

EDWARD LAWERA

Katedra Elektroenergetyki

**ANALIZA PRZEBIEGU NAPIĘCIOWYCH CHARAKTERYSTYK  
STATYCZNYCH MOCY BIERNEJ POBIERANEJ PRZEZ  
SILNIKI SYNCHRONICZNE W ZALEŻNOŚCI OD WARUNKÓW  
PRACY, WŁASNOŚCI KONSTRUKCYJNYCH I PARAMETRÓW SILNIKÓW**

**Streszczenie.** W artykule podano wyniki przeprowadzonych badań zależności przebiegu napięciowych charakterystyk statycznych mocy biernej pobieranej przez silniki synchroniczne od wartości ich reaktancji synchronicznej, wielkości prądu wzbudzenia i stopnia obciążenia. Otrzymane wyniki obliczeń analitycznych zostały sprawdzone na drodze pomiarowej. W artykule zamieszczono również wyniki prób aproksymacji charakterystyk silników, otrzymanych na drodze pomiarowej.

**WSTĘP**

Napięciowa charakterystyka statyczna mocy biernej silnika synchronicznego  $Q_k = Q_k(U)$  podaje zależność pobieranej przez silnik mocy biernej w danych warunkach pracy od napięcia na jego zaciskach. Charakterystykę tą wyznacza się przy założeniu stałej częstotliwości napięcia zasilającego oraz niezmiennych: prądzie wzbudzenia i obciążeniu silnika mocą czynną w stosunku do wartości tych parametrów przy napięciu znamionowym. Znajomość zależności przebiegu charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  silników synchronicznych jest szczególnie istotna z uwagi na możliwość pomocniczego ich wykorzystania do kompensacji równoległej mocy biernej. Znaczenie tego zagadnienia wzrasta z uwagi na fakt coraz powszechniejszego stosowania silników synchronicznych do napędu urządzeń przemysłowych [1]. Wzrost znaczenia zagadnienia wykorzystania silników synchronicznych do kompensacji równoległej mocy biernej w ogólnym problemie gospodarki mocą bierną w systemie elektroenergetycznym wynika z następujących względów:

- możliwości i łatwości regulacji mocy biernej pobieranej przez silniki synchroniczne,
- znaczenie bardziej korzystnego przebiegu ich napięciowych charakterystyk pobieranej mocy biernej w porównaniu z kondensatorami statycznymi,
- możliwości stosowania silników synchronicznych, zarówno jako odbiorów jak i źródeł mocy biernej indukcyjnej.

W przeprowadzonych badaniach, których najbardziej istotne wyniki podano w niniejszym artykule, analizowano przebieg charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  silników synchronicznych w zależności od:

- wartości ich reaktancji synchronicznych  $X_d$ ,
- wielkości prądu wzbudzenia,
- stopnia obciążenia mocą czynną,
- wykonania wirnika silnika jako cylindrycznego lub jawnobiegunowego.

W artykule podano wyniki porównania charakterystyk silników wyznaczonych na drodze analitycznej i pomiarowej oraz wyniki prób aproksymacji charakterystyk pomierzonych. Zagadnienie, któremu poświęcony jest niniejszy artykuł traktowane jest w literaturze fragmentarycznie i niewyczerpująco.

### 1. RÓWNIANIA CHARAKTERYSTYK $Q_k = Q_k(U)$ SILNIKÓW SYNCHRONICZNYCH

Charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  silników synchronicznych można wyznaczać na drodze analitycznej lub pomiarowej [2]. W artykule charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  podawane są w jednostkach względnych przy czym są one odniesione do napięcia znamionowego i mocy biernej pobieranej przez silnik przy tym napięciu w określonych warunkach pracy. Takie przedstawianie charakterystyk jest najbardziej korzystne z punktu widzenia prowadzonej analizy.

Charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  silnika synchronicznego cylindrycznego można wyznaczyć analitycznie z równania wyprowadzonego na podstawie wykresu wektorowego silnika [2]:

$$Q_k = \frac{1}{C_1} \left[ \sqrt{D_1 U^2 - F_1 - U^2} \right] \quad (1)$$

w którym

$$C_1 = \sqrt{(1 + X_d^2 + 2 X_d \sin \varphi_N) \frac{I_w^2}{w} - (P_k \cos \varphi_N X_d)^2} - 1$$

$$D_1 = (1 + X_d^2 + 2 X_d \sin \varphi_N) \frac{I_w^2}{w}$$

$$F_1 = (P_k \cos \varphi_N X_d)^2$$

W równaniu tym:

$Q_k$  - moc bierna silnika odniesiona do mocy biernej odbieranej przez silnik przy napięciu znamionowym w danych warunkach pracy,

$U$  - napięcie zasilania silnika odniesione do napięcia znamionowego,

$P_k$  - moc czynna silnika odniesiona do jego mocy czynnej znamionowej,

$\underline{X}_d$  - reaktancja synchroniczna silnika odniesiona do reaktancji podstawowej  $X_p = \frac{U_N}{I_N}$ ,

$\underline{I}_w$  - prąd w uzwojeniu wzbudzenia odniesiony do znamionowego prądu wzbudzenia,

$\phi_N$  - kąt odpowiadający znamionowemu współczynnikowi mocy  $\cos\phi_N$  silnika.

Charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  silników jawnobiegunowych można dla stanu nienasyceńca wyznaczyć z podanego niżej układu równań [2], zakładając  $P_k = \text{constans}$ .

$$\left. \begin{aligned} Q_k &= C_2 \underline{U} \cos \delta + D_2 \underline{U}^2 \cos 2\delta - F_2 \underline{U}^2 \\ P_k &= C_3 \underline{U} \sin \delta + D_3 \underline{U}^2 \sin 2\delta \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

w których:

$$C_2 = \frac{\underline{E}_w}{\underline{X}_w \cos \delta_N + \frac{\underline{X}_d}{2} \left( \frac{1}{\underline{X}_q} - \frac{1}{\underline{X}_d} \right) \cos 2\delta_N - \frac{\underline{X}_d}{2} \left( \frac{1}{\underline{X}_q} + \frac{1}{\underline{X}_d} \right)}$$

$$D_2 = \frac{\left( \frac{1}{\underline{X}_q} - \frac{1}{\underline{X}_d} \right)}{2 \frac{\underline{E}_w}{\underline{X}_d} \cos \delta_N + \left( \frac{1}{\underline{X}_q} - \frac{1}{\underline{X}_d} \right) \cos 2\delta_N - \left( \frac{1}{\underline{X}_q} + \frac{1}{\underline{X}_d} \right)}$$

$$F_2 = \frac{\left( \frac{1}{\underline{X}_q} + \frac{1}{\underline{X}_d} \right)}{2 \frac{\underline{E}_w}{\underline{X}_d} \cos \delta_N + \left( \frac{1}{\underline{X}_q} - \frac{1}{\underline{X}_d} \right) \cos 2\delta_N - \left( \frac{1}{\underline{X}_q} + \frac{1}{\underline{X}_d} \right)}$$

$$C_3 = \frac{\underline{E}_w}{\underline{X}_d \cos \phi_N}$$

$$D_3 = \frac{1}{2 \cos \phi_N} \left( \frac{1}{\underline{X}_q} - \frac{1}{\underline{X}_d} \right)$$

Wartość siły elektromotorycznej  $E_w$  występującą w układzie równań (2) wyznacza się z relacji [2]:

$$E_w = \frac{1 - \sin \varphi_N (X_q + X_d) + X_q X_d}{\sqrt{1 + 2 X_q \sin \varphi_N + X_q^2}} I_w \quad (3)$$

W relacjach (2) i (3) oznaczono:

- $X_d, X_q$  - reaktancje synchroniczne silnika w osi podłużnej i poprzecznej odniesione do napięcia i prądu znamionowych silnika,
- $E_w$  - siła elektromotoryczna odpowiadająca prądowi  $I_w$  odniesiona do napięcia znamionowego,
- $\delta$  - kąt między  $U$  i  $E_w$ ,
- $\delta_N$  - kąt  $\delta$  wyznaczony dla danego reżimu pracy silnika przy napięciu znamionowym.

Pozostałe oznaczenia takie same jak w równaniu (1).

Wyznaczanie analityczne charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  silników jednobiegunowych jest uciążliwe i najlepiej jest wykorzystać do tego celu maszynę cyfrową [2]. Przeprowadzone badania [2] wykazały, że dla silników jawnobiegunowych o stosunku  $\frac{X_d}{X_q} \approx 0,65$  charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  można wyznaczać z zachowaniem wystarczającej dokładności z równania (1) obowiązującego dla silników cylindrycznych.

