

Stefan PASZEK

Instytut Podstawowych Problemów
Elektrotechniki i Energoelektroniki
Politechniki Śląskiej

Maciej ŚIWZYŃSKI

Wyższa Szkoła Inżynierska
W Zielonej Górze

ZASTOSOWANIE CZASOWO ZMIENNEJ TRANSFORMACJI DO WYZNACZANIA STANÓW
NIEUSTALONYCH ELEKTROMAGNETYCZNYCH ZMIENNYCH STANU W NIESYMETRYCZNIE
OBCIĄŻONEJ MASZYNIE SYNCHRONICZNEJ

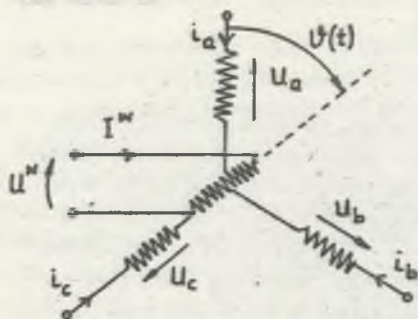
Streszczenie. Dla wybranego modelu maszyny synchronicznej wyznaczono układ równań różniczkowych elektromagnetycznych zmiennych stanu opisujący układ maszyna synchroniczna - trójfazowy liniowy niesymetryczny obwód zewnętrzny. Zastosowano odpowiednią czasową - zmienną unitarną transformację do równań stojana maszyny synchronicznej połączonego z obwodem zewnętrznym i otrzymano dogodną postać równań opisujących układ. Przedstawiono rozwiązanie przykładu bezpośredniego zwarcia jednofazowego do przewodu zerowego metodą operatorową bazującą na przewidzeniu rozwiązania nieustalonych przebiegów prądu fazowego stojana i prądu wzbudzenia w postaci nieskończonych szeregów, a następnie wyznaczeniu operatorowych "amplitud" harmonicznych poszukiwanych zmiennych stanu. Przedstawiono również rozwiązanie analizowanego przykładu niesymetrycznego obciążenia maszyny synchronicznej metodą przekształcenia biliniowego.

W układzie równań różniczkowych stanu zastąpiono t (czas) przez $n\tilde{t}$ i $\frac{d}{dt}$ przez $\frac{2}{\tilde{t}} \cdot \frac{1-z}{1+z}$, gdzie $\tilde{t}$ - okres próbkowania, a z - operator jednostkowego opóźnienia i otrzymano rozwiązanie numeryczne na maszynie cyfrowej.

Przedstawiono przebiegi nieustalone prądu fazowego stojana, prądu wzbudzenia i momentu elektromagnetycznego przy zwarcu jednofazowym do przewodu zerowego.

1. Wyprowadzenie równań różniczkowych opisujących maszynę synchroniczną obciążoną niesymetrycznie

Przy formułowaniu modelu matematycznego przyjęto: liniowość obwodu magnetycznego, sinusoidalne rozłożenie uzwojeń twornika, stałość prędkości katowej ($\omega = \text{const}$). Ponadto założono, że maszyna synchroniczna jest z biegunami niewydatnymi (symetria w osi wzdłużnej i poprzecznej $L_d = L_q$) oraz prymitywna (wiriak jest reprezentowany tylko przez uzwojenie wzbudzenia).



Rys. 1. Schemat fazowy prymitywnej maszyny synchronicznej

Fig. 1. Primitive synchronous machine

Przy tych założeniach układ równań fazowych maszyny synchronicznej przedstawionej na rys. 1 wygląda następująco:

$$U_{(f)}^s = r_{(f)}^s I_{(f)}^s + L_{(f)}^s \frac{dI_{(f)}^s}{dt} + \frac{d\phi_{(f)}^{sw}}{dt}$$

(1)

$$U^w = r^w I^w + L^w \frac{dI^w}{dt} + \frac{d\phi^{ws}}{dt}$$

gdzie:

$$U_{(f)}^s = \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} \quad \text{wektor napięć fazowych stojana,}$$

