

Andrzej BOBOŃ

Jerzy KUDŁA

## STANY NIEUSTALONE GENERATORA SYNCHRONICZNEGO PODCZAS ZAKŁÓCEŃ NIESYMETRYCZNYCH W UKŁADZIE PRZESYŁOWYM

**Streszczenie:** Przedstawiono model matematyczny generatora synchronicznego połączonego linią elektroenergetyczną wysokiego napięcia z siecią sztywną. Do rozważań przyjęto klasyczny model maszyny synchronicznej z jednym zastępczym obwodem tłumiącym w osi  $d$  i  $q$  wirnika. W modelu linii przesyłowej uwzględniono pojemności skupione na obu jej końcach. Równania układu elektroenergetycznego przedstawiono w układzie współrzędnych  $(0, \alpha, \beta)$  szczególnie przydatnym w analizie stanów niesymetrycznych. Rozpatrzono różne rodzaje zakłóceń niesymetrycznych typu zwarcie - przerwa w linii przesyłowej. Określono równania więzów i macierze transformacyjne dla poszczególnych rodzajów zakłóceń. Przeprowadzono badania symulacyjne dla układu elektroenergetycznego zawierającego cztery hydrogeneratory o mocy 209 MVA współpracujące z systemem elektroenergetycznym poprzez linię przesyłową o napięciu 400 kV. Przedstawiono przykładowe obliczenia dla przemijającego zwarcia jednofazowego w linii przesyłowej.

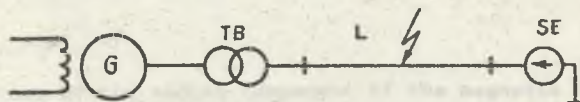
### 1. Wprowadzenie

Praca w stanie niesymetrycznym generatora synchronicznego jest często spotykana podczas eksploatacji maszyny. W wielu przypadkach jest ona spowodowana zakłóceniami niesymetrycznymi występującymi w liniach przesyłowych WN. Do zakłóceń tych należą zakłócenia ziemnozwarciowe (1-, 2-fazowe) jak również przerwy w przewodach linii przesyłowych, będące wynikiem działania aparatury łączeniowej lub zerwania przewodu z jednoczesnym doziemieniem. Niesymetryczny stan pracy generatora wywołuje szereg niekorzystnych zjawisk - dodatkowe nagrzewanie przypowierzchniowych warstw wirnika, drgania mechaniczne elementów maszyny itd., które powodują konieczność ograniczenia stanu niesymetrycznego generatora.

W celu prawidłowego dobrania zabezpieczeń generatora jak i linii elektroenergetycznych konieczne jest określenie przebiegów czasowych wielkości elektromagnetycznych i mechanicznych (prądy, napięcia, moment elektromagnetyczny, prędkość kątowna) występujących w układzie.

W pracy przedstawiono model matematyczny generatora synchronicznego współpracującego poprzez linię przesyłową z systemem elektroenergetycznym (rys. 1). Przedstawiony model matematyczny umożliwia badania symula-

cyjne stanów nieustalonych generatora przy różnych zakłóceniach typu zwarcie lub przerwa, występujących w linii przesyłowej.



Rys. 1. Schemat analizowanego układu elektroenergetycznego  
G - generator synchroniczny, TB - transformator blokowy, L - linia przesyłowa, SE - system elektroenergetyczny

Fig. 1. Block diagram of the electric power system analysed  
G - synchronous generator, TB - unit transformer, L - power transmission line, SE - electric system

