

TADEUSZ GLINKA

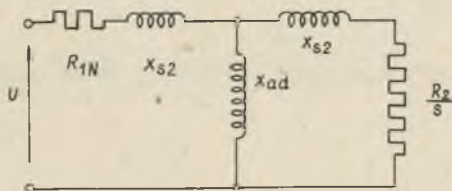
Katedra Maszyn Elektrycznych

WYZNACZENIE CHARAKTERYSTYK MOMENTU I PRĄDU
W FUNKCJI POŚLIZGU MASZYN ASYNCHRONICZNYCH
NA PODSTAWIE CHARAKTERYSTYK CZĘSTOTLIWOŚCI

Streszczenie: Wyprowadzono równania momentu elektromagnetycznego M i prądu stojana I w funkcji poślizgu s dla maszyny asynchronicznej, pozwalające wyznaczyć charakterystyki $M = f(s)$ i $I = f(s)$ z pomiarów przeprowadzonych na nieruchomej maszynie zasilanej napięciem o regulowanej częstotliwości. Dla przykładów podano charakterystyki maszyn typu SZJSd 44a i SCUAa 104 uzyskane wg opisanej metody

Ustalone i nieustalone zjawiska elektryczne i elektromechaniczne w maszynach elektrycznych analizujemy w oparciu o schemat zastępczy danej maszyny.

Na rys. 1 jest podany uproszczony schemat zastępczy maszyny asynchronicznej. W stanie ustalonym przebieg prądu stojana I_1 jest funkcją



Rys. 1

poślizgu s zgodnie z równaniem (1)

$$\hat{i}_1 = \frac{\hat{U}}{\hat{Z}_w(s)} \quad (1)$$

gdzie:

$$\hat{Z}_w(s) = R_{1N} + jX_{s1} + \frac{jX_{ad} \cdot \frac{R_2}{s} - X_{ad} X_{s2}}{\frac{R_2}{s} + j(X_{ad} + X_{s2})} \quad (2)$$

Przy znamionowym napięciu zasilania przebieg prądu \hat{i}_1 odpowiada w innej skali przebiegowi $\frac{1}{\hat{Z}_w(s)}$. Dla maszyny asynchronicznej z wirnikiem pierścieniowym przebieg ten opisuje wykres kołowy maszyny asynchronicznej.

Jeżeli stojan maszyny asynchronicznej przy zatrzymanym i zwartym uzwojeniu wirnika zasilamy napięciem U o zmiennej częstotliwości $f = sf_N$ wówczas zgodnie ze schematem rys. 2 prąd stojana wynosi

$$\hat{i}_1 = \frac{\hat{U}(s)}{\hat{Z}_n(s)} \quad (3)$$

gdzie:

$$\hat{Z}_n(s) = R_{1s} + jsX_{s1} + s \frac{j \frac{X_{ad} \cdot R_2}{s} - X_{ad} X_{s2}}{\frac{R_2}{s} + j(X_{ad} + X_{s2})} \quad (4)$$

przy czym:

$$\begin{aligned} R_{1s} &= \text{opór czynny uzwojenia stojana przy częstotliwości } f = \\ &= s f_N \end{aligned}$$

Zależność oporności R_{1s} od częstotliwości zasilania może być uwzględniona przy pomocy współczynnika Filda

$$K_F = 1 + A f^2$$

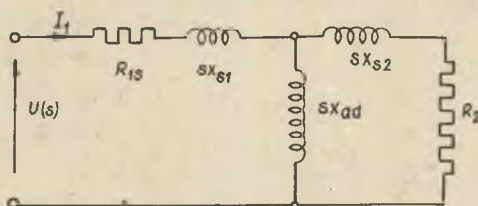
Jeżeli znamy R_{10} (opór mierzony prądem stałym) i R_{1N} to R_{1s} można obliczyć z równania

$$R_{1s} = R_{10} \left[1 + \frac{R_{1N} - R_{10}}{R_{10}} \left(\frac{f}{f_N} \right)^2 \right]$$

gdzie:

$$s = \frac{f}{f_N}$$

R_{1N} - opór czynny uzwojenia stojana przy częstotliwości znamionowej $f_N = 50$ Hz



