

JERZY KUBEK, WŁADYSŁAW MIZIA, ALEKSANDER ŻYWIEC

Instytut Metrologii i Maszyn Elektrycznych

WŁASNOŚCI SILNIKA INDUKCYJNEGO PRZY CZĘSTOTLIWOŚCIOWEJ REGULACJI PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono ogólną analizę własności silnika indukcyjnego klatkowego przy zmianach napięcia i częstotliwości źródła zasilania. Podano również zależności napięcia w funkcji częstotliwości, przy których uzyskuje się żądany moment krytyczny lub moment rozruchowy silnika.

1. Wstęp

Prędkość obrotowa silnika elektrycznego zależy od własności silnika, parametrów źródła zasilania i momentu obciążenia. Prędkość obrotową silników indukcyjnych klatkowych, o nieprzełączalnej liczbie par biegunów, można nastawiać przez zmianę parametrów zasilania - napięcia i częstotliwości. Regulacja prędkości obrotowej silnika indukcyjnego przez zmianę napięcia zasilania, przy zachowaniu znamionowej częstotliwości, wymaga przewymiarowania mocy silnika w stosunku do mocy napędu. Przewymiarowanie mocy silnika powiększa się przy poszerzaniu zakresu regulowanej prędkości obrotowej. Efekt ten można skutecznie ograniczyć zasilając silnik indukcyjny klatkowy ze źródła o regulowanym napięciu i częstotliwości. Zmianom częstotliwości powinny odpowiadać w przybliżeniu proporcjonalne zmiany napięcia zasilania, aby nie powodować nadmiernego zwiększenia prądu jałowego na skutek nasycenia się obwodu magnetycznego silnika. Własności napędu z silnikiem indukcyjnym klatkowym zależą więc od własności samego silnika oraz od przebiegu zmian napięcia zasilania w funkcji częstotliwości.

Rozwój techniki półprzewodnikowej spowodował, że obecnie rolę źródła zasilania silnika indukcyjnego klatkowego spełniają, pośrednio lub bezpośrednio, tyrystorowe przetwornice częstotliwości.

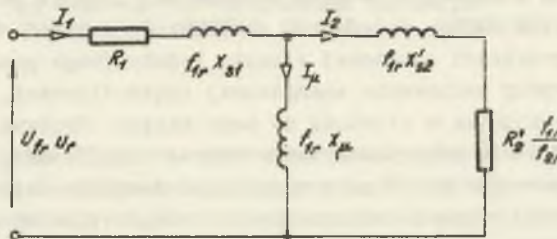
Wprowadzenie tyrystorowych przetwornic częstotliwości pozwala więc na zastosowanie, w napędzie wymagającym regulowanej prędkości obrotowej, silnika indukcyjnego klatkowego odznaczającego się dużą pewnością działania, łatwością obsługi i niskim kosztem.

2. Analiza własności silnika przy zmianach napięcia i częstotliwości źródła zasilania

Przy pracy silnika indukcyjnego klatkowego wielkością narzuconą jest moment obciążenia, natomiast wielkościami dostosowującymi się są prędkość obrotowa, prądy w obwodach wirnika i stojana oraz strumień magnetyczny. Wielkości dostosowujące się, przy określonym momencie obciążenia, zależą od napięcia i częstotliwości źródła zasilania i od parametrów samego silnika. Przy częstotliwościowej regulacji prędkości obrotowej silnik indukcyjny pracuje zwykle w zakresie częstotliwości mniejszych od częstotliwości znamionowej. W tym zakresie częstotliwości uwypatnia się wpływ rezystancji uzwojenia na własności silnika w miarę zmniejszania częstotliwości. W analizie własności silnika nie można więc pominąć rezystancji uzwojenia stojana.

Analiza własności silnika przy zmianach napięcia i częstotliwości źródła zasilania zostanie przeprowadzona przy założeniu:

- liniowości charakterystyki magnesowania,
- sinusoidalnego kształtu napięcia zasilania,
- symetrii napięć fazowych,
- pomijalności strat w żelazie i wpływ częstotliwości na rezystancje uzwojeń.