Charakterystykę  $Q_k = Q_k(U)$  silnika synchronicznego określają dwie wielkości:

- współczynnik nachylenia charakterystyki przy napięciu znamionowym

$$\beta_k = \frac{\partial Q}{\partial U} \frac{U_N}{Q_N}$$

- napięcie przy którym charakterystyka osiąga maksimum  $U_{max}$ .

Wielkości  $\beta_k$  i  $U_{max}$  charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  wyznaczone na podstawie równania (1) podają relacje:

$$\beta_k = \frac{2}{C_1} \left( \frac{D_1}{2 \sqrt{D_1 - F_1}} - 1 \right) \quad (4)$$

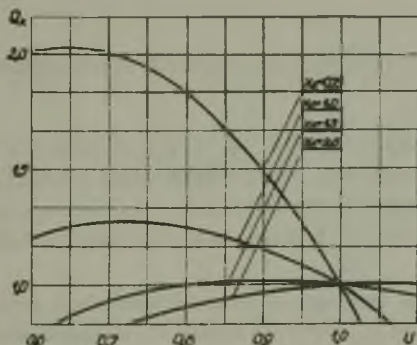
$$U_{max} = \sqrt{\frac{D_1 - F_1}{4} + \frac{F_1}{D_1}} \quad (5)$$

Wielkości  $\beta_k$  i  $U_{\max}$  określają jednoznacznie charakterystykę  $Q_k = Q_k(U)$  silników z punktu widzenia korzystnego przebiegu energetycznego. Silnik synchroniczny jako odbiór energetyczny i urządzenie kompensacyjne posiada tym korzystniejszą charakterystykę  $Q_k = Q_k(U)$ , im mniejsza jest wartość jej  $U_{\max}$  i względna wartość jej  $\beta_k$ .

## 2. ZALEŻNOŚĆ PRZEBIEGU CHARAKTERYSTYK $Q_k = Q_k(U)$ OD WARTOŚCI REAKTANCJI SYNCHRONICZNEJ SILNIKÓW

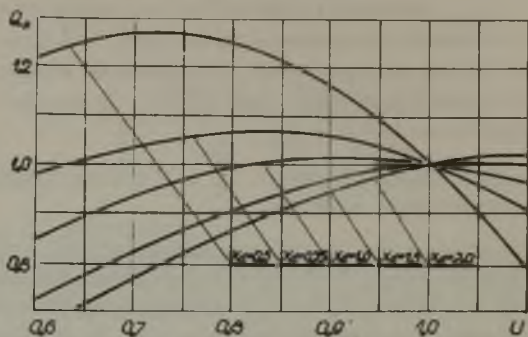
W celu zbadania zależności przebiegu charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  silników od wartości ich reaktancji synchronicznych przeprowadzono obliczenia charakterystyk oraz wielkości  $\beta_k$  i  $U_{\max}$  z relacji (1), (2), (4), (5) dla silników o wartościach  $X_d = 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2$ . W obliczeniach założono znamionowy współczynnik mocy silnika  $\cos \varphi_N = 0,8$  o charakterze pojemnościowym - jest to najczęściej praktycznie występująca wartość. Obliczenia przeprowadzono dla różnych wielkości prądu wzbudzenia  $I_w$  i stopnia obciążenia silnika mocą czynną  $P_k$ . Część z wyznaczonych charakterystyk podano na rysunkach 1,2,3. Wyznaczone wartości  $\beta_k$  i  $U_{\max}$  z równań (4) i (5) podano w tablicy 1.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że wzrost wartości reaktancji synchronicznej silników przy  $I_w = \text{const}$  i  $P_k = \text{const}$  powoduje wzrost względnych wartości  $\beta_k$  ich charakterystyk oraz wzrost wartości napięć  $U_{\max}$ , przy których charakterystyki te osiągają swoje maksimum w całym rozpatrywanym zakresie zmian  $X_d$ ,  $I_w$  i  $P_k$ . Np. przy  $P_k = 1,0$  i  $I_w = 1,0$  względna stromość charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  wynosi  $\beta_k = -1,85$  dla silników o  $X_d = 0,5$  i  $\beta_k = 0,71$  dla silników o  $X_d = 2,0$ ; wartości  $U_{\max}$  wzrastają w tym przypadku od 0,714 do 1,43 (p. tabl. 1). Przebieg charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  silników synchronicznych jako odbiorów i pomocniczych urządzeń kompensacyjnych jest korzystniejszy, z punktu widzenia eksploatacji systema elektroenergetycznego, dla silników o małych wartościach  $X_d$ .

