

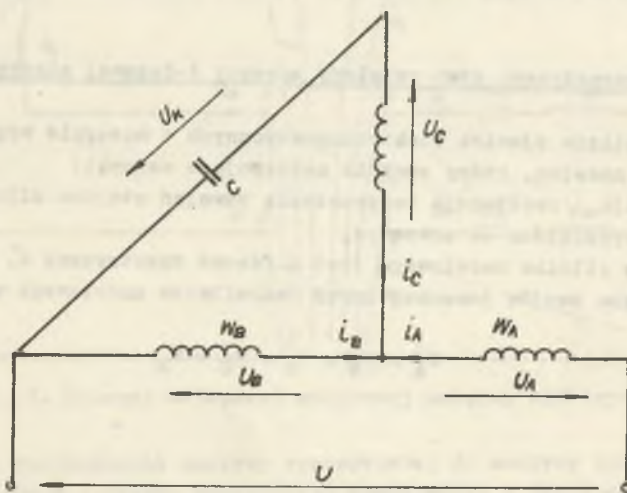
Władysław Paszek, Roman Miksiewicz
Zakład Maszyn Elektrycznych
Politechniki Śląskiej

PORÓWNANIE CHARAKTERYSTYK JEDNOFAZOWEGO SILNIKA INDUKCYJNEGO
Z KONDENSATOREM PRACY O UZWOJENIU STOJANA W UKŁADZIE T LUB L

Streszczenie. W oparciu o teorię maszyny 4-fazowej oraz teorię składowych symetrycznych, przedstawiono analityczną metodę porównawczą charakterystyk silników indukcyjnych jednofazowych z uzwojeniem stojana typu T i L. Zamieszczono wyniki badań silników modelowych z uzwojeniem stojana typu T wykonanych na elementach konstrukcyjnych silnika seryjnego z uzwojeniem typu L. Wykazano, że możliwe jest uzyskanie równorzędnych charakterystyk silnika z uzwojeniem typu T i L przy identycznym wirniku, jednakowej mocy kondensatora i jednakowej objętości miedzi w uzwojeniu stojana. Dla silnika z uzwojeniem typu T kondensator może mieć niższe napięcie znamionowe.

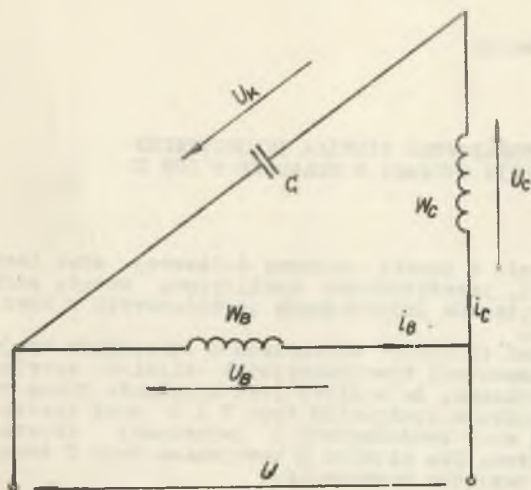
1. Wstęp

Celem artykułu jest analiza porównawcza parametrów elektromagnetycznych silnika indukcyjnego jednofazowego z uzwojeniem stojana w układzie połączeń T z parametrami elektromagnetycznymi silnika z uzwojeniem syme-



Rys. 1. Silnik jednofazowy z uzwojeniem typu T

trycznym (układ L). Układy połączeń uzwojeń stojana dla obu typów uzwojeń przedstawiono na rys. 1 i 2.



Rys. 2. Silnik jednofazowy z uzwojeniem typu L

Analizę porównawczą parametrów elektromagnetycznych silników z uzwojeniami typu T i L wygodnie przeprowadzić korzystając z tych samych zależności ogólnych. W tym celu skorzystano z teorii maszyny 4-fazowej niesymetrycznej. Układ połączeń T oraz L stanowi szczególny przypadek maszyny 4-fazowej niesymetrycznej o asymetrii zasilania. Zależności ogólne na moment elektromagnetyczny, prądy w fazach wyprowadzone dla maszyny 4-fazowej obowiązują dla obu układów połączeń uzwojeń.

Porównanie przeprowadzono dla stanu ustalonego, przy zasilaniu napięciem sinusoidalnie zmiennym przyjmując następujące uproszczenia:

- uwzględniono tylko 1 harmoniczną przestrzenną przepływu magnetycznego,
- przyjęto nienasycony obwód magnetyczny ($\mu = \text{const}$),
- pominięto straty w żelazie ($\Delta P_{Fe} = 0$).

2. Elektromagnetyczny stan ustalony maszyny 4-fazowej niesymetrycznej

Przy analizie zjawisk elektromagnetycznych w maszynie wygodnie jest posłużyć się modelem, który spełnia następujące warunki:

- rezystancja i reaktancja rozproszenia uzwojeń stojana silnika modelowego jest wydzielona na zewnątrz,
- uzwojenie silnika modelowego jest 4-fazowe symetryczne A', B', C', D' przy czym liczba zwojów poszczególnych faz silnika modelowego wynosi:

$$W'_A = W'_B = W'_C = W'_D = W_B$$

Z równań przepływu i równań SEM dla silnika rzeczywistego i silnika modelowego wynikają związki:

$$i_k' = \psi_k' i_k$$

$$U_k' = \frac{1}{\psi_k'} U_k \quad (1)$$

$$Z_k' = Z_k \left(\frac{1}{\psi_k'}\right)^2$$

gdzie:

