Seria: ELEKTRYKA s. 85

Nr kol. 757

Antoni BOGUCKI Zbigniew BARTOŃ

OCENA STABILNOŚCI GLOBALNEJ WYBRANEGO SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO METODĄ LAPUNOWA

> <u>Stressczenie</u>. W artykule przedstawiono wyniki analizy stabilności globalnej wybranego systemu elektroenergetycznego. Zwrócono uwagę na pezymistyczność oceny uzyskiwanej przy stosowanu metody Lapunowa. Zaproponowano, zmiejszającą tę pezymistyczność, modyfikację procedury określania dopuszczalnego czasu trwania zakłócenia.

1. Watep

Bespośrednia metoda Lapunowa snajduje coras szersze zastosowanie w praktycznej analizie stabilności systemu elektroenergetycznego. Dzięki swoim zaletom daje ona możliwość stozunkowo zzybkiej, jakościowej oceny stabilności globalnej, bez konieczności symulacji przebiegów przejściowych.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki obliczeń wykonanych dla 7maszynowego systemu elektroenergetycznego w kontekście warunków pracy automatyki prewencyjnej.

2. Model matematycsny

Do obliczeń wykorzystano nieliniowy model matematyczny opisujący w przestrzeni stanów dynamikę systemu za pomocą równań róźniczkowych I rzędu, z niejednorodnym tłumieniem [2]. W modelu tym uwzględniono także układy regulacji prędkości obrotowej opisane transmitancją operatorową I rzędu. Funkcja Lapunowa Y zawierała dodatkową formę kwadratową w części odpowiadającej energii kinetycznej, odzwierciedlającą wpływ tych układów regulacji [6].

3. Wyniki oblicseń

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń wykonanych za pomocą m.c. dla systemu zawierającego 7 generatorów połączonych 23 liniami przesyłowymi, tworzącymi wielobok supełny admitancji. Macierz admitancji otrzymano po



Rys. 1. Dynamiczne zmiany kątów d' podczas zwarcia - wariant I



Rys. 2. Dynamiczne zmiany kątów o podczas zwarcia - wariant I

redukcji węzłów odbiorczych ze schematu zastępczego rzeczywistego systemu elektroenergetycznego metodą opisaną między innymi w pracy [5]. Parametry badanego systemu zestawiono w pracy [8]. Zakładano w kaźdym przypadku zwarcie 3-fazowe na linii w pobliżu szyn każdego z generatorów. Stabilność globalną badano dla konfiguracji pozakłóceniowych, które nie zawierały linii, na której wystąpiło zakłócenie. Prezentowane wyniki wykonano dla dwóch wariantów obciążeń. W trakcie numerycznego całkowania układu równań różniczkowych rejestrowano kąty bezwzględne δ_i , względne δ_{in} , prędkości kątowe ω_i , przyrosty mocy mechanicznych, moce mechaniczne, wartości wskaźników identyfikacji oraz funkcji Lapunowa V.



Rys. 3. Dynamicsne smiany prędkości kątowej w podcsas swarcia - wariant I



Rys. 4. Dynamiczne zmiany prędkości kątowej ω podczas zwarcia - wariant I



Rys. 5. Przebiegi wskaźników identyfikacji W₁ podczas zwarcia - wariant I



Rys. 6. Dynamiczne zmiany kątów S podczas zwarcia - wariant II

Ocena stabilności globalnej wybranego ...

Przykładowe dynamiczne przebiegi kątów poszczególnych generatorów przedstawiono na rys. 1 i 2. Na rys. 3 i 4 przedstawiono dynamiczne zmiany prędkości obrotowej, natomiast na rys. 5 przebiegi wskaźników identyfikacji W_i . Analogiczne przebiegi dla drugiego wariantu pokazano na rys. 6, 7, 8, 9 i 10. Na rys. 11 zestawiono funkcje V wyznaczone w obydwu cyklach obliczeniowych. Wszystkie przytoczone przebiegi dotyczą zwarcia w pobliżu generatora 2. Na rysunkach linią ciągłą wykreślono przebiegi otrzymane dla przypadku niedziałania układu prędkości obrotowej, natomiast linią przerywaną, gdy regulacja działa. Numery przebiegów odpowiadają ko-