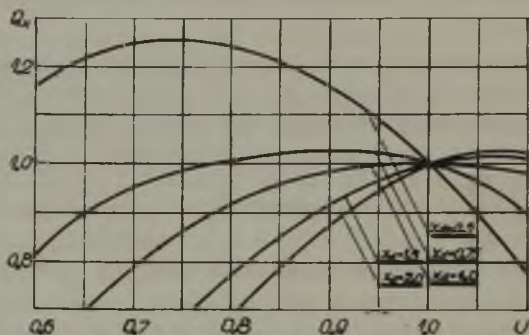


Rys. 1. Charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  obliczone dla silników synchronicznych o różnych wartościach  $X_d$  przy  $P_k = 0,5$  i  $I_w = 0,75$





Rys. 2. Charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  obliczone dla silników synchronicznych o różnych wartościach  $X_d$  przy  $\underline{P}_k = 0,5$  i  $\underline{I}_w = 1,0$



Rys. 3. Charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  obliczone dla silników synchronicznych o różnych wartościach  $X_d$ , przy  $\underline{P}_k = 1,0$  i  $\underline{I}_w = 1,0$

### 3. WPŁYW WIELKOŚCI PRĄDU WZBUDZENIA NA PRZEBIEG CHARAKTERYSTYK

#### $Q_k = Q_k(U)$ SILNIKÓW

Wykonane obliczenia charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  silników oraz wielkości  $\beta_k$  i  $U_{\max}$  dla różnych wartości prądu wzbudzenia pozwoliły ustalić zależność przebiegu charakterystyk od wartości  $\underline{I}_w$ . Na rysunku 4 podano rodziny charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  wykreślone dla różnych wartości  $\underline{I}_w$  przy określonych wielkościach  $\underline{P}_k$  i  $X_d$ .

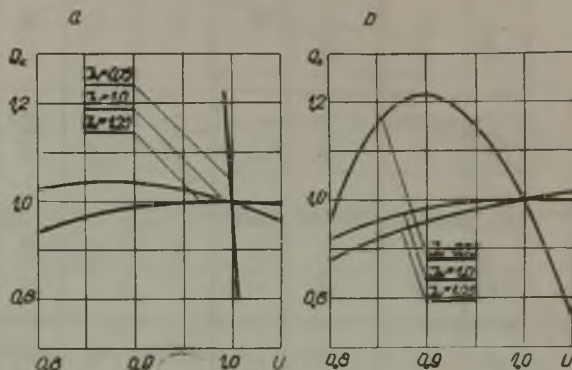
Z przeprowadzonych badań wynika, że wzrost wartości prądu wzbudzenia dla silników o tych samych  $X_d$  i  $\underline{P}_k$  prowadzi do wzrostu względnych wartości  $\beta_k$  i wzrostu wartości  $U_{\max}$ , w całym rozpatrywanym zakresie zmian  $X_d$ ,  $\underline{P}_k$  i  $\underline{I}_w$ . I tak np. dla silnika o  $\underline{X}_d = 1,0$  i  $\underline{P}_k = 1,0$  zmiana wartości prądu

Tablica 1

Wartości  $\rho_k$  i  $U_{\max}$  charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  silników synchronicznych o różnych  $X_d$ ,  $I_w$  i  $P_k$