## 2. Model matematyczny generatora synchronicznego

Do rozważań przyjęto klasyczny model matematyczny maszyny synchronicznej, w którym działanie tłumiące bloku litego, klatki tłumiącej uwzględniono za pomocą zastępczych obwodów tłumiących umieszczonych w osiach  $d$  i  $q$  maszyny. Równania maszyny synchronicznej w układzie współrzędnych  $(0, \alpha, \beta)$  mają postać:

$$\begin{bmatrix} U_S \\ U_R \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Psi_S \\ \Psi_R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_S \\ R_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_S \\ I_R \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \Psi_S \\ \Psi_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{SS} & L_{SR} \\ L_{SR}^T & L_{RR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_S \\ I_R \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\frac{J}{P_b} \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_e + M_t, \quad (3)$$

gdzie:

$$[R_S] = \text{diag}\{R, R, R\}; \quad [R_R] = \text{diag}\{R_f^*, R_{td}^*, R_{tq}^*\}$$

$$[L_{SS}] = \begin{bmatrix} L_0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}[L_d + L_q + (L_d - L_q)\cos 2\gamma] & \frac{1}{2}(L_d - L_q)\sin 2\gamma \\ 0 & \frac{1}{2}(L_d - L_q)\sin 2\gamma & \frac{1}{2}[L_d + L_q - (L_d - L_q)\cos 2\gamma] \end{bmatrix}$$

$$[L_{SR}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ L_{ad} \cos\gamma & L_{ad} \cos\gamma & -L_{aq} \sin\gamma \\ L_{ad} \sin\gamma & L_{ad} \sin\gamma & L_{aq} \cos\gamma \end{bmatrix}, [L_{RR}] = \begin{bmatrix} L_f & L_{ad} & 0 \\ L_{ad} & L_{td} & 0 \\ 0 & 0 & L_{tq} \end{bmatrix}$$

$[U_S], [I_S], [\Psi_S]$  - wektory napięć, prądów, strumieni sprzężonych stojana we współrzędnych  $(0, \alpha, \beta)$  o postaci  $[w_0, w_\alpha, w_\beta]^T$ ,

$[U_R], [I_R], [\Psi_R]$  - wektory napięć, prądów, strumieni sprzężonych obwodów wirnika w osiach d, q o postaci  $[w_f, w_{td}, w_{tq}]^T$ ,

$\gamma = \gamma(t=0) + \int_0^t \omega dt$  - kąt zawarty między osią  $\alpha$  a osią fazy A stojana,

$R, R_f, R_{td}, R_{tq}$  - rezystancja stojana, uzwojenia wzbudzenia i zastępczych obwodów tłumiących wirnika,

$L_d, L_q, L_{ad}, L_{aq}$  - indukcyjności synchroniczne i oddziaływania twornika w osiach d, q maszyny,

$L_0$  - indukcyjność twornika dla składowej zerowej,

$L_f, L_{td}, L_{tq}$  - indukcyjności całkowite obwodu wzbudzenia oraz zastępczych obwodów tłumiących wirnika,

$M_e, M_t$  - moment elektromagnetyczny, moment turbiny,

$J, p_b, \omega$  - moment bezwładności, liczba par biegunów, elektryczna prędkość kątowa wirnika.

Kropkę oznaczono wielkości i parametry sprowadzone na stronę twornika.

### 3. Model matematyczny transformatora blokowego

Rozpatrzono najczęściej stosowany transformator blokowy o grupie połączeń YNd11. Pomijając parametry poprzeczne transformatora równania transformatora mają postać:

$$\begin{aligned} [U_{1T}] - [U_{2T}] &= \frac{d}{dt} [\Psi_{ZT}] + [R_Z] [I_{1T}] \\ [\Psi_{ZT}] &= [L_{ZT}] [I_{1T}], \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie:

$$[R_{ZT}] = \text{diag} \{R_{ZT}, R_{ZT}, R_{ZT}\}; [L_{ZT}] = \text{diag} \{L_{ZT}, L_{ZT}, L_{ZT}\}.$$



$[U_{1T}], [I_{1T}], [U_{2T}]$  - wektory napięć, prądów strony pierwotnej i wtórnej (sprowadzone) we współrzędnych  $(0, \alpha, \beta)$ ,  
 $R_{ZT}, L_{ZT}$  - rezystancja i indukcyjność zwarcia transformatora.