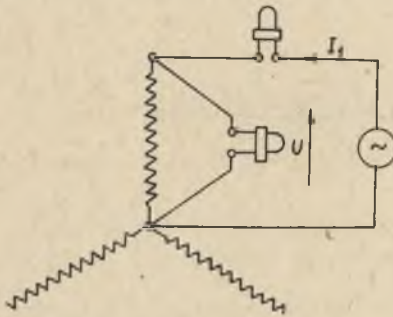
Rys. 2

Z porównania impedancji nieruchomej maszyny zasilanej napięciem zmiennej częstotliwości (4) z impedancją maszyny wirującej zasilanej napięciem o stałej częstotliwości (2) wynika, że

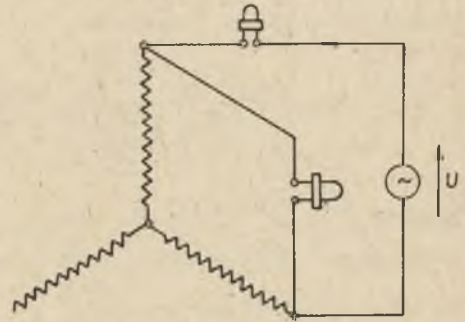
$$\hat{Z}_w(s) = R_{1N} - \frac{R_{1s}}{s} + \frac{\hat{Z}_n(s)}{s} \quad (5)$$

Impedancję $\hat{Z}_n(s)$ można pomierzyć w jednym z układów przedstawionych na rys. 3

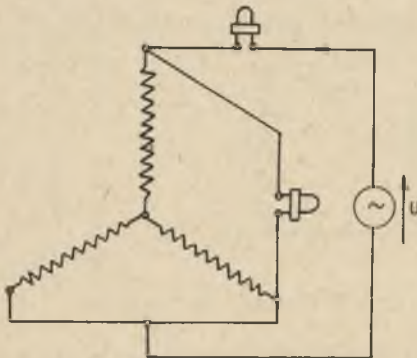
$$\hat{Z}_n(s) = k_g \cdot \hat{Z}_p(s) \quad (6)$$



Rys. 3a



Rys. 3b



Rys. 3c

gdzie:

k_g - współczynnik zależny od układu pomiarowego
 $k_g = 1, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}$ kolejno dla przypadku a), b), c),

$\hat{Z}_p(s)$ - impedancja pomiarowa w danym układzie pomiarowym.

Moment maszyny asynchronicznej przy zasilaniu 3-fazowym

$$M = \frac{P_\psi}{\omega_N} = \frac{\Delta P_{20}}{\omega_N s} \quad (7)$$

gdzie:

P_ψ - moc pola wirującego,

ΔP_{20} - straty w wirniku jakie występują przy zasilaniu 3-fazowym napięciem znamionowym.

Straty ΔP_{20} można obliczyć na podstawie pomiaru wykonanego przy nieruchomej maszynie.

Przy badaniu maszyny nieruchomej napięciem o zmiennej częstotliwości moc doprowadzona do maszyny

$$P_1 = I_1 \cdot U \cos \varphi \quad (8)$$

gdzie:

$I_1 \cdot U$ - skuteczna wartość napięcia i prądu zasilania,

φ - przesunięcie fazowe między prądem i napięciem.

Moc tracona w uzwojeniu stojana

$$\Delta P'_1 = \frac{1}{k_s} I_1^2 R_{1s} \quad (9)$$

Moc przechodząca do uzwojenia wirnika

$$\Delta P'_2 = P'_1 - \Delta P'_1 \quad (10)$$

Z drugiej strony moc

$$\Delta P'_2 = \frac{1}{k_s} I_2^2 R_2 \quad (11)$$

a straty przy wirującej maszynie i przy zasilaniu 3-fazowym

$$\Delta P_2 = 3 I_2^2 R_2 \quad (12)$$

Na podstawie równań (11) i (12) można określić związek między stratami przy nieruchomym i wirującym wirniku

$$\Delta P_2 = 3 k_s \Delta P'_2 \quad (13)$$

gdzie przez ΔP_2 oznaczone są straty przy trójfazowym napięciu zasilania U_w o znamionowej częstotliwości.

Skuteczną wartość napięcia wirującej maszyny asynchronicznej U_w można określić porównując wyrażenia na prądy płynące w wirniku przy wirniku nieruchomym i wirującym.