$I_w$	$P_k$	$X_d = 0,5$		$X_d = 0,75$		$X_d = 1,0$		$X_d = 1,5$		$X_d = 2,0$	
		$\rho_k$	$U_{\max}$	$\rho_k$	$U_{\max}$	$\rho_k$	$U_{\max}$	$\rho_k$	$U_{\max}$	$\rho_k$	$U_{\max}$
0,9	0,5	-3,73	0,633	-1,44	0,737	-0,61	0,840	0,13	1,05	0,45	1,25
	0,75	-3,90	0,659	-1,45	0,774	-0,54	0,885	0,36	1,10	0,63	1,27
	1,0	-4,2	0,700	-1,51	0,824	-0,37	0,944	0,72	1,17	1,11	1,32
1,0	0,5	-1,86	0,696	-0,76	0,807	-0,25	0,921	0,29	1,15	0,53	1,39
	0,75	-1,85	0,714	-0,72	0,835	-0,12	0,954	0,42	1,18	0,71	1,43
	1,0	-1,85	0,746	-0,67	0,872	0,02	1,01	0,73	1,24	1,13	1,48
1,1	0,5	-1,04	0,760	-0,36	0,880	0,01	1,02	0,40	1,26	0,58	1,52
	0,75	-1,02	0,774	-0,30	0,900	0,08	1,04	0,50	1,29	0,73	1,55
	1,0	-1,01	0,798	-0,25	0,93	0,18	1,06	0,72	1,33	1,18	1,59

du wzbudzenia od  $\underline{I}_w = 0,9$  do  $\underline{I}_w = 1,1$  powoduje wzrost  $\beta_k$  od  $-0,37$  do  $0,18$  i wzrost wartości  $\underline{U}_{\max}$  od  $0,944$  do  $1,06$  (p. tabl. 1).



Rys. 4. Charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  obliczone dla silników synchronicznych o wartościach  $X_d = 0,75$  (a);  $X_d = 1,0$  (b) przy  $\underline{P}_k = 1$  oraz różnych  $\underline{I}_w$

Wpływ wartości prądu wzbudzenia na przebieg charakterystyki jest tym większy im mniejsza jest wartość  $X_d$ . Identyczne zmiany prądu wzbudzenia, jak podane wyżej (od  $0,9$  do  $1,1$ ) dla silników o  $X_d = 0,5$  i  $\underline{P}_k = 1,0$  powodują wzrost wartości  $\beta_k$  od  $-4,2$  do  $-1,01$  i  $\underline{U}_{\max}$  od  $0,70$  do  $0,798$  (p. tabl. 1).

Zmiany wartości  $\beta_k$  i  $\underline{U}_{\max}$  powodowane zmianą  $\underline{I}_w$  nie są ilościowo tak znaczne jak wywołane zmianą wartości  $X_d$  (p. tabl. 1). Należy również zwrócić uwagę na fakt, że obniżenie prądu wzbudzenia powoduje zmniejszenie mocy biernej pojemnościowej pobieranej przez silnik przy danej wartości napięcia zasilania. W związku z powyższym w praktyce korzystniejszy przebieg charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  nie będzie uzyskiwany poprzez zmniejszenie wartości  $\underline{I}_w$ .

#### 4. ZALEŻNOŚĆ PRZEBIEGU CHARAKTERYSTYK $Q_k = Q_k(U)$ OD STOPNIA OBCIĄŻENIA SILNIKÓW

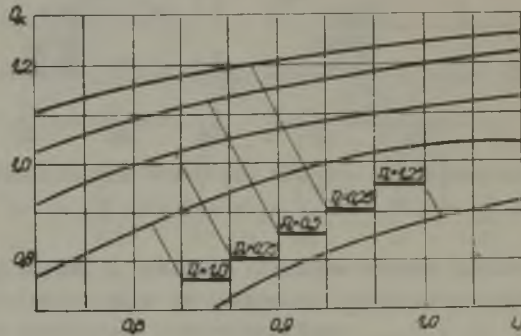
Dla przeanalizowania wpływu obciążenia silnika mocą czynną na przebieg jego charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  wykonano obliczenia charakterystyk i wartości  $\beta_k$  i  $\underline{U}_{\max}$  dla różnych wartości  $\underline{P}_k$  przy określonych wartościach  $\underline{I}_w$  i  $X_d$ . Wyniki tych obliczeń zebrano w tabelicy 1. Natomiast na rysunku 5 wykreślono rodziny charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  dla różnych wartości  $\underline{P}_k$ .

