

RCF 기법을 이용한 SVC의 주기적 스위칭 동작에 의한 전력계통 진동모드 감도해석

論 文

57-3-5

Sensitivity Analysis of Power System Oscillation Modes Induced by Periodic Switching Operations of SVC by the RCF Method

金 德 泳[†]

(Deok-Young Kim)

Abstract - In this paper, the Resistive Companion Form(RCF) analysis method is applied to analyze small signal stability of power systems including thyristor controlled FACTS equipments such as SVC. The eigenvalue sensitivity analysis algorithm in discrete systems based on the RCF analysis method is presented and applied to the power system including SVC. As a result of simulation, the RCF analysis method is proved very effective to precisely calculate the variations of eigenvalues or newly generated unstable oscillation modes after periodic switching operations of SVC. Also the eigenvalue sensitivity analysis method based on the RCF analysis method enabled to precisely calculate eigenvalue sensitivity coefficients of controller parameters about the dominant oscillation mode after periodic switching operations in discrete systems. These simulation results are different from those of the conventional continuous system analysis method such as the state space equation and proved that the RCF analysis method is very effective to analyze the discrete power systems including periodically operated switching equipments such as SVC.

Key Words : Discrete System, Eigenvalue Sensitivity Analysis, Oscillation Mode, Periodic Switching Operation, RCF Method, SVC

1. 서 론

전력계통에 사용되는 제어장치의 하나인 FACTS 설비는 기존의 계통설비를 그대로 유지하면서도 전송전력을 크게 증가하여 계통설비의 경제성을 극대화 할 수 있을 뿐만 아니라 계통의 안정도 향상에도 기여하는 등의 장점을 가지며, 앞에서 설명한 계통설비 증설 문제의 현실적인 어려움을 고려할 때 앞으로 보다 폭넓게 전력계통에 적용될 것으로 예상된다고 할 수 있다. 그러나 FACTS 설비는 이러한 긍정적인 요소와 함께 전력전자 소자의 스위칭 동작에 의한 왜란이나 새로운 진동모드의 발생 등과 같은 부정적인 효과도 같이 나타나는 것으로 알려져 있다[1, 2, 3]. 이러한 스위칭 동작에 의한 진동모드의 변화에 대한 정확한 해석을 위해서 기존의 연속 시스템에서의 해석방법이 아닌, 불연속 스위칭 동작을 하는 설비를 포함하는 전력계통을 이산시스템으로 모델링하고 이로부터 진동모드를 구하는 연구가 진행되었다 [4, 5, 6].

본 논문에서는 대표적인 스위칭 설비라고 할 수 있는 SVC를 포함하는 전력계통을 이산시스템으로 모델링하고, 수학적으로 강인한 특성을 갖는 RCF 해석법을 사용하여 스위칭 소자의 주기적 스위칭 동작에 의해 발생하는 진동현상의 정확한 해석이 가능하도록 하였다. 또한 RCF 해석법에 기초한 감도해석 알고리즘을 제시하여 이로부터 불안정 진

동모드에 가장 큰 영향을 미치는 제어기 정수 선정과 이산 전력계통의 안정도를 향상시키기 위한 최적화 알고리즘에 적용을 가능하게 하여, 불연속 스위칭 동작을 하는 FACTS 설비를 포함하는 이산 전력계통의 안정도 향상에 사용할 수 있도록 하였다.

2. RCF 해석법에 의한 진동모드 해석[6]

이산시스템으로 나타낸 전력계통에서 RCF 해석법을 사용한 상태전이 방정식의 일반형은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u(t) \\ x(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u(t-h) \\ x(t-h) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}(t-h) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식(1)은 시간 t-h에서 t동안의 전체계통의 상태전이방정식을 나타내며, 하나의 적분구간 h에서의 상태전이행렬은 다음과 같이 정의된다.

$$\Phi(t, t-h) = \begin{bmatrix} Y_{s11} & Y_{s12} \\ Y_{s21} & Y_{s22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{s11} & P_{s12} \\ P_{s21} & P_{s22} \end{bmatrix} \quad (2)$$

일반적으로 해석대상이 되는 다수개의 적분구간에 대한 상태전이행렬은 각각의 적분구간에서의 상태전이행렬을 사용하여 다음과 같이 전체구간에 대한 상태 전이행렬이 구해진다.

