

Maria DEMS
Krzysztof KOMĘZA

CHARAKTERYSTYKI EKSPLOATACYJNE WYSOKOOBROTOWYCH SILNIKÓW INDUKCYJNYCH MAŁEJ MOCY

STRESZCZENIE *W pracy przedstawiono charakterystyki eksploatacyjne silników indukcyjnych małej mocy, o rdzeniach wykonanych z różnych gatunków blachy elektrotechnicznej, pracujących przy zasilaniu z sieci i z przemiennika częstotliwości napięciem o częstotliwości 100 oraz 200 Hz. Obliczenia zostały wykonane z wykorzystaniem metod obwodowo-polowych oraz metodami obwodowymi, z uwzględnieniem zjawisk nieliniowych oraz strat dodatkowych w rdzeniu i uzwojeniach silnika. W obliczeniach wykorzystano wyznaczone doświadczalnie dla badanych silników charakterystyki strat mechanicznych, a także pomierzone charakterystyki magnesowania stosowanych blach elektrotechnicznych oraz charakterystyki stratności blach w funkcji indukcji magnetycznej wyznaczone dla zakresu częstotliwości do 2000 Hz.*

Słowa kluczowe: *silnik indukcyjny, straty w rdzeniu, metoda elementów skończonych, modelowanie obwodowe*

1. WSTĘP

W silnikach indukcyjnych powszechnego zastosowania zasilanych napięciem o częstotliwości sieciowej w normalnych warunkach eksploatacyjnych dominują straty w uzwojeniach maszyny. Według pracy [1], średni udział strat

dr hab. inż. Maria DEMS

e-mail: maria.dems@p.lodz.pl

dr hab. inż. Krzysztof KOMĘZA

e-mail: krzysztof.komeza@p.lodz.pl

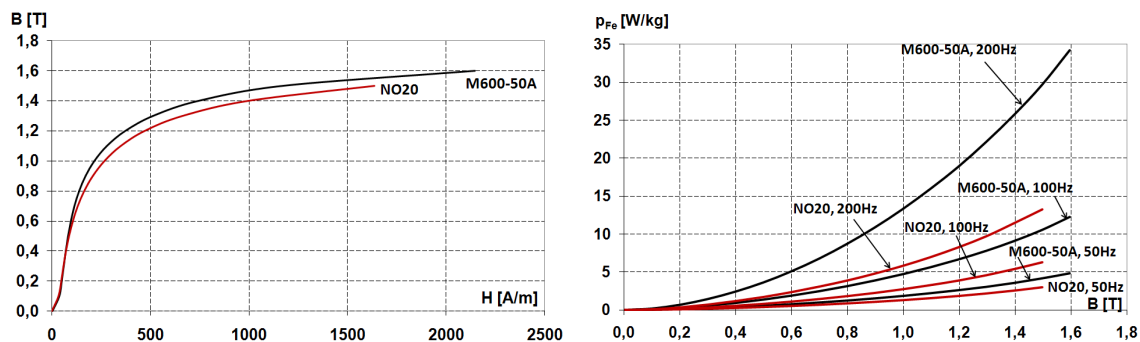
Instytut Mechatroniki i Systemów Informatycznych, Politechnika Łódzka

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, ZESZYT 258, 2012

w uzwojeniach silnika wynosi szacunkowo 60% strat całkowitych, strat podstawowych w rdzeniu – 20%, strat mechanicznych – około 7%, natomiast pozostałe 13% to straty dodatkowe, spowodowane zarówno wyższymi harmonicznymi pola magnetycznego, jak względami technologicznymi.

W silnikach indukcyjnych wysokoobrotowych w miarę wzrostu częstotliwości napięcia zasilającego proporcje te ulegają zmianie i wraz ze wzrostem częstotliwości napięcia zasilającego zaczynają wzrastać straty w rdzeniu silnika i ich udział w całkowitym bilansie strat staje się dominujący. W związku z tym, w silnikach wysokoobrotowych, w celu poprawienia ich sprawności, celowe jest zastosowanie na rdzeń silnika blach elektrotechnicznych o mniejszej stratności, w tym również blachy amorficznej [9, 10]. Blachy takie mają jednak na ogół gorszą charakterystykę magnesowania, co ma wpływ na charakterystyki eksploatacyjne silnika.

W pracy przedstawiono charakterystyki eksploatacyjne modelowych silników indukcyjnych małej mocy, o rdzeniach wykonanych z dwóch gatunków blachy elektrotechnicznej: blachy prądnicowej M600-50A o grubości 0,5 mm oraz z taśmy elektrotechnicznej NO20 o grubości 0,2 mm, produkowanej przez szwedzką firmę Cogent Surahammars Bruks AB, pracujących przy zasilaniu z przemiennika częstotliwości napięciem o częstotliwości zmieniającej się w szerokich granicach (od 0 do 200 Hz), oraz przy zasilaniu napięciem sinusoidalnie zmiennym, dla częstotliwości do 100 Hz. W przypadku zasilania silników napięciem sinusoidalnie zmiennym, przedstawione zostały wyniki obliczeń wykonanych z wykorzystaniem dostępnych w literaturze metod, ze szczególnym uwzględnieniem wyznaczania strat dodatkowych, zarówno w stanie jałowym pracy silnika, jak i przy obciążeniu znamionowym [12]. W obliczeniach wykorzystano wyznaczone doświadczalnie dla badanych silników charakterystyki strat mechanicznych, a także pomierzone w ramach projektu charakterystyki magnesowania zastosowanych w nich blach elektrotechnicznych oraz charakterystyki stratności blach w funkcji indukcji magnetycznej wyznaczone dla szerokiego zakresu częstotliwości, przedstawione na rysunku 1.

