

Władysław PASZEK, Andrzej BOBOŃ, Jerzy KUDŁA

WPLYW BLOKU LITEGO WIRNIKA NA WŁASNOŚCI TŁUMIĄCE TURBOGENERATORA PRZY PRACY RÓWNOLEGŁEJ Z SIECIĄ SZTYWNĄ

Streszczenie. Dla turbogeneratora wyposażonego w regulator napięcia i stabilizator systemowy pracującego równolegle z siecią sztywną wyznaczono częstotliwościowe charakterystyki współczynników momentu synchronizującego i tłumiącego $K(\nu)$ oraz $D(\nu)$. Współczynniki te wynikają z transmitancji widmowych generatora, obliczonych na podstawie rozkładu pola elektromagnetycznego, wyznaczonego metodą elementów skończonych przy harmonicznym wymuszeniach prądu w uzwojeniach generatora.

SOLID ROTOR INFLUENCE ON DAMPING PROPERTIES OF ALTERNATOR OPERATING PARALLELY WITH RIGID NETWORK

Summary. In the paper frequency plots of the synchronizing torque and damping torque coefficients of the turboalternator equipped with a voltage regulator and a power system stabilizer are presented. These coefficients are derived from the electromagnetic field distribution in the machine evaluated by FEM for harmonic current activations in generator windings.

EINFLUSS DES MASSIVEN LÄUFERS AUF DÄMPFUNGSEIGENSCHAFTEN DES TURBOGENERATORS IM VERBUNDBETRIEB MIT STARREM NETZ

Zusammenfassung. Es wurden ermittelt die Frequenzgänge der Koeffizienten von Synchronisierungs- und Dämpfungsdrehmomenten des mit dem Spannungsregler und der schlupfstabilisierender Beaufschaltung ausgerüsteten Turbogenerators bei seinem Verbundbetrieb mit starrem Netz. Diese Koeffizienten ergaben sich aus der elektromagnetischen Feldverteilung in der Maschine, die mit Hilfe der Methode finiter Elemente für harmonische Stromeinprägungen unter Berücksichtigung der Wirbelstromrückwirkung in den Massivteilen des Läufers berechnet wurde.

1. WPROWADZENIE

Przy pracy równoległej elektrowni z rozbudowanym systemem elektroenergetycznym występują często charakterystyczne słabo tłumione kołysania generatorów synchronicznych o małej częstotliwości w przedziale (0,2 +2,5) Hz, które ograniczają zdolność przesyłu mocy, a w skrajnych przypadkach utrudniają utrzymanie stabilności generatorów. Przyczyną takich słabo tłumionych kołysań jest wzajemne oddziaływanie w systemie elektroenergetycznym coraz większej liczby generatorów dużej mocy (z przekształtnikowymi źródłami wzbudzenia), cechujących się dużymi wartościami reaktancji względnej (jako konsekwencja zastosowania przy ich konstrukcji zwiększonego wyzyskania obwodu elektromagnetycznego) i dużymi wzmocnieniami w obwodzie regulacji napięcia. Kołysania wielomaszynowego systemu elektroenergetycznego mogą w niekorzystnych przypadkach spowodować wzbudzenie narastających ruchów oscylacyjnych wirnika generatora wyposażonego w układ regulacji napięcia.

Własności dynamiczne systemu przy małych zakłóceniach wynikają z równań różniczkowych zlinearyzowanych w otoczeniu domniemanego ustalonego punktu pracy. Badania obliczeniowe kołysań systemu są zwykle dokonywane na podstawie analizy:

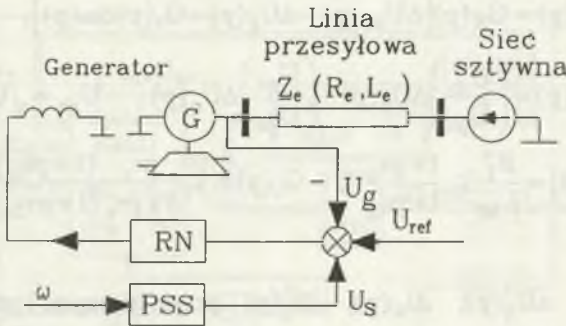
- rozkładu wartości własnych, w szczególności dominujących wartości własnych związanych z oscylacyjnym ruchem obrotowym wirnika,
- częstotliwościowych charakterystyk współczynników momentu synchronizującego i tłumiącego maszyny synchronicznej (czyli współczynników sztywności oraz tłumienia elektromagnetycznego).