$I_{(f)}^s$ - wektor prądów fazowych stojana,

U^w - napięcie wzbudzenia,

I^w - prąd wzbudzenia,

r^s - rezystancja stojana na jedną fazę,

$$L_{(f)}^s = \begin{bmatrix} L^s, & L^s \cos \frac{2}{3}\pi, & L^s \cos \frac{4}{3}\pi \\ L^s \cos \frac{4}{3}\pi, & L^s, & L^s \cos \frac{2}{3}\pi \\ L^s \cos \frac{2}{3}\pi, & L^s \cos \frac{4}{3}\pi, & L^s \end{bmatrix} \quad \text{- macierz fazowych indukcji stojana,}$$

$$\phi_{(f)}^{sw} = \begin{bmatrix} \cos \omega t \\ \cos(\omega t + \frac{4}{3}\pi) \\ \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix} L^{sw} I^w \quad \text{- wektor strumieni fazowych stojana wytworzonych przez wirnik,}$$

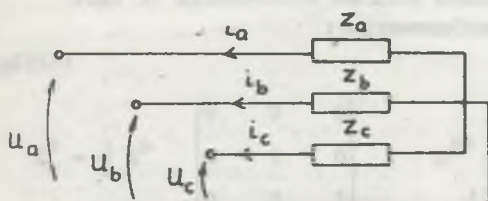
L^{SW} - indukcyjność wzajemna stojana i wirnika,

r^W - rezystancja wirnika,

L^W - indukcyjność własna wirnika,

$\Phi^{WS}(t) = [\cos \omega t, \cos(\omega t + \frac{4}{3}\pi), \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi)] L^{SW} \frac{I^S}{(t)}$ - strumień wirnika wytwarzony przez stojan.

W chwili $t = 0$ do obwodów stojana dołączono liniowy niesymetryczny obwód zewnętrzny pokazany na rys. 2.



Rys. 2. Schemat liniowego, niesymetrycznego obwodu trójfazowego

Fig. 2. Asymmetric linear 3 - phase network

Macierz jego fazowych impedancji operatorowych ma następującą postać:

$$\underline{Z}_{(f)} = \begin{bmatrix} Z_a(p) & 0 & 0 \\ 0 & Z_b(p) & 0 \\ 0 & 0 & Z_c(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sum_a n_q^a p^q}{\sum_q d_q^a p^q} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\sum_a n_q^b p^q}{\sum_q d_q^b p^q} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\sum_a n_q^c p^q}{\sum_q d_q^c p^q} \end{bmatrix}$$

Ponieważ układ zewnętrzny jest liniowy, impedancje fazowe są wymiernymi funkcjami operatora p skończonej wartości najwyższej potęgi.

Układ równań opisujący przedstawiony obwód ma następującą postać:

$$\underline{U}_{(f)} = - \underline{Z}_{(f)} \underline{I}_{(f)} \Rightarrow \sum_q \frac{D_q}{(f)} p^q \underline{U}_{(f)} = - \sum_q \frac{N_q}{(f)} p^q \underline{I}_{(f)} \quad (2)$$

gdzie:

$$D_q = \begin{bmatrix} d_q^a & 0 & 0 \\ 0 & d_q^b & 0 \\ 0 & 0 & d_q^c \end{bmatrix} \quad N_q = \begin{bmatrix} n_q^a & 0 & 0 \\ 0 & n_q^b & 0 \\ 0 & 0 & n_q^c \end{bmatrix}$$

2. Transformacja równań maszyny synchronicznej i układu zewnętrznego do nowego układu współrzędnych

Przyjęto następujące macierze transformacyjne:

dla równań stojana:

$$S^S(t) = \frac{1}{\sqrt{3}} e^{-j\omega t} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix},$$

dla wirnika

$$S^W(t) = 1.$$

Tego typu transformacje jak dla równań stojana mają następujące własności:

- $\frac{dS}{dt} = -j\Omega S$, gdzie Ω - macierz własna transformacji,
- unitarność $S^{-1}(t) = S^*(t)$.