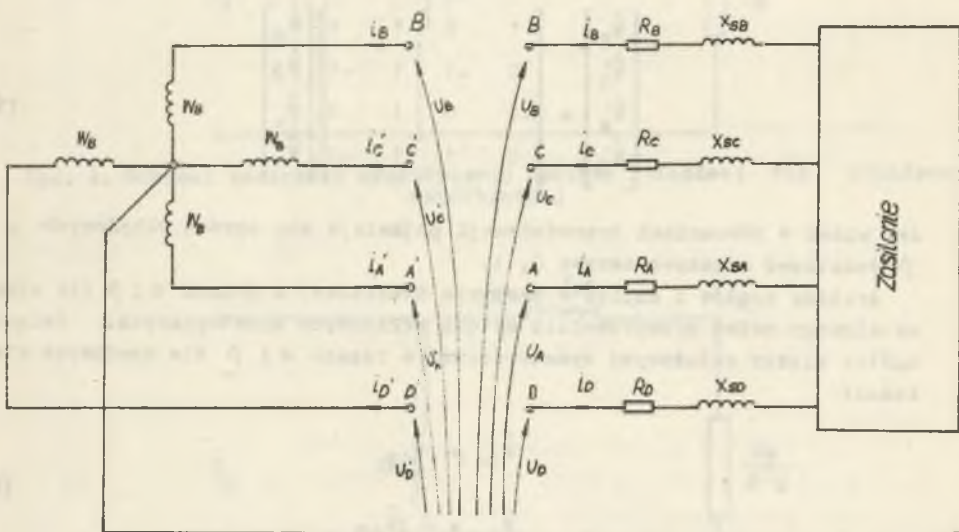
$$\psi_k' = \frac{W_k k_{Uk}}{W_B k_{UB}}$$

i_k, U_k, Z_k - prąd, napięcie, impedancja (rezystancja i reaktancja rozproszenia) fazy k silnika modelowego,

i_k', U_k', Z_k' - prąd, napięcie, impedancja fazy k silnika rzeczywistego, $k = A, B, C, D$

W_k - liczba zwojów w fazie k,

k_{Uk} - współczynnik uzwojenia fazy k.



Rys. 3. Schemat 4-fazowej modelowej maszyny symetrycznej

W wyniku sprowadzenia maszyny rzeczywistej do maszyny modelowej, otrzymuje się maszynę 4-fazową symetryczną wewnątrz z przewodem zerowym, zasilaną w ogólnym przypadku z sieci niesymetrycznej. Schemat układu połączeń przedstawiono na rys. 3.

R_A, R_B, R_C, R_D - rezystancje uzwojeń faz A, B, C, D

$X_{sA}, X_{sB}, X_{sC}, X_{sD}$ - reaktancje rozproszeń faz A, B, C, D.

Stosując transformację α, β sprowadzono maszynę symetryczną 4-fazową do maszyny 2-fazowej symetrycznej o fazach α i β . Położenie osi α i β przyjęto tak, aby oś fazy α pokrywała się z osią fazy B. Zakładając stan ustalony maszyny oraz przebiegi czasowe napięć i prądów sinusoidalnie zmienne, wprowadzono rachunek symboliczny i przyjęto:

$$W_k(t) = \sqrt{2} \operatorname{Im} \left\{ \hat{W}_k e^{j\omega t} \right\}$$

dla $k = A, B, C, D$.

Wówczas równania transformacji mają postać:

$$\begin{bmatrix} 2 \hat{W}_\alpha \\ 2 \hat{W}_\beta \\ 4 \hat{W}_0 \\ 4 \hat{W}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{W}_B \\ \hat{W}_C \\ \hat{W}_A \\ \hat{W}_D \end{bmatrix} \quad (2)$$

Transformacja odwrotna:

$$\begin{bmatrix} \hat{W}_B \\ \hat{W}_C \\ \hat{W}_A \\ \hat{W}_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{W}_\alpha \\ \hat{W}_\beta \\ \hat{W}_0 \\ \hat{W}_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Jak widać w równaniach transformacji pojawiają się oprócz składowych α i β dodatkowo składowe zerowe 0, 1.

Analizę prądów i napięć w maszynie dwufazowej o osiach α i β dla stanu ustalonego można przeprowadzić metodą składowych symetrycznych. Związki ogólne między składowymi symetrycznymi w fazach α i β dla dowolnych wielkości:

$$\begin{aligned} \hat{W}_{1\alpha} &= j\hat{W}_{1\beta} \\ \hat{W}_{2\alpha} &= -j\hat{W}_{2\beta} \end{aligned} \quad (4)$$

oraz

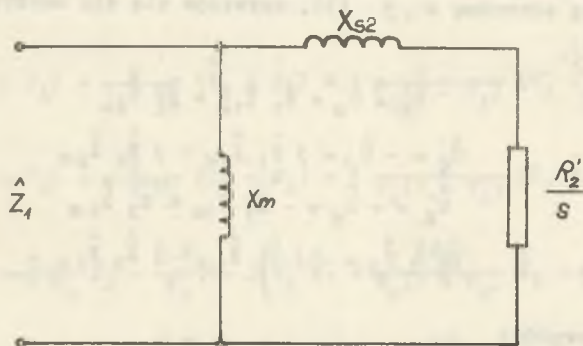
$$\begin{aligned}\hat{W}_{1\alpha} &= \frac{\hat{W}_\alpha}{2} + j \frac{\hat{W}_\beta}{2} \\ \hat{W}_{2\alpha} &= \frac{\hat{W}_\alpha}{2} - j \frac{\hat{W}_\beta}{2}\end{aligned}\quad (5)$$