Z otrzymanych wyników obliczeń wynika, że wzrost obciążenia silnika mocą czynną powoduje wzrost względnych wartości  $\beta_k$  oraz napięć  $\underline{U}_{\max}$ . Wy-

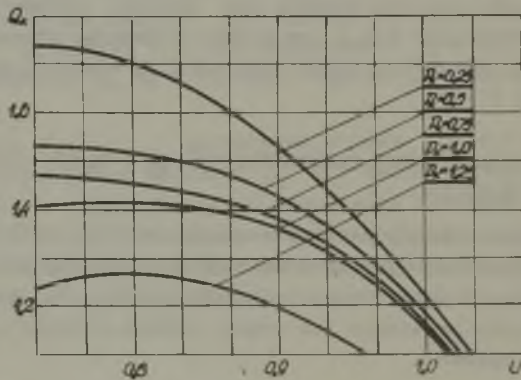




Część pomierzonych charakterystyk została wykreślona na rysunkach 6 i 7 oraz we wcześniejszym opracowaniu [2]. Charakterystyki te podane są w jednostkach względnych w odniesieniu do mocy biernej znamionowej silników. Wyznaczone na drodze pomiarowej charakterystyki potwierdzają wyniki badań analitycznych podane w pkt 2, 3, 4.



Rys. 6. Charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  wyznaczone dla silnika synchronicznego  
 $\circ \underline{X}_d = 1,47, \underline{I}_w = 1,0$  i różnych  $\underline{P}_k$



Rys. 7. Charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  wyznaczone dla silnika synchronicznego  
 $\circ \underline{X}_d = 0,79, \underline{I}_w = 1,0$  i różnych  $\underline{P}_k$

Równania charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  silników synchronicznych określone relacjami (1) i (2) posiadają dosyć skomplikowaną postać często utrudniającą praktyczne posługiwanie się nimi. Charakterystyki  $Q_k = Q_k(U)$  wyznaczone analitycznie z tych równań obarczone są również pewnymi błędami [2]. Powyższe względy stały się przyczyną zbadania możliwości aproksymacji charakterystyk wyznaczonych na drodze pomiarowej. Badania przeprowadzone przy pomocy metody "najmniejszych kwadratów" wykazały, że charakte-

Tablica 2

Równanie charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  silnika synchronicznego z wirnikiem cylindrycznym o  $\bar{x}_d = 1,47$  wyznaczonych na drodze pomiarowej, otrzymane w wyniku aproksymacji

Reżim pracy silnika	Równanie charakterystyki
$\underline{I}_w = 0,75$ $\underline{P}_k = 0,25$	$-1,56 U^2 + 2,95 U - 0,62$
$\underline{I}_w = 0,75$ $\underline{P}_k = 0,50$	$-2,14 U^2 + 3,96 U - 1,12$
$\underline{I}_w = 0,75$ $\underline{P}_k = 1,00$	$-2,36 U^2 + 4,80 U - 2,01$
$\underline{I}_w = 1,00$ $\underline{P}_k = 0,25$	$-1,07 U^2 + 2,40 U - 0,07$
$\underline{I}_w = 1,00$ $\underline{P}_k = 0,50$	$-1,07 U^2 + 2,52 U - 0,24$
$\underline{I}_w = 1,00$ $\underline{P}_k = 1,00$	$-2,50 U^2 + 5,35 U - 1,82$
$\underline{I}_w = 1,25$ $\underline{P}_k = 0,25$	$-1,29 U^2 + 3,03 U - 0,03$
$\underline{I}_w = 1,25$ $\underline{P}_k = 0,50$	$-2,07 U^2 + 4,56 U - 0,74$
$\underline{I}_w = 1,25$ $\underline{P}_k = 1,00$	$-2,14 U^2 + 5,03 U - 1,26$

Tablica 3

Równania charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  silnika synchronicznego z wirnikiem jawnobiegunowym o  $\bar{x}_d = 0,79$  wyznaczonych na drodze pomiarowej, otrzymane w wyniku aproksymacji

Reżim pracy silnika	Równanie charakterystyki
$\underline{I}_w = 0,76$ $\underline{P}_k = 0,25$	$-5,11 U^2 + 6,85 U - 1,44$
$\underline{I}_w = 0,76$ $\underline{P}_k = 0,50$	$-6,11 U^2 + 6,60 U - 2,19$
$\underline{I}_w = 0,76$ $\underline{P}_k = 1,00$	$-6,61 U^2 + 9,93 U - 3,18$
$\underline{I}_w = 1,05$ $\underline{P}_k = 0,25$	$-6,04 U^2 + 8,61 U - 1,34$
$\underline{I}_w = 1,05$ $\underline{P}_k = 0,50$	$-6,29 U^2 + 9,51 U - 2,05$
$\underline{I}_w = 1,05$ $\underline{P}_k = 1,00$	$-7,43 U^2 + 11,94 U - 3,36$
$\underline{I}_w = 1,32$ $\underline{P}_k = 0,25$	$-9,00 U^2 + 15,06 U - 3,99$
$\underline{I}_w = 1,32$ $\underline{P}_k = 0,50$	$-8,25 U^2 + 13,66 U - 3,37$
$\underline{I}_w = 1,32$ $\underline{P}_k = 1,00$	$-7,75 U^2 + 14,57 U - 4,16$