$$\Phi(t_n, t_0) = \Phi(t_n, t_{n-1}) \Phi(t_{n-1}, t_{n-2}) \cdots \Phi(t_1, t_0) \quad (3)$$

[†] 교신저자, 正會員 : 群山大學 電子情報工學部 教授 · 工博

E-mail : dykim@kunsan.ac.kr

接受日字 : 2007年 12月 27日

最終完了 : 2008年 2月 18日

본 논문에서는 적분구간 h 를 스위칭 동작이 반복되는 주기의 10% 이하의 동일한 간격으로 설정하여 Trapezoidal 수치적분 과정에서 선형화에 따른 오차발생이 최소화되고, 주기적으로 반복되는 스위칭 동작에 의한 진동모드의 변화와 새로이 발생하는 불안정 진동모드에 대한 정확한 해석결과가 첫 번째 주기에서부터 구해지도록 하였다.

2.1 SVC를 포함하는 이산계통의 진동모드 해석

SVC를 포함하는 일기무한모선 계통도와 제어 블록도는 다음과 같다[6].

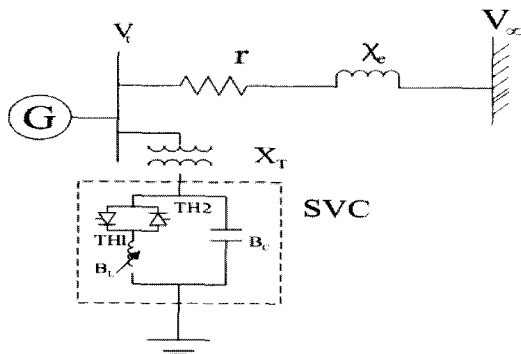


그림 1 SVC가 설치된 일기무한모선 계통의 계통도
Fig. 1 One machine infinite bus system with SVC

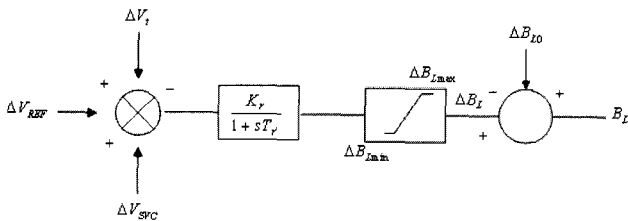


그림 2 SVC의 제어 블록선도
Fig. 2 Block diagram of SVC controller

그림 1에서 발전기는 상세모델을 사용하였고, 발전기 및 선로정수는 참고문헌[1]의 데이터를 사용하였으며, SVC 정수는 참고문헌[3]을 참고하였다. SVC 사이리스터의 주기적 스위칭 동작에 의한 진동모드의 변화를 명확히 나타내기 위해서, 사이리스터가 각각 OFF와 ON시에 시스템이 불안정과 안정한 결과를 보이도록 SVC의 B_L 과 B_C 값을 다음과 같이 조정하였다.

$$\begin{aligned}
 X_T &= 0.08pu & K_r &= 50 & T_r &= 0.15 \text{ sec} \\
 P &= 1.0 pu, & pf &= 0.85lag \\
 B_C &= 2.0pu, & B_{L0} &= -2.5pu
 \end{aligned}$$

그림 1의 SVC를 포함하는 계통에서 RCF 해석법을 사용하여 SVC의 주기적인 스위칭동작에 의한 진동모드의 변화를 해석한 결과 중에서 점화각이 108°인 경우의 해석결과를 표 1에 나타내었다.