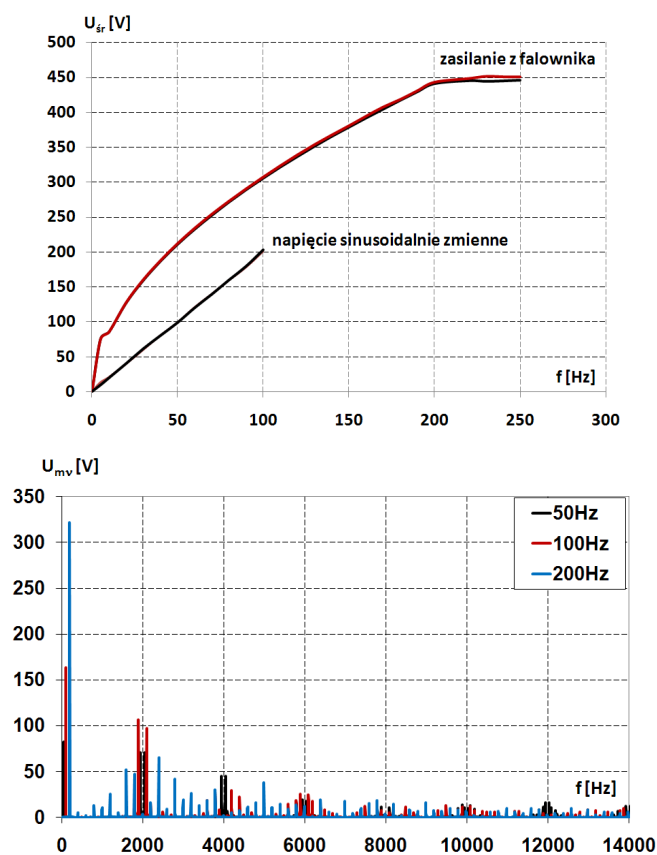


Rys. 1. Pomierzone dla próbek toroidalnych charakterystyki magnesowania i stratności blach elektrotechnicznych M600-50A i NO20 dla różnych częstotliwości [2, 5, 6]

Jak wynika z przedstawionych przebiegów, magnesowalność blachy prądnicowej M600-50A jest nieco lepsza niż blachy NO20, jednak jej stratność, zwłaszcza przy wyższych częstotliwościach, jest znacznie większa od stratności blachy NO20.

2. OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań były dwa 4-biegunowe silniki prototypowe o wzniosie 80 mm w wykonaniu energooszczędnym: jeden z rdzeniem wykonanym z blachy M600-50A (oznaczanym dalej jako silnik E), drugi, z rdzeniem wykonanym z blachy NO20 (silnik D), uzwojone na napięcie 231/400 V przy częstotliwości 200 Hz. Oba silniki miały takie same wymiary rdzenia, jednakowe kształty i wymiary żłobków stojana i wirnika oraz takie same uzwojenia stojana i wirnika. Wirniki obu silników posiadały żłobki zamknięte zalewane aluminium.



Rys. 2. Przebiegi wartości skutecznej napięcia w funkcji częstotliwości przy zasilaniu silnika z falownika MSI oraz napięciem sinusoidalnie zmiennym oraz widmo amplitudowe napięcia wyjściowego falownika

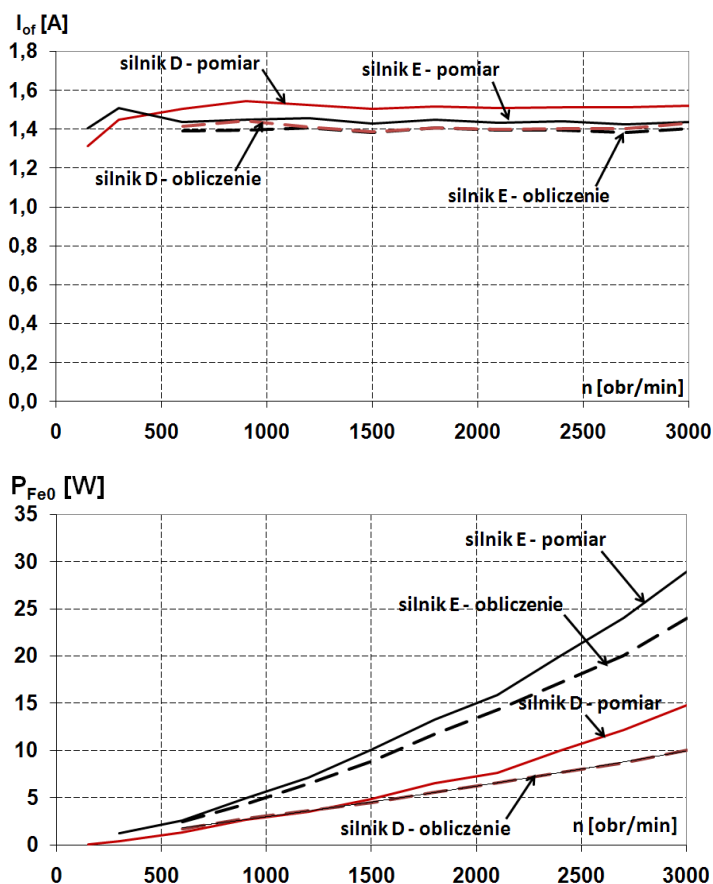
Dla silników tych wykonano pomiary strat mechanicznych oraz wyznaczono charakterystyki biegu jałowego, obciążenia oraz charakterystyki mechaniczne dla częstotliwości znamionowej, przy zasilaniu napięciem znamionowym z falownika MSI, oraz przy obniżonej częstotliwości (do 100 Hz), przy zasilaniu silnika napięciem sinusoidalnym o tak dobranej wartości, aby został zachowany stały, znamionowy strumień magnetyczny. Przebieg wartości skutecznej napięcia w funkcji częstotliwości przy zasilaniu silnika napięciem sinusoidalnym i napięciem z falownika MSI podano na rysunku 2. Na rysunku 2 podano również widmo amplitudowe napięcia na zaciskach wyjściowych falownika MSI, dla wartości skutecznej napięcia zasilającego 50, 100 i 200 V.