W obu przypadkach zakłada się znajomość modeli głównych składników systemu z ich parametrami, w szczególności generatora. Utrudnienie analitycznego modelowania wpływu oddziaływania prądów wirowych indukowanych w bloku litym wirnika na elektromagnetyczną sztywność i tłumienie udało się obejść poprzez zastosowanie metody elementów skończonych (MES) do obliczeń rozkładu pola elektromagnetycznego w głównym przekroju poprzecznym maszyny o realnej konfiguracji, z którego wynikają wspomniane własności elektromagnetyczne maszyny.

W artykule rozpatrzono wpływ współczynników elektromagnetycznych sztywności i tłumienia (K , D), wynikających z widmowych charakterystyk transmitancji maszyny otrzymanych bezpośrednio z analizy rozkładu pola, a nie pośrednio poprzez trudne do dokładnej aproksymacji operatorowe transmitancje maszyny. Współczynniki K i D w sposób istotny wpływają na dominujące wartości własne układu generator - system elektroenergetyczny.

2. ZLINEARYZOWANY MODEL SYSTEMU TYPU GENERATOR - SIEĆ SZTYWNA

Ograniczono się do prostego modelu systemu elektroenergetycznego, złożonego z turbogeneratora z jego regulatorem napięcia (RN) i stabilizatorem systemowym (PSS), pracującego równoległe z siecią sztywną poprzez linię przesyłową (rys.1).



Rys. 1. Konfiguracja rozpatrywanego prostego systemu elektroenergetycznego
Fig. 1. Configuration of the considered power system

Sieć sztywna odwzorowuje tu zgrubnie wielomaszynowy system elektroenergetyczny. W napięciach twornika i napięciach linii przesyłowej wyrażonych w układzie współrzędnych d, q pominięto napięcie transformacji jako małe w porównaniu z napięciem rotacji. Układ operatorowych równań opisujących poszczególne bloki układu ma postać:

- dla generatora synchronicznego (o jednej parze biegunów)

$$\begin{bmatrix} \Delta U_d(p) \\ \Delta U_q(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R & \vdots & L_q(p) \\ -L_d(p) & \vdots & -R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta I_d(p) \\ \Delta I_q(p) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ G(p) \end{bmatrix} \Delta U_f^* \quad (2.1)$$

$$p\Delta\omega(p) = \frac{1}{\tau_j} [\Delta T_m(p) - \Delta T_e(p)] \quad (2.2)$$

$$p\Delta\delta(p) = \omega_n \Delta\omega(p) \quad (2.3)$$

$$\Delta T_e(p) = \left[(-\Psi_{q0} - I_{q0}L_d(p)) \vdots (\Psi_{d0} + I_{d0}L_q(p)) \right] \begin{bmatrix} \Delta I_d(p) \\ \Delta I_q(p) \end{bmatrix} + I_{q0}G(p)\Delta U_f^* \quad (2.4)$$

- dla układu linii przesyłowej łączącej generator z siecią sztywną

$$\begin{bmatrix} \Delta U_d(p) \\ \Delta U_q(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_e & -L_e \\ -L_e & R_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta I_d(p) \\ \Delta I_q(p) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_{qe} \\ -U_{de} \end{bmatrix} \Delta \delta(p), \quad (2.5)$$

- dla układu wzbudzenia z RN oraz PSS

$$\Delta U_f(p) = G_R(p) [\Delta U_{ref}(p) - \Delta U_g(p) + G_s(p) \Delta \omega(p)], \quad (2.6)$$

$$\Delta U_g(p) = \left(\frac{U_{do}}{U_{go}} \right) \Delta U_d(p) + \left(\frac{U_{qo}}{U_{go}} \right) \Delta U_q(p), \quad U_{go} = \sqrt{U_{do}^2 + U_{qo}^2}, \quad (2.7)$$

$$G_R(p) = \frac{R_f^*}{L_{ad}} k_r \frac{1 + p\tau_{1r}}{1 + p\tau_{2r}}, \quad G_s(p) = k_s \frac{p\tau_s (1 + p\tau_{1s})(1 + p\tau_{3s})}{1 + p\tau_s (1 + p\tau_{2s})(1 + p\tau_{4s})}, \quad (2.8)$$

gdzie:

$\Delta U_d(p)$, $\Delta U_q(p)$, $\Delta I_d(p)$, $\Delta I_q(p)$ - przyrosty napięć i prądów w osiach d, q,
 $\Delta U_g(p)$, $\Delta U_{ref}(p)$, $\Delta U_f^*(p)$ - przyrosty napięcia twornika, napięcia zadanego
 RN, napięcia wzbudzenia,
 $\Delta T_e(p)$, $\Delta T_m(p)$, τ_j - przyrosty momentu elektromagnetycznego, momentu
 mechanicznego turbiny, stała czasowa rozruchowa mas wirujących,
 $\Delta \omega(p)$, $\Delta \delta(p)$ - przyrosty prędkości kątowej wirnika, kąta między osią q
 a napięciem sieci sztywnej (rad),
 operator różniczkowania p i czas w jednostkach względnych [p. u.],

