

Maria Jolanta Zielińska
Politechnika Lubelska, Lublin

UWZGLĘDNIENIE ZJAWISKA NASYCENIA RDZENIA PRZY WYZNACZANIU INDUKCYJNOŚCI ROZPROSZENIA UZWOJENIA WIRNIKA DLA SILNIKA ASYNCHRONICZNEGO KLATKOWEGO ZASILANEGO NAPIĘCIEM O DUŻEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

CORE SATURATION PHENOMENON TAKEN INTO ACCOUNT AT DETERMINING ROTOR WINDING LEAKAGE INDUCTANCE FOR AN ASYNCHRONOUS SQUIRREL-CAGE MOTOR FED WITH HIGH-FREQUENCY VOLTAGE

Abstrakt: 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, precyzyjnym, włókienniczym. Największe częstotliwości, czyli najwyższe prędkości obrotowe wynikają z potrzeb technologicznych a ograniczone są możliwościami wykonawczymi. Silniki te stosuje się do szlifowania otworów i bieżni łożysk tocznych oraz do napędu pomp dyfuzyjnych. Pracują one w specyficznych warunkach, posiadają swoją specyficzną konstrukcję oraz niektóre własności odbiegające od maszyn indukcyjnych klatkowych zasilanych napięciem o częstotliwości 50 Hz. Przy wyznaczaniu indukcyjności rozproszenia uzwojenia wirnika dla klasycznych silników indukcyjnych zasilanych napięciem 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. Identyfikacja tej indukcyjności w silnikach zasilanych napięciem o dużej częstotliwości w których występuje zjawisko nasycenia rdzenia jest zagadnieniem dość złożonym z uwagi na skomplikowany rozkład strumieni magnetycznych w szczególności strumieni rozproszenia. Dodatkowym utrudnieniem jest tutaj uwzględnienie wpływu nasycenia się prędkości nad zamkniętym żłobkiem wirnika. W artykule przedstawiono metodę uwzględnienia nasycenia obwodu magnetycznego przy wyznaczaniu indukcyjności rozproszenia uzwojenia wirnika dla silników klatkowych zasilanych napięciem o dużej częstotliwości.

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, precyzyjnym, włókienniczym. Stosunkowo skromna jest również literatura dotycząca tego typu silników. Największe częstotliwości, czyli najwyższe prędkości obrotowe wynikają z potrzeb technologicznych a ograniczone są możliwościami wykonawczymi. Silniki te stosuje się do szlifowania otworów i bieżni łożysk tocznych oraz do napędu pomp dyfuzyjnych. Pracują one w specyficznych warunkach, posiadają swoją specyficzną konstrukcję oraz niektóre własności odbiegające od maszyn indukcyjnych klatkowych zasilanych napięciem o częstotliwości 50 Hz. Własności silników zasilanych napięciem o dużej częstotliwości wynikają głównie z zastosowania żłobka zamkniętego w wirniku oraz dużej częstotliwości napięcia zasilającego.

Zastosowanie żłobka zamkniętego w wirniku powoduje silne nasycenie się obwodu magnetycznego strumienia rozproszenia.

Zmiana prądu płynącego w żłobku wywołuje zmienny stan nasycenia, stąd też indukcyjność rozproszenia wirnika nie jest wielkością stałą.

Przy wyznaczaniu indukcyjności rozproszenia uzwojenia wirnika dla klasycznych silników indukcyjnych zasilanych napięciem 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. Identyfikacja tej indukcyjności w silnikach zasilanych napięciem o dużej częstotliwości w których występuje zjawisko nasycenia rdzenia jest zagadnieniem dość złożonym z uwagi na skomplikowany rozkład strumieni magnetycznych w szczególności strumieni rozproszenia. Dodatkowym utrudnieniem jest tutaj uwzględnienie wpływu nasycenia się prze-

smyku nad zamkniętym żłobkiem wirnika. W artykule przedstawiono metodę proponowaną przy wyznaczaniu indukcyjności rozproszenia wirnika.