Równania napięć:

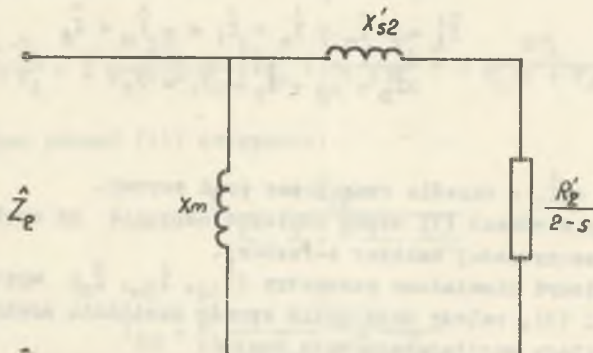
$$\begin{aligned}\hat{U}_\alpha &= \hat{U}_{1\alpha} + \hat{U}_{2\alpha} \\ \hat{U}_\beta &= \hat{U}_{1\beta} + \hat{U}_{2\beta}\end{aligned}\quad (6)$$

lub

$$\begin{aligned}\hat{U}_\alpha &= \hat{Z}_1 \hat{I}_{1\alpha} + \hat{Z}_2 \hat{I}_{2\alpha} \\ \hat{U}_\beta &= \hat{Z}_1 \hat{I}_{1\beta} + \hat{Z}_2 \hat{I}_{2\beta}\end{aligned}\quad (7)$$



Rys. 4. Schemat zastępczy symetrycznej maszyny 2-fazowej dla składowej współbieżnej



Rys. 5. Schemat zastępczy symetrycznej maszyny 2-fazowej dla składowej przeciwbieżnej

Schematy zastępcze dla składowej współbieżnej i przeciwbieżnej maszyny 2-fazowej symetrycznej dla stanu ustalonego przedstawiono na rys. 4 i 5, gdzie:

$X_m = \omega_0 L_m$ - reaktancja magnesująca,

$X'_{s2} = \omega_0 L'_{s2}$ - sprowadzona na fazę B reaktancja rozproszenia wirnika,

R'_2 - sprowadzona na fazę B rezystancja wirnika.

W dalszej części wyprowadzono zależności na parametry elektromagnetyczne silników z uzwojeniem typu T i L uwzględniając odpowiednio niesymetrię wewnętrzną oraz niesymetrię zasilania.

3. Parametry elektromagnetyczne silnika z uzwojeniem typu T

Uwzględniając przerwę w fazie D ($R_D = \infty$), równania (7) oraz stosując transformację odwrotną α, β (3), uzyskuje się dla maszyny modelowej równania napięć:

$$\begin{aligned}\hat{U}'_B &= \hat{U}'_\alpha = \hat{Z}_1 \hat{I}'_{1\alpha} + \hat{Z}_2 \hat{I}'_{2\alpha} \\ \hat{U}'_C &= -\hat{U}'_\beta = j \hat{Z}_1 \hat{I}'_{1\alpha} - j \hat{Z}_2 \hat{I}'_{2\alpha} \\ \hat{U}'_A &= -\hat{U}'_\alpha = -\hat{Z}_1 \hat{I}'_{1\alpha} - \hat{Z}_2 \hat{I}'_{2\alpha} \\ \hat{U}'_D &= \hat{U}'_\beta = -j \hat{Z}_1 \hat{I}'_{1\alpha} + j \hat{Z}_2 \hat{I}'_{2\alpha}\end{aligned}\quad (8)$$

i równania prądów:

$$\begin{aligned}\hat{I}'_B &= \hat{I}'_\alpha + \hat{I}'_0 + \hat{I}'_1 = \hat{I}'_\alpha + \hat{I}'_d \\ \hat{I}'_C &= -\hat{I}'_\beta + \hat{I}'_0 - \hat{I}'_1 = -2\hat{I}'_\beta \\ \hat{I}'_A &= -\hat{I}'_\alpha + \hat{I}'_0 + \hat{I}'_1 = -\hat{I}'_\alpha + \hat{I}'_d \\ \hat{I}'_D &= \hat{I}'_\beta + \hat{I}'_0 - \hat{I}'_1 = 0,\end{aligned}\quad (9)$$

gdzie:

$\hat{I}'_d = \hat{I}'_0 + \hat{I}'_1$ - określa sumaryczny prąd zerowy.

Korzystając z równań (1) można obliczyć napięcie na zaciskach oraz prądy w faszach rzeczywistej maszyny 4-fazowej.

Aby obliczyć niewiadome parametry ($\hat{I}'_{1\alpha}, \hat{I}'_{2\alpha}, \hat{I}'_\alpha$) występujące w równaniach (8) i (9), należy uwzględnić sposób zasilania maszyny.

Równania układu zasilającego mają postać:

$$\begin{aligned}\hat{U}'_B - \hat{U}'_A + \hat{I}'_B \hat{Z}_B - \hat{I}'_A \hat{Z}_A &= \hat{U} \\ \hat{U}'_B - \hat{U}'_C + \hat{I}'_B \hat{Z}_B - \hat{I}'_C \hat{Z}_C &= 0,\end{aligned}\quad (10)$$

gdzie:

$$\begin{aligned}\hat{Z}_A &= R_A + j X_{sA} \\ \hat{Z}_B &= R_B + j X_{sB} \\ \hat{Z}_C &= R_C + j(X_{sC} - X_k)\end{aligned}$$

X_k - reaktancja kondensatora.