표 1 점화각 108°인 경우의 진동모드 해석
Table 1 Oscillation modes with 108° firing angle

	OFF		ON		
	6 Step	7 Step	8 Step	9 Step	10 Step
고유치	-9.700+j385.0420	-9.3479+j384.2149	-9.0884+j383.5445	-8.9143+j382.9857	-8.7707+j382.5083
	-10.9540+j367.9389	-10.5006+j368.8706	-10.2025+j368.6178	-9.9958+j370.2350	-9.8476+j370.7571
	-44.6790+j59.3883	-44.6661+j57.5620	-44.6296+j55.9700	-44.5834+j54.5887	-44.5331+j53.3867
	0.2788+j13.6019	0.1168+j12.8184	0.0148+j12.2619	-0.0485+j11.8461	-0.0956+j11.5235
	-0.4943	-0.4969	-34.6127	-35.1280	-0.5042
	-33.0027	-33.9341	-0.4988	-0.5033	-35.5315
	불안정	불안정	불안정	안정	안정
OFF					
고유치	11 Step	12 Step	13 Step	14 Step	15 Step
	-8.8489+j382.7728	-8.9138+j382.9857	-8.9705+j383.1616	-9.0188+j383.3065	-9.0605+j383.4356
	-9.9252+j370.4689	-9.9965+j370.2350	-10.0566+j370.0413	-10.1118+j369.8780	-10.1596+j369.7385
	-44.5609+j54.0534	-44.5816+j54.5887	-44.5989+j55.0277	-44.6115+j55.3939	-44.6204+j55.7041
	-0.0718+j11.6984	-0.0498+j11.8461	-0.0311+j11.9725	-0.0131+j12.0830	0.0024+j12.1776
	-35.3116	-35.1263	-34.9697	-34.8337	-34.7161
	-0.5025	-0.5010	-0.5019	-0.5007	-0.5015
	안정	안정	안정	안정	불안정
OFF		ON			
고유치	16 Step	17 Step	18 Step	19 Step	20 Step
	-9.0984+j383.5445	-8.9992+j383.2533	-8.9130+j382.9857	-8.8378+j382.7386	-8.7706+j382.5083
	-10.2028+j369.6178	-10.0905+j369.9402	-9.9958+j370.2350	-9.9159+j370.5063	-9.8472+j370.7571
	-44.6280+j55.9700	-44.6063+j55.2550	-44.5836+j54.5887	-44.5586+j53.9572	-44.5343+j53.3867
	0.0161+j12.2619	-0.0210+j12.0400	-0.0496+j11.8461	-0.0751+j11.6732	-0.0954+j11.5235
	-34.6115	-34.8863	-35.1263	-35.3397	-0.5042
	-0.5005	-0.5012	-0.5018	-0.5023	-35.5307
	불안정	안정	안정	안정	안정

표 1에서 SVC가 동작하기 이전인 OFF시 불안정하였던 계통이 SVC 사이리스터가 주기적 동작을 시작하여 ON이 되는 7번째 구간에서 10번째 구간 사이에서 불안정 영역에서 안정영역으로 이동하는 것을 알 수 있다. 이 경우 SVC가 ON이 된 후 계통이 바로 안정으로 되지 않고 9번째 구간부터 안정한 값이 되는 것을 알 수 있으며, 첫 번째 주기 이후 SVC가 다시 OFF가 되는 11번째 구간에서 16번째 구간까지에서는 반대로 안정한 진동모드가 불안정한 진동모드로 변화해가는 것을 알 수 있으나, 이때의 진동모드는 허수축에 매우 가까이 존재하는 것을 알 수 있다. 주기적 스위칭 동작의 두 번째 주기에서 SVC가 다시 ON이 되는 17번째 구간에서 20번째 구간에서는 허수축에 매우 가까이 있으면서 불안정한 값을 가졌던 진동모드가 SVC가 ON이 되면서 바로 안정한 영역으로 이동하는 것을 알 수 있다. 표 1의 안정도 해석결과는 SVC가 주기적으로 스위칭 동작을 반복함에 따라서 불안정과 안정을 반복하는 형태를 보이지만, 이러한 진동모드의 해석결과 값은 연속시스템에서의 해석결과와는 매우 다른 결과값을 갖는 것을 알 수 있다.

표 1의 RCF 해석법을 사용한 진동모드 해석결과 중에서 점화각에 따라서 안정과 불안정의 다른 형태를 보이는 전기기계적 진동모드에 해당하는 진동모드 4에 대해서 SVC 사이리스터의 점화각이 90°, 108° 그리고 144°인 경우의 시간 구간에서의 진동모드 궤적을 그림 3, 4 그리고 5에 나타내었다.