Rys. 2.1. Schemat zastępczy silnika indukcyjnego klatkowego

Przy przyjętych założeniach analizę własności silnika przeprowadza się korzystając z schematu zastępczego podanego na rys. 2.1.

Napięcie zasilania silnika

$$U = U_{fn} u_r, \quad (2.1)$$

natomiast częstotliwość

$$f_1 = f_{1n} f_{1r}, \quad (2.2)$$

przy czym u_r , f_{1r} - względne wartości napięcia i częstotliwości źródła zasilania.

Impedancje schematu zastępczego

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j f_{1r} X_{s1} \quad (2.3)$$

$$\underline{Z}_0 = j f_{1r} X_\mu \quad (2.4)$$

$$\underline{Z}'_w = R'_2 \frac{f_{1r}}{f_{2r}} + j f_{1r} X'_{s2}, \quad (2.5)$$

przy czym

$$f_{2r} = \frac{f_2}{f_{1n}} = s f_{1r} - \text{względna częstotliwość w obwodzie wirnika}$$

$$X_{s1}, X_{s2}, X_\mu \quad - \text{reaktancje silnika przy częstotliwości znamionowej } f_{1n}$$

Prąd w uzwojeniu stojana (rys. 2.1)

$$\underline{I}_1 = \frac{U_{fn} u_r (\underline{Z}_0 + \underline{Z}'_2)}{\underline{Z}_0 (\underline{Z}_1 + \underline{Z}'_2) + \underline{Z}_1 \underline{Z}'_2} \quad (2.6)$$

Podstawiając wyrażenia (2.3), (2.4), (2.5), do (2.6) otrzymuje się po przekształceniach

$$\underline{I}_1 = U_{fn} \frac{u_r}{f_{1r}} \frac{\sqrt{\left(\frac{R'_2}{f_{2r}}\right)^2 + X_2^2}}{\sqrt{\left(\frac{R_1 R'_2}{f_{1r} f_{2r}} - X_1 X_2 \sigma\right)^2 + \left(\frac{X_2 R_1}{f_{1r}} + \frac{X_1 R'_2}{f_{2r}}\right)^2}} \quad (2.7)$$

przy czym

$$X_1 = X_{s1} + X_\mu$$

$$X_2 = X_{s2} + X_\mu$$

$$\sigma = 1 - \frac{X_\mu^2}{X_1 X_2}$$

Ze schematu zastępczego (rys. 2.1) wynika, że prąd wirnika sprowadzony na stronę stojana

$$\underline{I}'_2 = \underline{I}_1 \frac{\underline{Z}_0}{\underline{Z}_0 + \underline{Z}'_2} \quad (2.8)$$

Wprowadzając wyrażenia (2.3), (2.4), (2.5), (2.6) do (2.8) otrzymuje się po przekształceniach

$$I_2' = \frac{u_r}{f_{1r}} \frac{U_{fn} X_\mu}{\sqrt{\left(\frac{R_1 R_2'}{f_{1r} f_{2r}} - X_1 X_2 \sigma\right)^2 + \left(\frac{X_1 R_1}{f_{1r}} + \frac{X_1 R_2'}{f_{2r}}\right)^2}} \quad (2.9)$$

Ze schematu zastępczego (rys. 2.1) wynika, że prąd magnesujący

$$I_\mu = I_1 \frac{Z_2'}{Z_0 + Z_2'} \quad (2.10)$$

Po uwzględnieniu wyrażeń (2.3), (2.4), (2.5), (2.6) otrzymuje się ostatecznie

$$I_\mu = \frac{u_r}{f_{1r}} U_{fn} \frac{\sqrt{\left(\frac{R_2'}{f_{2r}}\right)^2 + (X_{s2}')^2}}{\sqrt{\left(\frac{R_1 R_2'}{f_{1r} f_{2r}} - X_1 X_2 \sigma\right)^2 + \left(\frac{X_2 R_1}{f_{1r}} + \frac{X_1 R_2'}{f_{2r}}\right)^2}} \quad (2.11)$$

