<u>2004</u> Nr kol. 1633

Stefan PASZEK, Andrzej PAWŁOWSKI Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Przemysłowej. Zakład Elektrotechniki i Informatyki

OPTYMALIZACJA PARAMETRÓW DWUWEJŚCIOWEGO STABILIZATORA SYSTEMOWEGO PSS3B W JEDNOMASZYNOWYM SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM GENERATOR – SIEĆ SZTYWNA

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę optymalizacji parametrów dwuwejściowego stabilizatora systemowego PSS3B poprzez minimalizację wskaźnika jakości przebiegów regulacyjnych. Założono, że stabilizator systemowy wchodzi w skład układu wzbudzenia generatora synchronicznego w jednomaszynowym systemie elektroenergetycznym (typu generator – sieć sztywna) o nieliniowym modelu matematycznym. Przykładowe obliczenia optymalizacyjne przeprowadzono przy uwzględnieniu różnych stanów obciążenia generatora i różnych wartości impedancji linii przesyłowej.

DUAL INPUT STABILIZER PSS3B PARAMETER OPTIMISATION IN A SINGLE MACHINE POWER SYSTEM GENERATOR – INFINITE BUS SYSTEM

Summary. The paper presents the parameters optimisation method of the dual input power system stabilizer PSS3B. In the algorithm the quality factor of adjusting processes is minimized. It is assumed that the PSS is the part of a synchronous generator excitation system in the single machine power system (type generator - infinite bus system) with a non-linear mathematical model. The exemplary calculation is carried out at various loads of the generator and different values of the power line impedance.

1. WPROWADZENIE

Stabilizatory systemowe wchodzące w skład układów wzbudzenia generatorów synchronicznych mają za zadanie wytłumienie wolnozmiennych kołysań wirników generatorów synchronicznych. Kołysania te nazywane kołysaniami elektromechanicznymi pojawiają się w systemie elektroenergetycznym po różnych zakłóceniach stanu równowagi. Skutkiem występowania tych kołysań jest ograniczenie możliwości przesyłu energii elektrycznej, a w skrajnych przypadkach mogą one doprowadzić do utraty stabilności systemu elektroenergetycznego. Tradycyjne stabilizatory systemowe mają jeden sygnał wejściowy proporcjonalny do odchyłki prędkości kątowej bądź mocy czynnej generatora [1, 2, 4]. Te tradycyjne stabilizatory systemowe o jednym sygnale wejściowym mają ograniczone zastosowanie w szczególności do tłumienia kołysań międzyobszarowych o bardzo małej częstotliwości.

Obecnie szerokie zastosowanie mają stabilizatory systemowe o dwóch sygnałach wejściowych proporcjonalnych do mocy czynnej (P) i prędkości kątowej (ω) generatora (lub do odchyłek tych wielkości od stanu ustalonego). Przykładem takiego dwuwejściowego stabilizatora jest stabilizator PSS2A, który ma skomplikowaną strukturę i zaopatrzony jest w filtr dolnoprzepustowy służący do eliminacji drgań torsyjnych pojawiających się w układzie pomiarowym prędkości obrotowej generatora wzdłuż jego wału [8, 9].

Alternatywnie stosowanym w KSE dwuwejściowym stabilizatorem systemowym jest stabilizator PSS3B [7, 9]. Przy zastosowaniu tego stabilizatora pomiar chwilowej średniej (wzdłuż wału generatora) prędkości kątowej generatora zastąpiono przez pośredni pomiar pulsacji napięcia wewnętrznego generatora E, który odbywa się poprzez pomiar napięcia i prądu twornika.

2. DWUWEJŚCIOWY STABILIZATOR SYSTEMOWY PSS3B

Stabilizator systemowy PSS3B ma dwa sygnały wejściowe proporcjonalne do mocy czynnej i do odchyłki prędkości kątowej generatora oraz prostą strukturę przedstawioną na rys.1. W każdym torze regulacji występuje: człon różniczkujący o postaci transmitancji $\frac{sT}{1+sT}$, służący do eliminacji składowej stałej, współczynnik korekcyjny typu $\frac{1}{1+sT}$ oraz współczynnik wzmocnieniowy. Ograniczenie sygnału wyjściowego stabilizatora do przedziału $U_{Smax} \div U_{Smin}$ stosuje się w celu wyeliminowania znacznego wpływu stabilizatora na tor regulacji napięcia (niedopuszczenie do nadmiernego forsowania lub rewersji napięcia wzbudzenia).