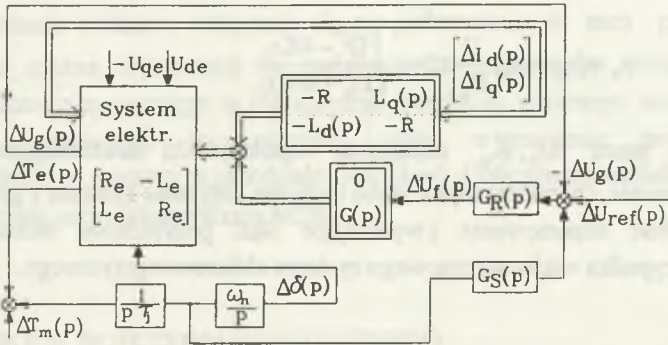
ponadto:

$L_d(p)$, $L_q(p)$, $G(p)$ - podstawowe transmitancje operatorowe generatora,
 $G_R(p)$, $G_s(p)$ - transmitancje RN oraz PSS,
 k_r , k_s , $\tau_{1,2r}$, $\tau_{1,4s}$, τ_s - odnośne wzmocnienia napięcia i stałe czasowe
 dla RN i PSS,
 U_{do} , U_{qo} , I_{do} , I_{qo} , Ψ_{do} , Ψ_{qo} - napięcia, prądy i strumienie sprzężone
 twornika w punkcie pracy ustalonej,
 R , R_f^* , L_{ad} , (R_e, L_e) - rezystancje uzwojenia twornika i wzbudzenia,
 indukcyjność oddziaływania twornika, składowe impedancje linii przesyłowej.

Kropkami zaznaczono wielkości odnoszące się do uzwojenia wzbudzenia po ich sprowadzeniu na stronę twornika. W relacjach przyrostowych pominięto, jak zwykle się to czyni, wpływ regulatora turbiny na elektromechaniczne kołysania wirnika.

3. WSPÓŁCZYNNIKI ELEKTROMAGNETYCZNYCH SZTYWNOŚCI I TŁUMIENIA MASZYNY

Rysunek 2 przedstawia schemat blokowy przepływu sygnałów wynikający z równań (2.1) do (2.8) dla całego układu z rys.1.



Rys. 2. Schemat blokowy przepływu sygnałów systemu
 Fig. 2. The signal flow diagram of the system

Ze schematu można wyprowadzić zależność dwóch składowych momentu elektromagnetycznego generatora (przy $\Delta U_{ref} = 0$) od przyrostu prędkości wirowania: jednej $\Delta T_{es}(p)$, opisaney przez transmitancję $G_{Tes}(p)$, związanej z przyrostem $\Delta\delta(p)$ i drugiej $\Delta T_{es}(p)$, opisaney przez $G_{Tes}(p)$, związanej z oddziaływaniem PSS. Stąd sumaryczny przyrost momentu elektromagnetycznego

$$\begin{aligned} \Delta T_e(p) &= \Delta T_{es}(p) + \Delta T_{es}(p) = G_{Tes}(p) \Delta\delta(p) + G_{Tes}(p) \Delta\omega(p) = \\ &= [G_{Tes}(p) + pG_{Tes}(p)] \Delta\delta(p). \end{aligned} \tag{3.1}$$

Charakterystyki częstotliwościowe współczynników $K(v)$ i $D(v)$ otrzymuje się z równania:

$$(K(v) + jvD(v)) \Delta\delta = \text{Re}(\Delta T_e) + jv \text{Im} \left\{ \frac{\Delta T_e}{v} \right\} \tag{3.2}$$

po uwzględnieniu transmitancji $\Delta T_e(p) / \Delta\delta(p)$ z równania (3.1) i po podstawieniu $p = jv$.

