

Kazimierz Stoiński

Główny Instytut Górnictwa
Katowice

CHARAKTERYSTYKI STATYCZNE SILNIKA INDUKCYJNEGO
STEROWANEGO DWUPARAMETROWO ZA POMOCĄ NAPIĘCIA DODATKOWEGO
W OBWODZIE WIRNIKA

Streszczenie. Prawidłowe zaprojektowanie kaskady silnika indukcyjnego wymaga znajomości charakterystyk silnika indukcyjnego pierścieniowego sterowanego dwuparametrowo napięciem dodatkowym w obwodzie wirnika. W pracy przedstawiono propozycje analitycznego sposobu wyznaczania najkorzystniejszych charakterystyk przy użyciu maszyny cyfrowej. W obliczeniach posłużono się schematem silnika dla stanów ustalonych.

1. Wstęp

Wprowadzenie napięcia dodatkowego w obwód wirnika silnika indukcyjnego pierścieniowego o częstotliwości zgodnej z częstotliwością wirnika o nastawionej amplitudzie i fazie w stosunku do napięcia w wirniku umożliwia ekonomiczną nastawę prędkości obrotowej. Na powyższym sposobie oparte zostały kaskady silnika indukcyjnego, w którym funkcje wprowadzenia napięcia dodatkowego spełniały dotychczas maszyny kolektorowe prądu przemiennego. Ze względu na skomplikowaną budowę maszyn kolektorowych prądu przemiennego układy kaskadowe stosowane są w chwili obecnej w ograniczonym zakresie. Rozwój sterowanych prostowników półprzewodnikowych dużych mocy - tyrystorów - stworzył możliwości zastąpienia maszyn kolektorowych prądu przemiennego przez tyrystorowe przetworniki częstotliwości.

Dokładna znajomość charakterystyk silnika indukcyjnego przy regulacji prędkości obrotowej przez wprowadzenie napięcia dodatkowego w obwód wirnika z uwzględnieniem wszystkich elementów schematu zastępczego jest niezbędna dla prawidłowego zaprojektowania tyrystorowego przemiennika częstotliwości jako źródła napięcia dodatkowego.

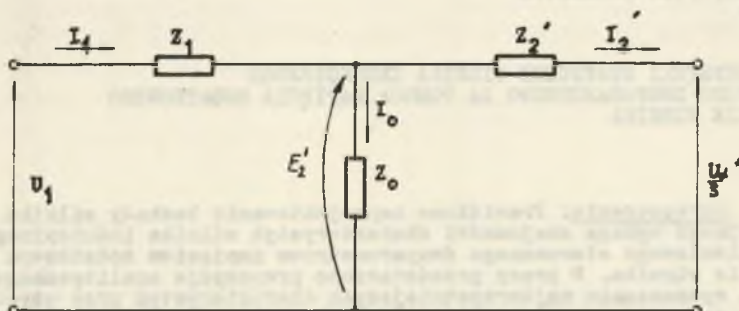
W niniejszej pracy przedstawiono propozycje analitycznego wyznaczenia i optymalizacji charakterystyk silnika w zakresie:

- momentu obrotowego,
- modułu prądu wirnika.

Wyznaczenie tych zależności pozwoli ustalić najkorzystniejsze charakterystyki silnika oraz wymagania techniczne dla tyrystorowego przemiennika częstotliwości przeznaczonego do współpracy z wirnikiem silnika indukcyjnego pierścieniowego.

2. Podstawy teoretyczne

Schemat zastępczy silnika indukcyjnego pierścieniowego ze sprowadzonymi elementami do obwodu pierwotnego oraz wprowadzonym napięciem dodatkowym w obwód wirnika przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat zastępczy silnika indukcyjnego pierścieniowego ze sprowadzonymi elementami do obwodu pierwotnego oraz wprowadzonym napięciem dodatkowym w obwód wirnika

Dla schematu zastępczego z rys. 1, stanów ustalonych i przebiegów sinusoidalnych można napisać następujące równania symboliczne:

$$E_2' = U_1 - I_1 Z_1 \quad I_1 = I_2' + I_0$$

$$I_0 = \frac{E_2'}{Z_0} \quad E_2' = \frac{U_d'}{s} + I_2' Z_2'$$

Wyprowadzone z powyższych zależności wyrażenie na I_2' będzie miało postać:

$$I_2' = U_1 \frac{Z_0}{Z_2' Z_0 + Z_2' Z_1 + Z_1 Z_0} - \frac{U_d'}{s} \frac{Z_0 + Z_1}{Z_0 Z_2' + Z_1 Z_2' + Z_1 Z_0} \quad (1)$$

oraz na E_2'

$$E_2' = U_1 \frac{Z_0 Z_2'}{Z_2' Z_0 + Z_2' Z_1 + Z_1 Z_0} + \frac{U_d'}{s} \frac{Z_1 Z_0}{Z_2' Z_0 + Z_2' Z_1 + Z_1 Z_0} \quad (2)$$

Przyjmując napięcie dodatkowe

$$U'_d = k e^{j\alpha} U_1 \quad (3)$$

gdzie:

$$k - \text{stosunek modułów napięcia } \frac{|U'_d|}{|U_1|}$$

α - kąt pomiędzy napięciem U'_d i U_1 .