Przy badaniach optymalizacyjnych stabilizatorów systemowych o jednym sygnale wejściowym oraz dwuwejściowych stabilizatorów PSS2A stałe czasowe ich członów korekcyjnych dobiera się w ten sposób, aby składowa momentu elektromagnetycznego generatora wysterowana przez stabilizator systemowy miała charakter momentu tłumiącego, a więc była proporcjonalna do odchyłki prędkości kątowej generatora. Taką optymalizację parametrów stabilizatorów przeprowadza się poprzez kompensację kąta fazowego (argumentu)

transmitancji momentowo – napięciowej układu $G_{TU}(s = 2\pi j f) = \frac{\Delta M_e}{\Delta V_{zad}}(s = 2\pi j f)$ poprzez kąt

fazowy transmitancji korektora stabilizatora w zakresie częstotliwości kołysań elektromechanicznych (M_e – moment elektromagnetyczny generatora, V_{zad} – napięcie zadane regulatora napięcia) [1, 4, 6].

Optymalizacja parametrów dwuwejściowego...

Prosta struktura stabilizatora systemowego PSS3B nie pozwala na spełnienie warunku kompensacji:

$$\arg\{G_{SC}(j2\pi\omega)\} + \arg\{G_{TU}(j2\pi\omega)\} = 0 \tag{1}$$

w zakresie częstotliwości kołysań elektromechanicznych, gdzie G_{SC} - funkcja przejścia korektora stabilizatora systemowego PSS2A.

W związku z tym dobór parametrów stabilizatora PSS3B trzeba przeprowadzić w inny sposób.

W niniejszym artykule zaproponowano optymalizację parametrów stabilizatora systemowego PSS3B poprzez minimalizację uogólnionego wskaźnika jakości przebiegów regulacyjnych.

3. OPTYMALIZACJA PARAMETRÓW STABILIZATORÓW SYSTEMOWYCH

Optymalizację parametrów stabilizatorów systemowych można przeprowadzić poprzez minimalizację odchyłek wybranych wielkości regulacyjnych od ich wielkości ustalonych przy różnych typowych zakłóceniach stanu ustalonego. Z punktu widzenia zastosowania stabilizatorów uwzględnia się przede wszystkim kołysania elektromechaniczne, czyli przebiegi prędkości kątowej (ω) i mocy czynnej generatora (P). Wprowadzenie stabilizatorów systemowych nie powinno niekorzystnie wpływać na przebiegi regulacyjne napięcia twornika generatorów (V_T). Szczególne znaczenie ma tłumienie kołysań przy występowaniu dużych zakłóceń, np. przemijających zwarć, które mogą zagrozić stabilności systemu. Z jednym zakłóceniem wybranego stanu obciążenia wielomaszynowego systemu elektroenergetycznego można związać wskaźnik jakości [6]:

$$J_{k}(\boldsymbol{P}) = \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{n} \left(w_{p} \left| \Delta P_{ij}(\boldsymbol{P}) \right|^{2} + \left(w_{\omega} \left| \Delta \omega_{ij}(\boldsymbol{P}) \right|^{2} + \left(w_{V} \left| \Delta V_{Tij}(\boldsymbol{P}) \right|^{2} \right)^{2} \right), \quad (2)$$

gdzie: *P* - wektor optymalizowanych parametrów stabilizatorów systemowych wprowadzonych do poszczególnych zespołów wytwórczych, *N* - liczba zespołów wytwórczych w systemie elektroenergetycznym, ΔP_{ij} , $\Delta \omega_{ij}$, ΔV_{Tij} - odchyłki mocy czynnej, prędkości kątowej i napięcia generatora poszczególnego (*j*-tego) zespołu wytwórczego (w jednostkach względnych) w kolejnych *i*-tych chwilach czasu, w_{cp} , w_{ep} , w_{y} , - współczynniki wagowe.