Uwzględniając obliczoną uprzednio lub oszacowaną dominującą wartość własną $\lambda_{eo} = \rho_{eo} \pm j\nu_{eo}$, charakteryzującą słabo tłumione elektromechaniczne kołysania własne systemu, w przypadku zastosowania regulatora napięcia bez stabilizatora systemowego otrzymuje się, po jego zainstalowaniu i właściwym doborze parametrów, ulepszone własności systemu poprzez przesunięcie na płaszczyźnie liczb zespolonych dominującej wartości własnej, związanej z elektromechanicznym kołysaniem wirnika odpowiednio do następującej zależności przybliżonej:

$$\rho_e \pm j\nu_e \cong \rho_{eo} \frac{D}{D_o} \pm j\nu_{eo} \sqrt{\frac{D^2 - 4K\tau_J}{D_o^2 - 4K_o\tau_J}}, \quad (3.3)$$

gdzie przez D_o, K_o oznaczono współczynniki elektromagnetycznej sztywności i tłumienia, charakteryzujące słabo tłumione kołysania systemu z generatorem bez PSS. Podobne rozumowanie i wynikające stąd przybliżenia okazują się przydatne w przypadku wielomaszynowego systemu elektroenergetycznego.

4. TRANSMITANCJE OPERATOROWE I WIDMOWE GENERATORA SYNCHRONICZNEGO

Wychodząc z równań opisujących strumień sprzężony uzwojeń twornika i wzbudzenia w zapisie macierzowym

$$\begin{bmatrix} \Psi_d(p) \\ \Psi_f^*(p) \\ \Psi_q(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{do}(p) & L_{df}^*(p) & 0 \\ L_{fd}^*(p) & L_{fo}^*(p) & 0 \\ 0 & 0 & L_q(p) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -I_d(p) \\ I_f^*(p) \\ -I_q(p) \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

otrzymuje się indukcyjności operatorowe maszyny o nienasyconym obwodzie magnetycznym:

$$\begin{aligned} L_{do}(p) &= \left. \frac{\Psi_d(p)}{-I_d(p)} \right|_{I_f^*=0}, & L_{df}^*(p) &= \left. \frac{\Psi_f^*(p)}{-I_d(p)} \right|_{I_f^*=0}, \\ L_q(p) &= \left. \frac{\Psi_q(p)}{-I_q(p)} \right|_{I_f^*=0}, & L_{fo}^*(p) &= \left. \frac{\Psi_f^*(p)}{I_f^*(p)} \right|_{I_d=0}. \end{aligned} \quad (4.2)$$

W zależnościach na strumieniu sprzężone $\Psi_d(p)$, $\Psi_q(p)$ i $\Psi_f^*(p)$ trzeba uwzględnić oddziaływanie prądów wirowych w bloku litym i klinach żłobkowych wirnika. Podstawowe transmitancje maszyny wyznaczają równania:

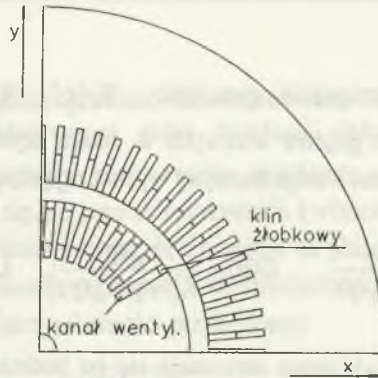
$$L_d(p) = L_{d0}(p) - \frac{p L_{df}^2(p)}{R_f^* + p L_{fo}^*(p)}, \quad G(p) = \frac{L_{df}^*(p)}{R_f^* + p L_{fo}^*(p)}, \quad L_{df}^*(p=0) = L_{ad}, \quad (4.3)$$

a odnośne transmitancje widmowe otrzymuje się po podstawieniu w nich $p = jv$. Charakterystyki te można wyznaczyć na podstawie komputerowego obliczenia rozkładu pola elektromagnetycznego w płaszczyźnie przekroju głównego maszyny przy założonym wymuszeniu harmonicznym prądu w uzwojeniu twornika i wzbudzenia o pulsacji v zawartej w przedziale $v \in (0, \infty)$. Obliczenia rozkładu pola dokonano numerycznie przy wykorzystaniu MES.

5. ROZKŁAD POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO W TURBOGENERATORZE

5.1. Przybliżony model powierzchni przekroju turbogenerатора

Badaną powierzchnię przekroju generatora przedstawia rys. 3. Założono prostokątne żłobki w wyidealizowanym pakiecie rdzenia stojana o stałych materiałowych $\gamma_1 = 0$, $\mu_1 = \text{const}$, podobnego kształtu żłobki wirnika zamknięte przez niemagnetyczne lecz przewodzące elektrycznie kliny ($\gamma_k = \text{const}$, $\mu_k = \mu_0$) i rdzeń litego wirnika ($\gamma_2 = \text{const}$, $\mu_2 = \text{const}$). Przyjęto trójfazowe dwuwarstwowe, cięciwowe uzwojenie twornika (o współczynniku skrótu β), rozłożone w przyległych żłobkach, o bokach zajmujących na obwodzie strefy $\tau/3$ przypadające na jedną fazę.