Przyjmując, że $R_{Fe} \gg j X_o$ wyrażenia na Z będą miały postać:

$$\begin{aligned} Z_1 &= R_1 + jX_1, & Z'_2 &= \frac{R'_2}{s} + jX'_2, \\ Z_o &= jX_o, & R'_2 &= R'_{22} + R'_d \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie:

R'_{22} - rezystancja wirnika sprowadzona do obwodu stojana,

R'_d - rezystancja źródła napięcia dodatkowego sprowadzona do obwodu stojana.

Wprowadzając zależności (3) i (4) do wzorów (1) i (2) i po uporządkowaniu otrzymamy:

$$E'_2 = U_1 \frac{\frac{R'_2}{s} + \frac{k}{s} R_1 \cos\alpha - \frac{k}{s} X_1 \sin\alpha + j(X'_2 + \frac{k}{s} X_1 \cos\alpha + \frac{k}{s} R_1 \sin\alpha)}{(\frac{R'_2}{s} + R_1 + R_1 \frac{X'_2}{X_o} + \frac{R'_2}{s} \frac{X_1}{X_o}) + j(X'_2 + X_1 + X_1 \frac{X'_2}{X_o} - \frac{R'_2}{s} \frac{R_1}{X_o})} \quad (5)$$

$$I'_2 = U_1 \frac{(1 - \frac{k}{s} \cos\alpha - \frac{k}{s} \frac{X_1}{X_o} \cos\alpha - \frac{k}{s} \frac{R_1}{X_o} \sin\alpha) - j(\frac{k}{s} \sin\alpha + \frac{k}{s} \frac{X_1}{X_o} \sin\alpha - \frac{k}{s} \frac{R_1}{X_o} \cos\alpha)}{(\frac{R'_2}{s} + R_1 + R_1 \frac{X'_2}{X_o} + \frac{R'_2}{s} \frac{X_1}{X_o}) + j(X'_2 + X_1 + X_1 \frac{X'_2}{X_o} + \frac{R'_2}{s} \frac{R_1}{X_o})} \quad (6)$$

2.1. Moment obrotowy

W oparciu o zależności na I'_2 i E'_2 wyznaczamy moc pola wirującego:

$$P_{\psi} = m |E'_2| |I'_2| \cos \varphi'_2 \quad (7)$$

Moment obrotowy silnika:

$$M = \frac{P_{\psi}}{\omega_1} = \frac{m |E'_2| |I'_2| \cos \varphi'_2}{\omega_1} \quad (8)$$

Po podstawieniu do wyrażenia na moment obrotowy silnika (8) wyrażenia na moc pola wirującego (7) oraz uporządkowaniu wyrazów otrzymamy:

$$M = \frac{m U_1^2}{\omega_1} \frac{sa_1 - a_2}{s^2 a_3 + sa_4 + a_5} \quad (9)$$

gdzie:

$$a_1 = k(R_1 + R_1 \frac{X'_2}{X'_0}) \cos \alpha - k(X_1 + X_2' + X_2' \frac{X_1}{X'_0}) \sin \alpha + R_2'$$

$$a_2 = k(R_2' + R_2' \frac{X_1}{X'_0}) \cos \alpha + k(R_2' \frac{R_1}{X'_0}) \sin \alpha + k^2 R_1$$

$$a_3 = R_1^2 (1 + \frac{X'_2}{X'_0})^2 + X_2'^2 (1 + \frac{X_1}{X'_0})^2 + X_1(X_1 + 2X_2')$$

$$a_4 = 2 R_2' R_1$$

$$a_5 = R_2'^2 \left[\left(1 + \frac{X_1}{X'_0}\right)^2 + \frac{R_1^2}{X_0'^2} \right]$$

