ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2002
Seria: ELEKTRYKA z.182 Nr kol. 1551

Stefan PASZEK, Andrzej PAWŁOWSKI

ZASTOSOWANIE DWUWEJŚCIOWEGO STABILIZATORA SYSTEMOWEGO PSS2A W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM O NIELINIOWYM MODELU MATEMATYCZNYM

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwości zastosowania dwuwejściowego stabilizatora systemowego PSS2A do tłumienia kołysań wirników generatorów synchronicznych w systemie elektroenergetycznym o nieliniowym modelu matematycznym. Zaprezentowano metodykę wyznaczania parametrów tego stabilizatora. Wykonano przykładowe obliczenia symulacyjne przy zakłóceniach w układzie ze stabilizatorem i bez stabilizatora systemowego.

APPLICATION OF DUAL INPUT SYSTEM STABILIZER PSS2A TO POWER SYSTEM OF NONLINEAR MATHEMATICAL MODEL

Summary. In the paper the possibilities of application of dual input system stabilizer PSS2A to damping rotor swings of synchronous generators in the power system of the non-linear mathematical model have been presented. The PSS parameter determination methods have been presented as well. The exemplary calculations have been performed for disturbances in the system in the cases with and without PSS application.

1. WPROWADZENIE

Podstawowym zadaniem stabilizatorów systemowych jest wytłumienie wolnozmiennych oscylacyjnych zmian prędkości wirowania wirników generatorów synchronicznych o częstotliwości z zakresu [0.1÷2] Hz, nazywanych kołysaniami elektromechanicznymi. Kołysania takie pojawiają się w systemie elektroenergetycznym po różnych zakłóceniach stanu równowagi. Skutkiem występowania kołysań jest ograniczenie możliwości przesyłu energii elektrycznej, a w skrajnych przypadkach mogą one doprowadzić do utraty stabilności systemu elektroenergetycznego. Tłumienie kołysań elektromechanicznych przez stabilizator systemowy odbywa się poprzez odpowiednie sterowanie napięcia wzbudzenia i pośrednio momentu elektromagnetycznego generatora synchronicznego. Tradycyjne stabilizatory

systemowe sterowane są jednym sygnałem wejściowym proporcjonalnym do odchyłki prędkości kątowej lub mocy czynnej generatora.

Tradycyjny stabilizator systemowy o sygnale proporcjonalnym do odchyłki mocy czynnej ma ograniczone zastosowanie do tłumienia kołysań międzyobszarowych o bardzo małej częstotliwości. W przypadku tradycyjnego stabilizatora systemowego, o sygnale wejściowym proporcjonalnym do odchyłki prędkości kątowej, występują kłopoty z rzetelnym pomiarem tej wielkości, szczególnie dla turbogeneratorów o stosunkowo długim wale wirnika. Występowanie w układzie dodatkowych mechanicznych drgań skrętnych (torsyjnych) wału powoduje zakłócenie pomiaru chwilowej prędkości średniej wzdłuż długości wału i cylindra wirnika. W celu wyznaczenia odchyłki prędkości kątowej korzysta się z pomiaru prędkości kątowej w wielu punktach umieszczonych wzdłuż wału generatora przy zastosowaniu dodatkowych filtrów eliminujących zakłócenia. Alternatywnym sposobem eliminacji drgań torsyjnych jest zastosowanie dwuwejściowego stabilizatora systemowego [2], [3], [8].

2. DWUWEJŚCIOWY STABILIZATOR SYSTEMOWY

Strukturę dwuwejściowego stabilizatora systemowego można wyprowadzić korzystając z równania ruchu wirnika generatora synchronicznego:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{T_m}\left(M_m - M_e\right), \tag{1}$$

gdzie ω, M_m, M_e - elektryczna prędkość obrotowa, moment mechaniczny turbiny, moment elektromagnetyczny, T_m – elektromechaniczna stała czasowa generatora.

Ponieważ dla wielkości względnych obowiązują przybliżone relacje:

$$M_m \approx P_m\ , \quad M_e \approx P\ , \tag{2}$$

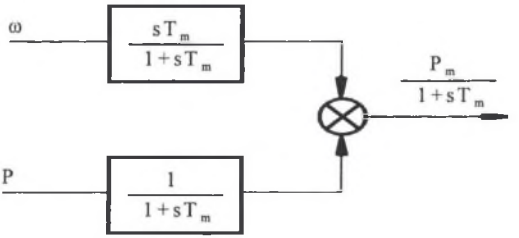
gdzie P_m, P - moc mechaniczna, moc czynna generatora, równanie (2) przyjmuje postać

$$\frac{d\omega}{dt} \approx \frac{1}{T_m}\left(P_m - P\right) = \frac{1}{T_m}P_a\ , \tag{3}$$

gdzie $P_a = P_m - P$ - moc napędzająca układ. Stosując transformację Laplace'a do zależności (3) i odpowiednio je przekształcając, można uzyskać następujące równanie operatorowe:

$$\frac{P_m(s)}{1+sT_m} = \frac{sT_m\omega(s)}{1+sT_m} + \frac{P(s)}{1+sT_m}\ , \tag{4}$$

któremu odpowiada schemat blokowy przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy odpowiadający równaniu (4)
Fig. 1. Block diagram corresponding to equation (4)