Rys. 8. Dynamicsne smiany prędkości kątowej ω podcsas swarcia - wariant II



Rys. 9. Dynamiczne zmiany prędkości kątowej ω podczas zwarcia – wariant II



Rys. 10. Przebiegi wskaźników identyfikacji W_i podczas zwarcia - wariant II

lejnym numerom generatorów i tak przebiegi oznaczone na wszystkich rysunkach, np. 2 dotyczą, generatora 2 itp. Wyniki obliczeń i analizy zwarć na szynach 3 do 7 zestawiono w tablicach 1 do 4.



Ta	bli	ca	1
----	-----	----	---

7707010	Kryterium	81j = 1	Kr	yterium V _i	= V _{kr} = 8,5	5
na szynach	bez regu- lacji	z regu- lacją	bez regul	.acji	z regulacj	Ą
	t _d [s]	t _d [8]	t _{dL} [s]	Δ ≸ ^x)	t _{dL} [8]	∆ ≸ ^{x)}
1	2	2	4	2	6	7
2	0,360	0,510	0,265	26,4	0,340	33,3
3	0,125	0,140	0,120	4,0	0,120	14,3
4	0,130	0,143	0,110	15,3	0,100	30,1
5	0,270	0,290	0,140	48,1	0,145	50,0
6	0,200	0,225	0,190	5,0	0,185	17,8
7	0,300	xx)	xx)	-	xx)	-

Dopuszczalne czasy trwania zwarcia w funkcji lokalizacji miejsca zakłócenia - wariant I

 $\Delta\% = \frac{t_d - t_d L}{t_d} \cdot 100\%$

xx) W czasie do 0,5 s system utrzymał synchronizm.

Tablica 2

Dopuszczalne czasy trwania zwarcia w funkcji lokalizacji miejsca zakłócenia - wariant II

Zwarcie	Kryterium	Jij = N	R	ryterium	V _i = V _{kr} =	7,22
na szynach	bez regu- lacji	z regu- lacją	bez reg	ulacji	z reg	ulacją
1	2	3	4	5	6	7
2	0,530	xx)	0,430	18.9	xx)	-
3	0,130	0,145	0,100	23,1	0,100	31,0
4	0,160	0,155	0,100	37,5	0,100	35,5
5	0,150	0,160	0,110	26,7	0,110	31,2
6	0,375	0,480	0,370	1,3	0,420	12,5
7	0,240	0,160	0,230	4,1	0,245	5,8

Uwaga: Rubryki 1 do 7 odpowiadają rubrykom 1 do 7 z tablicy 1.

4. Określenie dopuszczalnego czasu trwania zakłócenia

4.1. Procedura uproszczona

Określenie dopuszczalnego czasu trwania zakłócenia procedurą ogólnie stosowaną polegało na realizacji trzech głównych etapów:

- obliczeniu punktów stabilności trwałej konfiguracji pozakłóceniowej,
- wyznaczaniu obszarów stabilności, czyli wartości kryterialnej V_{kr} funkcji V, odpowiadającej punktowi siodłowemu najniżej położonemu w wielowymiarowej przestrzeni,
- numerycznym całkowaniu równań różniczkowych opisujących dynamikę systemu elektroenergetycznego w stanie zakłóceniowym, obliczaniu bieżącej wartości funkcji V i porównywaniu jej z V_{kr}.

Dopuszczalne czasy trwania zwarcia przy różnych lokalizacjach punktu zakłóceniowego zestawiono w tablicach 1 i 2. Rubryki 2 i 3 tych tablic zawierają czasy t_d , po których jeden ze wzajemnych kątów c_{ij}^{t} osiągnie wartość z (klasyczne kryterium współpracy synchronicznej generatorów) [4]. Porównując uzyskane wyniki (rubryki 2, 3, 4 i 6) można bez trudu zauważyć, że dopuszczalne czasy t_{dL} , uzyskiwane przy stosowaniu metody Lapunowa, są krótsze od czasów, jakie określa metoda klasyczna. Procentowy uchyb zamieszczono w rubrykach 5 i 7. Także i w tym przypadku wystąpił problem podnoszony przez wielu badaczy – pesymistyczności wyników uzyskiwanych metodą Lapunowa [1, 7].

