

**Maria J. Zielińska**  
Politechnika Lubelska, Lublin

## WYBRANE WŁASNOŚCI EKSPLOATACYJNE SILNIKÓW ASYNCHRONICZNYCH KLATKOWYCH ZASILANYCH NAPIĘCIEM O DUŻEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

### CHOSEN OPERATING PROPERTIES OF SQUIRREL-CAGE ASYNCHRONOUS MOTORS POWERED BY HIGH-FREQUENCY VOLTAGE

**Streszczenie:** Indukcyjne silniki klatkowe zasilane napięciem o dużej częstotliwości stosowane są głównie w przemyśle łożyskowym, precyzyjnym i włókienniczym. Są więc mało znaną grupą maszyn. Skromna jest również literatura dotycząca tego typu silników. Największe częstotliwości, czyli najwyższe prędkości obrotowe wynikają z potrzeb technologicznych i ograniczone są możliwościami wykonawczymi. Silniki te posiadają swoją specyficzną konstrukcję i mają określone własności eksploatacyjne różniące je od maszyn indukcyjnych klatkowych zasilanych napięciem o częstotliwości 50 Hz. Różnice te wynikają głównie z wprowadzenia intensywnego chłodzenia dla zmniejszenia wymiarów gabarytowych, zastosowania żłobka zamkniętego w wirniku celem ograniczenia drgań i hałasu oraz zasilania silnika napięciem o dużej częstotliwości. W niniejszym artykule na podstawie rozważań teoretycznych i badań laboratoryjnych podjęto próbę określenia własności silników asynchronicznych klatkowych zasilanych napięciem o dużej częstotliwości. Rozważania dotyczą parametrów elektromagnetycznych, bilansu strat jak również doboru wartości napięcia zasilania celem zapewnienia zadanych parametrów eksploatacyjnych.

**Abstract:** Induction squirrel-cage motors powered by high-frequency voltage are mainly used in industrial bearing, precise and textile industries. They are so little known group of machines. Literature concerning engines of this type is also modest. The highest frequency, which is the highest speeds on the needs of technological and regulatory capabilities are limited. These motors have their specific design and have specific operational properties differ them from cage induction machines supplied voltage with a frequency of 50 Hz. These differences result mainly from implementing the intensive cooling for reducing dimensions, of applying the groove closed in the rotor in order to limit pulses and the noise and contributing towards the engine stretching about the great frequency. In the present article based on theoretical deliberations and laboratory tests an attempt to determine the ownership of squirrel-cage asynchronous motors was made fed with stretching about the great frequency. Deliberations concern electromagnetic parameters, balance of losses as well as the selection of the value of the supply voltage in order to ensure set exploitation parameters.

**Słowa kluczowe:** maszyny elektryczne, wysokoobrotowe silniki klatkowe, własności eksploatacyjne

**Keywords:** electric machines, high-speed of squirrel-cage asynchronous motors, exploitation properties

#### 1. Wstęp

Indukcyjne silniki klatkowe zasilane napięciem o częstotliwości 400-1500 Hz są mało znaną grupą maszyn ze względu na swoje nieliczne zastosowanie. Stosowane są głównie w przemyśle łożyskowym do napędu szlifierek przy produkcji łożysk tocznych, obrabiarek skrawających bardzo twarde materiały oraz w przemyśle włókienniczym [7].

W Polsce produkowane są pojedyncze egzemplarze tych silników. Największe częstotliwości, czyli najwyższe prędkości obrotowe wynikają z potrzeb technologicznych, a ograniczone są możliwościami wykonawczymi.

Rozwijające się zapotrzebowanie na wysokoobrotowe technologie zmuszają do przygotowania produkcji silników zasilanych napięciem o dużej częstotliwości z odpowiednim zakresem regulacji prędkości obrotowej i koniecznej mocy. Praca tego typu silników odbywa się w specyficznych warunkach, posiadają one odmienną konstrukcję i niektóre własności różniące je od maszyn indukcyjnych klatkowych zasilanych napięciem o częstotliwości 50 Hz [5].

Własności omawianych silników w tym również eksploatacyjne wynikają głównie z zastosowania w wirniku zamkniętego, okrągłego żłobka oraz z dużej częstotliwości napięcia za-

silającego. Występuje tu więc zjawisko wypierania prądu w prętach klatki wirnika.

Zastosowanie zamkniętego okrągłego żłobka w wirniku wzmaga występowanie zjawiska nasycenia rdzenia dla strumienia rozproszenia żłobkowego [3]. Jednak stan ten w omawianych silnikach jest zmienny i zależy od wartości prądu płynącego przez pręt wirnika.

