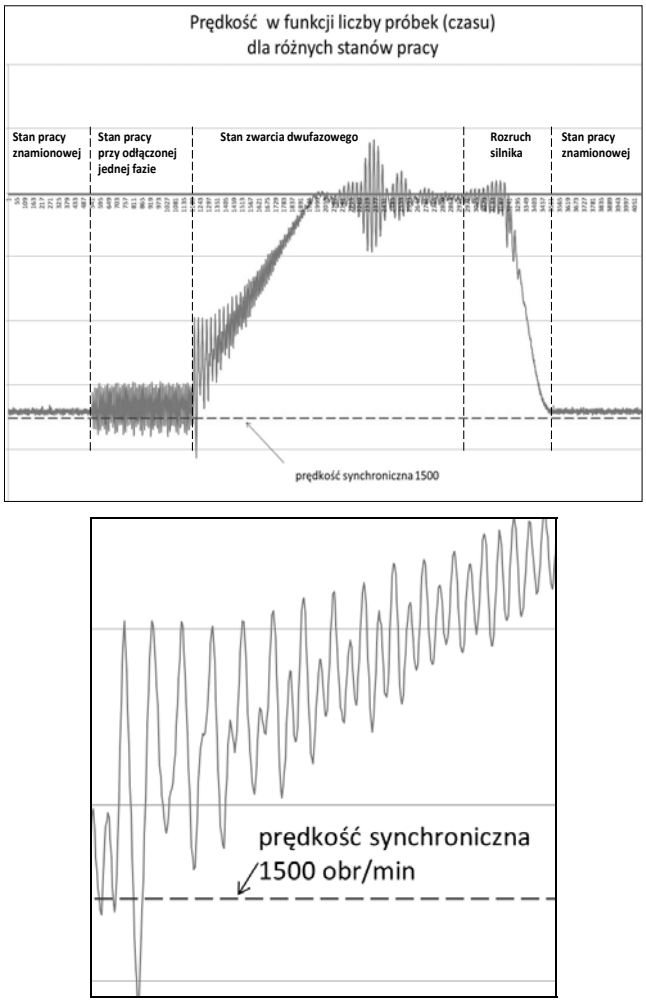
Na podstawie pomiaru prędkości obrotowej otrzymano moment elektromagnetyczny policzony ze wzoru równania ruchu (przy założeniu, że moment obciążający i moment bezwładności jest stały). W takim przypadku obliczenie momentu elektromagnetycznego jest funkcją pochodnej prędkości kątowej po czasie.

Przebieg momentu elektromagnetycznego na podstawie dokonanego pomiaru w stanie nieustalonym zaprezentowany został na rysunku Rys.3.

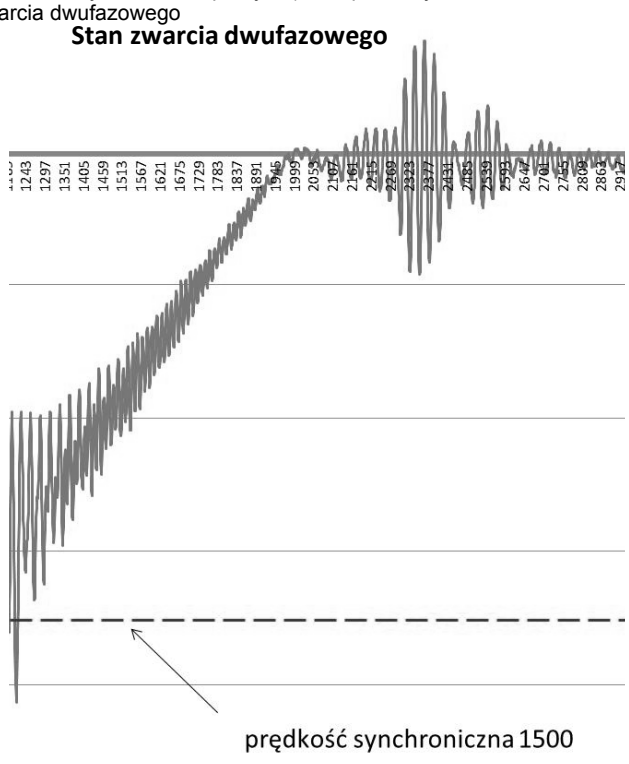
Na rysunku Rys.4. zaprezentowano przebieg udaru momentu elektromagnetycznego dla pierwszych okresów zwarcia dwufazowego. Moment podawany jest w [Nm], czas w liczbie próbek [-].