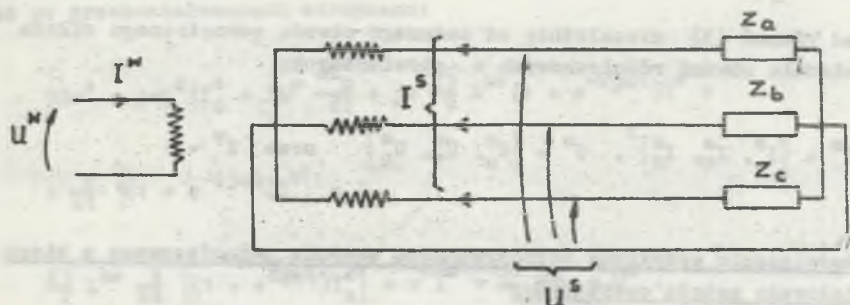
Zastosowano macierze transformacyjne $S^S(t)$ i $S^W(t)$ do układu równań (1) opisującego maszynę synchroniczną i układu równań (2) opisującego obwód zewnętrzny. Otrzymano układ równań różniczkowych opisujący maszynę synchroniczną z obwodem zewnętrznym.

Wygląda on następująco:

$$U^S = r^S I^S + L_B^S (j\omega + \frac{d}{dt}) I^S + (j\omega + \frac{d}{dt}) \phi^{SW}$$

$$U^W = r^W I^W + L^W \frac{dI^W}{dt} + \frac{d\phi^{WS}}{dt} \quad (3)$$

$$\sum_q (j\omega + \frac{d}{dt})_q D_q U^S = - \sum_q (j\omega + \frac{d}{dt})_q N_q I^S$$



Rys. 3. Schemat maszyny synchronicznej połączonej z obwodem zewnętrznym

Fig. 3. Synchronous machine connected with external network

gdzie:

$$L_B^S = \frac{3}{2} L^S \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \phi^{SW} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ e^{-2j\omega t} \end{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} I^w,$$

$$\phi^{WS} = [0, 1, e^{2j\omega t}] \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} I^S, \quad I^S = \begin{bmatrix} I_0^S \\ I_1^S \\ I_2^S \end{bmatrix},$$

$$U_B = \begin{bmatrix} U_0^S \\ U_1^S \\ U_2^S \end{bmatrix}, \quad D_q = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_q^a & 0 & 0 \\ 0 & d_q^b & 0 \\ 0 & 0 & d_q^c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix},$$

$$H_q = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_q^a & 0 & 0 \\ 0 & n_q^b & 0 \\ 0 & 0 & n_q^c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix}.$$

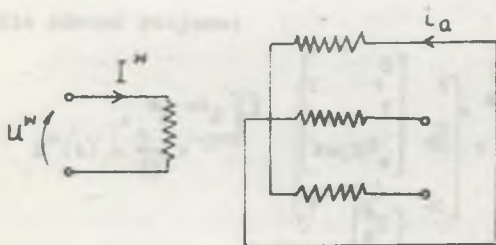
Można zauważyć, że macierze D_q i H_q w ogólnym przypadku różnych impedancji w poszczególnych fazach są niediagonalne.

Układ równań (3) niezależnie od zadanego obwodu zewnętrznego składa się z siedmiu równań różniczkowych o niewiadomych:

$$\mathbf{I}^S = [I_0^S, I_1^S, I_2^S]^T, \quad \mathbf{U}^S = [U_0^S, U_1^S, U_2^S]^T \quad \text{oraz} \quad \mathbf{I}^W.$$

3. Rozwiązanie przykładu bezpośredniego zwarcia jednofazowego z biegu jałowego metoda operatorowa

Z układu (3) dla przypadku zwarcia jednofazowego (rys. 4) wynika:



Rys. 4. Schemat maszyny synchronicznej przy zwarcu jednofazowym

Fig. 4. Synchronous machine with one phase short circuited

$$r^S I_0^S = U_0^S$$

$$(r^S + j\omega \frac{3}{2} L^S) I_1^S + \frac{3}{2} L^S \frac{dI_1^S}{dt} + j\omega \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} I^W + \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} \frac{dI^W}{dt} = U_1^S$$

$$(r^S + j\omega \frac{3}{2} L^S) I_2^S + \frac{3}{2} L^S \frac{dI_2^S}{dt} + j\omega \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} e^{-2j\omega t} I^W +$$

$$+ \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} \frac{d}{dt} (e^{-2j\omega t} I^W) = U_2^S \quad (4)$$

$$r^W I^W + L^W \frac{dI^W}{dt} + \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} \frac{dI_1^S}{dt} + \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} \frac{d}{dt} (e^{2j\omega t} I_2^S) = U^W$$

$$U_0^S + U_1^S + U_2^S = 0$$

$$I_0^S = I_1^S = I_2^S = \frac{1}{\sqrt{3}} e^{-j\omega t} I_a$$

Stąd po przekształceniach otrzymano:

$$\begin{aligned}
 & 3(r^S + j\omega L^S)I_0^S + 3L^S \frac{dI_0^S}{dt} + j\omega \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} (1 + e^{-2j\omega t})I^W + \\
 & + \frac{d}{dt} [(1 + e^{-2j\omega t})I^W] = 0 \\
 & \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} \frac{d}{dt} [(1 + e^{2j\omega t})I_0^S] + r^W I^W + L^W \frac{dI^W}{dt} = U^W.
 \end{aligned} \quad (5)$$

Równania (5) są równaniami parametrycznymi, można więc wytłumaczyć matematycznie znany fakt występowania wyższych harmonicznych prądu w niesymetrycznie obciążonym generatorze synchronicznym.

Ponieważ w stanie ustalonym w stojanie powstają nieparzyste harmoniczne prądu, a w wirniku wyłącznie parzyste i składowa stała, rozwiązanie układu (5) dla stanu nieustalonego można przewidzieć w postaci [1]:

$$I_0^S(t) = \sum_{q=-\infty}^{\infty} e^{j2q\omega t} J_{2q}^S(t), \quad I^W(t) = \sum_{q=-\infty}^{\infty} e^{j2q\omega t} J_{2q}^W(t) \quad (6)$$

Ponadto założono, że $J_{2q}^S(0) = 0$ dla $q \in (-\infty, \infty)$

oraz $J_{2q}^W(0) = 0$ dla $q \neq 0$ i $J_0^W(0) = J^W(0)$.

Wstawiając funkcje (6) do (5) otrzymujemy:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{q=-\infty}^{\infty} e^{2jq\omega t} \left\{ 3[r^S + j(2q+1)\omega L^S + L^S \frac{d}{dt}] J_{2q}^S + \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} [j(2q+1)\omega + \right. \\
 & \left. + \frac{d}{dt}] (J_{2q}^W + J_{2(q+1)}^W) \right\} = 0 \\
 & \sum_{q=-\infty}^{\infty} e^{2jq\omega t} \left\{ \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} (j2q\omega + \frac{d}{dt})(J_{2(q-1)}^S + J_{2q}^S) + \right. \\
 & \left. + (r^W + j2q\omega L^W + L^W \frac{d}{dt}) J_{2q}^W \right\} = U^W
 \end{aligned}$$

stad:

$$5 \left[r^S + j(2q+1)\omega L^S + L^S \frac{d}{dt} \right] J_{2q}^S + \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} \left[j(2q+1)\omega + \frac{d}{dt} \right] \cdot (J_{2q}^W + J_{2(q+1)}^W) = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} (j2q\omega + \frac{d}{dt}) (J_{2(q-1)}^S + J_{2q}^S) + (r^W + j2q\omega L^W + L^W \frac{d}{dt}) J_{2q}^W = 0, \quad \text{dla } q \neq 0$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} \left(\frac{d}{dt} (J_{-2}^S + J_0^S) + (r^W + L^W \frac{d}{dt}) J_0^W \right) = U^W, \quad \text{dla } q = 0.$$