Strumień magnetyczny wyznacza się korzystając z zależności

$$E = 4,44 z_1 k_{u1} f_{1r} f_{1n} \Phi = f_{1r} X_\mu I_\mu \quad (2.12)$$

i otrzymuje się

$$\Phi = \frac{X_\mu I_\mu}{4,44 z_1 k_{u1} f_{1n}} \quad (2.13)$$

Wprowadzając wyrażenie (2.11) do wzoru (2.13) otrzymuje się:

$$\Phi = \frac{u_r}{f_{1r}} \frac{U_{fn}}{f_{1n}} \frac{X_\mu}{4,44 z_1 k_{u1}} \frac{\sqrt{\left(\frac{R_2'}{f_{2r}}\right)^2 + (X_{s2}')^2}}{\sqrt{\left(\frac{R_1 R_2'}{f_{1r} f_{2r}} - X_1 X_2 \sigma\right)^2 + \left(\frac{X_2 R_1}{f_{1r}} + \frac{X_1 R_2'}{f_{2r}}\right)^2}} \quad (2.14)$$

przy czym z_1 - liczba zwojów fazy uzwojenia stojana

k_{u1} - współczynnik uzwojenia stojana.

Moc pola wirującego

$$P_{\psi} = m_1 (I_2')^2 R_2' \frac{f_{1r}}{f_{2r}} \quad (2.15)$$

przy czym m_1 - liczba faz uzwojenia stojana

Moment elektromagnetyczny silnika

$$M_{em} = \frac{P_{\psi} p_b}{2\pi f_{1r} f_{1n}}, \quad (2.16)$$

przy czym p_b - liczba par biegunów.

Wprowadzając do (2.16) wyrażenie (2.15) oraz (2.9) otrzymuje się:

$$M_{em} = \frac{m_1 p_b}{2\pi f_{1n}} \left(\frac{u_r U_{fn} X_r'}{f_{1r}} \right)^2 \frac{R_2'}{f_{2r} \left[\left(\frac{R_1 R_2'}{f_{1r} f_{2r}} - X_1 X_2 \sigma \right)^2 + \left(\frac{X_2 R_1}{f_{1r}} + \frac{X_1 R_2'}{f_{2r}} \right)^2 \right]} \quad (2.17)$$

Z wyrażenia (2.17) wynika, że moment krytyczny silnika otrzymuje się przy takiej względnej częstotliwości w obwodzie wirnika, dla której wyrażenie

$$A = f_{2r} \left[\left(\frac{R_1 R_2'}{f_{1r} f_{2r}} - X_1 X_2 \sigma \right)^2 + \left(\frac{X_2 R_1}{f_{1r}} + \frac{X_1 R_2'}{f_{2r}} \right)^2 \right]$$

osiągnie minimum. A zatem

$$\frac{\partial A}{\partial f_{2r}} = - \left(\frac{R_1 R_2'}{f_{1r}} \right)^2 \frac{1}{f_{2rk}^2} + (X_1 X_2 \sigma)^2 + \left(\frac{X_2 R_1}{f_{1r}} \right)^2 - \frac{(X_1 R_2')^2}{f_{2rk}} = 0$$

w wyniku otrzymuje się:

$$f_{2rk} = \pm \frac{R_2' \sqrt{\left(\frac{R_1}{f_{1r}} \right)^2 + X_1^2}}{X_2 \sqrt{\left(\frac{R_1}{f_{1r}} \right)^2 + (X_1 \sigma)^2}} \quad (2.18)$$

Po wprowadzeniu wyrażenia (2.18) do (2.17) otrzymuje się wyrażenie na moment krytyczny silnika

$$M_k = \frac{m_1 p_b}{4 \pi f_{1n} X_2} \left(\frac{u_r U_{fn} X_\mu}{f_{1r}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{R_1}{f_{1r}} \right)^2 + X_1^2 \right] \left[\left(\frac{R_1}{f_{1r}} \right)^2 + (X_1 \sigma)^2 \right]}} \pm \frac{R_1}{f_{1r}} X_1 (1 - \sigma) \quad (2.19)$$

Znak (+) dotyczy pracy silnikowej, natomiast znak (-) pracy prądnicowej.