Przy wirniku wirującym prąd wirnika

$$\hat{I}_2 = \frac{\hat{U}_w - \hat{I}_{1w} R_{1N}}{s \left[jX_{s1} + \frac{j \frac{X_{ad} R_2}{s} - X_{ad} X_{s2}}{\frac{R_2}{s} + j(X_{ad} + X_{s2})} \right]} \cdot \frac{j X_{ad}}{\frac{R_2}{s} + j(X_{ad} + X_{s2})} \quad (14)$$

W maszynie nieruchomej ten sam prąd \hat{I}_2 wystąpi przy zasilaniu napięciem \hat{U}_n

$$\hat{I}_2 = \frac{k_s \hat{U}_n - \hat{I}_{1n} R_{1s}}{s \left[jX_{s1} + \frac{j \frac{X_{ad} R_2}{s} - X_{ad} X_{s2}}{\frac{R_2}{s} + j(X_{ad} + X_{s2})} \right]} \cdot \frac{j X_{ad}}{\frac{R_2}{s} + j(X_{ad} + X_{s2})} \quad (15)$$

Można wykazać, że w równaniach (14) i (15)

$$\hat{I}_{1w} = \hat{I}_{1n}$$

Z porównania (14) i (15)

$$\hat{U}_w = \frac{k_s \hat{U}_n}{s} + \hat{I}_{1n} \left(R_{1N} - \frac{R_{1s}}{s} \right) \quad (16)$$

Straty w wirniku przy zasilaniu znamionowym napięciem 3-fazowym

$$\Delta P_{20} = \Delta P_2 \left(\frac{U_{fN}}{U_w} \right)^2 = 3 k_s \Delta P'_2 \left(\frac{U_{fN}}{U_w} \right)^2 \quad (17)$$

gdzie:

U_{fN} - fazowe napięcie znamionowe.

Podstawiając równanie (17) do (7) otrzymuje się równanie momentu asynchronicznego

$$M = \frac{3 k_s \Delta P'_2}{s \omega_N} \left(\frac{U_{fN}}{U_w} \right)^2 \quad (18)$$

Na mocy (1) uzyskuje się $\hat{I}_1 = f(s)$

$$\hat{I}_1 = \frac{\hat{U}_{fN}}{\hat{Z}_w(s)} \quad (19)$$

Podobnie rozumowanie można przeprowadzić przy uwzględnieniu większej liczby obwodów wirnika, co odpowiadałoby schematowi silników klatkowych głębokożłobkowych i wieloklatkowych. Równania momentu i prądu mają postać analogiczną jak dla maszyny asynchronicznej z wirnikiem pierścieniowym.

Dla silnika asynchronicznego klatkowego typu SZJSd. 44a o danych znamionowych:

$$P_N = 1,7 \text{ kW} \quad n_N = 1420 \text{ obr/min} \quad I_N = 2,9 \text{ A} \quad U_N = 500 \text{ V}$$

$R_{10} = 6,45 \Omega$ zdjęto przebiegi $M = f(s)$ i $I = f(s)$ wyżej

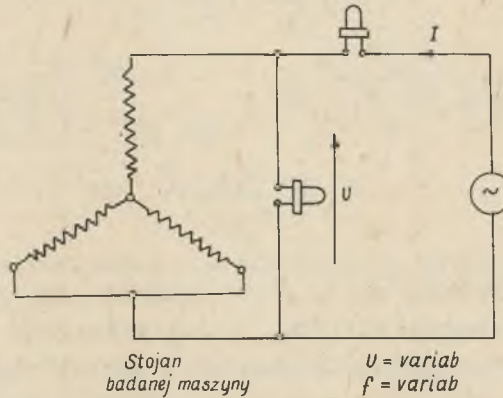
opisaną metodą.

W układzie pomiarowym podanym na rys. 4 oscylografowano przebiegi U oraz I . Wycinek takiego oscylogramu pokazano na rys. 5.