3. CHARAKTERYSTYKI BIEGU JAŁOWEGO

Dla obu badanych silników wykonano pomiary prądu biegu jałowego oraz strat jałowych w szerokim zakresie częstotliwości oraz wydzielono z nich straty w rdzeniu, korzystając z wyznaczonych pomiarowo charakterystyk strat mechanicznych w funkcji prędkości obrotowej wirnika [1, 5].

Charakterystyki stanu jałowego wyznaczono pomiarowo przy zasilaniu silników napięciem sinusoidalnie zmiennym (dla wartości częstotliwości do 100 Hz). Dla takich warunków wykonano obliczenia prądu stanu jałowego i strat w rdzeniu, w oparciu o zależności analityczne, z wykorzystaniem algorytmu zaimplementowanego w programie STAT_F. W obliczeniach uwzględniono straty dodatkowe w rdzeniu silnika wywoływane wyższymi harmonicznymi pola magnetycznego stojana i wirnika [1, 12].

Ponieważ w opracowanym algorytmie obliczeniowym możliwe jest tylko zasilanie monoharmoniczne, obliczenia strat i prądu biegu jałowego przy zasilaniu silnika z falownika w pełnym zakresie częstotliwości może być w sposób dokładny wykonane tylko z wykorzystaniem modelu obwodowo-polowego. Stosując model obwodowy do wyznaczania strat w silniku przy zasilaniu falownikowym należałoby wyznaczyć straty dla dominujących harmonicznych napięcia zasilającego, uzyskanych w wyniku rozłożenia przebiegu napięcia wyjściowego z falownika MSI na szereg Fouriera i zsumować straty w rdzeniu uzyskane dla poszczególnych harmonicznymi. Przebiegi prądu biegu jałowego oraz strat jałowych silnika przy zasilaniu silników napięciem sinusoidalnie zmiennym, w zakresie do 100 Hz, przedstawiono na rysunku 3.



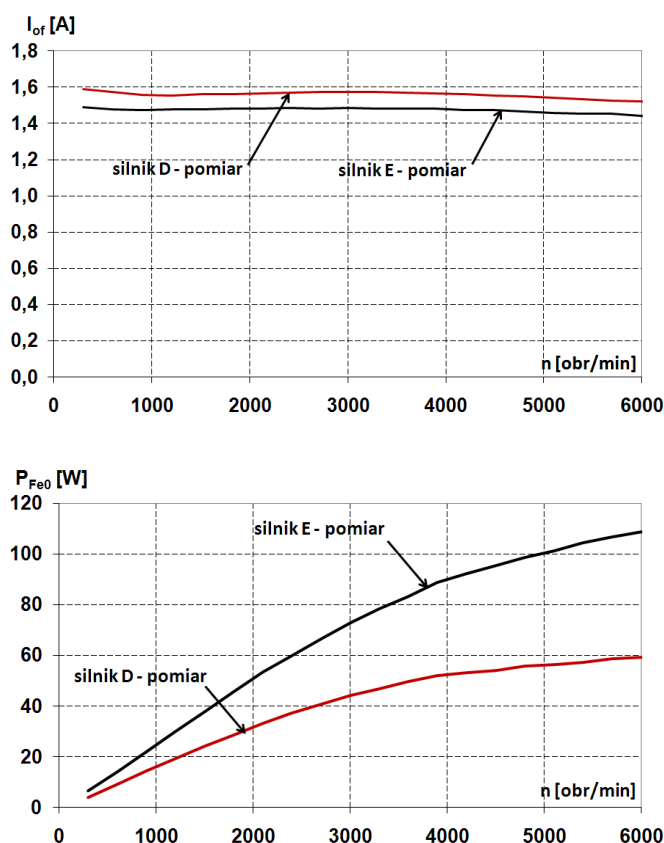
Rys. 3. Prąd biegu jałowego i strat jałowe w rdzeniu w funkcji prędkości obrotowej dla silników modelowych (obliczenia wykonane z wykorzystaniem zależności analitycznych), dla sinusoidalnie zmiennego napięcia zasilającego, dla częstotliwości $f_s = 20$ -100 Hz

Jak wynika z przedstawionych na rysunku 3 wykresów, pomierzone wartości prądu biegu jałowego są nieco większe od wartości obliczonych, przy czym różnice wartości pomierzonych i obliczonych mogą wynikać z nieco innej niż w rzeczywistości wartości grubości szczeliny powietrznej między stojanem i wirnikiem przyjętej do obliczeń. Ponadto, pomierzony i obliczony prąd magnesyjący dla silnika D jest nieco większy niż dla silnika E, gdyż rdzeń silnika D wykonany jest z taśmy magnetycznej o nieco gorszej magnesowalności niż blacha M600-50A. Silnik D ma jednak znacznie niższe straty w rdzeniu, przy czym dla 100 Hz straty w rdzeniu silnika E są prawie dwa razy większe niż w rdzeniu silnika D. Występujące w wynikach pomiarów i obliczeń strat w rdzeniu rozbieżności spowodowane są nieuwzględnieniem w obliczeniach zmiany temperatury uzwojenia stojana podczas cyklu pomiarowego.