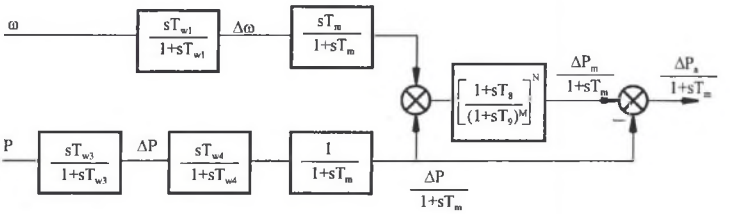
Włączenie w obydwa kanały regulacji dodatkowych członów o postaci transmitancji $\frac{sT}{1+sT}$ eliminuje składową stałą, przekształcając sygnały mocy czynnej i prędkości kątowej generatora w sygnały zbliżone do odchyłek wymienionych sygnałów od ich wielkości ustalonych. Podobnie jak w stabilizatorach jednowejściowych w każdym torze regulacji, za sygnałem odchyłki ΔP (lub $\Delta\omega$), powinien występować podstawowy człon różniczkujący stabilizatora systemowego. W celu eliminacji zakłóceń (drgań) torsyjnych na wyjściu układu wprowadza się filtr dolnoprzepustowy, tak jak to przedstawiono na rys.2. Założono, że filtr ten ma następującą funkcję przejścia:

$$F(s)=\left(\frac{1+sT_8}{(1+sT_9)^M}\right)^N. \tag{5}$$

Stałe czasowe występujące w transmitancji (5) powinny być tak dobrane, żeby filtr tłumił drgania torsyjne o częstotliwościach wyższych niż 4 Hz i przepuszczał kołysania elektromechaniczne o niższych częstotliwościach. Całkowite wykładniki potęg N i M występujące w zależności (5) określają tłumienie filtru. Zakłada się, że powinny przyjmować one wartości z przedziału od 1 do 5. Przy dobrze dobranych parametrach filtru dolnoprzepustowego na wyjściu filtru uzyskuje się wolny od zakłóceń sygnał $\frac{\Delta P_m(s)}{1+sT_m}$. Z sygnału tego po odjęciu sygnału $\frac{\Delta P(s)}{1+sT_m}$ otrzymuje się sygnał $\frac{\Delta P_a(s)}{1+sT_m}$. W konsekwencji ze schematu przedstawionego na rys. 1 uzyskuje się układ przedstawiony na rys. 2.

W schemacie blokowym pokazanym na rys. 2 na wyjściu układu występuje wolny od zakłóceń torsyjnych sygnał $\frac{\Delta P_a(s)}{1+sT_m}$. Można zauważyć, że dla stosunkowo dużych wartości elektromechanicznej stałej czasowej generatora T_m obowiązuje przybliżona zależność:

$$\frac{\Delta P_a(s)}{1+sT_m}\approx\frac{\Delta P_a(s)}{sT_m}=\Delta\omega(s). \tag{6}$$



Rys. 2. Schemat blokowy układu tłumiącego zakłócenia torsyjne
Fig. 2. Block diagram of the circuit damping torsional oscillations

Na wyjściu układu z rys. 2 uzyskuje się wolny od zakłóceń torsyjnych sygnał zbliżony do sygnału $\Delta\omega(s)$, który może być użyty do formułowania odpowiedniego sygnału wyjściowego stabilizatora systemowego. Stabilizator systemowy powinien sterować dodatkową składową tłumiącą momentu elektromagnetycznego, proporcjonalną do odchyłki prędkości wirnika (poprzez regulator napięcia i układ wzbudzenia) [1], [4], [7]:

$$\Delta M_{eS}(s) = D \cdot \Delta\omega(s), \tag{7}$$

gdzie D jest współczynnikiem tłumienia generatora. Składową momentu elektromagnetycznego generatora sterowaną przez stabilizator systemowy można przedstawić zależnością [1], [4]:

$$\Delta M_{eS}(s) = G_{TU}(s) \cdot G_{SC}(s) \cdot \Delta\omega, \tag{8}$$

gdzie $G_{SC}(s)$ jest funkcją przejścia korektora stabilizatora systemowego, a transmitancję momentowo napięciową