W weryfikacji eksperymentalnej metody wyznaczania składowych przejściowych przebiegu momentu dla silnika klatkowego w stanie zwarcia dwufazowego dokonano pomiaru napięcia na zaciskach prądnicy tachometrycznej, której napięcie na jej zaciskach było proporcjonalne do prędkości obrotowej badanej maszyny. Tak uzyskane pomiary dyskretyzowanych próbek napięcia posłużyły do odtworzenia momentu badanego silnika.

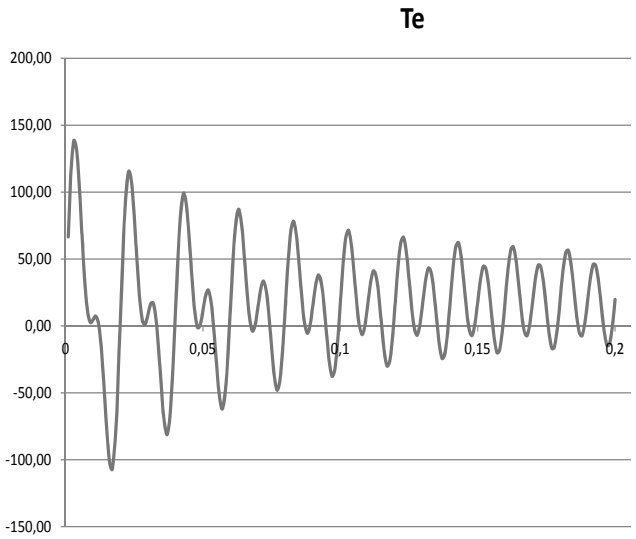
Na rysunku Rys.3. przedstawiono prędkość silnika w funkcji liczby próbek (czasu) dla różnych stanów pracy podczas próby zwarcia dwufazowego. Na rysunku Rys.3. w pierwszym okresie silnik pracuje w stanie znamionowym dalej przechodzi do stanu pracy przy odłączonej jednej fazy a następnie wprowadzany jest w stan badanego zwarcia dwufazowego. Następnie na rysunku widoczny jest rozruch i przejście znowu do znamionowego zasilania.



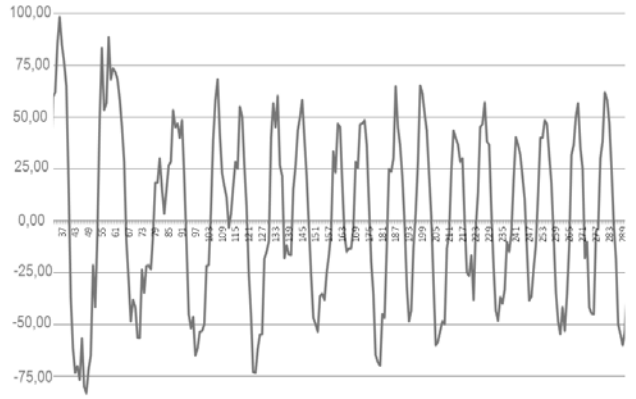
Rys.3. Prędkość silnika w funkcji liczby próbek (czasu): a) dla różnych stanów pracy, b) dla pierwszych okresów stanu zwarcia dwufazowego



Rys.4. Prędkość silnika w funkcji liczby próbek (czasu) dla próby zwarcia dwufazowego.



Rys.5. Przebieg momentu elektromagnetycznego wyznaczonego na podstawie złożenia 9 składowych przejściowych. Moment podawany jest w [Nm], czas w [s].



Rys.6. Przebieg udaru momentu elektromagnetycznego dla pierwszych okresów zwarcia dwufazowego. Moment podawany jest w [Nm]

Przebieg udaru momentu elektromagnetycznego dla pierwszych okresów zwarcia dwufazowego zaprezentowany został na rysunku Rys.4. Moment ten jest proporcjonalny do pochodnej prędkości obrotowej w funkcji czasu. W tym celu niezbędne było numeryczne policzenie pochodnej napięcia zarejestrowanego na zaciskach prądniczki w czasie.