2.2. Moduł prądu wirnika

Wielkością ograniczającą zakres regulacji silnika asynchronicznego przez wprowadzenie napięcia dodatkowego w obwód wirnika jest wytrzymałość termiczna uzwojeń wirnika. Moc strat w uzwojeniu jest wprost proporcjonalna do kwadratu wartości skutecznej prądu I_2' . Wyrażenie (6) na I_2' można przedstawić następująco:

$$I_2' = U_1 \frac{e - jf}{c + jd} \quad (10)$$

a zatem moduł prądu (I_2') będzie miał postać:

$$I_2' = \frac{\sqrt{sc_1 + s^2 + c_2}}{\sqrt{s^2 a_3 + a_4 s + a_5}} \quad (11)$$

gdzie:

$$c_1 = -2k \cos\alpha \left(1 + \frac{X_1}{X_0}\right) - 2k \frac{R_1}{X_0} \sin\alpha$$

$$c_2 = k^2 \left(1 + \frac{X_1^2}{X_0^2} + 2 \frac{X_1}{X_0} + \frac{R_1^2}{X_0^2}\right)$$

$$a_3 = R_1^2 \left(1 + \frac{X_2'}{X_0}\right)^2 + X_2^2 \left(1 + \frac{X_1}{X_0}\right)^2 + X_1(X_1 + 2X_2')$$

$$a_4 = 2R_2' R_1$$

$$a_5 = R_2'^2 \left(1 + \frac{X_1^2}{X_0^2} + 2 \frac{X_1}{X_0} + \frac{R_1^2}{X_0^2}\right)$$

3. Obliczeniowe charakterystyki silnika indukcyjnego przy wprowadzeniu napięcia dodatkowego w obwód wirnika

Wyprowadzone zależności obejmują wyrażenie na moment oraz moduł prądu wirnika silnika indukcyjnego w zależności od poślizgu (s), stosunku napięć (k) i przesunięcia fazowego (α) napięcia dodatkowego U_d' i napięcia przyłożonego do uzwojenia stojana U_1 .

Złożony charakter tych zależności uniemożliwiający w prosty sposób wyliczenie poszczególnych punktów charakterystyki, konieczność wprowadzenia wszystkich elementów schematu zastępczego silnika oraz nieporównywalność charakterystyk różnych silników spowodował, że zdecydowano, aby charakterystyki wyznaczyć w oparciu o maszynę cyfrową, natomiast elementy schematu zastępczego podać w jednostkach względnych. Przyjęcie takiego postępowania pozwoli wykorzystać maszynę cyfrową do wykonania bardzo pracochłonnych obliczeń, natomiast wyznaczone charakterystyki będą uniwersalne.

3.1. Względne wartości elementów schematu zastępczego

Względne wartości elementów schematu zastępczego wyznaczone zostaną z danych znamionowych silnika, a mianowicie:

- względna rezystancja wirnika \underline{R}'_{22} wyznaczona w oparciu o bilans mocy i strat silnika

$$\underline{R}'_{22} \approx \frac{\eta_N s_N}{(1 - s_N) \cos \varphi_N} \quad (12)$$

gdzie:

- η_N - sprawność znamionowa,
- s_N - poślizg znamionowy,
- $\cos \varphi_N$ - współczynnik mocy znamionowy,

- względne reaktancje rozproszenia $\underline{X}'_2, \underline{X}'_1$ wyznaczone w oparciu o prąd zwarcia silnika

$$\underline{X}'_2 \approx \underline{X}'_1 = \frac{1}{2} \underline{I}_z \quad (13)$$

gdzie:

- \underline{I}_z - względny prąd zwarcia

- względna reaktancja główna \underline{X}_0 wyznaczona w oparciu o prąd biegu jałowego

$$\underline{X}_0 \approx \frac{1}{\underline{I}_0} - \underline{X}_1 \quad (14)$$

gdzie:

- \underline{I}_0 - względny prąd biegu jałowego

- względną rezystancję stojana \underline{R}_1 obliczono w oparciu o dane dla silnika o mocy do 50 kW

$$\underline{R}_1 \approx 0,4 \underline{R}'_{22} \quad (15)$$

3.2. Wyrażenie na moment i prąd wirnika w jednostkach względnych

Zależność na moment oraz moduł prądu wirnika wyprowadzono w jednostkach względnych przy założeniu następujących wartości liczbowych elementów schematu zastępczego:

$$\underline{R}'_{22} \approx 0,052; \quad \underline{R}_1 \approx 0,02; \quad \underline{X}'_2 \approx \underline{X}_1 = 0,1; \quad \underline{X}_0 = 2,76$$

Wartości te odpowiadają silnikowi przewidzianemu do badań o mocy 20 kW z następującymi danymi technicznymi:

$$\sigma_N = 0,05; \quad \gamma_N = 0,85; \quad \cos \varphi_N = 0,85; \quad I_2 = 5 I_N; \quad I_0 = 0,35 I_N$$