Rys. 3. Przekrój elektromagnetycznie aktywnej części turbogeneratora
Fig. 3. The main cross section of the turboalternator active part

Warstwy górne i dolne należące do jednej fazy są wzajemnie przesunięte o kąt

$$2\varepsilon = \tau - y = \tau(1 - \beta), \quad (5.1)$$

gdzie τ - podziałka biegunowa, y - poskok zezwoju, skrót zezwoju $\beta = y/\tau$.
Obwodowa gęstość zwojowa warstwy górnej oraz dolnej jest periodyczną funkcją współrzędnej obwodowej, stąd po rozłożeniu na szereg Fouriera podstawowa harmoniczna

$$g_1(\vartheta) = \hat{g}_1 \sin(\vartheta \pm \varepsilon), \quad (5.2)$$

$$\hat{g}_1 = \frac{w_1 \xi_1}{\tau},$$

gdzie: w_1 - liczba zwojów uzwojenia fazowego,

ϑ - kąt obwodowy punktu bieżącego względem osi pasma uzwojenia,

ξ_1 - współczynnik uzwojenia.

Znak \pm odnosi się odpowiednio do górnej względnie do dolnej warstwy. Z dwuosiowej transformacji ortogonalnej gęstości zwojowej obwodowej do współrzędnych d, q wimnika wynika:

$$g_{1d} = \sqrt{\frac{3}{2}} \hat{g}_1 \sin(\varphi \pm \varepsilon), \quad g_{1q} = \sqrt{\frac{3}{2}} \hat{g}_1 \cos(\varphi \pm \varepsilon), \quad (5.3)$$

gdzie: φ - kąt zawarty między punktem bieżącym a osią d .

Podstawowa harmoniczna układu prądu stojana w każdej warstwie

$$\underline{a}(\varphi) = g_{1d} I_d + j g_{1q} I_q. \quad (5.4)$$

Gęstość prądu w odpowiednich złołkach stojana, oznaczoną indeksem "i", aproksymowano zależnością:

$$\underline{J}_{si} \equiv \underline{a}(\varphi)\tau_{\varphi} / s_1, \quad (5.5)$$

gdzie: τ_{φ} - podziałka złołkowa stojana, s_1 - powierzchnia przekroju złołka.

Gęstość prądu w uzwojeniu wirnika (stała w każdym złołku)

$$\underline{J}_f^* = w_{sf} I_f^* / s_{sf}, \quad (5.6)$$

gdzie:

s_{sf} - powierzchnia przekroju złołka wirnika,

w_{sf} - liczba prętów złołkowych przewodzących prąd wzbudzenia I_f^* .

5.2. Rozwiązanie równań pola elektromagnetycznego

Pole elektromagnetyczne jest opisane równaniem rozkładu zespolonego potencjału wektorowego \underline{A} wewnątrz elektromagnetycznego obszaru powierzchni przekroju generatora

$$\nabla^2 \underline{A} = k^2 \underline{A} - \mu_0 \underline{J}_s, \quad (5.7)$$

gdzie: $k^2 = j\omega\mu\gamma$, \underline{J}_s - gęstość prądu złołkowego.

Równanie musi spełnić warunki: zerowe warunki brzegowe Dirichleta na obwodzie ograniczającym aktywny obszar przekroju, warunek ciągłości wewnątrz obszaru oraz warunek symetrii rozkładu pola względem osi d i q . Badany obszar przekroju podzielono na elementy trójkątne. Pole wewnątrz trójkątów aproksymowano wielomianem liniowym.

Wypadkowe pole wynika z sumy rozwiązań cząstkowych

$$\underline{A}(x, y) = \sum_{e=1}^n \underline{A}^{(e)}(x, y). \quad (5.8)$$

Po przekształceniu równań pola (5.7) w sformułowaniu wariacyjnym otrzymuje się układ równań algebraicznych z poszukiwanym wektorem potencjałów węzłowych $\{\underline{A}\}$

$$[\underline{K}] \{\underline{A}\} = \{\underline{F}\}, \quad (5.9)$$

gdzie:

$[\underline{K}]$ - symetryczna pasmowa macierz współczynników,

$\{\underline{A}\}$ - macierz kolumnowa potencjałów węzłowych,

$\{\underline{F}\}$ - macierz kolumnowa wymuszeń określonych przez wymuszenia prądowe w uzwojeniach.

6. WŁASNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNE TURBOGENERATORA 200 MW PRZY PRACY RÓWNOLEGŁEJ Z SIECIĄ SZTYWNĄ

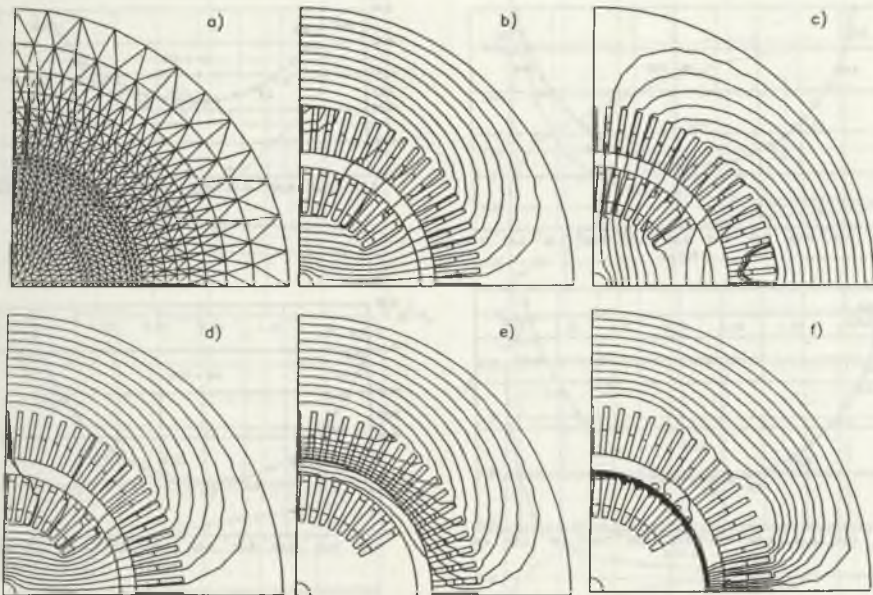
Przedstawioną wyżej metodą zbadano turbogenerator wyposażony w RN oraz PSS o parametrach:

$$\begin{aligned}
 S_n &= 247 \text{ MV} \cdot \text{A}, & U_n &= 15,75 \text{ kV}, & I_n &= 9056 \text{ A}, & \tau_J &= 12 \text{ s}, \\
 k_r &= 1333, & \tau_{1r} &= 2 \text{ s}, & \tau_{2r} &= 33 \text{ s}, \\
 k_s &= 15, & \tau_s &= 10 \text{ s}, & \tau_{1s} &= 0,128 \text{ s}, \\
 \tau_{2s} &= 0,035 \text{ s}, & \tau_{3s} &= 0,134 \text{ s}, & \tau_{4s} &= 0,037 \text{ s}.
 \end{aligned}$$

Rysunek 4 przedstawia dla wybranych przypadków rozkłady linii pola elektromagnetycznego w aktywnym obszarze przekroju generatora. Wynikają z nich indukcyjności widmowe maszyny $\underline{L}_{do}(\nu)$, $\underline{L}_q(\nu)$, $\underline{L}_{fo}^*(\nu)$, $\underline{L}_{df}^*(\nu)$ (rys.5), z których wyznaczono podstawowe transmitancje $\underline{L}_d(\nu)$, $\underline{L}_q(\nu)$, $\underline{G}(\nu)$. Te z kolei służą do wyznaczenia charakterystyk częstotliwości $\underline{G}_{Tes}(\nu)$ oraz $\underline{G}_{Tes}(\nu)$ wpływających na moment elektromagnetyczny i zaznaczonych w schemacie blokowym na rys.2. Wybór parametrów stabilizatora systemowego bazuje na uprzednio wyznaczonej charakterystyce częstotliwościowej $\underline{G}_{Tes}(\nu)$, odnoszącej się do przypadku pracy układu bez PSS.

Przy idealnym stabilizatorze systemowym jego nastawienie spełnia zależność $\text{Im}[\underline{G}_{Tes}(\nu) \cdot \underline{G}_s(\nu)] = 0$, czemu odpowiada wyidealizowany warunek wpływania przez PSS tylko na zwiększenie tłumienia kołysań.