Po przekształceniu Laplace'a otrzymano:

$$a_q X_q + b_q (Y_q + Y_{q+1}) = V_q \quad (8)$$

$$c_q (X_{q-1} + X_q) + d_q Y_q = W_q$$

gdzie:

$$X_q = J_{2q}^S(p), \quad Y_q = J_{2q}^W(p),$$

$$a_q = 3 \left[r^S + j(2q+1)\omega L^S + p L^S \right], \quad b_q = \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} \left[j(2q+1)\omega + p \right],$$

$$c_q = \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} (j2q\omega + p), \quad d_q = r^W + j2q\omega L^W + L^W p,$$

$$V_q = \begin{cases} \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} I^W(0) & \text{dla } q = 0, -1 \\ 0 & \text{dla } q \neq 0, -1, \end{cases}$$

$$W_q = \begin{cases} \frac{U^W}{p} + L^W I^W(0) & \text{dla } q = 0 - \text{przy założeniu że } U^W(t) = U^W \cdot 1(t) \\ 0 & \text{dla } q \neq 0 \end{cases}$$

Ponadto z uwagi na rzeczywiste wartości przebiegu prądu w stanie i wirniku zachodzą związki:

$$X_q = X_{-(q+1)}^*, \quad Y_q = Y_{-q}^*.$$

(9)

[illegible]

$$M_q = \frac{W_{q+1}}{C_{q+1}} + \frac{W_{q+1}^d}{C_{q+1}^d} - \frac{V_{q+1}^d}{C_{q+1}^d}.$$

$$= -A_1 X_1 - B_1 X_0 \rightarrow X_3 = -A_2 X_2 - B_2 X_1 \rightarrow \text{itd.}$$

0

(10)

11262 U.S. DEPT. OF COMMERCE - BUREAU OF ECONOMIC ANALYSIS

$$X_0 = \frac{M_0}{A} \text{ lub } X_0 = \frac{0,4 \cdot 10^{-3}}{B_1 \cdot B_2} \text{ itp.}$$

piątek 11 stycznia 2013 15:42:05

Otrzymanie przebiegów czasowych $I_{2q}^B(t)$ jest jednak możliwe, ale bardzo uciążliwe, np. przy zastosowaniu przekształcenia biliniowego i zmiany całki określonej na sumę skończoną we wzorze na odwrotne Z przekształcenie [4].

4. Rozwiązanie zwarcia jednofazowego metodą przekształcenia biliniowego

Układ równań różniczkowych (5) opisujący stan nieustalony maszyny synchronicznej podczas zwarcia jednofazowego można również zapisać następująco:

$$a_0(t) \cdot Y(t) + \frac{d}{dt} [a_1(t) \cdot Y(t)] = X(t)$$

gdzie:

$$a_0(t) = \begin{bmatrix} 3(r^S + j\omega L^S), & j\omega L^{SW} \frac{\sqrt{3}}{2} (1 + e^{-2j\omega t}) \\ 0, & r^W \end{bmatrix}$$