rystyki wyznaczone na drodze pomiarowej można, z zachowaniem wystarczającej dokładności opisać wielomianem drugiego stopnia:

$$Q_k = -a U^2 + bU - c \quad (6)$$

Maksymalny błąd aproksymacyjny nie przekraczał 4% mocy biernej znamionowej silnika. Wyznaczone równania charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  podano w tablicach 2 i 3.

## 6. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń analitycznych i badań pomiarowych, których wyniki podano w niniejszym artykule, można sformułować następujące wnioski dotyczące zależności przebiegu charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  silników synchronicznych od ich parametrów i warunków pracy:

- względna wartość współczynnika  $\beta_k$  nachylenia charakterystyk oraz napięcia  $U_{\max}$ , przy których osiągają one swoje maksimum są tym mniejsze im mniejsza jest wartość reaktancji synchronicznej  $X_d$  silników. Małe wartości  $U_{\max}$  i względnych  $\beta_k$  charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  silników synchronicznych jako odbiorów i pomocniczych urządzeń kompensacyjnych są korzystne z punktu widzenia eksploatacji systemu energetycznego,
- względna wartość współczynnika  $\beta_k$  i napięcie  $U_{\max}$  maleją również wraz ze zmniejszaniem stopnia obciążenia silników mocą czynną. Jednocześnie zmniejszanie stopnia obciążenia silników powoduje wzrost pobieranej przez nie mocy biernej pojemnościowej,
- obniżanie wartości prądu wzbudzenia prowadzi do obniżania względnych wartości współczynników  $\beta_k$  i obniżania wartości  $U_{\max}$  charakterystyk, jednocześnie jednak powoduje obniżenie wartości mocy biernej pojemnościowej pobieranej przez silniki synchroniczne.

Przeprowadzone próby aproksymacji charakterystyk  $Q_k = Q_k(U)$  silników synchronicznych wyznaczonych na drodze pomiarowej wykazały, że charakterystyki te można z wystarczającą dokładnością opisać przy pomocy wielomianu drugiego stopnia.

## LITERATURA

- [1] Hellman W.: Regulacja napięcia i rozkładu mocy biernej w polskim systemie elektroenergetycznym. Referat opracowany dla KMiT, W-wa wrzesień 1969.
- [2] Lawera E., Berndt A.: Wyznaczanie statycznych napięciowych charakterystyk mocy biernej pobieranej przez silniki synchroniczne. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" z. 28, 1970 r.
- [3] Plamitzer A.: Maszyny elektryczne WET W-wa 1962 r.

przyjęto do druku w październiku 1970 r.

АНАЛИЗ ПРОБЕГА СТАТИЧЕСКИХ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ, ПОЛУЧАЕМОЙ СИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА РАБОТЫ, КОНСТРУКЦИОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ

## Резюме

Приведены результаты исследования зависимости пробега статических вольт-амперных характеристик реактивной мощности, получаемой синхронными двигателями от величины их синхронного реактанта, величины тока возбуждения и степени нагрузки. Полученные результаты аналитических расчетов были проверены путём измерений.

В статье представлены испытания аппроксимации характеристик двигателей полученных путём измерений.

ANALYSIS OF STATIC VOLTAGE CHARACTERISTICS COURSE OF REACTIVE POWER ABSORBED BY SYNCHROUS MOTORS IN DEPENDANCE ON WORKING CONDITIONS, STRUCTURAL PROPERTIES AND MOTORS PARAMETERS

## Summary

In the article there are given results of tests carried out of reactive power absorbed by synchronous motors voltage static characteristics course dependance of motors reactance values, exciting current magnitude and load factor. The received analytical calculations results were checked on the measurement way.

In this article there are also presented trials results of approximation of motors characteristics received on the measurement way.