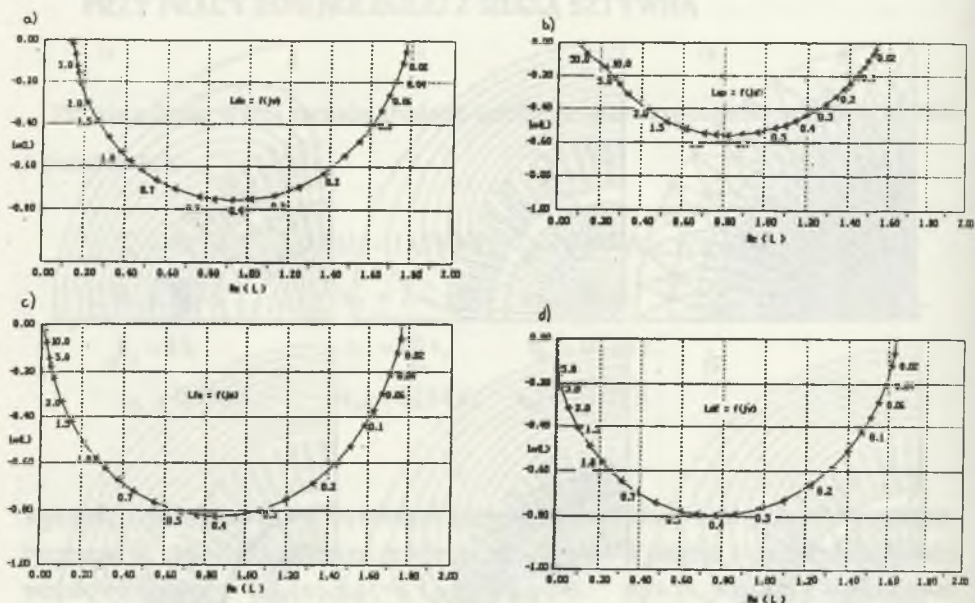
Wypadkowe transmitancje $\Delta \underline{T}_e(\nu) / \Delta \underline{\delta}(\nu)$ służą do wyznaczenia charakterystyk częstotliwościowych składowych $\underline{K}(\nu)$ oraz $\underline{D}(\nu)$ współczynników momentu elektromagnetycznego (rys.6), które z kolei umożliwiają ocenę pożądanego przesunięcia dominujących wartości własnych, spowodowanego działaniem PSS w kierunku zwiększenia zapasu stabilności.



Rys.4. Rozkład pola elektromagnetycznego w głównym przekroju turbogenerators:
 a) siatka elementów skończonych
 b)...f) linie stałego potencjału magnetycznego pola wytworzonego przez prąd
 b) I_d , c) I_q , d) $I_f, v = 0$, e) $\text{Re}\{\underline{A}\}, I_d, v = 1$, f) $\text{Im}\{\underline{A}\}, I_d, v = 1$

Fig.4. The field distribution in the main cross section of the turboalternator:
 a) triangle network,
 b)...f) lines of constant vector potential magnetic generated by the current
 b) I_d , c) I_q , d) $I_f, v = 0$, e) $\text{Re}\{\underline{A}\}, I_d, v = 1$, f) $\text{Im}\{\underline{A}\}, I_d, v = 1$

Przedstawioną metodę oceny wpływu PSS na przesuwanie dominujących wartości własnych można uogólnić dla przypadku maszyn o nasyconym obwodzie magnetycznym przy posłużeniu się transmitancjami przyrostowymi obliczonymi dla małych odchyłek punktu pracy od punktu pracy ustalonej.