Prądy i napięcia strony pierwotnej powiązane są z prądami i napięciami generatora za pomocą relacji

$$[I_S] = -[C_t][I_{1T}]; [U_{1T}] = [C_t]^T [U_S], \quad (5)$$

przy czym macierz  $[C_t]$  dla układu połączeń YNd11 ma postać (transformacja unormowana)

$$[C_t] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{3}{2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

#### 4. Model matematyczny linii przesyłowej

Model matematyczny linii przesyłowej wyprowadzono dla trójfazowej, symetrycznej i jednorodnej linii napowietrznej. Do analizy przyjęto linię o parametrach skupionych, uwzględniając rezystancje, indukcyjności własne i wzajemne oraz pojemności wzajemne i doziemne poszczególnych przewodów linii. Założono, że całkowita pojemność własna i doziemna poszczególnych przewodów linii skupiona jest na obu krańcach linii.

W układzie współrzędnych  $(0, \alpha, \beta)$  równania linii mają postać:

$$[U_{1L}] - [U_{2L}] = \frac{d}{dt} [\Psi_L] + [R_L] [I_L], \quad [\Psi_L] = [L_L] [I_L] \quad (7)$$

$$[I_{1L}] - [I_L] = \frac{d}{dt} [Q_{1L}] \quad [Q_{1L}] = [C_L] [U_{1L}] \quad (8)$$

$$[I_{2L}] + [I_L] = \frac{d}{dt} [Q_{2L}] \quad [Q_{2L}] = [C_L] [U_{2L}] \quad (9)$$

gdzie:

$$[R_L] = \text{diag}\{R_{L0}, R_{L\alpha}, R_{L\beta}\}; [L_L] = \text{diag}\{L_{L0}, L_{L\alpha}, L_{L\beta}\}$$

$$[C_L] = \text{diag}\{C_{L0}, C_{L\alpha}, C_{L\beta}\},$$

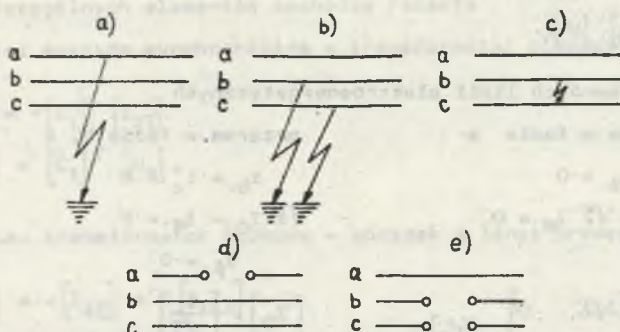
$[U_{1L}], [I_{1L}], [Q_{1L}], [U_{2L}], [I_{2L}], [Q_{2L}]$  - wektory napięć, prądów i ładunków elektrycznych na początku (1) i końcu (2) linii,

$[\Psi_L], [I_L]$  - wektory strumieni sprzężonych i prądów wewnątrz linii,  
 $R_{L0}, R_{L\alpha}, R_{L\beta}, L_{L0}, L_{L\alpha}, L_{L\beta}, C_{L0}, C_{L\alpha}, C_{L\beta}$  - rezystancja, indukcyjność, pojemność linii w układzie współrzędnych  $(0, \alpha, \beta)$ .

### 5. Analiza zakłóceń występujących w linii przesyłowej - równania więzów, macierze transformacyjne

Rozpatrzone następujące rodzaje zakłóceń w pracy linii przesyłowej (rys. 2):

- zwarcia jednofazowe, dwufazowe oraz jednofazowe podwójne,
- przerwy w jednym lub dwóch przewodach linii przesyłowej.