2. Indukcyjność rozproszenia żłobkowego

Przy wyznaczaniu indukcyjności rozproszenia wirnika dla klasycznych silników indukcyjnych wprowadza się następujące założenia upraszczające [1], [2], [3]: napięcie zasilania jest sinusoidalne i symetryczne, rezystancja i reaktancja rozproszenia są wielkościami stałymi oraz pomija się wpływ nasycenia obwodu magnetycznego i wyższych harmonicznych rozkładu przestrzennego indukcji magnetycznej. Jest to podejście typowe i klasyczne. Obowiązuje wówczas znany na podstawie literatury schemat zastępczy.

Przedmiotem analizy były silniki których dane znamionowe zamieszczono w tablicy 1.

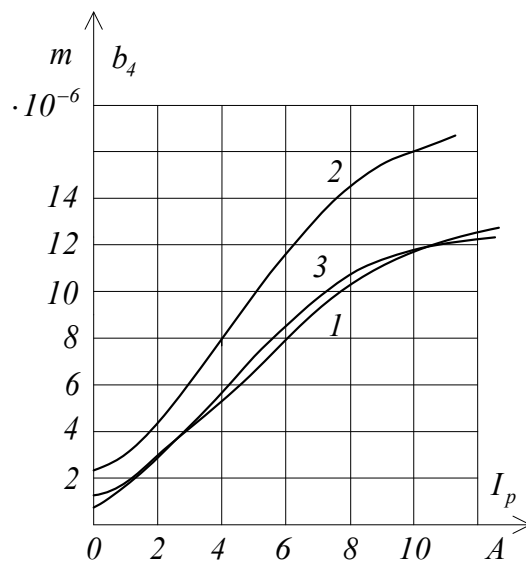
Tablica 1.

Typ silnika	P_N [kW]	f_N [Hz]	n_N [obr/min]
PTShPd 24C170	9	800	24000
PTShPp 30-36 KM 120	3,3	600	36000
PTShPd 75-90 KM 120	2	1500	90000

W dalszej części artykułu stosowane będą oznaczenia silników odpowiednio 1,2,3.

Identyfikacja parametrów w rozpatrywanych silnikach zasilanych napięciem o dużej częstotliwości jest zagadnieniem dość trudnym z uwagi na skomplikowany rozkład strumieni magnetycznych w szczególności zaś strumieni rozproszenia. Dodatkowym utrudnieniem jest tutaj uwzględnienie wpływu nasycenia się przesmyku zamknięcia żłobka wirnika. Indukcyjność rozproszenia wirnika określono początkowo w sposób obliczeniowy na podstawie wymiarów geometrycznych obwodu magnetycznego i uzwojeń. Wartość tej indukcyjności nie uwzględnia wpływu zmian częstotliwości napięcia zasilającego. Wpływ ten w określonej temperaturze i przy zadanych własnościach materiałów przewodzących i magnetycznych zależy głównie od średnicy przewodów nawojowych, grubości blach, wymiaru poprzecznego przekroju żłobków stojana i wirnika. Uproszczona analiza uwzględnienia wpływu częstotli-

wości pozwala na stwierdzenie, że wpływ ten będzie największy na rezystancję i indukcyjność rozproszenia wirnika. Uzwojenie wirnika stanowi bowiem klatka, której pręty mają znaczną średnicę w porównaniu ze średnicą drutu nawojowego stojana. Ponadto pręty umieszczone są w żłobkach zamkniętych i występuje tu zjawisko nasycenia się przesmyku nad prętami klatki pod wpływem strumienia rozproszenia. Po uwzględnieniu współczynników zmniejszenia reaktancji wskutek zjawiska wypierania prądu można stwierdzić, że wartości tych parametrów są praktycznie stałe [4]. Zmianom prądu w pręcie klatki towarzyszy zmienny stan nasycenia przesmyków nad żłobkami. Określenie wpływu nasycenia przeprowadzono posługując się tzw. zastępczym otwarciem żłobka b_4 . Jest to takie otwarcie, przy którym spadek napięcia magnetycznego dla strumienia rozproszenia będzie równy spadkowi napięcia magnetycznego na szerokości zastępczego otwarcia żłobka [5]. Na rys.1 przedstawiono wartości zastępczego otwarcia żłobka w zależności od prądu płynącego w pręcie klatki wirnika. Znajomość zastępczego otwarcia żłobka pozwoliła na obliczenie indukcyjności rozproszenia przy danej częstotliwości prądu w wirniku. Zmiana prądu w pręcie klatki wirnika praktycznie nie wpływa na jego rezystancję. Inna sytuacja występuje przypadku indukcyjności która w tych warunkach ulega gwałtownym zmianom.