$$G_{TU}(s) = \frac{\Delta M_e(s)}{\Delta V_{zad}(s)}, \tag{9}$$

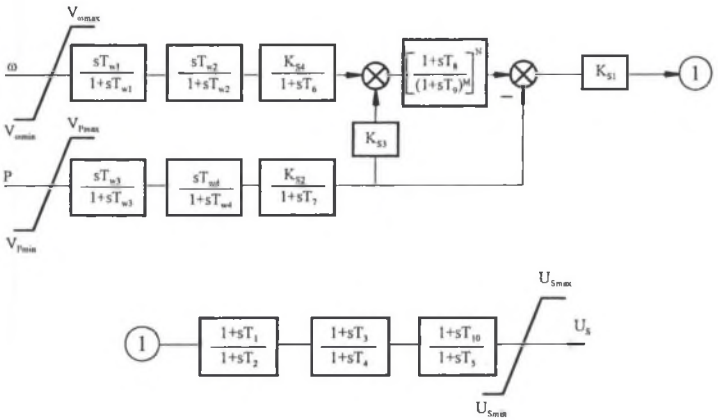
gdzie V_{zad} – napięcie zadane regulatora napięcia wyznacza się dla układu zlinearyzowanego w warunkach wyłączenia stabilizatora systemowego przy założeniu nieskończonej wartości bezwładnościowej stałej czasowej generatora.

Z powyższych zależności wynika funkcja przejścia korektora stabilizatora systemowego:

$$G_{SC}(s) = \frac{D}{G_{TU}(s)}, \tag{10}$$

którą można zrealizować poprzez wprowadzenie szeregu (najczęściej trzech) członów korekcyjnych o transmitancji postaci $\frac{1+sT_i}{1+sT_j}$ i współczynnika wzmocnienia K_{S1}. W konsekwencji otrzymuje się schemat strukturalny dwuwejściowego stabilizatora systemowego PSS2A rekomendowany przez komitet IEEE [3]. Na schemacie tym (rys. 3) dodatkowo wprowadzono współczynniki wzmocnienia w poszczególnych torach regulacji służące do ewentualnego wzmocnienia lub zablokowania poszczególnych sygnałów. Ograniczenie sygnału wyjściowego stabilizatora do przedziału $U_{S\,max} \div U_{S\,min}$ stosuje się w celu

wyeliminowania znacznego wpływu stabilizatora na tor regulacji napięcia (niedopuszczenie do nadmiernego forsowania lub rewersji napięcia wzbudzenia).



Rys. 3. Schemat strukturalny dwuwejściowego stabilizatora systemowego PSS2A
Fig. 3. The structural diagram of the dual-input stabilizer PSS2A

3. METODOLOGIA WYZNACZANIA PARAMETRÓW DWUWEJŚCIOWEGO STABILIZATORA SYSTEMOWEGO

Obliczenia podstawowych parametrów stabilizatora systemowego można przeprowadzić w dwóch etapach. W pierwszym etapie oblicza się stałe czasowe korektora stabilizatora systemowego poprzez aproksymację charakterystyki częstotliwościowej kąta fazowego (argumentu) transmitancji $\frac{\Delta M_e}{\Delta V_{zad}}(s = 2\pi jf)$ przez kąt fazowy transmitancji korektora stabilizatora. Stałe czasowe korektora stabilizatora systemowego powinny spełniać warunek kompensacji w przedziale częstotliwości kołysań elektromechanicznych:

$$\arg\{G_{SC}(j2\pi\omega)\} + \arg\{G_{TU}(j2\pi\omega)\} = 0. \tag{11}$$

W drugim etapie obliczeń wyznacza się wartość podstawowego współczynnika wzmocnienia stabilizatora K_{S1}. Obliczenie współczynnika K_{S1} odbywa się poprzez analizę położenia wartości własnych macierzy stanu układu zlinearyzowanego (wokół ustalonego punktu pracy) przy zmienianej wartości tego współczynnika. Wprowadzenie do układu stabilizatora systemowego przy odpowiednio dobranym współczynniku wzmocnienia K_{S1} powinno przesuwać w lewo na płaszczyźnie zespolonej elektromechaniczne wartości własne. Należy jednak zauważyć, że niewłaściwy dobór współczynnika wzmocnienia może doprowadzić do przesunięcia w prawo innych wartości własnych oraz pogorszenia przebiegów regulacyjnych napięcia generatora.