Uwzględniając związki (1), (8), (9) w równaniach (10) otrzymano:

$$\begin{aligned}\hat{Z}_{11} \hat{I}_{1\alpha} + \hat{Z}_{12} \hat{I}_{2\alpha} &= 0 \\ \hat{Z}_{21} \hat{I}_{1\alpha} + \hat{Z}_{22} \hat{I}_{2\alpha} &= \hat{U},\end{aligned}\quad (11)$$

gdzie:

$$\begin{aligned}\hat{Z}_{11} &= \hat{Z}_1(1 + v_A) + \frac{2}{1 + v_A} (\hat{Z}_B + \hat{Z}_A) - j \frac{2}{v_C(1 + v_A)} (v_A \hat{Z}_B - \hat{Z}_A) \\ \hat{Z}_{12} &= \hat{Z}_2(1 + v_A) + \frac{2}{1 + v_A} (\hat{Z}_B + \hat{Z}_A) + j \frac{2}{v_C(1 + v_A)} (v_A \hat{Z}_B - \hat{Z}_A) \\ \hat{Z}_{21} &= \hat{Z}_1 + \frac{2}{1 + v_A} \hat{Z}_B - \frac{2 X_k}{v_C} - j \left[v_C \hat{Z}_1 + \frac{2 v_A}{v_C(1 + v_A)} \hat{Z}_B + \frac{2}{v_C} \hat{Z}_A \right] \\ \hat{Z}_{22} &= \hat{Z}_2 + \frac{2}{1 + v_A} \hat{Z}_B + \frac{2 X_k}{v_C} + j \left[v_C \hat{Z}_2 + \frac{2 v_A}{v_C(1 + v_A)} \hat{Z}_B + \frac{2}{v_C} \hat{Z}_A \right]\end{aligned}\quad (12)$$

Prąd składowych zerowych:

$$\hat{I}_d = \left[\frac{1 - v_A}{1 + v_A} - j \frac{2 v_A}{v_C(1 + v_A)} \right] \hat{I}_{1\alpha} + \left[\frac{1 - v_A}{1 + v_A} + j \frac{2 v_A}{v_C(1 + v_A)} \right] \hat{I}_{2\alpha} \quad (13)$$

Rozwiązując układ równań (11) otrzymano:

$$\begin{aligned}\hat{I}_{1\alpha} &= -\hat{U} \frac{\hat{Z}_{22}}{\hat{Z}_{12} \hat{Z}_{21} - \hat{Z}_{11} \hat{Z}_{22}} \\ \hat{I}_{2\alpha} &= \hat{U} \frac{\hat{Z}_{21}}{\hat{Z}_{12} \hat{Z}_{21} - \hat{Z}_{11} \hat{Z}_{22}}\end{aligned}\quad (14)$$

Moment elektromagnetyczny silnika jest sumą momentu pochodzącego od składowej współbieżnej i przeciwbieżnej:

$$M = m \frac{p}{\omega_0} (I_{1\alpha}^2 R_1 - I_{2\alpha}^2 R_2) \quad (15)$$

$m = 4$ - liczba faz stojana

p - liczba par biegunów

$$\omega_0 = 2\pi f$$

$$R_1 = R_e \left\{ \hat{z}_1 \right\}$$

$$R_2 = R_e \left\{ \hat{z}_2 \right\}$$

W silniku jednofazowym z kondensatorem pracy w ogólnym przypadku występuje wirujące pole eliptyczne. Warunek powstawania pola kołowego może stanowić kryterium doboru pojemności kondensatora dla założonego poślizgu. Pole eliptyczne przechodzi w pole kołowe gdy znika składowa przeciwbieżna tego pola, czyli

$$\hat{I}_{2\alpha} = 0$$

Warunek ten jest równoważny równaniu:

$$\hat{z}_{21} = 0 \quad (16)$$

czyli:

$$\hat{z}_1 + \frac{2}{1 + v_A} \hat{z}_B - \frac{2 X_k}{v_c} - j \left[v_c \hat{z}_1 + \frac{2 v_A}{v_c (1 + v_A)} \hat{z}_B + \frac{2}{v_c} \hat{z}_A \right] = 0$$

Porównując część rzeczywistą i urojoną do zera otrzymano:

$$X_1 v_c + R_1 + \frac{2}{1 + v_A} R_B + (2X_{BC} - 2X_k + \frac{2v_A}{1 + v_A} X_{SB}) \frac{1}{v_c} = 0 \quad (17)$$

oraz

$$R_1 v_c - (X_1 + \frac{2}{1 + v_A} X_{SB}) - (\frac{2v_A}{1 + v_A} R_B + 2R_c) \frac{1}{v_c} = 0 \quad (18)$$

Równania (17) i (18) posiadają zmienne: v_A , v_c , s , X_k , można więc je rozwiązać traktując niektóre z tych wielkości jako parametr znany. Przyjmując jako parametry v_A oraz s , można obliczyć z obu równań v_c oraz X_k .