W przypadku analizy układu jednomaszynowego typu generator – sieć sztywna przy typowym zakłóceniu: przemijającym symetrycznym zwarciu w linii przesyłowej, wskaźnik jakości (2) upraszcza się do postaci:

$$J_{k}(\boldsymbol{P}) = \sum_{i=1}^{n} \left(w_{p} \left| \Delta P_{i}(\boldsymbol{P}) \right| \right)^{2} + \left(w_{\omega} \left| \Delta \omega_{i}(\boldsymbol{P}) \right| \right)^{2} + \left(w_{V} \left| \Delta V_{Ti}(\boldsymbol{P}) \right| \right)^{2} , \qquad (3)$$

gdzie: P – wektor optymalizowanych parametrów jedynego stabilizatora systemowego, ΔP_i , $\Delta \omega_i$,

 ΔV_{Ti} – odchyłki mocy czynnej, prędkości kątowej i napięcia rozpatrywanego generatora w kolejnych *i*-tych chwilach czasu.

Stabilizatory systemowe powinny tłumić kołysania elektromechaniczne w różnych stanach obciążenia i różnych konfiguracjach systemu. W związku z tym wprowadzono uogólniony wskaźnik jakości przebiegów regulacyjnych w systemie jednomaszynowym:

$$J = \sum_{k=1}^{K} J_k(\boldsymbol{P}) , \qquad (4)$$

gdzie: K = L * M, M – ilość rozpatrywanych stanów obciążenia generatora, L – liczba rozpatrywanych wartości impedancji linii przesyłowych.

Wyznaczenie optymalnych parametrów stabilizatora systemowego można sprowadzić do minimalizacji wskaźnika jakości (4).

Ważnym zagadnieniem jest odpowiedni dobór współczynników wagowych występujących w minimalizowanym wskaźniku jakości. Przy badaniach optymalizacyjnych odnoszących się do układu wielomaszynowego współczynniki wagowe związane z mocą czynną można uzależnić od znamionowej mocy pozornej generowanej w poszczególnych zespołach wytwórczych [6]. W przypadku analizy układu jednomaszynowego ważne są relacje pomiędzy współczynnikami wagowymi związanymi z różnymi wielkościami. Proponuje się przyjęcie stosunkowo dużych wartości współczynników wagowych w_{ω} i w_V w porównaniu do współczynnika wagowego w_V . Spowodowane jest, z jednej strony, niewielkimi zmianami prędkości kątowej generatora w porównaniu ze zmianami mocy czynnej generatora (w jednostkach względnych), a z drugiej strony, potrzebą zapewnienia zadowalających przebiegów regulacyjnych napięcia twornika generatora. W rozdziale piątym podano przyjęte wartości współczynników wagowych.

W niniejszym artykule powyższą metodykę zastosowano do optymalizacji wybranych parametrów dwuwejściowego stabilizatora systemowego PSS3B.

4. MODEL MATEMATYCZNY UKŁADU

Przedstawioną strukturę dwuwejściowego stabilizatora systemowego PSS3B uwzględniono przy opracowaniu nieliniowego modelu matematycznego układu jednomaszynowego typu generator - sieć sztywna. Równania stanu 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.

W środowisku Matlab - Simulink opracowano ogólny model jednostki wytwórczej połączonej poprzez linię przesyłową z siecią sztywną przy wykorzystaniu bloków typu "Configurable Subsystems" (rys. 2).

W obliczeniach przedstawionych w niniejszym artykule założono, że generator synchroniczny odwzorowany jest za pomocą nieliniowego modelu matematycznego turbogeneratora GENROE [5, 9]. 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. W przedstawionych obliczeniach przyjęto dane dla generatora TW2-150-2 o mocy znamionowej Sn=166.5 MVA.

Założono, ze układ wzbudzenia jest reprezentowany poprzez nieliniowy model EXAC1 [8, 9]. Układ EXAC1 jest przykładem elektromaszynowego układu wzbudzenia z prostownikiem diodowym prostującym prąd wyjściowy wzbudnicy synchronicznej.

Założono ponadto, że turbina jest reprezentowana przez model IEEEG1 turbiny parowej z przegrzewaczem międzystopniowym [8, 9].

Optymalizacja parametrów dwuwejściowego...



Rys. 2. Model strukturalny systemu generator - sieć sztywna w środowisku Matlab – Simulink Fig. 2. Matlab – Simulink model of the power system generator – infinite bus system

5. WYNIKI OBLICZEŃ

Badania symulacyjne przeprowadzono modelując przemijające zwarcie w linii przesyłowej, zakładając przejściową zmianę reaktancji linii (przejściowe zmniejszenie reaktancji linii o 33%) w układzie ze stabilizatorem i bez stabilizatora systemowego. Założono czas trwania zwarcia 0.25 s.