## 2. Zagadnienia związane z identyfikacją parametrów elektromagnetycznych

Indukcyjność rozproszenia wirnika nie jest wielkością stałą i zależy od wartości prądu płynącego w żłobku wirnika.

Przy wyznaczaniu tej indukcyjności dla silników klasycznych zasilanych napięciem o częstotliwości 50 Hz zwykle pomija się wpływ nasycenia obwodu magnetycznego dla strumienia rozproszenia. Jest to postępowanie typowe i obowiązuje wówczas znany z literatury schemat zastępczy [8].

Identyfikacja tej indukcyjności w silnikach zasilanych napięciem o dużej częstotliwości jest zagadnieniem dość złożonym z uwagi na skomplikowany rozkład strumieni magnetycznych w szczególności strumieni rozproszenia [1], [4]. Dodatkowym utrudnieniem jest uwzględnienie wpływu nasycania przesmyku nad zamkniętym żłobkiem wirnika.

Parametry schematu zastępczego nie są więc wielkościami stałymi i zależą od częstotliwości napięcia zasilającego oraz od wartości prądu. Fakt ten potwierdzają wyniki badań doświadczalnych przeprowadzonych w stanie zwarcia, które wskazują, że impedancja silnika jest wielkością zmienną [1].

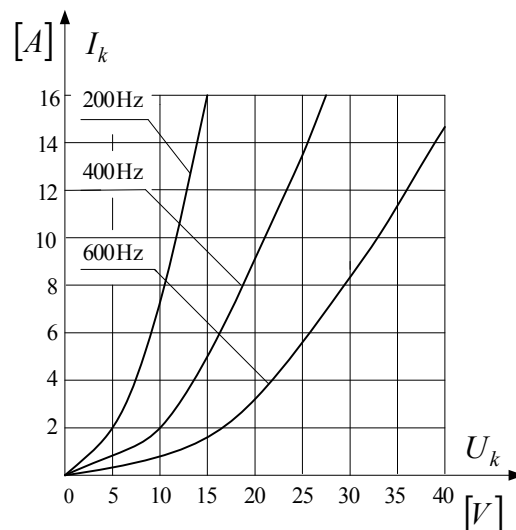
Na rysunku 1 zamieszczono przebiegi prądu zwarcia  $I_k$  w funkcji napięcia zwarcia  $U_k$  otrzymane na drodze doświadczalnej dla silnika szybkoobrotowego typu PTShPp30-36KM 120 o następujących danych znamionowych:

$$P_N = 3,3 \text{ kW}, \quad U_N = 183 \text{ V}, \quad f_N = 600 \text{ Hz},$$

$$n_l = 600 \frac{1}{s}.$$

Przedstawione charakterystyki (rys. 1.) świadczą o tym, że przesmyk zamknięcia żłobka nasycy się przy małych wartościach prądów. Oznacza to, że własności silników przy poślizgu większym od znamionowego można w przybliżeniu określać zakładając stałość parametrów schematu zastępczego. Jako indukcyjność rozpro-

szenia wirnika należy przyjmować wartość odpowiadającą stanowi nasycenia.



Rys. 1. Zależności  $I_k = f(U_k)$  otrzymane w stanie zwarcia przy parametrycznie zmiennej częstotliwości napięcia zasilającego

Wpływ zmian warunków źródła zasilania na parametry schematu zastępczego należy uwzględniać przez wprowadzanie rzeczywistych wartości tych parametrów otrzymanych na drodze doświadczalnej.

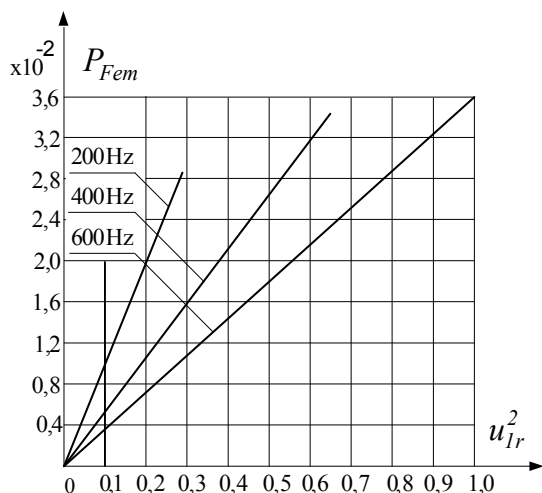
## 3. Bilans strat

Celem określenia cech eksploatacyjnych omawianych silników przedstawiono bilans strat oraz ustalono wpływ zmian częstotliwości napięcia zasilającego na wielkości poszczególnych strat i ich udział w całkowitych stratach mocy w silniku.