Rys. 2. Rodzaje zakłóceń w linii przesyłowej

zwarcie jednofazowe (a), jednofazowe podwójne (b), dwufazowe (c), przerwa w jednym (d) i w dwóch (e) przewodach linii

Fig. 2. Various types of faults in the transmission line

single - phase short - circuit (a), double - line-to-neutral fault (b), double - phase short - circuit (c), interruption in one (d) and in two line - wires (e)

Przedstawione wyżej zakłócenia powodują nałożenie na prądy lub napięcia występujące w miejscach zakłóceń, więzów wynikających z zerowania się pewnych wielkości. Równania więzów zmieniają liczbę zmiennych niezależnych (prądów lub napięć) opisujących pracę układu. W konsekwencji stan układu w stanie zakłóceniovym opisywany jest przez nowe zmienne niezależne, przy czym nowe zmienne powiązane są ze starymi zmiennymi opisującymi stan symetryczny układu za pomocą macierzy transformacji. Poniżej zestawiono równania więzów i macierze transformacyjne dla rozpatrywanych zakłóceń:

## - zwarcia niesymetryczne bezimpedancyjne

zwarcie jednofazowe  
fazy a

$$\begin{aligned} u_a &= 0 \\ u_0 + \sqrt{2} u_\alpha &= 0 \end{aligned}$$

zwarcie jednofazowe  
podwójne faz b, c

$$\begin{aligned} u_b &= u_c = 0 \\ \sqrt{2} u_0 - u_\alpha &= 0 \\ u_\beta &= 0 \end{aligned}$$

zwarcie dwufazowe  
faz b, c

$$\begin{aligned} u_b - u_c &= 0 \\ u_\beta &= 0 \end{aligned}$$

(10)

$$\begin{bmatrix} u_0 \\ u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sqrt{2} & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u'_\alpha \\ u'_\beta \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u_0 \\ u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} [u'_\alpha]$$

$$\begin{bmatrix} u_0 \\ u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u'_0 \\ u'_\alpha \end{bmatrix}$$

w skrócie:

$$[u] = [c_u] [u'] \quad (11)$$

## - przerwy w przewodach linii elektroenergetycznych

przerwa w fazie a

$$\begin{aligned} i_a &= 0 \\ I_0 + \sqrt{2} I_\alpha &= 0 \end{aligned}$$

przerwa w fazie b, c

$$\begin{aligned} i_b &= i_c = 0 \\ \sqrt{2} I_0 - I_\alpha &= 0 \\ I_\beta &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sqrt{2} & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I'_\alpha \\ I'_\beta \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} [I'_\alpha]$$

w skrócie:

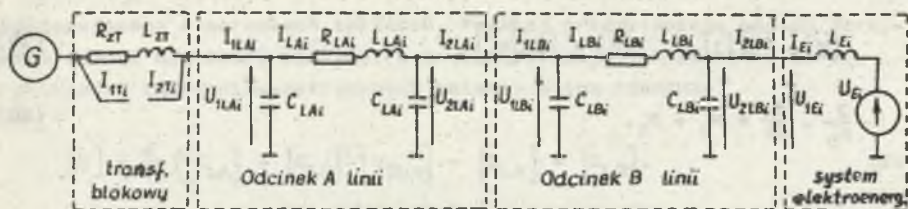
$$[I] = [c_i] [I'] \quad (13)$$

## 6. Model matematyczny układu elektroenergetycznego w warunkach zakłóceń w linii przesyłowej

Przedstawione w rozdziałach 3, 4 modele matematyczne poszczególnych elementów układu elektroenergetycznego wykorzystano do sformułowania równań opisujących stan dynamiczny całego układu. Na rys. 3 przedstawiono rozpatrywany układ elektroenergetyczny, przy czym w celu analizy zakłóceń niesymetrycznych występujących wewnątrz linii podzielono ją na dwa odcinki A i B.

Podstawę do wyprowadzenia równań opisujących stan układu w warunkach zakłóceń są równania dla symetrycznej pracy układu.