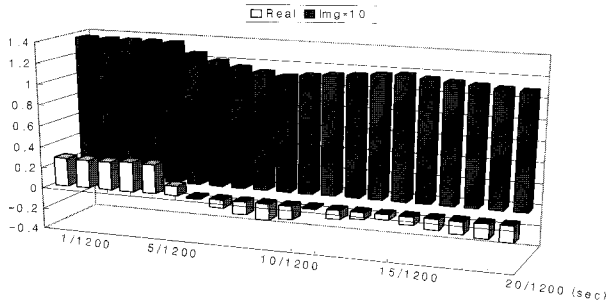


그림 3 점화각 90°인 경우의 진동모드 4의 궤적
Fig. 3 Locus of oscillation mode 4 with 90° firing angle

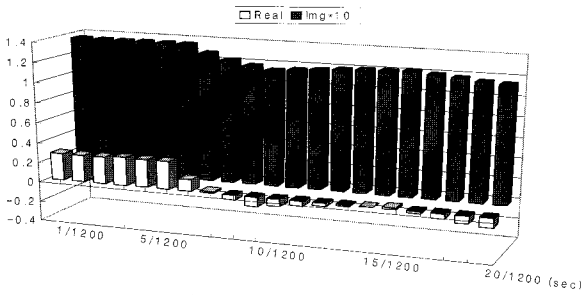


그림 4 점화각 108°인 경우의 진동모드 4의 궤적
Fig. 4 Locus of oscillation mode 4 with 108° firing angle

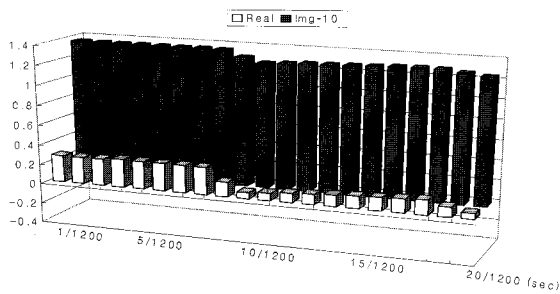


그림 5 점화각 144°인 경우의 진동모드 4의 궤적
Fig. 5 Locus of oscillation mode 4 with 144° firing angle

그림 3은 점화각이 90°인 경우에 진동모드 4가 사이리스터의 주기적 스위칭 동작에 의해 안정 영역에서 주기적으로 변화하는 것을 나타내며, 그림 4는 점화각이 108°인 경우 진동모드 4가 안정과 불안정 영역에서 주기적으로 변화하고 있는 것을 보여준다. 그림 5는 점화각이 144°인 경우로써 진동모드 4가 불안정 영역에서 주기적으로 변화하는 것을 보여준다.

그림 3, 4 그리고 5에 나타낸 진동모드 4의 시간구간에서의 고유치 궤적은 사이리스터의 점화각이 증가함에 따라서 진동모드가 안정영역에서 점차 불안정 영역으로 바뀌어가는 것을 나타낸 것으로, 주기적 스위칭 동작에 의해 발생하는 진동모드의 변화와 새로운 불안정 진동모드를 시간구간에서 정확히 해석할 수 있는 RCF 해석법의 장점을 잘 나타내주는 결과이다.

3. RCF 해석법에 기초한 이산시스템의 감도해석

3.1 연속시스템에서의 감도해석법

연속시스템에서 일차 미분방정식으로 나타낸 전력계통의 일반형은 다음과 같다.

$$\dot{X} = AX + BU \quad (4)$$

식 (1)에서 제어기 정수 α 의 변화에 대한 고유치 λ_i 의 변화비율을 나타낸 고유치 일차 감도계수는 다음과 같다.

$$\frac{\partial \lambda_i}{\partial \alpha} = \frac{\left[\left[\frac{\partial A}{\partial \alpha} \right] V_i, W_i \right]}{\left[V_i, W_i \right]} \quad (5)$$

여기서, λ_i : i 번째 고유치

α : 계통 파라메타

V_i : i 번째 고유벡터

W_i : i 번째 전치고유벡터

3.2 이산시스템에서의 감도해석법

그림 1의 SVC를 포함하는 이산 전력시스템에서 상태천이방정식의 일반형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X(k+1) &= R_M^{-1}R_KX(k) + R_M^{-1}R_B U(k) \\ &= A_R X(k) + B_R U(k) \end{aligned} \quad (6)$$

식(6)에서 상태천이행렬의 제어기정수에 대한 감도행렬은 다음과 같이 구해진다.

$$\frac{\partial A_R}{\partial \alpha} = -R_M^{-1} \frac{\partial R_M}{\partial \alpha} R_M^{-1} R_K + R_M^{-1} \frac{\partial R_K}{\partial \alpha} \quad (7)$$

식(7)은 상태방정식에서 구한 감도행렬과 형태는 유사하지만 감도계수를 구하기 위한 상태천이행렬이 해석하고자 하는 전체 시간구간동안에 각각의 적분구간에서 구성된 상태천이행렬의 곱의 형태로 이루어진다는 것이 다르다.