Dla przyjętych wartości liczbowych elementów schematu zastępczego względny moment oraz względny moduł prądu wirnika odniesione do wartości względnych dla wirnika zwartego będą miały postać:

$$\underline{M} = \frac{\underline{M}}{\underline{M}_{NN}} =$$

$$= 1,18 \frac{s(2,07 k \cos \alpha - 20,36 k \sin \alpha + 15,6) - (16,16 k \cos \alpha + 0,113 k \sin \alpha + 2k^2)}{4,19 s^2 + 0,625 s + 2,61} \quad (16)$$

$$\underline{I} = \frac{|\underline{I}'_2|}{|\underline{I}'_{2NN}|} = 11,114 \sqrt{\frac{s^2 + 1,074 k^2 - 2,07 k s \cos \alpha - 0,0144 s \sin \alpha}{4,19 s^2 + 0,625 s + 2,61}} \quad (17)$$

3.3. Obliczenie charakterystyk silnika przy użyciu maszyny cyfrowej

Obliczenia zostały wykonane na maszynie cyfrowej ODRA-1204 przy uwzględnieniu następujących przedziałów zmienności poślizgu (s) oraz współczynnika (k) i przesunięcia fazowego (α)

- s w przedziale - 0,6 do 2 co 0,2,
- k w przedziale - 0 do 1,4 co 0,2,
- α w przedziale - 0 do 360°.

Charakterystyki, które teoretycznie można uzyskać w powyższym przedziale zmienności s , k i α , pozwalają realizować dowolny przebieg momentu w funkcji prędkości obrotowej.

Jednak dla celów napędowych można wykorzystać jedynie charakterystyki silnika, które są najbardziej korzystne z punktu widzenia uzyskania największego momentu przy założonej dopuszczalnej wartości skutecznej prądu I oraz posiadające przebieg momentu $M = f(s)$ zbliżony do przebiegu charakterystyki naturalnej silnika indukcyjnego.

Optymalizacja obejmuje zatem wybór spośród wszystkich możliwych do uzyskania charakterystyk tylko tych, które zapewniają uzyskanie maksymalnego momentu przy uwzględnieniu technicznych możliwości silnika indukcyjnego oraz źródła napięcia dodatkowego, w naszym przypadku tyrystorowej przetwornicy częstotliwości.

Optymalizacja obejmuje:

- wyznaczenie maksymalnego momentu w całym przedziale zmienności s , k i α przy ograniczeniu prądu wirnika,
- wybór najkorzystniejszego współczynnika nastawy (k i α),
- wyznaczenie dla najkorzystniejszego współczynnika nastawy w całym zakresie prędkości obrotowych wartości momentu przy ograniczeniu prądu wirnika oraz wartości prądu wirnika dla stałego momentu obciążenia,
- wyznaczenie charakterystyk momentu $M = f(s)$ dla najkorzystniejszego współczynnika nastawy oraz ustalenie zakresów regulacji z uwagi na dopuszczalną wartość względną prądu wirnika przyjętą na poziomie 1, 2.

Syntetyczne wyniki obliczeń momentu dla przypadków a, b, c przedstawiono w postaci współczynnika δ_M określającego w procentach odchyłkę momentu obliczeniowego od momentu występującego przy założonym ograniczeniu prądu

$$\delta_M = \frac{M_I - \underline{M}}{\underline{M}} \cdot 100\% \quad (18)$$

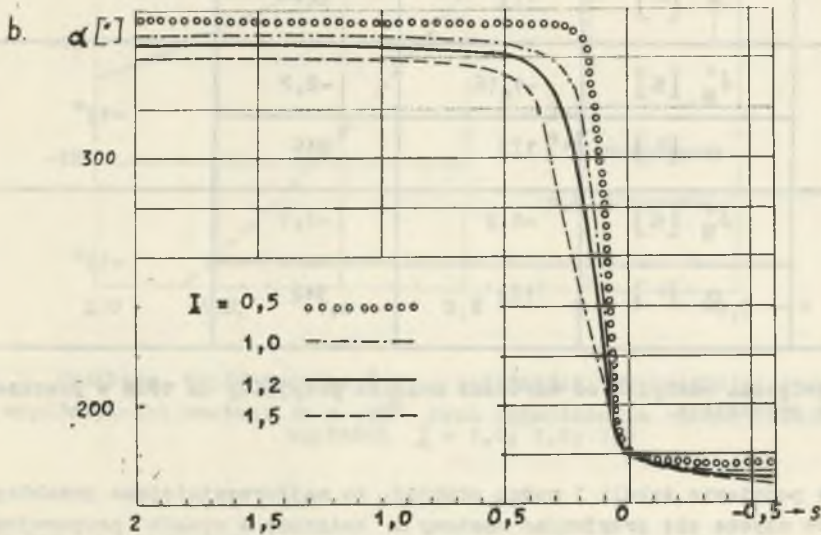
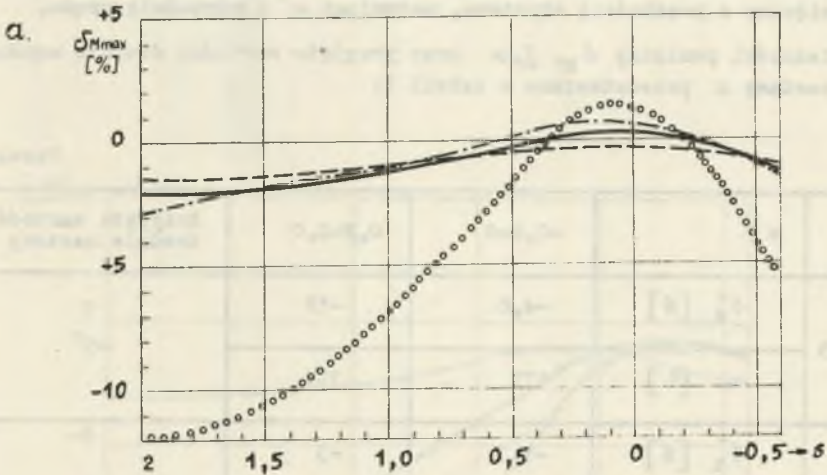
gdzie:

\underline{M}_I - względna wartość momentu (przyjętego jako 100%) dla przyjętego ograniczenia prądowego,

\underline{M} - obliczeniowa względna wartość momentu.

Maksymalny moment w całym przedziale zmienności s , k i α wyznaczono dla ograniczeń prądu silnika do wartości, które mogą być stosowane w praktycznym układzie, a mianowicie dla $\underline{I} = 0,5; 1,0; 1,2; 1,5$. Wykreślnie wyniki przedstawiono na rys. 2a.

Na rys. 2b przedstawiono przebieg współczynnika nastawy odpowiadający maksymalnemu momentowi. Na podstawie rys. 2 można przyjąć, że w zakresie prędkości obrotowej od $s = -0,6 + 2$ dla prądów $\underline{I} \geq 1$ maksymalny moment nie zmienia się bardziej niż $+1, -2,8\%$ w stosunku do wartości momentu



Rys. 2a. Maksymalna wartość współczynnika δ_M określającego w procentach odchyłkę momentu obliczeniowego od momentu występującego przy założonym ograniczeniu prądu wirnika (przyjęto $\underline{I} = 0,5; 1,0; 1,2; 1,5$), b. przebieg współczynnika nastawy α odpowiadający maksymalnej wartości współczynnika δ_M z rys. 2a

przyjętego za 100%, natomiast nastawa odpowiadająca maksymalnemu momentowi zmienia się w granicach kilku stopni za wyjątkiem przejścia przez synchronizm. Praca w nadsynchronizmie wymaga zmiany fazy napięcia U'_a o 180° .

Na podstawie rys. 2 można przyjąć, że współczynnik nastawy k powinien być związany z prędkością obrotową, natomiast α z wartością prądu.

Zależności pomiędzy δ_M , I , α oraz przyjęte wartości średnie współczynnika nastawy α przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

	s	-0,6+0	0,2+2,0	Przyjęta wartość średnia nastawy
I = 0,5	δ_M^* [%]	-4,8	-12	-5°
	α [°]	177	355	
1,0	δ_M^* [%]	-1,3	-3	-10°
	α [°]	173	349	
1,2	δ_M^* [%]	-1,16	-2,2	-12°
	α [°]	173	346	
1,5	δ_M^* [%]	-1,2	-1,7	-15°
	α [°]	172	342	

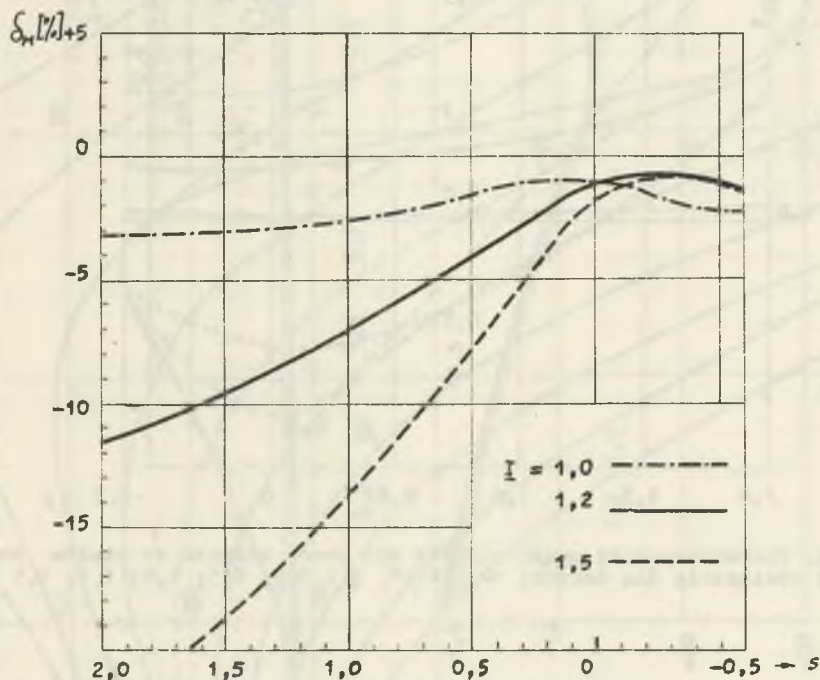
*). Największa odchyłka od wartości momentu przyjętej za 100% w poszczególnym przedziale.