4. MODEL MATEMATYCZNY UKŁADU

Wyprowadzoną strukturę dwuwejściowego stabilizatora systemowego uwzględniono przy opracowaniu nieliniowego modelu matematycznego układu jednomaszynowego typu generator - sieć sztywna. Równania stanu i równania wyjścia układu uzyskano łącząc ze sobą równania stanu i równania wyjścia:

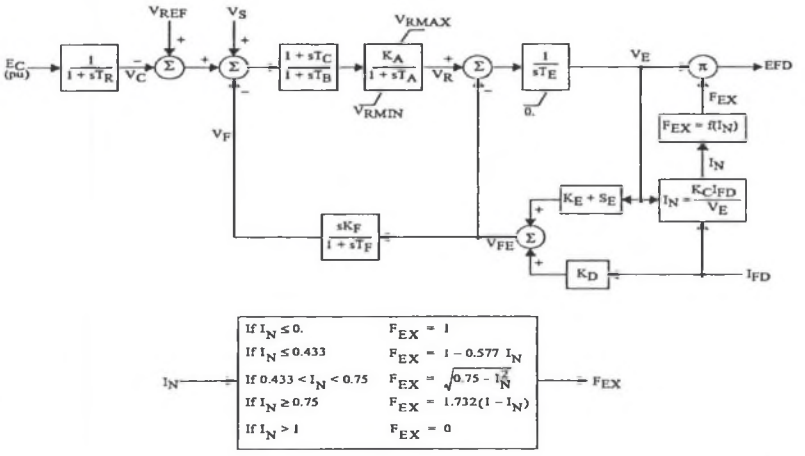
- generatora synchronicznego połączonego z siecią sztywną,
- układu regulacji napięcia wzbudzenia,
- turbiny i jej układu regulacji,
- dwuwejściowego stabilizatora systemowego.

W równaniach odnoszących się do obwodów twornika generatora i sieci sztywnej pominięto napięcia transformacji.

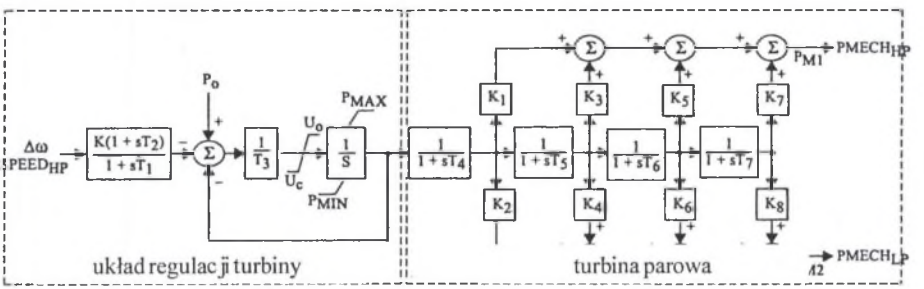
Generator synchroniczny odwzorowano za pomocą nieliniowego modelu matematycznego turbogeneratora GENROE [5], [6]. Odpowiadają mu cztery zastępcze obwody elektryczne w wirniku po dwa w osiach podłużnej d (obwód wzbudzenia i jeden obwód tłumiący) i poprzecznej q (dwa obwody tłumiące). Model ten w sposób wykładniczy uwzględnia nasycenie obwodu magnetycznego.

Układ wzbudzenia reprezentuje nieliniowy model EXAC1 [6], przedstawiony na rys. 4. Układ EXAC1 jest przykładem elektromaszynowego układu wzbudzenia z prostownikiem diodowym prostującym prąd wyjściowy wzbudnicy synchronicznej. Działanie prostownika i jego wpływ na napięcie wzbudzenia jest opisane przez współczynnik K_C (jest on funkcją reaktancji komutacyjnej prostownika) oraz równania uwzględniające poszczególne zakresy pracy prostownika (od stanu jałowego do stanu zwarcia). Oddziaływanie prądu wzbudzenia na funkcję przejścia napięcia wyjściowego wzbudnicy V_E uwzględnia człon sprzężenia zwrotnego o współczynniku K_D, natomiast nasycenie obwodu magnetycznego prądnicy uwzględnia nieliniowa funkcja $S_E(V_E)$.

Założono, że turbina jest reprezentowana przez model IEEEG1 turbiny parowej z przegrzewaczem międzystopniowym [6] przedstawiony na rys. 5. Podstawową wielkością wejściową układu regulacji turbiny jest sygnał proporcjonalny do odchyłki prędkości kątowej generatora synchronicznego. Dodatkową wielkością wejściową jest moc zadana turbiny P_0, która zależy od początkowego otwarcia zaworów regulacyjnych serwomotoru i mocy pary dostarczanej z kotła. Na wyjściu turbiny parowej występują sygnały mocy mechanicznej turbiny.