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki pomiarów parametrów stanu jałowego przy zasilaniu silników z falownika MSI, w zakresie częstotliwości do 200 Hz. Porównując przebiegi strat jałowych przy zasilaniu silnika napięciem sinusoidalnie zmiennym i napięciem

z falownika MSI można stwierdzić, że przy zasilaniu silnika z falownika zmienia się charakter przebiegu, co można tłumaczyć różnym udziałem wyższych harmonicznych w napięciu generowanym przez falownik przy różnych częstotliwościach.

Przy zasilaniu silników z falownika MSI dokładne wyniki można uzyskać jedynie przy zastosowaniu metody obwodowo-polowej. Przykładowe obliczenia dla silnika E zasilanego z falownika MSI, dla częstotliwości 50 Hz, zostały wykonane metodą obwodowo-polową, z wykorzystaniem programu RM pakietu Opera 2D. Symulacja została przeprowadzona dla biegu jałowego silnika, wirującego z prędkością synchroniczną, z uwzględnieniem rzeczywistych przebiegów napięć fazowych na zaciskach silnika, generowanych przez falownik MSI. Porównanie przebiegów prądów



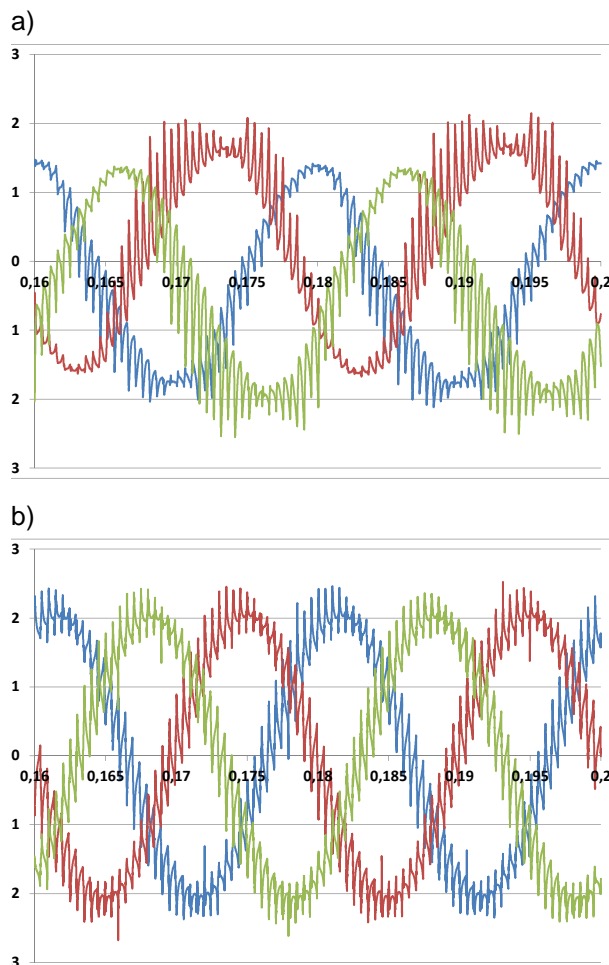
Rys. 4. Wyniki pomiarów prądu stanu jałowego i strat jałowych przy zasilaniu silników z falownika MSI, w zakresie częstotliwości do 200 Hz

Porównanie przebiegów prądów

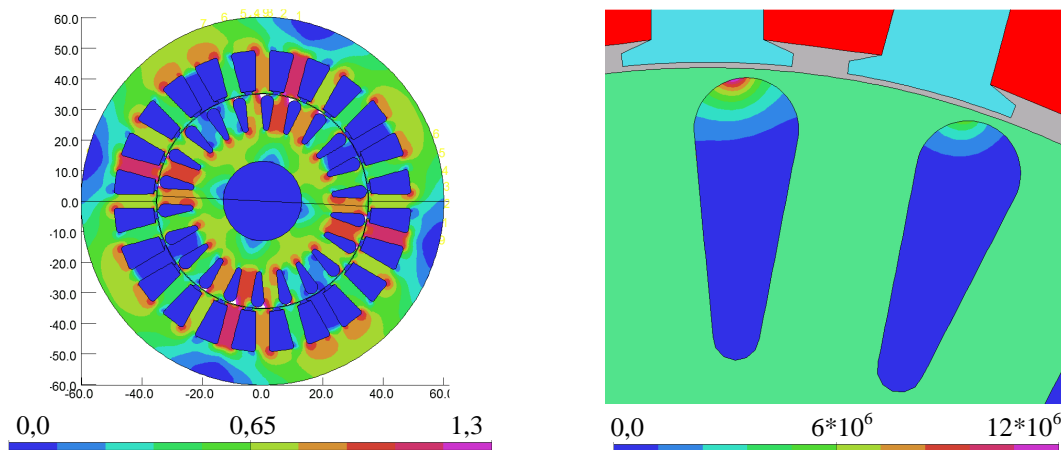
fazowych obliczonych i pomierzonych dla badanego silnika, dla tego przypadku, przedstawiono na rysunku 5.