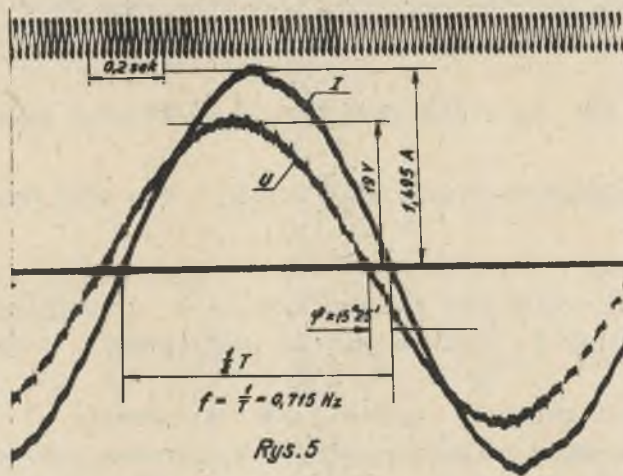
Jako źródła zmiennej częstotliwości w zakresie od 0-3 Hz wykorzystano układ kaskadowy złożony z oporowej przetwornicy częstotliwości, amplidyny i maszyny prądu stałego dla większych zakresów częstotliwości jako źródła częstotliwości użyto przetwornicy jednotwornikowej.

Na podstawie załączonego oscylogramu rys. 5 obliczymy punkt A charakterystyk $M, I = f(s)$ które są przedstawione na rys. 6 i 7.

Z oscylogramu wyznaczone $U = 13,45 \text{ V}$, $I_1 = 1,058 \text{ A}$ oraz $\varphi = 15^\circ 25'$, $f = 0,715 \text{ Hz}$.



Rys. 4



Impedancja Z_n obliczona wg równania (6)

$$\hat{Z}_n = 8.19 + j 2.25[\Omega]$$

- przy maszynie wirującej z poślizgiem

$$s = \frac{f}{f_N} = \frac{0,715}{50} = 0,0143$$

Impedancja wg (5)

$$\hat{Z}_w = 128,5 + j 157 [\Omega]$$

Moc

$$P'_1 = U \cdot I_1 \cos \varphi = 13,7 \text{ [W]}$$

moc tracona w uzwojeniu stojana

$$\Delta P'_1 = R_{1s} \cdot I_1^2 = 10,8 \text{ [W]}$$

Moc przechodząca do wirnika

$$\Delta P'_2 = 2,9 \text{ [W]}$$

Napięcie U_w wg (16)

$$U_w = 206 \text{ [V]}$$

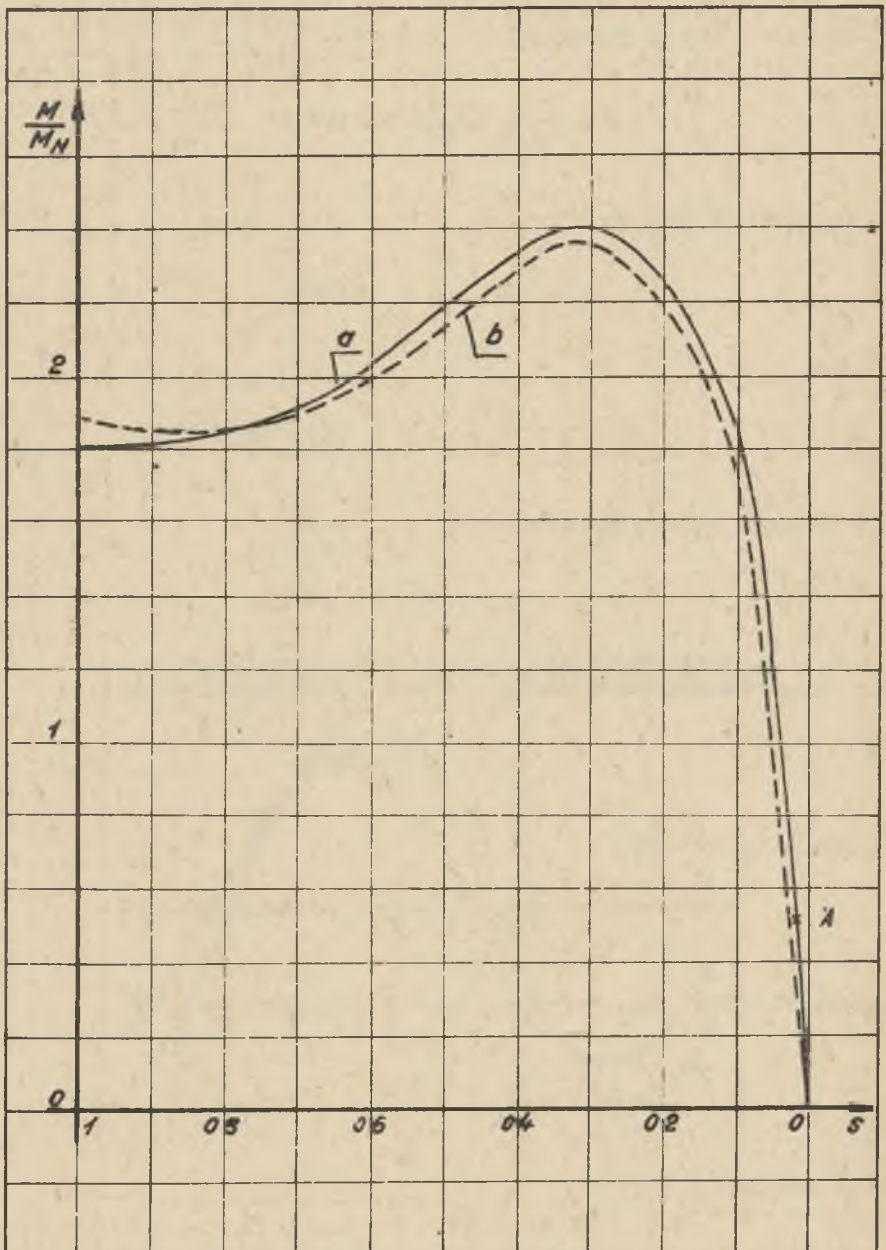
Moment maszyny odpowiadający temu poślizgowi wg (18)