Rys. 4. Schemat strukturalny układu wzbudzenia EXAC1
Fig. 4. Structural diagram of the excitation system EXAC1



Rys. 5. Schemat strukturalny turbiny parowej IEEEG1 i jej układu regulacji
Fig. 5. Structural diagram for the steam turbine IEEEG1 and its governor

5. WYNIKI OBLICZEŃ

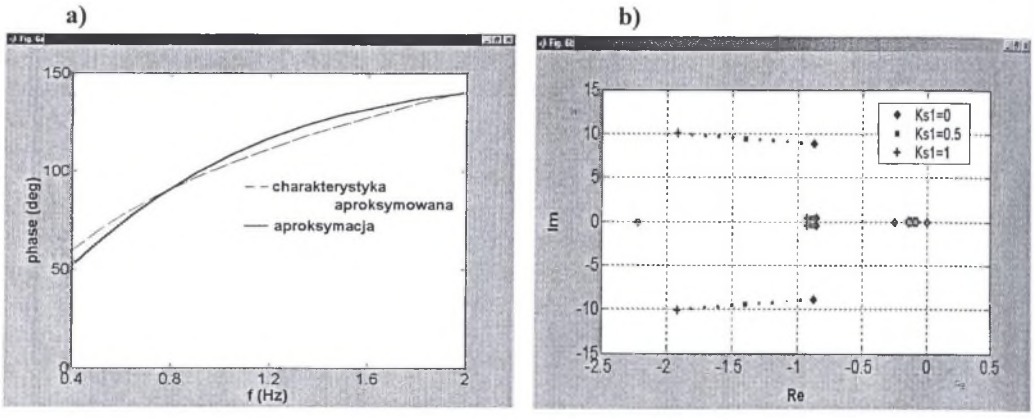
Przykładowe obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem programu Matlab (wersja 6.1) i Simulink (wersja 4). Przy wykorzystaniu programu Simulink i zawartych w nim bloków typu "Configurable Subsystems" opracowano odpowiedni model jednostki wytwórczej połączonej poprzez linię przesyłową z siecią sztywną.

Parametry stabilizatora systemowego wyznaczono przyjmując, że punkt pracy systemu elektroenergetycznego jest scharakteryzowany przez następujące wielkości (wszystkie wartości w jednostkach względnych):

- moc czynna generatora $P_0 = 0.5$,
- moc bierna generatora $Q_0 = 0.2$,
- napięcie zaciskowe generatora $V_{T0} = 1$,
- zastępcza impedancja linii przesyłowej $Z_e = R_e + j\,X_e = 0 + j\,0.3$.

Obliczenia zostały przeprowadzone według etapów przedstawionych w rozdziale 3. W pierwszym etapie określono stałe czasowe członów korekcyjnych przy wykorzystaniu warunku kompensacyjnego (11). Przykładową charakterystykę aproksymowaną i aproksymującą dla określonego punktu pracy przedstawiono na rys. 6a.

W drugim etapie obliczeń określono wartość współczynnika wzmocnienia K_{S1} w taki sposób, aby moduł części rzeczywistych elektromechanicznych wartości własnych był odpowiednio duży, bez znacznego przesunięcia w prawo innych wartości własnych układu na płaszczyźnie liczb zespolonych oraz bez pogorszenia jakości regulacji napięcia twornika generatora. Rozkład wartości własnych macierzy stanu na płaszczyźnie zespolonej, obliczonych przy zmienianej wartości współczynnika K_{S1} (w przedziale od 0 do 1 z krokiem 0.1), przedstawiono na rys. 6b.



Rys. 6. Wyznaczanie parametrów stabilizatora systemowego
Fig. 6. Determination of the parameters of the PSS

Wartości obliczonych i przyjętych parametrów stabilizatora systemowego podano w tabeli 1. (Parametry obliczone zaznaczono grubszą czcionką bold).