Wyrażenie na moment rozruchowy silnika otrzymuje się podstawiając $f_{1r} = f_{2r}$ w wyrażeniu (2.17).

$$M_r = \frac{m_1 p_b}{2 \pi f_{1n} f_{1r}} \frac{R_2}{f_{1r}} \frac{(u_r U_{fn} X_\mu)^2}{\left(\frac{R_1 R_2'}{f_{1r}} - X_1 X_2 \sigma \right)^2 + \left(\frac{X_2 R_1}{f_{1r}} + \frac{X_1 R_2'}{f_{1r}} \right)^2} \quad (2.20)$$

Przekształcając zależności (2.17) i (2.19) można wyrażenie na charakterystykę mechaniczną silnika zapisać w formie podobnej do wzoru Klossa

$$\frac{M_{em}}{M_k} = \frac{2(1 \pm \delta)}{\frac{2r_k}{f_{2r}} + \frac{f_{2r}}{f_{2rk}} + 2\delta} \quad (2.21)$$

w której

$$\delta = \frac{\frac{R_1}{f_{1r}} X_1 (1 - \sigma)}{\sqrt{\left[\left(\frac{R_1}{f_{1r}} \right)^2 + X_1^2 \right] \left[\left(\frac{R_1}{f_{1r}} \right)^2 + (X_1 \sigma)^2 \right]}} \quad (2.22)$$

Korzystając z podanych wyrażen na prądy oraz strumień magnetyczny można ustalić wyrażenia na straty w silniku.

Straty w uzwojeniu stojana po uwzględnieniu wyrażenia (2.7)

$$\Delta P_{u1} = m_1 R_1 \left(\frac{U_{fn} u_r}{f_{1r}} \right)^2 \frac{\left(\frac{R_2'}{f_{2r}} \right)^2 + X_2^2}{\left(\frac{R_1 R_2'}{f_{1r} f_{2r}} - X_1 X_2 \sigma^2 \right) + \left(\frac{R_1}{f_{1r}} X_2 + \frac{R_2'}{f_{2r}} X_1 \right)^2} \quad (2.23)$$

Straty w uzwojeniu wirnika po uwzględnieniu wyrażenia (2.9)

$$\Delta P_{u2} = m_1 R_2' \left(\frac{U_{fn} u_r}{f_{1r}} \right)^2 \frac{X_2'^2}{\left(\frac{R_1 R_2'}{f_{1r} f_{2r}} - X_1 X_2 \sigma \right) + \left(\frac{R_1}{f_{1r}} X_2 + \frac{R_2'}{f_{2r}} X_1 \right)^2} \quad (2.24)$$

Straty magnetyczne w żelazie przy pominięciu strat w rdzeniu wirnika

$$\Delta P_{Fe} = c \Phi^2 f_{1n} f_{1r} (k_h + k_w f_{1n} f_{1r}), \quad (2.25)$$

przy czym k_h, k_w - współczynniki strat na histerezę i prądy wirowe,

$$c = \Delta P_{fen} / \Phi_{1n}$$

Po uwzględnieniu wyrażenia (2.14)

$$\Delta P_{Fe} = \left(\frac{u_r U_{fn} X_2'}{4,44 z_1 k_{u1}} \right)^2 \cdot \frac{c (k_h + k_w f_{1n} f_{1r}) \left[\left(\frac{R_2'}{f_{2r}} \right)^2 + (X_{s2}')^2 \right]}{f_{1r} f_{1n} \left[\left(\frac{R_1 R_2'}{f_{1r} f_{2r}} - X_1 X_2 \sigma \right) + \left(\frac{R_1}{f_{1r}} X_2 + \frac{R_2'}{f_{2r}} X_1 \right)^2 \right]} \quad (2.26)$$