Rys. 1. Zależność zastępczego otwarcia żłobka od prądu w pręcie wirnika dla trzech rozpatrywanych silników

Obliczając indukcyjność rozproszenia żłobkowego wirnika L_{z2} przyjęto jednostkową permeancję λ_{z2} dla żłobka otwartego o przekroju kołowym w postaci wyrażenia 1:

$$\lambda_{z2} = \lambda_{2r} + \lambda_{h4} \quad (1)$$

gdzie:

$$\lambda_{h4} = \frac{h_4}{b_4} \text{ - permeancja jednostkowa szczerybiny}$$

żłobka,

h_4 - wysokość przesmyku zamknięcia żłobka.

Permeancję jednostkową okrągłej części żłobka λ_{2r} oblicza się według zależności 2:

$$\lambda_{2r} = A[B + C + D + E + F] \quad (2)$$

przy czym:

$$A = \frac{l}{4(2\pi - \beta + \sin \beta)^2}, \quad B = \frac{(2\pi - \beta)^2}{3},$$

$$C = 2(2\pi - \beta)\cos \beta, \quad D = 2 \sin \beta,$$

$$E = \frac{l}{4} \sin 2\beta, \quad F = \frac{2\pi - \beta}{2},$$

$$\beta = 2 \arcsin \frac{b_4}{d_{p2}},$$

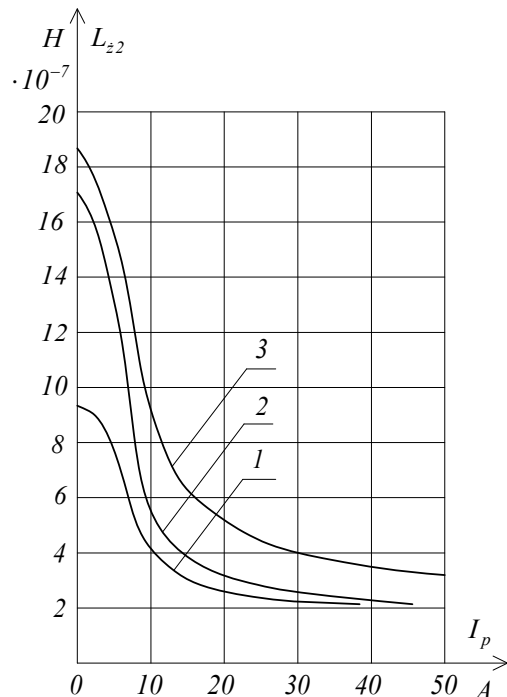
d_{p2} - średnica pręta wirnika.

Korzystając zatem z rys.1. oraz z wyrażenia:

$$L_{z2} = \mu_0 \frac{l_{pr}}{p_b} \lambda_{z2} \quad (3)$$

gdzie l_{pr} jest długością pręta wirnika, obliczono zależność indukcyjności rozproszenia żłobkowego od prądu płynącego w pręcie klatki wirnika $L_{z2} = f(I_p)$. Charakterystykę tę przedstawiono na rys 2.

Na podstawie przebiegu zależności pokazanych na rys.2. wynika, że przesmyk nad żłobkiem wirnika ulega nasyceniu już przy stosunkowo małych prądach. Ponadto indukcyjność rozproszenia żłobkowego L_{z2} jako główny składnik indukcyjności rozproszenia uzwojenia wirnika zmienia się około 7-krotnie w zakresie występujących prądów w prętach klatki wirnika.