Tabela 1

Parametry stabilizatora PSS2A

Model	M	N	T_{W1}	T_{W2}	T_6	T_{W3}	T_{W4}
PSS2A	2	2	8	8	0.02	8	8

T_7	K_{S2}	K_{S3}	T_8	T_9	K_{S1}	T_1	T_2
0.02	1	1	0.08	0.1	**0.7**	**0.088**	**0.015**

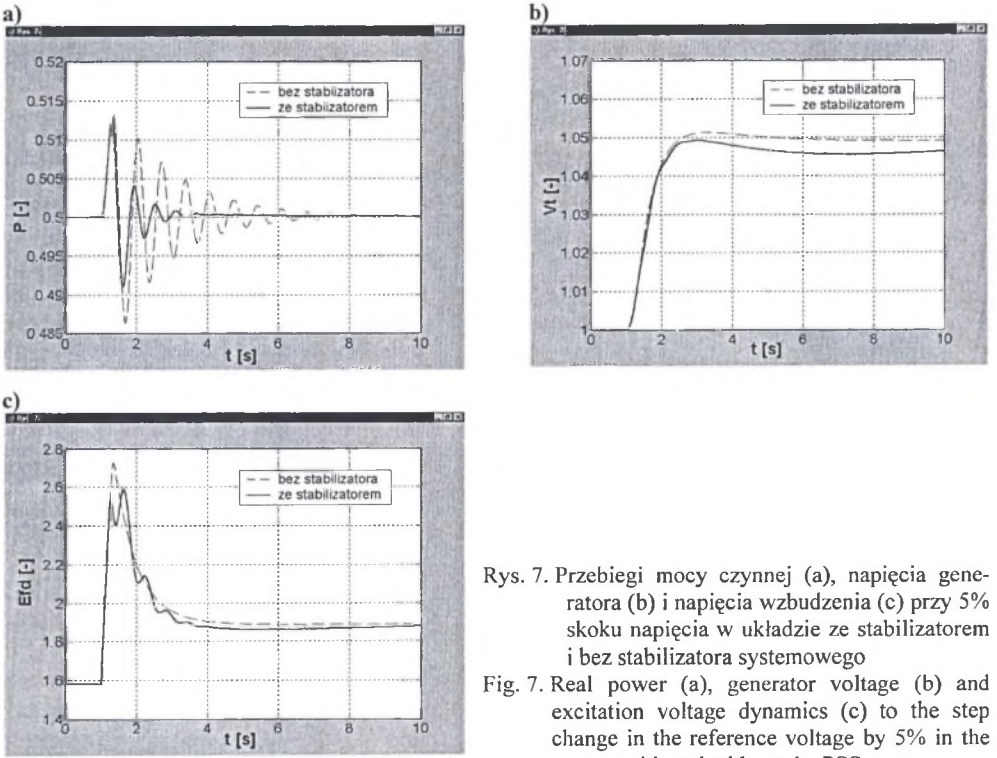
T_3	T_4	T_{10}	T_5	V_{STMAX}	V_{STMIN}
0.088	**0.015**	**0.088**	**0.015**	0.2	-0.066

Wyznaczone parametry stabilizatora systemowego uwzględniono w obliczeniach symulacyjnych. Rozpatrzono dwa typy zakłóceń stanu ustalonego:

- skokową zmianę napięcia zadanego regulatora napięcia – małe zakłócenie,
- przejściową zmianę wartości impedancji linii przesyłowej (przemijające zwarcie w linii przesyłowej) - duże zakłócenie stanu ustalonego.

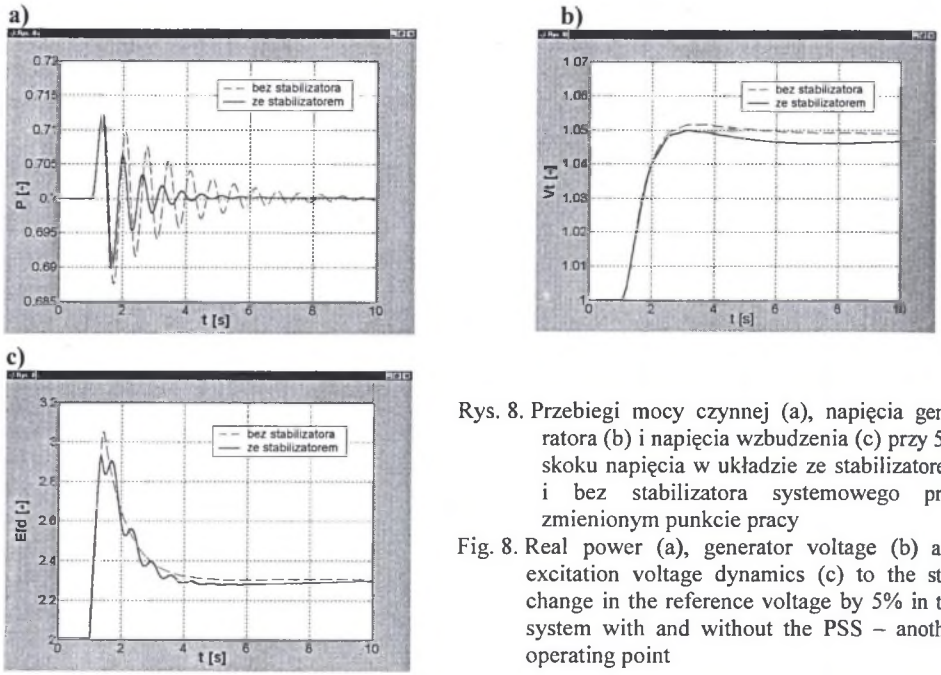
Na rys. 7 przedstawiono przebiegi mocy czynnej, napięcia generatora i napięcia wzbudzenia przy 5 % zmianie napięcia zadanego (w stosunku do stanu ustalonego) w układzie ze stabilizatorem i bez stabilizatora systemowego. Analogiczne obliczenia wykonano również dla innego punktu pracy przy zmienionych wartościach mocy czynnej i biernej generatora: $P_0 = 0.7$, $Q_0 = 0.4$. Nie zmieniono parametrów stabilizatora wyznaczonych dla poprzedniego punktu pracy. Wyniki symulacji przedstawiono na rys. 8.