Całkowite straty w silniku

$$\Delta P = \Delta P_{u1} + \Delta P_{u2} + \Delta P_{Fe} =$$

$$= \frac{(u_r U_{fr})^2 \left[\frac{f_{1r}}{f_{1n}} \left(\frac{X_g Z_a}{4,44 z_1 k_1} \right)^2 c (k_h + k_w f_{1r} f_{1r}) + m_1 (R_1 Z_b^2 + R_1 X_2'^2) \right]}{f_{1r}^2 \left[\left(\frac{R_1 R_2'}{f_{1r} f_{2r}} - X_1 X_2 \sigma \right) + \left(\frac{R_1}{f_{1r}} X_2 + \frac{R_2'}{f_{2r}} X_1 \right)^2 \right]} \quad (2.27)$$

$$\text{przy czym } Z_a^2 = \left(\frac{R_2'}{f_{2r}} \right)^2 + (X_{s2}')^2, \quad Z_b^2 = \left(\frac{R_2'}{f_{2r}} \right)^2 + X_2^2$$

Przedstawiona analiza pozwala na pełną ocenę własności silnika przy zasilaniu ze źródła napięcia sinusoidalnego o regulowanym napięciu i częstotliwości. Przy zasilaniu silnika z przetwornic tyrystorowych kształt napięcia zasilania może znacznie odbiegać od kształtu sinusoidalnego, z tego powodu przedstawioną analizę należy traktować jako przybliżoną, uwzględniającą tylko pierwszą harmoniczną napięcia zasilania.

3. Dobór napięcia zasilania silnika

Jeżeli prędkość obrotowa silnika indukcyjnego klatkowego jest nastawiana bądź regulowana przez zmianę częstotliwości napięcia zasilania, wówczas zakresowi zmian prędkości obrotowej odpowiada w przybliżeniu proporcjonalny zakres zmian częstotliwości. Podstawowe własności silnika takie jak: przeciążalność momentem, moment rozruchowy, prąd rozruchowy zależą wtedy od przebiegu zmian napięcia w funkcji częstotliwości. Dobór napięcia zasilania zależy więc od tego, która z podanych wielkości jest najbardziej istotną w określonych warunkach pracy silnika. Zwykle wymaga się by silnik, niezależnie od nastawianej bądź regulowanej prędkości obrotowej, wykazywał odpowiednią przeciążalność lub moment rozruchowy. Względne napięcie zasilania, przy którym uzyskuje się wymaganą przeciążalność momentem (moment krytyczny) silnika, wyznacza się z wyrażenia (2.22). Po przekształceniach otrzymuje się:

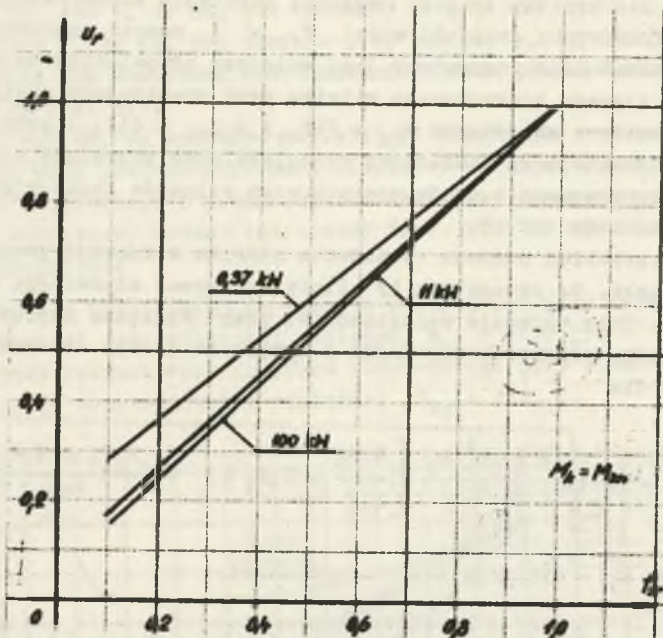
$$u_r = \frac{2 f_{1r}}{U_{fn} X_{\mu}} \sqrt{\frac{f_{1n} X_2 M_k}{m_1 p_b} \left(\left[\left(\frac{R_1}{f_{1r}} \right)^2 + X_1^2 \right] \left[\left(\frac{R_1}{f_{1r}} \right)^2 + (X_1 \sigma)^2 \right] + \frac{R_1}{f_{1r}} X_1 (1-\sigma) \right)}, \quad (3.1)$$

przy czym M_k - wymagany moment krytyczny (przeciążalność).