4.2. Procedura zmodyfikowana

Jednym ze sposobów zmniejszenia pesymistyczności wyników jest określenie dopuszczalnego czasu trwania zwarcia nie z uwagi na wartość kryterialną funkcji V_{kr} , lecz przez porównywanie wartości bieżącej tej funkcji z wartością krytyczną V_k , determinowaną przez lokalizację miejsca zakłócenia. Odpowiada to w praktyce rozszerzeniu obszaru stabilności. Modyfikację taką wygodnie jest przeprowadzić wykorzystując wskaźniki identyfikacji z godnie z procedurą proponowaną w pracy [3].

Wartości trzech największych wskaźników W zestawiono w tablicy 3. Przyjmując funkcje krytyczne V_k dla danej lokalizacji zakłócenia obliczone dla kąta stabilności nietrwałej generatora, którego W osiąga jedną z 2 największych wartości, uzyskać można dopuszczalne czasy t_{dL} bardziej zbliżone do czasów t_d uzyskanych metodą klasyczną. Czasy te zestawiono w tablicy 4, w której rubryki 6 i 11 zawierają także przyjmowane wartości V_k. W rubrykach 3, 5, 8 i 10 zestawiono obliczone procentowe uchyby, które są w zdecydowanej większości przypadków znacznie mniejsze od uchybów uzyskanych za pomocą procedury bez modyfikacji (por. z tabl. 1,2 rubryki 5 i 7).

n		C.UPT .	D.C.S.A	10483	L Nos	24.22			7
Tablica	109.10 109.10	inero late later i	W ₃ = 0,0014	W7 = 0,0032	W7 = 0,0032	W ₅ = 0.0014	W3 = 0.0015	W ₃ = 0.0016	
zasie 0,1 s	¥1	Wariant II	W ₇ = 0,0032	W5 = 0,0042	W. = 0.0036	W7 = 0,0032	W5 = 0,002B	W5 = 0,0030	
rfikacji W _i po c ntiowego int II	aci wakaźników		₩ ₅ = 0,0039	W ₃ = 0.0074	₩ ₅ = 0,0042	W5 = 0.0113	W7 = 0.00.0	₩7 = 0,0041	
kaźników identy a stanu zakżóce riant I 1 waria	ljeiększe warto		W ₆ = 0,0024	$W_4 = 0.0221$	W ₃ = 0,0020	W4 = 0,0022	W4 = 0,0020	$w_7 = 0.0017$	
aze wartoåci wa trwani. - wa	N	Wariant I	V = 0 0025	₩ ₆ = 0,00571	¶6 = 0,0055	W5 = 0,00343	W ₃ = 0,0020	W ₃ = 0.0021	-
Najwięk			₩ ₃ = 0 0054	W ₅ = 0.0096	W4 = 0,0672	₩ ₆ = 0 0054	₩ ₆ = 0,0080	W6 = 0.0055	
93 seguence star algel -difficie -va	Zwarcie na szynach	genera tora nr	2	5	+	5	Q	7	

+ Tablica

> zmodyf1kowanej procedury pomoca 82 zwarcia uzyskane trwanis CZGBBY Dopusscsalne

.

Zwarcie		Warien	It I		Var tość		Warian	t II		Wartość
na szy- nach	bez regu	lacji	z regu	lacją	Vk	bez regu	lacji	z regul	ACJĄ	T ADRCJE
μ	tdI	*	tdL	ANX		tdI	∆ %x	tdI	ANK	Lao a
1	2	5	4	5	٩	1	Ω	6	01	11
2	0 380	5,6	0,150	0*0	14,33	0, 530	0*0	XX		22,68
3	0, 125	0*0	0, 125	10,7	10, 25	0,170	-30, B	0,155	6*9	16 , 74
4	0,138	-6,2	0,157	-9,B	15,02	0,24	-50,0	0,22	-41,9	22 ,6 8
5	0,200	7.4	0,210	27,5	10,25	0,150	0*0	0,152	5,0	14, 83
6	0,200	0*0	0,200	1.11	10,25	0, 370	1,3	0, 20	12, 5	7,22
7	XX	1	XX	1	10,25	0,230	4,1	0,245	5,8	7,22
A# = to -	t _{dL} 100						-		1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	pol

Ocena stabilności globalnej wybranego ...