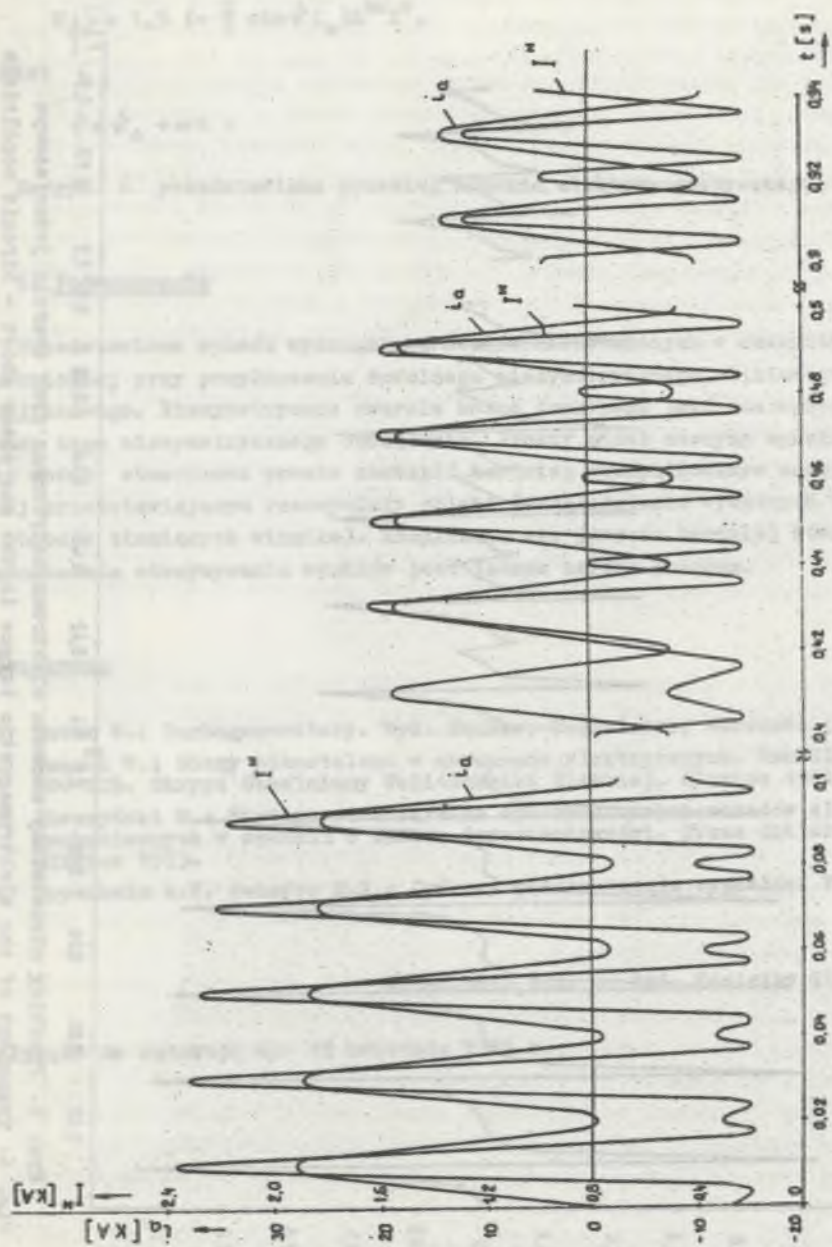
$$a_1(t) = \begin{bmatrix} 3L^S, & \frac{\sqrt{3}}{2} L^{SW} (1 + e^{-2j\omega t}) \\ -\frac{3}{2} L^{SW} (1 + e^{2j\omega t}), & \overline{L^W} \end{bmatrix}$$

$$Y(t) = \begin{bmatrix} I_o^B(t) \\ I^W(t) \end{bmatrix}, \quad X(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ U^W \end{bmatrix}$$