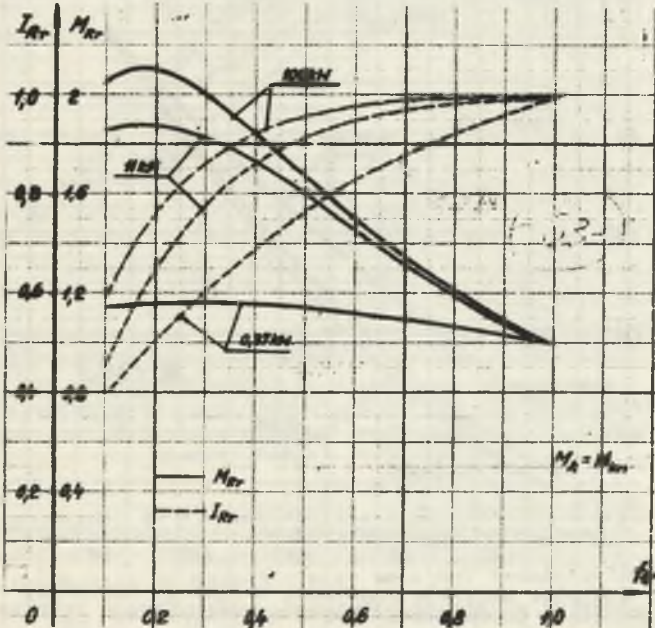
Przebieg zależności $u_r = f(f_{1r})$ dla silników indukcyjnych klatkowych o danych: 0,37 kW, 380 V, 50 Hz, 944 obr/min; 11 kW, 380 V, 50 Hz, 960 obr/min; 100 kW, 380 V, 50 Hz, 966 obr/min przy założeniu, że moment krytyczny przy dowolnej częstotliwości równa się momentowi krytycznemu przy znamionowym zasilaniu, przedstawiono na rys. 3.1. Zależność $u_r = f(f_{1r})$ celowo przedstawiono dla trzech silników różniących się mocami, a tym samym i rezystancjami uzwojeń stojana. Z rys. 3.1, wynika, że względne napięcie zasilania dla $f_{1r} < 1$, przy zachowaniu znamionowej przeciążalności maleje przy powiększeniu mocy silnika; przy zachowaniu napięcia i powiększeniu mocy silników maleje bowiem rezystancja uzwojenia stojana. Celem ustalenia zakresu zmian momentu rozruchowego i prądu rozruchowego przy zmianach napięcia zapewniających znamionową przeciążalność momentem (rys. 3.1) podano na rys. 3.2 zależności określające:

- stosunek momentu rozruchowego do momentu znamionowego przy znamionowym zasilaniu w funkcji częstotliwości względnej $M_{Rr} = f(f_{1r})$;
- stosunek prądu rozruchowego do prądu znamionowego przy znamionowym zasilaniu w funkcji częstotliwości względnej $I_{Rr} = f(f_{1r})$.

Zależności te podano korzystając z wyrażenia (2.23) na moment rozruchowy oraz z wyrażenia (2.9) na prąd stojana, w którym przedstawiono $f_{2r} = f_{1r}$.



