ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1964

Seria: ELEKTRYKA z. 19 Nr kol. 120

ZYGMUNT KUCZEWSKI
Katedra Napędu Elektrycznego

CHARAKTERYSTYKI MECHANICZNE SKOMPENSOWANEGO SILNIKA ASYNCHRONICZNEGO

Streszczenie: W artykule wyprowadzono ogólne równanie charakterystyki mechanicznej silnika 3 fazowego asynchronicznego w przypadku wprowadzenia do obwodu wtórnego dodatkowego napięcia przesuniętego wprzód o $\pi/2$ w stosunku do napięcia indukowanego.

1. ZWIĄZKI OGÓLNE

Wprowadzając do obwodu wirnika trójfazowego silnika asynchronicznego dodatkowe napięcie E_d przesunięte wprzód o $\pi/2$ w stosunku do napięcia indukowanego w tym obwodzie, uzyskuje się poprawę współczynnika mocy silnika asynchronicznego [L 2].

Pomijając straty w żelazie silnika oraz zakładając, że prąd magnesujący jest niezależny od wielkości obciążenia silnika, równanie napięciowe obwodu zastępczego [L 1], można napisać:

$$\hat{E}_{20}\, s = \hat{I}_2 R_2 + \hat{I}_2 (r_1 + j\, X_{12\sigma})\, s \qquad (1)$$

gdzie

$\hat{E}_{20}$ – napięcie transformacji w obwodzie wirnika silnika asynchronicznego.

R_2 – oporność czynna obwodu wtórnego,

r_1 – zastępcza oporność czynna obwodu pierwotnego silnika asynchronicznego sprowadzona do obwodu wtórnego,

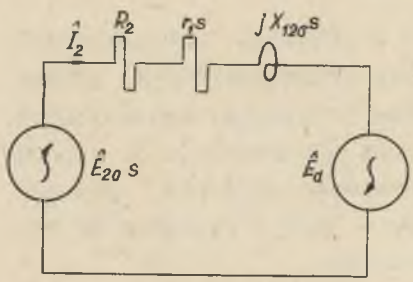
$X_{12\sigma}$ - całkowita reaktancja rozproszenia silnika asynchronicznego liczona po stronie wtórnej,

s - poślizg silnika.

Wprowadzając do obwodu wirnika silnika asynchronicznego dodatkowe napięcie $\hat{E}_d$ równanie (1) przyjmie postać:

$$\hat{E}_{20}\, s + \hat{E}_d = \hat{I}_2 R_2 + \hat{I}_2 (r_1 + j\, X_{12\sigma})\, s \qquad (2)$$

Równanie (2) można przedstawić graficznie (rys.1).



Rys.1

Definiując dodatkowe napięcie $\hat{E}_d = jk\hat{E}_{20}$, gdzie "k" reprezentuje wielkość modułu dodatkowego napięcia $\hat{E}_d$, z równania (2) można określić prąd $\hat{I}_2 = f(s,k)$

$$\hat{I}_2 = \hat{E}_{20} \frac{s + jk}{R_2 + (r_1 + jX_{12\sigma})\, s} \qquad (3)$$

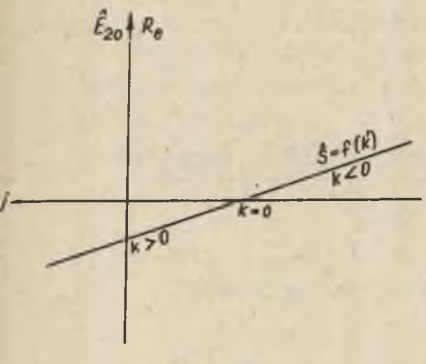
Dla k = const $I_2 = f(s)$ jest równaniem koła. Środek koła $\hat{I}_2 = f(s)$ określony jest zależnością:

$$\hat{S} = -\, j\, \frac{\hat{E}_{20}}{2\, X_{12\sigma}} - \hat{E}_{20}\, \frac{r_1 - jX_{12\sigma}}{2\, R_2\, X_{12\sigma}}\, k \qquad (4)$$

Z zależności (4) wynika; że dla różnych wielkości "k", tzn. przy zmiennym module napięcia E_d, środki kół $\hat{I}_2 = f(s)$ poruszają się po prostej $\hat{S} = f(k)$ określonej równaniem (4). Prosta środków kół $\hat{S} = f(k)$ pokazana jest na rys. 2.