$$A_R(t_n, t_0) = A_R(t_n, t_{n-1})A_R(t_{n-1}, t_{n-2}) \cdots A_R(t_1, t_0) \quad (8)$$

식(8)에서 해석하고자하는 전체 구간에서 상태천이행렬의 제어기정수에 대한 편미분식은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial A_R(t_n, t_0)}{\partial \alpha} &= \frac{\partial A_R(t_n, t_{n-1})}{\partial \alpha} A_R(t_{n-1}, t_{n-2}) \cdots A_R(t_1, t_0) \\ &+ \quad \vdots \\ &+ \quad \vdots \\ &A_R(t_n, t_{n-1})A_R(t_{n-1}, t_{n-2}) \cdots \frac{\partial A_R(t_1, t_0)}{\partial \alpha} \end{aligned} \quad (9)$$

SVC 제어기 정수인 K_r, T_r 에 대한 편미분 행렬은 대부분의 행렬요소가 0인 Sparse한 구조를 가지며, 0이 아닌 행렬 요소는 다음과 같다.

$$\frac{\partial R_M(10,10)}{\partial K_r} = \frac{T_r}{K_r^2} + \frac{h}{2K_r^2}$$

$$\frac{\partial R_M(10,10)}{\partial T_r} = -\frac{1}{K_r}$$

$$\frac{\partial R_K(10,10)}{\partial K_r} = \frac{T_r}{K_r^2} - \frac{h}{2K_r^2}$$

$$\frac{\partial R_K(10,10)}{\partial T_r} = -\frac{1}{K_r}$$
(10)

4. 이산시스템 감도해석 사례연구

그림 1의 SVC를 포함하는 일기무한모선 계통에서 SVC의 주기적 스위칭 동작에 의한 새로운 형태의 진동모드 중에서 전기기계적 진동모드의 SVC 제어기 정수 K_r, T_r 에 대한 감도해석을 하였다. 계통조건 및 데이터는 2.1절과 동일하다.

4.1 연속시스템에서의 감도해석

SVC의 싸이리스터가 각각 OFF와 ON인 경우에 대해 SVC 제어기 정수 K_r, T_r 에 대한 감도해석 결과는 다음과 같다.

표 2 SVC의 연속시스템에서의 감도해석($\times 10^{-5}$)
Table 2 Sensitivity analysis of SVC in continuous system ($\times 10^{-5}$)

	OFF		ON	
	K_r	T_r	K_r	T_r
감도 계수	-3.7186-j7.1989	3.2878+j6.3648	2.19380+j6.0717	-1.9397-j5.3685

표 2에서 진동모드의 추정치를 구하는데 사용되는 SVC 제어기 정수 K_r, T_r 의 감도계수가 크기는 비슷하지만, 실수부의 부호가 OFF인 경우와 ON인 경우에 반대로 구해진 것을 알 수 있다. 즉, SVC가 OFF인 경우와 ON인 경우의 안정도를 향상시키기 위한 제어기 정수의 변화방향이 서로 반대로 나타난 해석결과를 보여준다.

4.1 이산시스템에서의 감도해석

그림 1의 SVC를 포함하는 이산시스템에서 RCF 해석법에 기초한 감도해석의 결과는 싸이리스터가 ON 또는 OFF인 경우는 표 2의 해석결과와 정확히 일치한다.

SVC 싸이리스터의 주기적 스위칭 동작에 의해 계통이 안정과 불안정을 반복하는 경우인 싸이리스터 점화각 108° 인 경우에 대해 RCF 해석법을 사용한 해석결과 중에서 전기기계적 진동모드인 진동모드 4에 대한 감도해석 결과를 시간구간에 대해 표 3에 나타내었다.