Rys. 3.1. Względne napięcie zasilania w funkcji względnej częstotliwości przy zachowaniu znamionowego momentu krytycznego silnika



Rys. 3.2. Stosunek momentu rozruchowego i prądu rozruchowego odpowiednio do momentu rozruchowego i prądu rozruchowego silnika przy znamionowym zasilaniu w funkcji częstotliwości przy zmianach napięcia zapewniających znamionowy moment krytyczny

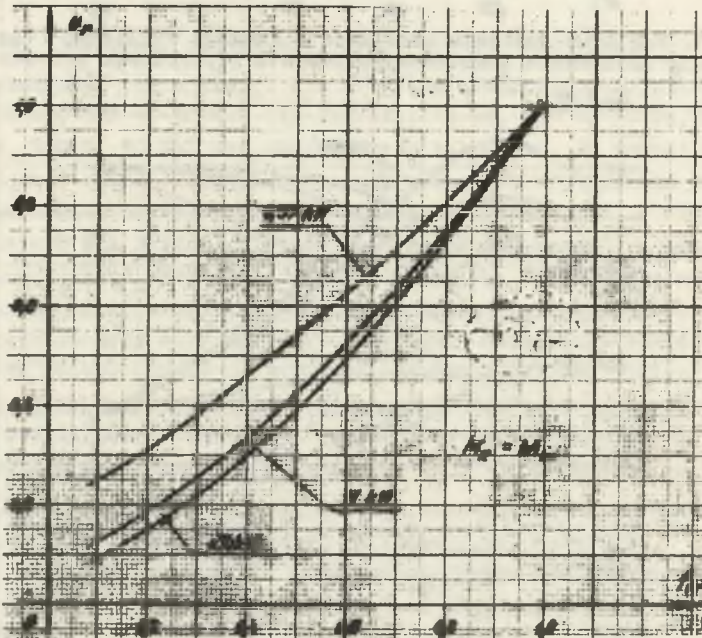
Z rys. 3.2 wynika, że przy napięciu zasilania zapewniającym znamionową przeciążalność przy częstotliwości $f_{1r} < 1$ moment rozruchowy jest większy natomiast prąd rozruchowy jest mniejszy odpowiednio od momentu rozruchowego i prądu rozruchowego silnika przy znamionowym zasilaniu.

Przedstawione zależności $M_{Rr} = f(f_{1r})$ i $I_{Rr} = f(f_{1r})$ przy napięciu zasilania zapewniającym znamionową przeciążalność pozwalają na ocenę zmian momentu rozruchowego i prądu rozruchowego silników indukcyjnych klatkowych o mocach do 100 kW.

Często przebieg momentu obciążenia silnika w funkcji prędkości obrotowej jest taki, że wymaga się by silnik wykazywał odpowiedni moment rozruchowy, np. przy napędzie wentylatorów, pomp. Względne napięcie zasilania wyznaczyć można wówczas korzystając z wyrażenia (2.23). Po przekształceniach otrzymuje się

$$u_r = \frac{1}{U_{1n} x_\mu} \sqrt{\frac{2 \pi f_{1n} r_1^3 M_r}{m_1 p_b R_2} \left[\left(\frac{R_1 R_2'}{f_{1r}^2} - x_1 x_2 \sigma \right)^2 + \left(\frac{x_2 R_1 + x_1 R_2'}{f_{1r}} \right)^2 \right]} \quad (3.2)$$

przy czym M_r - wymagany moment rozruchowy.

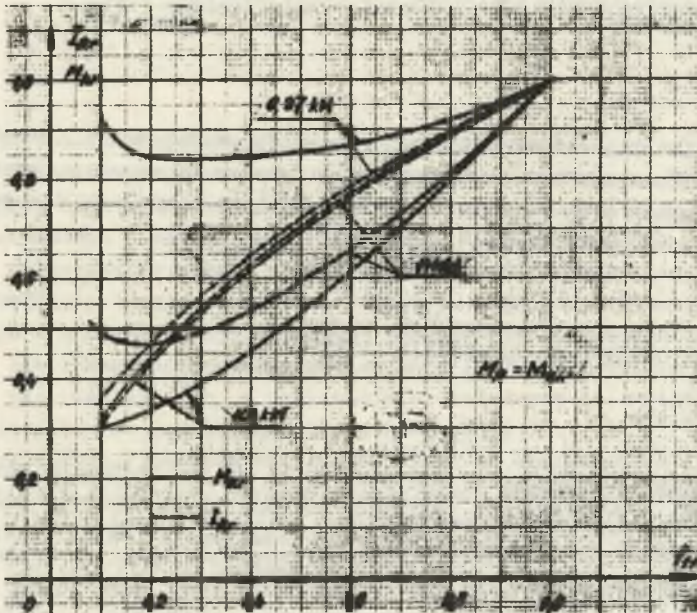


Rys. 3.3. Względne napięcie zasilania w funkcji względnej częstotliwości przy zachowaniu znamionowego momentu rozruchowego silnika