Jeżeli do równania (3) podstawimy $s = \infty$, otrzymamy:

$$\hat{I}_{2(\infty)} = \frac{\hat{E}_{20}}{r_1 + j\, X_{12\sigma}} \qquad (5)$$



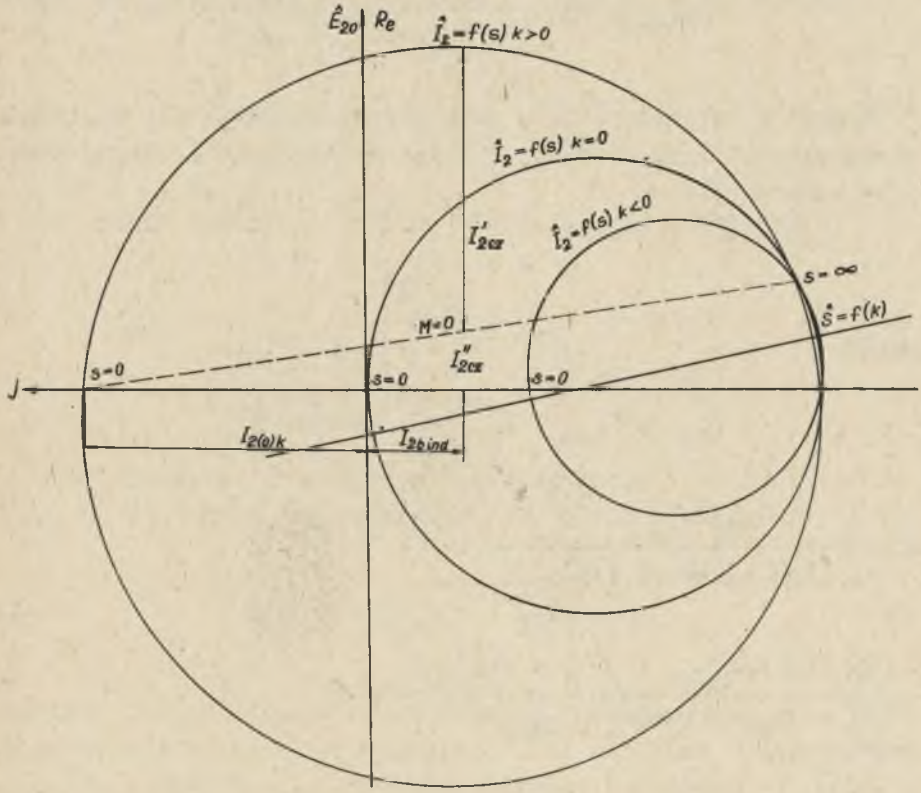
Rys.2

Prąd $\hat{I}_{2(\infty)}$ jest niezależny od wielkości napięcia dodatkowego. Rodzina kół $\hat{I}_2 = f(s)$ dla różnych wartości "k" przechodzi przez wspólny punkt $\hat{I}_{2(\infty)}$.

Jeżeli do równania (3) podstawimy s = 0, otrzymamy

$$\hat{I}_{2(o)} = \frac{jk\hat{E}_{20}}{R_2} \qquad (6)$$

Prąd $\hat{I}_{2(o)}$ dla różnych "k" jest zawsze prądem biernym. Na rys. 3 pokazana jest rodzina kół $\hat{I}_2 = f(s)$ dla różnych wartości "k".