Obliczone ψ_c i X_k posiadają złożoną postać, są funkcjami zmiennych:

$$\psi_c = f(\psi_A, s)$$

$$X_k = f(\psi_A, \psi_c, s)$$

Dla założonego poślizgu s oraz przekładni np. ψ_A zawsze można dobrać przekładnię ψ_c oraz pojemność kondensatora C tak, aby otrzymać pole kołowe. Prostsze wyrażenia można otrzymać jeżeli założy się ψ_c oraz s . Wtedy wyrażenie na ψ_A i X_k przyjmuje postać:

$$\psi_A = \frac{-R_1 \psi_c^2 + (X_1 + 2X_{SB}) \psi_c + 2R_C}{R_1 \psi_c^2 - X_1 \psi_c - 2R_C - 2R_B} \quad (19)$$

$$X_k = \frac{X_1 \psi_c^2}{2} + \frac{R_1 \psi_c}{2} + X_{SC} + \frac{1}{1 + \psi_A} (\psi_c R_B + \psi_A X_{SB})$$

Napięcie na kondensatorze w ogólnym przypadku:

$$\hat{U}_k = -j \hat{I}_c X_k = -\frac{2X_k \hat{U}}{\psi_c} \frac{\hat{Z}_{21} + \hat{Z}_{22}}{\hat{Z}_{12} \hat{Z}_{21} - \hat{Z}_{11} \hat{Z}_{22}} \quad (20)$$

$$\hat{U}_k = -\hat{U} \frac{2X_k \hat{L}_T}{\psi_c \hat{M}_T}$$

gdzie:

$$\hat{L}_T = \hat{Z}_1 + \hat{Z}_2 + \frac{4}{1 + \psi_A} \hat{Z}_B + j \psi_c (\hat{Z}_2 - \hat{Z}_1)$$

$$\hat{M}_T = f(\psi_A, \psi_c, s, X_k)$$

4. Parametry elektromagnetyczne silnika z uzwojeniem typu L

Silnik z uzwojeniem typu L można traktować jako szczególny przypadek silnika z uzwojeniem typu T uwzględniając:

$$\begin{aligned} \psi_A &= 0 \\ \psi_c &= 0 \end{aligned} \quad (21)$$

Wówczas upraszczają się wyrażenia na impedancję \hat{Z}_{11} , \hat{Z}_{12} , \hat{Z}_{21} , \hat{Z}_{22} :

$$\hat{Z}_{11} = \hat{Z}_1 + 2\hat{Z}_B$$

$$\hat{Z}_{12} = \hat{Z}_2 + 2\hat{Z}_B$$

(22)

$$\hat{Z}_{21} = \hat{Z}_1 + 2\hat{Z}_B - \frac{2X_k}{\psi_c} - j\psi_c \hat{Z}_1 - j\frac{2}{\psi_c} \hat{Z}_c$$

$$\hat{Z}_{22} = \hat{Z}_2 + 2\hat{Z}_B + \frac{2X_k}{\psi_c} + j\psi_c \hat{Z}_2 + j\frac{2}{\psi_c} \hat{Z}_c$$

Prąd zerowy (po wstawieniu zależności (21) do równania (13)) wynosi:

$$\hat{I}_d = \hat{I}_{1\alpha} + \hat{I}_{2\alpha} = \hat{I}_\alpha \quad (23)$$

Prądy w poszczególnych fazach maszyny symetrycznej sprowadzonej:

$$\hat{I}_B = 2\hat{I}_\alpha$$

$$\hat{I}'_C = -2\hat{I}_\beta \quad (24)$$

$$\hat{I}_A = 0$$

Warunkiem otrzymania pola kołowego w silniku z uzwojeniem typu L jest spełnienie zależności (16).

Z warunku tego otrzymano:

$$X_1 \psi_c^2 + (R_1 + 2R_B) \psi_c + 2(X_{sC} - X_k) = 0 \quad (25)$$

$$R_1 \psi_c^2 - (X_1 + 2X_{sB}) \psi_c - 2R_C = 0$$

Dla poślizgu s można obliczyć przekładnię ψ_c i dla tak dobranej przekładni obliczyć pojemność kondensatora.

Zależność ogólna na napięcie na kondensatorze:

$$\hat{U}_k = -\hat{U} \frac{2X_k}{\psi_c} \frac{\hat{I}_L}{M_L} \quad (26)$$

gdzie:

$$\hat{I}_L = \hat{Z}_1 + \hat{Z}_2 + 4\hat{Z}_B - j \hat{\psi}_C (\hat{Z}_2 - \hat{Z}_1)$$

$$\hat{M}_L = f(\hat{\psi}_C, s, X_k)$$

5. Porównanie parametrów elektromagnetycznych silnika z uzwojeniem typu T z parametrami silnika z uzwojeniem typu L

Wyrażenia na prądy fazowe i momenty elektromagnetyczne otrzymane dla obu typów uzwojeń są funkcjami tych samych parametrów podstawowych: \hat{Z}_1 , \hat{Z}_2 , \hat{Z}_A , \hat{Z}_B , \hat{Z}_C , $\hat{\psi}_A$, $\hat{\psi}_C$, X_k . Jednakże różne są konkretne wartości tych parametrów dla optymalnie zaprojektowanego silnika z uzwojeniem typu T i typu L. Dlatego też dokładna analiza matematyczna jest utrudniona. Wydaje się, że najkorzystniej należało w oparciu o przybliżone obliczenia wykonać silniki modelowe z nowo zaprojektowanym uzwojeniem typu T i porównać je na podstawie wyników badań z uzwojeniem typu L stosowanym w silnikach seryjnych. Należy przy tym przyjąć, że silnik produkowany z uzwojeniem L jest zaprojektowany optymalnie. Celem umożliwienia przeprowadzenia takiej analizy zaprojektowano silniki modelowe z uzwojeniem typu T na bazie silnika SEe 56-4A wykonywanego z uzwojeniem L. Przyjęto ten sam obwód magnetyczny stojana i wirnika, identyczne uzwojenie wirnika oraz jednakowe zużycie miedzi na uzwojenie stojana. Napięcie na kondensatorze w silniku SEe wynosi $U_{ko} = 400$ V przy pojemności $C = 3 \mu F$. Silniki modelowe projektowano na napięciu $U_{ko} = 230$ V. Silniki modelowe posiadały taką samą liczbę zwojów fazy głównej $W_B + W_C = \text{const}$, różniły się tylko przekładnikami $\hat{\psi}_A$ i $\hat{\psi}_C$.