Przebieg zależności $u_r = f(f_{1r})$ dla silników indukcyjnych klatkowych o danych: 0,37 kW, 380 V, 50 Hz, 944 obr/min; 11 kW, 380 V, 50 Hz, 960 obr/min; 100 kW, 380 V, 50 Hz, 966 obr/min przy założeniu, że wymagany moment rozruchowy równa się momentowi rozruchowemu silnika przy znamionowym zasilaniu podano na rys. 3.3.

Z rys. 3.3 wynika, że względne napięcie zasilania dla częstotliwości $f_{1r} < 1$ maleje przy powiększaniu mocy silników. Celem ustalenia zakresu zmian momentu krytycznego i prądu rozruchowego przy zmianach napięcia zapewniających znamionowy moment rozruchowy (rys. 3.3) na rys. 3.4 podano zależności określające

- stosunek momentu krytycznego do momentu krytycznego przy znamionowym zasilaniu w funkcji częstotliwości względnej $M_{kr} = f(f_{1r})$.
- stosunek prądu rozruchowego do prądu rozruchowego przy znamionowym zasilaniu w funkcji częstotliwości względnej $I_{Rr} = f(f_{1r})$.



Rys. 3.4. Stosunek momentu krytycznego i prądu rozruchowego odpowiednio do momentu krytycznego i prądu rozruchowego silnika przy znamionowym zasilaniu w funkcji częstotliwości przy zmianach napięcia zapewniających znamionowy moment rozruchowy

Z rys. 3.4 wynika, że w miarę obniżania częstotliwości maleje moment krytyczny i prąd rozruchowy, przy czym zmniejszenie momentu krytycznego powiększa się wydatnie ze wzrostem masy silnika. Przedstawione zależności $M_{kr} = f(f_{1r})$ i $I_{Rr} = f(f_{1r})$ przy napięciu zasilania zapewniającym znamionowy moment rozruchowy pozwalają na ocenę zmian momentu krytycznego i prądu rozruchowego silników indukcyjnych klatkowych o mocach do 100 kW.

LITERATURA

1. Bułgakow A.A.: Czastotnoje uprawlienije asinchronnymi dwigatieliami. Izd. "Nauka" 1966.
2. Hamudhanow M.E., Usmanow S.Z. i inni: Czastotnoje regulirowanije skorsti elektropriwodow periemennogo toka. Izd. FAN Uzbeckoj SSR.
3. Kazowski E.J.: Pieriechodnyje prociessy w elektriczeskich maszinach pieriemennogo toka. Izd. AN ZSRR 1962.
4. Loocke G.: Probleme der Spannungsanpassung beim Betrieb von Asynchronmotoren mit variabler Frequenz. AEG - Mitteilungen 1963 Nr 1/2.
5. Manitius J., Bisztyga K., Grzybowski W., Kardaszewicz J. Hutnicze napędy elektryczne. Wyd. Śląsk 1969.
6. Ward E.E., Kazi A. Farkas R.: Time-domain analysis of the inverter-fed induction motor. Proc.Inst.Electr. Eng. 1967, nr 3.

СВОЙСТВА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ АСТОЧНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ

Р е з ю м е

В статье представлен общий анализ работы асинхронного двигателя при изменении напряжения и частоты источника питания. Приведены также зависимости напряжения в функции частоты, при которых получается желаемые критический или пусковой момент двигателя.

PROPERTIES OF THE INDUCTION MOTO UNDER FREQUENCY CONTROL OF ROTATIONAL SPEED

S u m m a r y

The general analysis of the properties of the induction motor under the variations of voltage and frequency of supplying source is presented. The paper contains also voltage-frequency relations at which required break-down torque or starting torque is achieved.