Rys.3

2. WYZNACZENIE CHARAKTERYSTYKI MECHANICZNEJ

Równanie (3) można zapisać:

$$\hat{I}_2 = \hat{E}_{20} \frac{(R_2 + r_1 s + X_{12\sigma} k) s + j[(R_2 + r_1 s) k - X_{12\sigma} s^2]}{(R_2 + r_1 s)^2 + X^2_{12\sigma} s^2} \tag{7}$$

Stąd można wyznaczyć składową czynną i bierną prądu $\hat{I}_2$

$$I_{2cz} = E_{20} \frac{R_2 + r_1 s + X_{12\sigma} k}{(R_2 + r_1 s)^2 + X^2_{12\sigma} s^2} s$$

$$I_{2bind} = E_{20} \frac{X_{12\sigma} s^2 - (R_2 + r_1 s) k}{(R_2 + r_1 s)^2 + X^2_{12\sigma} s^2} \tag{8}$$

Moment rozwijany przez silnik przy założeniu, że amplituda strumienia głównego jest niezależna od obciążenia, można określić zależnością

$$M = C\, I'_{2cz}$$

gdzie

$$I'_{2cz} = I_{2cz} - I''_{2cz} \qquad \text{(z rys. 3)}$$

$$M = C \frac{E_{20} X_{12\sigma}}{[R_2 X_{12\sigma} + k(r_1^2 + X^2_{12\sigma})]} \cdot$$

$$\cdot \frac{(R_2^2 + 2kR_2 X_{12\sigma} + k^2 r_1^2 + k^2 X^2_{12\sigma})}{(R_2^2 + 2R_2 r_1 s + r_1^2 s^2 + X^2_{12\sigma} s^2} \cdot s \tag{9}$$

Przyrównując pierwszą pochodną funkcji $M = f(s)$ do zera, znajdujemy współrzędne punktu ekstremalnego charakterystyki mechanicznej silnika.

Po wykonanych operacjach matematycznych uzyskujemy:

$$s_{kr} = \pm \frac{R_2}{\sqrt{r_1^2 + X_{12\sigma}^2}} \tag{10}$$

$$M_{kr} = \frac{C\,E_{20}\,X_{12\sigma}}{R_2\left[R_2X_{12\sigma} + k(r_1^2+X_{12\sigma}^2)\right]} \cdot \frac{\left[R_2^2+2kR_2X_{12\sigma} + k^2(r_1^2+X_{12\sigma}^2)\right]}{2\left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + X_{12\sigma}^2}\right]} \tag{11}$$

Jeżeli do zależności (11) wstawiamy $k = 0$ wówczas otrzymamy

$$M_{kr(o)} = \frac{C\,E_{20}}{2\left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + X_{12\sigma}^2}\right]} \tag{12}$$

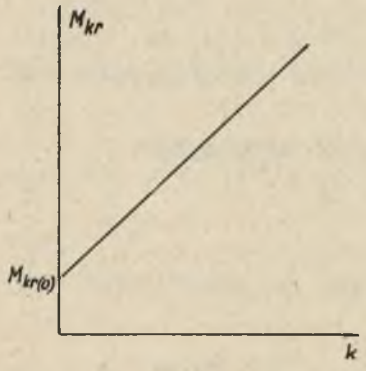
Wprowadzając wyrażenie (12) do równania (11) otrzymamy:

$$M_{kr} = \frac{M_{kr(o)}}{\dfrac{R_2\left[R_2X_{12\sigma} + k(r_1^2 + X_{12\sigma}^2)\right]}{X_{12\sigma}\left[R_2^2 + 2kR_2X_{12\sigma} + k^2(r_1^2 + X_{12\sigma}^2)\right]}} \tag{13}$$