표 3 점화각 108° 인 경우의 SVC의 감도해석($\times 10^{-5}$)
Table 3 Sensitivity analysis of SVC with 108° firing angle ($\times 10^{-5}$)

	ON				
	6 Step	7 Step	8 Step	9 Step	10 Step
K_r	-3.7340-j7.3997	-2.5354-j5.6000	-1.7470-j4.2566	-1.1808-j3.2142	-0.7746-j2.3846
T_r	3.3014+j6.5424	2.2417+j4.9538	1.5445-j3.7634	1.0519+j2.8418	0.4575+j1.4767
	OFF				
	11 Step	12 Step	13 Step	14 Step	15 Step
K_r	-0.9955-j2.9819	-1.1872-j3.5121	-1.3556-j3.9908	-1.5051-j4.4293	-1.6390-j4.8357
T_r	0.8801+j2.6364	1.0496+j3.1051	1.1985+j3.5283	1.3306+j3.9160	1.4490+j4.2752
	ON				
	16 Step	17 Step	18 Step	19 Step	20 Step
K_r	-1.7598-j5.2161	-1.4481-j4.6525	-1.1817-j4.1530	-0.9513-j3.7076	-0.7497-j3.3080
T_r	1.5558+j4.6115	1.2802+j2.8886	1.0447+j3.6716	0.8410-j3.2778	0.6628+j2.9245

표 3의 감도해석 결과는 SVC 싸이리스터의 주기적 스위칭 동작에 의해 진동모드가 안정과 불안정을 반복하며 표 1에서와 같이 주기적으로 변화하는 경우, SVC 제어기 정수에 대한 감도계수가 표 1의 새로운 형태의 진동모드에 대해서 표 2의 연속시스템에서의 해석결과와 달리 시간구간에서 주기적으로 변화하는 것을 보여준다. SVC의 제어기 정수 K_r 에 대해서는 전체 구간에 대해서 감도계수의 실수부가 (-)의 부호를 가지면서 싸이리스터의 주기적 스위칭 동작에 의해 시간구간에서 감도계수가 주기적으로 변화하는 것을 알 수 있다. 또한 T_r 에 대해서는 전체 구간에 대해서 감도계수의 실수부가 (+)의 부호를 가지면서 시간구간에서 감도계수가 주기적으로 변화하는 것을 알 수 있다. 이는 연속시스템에서의 SVC의 제어기 정수 K_r 과 T_r 에 대한 감도계수가 싸이리스터가 ON 또는 OFF인 경우에 서로 실수부의 부호가 반대로 나타난 해석결과와는 달리 진동모드의 주기적 변화에 따라서 감도계수도 실수부가 일정한 방향성을 가지면서 주기적으로 변화하고 있음을 나타낸다.

싸이리스터의 점화각이 $90^\circ, 108^\circ$ 그리고 144° 인 경우의 SVC 제어기 정수 K_r 에 대한 감도해석결과를 그림 6, 7 그리고 8에 나타내었다.

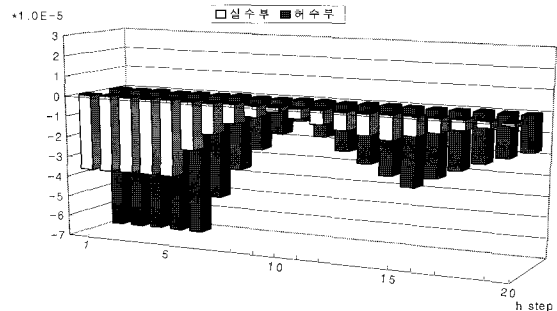


그림 6 점화각 90° 인 SVC의 K_r 감도계수
Fig. 6 Sensitivity coefficient of K_r with 90° firing angle in SVC

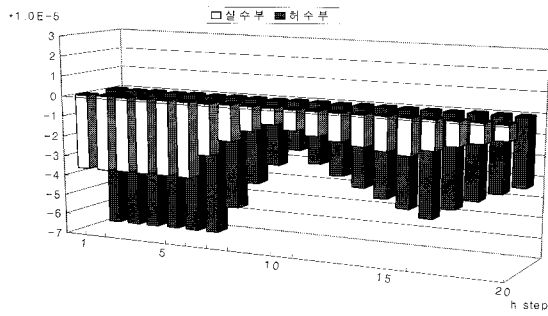


그림 7 점화각 108°인 SVC의 Kr 감도계수
 Fig. 7 Sensitivity coefficient of Kr with 108° firing angle in SVC

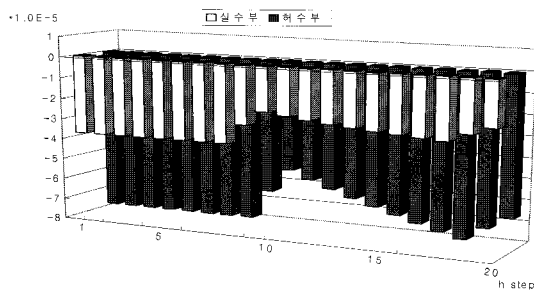


그림 8 점화각 144°인 SVC의 Kr 감도계수
 Fig. 8 Sensitivity coefficient of Kr with 144° firing angle in SVC