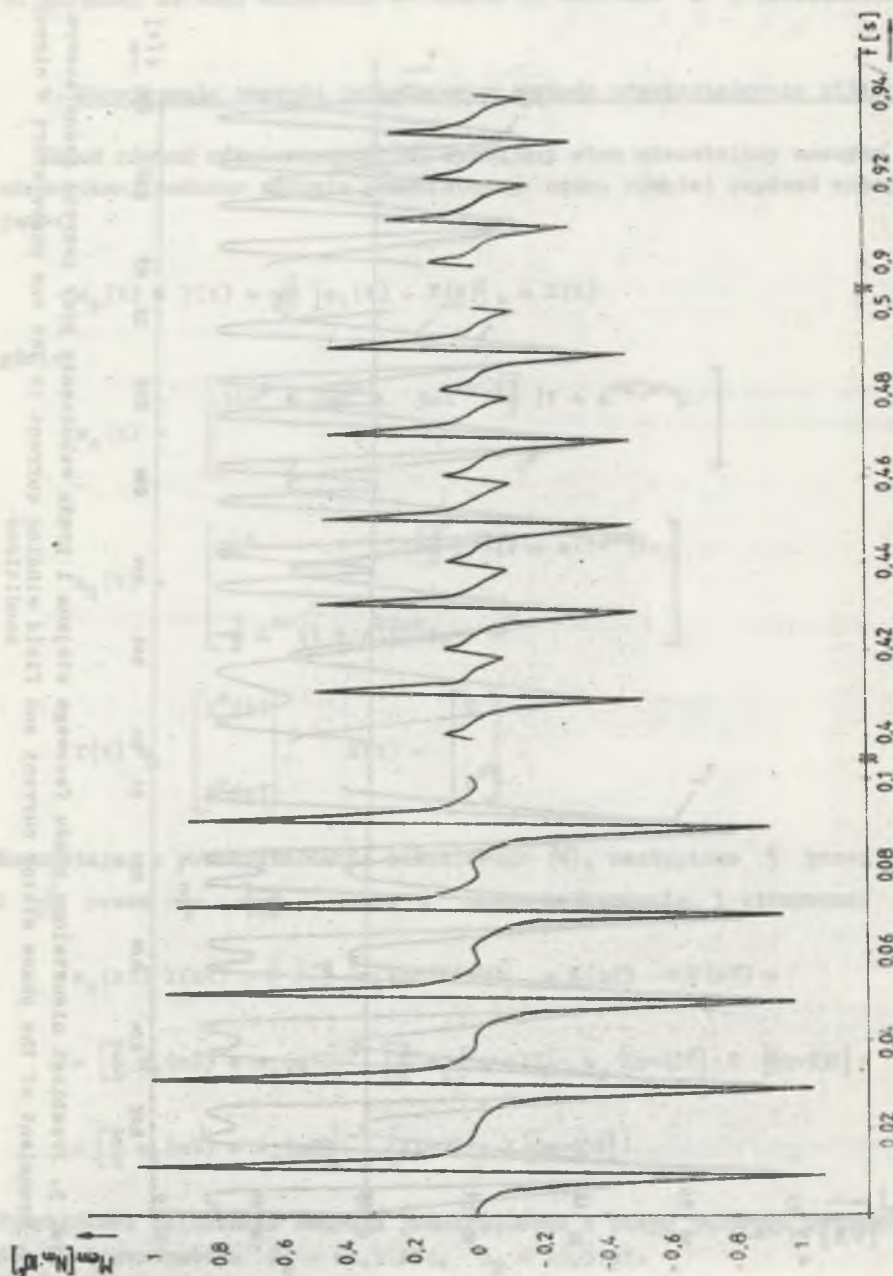
Korzystając z przekształcenia biliniowego [4], zastąpiono t przez nT i $\frac{d}{dt}$ przez $\frac{2}{T} \cdot \frac{1-z}{1+z}$, gdzie T okres próbkowania, i otrzymano:

$$\begin{aligned} a_0(nT) Y(nT) + \frac{2}{T} \frac{1-z}{1+z} [a_1(nT) Y(nT)] &= X(nT) \longrightarrow Y(nT) = \\ &= \left[\frac{2}{T} a_1(nT) + a_0(nT) \right]^{-1} \left[\frac{2}{T} a_1[(n-1)T] - a_0[(n-1)T] \right] Y[(n-1)T] + \\ &+ \left[\frac{2}{T} a_1(nT) + a_0(nT) \right]^{-1} [X(nT) + X[(n-1)T]] \end{aligned} \quad (11)$$

Przykładowe obliczenie zwarcia jednofazowego z biegu jałowego wykonano dla turbogeneratorsa $S_N = 62,5$ MVA, $U_N = 10,5$ kV.



Rys. 5. Przebiegi niestabilne prądu fazowego stojana i prądu wzbudzenia przy zwarciu jednofazowym
 Fig. 5. Transient of the phase stator current and field winding current in the one phase short - circuit conditions



rys. 6. Przebieg nieustalony momentu elektromagnetycznego przy zwarcu jednofazowym
 Fig. 6. Transient of the electromagnetic torque in the one phase short - circuit conditions

Na rys. 5 przedstawiono przebiegi nieustalone prądu fazowego w stojanie oraz prądu wzbudzenia. Korzystając z wyznaczonych prądów w stojanie i wirnika wyliczono przebieg nieustalony momentu elektromagnetycznego [2]:

$$M_{em} = 1,5 \left(-\frac{2}{3} \sin \psi_{1a} \right) L_{sw} i^w. \quad (12)$$

gdzie:

$$\psi = \psi_0 + \omega t.$$

Na rys. 6 przedstawiono przebieg momentu elektromagnetycznego.