Na podstawie tabeli 1 można przyjąć, że najkorzystniejsze przebiegi momentów uzyska się przyjmując nastawy α związane w sposób proporcjonalny z prądem I .

Regulacja współczynnika nastawy α proporcjonalnie do prądu wymaga znacznej rozbudowy układów sterujących i dla badań laboratoryjnych przyjmujemy na α stałą wartość -10° , najkorzystniejszą dla parametrów znamionowych silnika.

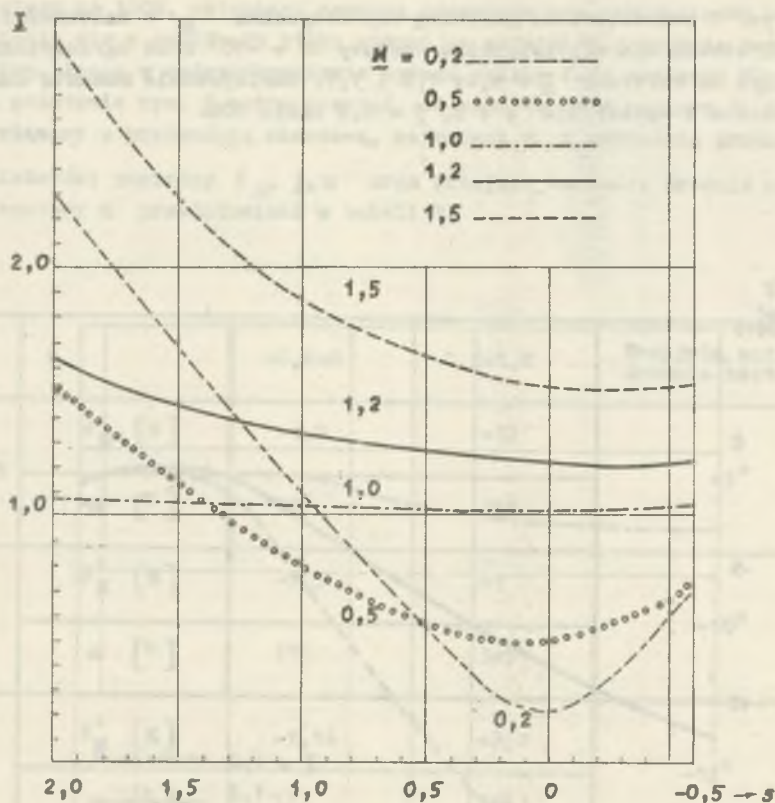
Przyjęty stały współczynnik nastawy $\alpha = -10^\circ$ zmniejsza wartość momentu szczególnie dla dużych poślizgów.

Na rys. 3 przedstawiono przebieg współczynnika δ_M w zależności od prędkości obrotowej dla współczynnika nastawy $\alpha = -10^\circ$ oraz ograniczeniu prądu wirnika do wartości $\underline{I} = 1,0; 1,2$ i $1,5$. Zmniejszenie momentu dla $\underline{I} > 1,0$ jest znaczne i wynosi dla $s = 2$, $\underline{I} = 1,5$ około 20%.