그림 6은 그림 3에서 보인 것과 같이 SVC 싸이리스터의 주기적 스위칭 동작에 의해 시스템이 안정한 영역에서 진동모드가 주기적으로 변화하고 있는 경우에 대한 SVC 제어정수 K_r 의 감도해석결과이며, 그림 7은 그림 4와 같이 시스템이 안정과 불안정을 주기적으로 반복하는 경우의 감도해석 결과이다. 또한 그림 8은 그림 5에서 보인 것과 같이 시스템이 불안정한 영역에서 진동모드가 주기적으로 변화하는 경우의 감도해석결과를 나타낸다. 그림 6, 7 그리고 8에서 SVC 싸이리스터의 점화각이 증가함에 따라서 제어정수 K_r 의 감도해석결과가 (-)의 실수부를 가지면서 시간구간에서 주기적으로 변화하는 것을 알 수 있으며, 연속시스템에서의 해석결과와 달리 싸이리스터의 주기적 스위칭 동작에 의해 감도계수의 실수부가 일정한 방향성을 가지면서 주기적으로 변화하는 것을 보여준다.

같은 방법으로 싸이리스터의 점화각이 90°, 108° 그리고 144°인 경우의 SVC 제어정수 T_r 에 대한 감도해석결과를 그림 9, 10 그리고 11에 나타내었다.

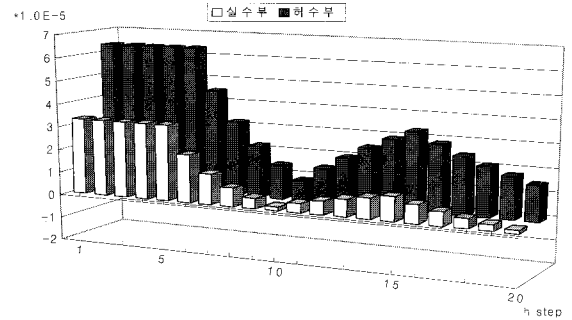


그림 9 점화각 90°인 SVC의 Tr 감도계수
 Fig. 9 Sensitivity coefficient of Tr with 90° firing angle in SVC

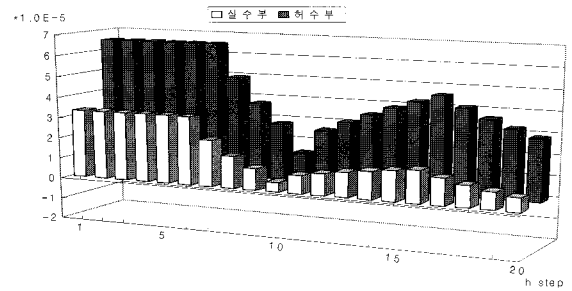


그림 10 점화각 108°인 SVC의 Tr 감도계수
 Fig. 10 Sensitivity coefficient of Tr with 108° firing angle in SVC

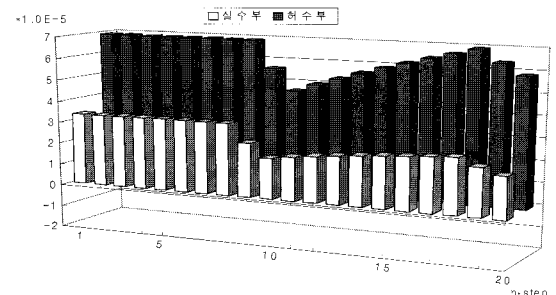


그림 11 점화각 144°인 SVC의 Tr 감도계수
 Fig. 11 Sensitivity coefficient of Tr with 144° firing angle in SVC

그림 9는 그림 3에서 보인 것과 같이 SVC 싸이리스터의 주기적 스위칭 동작에 의해 시스템이 안정한 영역에서 진동모드가 주기적으로 변화하고 있는 경우에 대한 SVC 제어정수 T_r 의 감도해석결과이며, 그림 10은 그림 4와 같이 시스템이 안정과 불안정을 주기적으로 반복하는 경우의 감도해석 결과이다. 또한 그림 11은 그림 5에서 보인 것과 같이 시스템이 불안정한 영역에서 진동모드가 주기적으로 변화하는 경우의 감도해석결과를 나타낸다. 그림 9, 10 그리고 11에서 SVC 싸이리스터의 점화각이 증가함에 따라서 제어정수 T_r 의 감도해석결과가 (+)의 실수부를 가지면서 시간구간에서 주기적으로 변화하는 것을 알 수 있으며, 연속시스템에서의 해석결과와 달리 싸이리스터의 주기적 스위칭 동작에

의해 감도계수가 일정한 방향성을 가지면서 주기적으로 변화하는 것을 보여준다.