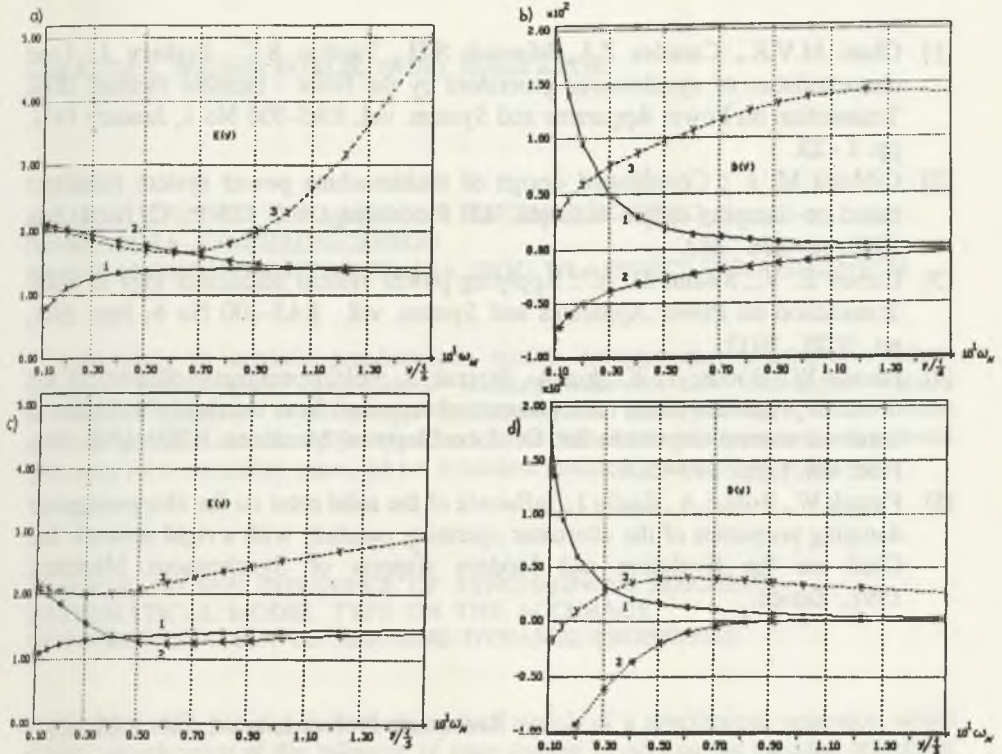


Rys.5. Charakterystyki widmowe indukcyjności generatora a) L_{do} , b) L_q , c) L_{fo}^* , d) L_{df}^*

Fig.5. Frequency plots of the generator inductances a) L_{do} , b) L_q , c) L_{fo}^* , d) L_{df}^*

7. WNIOSKI

Metodą elementów skończonych wyznaczono rozkład pola elektromagnetycznego w turbogeneratorze przy wymuszeniach harmonicznym prądu w uzwojeniach maszyny. Z takiego rozkładu wynikają charakterystyki widmowe podstawowych transmitancji generatora. Te z kolei określają łącznie ze znanymi transmitancjami pozostałych części schematu blokowego systemu elektroenergetycznego (przy załączonym bądź przy wyłączonym stabilizatorze systemowym) wpływ PSS na przesuwanie dominującej wartości własnej na płaszczyźnie liczb zespolonych i odpowiadające temu pożądane zwiększenie zapasu stabilności lokalnej.



Rys. 6. Charakterystyki częstotliwościowe współczynników sztywności elektromagnetycznej K i tłumienia D ($U_g = 1, P_g = 0,85, Q_g = -0,3, R_e = 0,025, X_e = 0,5$),
 a), b) wyznaczone metodą MES,
 c), d) wyznaczone na podstawie standardowych danych od wytwórcy:
 1-wyłączony RN i PSS, 2-załączony tylko RN, 3- załączony RN oraz PSS

Fig. 6. Frequency characteristics of the electromagnetic stiffness and damping coefficient ($U_g = 1, P_g = 0,85, Q_g = -0,3, R_e = 0,025, X_e = 0,5$)
 a),b) evaluated by FEM,
 c),d) evaluated basing on the standard data given by manufacturer;
 1-without VR and PSS; 2-with VR, without PSS; 3-with VR and PSS

LITERATURA

- [1] Chari M.V.K., Csendes Z.J., Minnich S.H., Tandon S.C., Berkery J.: Load characteristics of synchronous generators by the finite - element method. IEEE Transaction on Power Apparatus and System. vol. PAS-100 No 1, January 1981, pp. 1 - 23.
- [2] Gibbard M. J. : Coordinated design of multimachine power system stabilizers based on damping torque concepts. IEE Proceedings vol. 135 Pt. C, No 4, July 1988, pp. 276 - 283.
- [3] Larsen E. V., Swann D. A. : Applying power system stabilizers Part II. IEEE Transaction on Power Apparatus and System. vol. PAS-100 No 6, June 1981, pp. 3025 - 3033.
- [4] Paszek W., Boboń A., Kapłon A., Staszak S. : Electromagnetic parameters and transient properties of the turbogenerator determined from the field distribution at harmonic current impresion. Int. Conf. on Electrical Machines. ICEM 1988, Pisa, Proc. vol. 1, pp. 199 - 204.
- [5] Paszek W., Boboń A., Kudła J.: Influence of the solid rotor on the electromagnetic damping properties of the alternator operating parallelly with a rigid network. Int. Conf. on the Evolution and Modern Aspects of Synchronous Machines, 1991, Zurich.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ernest Mendrela

Wpłynęło do Redakcji dnia 25 marca 1994

Abstract

Dynamic properties of the turboalternator under small disturbances in a simple power system is estimated from the frequency characteristics of the synchronizing torque and damping torque coefficients $K(v)$, $D(v)$. The coefficients are evaluated for small variations around the steady state working point. The advantageous influence of the power system stabilizer on the dominating eigenvalue of the linearized system is estimated. The electromagnetic properties of the synchronous machine are evaluated basing on its spectral transfer functions obtained from the electromagnetic field distribution in the cross section plane of the alternator computed by the finite element method. The influence of the regulation equipment (voltage regulator and system stabilizer) on the power system is discussed.