W pierwszym etapie obliczeń założono punkt pracy systemu elektroenergetycznego scharakteryzowany przez następujące wielkości (w jednostkach względnych):

- moc czynna generatora $P_0 = 0.5$,
- moc bierna generatora $Q_0 = 0.2$,
- napięcie twornika generatora $V_{70} = 1$,
- impedancja linii przesyłowej $Z_e = R_e + j X_e = 0 + j 0.3$.

Wartości parametrów stabilizatora systemowego przyjęto wstępnie na podstawie dostępnych danych literaturowych [7] (tabela 1). Wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 3.

Tabela 1

Model	K _{S1}	K _{S2}	<i>K</i> _{<i>S</i>³}	T _t	T ₂	T ₃	T_4	V _{Smax}	V _{Smin}
PSS3B	1.0	1.0	0.05	0.02	1.5	0.02	1.5	0.2	-0.066

Wstępne parametry (literaturowe) stabilizatora PSS3B

Z rys. 3 widać, że wprowadzenie do układu stabilizatora PSS3B (o parametrach z tabeli 1) spowodowało tylko nieznaczne wytłumienie kołysań mocy czynnej przy nieznacznym pogorszeniu przebiegu regulacyjnego napięcia twornika generatora.

W celu poprawy przebiegów regulacyjnych w rozpatrywanym punkcie pracy przeprowadzono optymalizację wybranych parametrów stabilizatora PSS3B (współczynników wzmocnienia K_{S2} i K_{S3} oraz wszystkich stałych czasowych T_1 , T_2 , T_3 , T_4) poprzez minimalizację wskaźnika jakości (4) (określonego dla jednego punktu pracy). Założono następujące wartości współczynników wagowych: $w_p = 1$, $w_\omega = 100$, $w_V = 10$.



Minimalizację wskaźnika jakości przeprowadzono przy użyciu algorytmu gradientowego Newtona z ograniczeniami, zaimplementowanego w Optimization Toolbox programu Matlab [10]. Algorytm ten umożliwia określenie górnych i dolnych ograniczeń, zapewniając fizyczny sens optymalizowanych parametrów.

Punkty startowe, wyniki optymalizacji oraz dolne i górne ograniczenia optymalizowanych parametrów stabilizatora PSS3B zestawiono w tabeli 2. Pozostałe parametry stabilizatora przyjęto wg tabeli 1.

Na rys. 4 przedstawiono przebiegi mocy czynnej, napięcia generatora i odchyłki prędkości kątowej generatora dla układu bez stabilizatora i ze stabilizatorem systemowym (o parametrach wynikających z optymalizacji i przedstawionych w tabeli 2). Wprowadzenie stabilizatora o optymalizowanych parametrach (w wybranym punkcie pracy) znacznie zwiększa tłumienie kołysań mocy i prędkości kątowej generatora przy nieznacznym pogorszeniu przebiegów regulacyjnych napięcia generatora.

-1

-1.5

2

4

6

t [s]

8

10

Wartości parametrów s	stabilizatora	PSS3B	optymalizowanych	w jednym	punkcie pracy
-----------------------	---------------	-------	------------------	----------	---------------

Parametry stabilizatora		K ₅₂	<i>K</i> _{<i>S</i>³}	<i>T</i> ₁	<i>T</i> ₂	<i>T</i> ₃	T ₄
Wartości parametrów	punkt startowy	1	0.05	0.02	1.5	0.02	1.5
	po optymalizacji	5.825	0.163	0.012	3.996	0.011	0.232
Wartości graniczne parametrów	wartości minimalne	0.1	0.001	0.01	0.1	0.01	0.1
	wartości maksymalne	6.0	0.3	0.1	5.0	0.1	5.0



speed deviation dynamics (c) to the shortcircuit in the system with (for optimised PSS3B parameter) and without the PSS

Na rys. 5a przedstawiono rozkład wartości własnych macierzy stanu układu (zlinearyzowanego wokół punktu pracy) bez stabilizatora i ze stabilizatorem o parametrach po optymalizacji, a dla porównania na rys. 5b w układzie bez stabilizatora i ze stabilizatorem o parametrach wstępnych (literaturowych).