Różnice pomiędzy obliczonymi i pomierzonymi przebiegami wynikają z faktu, że prąd obliczony nie zawiera składowej czynnej wynikającej ze strat w rdzeniu silnika. Przebieg prądu jest silnie odkształcony, co wynika ze znacznego udziału wyższych harmonicznych w krzywej napięcia przedstawionego na rysunku 2.

Na rysunku 6 przedstawiono rozkład modułu indukcji magnetycznej dla wybranej chwili czasowej oraz rozkład modułu gęstości prądu. Jak wynika z rysunku 6, silnik dla 50 Hz charakteryzuje się niewielkim nasyceniem obwodu magnetycznego – wartości modułu indukcji jedynie w niewielkim obszarze przekraczają wartość 1,3 T. Mimo biegu jałowego widoczny jest przepływ prądu w prętach wirnika wynikający z pulsacji strumienia magnetycznego spowodowanego ułobkowaniem rdzenia silnika.



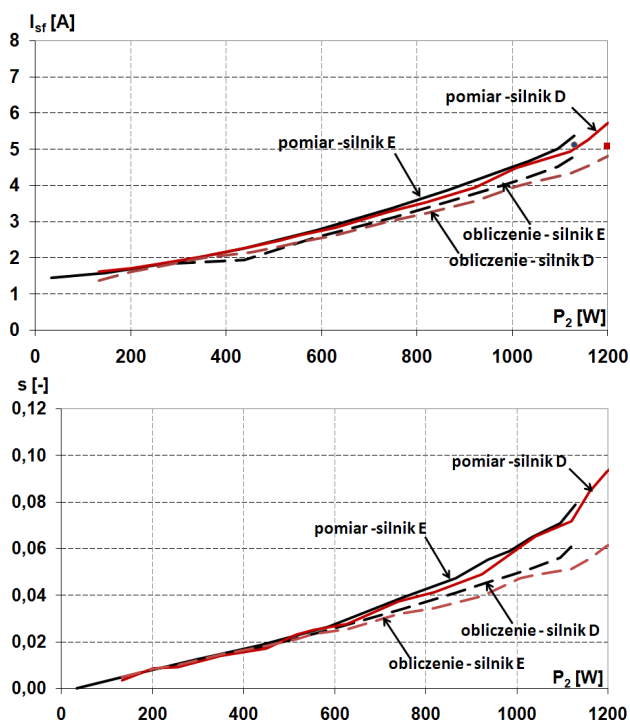
Rys. 5. Porównanie przebiegów prądów fazowych obliczonych (a) i pomierzonych (b) dla silnika E zasilanego z falownika MSI, przy częstotliwości 50 Hz



Rys. 6. Rozkład modułu indukcji (T) dla wybranej chwili czasowej oraz rozkład modułu gęstości prądu (A/mm^2) dla tej samej chwili, dla silnika E zasilanego z falownika MSI, przy częstotliwości 50 Hz

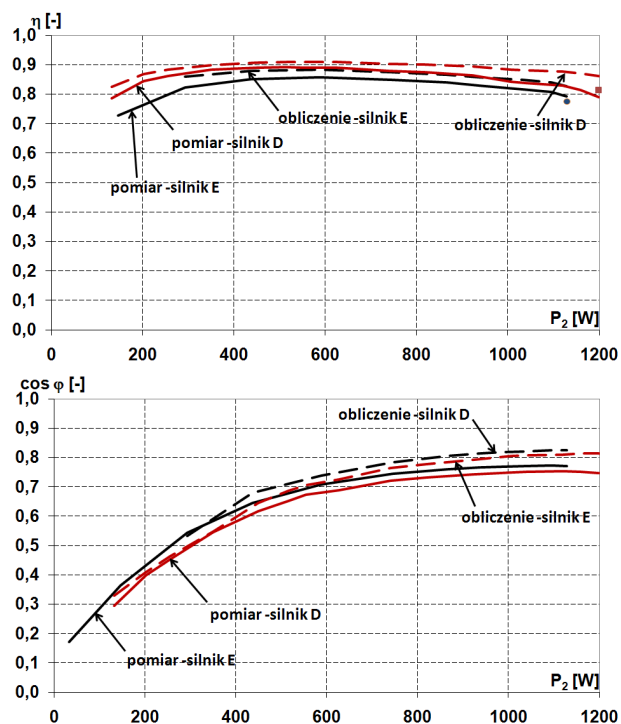
4. CHARAKTERYSTYKI OBCIĄŻENIOWE

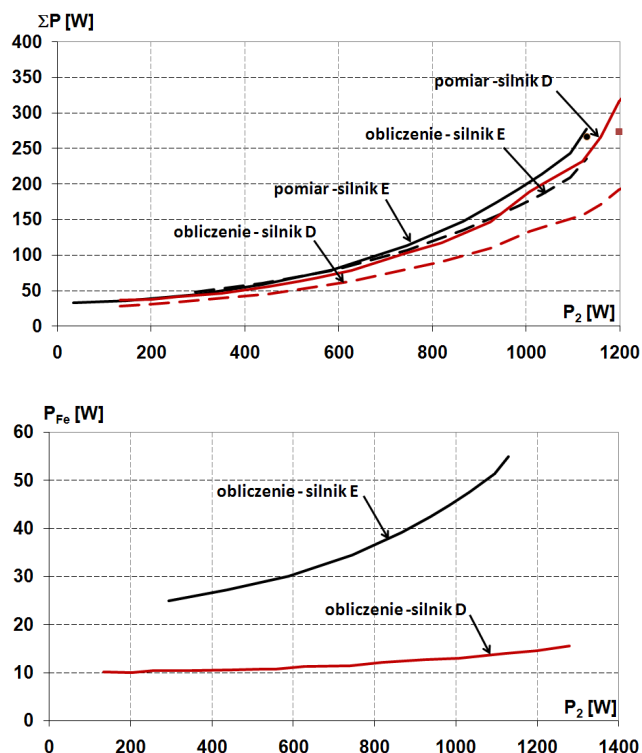
Dla badanych silników wyznaczono charakterystyki obciążeniowe, przy zasilaniu napięciem sinusoidalnym dla częstotliwości 50 Hz i 100 Hz, oraz przy zasilaniu falownikowym dla częstotliwości 200 Hz.