$$\frac{M}{M_N} = 0,512$$

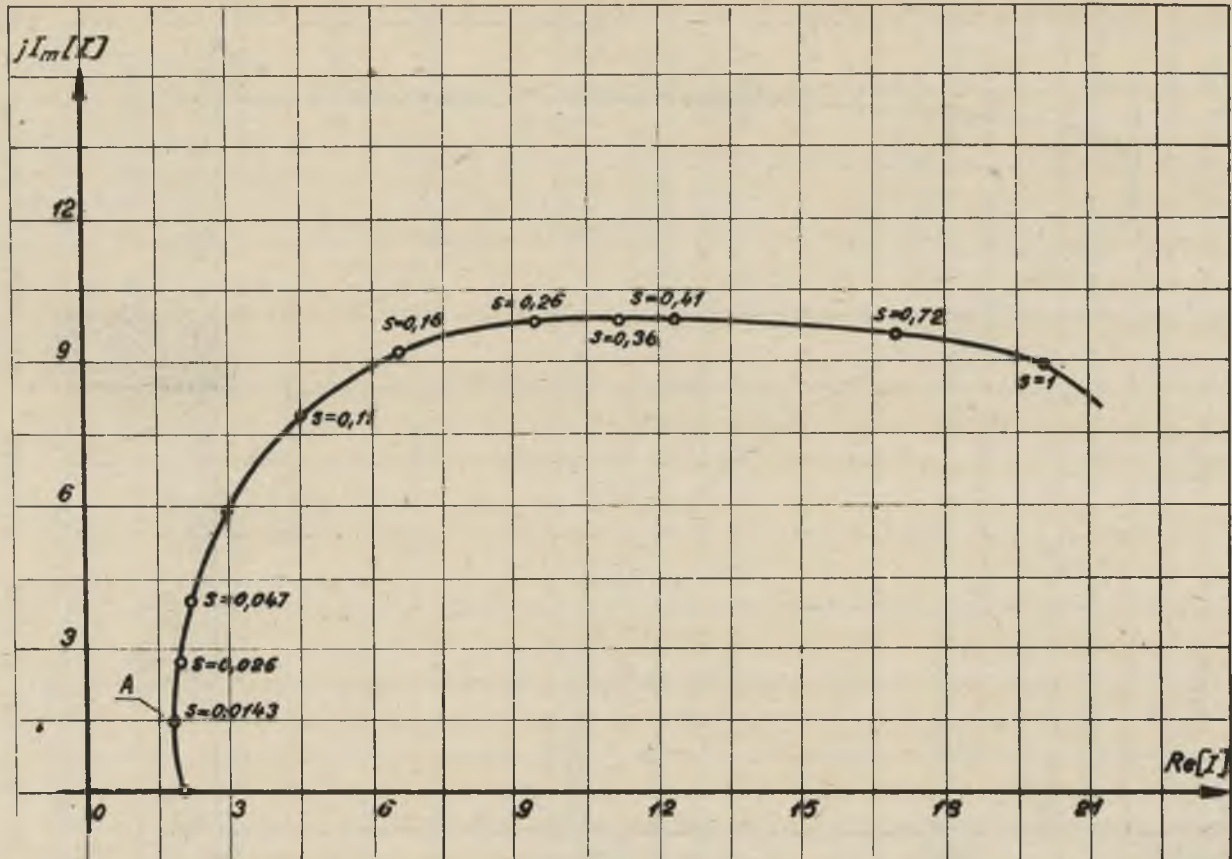
Prąd stojana z (19)