Wprowadzenie do układu stabilizatora systemowego o optymalizowanych parametrach spowodowało znaczne (w porównaniu z oddziaływaniem stabilizatora o wstępnych literaturowych parametrach) przesunięcie płaszczyźnie w lewo na zespolonej elektromechanicznych wartości własnych. Część rzeczywista elektromechanicznych wartości własnych odpowiedzialna za tłumienie kołysań zmniejsza się z wartości około -0.8 do -1.5 nie zmieniając znacznie położenia innych wartości własnych. Należy zauważyć, że niewłaściwy dobór parametrów stabilizatora mógłby doprowadzić do przesuniecja w prawo innych wartości własnych, a tym samym do pogorszenia przebiegów regulacyjnych innych wielkości w systemie np. napiecia twornika generatora.



- Rys. 5. Rozmieszczenie wartości własnych macierzy stanu po optymalizacji (a) i przed optymalizacją (b) w układzie ze stabilizatorem i bez stabilizatora PSS3B
- Fig. 5. Locus of eigenvalues state matrix after optimisation (a) and before optimisation (b) in the system with and without the PSS3B

Stabilizator powinien również prawidłowo działać dla innego punktu pracy. Na rys. 6, przedstawiono przebiegi mocy czynnej i napięcia twornika generatora dla zmienionego obciążenia generatora (P0 = 0.85, Q0 = 0.5) oraz impedancji linii (Ze = 0 + j 0.6). Nie zmieniono parametrów stabilizatora wyznaczonych dla poprzedniego punktu pracy.





Fig. 6. Real power (a) and generator voltage dynamics (b) to the short-circuit in the system for another operating point ($P_0 = 0.85$, $Q_0 = 0.5$, $Z_e = 0 + j 0.6$)

Przedstawione wyniki wskazują, że PSS3B o parametrach wyznaczonych dla określonego punktu pracy nie działa poprawnie w innym punkcie pracy. Tłumienie kołysań mocy i przebiegi napięcia generatora nie są zadowalające. W celu zapewnienia prawidłowej pracy stabilizatora w różnych stanach obciążenia układu konieczne jest uwzględnienie we wskaźniku jakości (4) różnych charakterystycznych stanów obciążenia układu i impedancji linii przesyłowej.

W obliczeniach optymalizacyjnych uwzględniono następujące stany pracy i impedancji linii przesyłowej:

- stan znamionowy: $P_0 = 0.85, Q_0 = 0.5;$

122

- stan pracy przy częściowym obciążeniu: $P_0 = 0.5$, $Q_0 = 0.2$;

- stan pracy przy obciążeniu pojemnościowym: $P_0 = 0.6$, $Q_0 = -0.2$;
- $Z_e = R_e + j X_e = 0 + j 0.3;$
- $Z_e = R_e + j X_e = 0 + j 0.6.$

Wyniki optymalizacji oraz punkty startowe (wyniki analizy wybranego punktu pracy) przedstawiono w tabeli 3. Dolne i górne ograniczenia optymalizowanych parametrów przyjęto takie same jak w tabeli 2.

Na rys. 7 przedstawiono odpowiednie przebiegi przy przemijającym zwarciu przy uwzględnieniu wyników optymalizacji parametrów PSS3B przedstawionych w tabeli 3. Uwzględniono analogiczny punkt pracy jak na rys. 6: $P_0 = 0.85$, $Q_0 = 0.5$, $Z_e = 0 + j 0.6$. Z rys. 7 widać, że stabilizator prawidłowo tłumi kołysania elektromechaniczne bez znacznego pogorszenia przebiegów regulacyjnych napięcia generatora.

Z przeprowadzonych badań wynika ponadto, że po przeprowadzeniu optymalizacji parametrów stabilizatora następuje zmniejszenie wartości uogólnionego wskaźnika jakości, jak również jego składowych odnoszących się do mocy czynnej i prędkości kątowej generatora przy tylko nieznacznym zwiększeniu składowej związanej z napięciem generatora.