Przemijające zwarcie symetryczne w linii przesyłowej zamodelowano poprzez zmianę impedancji linii (zmiana reaktancji linii z 0.3 na 0.18). Założono czas trwania zwarcia 0.15 s. Przyjęto moce generatora: $P_0 = 0.5$, $Q_0 = 0.2$. Wyniki symulacji przedstawiono na rys 9.



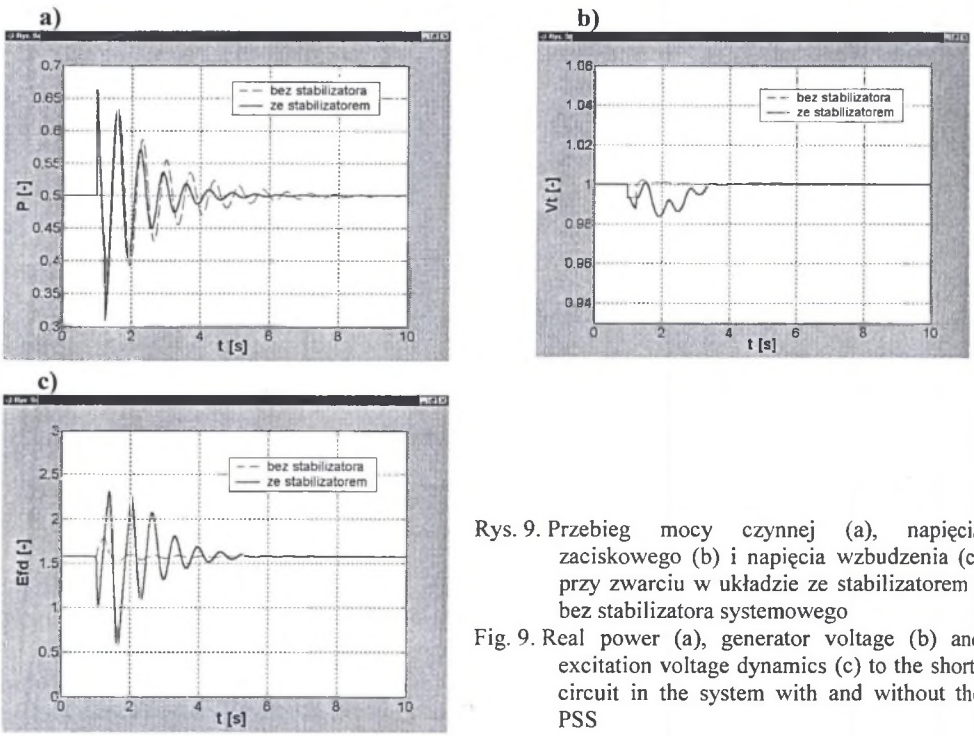
Rys. 7. Przebiegi mocy czynnej (a), napięcia generatora (b) i napięcia wzbudzenia (c) przy 5% skoku napięcia w układzie ze stabilizatorem i bez stabilizatora systemowego

Fig. 7. Real power (a), generator voltage (b) and excitation voltage dynamics (c) to the step change in the reference voltage by 5% in the system with and without the PSS



Rys. 8. Przebiegi mocy czynnej (a), napięcia generatora (b) i napięcia wzbudzenia (c) przy 5% skoku napięcia w układzie ze stabilizatorem i bez stabilizatora systemowego przy zmienionym punkcie pracy

Fig. 8. Real power (a), generator voltage (b) and excitation voltage dynamics (c) to the step change in the reference voltage by 5% in the system with and without the PSS – another operating point



Rys. 9. Przebieg mocy czynnej (a), napięcia zaciskowego (b) i napięcia wzbudzenia (c) przy zwarciu w układzie ze stabilizatorem i bez stabilizatora systemowego

Fig. 9. Real power (a), generator voltage (b) and excitation voltage dynamics (c) to the short-circuit in the system with and without the PSS

6. UWAGI KOŃCOWE

W artykule przedstawiono wyprowadzenie ogólnej struktury dwuwejściowego stabilizatora systemowego PSS2A. Opracowano nieliniowy model matematyczny zespołu wytwórczego połączonego linią przesyłową z siecią sztywną. Dla określonego punktu pracy układu i impedancji linii przesyłowej obliczono stałe czasowe członów korekcyjnych i współczynnik wzmocnienia K_{S1} stabilizatora systemowego, analizując zlinearyzowany model matematyczny układu.

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych można stwierdzić, że dwuwejściowy stabilizator systemowy, o parametrach wyznaczonych poprzez analizę układu zlinearyowanego, oddziałuje prawidłowo w systemie elektroenergetycznym o nieliniowym modelu matematycznym. Wprowadzenie stabilizatora powoduje dobre wytłumienie kołysań wirników generatorów synchronicznych zarówno przy skoku napięcia zadanego, jak i przy przemijającym zwarciu impedancji w linii przesyłowej bez istotnego pogorszenia przebiegów regulacyjnych napięcia generatora.