$$\hat{I}_1 = \frac{500}{3(128,5 + j 157)} = 1,9 + j 1,55 \text{ [A]}$$

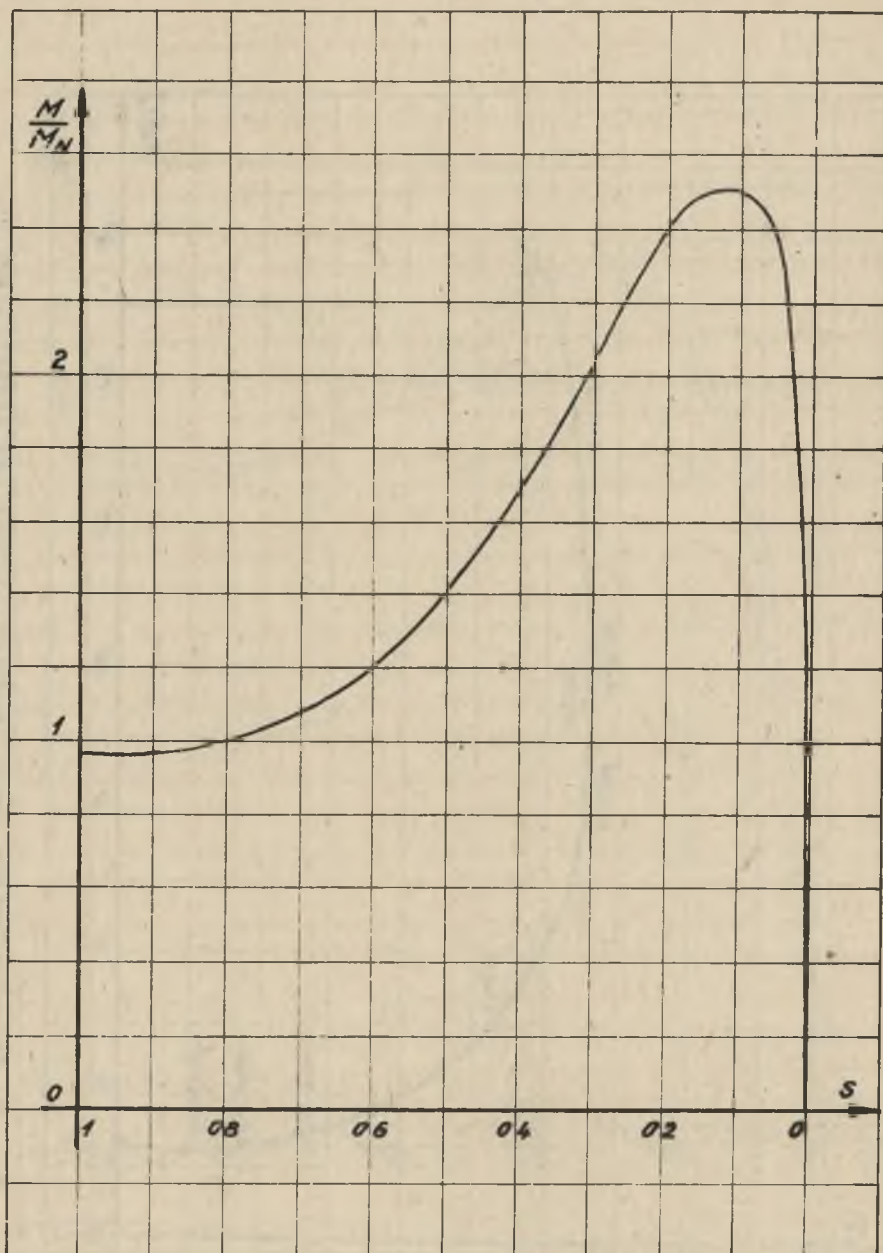
Analogicznie obliczono dalsze punkty charakterystyk.