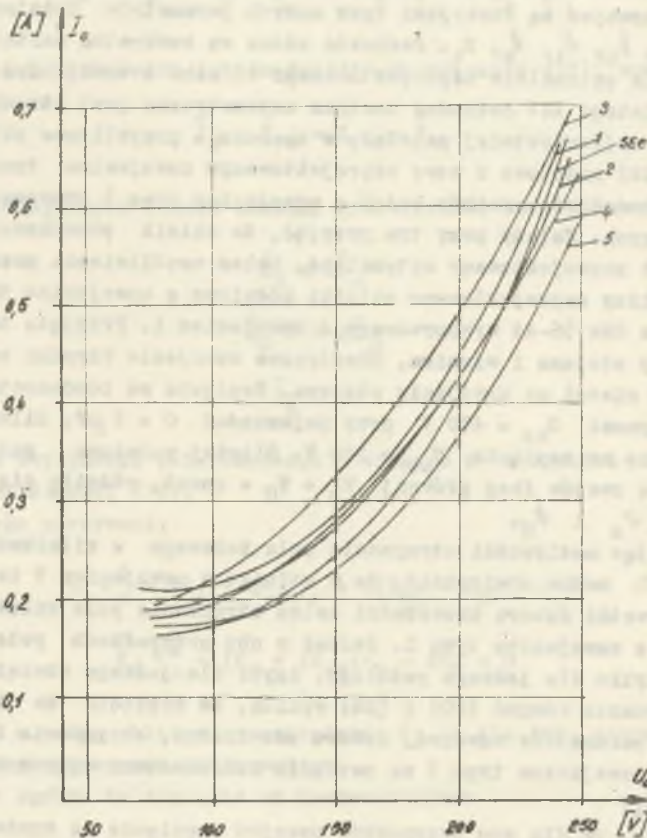
Porównując możliwości otrzymania pola kołowego w silnikach z uzwojeniem T i L można stwierdzić, że w silniku z uzwojeniem T istnieją większe możliwości doboru przekładni celem otrzymania pola kołowego, aniżeli w silniku z uzwojeniem typu L. Jednak w obu przypadkach pole kołowe może wystąpić tylko dla jednego poślizgu, czyli dla jednego obciążenia.

Z porównania równań (20) i (26) wynika, że napięcie na kondensatorze zależy od parametrów uzwojeń, doboru przekładni, obciążenia (poślizgu). W silniku z uzwojeniem typu T na napięcie kondensatora wpływa dodatkowo przekładnia $\hat{\psi}_A$.

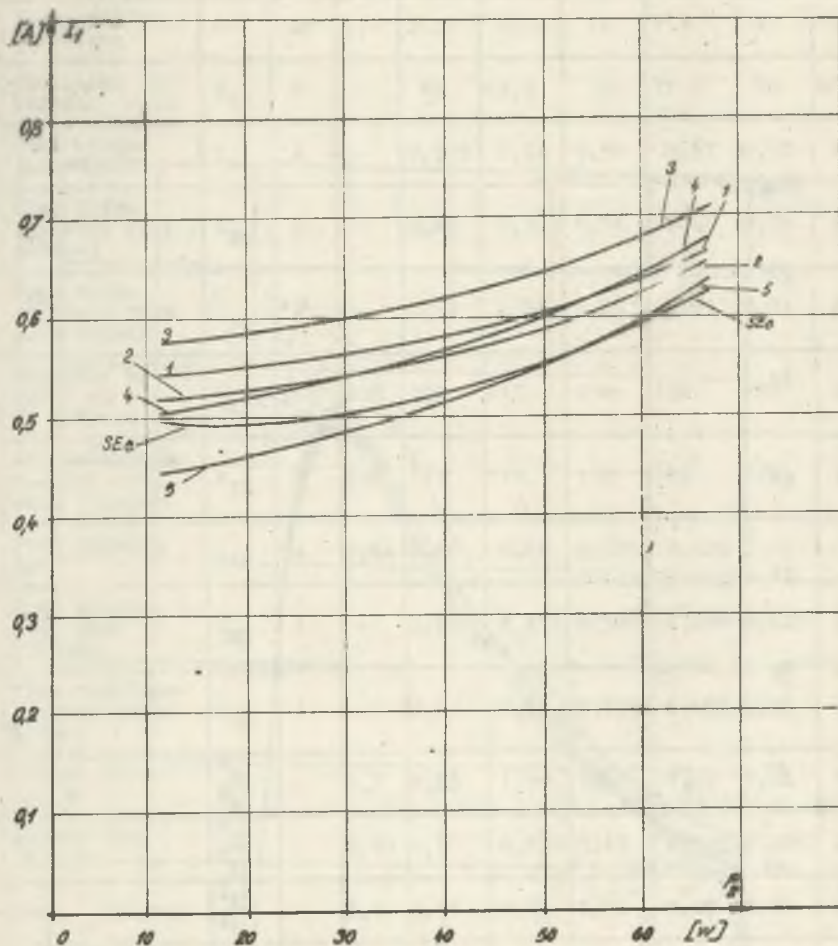
Okazuje się, że dla obu przypadków uzwojeń napięcie na kondensatorze nie jest funkcją liniową X_k (X_k występuje w pierwszej potędze w liczniku oraz w pierwszej potędze lecz w postaci uwikłanej w mianowniku). Tak więc na napięcie kondensatora decydujący wpływ mają przekładnie, mniejszy natomiast pojemność kondensatora.