Rys. 3. Schemat układu przesyłowego dla składowych osiowych ( $i = 0, \alpha, \beta$ ) przy pracy symetrycznej

Fig. 3. Block diagram of the transmission system for axis components ( $i = 0, \alpha, \beta$ ) under asymmetrical state

Uwzględniając, że pomiędzy prądami i napięciami na wejściach i wyjściach poszczególnych elementów zachodzą relacje

- połączenie: maszyna synchroniczna - transformator blokowy

$$\begin{aligned} [I_S] &= -[C_t] [I_{1T}] \\ [U_{1T}] &= [C_t]^T [U_S], \end{aligned} \quad (14)$$

- połączenie: transformator blokowy - odcinek A linii przesyłowej

$$\begin{aligned} [I_{2T}] &= -[I_{1T}] = -[I_{1LA}] \\ [U_{2T}] &= [U_{1LA}], \end{aligned} \quad (15)$$

- połączenie: odcinek A - odcinek B linii przesyłowej

$$\begin{aligned} [I_{2LA}] &= -[I_{1LB}] \\ [U_{2LA}] &= [U_{1LB}], \end{aligned} \quad (16)$$

- połączenie: odcinek B linii przesyłowej - system elektroenergetyczny

$$\begin{aligned} [I_{2LB}] &= -[I_E] \\ [U_{2LB}] &= [U_{1E}], \end{aligned} \quad (17)$$

otrzymuje się układ równań opisujący stan dynamiczny układu przy pracy w stanie symetrycznym

$$\begin{bmatrix} [U] \\ [0] \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} [\Psi] \\ [Q] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [R] & [K] \\ -[K]^T & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [I] \\ [U_i] \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$[\Psi] = [L][I], \quad [Q] = [C][U_L] \quad (19)$$

$$\frac{J}{p_b} \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_e + M_t, \quad (20)$$

gdzie:

$$[U] = [U_R]^T, [0]^t, [0]^T, [0]^T, -[U_E]^T]^T$$

$$[I] = [I_R]^T, [I_{1T}]^T, [I_{LA}]^T, [I_{LB}]^T, [I_E]^T]^T$$

$$[U_L] = [U_{1LA}]^T [U_{2LA}]^T [U_{1E}]^T]^T$$

$$[L] = \text{diag} \{ [L_{RST}], [L_{LA}], [L_{LB}], [L_E] \}$$

$$[R] = \text{diag} \{ [R_{RST}], [R_{LA}], [R_{LB}], [0] \}$$

$$[C] = \text{diag} \{ [C_{LA}], ([C_{LA}] + [C_{LB}]), [C_{LB}] \}$$

$$[R_{RST}] = \text{diag} \{ [R_R], [C_t]^T [R_S] [C_t] + [R_{ZT}] \}$$

$$[L_{RST}] = \begin{bmatrix} [L_{RR}] & -[L_{SR}]^T [C_t] \\ -[C_t]^T [L_{SR}] & [C_t]^T [L_{SS}] [C_t] + [L_{ZL}] \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} [1] & & & & (0) \\ & -[1] & & & \\ & & [1] & & \\ & & & -[1] & [1] \\ & & & & [1] \end{bmatrix}$$

$$[L_E] = \text{diag} \{ L_E, L_E, L_E \}$$

$$[1] = \text{diag} \{ 1, 1, 1 \}.$$

Elementy wektorów  $[U_E]$ ,  $[U_{1E}]$ ,  $[I_E]$  zaznaczono na rys. 3. Indeksami A i B zaznaczono wielkości odnoszące się do odcinka A lub B linii przesyłowej.

Podczas niesymetrycznego stanu pracy linii przesyłowej, będącego wynikiem różnorodnych zakłóceń występujących na początku, końcu lub wewnątrz linii, stanowiących kombinacje zakłóceń przedstawionych w rozdziale 5, zmianie ulega struktura układu elektroenergetycznego. Wynikiem tej zmiany jest zmniejszenie liczby zmiennych niezależnych opisujących pracę układu - stan dynamiczny układu opisywany jest przez nowe zmienne. Wykorzystując macierze transformacyjne  $[C_U]$  i  $[C_I]$ , układ równań (18) obowiązujący dla pracy w stanie symetrycznym można łatwo przekształcić do układu równań



obowiązującego w warunkach zakłóceń. Poniżej przedstawiono sposób otrzymania równań dla zwarcie niesymetrycznych występujących wewnątrz linii. W przypadku zwarcie niesymetrycznych zmianie ulega równanie

$$[0] = \frac{d}{dt} ([C_{LA}] + [C_{LB}]) [U_{2LA}] - [I_{LA}] + [I_{LB}]. \quad (21)$$