5. Podsumowanie

Przedstawiono sposób wyznaczania stanów nieustalonych w maszynie synchronicznej przy przyłączeniu dowolnego niesymetrycznego, liniowego obwodu trójfazowego. Niesymetryczne zwarcie można traktować jako szczególny przypadek tego niesymetrycznego obciążenia. Prosty model maszyny synchronicznej można stosunkowo prosto zastąpić bardziej skomplikowanym modelem, lepiej przedstawiającym rzeczywisty obiekt (uwzględnienie wydatnych biegunów i obwodów tłumiących wirnika). Komplikują się jeszcze bardziej równania, sama zasada otrzymywania wyników jest jednak bardzo podobna.

LITERATURA

- [1] Latek W.: Turbogeneratory. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa 1973.
- [2] Paszek W.: Stany nieustalone w maszynach elektrycznych. Tom II ss. 186-225. Skrypt Uczelniany Politechniki Śląskiej, Gliwice 1981.
- [3] Siwczyński M.: Synteza strukturalna synchronicznych układów elektromechanicznych w oparciu o zasadę inwariantowości. Praca doktorska. Gliwice 1973.
- [4] Oppenheim A.V. Schafer R.W.: Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. WKŁ 1979.

Recenzent: doc. dr inż. Zdzisław Klonowicz

Wpłynęło do redakcji dn. 15 kwietnia 1986 r.

ПРИМЕНЕНИЕ ВРЕМЕННО - ПЕРЕМЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЕЛИЧИН В НЕСИМЕТРИЧНО НАГРУЖЕННОЙ синхронной МАШИНЕ

Резюме

Для избранной модели синхронной машины определена система дифференциальных уравнений, описывающая систему: синхронная машина - трехфазная линейная несимметричная внешняя цепь. Применено соответствующее временно-переменное унитарное преобразование к уравнениям статора синхронной машины, соединенного с внешней цепью и получен удобный вид уравнений описывающих систему. Представлено решение примера непосредственного однофазного короткого замыкания операторным методом, базирующим на предвидении решения переходного фазного тока статора и тока возбуждения в виде бесконечных рядов а затем определены операторные "амплитуды" гармоник, отыскиваемых переменных состояния.

Представлено также решение исследованного примера несимметричной нагрузки синхронной машины, методом билинейного преобразования.

В системе дифференциальных уравнений состояния t - время замещено $\pi\tau = \frac{\pi}{\omega} \frac{d}{dt}$ через τ где τ - период опроса, а $\frac{d}{dt}$ - оператор единичной задержки.

Получено численное решение системы уравнений на вычислительной машине.

Представлен переходный фазный ток статора, ток возбуждения и электромагнитного момента во время однофазного короткого замыкания на нулевой провод.

THE USE OF TIME - VARYING TRANSFORM FOR DETERMINATION OF THE TRANSIENT STATES OF THE ELECTROMAGNETIC STATE VARIABLES IN THE ASYMETRICALLY LOADED SYNCHRONOUS MACHINE

Summary

The set of differential equations of the electromagnetic state variables describing the system consisting of the synchronous machine and the 3 - phase external asymetrical network has been determined for the choosen model of synchronous machine.

The suitable time - varying transform has been used and a convenient form of the equations describing the system has been obtained.

The solution of the case of the phase short circvited to the neutral wire by means of Laplace transform based on the expectations of the solution of the transients of the stator phase current and the field winding current in the form of infinite series and then the determination of the operational "amplitudes" of the harmonics of the state variables has been presented.

The solution of this example of asymetrical load with the use of bilinear transformation method has been shown.

Some substitutions have been done in state differential equations i.e. t (time) has been replaced by $n\tilde{t}$ and $\frac{d}{dt}$ by $\frac{2}{\tilde{t}} \frac{1-z}{1+z}$ where $\tilde{t}$ - sampling period, and z - unitary delay operator.

The numerical solution has been obtained by means of computer.

The transients of the stator phase current, field current and electromagnetic torque for the case of one phase short circuited to the neutral wire have been presented.