Przy zmianie obciążenia generatora tłumienie kołysań elektromechanicznych przez stabilizator systemowy jest mniejsze niż w układzie, dla którego obliczono parametry. Wynika to z faktu, że zmiana punktu pracy pociąga za sobą zmianę charakterystyki częstotliwościowej kąta fazowego transmitancji G_{TU}. W konsekwencji zmieniają się również wartości stałych czasowych wyznaczanych na podstawie zależności (11). Jakkolwiek wpływ zmian punktu pracy na wymienioną charakterystykę jest względnie mały, to jednak zachodzi potrzeba przy obliczeniach optymalizacyjnych parametrów stabilizatora systemowego uwzględnienia jednocześnie różnych stanów obciążenia i różnych impedancji linii przesyłowych.

LITERATURA

1. Kundur P.: Power System Stability and Control. McGraw-Hill Inc., 1993.
2. Machowski J., Bialek J., Burnby J.: Power System Dynamics and Stability, Wiley, 1996.
3. IEEE Standard 421.5: IEEE Recommended Practice for Exitation System Models for Power System Stability Studies. August 1992.
4. Paszek S.: Optimisation of PSS parameters. Journal of Electrical Engineering. Slovak Centrum of IEE. ISSN 1335-3632, Volume 52, 2001 pp. 30-35. Bratislava 2001.
5. De Mello F. P., Hannett L. H.: Representation of Saturation in Synchronous Machines, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-1, No.4 November 1986, pp. 8-18.
6. Power Technologies, a Division of S&W Consultants Inc.: Program PSS/E Application Guide.
7. Paszek S.: Optymalizacja stabilizatorów systemowych w systemie elektroenergetycznym. Zeszyty Naukowe ELEKTRYKA z. 161, Gliwice 1998.
8. Zajczyk R.: Wpływ stabilizatorów systemowych na tłumienie kołysań wirników stabilizatorów systemowych. Zeszyty Naukowe ELEKTRYKA z. 171, s. 47-60, Gliwice 2000.

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 maja 2002 r.

Recenzent: Dr hab. inż. Ryszard Zajczyk, Politechnika Gdańska

Abstract

In the paper there are presented the possibilities of application of a dual input system stabilizer PSS2A to damping low-frequency rotor swings of synchronous generators in the power system. These electromechanical swings of frequency (0.1 ÷ 2) Hz appear following a variety of disturbances in the power system. The PSS, which is a part of the excitation control system, damps the power swings by appropriate control of the excitation voltage, thus indirectly controlling the electromagnetic torque of the generator. The traditional PSS has a single input signal proportional to either the speed deviation or the generator real power. Recently, dual input stabilizers have gained in popularity. One of such stabilizer is the PSS2A.

The paper presents the mathematical model of the generating unit consisting of non-linear models of the synchronous generator, the generator exciter system, the turbine and its governor system and the power system stabilizer PSS2A connected to the infinite bus system. The PSS2A parameters for the determined configuration structure are evaluated. The calculations are performed in the system in the cases with and without PSS application.

The calculations are performed in 2 stages. In the first stage the corrector time constants are determined. These calculations are based on approximating the phase-frequency characteristic of the transfer function $\frac{\Delta M_e}{\Delta V_{zad}}(s = 2\pi j f)$ by the corrector transfer function in the electromechanical swing frequency range. The transfer function is determined for the linearized system. Figure 6a shows both phase-frequency characteristics.

The second stage consists of determining the main gain K_{S1} of the stabilizer PSS2A by analysing the eigenvalues of the linearized state matrix when the value of K_{S1} is changed. The aim is to move to the left the electromechanical eigenvalues on the complex plane without any significant moving to the right of other eigenvalues. Figure 6b shows how the eigenvalues move on the complex plane when the gain K_{S1} is changed.

Figures 7 show the dynamic responses of the real power, terminal voltage and excitation voltage in the system with and without the PSS assuming the step change of the reference voltage by 5%. Figures 8 show the simulation traces obtained for another operating point: $P_0 = 0.7$, $Q_0 = 0.4$. The PSS parameters are the same. The dynamic responses show that the PSS acts in a correct way. An introduction of the PSS damps power swings without adversely affecting the dynamics of the terminal voltage and excitation voltage. When the operating point is changed traces show that are damping of power swings is also satisfactory (Fig. 8). After the short circuit are damping of power swings is also satisfactory (Fig. 9). The traces show that the dynamics of the generator terminal voltage did not deteriorate considerably.

Generally, all these dynamic responses show that the power system stabilizers are very effective systems improving are damping of electromechanical oscillations.