Uwzględniając, że  $[U_{2LA}] = [C_U] [U'_{2LA}]$  oraz mnożąc równanie (21) lewostronnie przez macierz  $[C_U]^T$ , otrzymuje się równanie obowiązujące dla nowych zmiennych niezależnych  $[U_{2LA}]$

$$[0] = \frac{d}{dt} [C_U]^T ([C_{LA}] + [C_{LB}]) [C_U] [U'_{2LA}] - [C_U]^T [I_{LA}] + [C_U]^T [I_{LB}]. \quad (22)$$

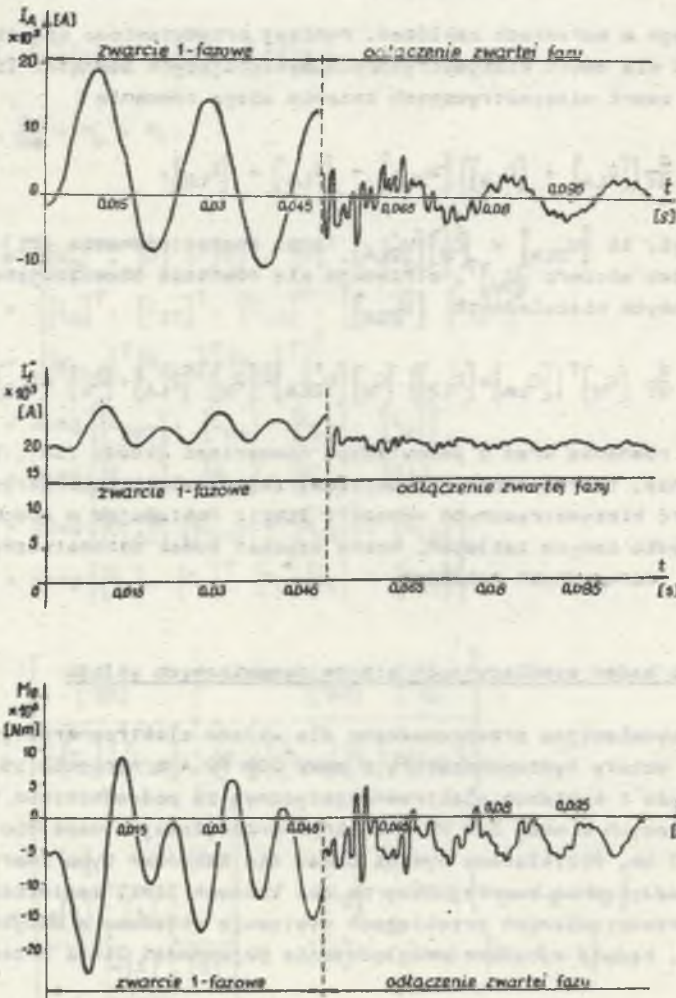
Powyższe równanie wraz z pozostałymi równaniami układu (18), które nie uległy zmianie, tworzą model matematyczny układu elektroenergetycznego podczas zwarcie niesymetrycznych wewnątrz linii. Postępując w podobny sposób w przypadku innych zakłóceń, można uzyskać model matematyczny układu w warunkach różnorodnych zakłóceń.

## 7. Wyniki badań symulacyjnych stanów dynamicznych układu

Badania symulacyjne przeprowadzono dla układu elektroenergetycznego zawierającego cztery hydrogeneratory o mocy 209 MW A i napięciu 15,75 kV współpracujące z systemem elektroenergetycznym za pośrednictwem transformatorów blokowych o mocy 240 MW A i linii przesyłowej o napięciu 400 kV i długości 300 km. Przykładowe wyniki badań dla zakłóceń typu zwarcie 1-fazowe - odłączenie zwartej fazy w obu końcach linii zamieszczono na rys. 4. W przedstawionych przebiegach występują składowe o dużych częstotliwościach, będące wynikiem uwzględnienia pojemności linii przesyłowej.