Rys. 7. Przebiegi prądu stojana oraz poślizgu wirnika w funkcji mocy na wale dla częstotliwości 100 Hz, przy zasilaniu silnika napięciem sinusoidalnie zmiennym

Rys. 8. Przebiegi sprawności oraz współczynnika mocy w funkcji mocy na wale dla częstotliwości 100 Hz, przy zasilaniu silnika napięciem sinusoidalnie zmiennym





Rys. 9. Przebiegi pomierzonych i obliczonych strat całkowitych oraz obliczonych strat w rdzeniu silników w funkcji mocy na wale, dla częstotliwości 100 Hz, przy zasilaniu silnika napięciem sinusoidalnie zmiennym

Na rysunkach 7-9 przedstawiono pomierzone i obliczone charakterystyki obciążeniowe dla obu silników modelowych, przy zasilaniu silników napięciem sinusoidalnie zmiennym o częstotliwości 100 Hz.

Jak wynika z przedstawionych na rysunku 9 przebiegów, zastosowanie na rdzeń silnika blachy NO2 pozwala uzyskać przy częstotliwości napięcia zasilającego 100 Hz w warunkach obciążenia silnika jeszcze większe zmniejszenie strat w rdzeniu niż przy biegu jałowym. Powoduje to również niewielkie zmniejszenie strat całkowitych, ale znacznie mniejsze niż strat w rdzeniu, ponieważ przy częstotliwości 100 Hz w silniku przeważający udział mają straty w uzwojeniach stojana i wirnika. Silnik wykonany z blachy NO2 ma również nieco wyższą sprawność i mniejszy prąd pobierany z sieci, ale nieco mniejszy współczynnik mocy niż silnik z rdzeniem z blachy M600-50A, ze względu na nieco gorszą charakterystykę magnesowania blachy NO2.

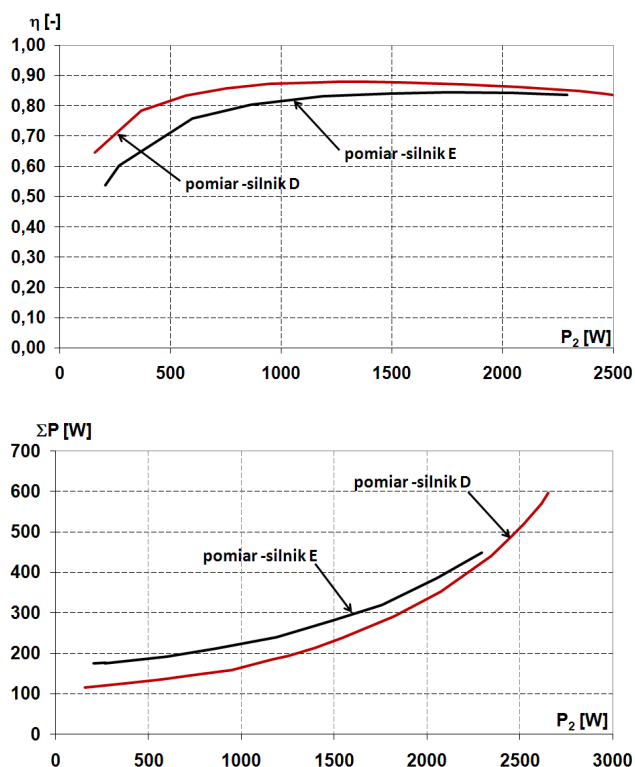
Niewielkie zniekształcenia charakterystyk pomiarowych spowodowane są zmieniającą się podczas pomiarów wartością napięcia zasilającego (w granicach 200-202 V dla silnika E oraz 203-210 V dla silnika D). Rozbieżności wyników pomiarów i obliczeń wynikają głównie z faktu przyjęcia w obliczeniach stałej temperatury uzwojeń silnika równej 40°C. W celach porównawczych, dla maksymalnej mocy obciążenia wyznaczono dla obu silników wartości prądu stojana, sprawności i strat całkowitych dla temperatury uzwojenia stojana 115°C, oraz uzwojenia wirnika 140°C (punkty na rysunkach 5-7). Przy wykonywaniu

dokładniejszych obliczeń należałoby uwzględnić zmianę temperatury uzwojeń silnika dla poszczególnych punktów pomiarowych.