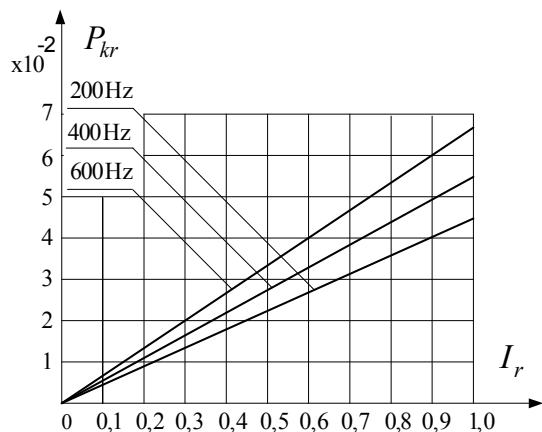
Do analizy przyjęto bilans strat podawany w literaturze obowiązujący dla silników zasilanych napięciem o częstotliwości 50 Hz [8].

Na rysunkach 2, 3, 4 zamieszczono względne straty w rdzeniu, w uzwojeniach stojana i wirnika oraz straty mechaniczne dla różnych częstotliwości napięcia zasilania.

Duża częstotliwość napięcia zasilającego powoduje zwiększenie strat w rdzeniu. Dla znamionowej wartości napięcia i znamionowej częstotliwości wynoszą 3,5% całkowitej mocy silnika.



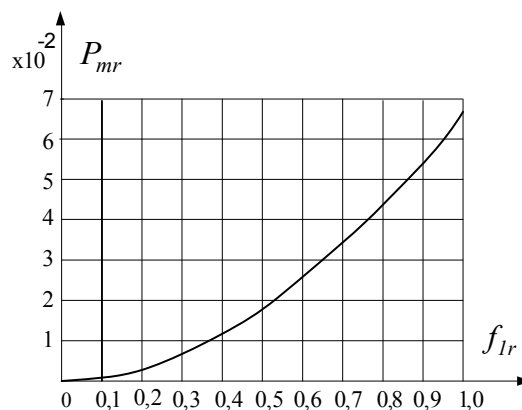
Rys. 2. Względne straty w rdzeniu w funkcji kwadratu względnego napięcia zasilania przy parametrycznie zmiennej częstotliwości [6]



Rys. 3. Udział strat w uzwojeniach stojana i wirnika przy parametrycznie zmiennej częstotliwości [6]

Udział strat wyznaczonych w stanie zwarcia przy znamionowym prądzie i znamionowej częstotliwości wynosi około 6,5% znamionowej mocy silnika. Uwarunkowane jest to dużymi dopuszczalnymi gęstościami prądów w uzwojeniach, wynikającymi z wymuszonego, intensywnego chłodzenia silnika.

Wpływ zmian częstotliwości na wartość tych strat jest niepomijalny. Wzrost strat przy zwiększaniu częstotliwości jest głównie wynikiem zwiększonych strat dodatkowych w obwodach tłumiących głównie w litych elementach konstrukcyjnych silnika.



Rys. 4. Udział strat mechanicznych w funkcji względnej częstotliwości [1]

Również straty mechaniczne mają dużą wartość i dla omawianego silnika stanowią około 6,5% całkowitej mocy silnika. Spowodowane jest to zwiększonym tarciem wirnika i łożysk o mgłę olejową.

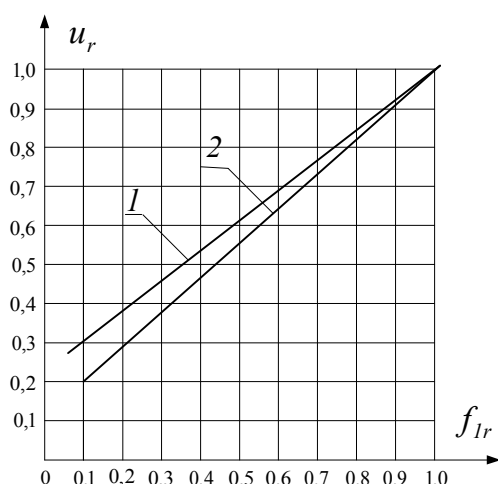
#### 4. Dobór napięcia zasilania silnika przy zadanych parametrach eksploatacyjnych

Zmianom częstotliwości napięcia zasilającego silnik powinny odpowiadać w przybliżeniu proporcjonalne zmiany napięcia. Zasada ta obowiązuje tylko w pewnym zakresie częstotliwości. Dla małych częstotliwości i dużych prądów silnika regulacja proporcjonalna nie zapewnia stałości momentu, gdyż w takich warunkach moment maleje [2].