Rys. 6. Charakterystyka momentu elektromagnetycznego $\frac{M}{M_N}$ w funkcji poślizgu s silnika asynchr. typu SZJSd 44a o danych znamion.: 1,7 kW 300 V 2,9 A 1420 obr/min zdjęta: a) metodą charakt. częstotliwości, b) metodą bezpośredniego obciążenia



Rys. 7. Charakterystyka prądu twornika silnika asynchronicznego typu SZJSd 44a o danych znamionowych: 1,7 kW 500 V 2,9 A 1420 obr/min. zdjęta metodą charakt. częstotliwości



Rys. 8. Charakterystyka momentu elektromechanicznego $\frac{M}{M_N}$ w funkcji poślizgu s silnika typu SCUAa 104 o danych znamionowych: 38 kW 22/380 V 129/75 A 1450 obr/min zdjęta przy pomocy charakterystyki częstotliwości

Na rys. 6 obok charakterystyki $M = f(s)$ wyznaczonej opisaną metodą naniesiono charakterystykę $M = f(s)$ zdjętą metodą bezpośrednią. Z rys. 6 wynika, że rozbieżność uzyskanych wyników leży w granicach błędu pomiaru. Jest ona spowodowana również tym, że przy pomiarze bezpośrednim silnik był nagrany, a pomiar charakterystyki częstotliwości wykonano przy zimnym silniku.

Na rys. 8 przedstawiono charakterystykę $M = f(s)$ silnika pierścieniowego typu SCUAa 104 o danych znamionowych $P_N = 28$ kW, $n = 1450 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$ 220/380 V.

WNIOSKI:

Podana metoda pozwala wyznaczyć charakterystyki elektromechaniczne maszyn asynchronicznych drogą pośrednią. W silnikach asynchronicznych klatkowych wykres $I = f(s)$ nie przedstawia koła [1] a więc wyznaczenie go na podstawie pomiarów w stanie zwarcia i w stanie jałowym jest niemożliwe [2]. Opisana metoda pozwala wyznaczyć charakterystyki M , $I = f(s)$ w całym zakresie częstotliwości.

Rękopis złożono w redakcji w marcu 1964 r.

LITERATURA

- [1] Gogolewski Z., Pluciński M., Kuczewski Z.: Budowa Maszyn Elektrycznych, cz.II, skrypt. Gliwice 1956.
- [2] Laboratorium maszyn elektrycznych, cz.1, pod red. A.Plamitzera, skrypt. Gliwice 1957.
- [3] Paszek W. Podstawowe parametry elektromagnetyczne maszyny synchronicznej i metody ich pomiaru. Arch. Elektrotechniki zesz. 3/1962 r.
- [4] Kazowski E.: Pieriodniye processy w elektricheskikh maszinach pieremiennowo toka. Izv.A.Nauk ZSSR 1962 r.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОМЕНТА И ТОКА В ФУНКЦИИ СКОЛЬЖЕНИЯ АСИНХРОННЫХ
МАШИН НА ОСНОВАНИИ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТЫ

Р е з ю м е

Выведено уравнения электромагнитного момента M и тока статорной обмотки I в функции скольжения s для асинхронной машины, позволяющее определить характеристики $M = f(s)$ и $I = f(s)$ из измерений, проведенных на неподвижной машине, питаемой напряжением с регулируемой частотой. Для примера приведены характеристики машин типа SZJSd 44a и SCUA a 104, полученные по описанному методу.

DETERMINATION OF MOMENT AND CURRENT CHARACTERISTICS IN THE
SLIP FUNCTION OF THE ASYNCHRONOUS MACHINES BASED ON FREQUENCY
CHARACTERISTICS

Summary

Derivation of the equation of the electric and magnetic moment M and stator current I in the slip function s for the asynchronous machine, permitting to indicate the characteristics $M = f/s$ and $I = f/s$ from the measurements on the stationary machine fed with a voltage of controlled frequency. There are given for instance machine characteristics of the SZJSd 44a and SCUA a 104 types, found according to the described method.