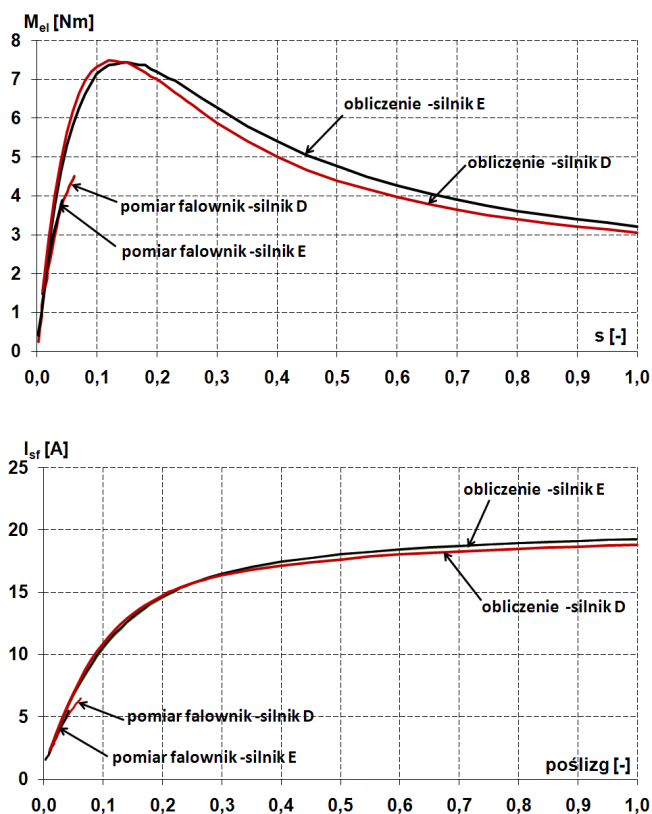
Na rysunkach 10 przedstawiono porównanie pomierzonej sprawności i strat całkowitych dla silników modelowych przy zasilaniu z falownika MSI napięciem o częstotliwości 200 Hz.

Jak wynika z rysunku 10, zastosowanie na rdzeń silnika indukcyjnego D blachy NO2 o zmniejszonej stratności, już przy częstotliwości napięcia zasilającego 200 Hz daje wyraźny wzrost sprawności silnika w stosunku do silnika E, pomimo, że w silniku D udział strat w rdzeniu jest w tym przypadku rzędu 15% strat całkowitych, natomiast strat w uzwojeniach – rzędu 74%. Proporcje te można zmienić tak przeprojektowując silnik, aby zwiększyć wykorzystanie rdzenia magnetycznego (w badanym silniku maksymalna indukcja w rdzeniu nie przekraczała wartości 1 T), jednocześnie zmniejszając wykorzystanie uzwojeń i straty w uzwojeniach, co może jeszcze zwiększyć sprawność silnika.

Rys. 10. Przebiegi sprawności i strat całkowitych w silnikach modelowych w funkcji mocy na wale, dla częstotliwości 200 Hz, przy zasilaniu silników z falownika MSI



Na rysunku 11 zamieszczono pełne charakterystyki mechaniczne dla obu silników modelowych oraz charakterystyki prądu stojana obliczone przy pomocy programu STAT WIN_F [7] przy zasilaniu napięciem sinusoidalnie zmiennym o częstotliwości 200 Hz, a także pomierzone fragmenty tych charakterystyk przy zasilaniu silnika z falownika, przy częstotliwości 200 Hz.



Rys. 11. Charakterystyki momentu elektromagnetycznego i prądu stojana w funkcji poślizgu dla silników modelowych przy zasilaniu silników napięciem sinusoidalnie zmiennych i z falownika MSI, przy częstotliwości 200 Hz

Na podstawie przedstawionych charakterystyk można oszacować, że przy 200 Hz znamionowy moment elektromagnetyczny badanych silników jest rzędu 3,5-4 Nm.

5. ZAKOŃCZENIE – WNIOSKI

W pracy przedstawiono wpływ rodzaju blachy, z której wykonany jest stojan maszyny, na charakterystyki eksploatacyjne silników indukcyjnych małej mocy pracujących przy zasilaniu z sieci i z przemiennika częstotliwości napięciem o częstotliwości 100 oraz 200 Hz. Zwiększenie częstotliwości napięcia zasilającego, szczególnie przy wykorzystaniu falowników MSI, powoduje wzrost strat w rdzeniu silnika. Uzyskanie wysokiej sprawności wymaga więc zastosowania materiałów magnetycznych o lepszych właściwościach, a zwłaszcza mniejszej stratności. Zdecydowanie mniejszą stratnością niż klasyczne blachy elektrotechniczne charakteryzują się materiały amorficzne, jednak mają one zdecydowanie gorszą magnesowalność, co powoduje konieczność zwiększenia wymiarów silnika. Istotnym ograniczeniem zastosowania blach amorficznych

jest również brak wydajnej technologii wykonywania rdzeni z materiałów amorficznych. Z tego względu w pracy przedstawiono efekty zastosowania na rdzeń silnika indukcyjnego blachy elektrotechnicznej NO20 o grubości 0,2 mm. Dzięki mniejszej stratności blacha ta pozwala na uzyskanie lepszych sprawności niż przy zastosowaniu blachy 0,5 mm, nie stwarzając przy tym problemów technologicznych. Obliczenia parametrów silnika zostało wykonane z zastosowaniem zarówno metody obwodowej odpowiednio zmodyfikowanej dla specyficznych warunków zasilania, jak również metody polowo-obwodowej.