6. Wyniki badań

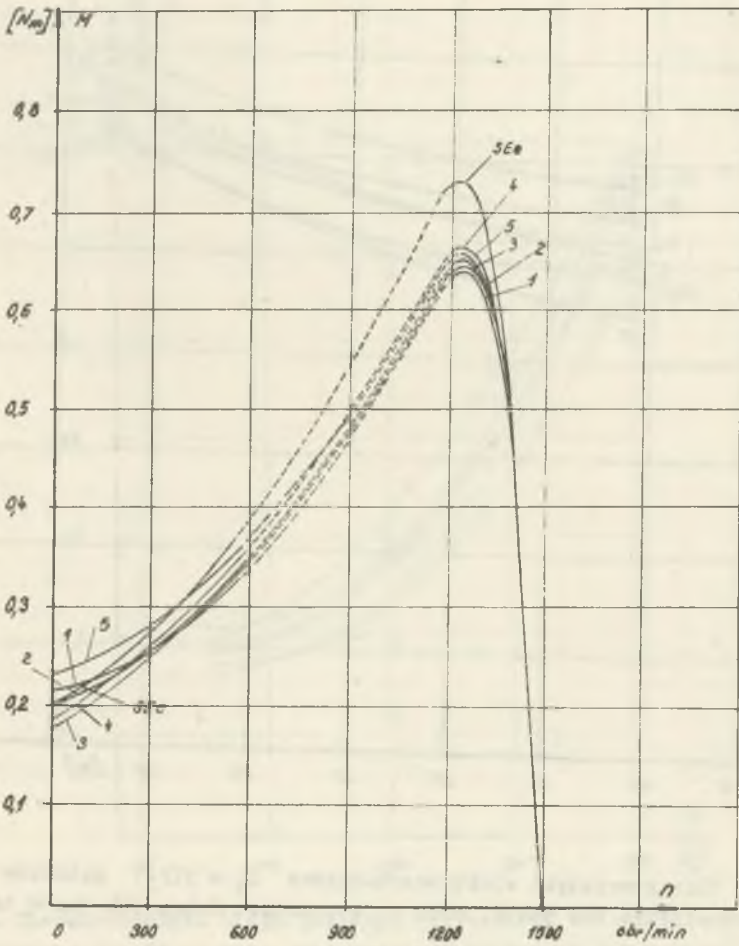
Dla silników modelowych (1-5) przeprowadzono pomiary dla trzech podstawowych stanów pracy: biegu jałowego, zwarcia i obciążenia mocą znamionową $P_N = 60$ W, przy różnych pojemnościach kondensatora. Wyniki pomiarów silników modelowych oraz silnika SEe wraz z danymi z karty uzwojeń zamieszczono w tabelicy I. Pojemności kondensatorów silników modelowych dobrano tak, aby moc bierna kondensatora na biegu jałowym przy napięciu znamionowym $U_N = 220$ V była taka sama jak moc bierna kondensatora w silniku SEe również na biegu jałowym i napięciu znamionowym.



Rys. 6. Charakterystyki biegu jałowego $I_0 = f(U_0)$ silników modelowych i silnika SEe 56-4A przy pojemnościach dobranych jak w tabeli I



Rys. 7. Charakterystyki elektromechaniczne $I_1 = f(P_2)$ silników modelowych i silnika SEe 56-4A, przy pojemnościach dobranych jak w tabeli I



Rys. 8. Charakterystyki mechaniczne $M = f(n)$ silników modelowych i silnika SEE 56-4A przy pojemnościach dobranych jak w tabeli I

Tabela I

Wyniki pomiarów silników modelowych i silnika SEe 56-4A

Lp.	Wielkość	Ozn.	Jedn.	Silnik SEe 56-4A		Silnik modelowy nr				
				KUB	Pomiary	1	2	3	4	5
1	Pojemność kondensatora	C	μF	3,0	3,01	9,14	10	11	12	9,14
2	Moc biegu jałowego	P_o	W	-	62	69,5	66	73,2	70	67,5
3	Prąd biegu jałowego	I_o	A	-	0,505	0,54	0,50	0,57	0,50	0,435
4	Prąd biegu jałowego fazy głównej	I_{Bo}	A	-	0,65	0,755	0,74	0,85	0,76	0,61
5	Prąd biegu jałowego fazy pomocniczej	I_{Co}	A	-	0,37	0,63	0,69	0,69	0,74	0,675
6	Napięcie na kond. na biegu jałowym	U_{ko}	V	400	392	217	212	196	192	228
7	Moc pobierana z sieci przy obc. znamion.	P_{1N}	W	125	113	119	118	129	123	122
8	Prąd znamionowy	I_{1N}	A	0,64	0,60	0,64	0,625	0,685	0,64	0,60
9	Prąd znamionowy fazy głównej	I_{BN}	A	-	0,59	0,575	0,505	0,625	0,525	0,41
10	Prąd znamionowy fazy pomocniczej	I_{CN}	A	-	0,34	0,55	0,585	0,585	0,63	0,575
11	Moment krytyczny	$\frac{M_k}{M_N}$	-	1,7	1,83	1,59	1,62	1,63	1,66	1,65
12	Moment rozruchowy	$\frac{M_r}{M_N}$	-	0,61	0,50	0,525	0,49	0,425	0,465	0,575
13	Prąd zwarcia	$\frac{I_z}{I_N}$	-	2,3	2,49	2,06	2,16	2,05	2,21	2,33
14	Prąd zwarcia fazy głównej	I_{BZ}	A	-	1,52	1,35	1,40	1,44	1,47	1,45
15	Prąd zwarcia fazy pomocniczej	I_{CZ}	A	-	0,24	0,32	0,32	0,38	0,39	0,37