## 8. Zakończenie

Przedstawiona analiza zakłóceń niesymetrycznych w linii przesyłowej oraz sposób sformułowania modelu matematycznego układu elektroenergetycznego umożliwiające przeprowadzenie badań symulacyjnych stanów dynamicznych generatora w warunkach różnych zakłóceń w linii przesyłowej (prostych - typu zwarcie lub przerwa oraz złożonych stanowiących kombinacje zakłóceń prostych). Pozwala to określić przetężenia prądowe, przeciążenia momentem generatora, właściwie dobrać zabezpieczenia bloku elektroenergetycznego.



Rys. 4. Przebiegi czasowe prądu twornika  $I_A$ , prądu wzbudzenia  $I_f$  (sprowadzonego), momentu elektromagnetycznego  $M_e$  (jednego z generatorów) podczas przemijającego zwarcia jednofazowego w linii przesyłowej

Fig. 4. Transients of armature current  $I_A$ , excitation (field) current  $I_f$  (reduced), electric moment  $M_e$  (of one of the generators) during transient single - phase fault in the transmission line

## LITERATURA

- [1] Paszek W., Boboń A., Kudźa J., Pawelec Z.: Wpływ pospiesznego odzwbudzenia na przebiegi zwarcia turbogeneratora. Przegląd Elektrotechniczny 1980, nr 8-9, s. 354-358.
- [2] Paszek W., Boboń A., Kudźa J.: Przebiegi nieustalone w układzie elektroenergetycznym podczas działania SPZ- 1-fazowego. Materiały IV Międzynarodowej Konferencji Naukowej "Aktualne problemy automatyki w energetyce", Gliwice 1985, zeszyt A, s. 329-339.
- [3] Paszek W.: Stany nieustalone maszyn elektrycznych prądu przemienneho. WNT, Warszawa 1986.
- [4] Latek W.: Turbogeneratory. WNT, Warszawa 1973.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Stein

Wpłynęło do Redakcji 15 czerwca 1987 r.

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Р е з ю м е

Приведена математическая модель синхронного генератора соединённого линией электропередачи высокого напряжения с системой бесконечной мощности. В рассуждениях принята классическая модель синхронного генератора с единственным эквивалентным демпферным контуром в оси  $d$  и  $q$  ротора. Модель линии электропередачи учитывает ёмкости сосредоточенные на обоих концах. Уравнения электрической системы представлены в координатной системе  $\alpha, \beta$  особенно пригодной для анализа несимметрических режимов. Рассмотрены разные виды несимметричных возмущений типа короткое замыкание - обрыв в линии электропередачи. Определены уравнения связи и преобразовательные матрицы для отдельных видов возмущений. Выполнены испытания модели электрической системы содержащей четыре гидрогенератора мощностью в 209 МВ работающих совместно с линией электропередачи с напряжением 400 кВ. Представлены примерные расчёты для коротковременного однофазного короткого замыкания в линии электропередачи.



## TRANSIENT STATES OF SYNCHRONOUS GENERATOR UNDER ASYMMETRICAL FAULTS IN TRANSMISSION SYSTEM

### Summary

A mathematical model of a synchronous generator connected with infinite bus through a high voltage power line has been presented. The considered model of a synchronous generator has one equivalent damping circuit in  $d$  and  $q$  rotor axes. In the model of transmission line the capacitances have been taken into account under assumption that they are concentrated on both ends of the line. Equations of the electric power system have been presented in  $(o, \alpha, q)$  coordinate system, which is particularly useful in analysis of asymmetrical states. Various types of asymmetrical faults in the transmission line like short - circuits, interruptions have been considered. Equations of constraints and transformation matrices for particular fault types have been derived. The modelling for the electric system containing four 209 MVA hydrogenerators connected, cooperating with the system through the 400 kV transmission line has been carried out. Exemplary calculations for the transient single - phase fault in the transmission line have been presented.