Rys. 2. Indukcyjność rozproszenia żłobkowego wirnika obliczona na podstawie zależności 3 z uwzględnieniem nasycenia się obwodu magnetycznego

3. Indukcyjność rozproszenia wirnika

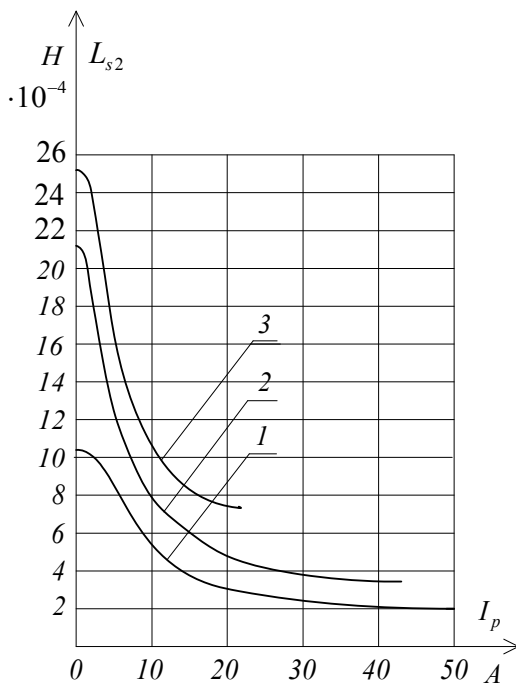
Znajomość indukcyjności żłobka z uwzględnieniem wpływu nasycenia umożliwi określenie całkowitej indukcyjności rozproszenia wirnika L_{s2} . Indukcyjność tę przedstawiono w postaci 4 [1]:

$$L_{s2} = \mu_0 \frac{l_{pr}}{p_b} \lambda_2 \quad (4)$$

gdzie $\lambda_2 = \lambda_{z2} + \lambda_{s2} + \lambda_{c2} + \lambda_{zg2}$ jest jednostkową permeancją dla strumienia rozproszenia wirnika.

Strumień rozproszenia wirnika traktuje się jako złożony z czterech strumieni składowych: żłobkowego, wywołanego skosem żłobków, wokół pierścieni zwierających oraz zygżakowatego. Strumień rozproszenia od wyższych harmonicznych w silnikach z uzwojeniem klatkowym można pominąć

Indukcyjność rozproszenia wirnika L_{s2} w funkcji prądu w pręcie klatki wirnika I_p dla trzech omawianych silników obrazuje rys. 3.



Rys. 3. Indukcyjność rozproszenia wirnika wyznaczona w oparciu o zależność 4 dla trzech omawianych silników

Indukcyjność rozproszenia wirnika zmienia się wraz ze zmianami prądu w pręcie klatki, gdyż główny składnik tej indukcyjności-indukcyjność żłobka zależy od zastępczego otwarcia żłobka.

4. Wnioski końcowe

Różne wartości prądu płynącego w żłobku powodują zmienny stan nasycenia, stąd też indukcyjność rozproszenia wirnika nie jest wielkością stałą.

Zmianom prądu w pręcie klatki towarzyszy zmienny stan nasycenia przesmyków nad żłobkami.

Określenie wpływu nasycenia przeprowadzono posługując się tzw. zastępczym otwarciem żłobka.

Przebieg indukcyjności rozproszenia wirnika $L_{s2} = f(I_p)$ świadczy o występowaniu w wirniku zmiennego stanu nasycenia obwodu magnetycznego strumienia rozproszenia.

Przesmyk nad żłobkiem wirnika ulega nasyceniu już przy stosunkowo małych prądach. Ponadto indukcyjność rozproszenia żłobkowego L_{z2} jako główny składnik indukcyjności rozproszenia uzwojenia wirnika zmienia się około 7-krotnie w zakresie występujących prądów w prętach klatki wirnika.

5. Literatura

- [1]. Dubicki B.: *Maszyny Elektryczne, Tom III: Silniki indukcyjne*, PWN, Warszawa 1964r.
- [2]. Kozłowski H. S., Turowski B.: *Silniki indukcyjne*, WNT Warszawa 1968r.
- [3]. Sikora R.: *Teoria pola elektromagnetycznego*, WNT, Warszawa 1997r.
- [4]. Zielińska M.: *Cechy szczególne silników indukcyjnych zasilanych napięciem o dużej częstotliwości*. Rozprawa doktorska. Gliwice 1986.
- [5]. Zielińska M, Zieliński W.: *Chosen electromagnetic parametrs of asynchronous high-speed motors of reduced noise level*. Electromagnetic Devices and Processes in Environment Protection the Second International Conference. Nałęczów 1997.