W silnikach asynchronicznych większych mocy zachodzi, że $X_{12\sigma} \gg r_1$, wobec tego równanie (13) można zapisać:

$$M_{kr} \cong M_{kr(o)}\left(1 + \frac{X_{12\sigma}}{R_2}\,k\right) \tag{14}$$

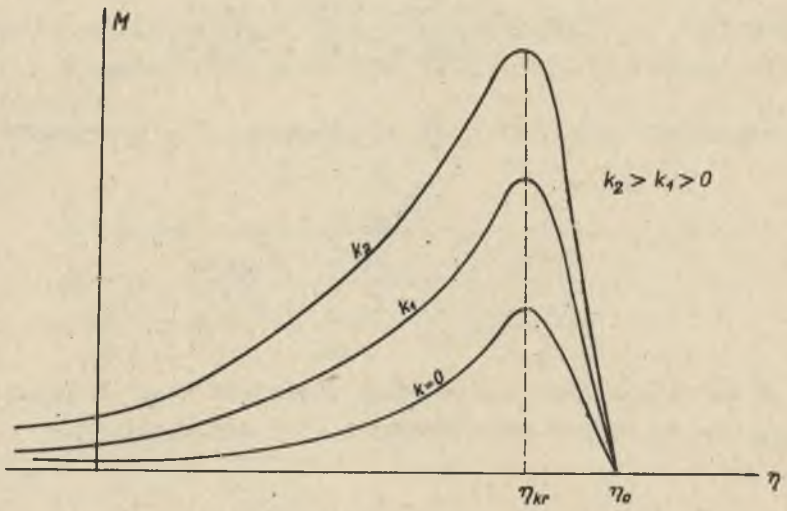
Równanie (14) przedstawiono w postaci graficznej na rys. 4. Z wyprowadzonych zależności wynika, że ze wzrostem dodatkowego napięcia wprowadzonego do obwodu wirnika 3 fazowego silnika asynchronicznego pierścieniowego, które jest przesunięte w



Rys.4

przód o $\pi/2$ w stosunku do napięcia indukowanego w wirniku, poślizg krytyczny pozostaje bez zmian, zaś moment krytyczny wzrasta prawie liniowo ze wzrostem amplitudy tego napięcia dodatkowego.

Rodzina charakterystyk mechanicznych trójfazowego silnika asynchronicznego pierścieniowego dla różnych wielkości modułu dodatkowego napięcia $\hat{E}_d = j\,k\,\hat{E}_{20}$ wprowadzonego do obwodu wirnika, pokazana jest na rys. 5.



Rys. 5

3. WNIOSKI

Wprowadzenie do obwodu wirnika trójfazowego silnika asynchronicznego pierścieniowego dodatkowego napięcia przesuniętego w stosunku do napięcia indukowanego o kąt $\pi/2$ w przód ($\hat{E}_d = j\,k\,\hat{E}_{20}$), uzyskujemy oprócz efektu poprawy współczynnika mocy tego silnika, drugi efekt wzrostu momentu krytycznego i momentu rozruchowego. Wzrostowi momentu krytycznego, przy niezmieniającym się poślizgu krytycznym, towarzyszy wzrost sztywności "prostoliniowej" części charakterystyki mechanicznej silnika.

Kompensowanie silnika asynchronicznego przez wprowadzenie dodatkowego napięcia do obwodu wirnika jest korzystne również i z punktu widzenia mechanicznego, szczególnie w takich układach napędowych, gdzie występuje krótkotrwałe przeciążenie silnika, np. przy napędzie walcarek nienawrotnych.

Rękopis złożono w redakcji w marcu 1964.

LITERATURA

[1] Kuczewski Z.: Charakterystyki mechaniczne silnika asynchronicznego trójfazowego przy regulacji prędkości obrotowej poprzez wprowadzenie dodatkowego napięcia do obwodu wirnika - Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" Nr 17 1964 r.

[2] Kuczewski Z.: Maszynowa kompensacja silnika asynchronicznego - Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" Nr 13 1962 r.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕНСИРОВАННОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Р е з ю м е

В статье выведено общее уравнение механической характеристики трехфазного асинхронного электродвигателя в случае ввода во вторичную цепь дополнительного напряжения передвиженного вперед на угол $\frac{\pi}{2}$ в направлении индуктированного напряжения.

MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE COMPENSATED ASYNCHRONOUS MOTOR

Summary

Derivation of the general equation of the mechanical Characteristics of the three - phase, asynchronous motor in the case of introducing to the circuit the an additional, secondary voltage in quadrature $\frac{\pi}{2}$ in relation to the induced voltage.