Dla porównania, na rys. 6 przedstawiono charakterystyki $I_0 = f(U_0)$, na rys. 7 charakterystyki $I_1 = f(P_2)$, na rys. 8 charakterystyki mechaniczne $M = f(n)$ silników modelowych i silnika SEe przy pojemnościach dobranych jak w tabeli I.

7. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań silników z uzwojeniem typu T i silnika z uzwojeniem typu L o mocy znamionowej $P_N = 60$ W stwierdzono:

- przy identycznej mocy kondensatora i identycznym obwodzie magnetycznym oraz tym samym uzwojeniu wirnika, istnieje pełna możliwość uzyskania równorzędnych parametrów mechanicznych i elektromagnetycznych silnika z uzwojeniem typu T z parametrami silników z uzwojeniem symetrycznym typu L,
- w silniku z uzwojeniem T uzyskuje się niższe napięcie na kondensatorze co jest korzystne z punktu doboru kondensatora. Gabaryt kondensatora jest determinowany jednak mocą bierną i nie zależy od typu zastosowanego uzwojenia,
- prądy w fazie pomocniczej w silnikach z uzwojeniem typu T, z uwagi na większą pojemność kondensatora są większe niż w silnikach typu L. Zużycie miedzi na uzwojenie fazy pomocniczej w silnikach z uzwojeniem typu T i uzwojeniem typu L jest identyczne. Uzwojenie fazy pomocniczej typu T posiada mniejszą liczbę zwojów lecz większy przekrój w porównaniu z uzwojeniem fazy pomocniczej typu L,
- pole kątowe w szczelinie w silnikach z uzwojeniem typu T, podobnie jak w silnikach z uzwojeniem typu L, przy stałej pojemności C może powstać tylko dla jednego punktu pracy (M; s). Jednakże w uzwojeniach typu T dodatkowo istnieje możliwość doboru kształtu pola wirującego w maszynie poprzez zmianę przekładni ψ_A ,
- istnieje problem ekonomicznej opłacalności stosowania uzwojenia typu T na który wpływa z jednej strony większa pracochłonność uzwojenia z drugiej strony ceny kondensatorów o mniejszym napięciu znamionowym.

LITERATURA

- [1] Kluszczyński K. - Analiza obwodu elektromagnetycznego jednofazowego, indukcyjnego silnika z uzwojeniami stojana typu T, z kondensatorem pracy. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl., "Elektryka" nr 47.
- [2] Pustoła J., Śliwiński T. - Budowa i działanie silników 1-fazowych WNT Warszawa, 1964.
- [3] Czczet J.S. - Mikromaszyny elektryczne w automatyce. WNT Warszawa, 1964.
- [4] Kenig T., Blekueł B. - Teoria elektromechanicznych systemów. Izdatelstwo, "Energia", Moskwa, 1965.

- [5] Adamienko A.J. - Odnofaznyje kondensatornyje dwigatieli Kijew - 1960.
[6] Adamienko A.J. - Niesimmetricznyje asinchronnyje maszyny Kijew 1962.
[7] Chruszczew W.W. - Elektromaszynowe elementy automatyki PWN Warszawa 1973.

Przyjęto do druku w lipcu 1975 r.

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
С РАБОЧИМ КОНДЕНСАТОРОМ И ОБМОТКОЙ СТАТОРА ТИПА Т ИЛИ Л

Р е з ю м е

Используя теорию четырехфазной асинхронной машины и симметрических составляющих, предложен аналитический метод сравнения характеристик однофазных асинхронных двигателей с обмоткой статора типа Т и Л.

В статье изложены результаты исследований моделей двигателей с обмоткой статора типа Т, построенных на конструктивных элементах серийного двигателя с обмоткой статора типа Л. При одинаковой мощности конденсатора, такой же обмотке ротора и одинаковом расходе меди на обмотку якоря создается возможность получения равноценного двигателя как с обмоткой типа Т, так и с обмоткой типа Л. Двигатель с обмоткой типа Т может иметь конденсатор с меньшим номинальным напряжением.

COMPARISON OF THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF SINGLE-PHASE
INDUCTION CAPACITOR MOTOR WITH STATOR WINDINGS IN T OR L CONNECTIONS

S u m m a r y

The performance characteristics of the single phase capacitor motor with stator windings in L or T connection were derived on the basis of four phases machine using symmetrical components. The model motors with stator winding in T connection were composed of constructional elements of a typical motor with stator winding in L connection. The results of both motors were presented. The possibility to obtain equal performance characteristics was indicated for T or L connection with identical rotor, the same capacitor rating power and the same copper volume in the stator winding. Lower rated voltage of the capacitor can be obtained in case of stator winding in T connection.