Praca wykonywana jest w ramach projektu badawczego własnego nr N N510 388 235 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

LITERATURA

1. Komęza K., Dems M.: Finite-Element and Analytical Calculations of No-Load Core Losses in Energy-Saving Induction Motors, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume: 59, Issue: 7, 2012, pp. 2934-2946.
2. Dems M., Komęza K., Szulakowski J.: Charakterystyki biegu jałowego wysokoobrotowych silników indukcyjnych małej mocy, Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne, nr 82, 2008, BOBRME Komel, s. 239-245.
3. Dems M., Komęza K., Szulakowski J.: Influence of different magnetic material of the high-speed induction motors cores on motors fields distribution and integral parameters, Przegląd Elektrotechniczny, R.86 Nr 5/2010, pp. 156-160.
4. Komęza K., Dems M., Szulakowski J.: Advanced Computer Modelling of no-load curves of the high-speed small size induction motors, Przegląd Elektrotechniczny, R.86 Nr 5/2010, pp. 152-155.
5. Dems M., Komęza K., Szulakowski J.: Straty podstawowe i dodatkowe w rdzeniu wysokoobrotowych silników indukcyjnych małej mocy, Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne, BOBRME Komel, nr.86, 2010, pp. 113-118.
6. Dems M., Komęza K., Szulakowski J.: Wpływ materiału rdzenia na charakterystyki wysokoobrotowych silników indukcyjnych małej mocy, Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne, BOBRME Komel, nr.91, 2011, s. 177-182.
7. Dems M., Rutkowski Z.: STAT_WIN_F v.2, Obliczenia elektromagnetyczne trójfazowych, wysokoobrotowych silników indukcyjnych, Biblioteka Programów Instytutu Mechatroniki i Systemów Informatycznych Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2010.

8. Komęza K., Dems M., Szulakowski J.: Advanced Computer Modelling of no-load curves of the high-speed small size induction motors, *Przegląd Elektrotechniczny*, R.86 Nr 5/2010, pp. 152-155.
9. Dems M., Komęza K., Szulakowski J.: Influence of different magnetic material of the high-speed induction motors cores on motors fields distribution and integral parameters, *Przegląd Elektrotechniczny*, R.86 Nr 5/2010, pp. 156-160.
10. Derlecki S., Kuśmierk Z., Szulakowski J., Dems M.: Właściwości materiałów magnetycznych i ich wpływ na konstrukcję maszyn elektrycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, R.86 Nr 4/2010, s. 83-86.
11. Hernandez-Aramburo C.A., Green T.C., Smith A.C.: Estimating rotational iron losses in an induction machine, *IEEE Trans. on Mag.*, Vol. 39, Issue 6, pp. 3527-3533, 2003.
12. Śliwiński T.: *Metody obliczania silników indukcyjnych*, t. 1 Analiza, PWN, Warszawa 2008.
13. Youguang G., Jian Guo Z., Jinjiang Z.; Haiyan L.; Jian Xun J.: Measurement and Modeling of Rotational Core Losses of Soft Magnetic Materials Used in Electrical Machines: A Review, *IEEE Trans. on Mag.*, Vol. 44, Issue 2, pp. 279-291, 2008.
14. Zhu J.G., Ramsden V.S.: Improved formulations for rotational core losses in rotating electrical machines, *IEEE Trans. Magn.*, 34, pp. 2234-2242, 1998.

Rękopis dostarczono dnia 12.12.2011 r.

PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF HIGH-SPEED LOW-POWER INDUCTION MOTORS

Maria DEMS, Krzysztof KOMĘZA

ABSTRACT *The paper presents operational characteristics of a small induction motor with the stator core made of amorphous laminations, supplied from mains or frequency inverter at 100 and 200 Hz. Calculations were performed using field-circuit and equivalent circuit approaches taking account of non-linearity and additional losses both in the core and in the windings. Data for mechanical losses, magnetisation curve and magnetic losses of the amorphous material was obtained experimentally; magnetic measurements were taken as a function of magnetic flux density in the frequency range up to 2,000 Hz.*

Keywords: *induction motors, core losses, finite element method, circuit modelling*



Maria DEMS jest zastępcą dyrektora ds. dydaktycznych Instytutu Mechatroniki i Systemów Informatycznych na wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej. W 1978 r. uzyskała stopień doktora, a w 1996 stopień doktora habilitowanego w dyscyplinie elektrotechnika na Politechnice Łódzkiej. Od roku 1998 pracuje jako profesor nadzwyczajny PŁ. Specjalistka w dziedzinie maszyn elektrycznych, ich symulacji i modelowania. Autorka ponad 160 publikacji w czasopismach, rozdziałów w książkach oraz monografiach. Recenzentka licznych czasopism, takich jak: IEEE Trans. Magn., IEEE Transactions on Industrial Electronics, Compel, Przegląd Elektrotechniczny i innych. Ekspert w dziedzinie projektowania i optymalizacji maszyn elektrycznych, zastosowania systemów ekspertowych oraz baz danych. Autorka specjalizowanego oprogramowania do projektowania maszyn elektrycznych oraz szeregu prac dla przemysłu elektromaszynowego.

Krzysztof KOMEŹA jest zastępcą dyrektora ds. naukowych Instytutu Mechatroniki i Systemów Informatycznych na wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej. W 1983 r. uzyskał stopień doktora, a w 1995 stopień doktora habilitowanego w dyscyplinie elektrotechnika na Politechnice Łódzkiej. Od roku 1998 pracuje jako profesor nadzwyczajny PŁ. Specjalista w dziedzinie maszyn elektrycznych, pól elektromagnetycznych, symulacji i modelowania. Autor ponad 180 publikacji w czasopismach, rozdziałów w książkach oraz monografiach. Recenzent licznych czasopism, takich jak: IEEE Trans. Magn., IEEE Transactions on Industrial Electronics, IET EPE, Compel i innych. Ekspert w dziedzinie modelowania zjawisk w przetwornikach elektromechanicznych z zastosowaniem numerycznych metod polowych i polowo-obwodowych z wykorzystaniem numerycznej metody elementów skończonych.