15

and some that

SHED!

. 100%

4D

. K A

5. Wnioski i uwagi końcowe

Przedstawione w artykule wyniki analizy stabilności globalnej wybranego wielomaszynowego systemu elektroenergetycznego metodą Lapunowa pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- dopuszczalne czasy trwania zakłóceń z uwagi na zachowanie stabilności są przy stosowaniu metody Lapunowa krótsze od czasów, po których jeden ze wzajemnych kątów S_{ij} osiąga wartość równą z;
- zmniejszenie pesymistyczności otrzymywanych wyników można uzyskać przez stosowanie zmodyfikowanej procedury uzależniającej granicę obszaru stabilności od lokalizacji punktu zakłóceniowego;
- stosowanie proponowanej procedury umożliwia określanie zróżnicowanych nastaw automatyki prewencyjnej w poszczególnych węzłach generacji systemu elektroenergetycznego.

Zaprezentowane podejście nie wyczerpuje zagadnienia i celowe byłyby dalsze studia porównawcze przeprowadzane dla innych wielomaszynowych systemów elektroenergetycznych.

LITERATURA

- Athay T., Podmore R., Virmani S.: A practical method for the direct analysis of transient stability. IEEE Trans. on PAS Vol. 98, No 2, 1979.
- [2] Bartoń Z., Lawera E.: Analiza stabilności systemu elektroenergetycznego metodą Lapunowa z uwzględnieniem regulacji prędkości obrotowej turbin. Mat. III Międzynarodowej Konferencji Naukowej nt. "Aktualne problemy automatyki w energetyce", Gliwice 1979, t. II.
- [3] Bartoń Z.: Zastosowanie wskaźników identyfikacji do wyznaczania granicznych obszarów stabilności badanych metodą Lapunowa. Mat. III Konf. Międzyn. nt. "Aktualne problemy w energetyce", Gliwice 1979, t. II.
- [4] Bernas S.: Systemy elektroenergetyczne. WNT, Warszawa 1982.
- [5] Cegielski M.: Sieci i systemy elektroenergetyczne. PWN, Warszawa 1979.
- [6] Gros G., Bergen A.R.: Computation of regions of transient stability of multimachine power systems. IEEE Trans. on A. C-19. April 1974.
- [7] Machowski J.: Wybrane problemy badania stabilności uproszczonego modelu systemu elektroenergetycznego. WPW, Warszawa 1981.
- [8] Rygoł F.: Badanie stabilności globalnej wybranych wielomaszynowych systemów elektroenergetycznych. Praca dyplomowa wykonana w IEiSU Pol. Śląskiej, Gliwice 1980.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Marian Cegielski

Wpłynęło do redakcji dnia 24.VII.1982 r.

Ocena stabilności globalnej wybranego...

оценка глобальной стабильности выбранной электроэнергетической системы методом ляпунова

Резюме

В статье приведены результаты расчётов динамической устойчивости электроэнергетической системы. На основе этих расчётов показано заниженность полученных оценок при использовании примого метода Липунова. Предложено модификацию процедуры определения времени отклонения аварии, с целью получения действительных оценок.

MULTIMACHINE POWER SYSTEM STABILITY VIA DIRECT LYAPUNOV METHOD

shi take provide the provide the second strategy strategy and

Summary

In this paper results of the global stability analysis of multimachine power system has been presented. On the basis of this results, conclusion about pessimistic stability range given by Lyapunov method, are indicated. Modofication of evaluation procedure for determination of critical clearing times has been proposed to reduce the pessimistic effect.