이러한 SVC의 제어기정수에 대한 이산시스템에서의 감도계수 해석결과는 연속계통에서의 감도계수 해석결과와는 크게 다른 결과이며, 본 논문에서 사용한 이산시스템에서의 RCF 해석법에 기초한 감도해석 방법이 SVC와 같이 주기적인 스위칭 동작을 하는 제어설비를 포함하는 전력계통의 진동모드와 감도해석에 매우 적합한 방법임을 입증하는 결과이다.

5. 결 론

본 논문에서는 병렬형 사이리스터 제어 FACTS 설비인 SVC를 포함하는 전력계통에서 사이리스터의 주기적 스위칭 동작에 의한 진동모드의 변화와 새로이 발생하는 불안정 진동모드에 대한 정확한 해석을 가능하게 하기위해, 이들 스위칭 설비를 포함하는 전력계통을 이산 시스템으로 모델링하고 수학적으로 강인한 특성을 갖는 RCF 해석법을 사용하여 이산 전력시스템의 정확한 미소신호 안정도 해석이 가능하도록 하였다. 또한 RCF 해석법에 기초한 감도해석 알고리즘을 제시하여, 이산시스템에서 고유벡터와 상태전이 방정식의 감도행렬로부터 중요 진동모드에 대한 감도계수를 구하여 불안정 진동모드에 가장 큰 영향을 미치는 제어기 정수의 선정과 전력시스템의 안정도 향상을 위한 최적화 알고리즘에의 적용이 가능하도록 하였다.

사례연구를 통하여 SVC를 포함하는 이산 전력계통에 대한 감도해석 결과로부터 사이리스터의 주기적 스위칭 동작에 의해 진동모드의 변화와 새로이 불안정 진동모드가 발생하듯이 감도계수도 기존의 연속시스템에서의 해석결과와 달리 일정한 방향성을 가지면서 주기적으로 변화하는 해석결과를 보이는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 본 논문에서 사용한 RCF 해석법에 의한 진동모드 해석과 감도해석 방법이 SVC와 같이 주기적 스위칭 동작을 하는 FACTS 설비를 포함하는 이산 전력시스템의 안정도 해석과 안정도 향상을 위한 제어기정수의 감도해석에 매우 적합한 방법임을 나타내는 결과라고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(과제관리번호 : R-2005-7-127) 주관으로 수행된 과제입니다.

참 고 문 헌

- [1] P. M. Anderson, A. A. Fouad, Power system control and stability, Iowa state press, 2003.
- [2] "FACTS overview", IEEE power engineering society, 95TP108, 1995.
- [3] R. Mohan Mathur, Rajiv K. Varma, Thyristor-based FACTS controllers for electrical transmission systems, Wiley Inter-science, 2002
- [4] Yousin Tang, A. P. Sakis Meliopoulos, "Power system small signal stability analysis with FACTS elements", IEEE Trans. of power delivery, Vol. 12, No. 3, pp.1352-1361, July 1997.
- [5] Eugene V. Solodovnik, George J. Cokkinides, A. P. Sakis Meliopoulos, "On stability of implicit numerical methods in nonlinear dynamical systems simulation", IEEE winter meeting 1998.
- [6] 김덕영, 동무환, 이윤호, "RCF 해석법을 사용한 스위칭 설비의 ON/OFF 시간간격에 의한 진동모드 해석", 대한전기학회 논문지 A, 제 55권, 제 1호, pp.13-17, 2006년 1월.

저 자 소 개



김 덕 영 (金 德 泳)

1964년 11월 22일 생. 1988년 고려대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001년 - 2002년 미국 Georgia Tech. Post-doc. Fellow, 1996년~현재 군산대학교 전자정보공학부 교수

Tel : (063) 469-4746

Fax : (063) 469-4699

E-mail : dykim@kunsan.ac.kr