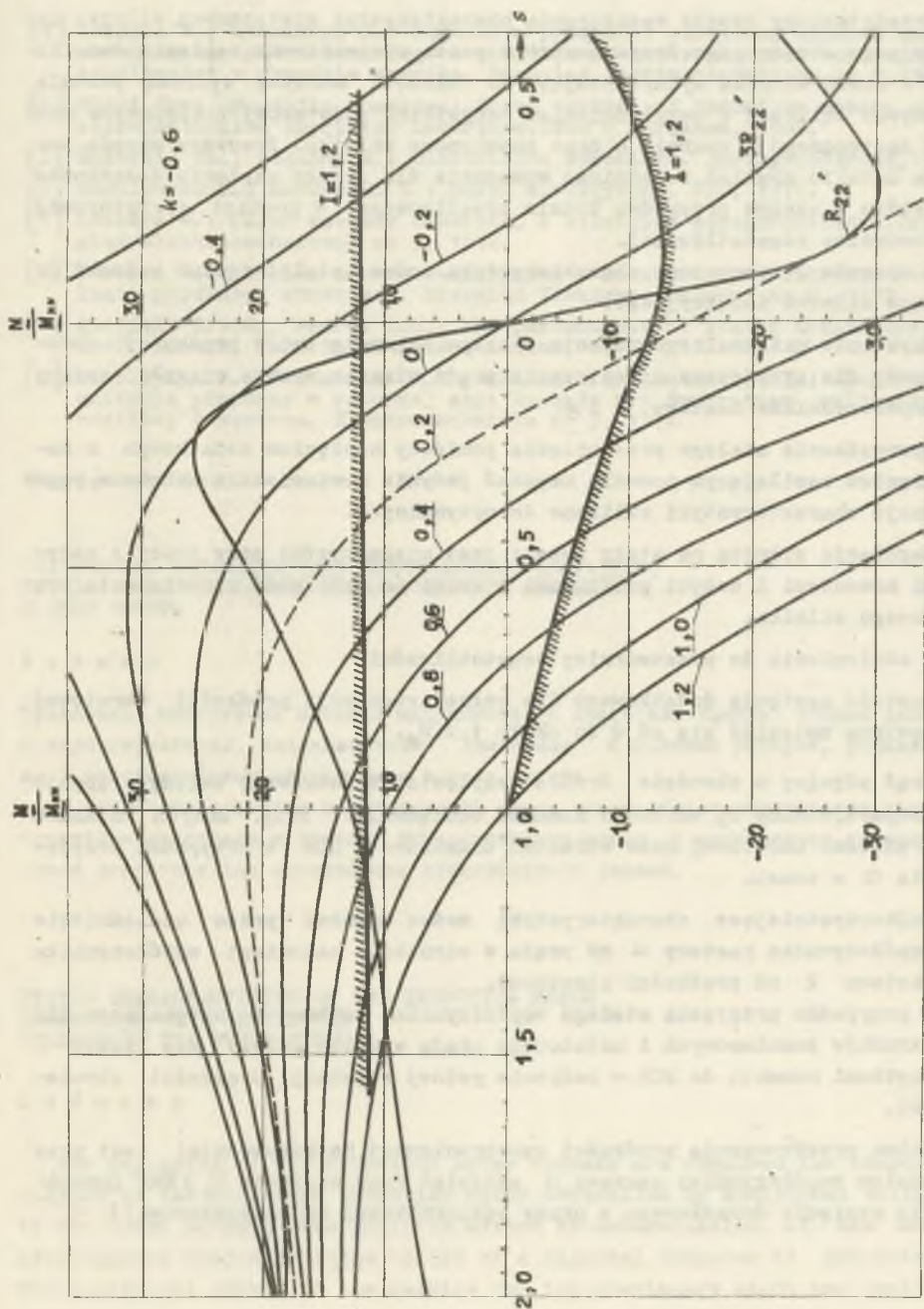
Rys. 3. Przebieg współczynnika δ_M w zależności od prędkości obrotowej dla współczynnika nastawy $\alpha = -10^\circ$ oraz ograniczenia prądu wirnika do wartości $\underline{I} = 1,0; 1,2; 1,5$

Na rys. 4 przedstawiono przebieg prądu \underline{I} dla pracy silnika ze stałym momentem obciążenia (dla współczynnika nastawy $\alpha = -10^\circ$), z którego wynika, że występują niekorzystne charakterystyki prądowe w zakresie pracy z dużymi poślizgami ($s > 1$) i małymi obciążeniami.



Rys. 4. Charakterystyki prądu wirnika dla pracy silnika ze stałym momentem obciążenia dla danych: $\alpha = -10^\circ$, $M = 0,2; 0,5; 1,0; 1,2; 1,5$

Na rys. 5 przedstawiono charakterystyki momentu w zależności od poślizgu dla współczynnika nastawy $\alpha = -10^\circ$, zaznaczając zakres możliwości wykorzystania przedstawionych charakterystyk ze względu na przyjętą wartość przeciążenia prądowego o 20%.



Rys. 5. Charakterystyki momentu w funkcji poślizgu dla $\alpha = -10^\circ$ oraz k w przedziale $-0,6 + 1,2$ (linia ciągłą zaznaczono granicę nastaw, dla których prąd $I < 1,2$)

4. Wnioski końcowe

Przedstawiony sposób wyznaczania charakterystyk statycznych silnika indukcyjnego sterowanego dwuparametrowo przez wprowadzenie napięcia dodatkowego w obwód wirnika wykorzystujący do obliczeń maszynę cyfrową pozwala dokonywać obliczeń z uwzględnieniem wszystkich podstawowych elementów schematu zastępczego w oparciu o dane znamionowe silnika. Powyższy sposób pozwala ustalić również zasadnicze wymagania dla źródła napięcia dodatkowego, które w naszym przypadku będzie zrealizowane w postaci tyrystorowej przetwornicy częstotliwości.