Zarejestrowany moment (Rys.4.) różni się co do samego przebiegu i kształtu od uzyskanego momentu elektromagnetycznego wyznaczonego na podstawie złożenia 9 składowych przejściowych. Wynika to głownie z faktu braku uwzględnienia w tej metodzie nasycania się obwodu magnetycznego (zwłaszcza w obszarze zębów) w stanie niesymetrycznego obciążenia co wpływa zmianę reaktancji i rezystancji uzwojenia. Jest ona metodą przybliżoną i może być wykorzystywana jedynie do szybkiego lecz mało dokładnego przebiegu momentu. Metoda ta jest metodą dającą stosunkowo szybko rezultat obliczenia momentu pod warunkiem znajomości niezbędnych parametrów obliczeniowych silnika asynchronicznego (reaktancji własnych i wzajemnych uzwojeń oraz ich rezystancji).

Podsumowanie

. Metoda składowych przejściowych jest metodą dającą stosunkowo szybko rezultat obliczenia momentu przy znajomości niezbędnych parametrów obliczeniowych silnika asynchronicznego (reaktancji własnych i wzajemnych uzwojeń oraz ich rezystancji). Jednak weryfikacja eksperymentalna potwierdza rozbieżność rezultatów tej metody i to zarówno jeżeli chodzi o przebieg jak i wartości.

Wynika to głownie z faktu braku uwzględnienia w tej metodzie nasycania się obwodu magnetycznego (zwłaszcza w obszarze zębów) w stanie niesymetrycznego obciążenia co wpływa zmianę reaktancji i rezystancji uzwojenia.

***Autorzy**: dr inż. Paweł Drzymała, Politechnika Łódzka, Instytut Mechatroniki i Systemów Informatycznych, Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, E-mail: pawel.drzymala@p.lodz.pl; dr inż. Henryk Welfle, Politechnika Łódzka, Instytut Mechatroniki i Systemów Informatycznych, Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, E-mail: henryk.welfle@p.lodz.pl*.

LITERATURA

[1] Казовский Е.Я. Переходные процессы в электрических машинах переменного тока, Л.: Энергия, 1980.
[2] Arkan M., Kostic-Perovic D., Unsworth P.J., Modelling and simulation of induction motors with inter-turn faults for dignostics, Electric Power Systems Research 75, 2005.
[3] Jesper S. Thomsen , Carsten S. Kallesoe, Stator fault modelling of induction motors International Symposium on Power Electronics, Elektrical drives, Automation and motion, Speedam 2006.
[4] Rosołowski E, Wieczorek M, Modelowanie silnika indukcyjnego do symulacji zwarć wewnętrznych, Materiały X Konferencji Naukowo – Technicznej Petro Eltech 2009, Soczewka, 20-22 maja 2009.
[5] Antal L., Antal M., Zawilak J., Weryfikacja modelu obliczeniowego silnika klatkowego pomiarami statycznych i dynamicznych stanów pracy, Problemy eksploatacji maszyn i napędów elektrycznych, PEMINE. Ustroń, 19-21 maja 2004, Zeszyty Problemowe BOBRME Komel, nr 69 2004, s. 99-104
[6] Melero M.G.; Cabanas M.F.; Rojas C.; Orcajo G.A.; Cano J.M.; Solares J., Study of an induction motor working under stator winding inter-turn short circuit condition, Dia-gnostics for Electric Machines, SDEMPED 2003. 4th IEEE International Symposium on Power Electronics and Drives, 24-26 Aug. 2003 pp. 52 - 57.
[7] Korzeniewska E., Duraj A., Krawczyk A.; Detection of local changes in resistance by means of data mining algorithms, Przegląd Elektrotechniczny, 2014 R.90, nr 12, s. 229-232.
[8] Korzeniewska E., Jakubas A.: Pomiar rezystancji powierzchniowej warstw cienkich o dowolnych kształtach wytworzonych na podłożach elastycznych. Przegląd Elektrotechniczny, 2014, rocznik 90, nr 12, s. 233-236.