Podstawowe własności silnika takie jak: przeciążalność momentem, moment rozruchowy, prąd rozruchowy zależą od przebiegu zmian napięcia w funkcji częstotliwości. Dobór napięcia zasilania zależy od tego, który ze wspomnianych parametrów jest najistotniejszy w czasie pracy danego silnika.

Najczęściej wymaga się, aby silnik charakteryzował się zadaną przeciążalnością momentem, zadanym momentem krytycznym lub zadanym momentem rozruchowym.

Jak wynika z rys.5. celem utrzymania zadanego momentu rozruchowego lub momentu krytycznego silnika przy obniżaniu częstotliwości napięcia zasilającego poniżej wartość znamionową  $f_{1r} < 1$  należy zwiększać wartość tego napięcia w stosunku do zmian proporcjonalnych do częstotliwości.



Rys. 5. Względne napięcie zasilania w funkcji względnej częstotliwości  $u_r = f(f_{1r})$  przy zapewnieniu: 1-znamionowego momentu krytycznego, 2-znamionowego momentu rozruchowego silnika [2]

## 5. Wnioski końcowe

Z przeprowadzonej analizy wynikają następujące wnioski:

1. Stan nasycenia rdzenia dla strumienia rozproszenia żłobkowego w silnikach zasilanych napięciem o dużej częstotliwości jest zmienny i zależy od wartości prądu płynącego przez pręt wirnika.
2. Parametry schematu zastępczego nie są wielkościami stałymi i zależą od częstotliwości napięcia zasilającego oraz od wartości prądu.
3. Własności silników przy poślizgu większym od znamionowego można w przybliżeniu określać zakładając stałość parametrów schematu zastępczego. Jako indukcyjność rozproszenia wirnika należy przyjmować wartość odpowiadającą stanowi nasycenia.
4. Omawiane silniki charakteryzują się zwiększonymi stratami w rdzeniu, uzwojeniach stojana i wirnika, dodatkowymi oraz stratami mechanicznymi.
5. Zmianom częstotliwości napięcia zasilającego przy zachowaniu stałych parametrów eksploatacyjnych, takich jak moment rozruchowy czy przeciążalność powinna towarzyszyć zmiana napięcia większa, niż to wynika ze zmian proporcjonalnych.

## 6. Literatura

[1]. Zielińska M. J.; *Cechy szczególne silników indukcyjnych zasilanych napięciem o dużej częstotliwości*, rozprawa doktorska, Gliwice 1986r.

[2]. Zielińska M. J.: *Określenie warunków zasilania indukcyjnych silników szybkoobrotowych przy wybranych parametrach pracy*. XXX Sympozjum Maszyn Elektrycznych – Współczesne Problemy Maszyn Elektrycznych, Kazimierz Dolny – 1994.

[3]. Zielińska M, Zieliński W.: *Chosen electromagnetic parameters of asynchronous high-speed motors of reduced noise level*. Electromagnetic Devices and Processes in Environment Protection the Second Conference, str 261-264, Nałęczów 1997.

[4]. Zielińska M. J., Zieliński W.: *Metoda określenia parametrów elektromagnetycznych szybkoobrotowych silników asynchronicznych uwzględniająca zjawisko nasycenia rdzenia*. Materiały III Sympozjum Sterowanie i Monitorowanie Układów Przemysłowych SM'99, Kazimierz Dolny.

[5]. Zielińska M. J.: *Własności mechaniczne szybkoobrotowych indukcyjnych silników klatkowych*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne, 2001, wyd. BOBRME KOMEL.

[6]. Zielińska M. J.: *Bilans strat w silniku asynchronicznym zasilanym napięciem o dużej częstotliwości*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne nr 66, 2003, wyd. BOBRME KOMEL.

[7]. Dąbrowski M., Rudeński A. *Oprogramowanie do projektowania silników indukcyjnych wysokoobrotowych*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne nr 80, 2008, wyd. BOBRME KOMEL.

[8]. Dubicki B.: *Maszyny elektryczne, Tom III: Silniki indukcyjne*, WNT, Warszawa 1964.

## Autor

dr inż. Maria J. Zielińska  
Katedra Napędów i Maszyn Elektrycznych  
Wydział Elektrotechniki i Informatyki  
Politechnika Lubelska