W oparciu o wyznaczone charakterystyki można ustalić ogólne wnioski do dotyczące silnika indukcyjnego:

1. Uzyskanie maksymalnego momentu w całym zakresie zmian prędkości obrotowej dla przyjętego ograniczenia prądu wirnika wymaga ciągłej zmiany współczynników nastawy k i α .
2. Wprowadzenie stałego przesunięcia pomiędzy napięciem dodatkowym a napięciem zasilającym pozwala uzyskać jedynie w niewielkim zakresie regulacji charakterystyki zbliżone do optymalnych.
3. Regulacja silnika na stały moment jest niekorzystna przy pracy z małymi momentami i dużymi poślizgami z uwagi na możliwość przeciążenia prądowego silnika.

W odniesieniu do przetwornicy częstotliwości:

4. Wartość napięcia dodatkowego dla pełnej regulacji prędkości obrotowej powinna zmieniać się od 0 do około $1,2 U_d'$.
5. Prąd płynący w obwodzie źródła napięcia dodatkowego zależy w sposób proporcjonalny od wartości momentu obciążenia. Przy dużych zmianach prędkości obrotowej może wzrastać dodatkowo o 20% w przypadku przyjęcia $\alpha = \text{const}$.
6. Najkorzystniejsze charakterystyki można uzyskać przez uzależnienie współczynnika nastawy α od prądu w wirniku, natomiast współczynnika nastawy k od prędkości obrotowej.
W przypadku przyjęcia stałego współczynnika nastawy α , optymalnego dla warunków znamionowych i ustalonego prądu wirnika należy się liczyć z ubytkami momentu do 20% w zakresie pełnej regulacji prędkości obrotowej.
7. Celem przekroczenia prędkości synchronicznej najkorzystniejszą jest przy stałym współczynniku nastawy α zmieniać fazę napięcia U_d' o 180° (przejsć dla napięcia dodatkowego z pracy odbiornikowej do generatorowej).

LITERATURA

- [1] Koczara W., Zochowski K.: Regulacja prędkości obrotowej silnika asynchronicznego pierścieniowego w układzie ze statyczną przetwornicą częstotliwości w obwodzie wirnika. Przegląd Elektrotechniczny nr 7, 1969.
- [2] Büchi Ohna, Masahiko Ahamatsu: Speed control of induction motors using self-controlled thyristor inverters. IFAC - Warszawa, 1969.
- [3] Bödefeld Th., Sequenz M.: Elektrische Maschinen. Springer-Verlag, 1970.
- [4] Gogolewski Z., Kuczewski Z.: Napęd elektryczny. WNT, 1971.
- [5] Koczara W.: Układ kaskady zaworowej z silnikiem asynchronicznym. Przegląd Elektrotechniczny nr 3, 1972.
- [6] Koczara W.: Kaskada zaworowo-maszynowa o rozszerzonym zakresie regulacji prędkości obrotowej. Przegląd Elektrotechniczny nr 8, 1972.
- [7] Sheffield I.R.G., Werrel I.S.: The performance of static Kramer drives. Conf. Electr. Var. Speed Drives London, 1972.
- [8] Sinolcyi A.F., Bondarenko W.P., Rodkin D.I., Butenko W.I.: Elektromagnitnyje processy w rotornej cępi kaskada pri dwukratnom wkljuczenii wentiliej inwertora. Elektromechanika nr 3, 1974.

Przyjęto do druku w czerwcu 1974 r.

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНДУКЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ,
УПРАВЛЯЕМОГО ПРИ ПОМОЩИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ
В ЦЕПИ РОТОРА

Р е з ю м е

Правильное построение каскада индукционного двигателя требует точных данных о характеристиках индукционного двигателя с фазовым ротором, управляемого дополнительным напряжением в цепи ротора.

В работе представлен аналитический метод оптимального определения характеристики двигателя с помощью вычислительных машин. В вычислениях применена схема двигателя для определения стационарного режима.

STATIC CHARACTERISTICS OF THE INDUCTION MOTOR
CONTROLLED WITH ADDITIONAL
VOLTAGE IN THE ROTOR CIRCUIT

S u m m a r y

For designing of the induction motor cascade are required the characteristics of the slip-ring induction motor controlled by additional voltage in the rotor circuit. The analytic method of determination of the most advantageous characteristics by use of a digital computer is presented. The equivalent circuit of the machine for the stationary state was applied.