Tabela 3

Parametry stabilizatora		K _{S2}	K _{S3}	<i>T</i> ₁	<i>T</i> ₂	<i>T</i> ₃	T ₄
Wartości parametrów	punkt startowy	5.825	0.163	0.012	3.996	0.011	0.232
	po optymalizacji	5.998	0.248	0.01	3.992	0.01	1.097
Wartości graniczne parametrów	wartości minimalne	0.1	0.001	0.01	0.1	0.01	0.1
	wartości maksymalne	6.0	0.3	0.1	5.0	0.1	5.0

Wartości parametrów stabilizatora PSS3B optymalizowanych w różnych punktach pracy



- Rys. 7. Przebiegi mocy czynnej (a) i napięcia twornika generatora (b) przy zwarciu w układzie w zmienionym punkcie pracy ($P_0 = 0.85$, $Q_0 = 0.5$, $Z_e = 0 + j 0.6$) po optymalizacji parametrów stabilizatora
- Fig. 7. Real power (a) and generator voltage dynamics (b) to the short-circuit in the system for another operating point ($P_0 = 0.85$, $Q_0 = 0.5$, $Z_e = 0 + j 0.6$) after PSS parameter optimisation

6. PODSUMOWANIE

Stabilizatory systemowe wchodzące w skład układów wzbudzenia generatorów synchronicznych mają za zadanie wytłumienie wolnozmiennych kołysań wirników generatorów synchronicznych. Obecnie szerokie zastosowanie mają stabilizatory systemowe o dwóch sygnałach wejściowych proporcjonalnych do mocy czynnej i prędkości kątowej generatora (lub do odchyłek tych wielkości od stanu ustalonego). Przykładem takiego stabilizatora jest stabilizator systemowy PSS3B przedstawiony na rys.1. Z przedstawionych obliczeń wynika, że stabilizator systemowy PSS3B, mimo bardzo prostej struktury, może dobrze tłumić kołysania elektromechaniczne pojawiające się w systemie elektroenergetycznym. Konieczne jest jednak prawidłowe ustawienie jego parametrów.

W artykule przedstawiono metodę optymalizacji parametrów stabilizatora systemowego poprzez minimalizację uogólnionego wskaźnika jakości przebiegów regulacyjnych w systemie. Stabilizator systemowy dobrze tłumi kołysania mocy czynnej i prędkości obrotowej generatora w różnych punktach pracy systemu nie pogarszając znacznie przebiegów regulacyjnych napięcia twornika generatora, gdy we wskaźniku jakości uwzględnia się różne charakterystyczne stany obciążenia i konfiguracji linii przesyłowych (rys. 7).

Uwzględnienie we wskaźniku (4) tylko jednego stanu pracy powoduje, że stabilizator nie działa prawidłowo w innych warunkach obciążenia (rys. 6).

Przedstawioną metodę optymalizacji parametrów dwuwejściowego stabilizatora systemowego PSS3B w układzie jednomaszynowym typu generator – sieć sztywna (o nieliniowym modelu matematycznym) można również zastosować do optymalizacji parametrów różnych rodzajów stabilizatorów systemowych w wielomaszynowym systemie elektroenergetycznym.

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 Excitation System Models for Power System Stability Studies. August 1992.
- 4. Paszek S.: *Optimisation of PSS parameters*. "Journal of Electrical Engineering". Slovak Centrum of IEE. Volume 52, Bratislava 2001, p. 30-35.
- 5. De Mello F. P., Hannett L. H.: *Representation of Saturation in Synchronous Machines*, "IEEE Transactions on Power Systems" 1986, Vol. PWRS-1, No.4, p. 8-18.
- 6. Paszek S.: Optymalizacja stabilizatorów systemowych w systemie elektroenergetycznym. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. s. Elektryka z. 161, Gliwice 1998.
- 7. Computer Models for Representation of Digital-Based Excitation Systems. "Excitation System Subcommittee IEEE" 1996.
- 8. Paszek S., Pawłowski A.: Zastosowanie dwuwejściowego stabilizatora systemowego PSS2A w systemie elektroenergetycznym o nieliniowym modelu matematycznym. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. s. Elektryka z. 182, Gliwice 2002.
- 9. Power Technologies, a Division of S&W Consultants Inc.: Program PSS/E Application Guide.
- 10. Optimization Toolbox User's Guide, Mathworks, Inc., 1990-2001.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ryszard Zajczyk

Wpłynęło do Redakcji dnia 20 stycznia 2004 r.