

다기 전력시스템의 동적안정도 향상을 위해 UPFC 연계시 고유치 분포 해석

論 文
52A-9-1

Eigenvalue Distribution Analysis Via UPFC for Enhancing Dynamic Stability Into the Multi-machine Power System

金 鍾 現* · 丁 昌 鎬** · 金 鎮 吾***
(Jong-Hyun Kim · Chang-Ho Jung · Jin-O Kim)

Abstract - This paper analyzes an eigenvalue distribution and enhancement of the small signal stability when an Unified Power Flow Controller (UPFC) modeling is connected into the multi-machine power system. Recently a lot of attention has been paid to the subject of dynamic stability. It deals with analysis of eigenvalue sensitivities with respect to parameters of UPFC Controller and damping of inter-area and local electromechanical oscillation modes using UPFC Controller. It provides an insight and understanding in the basic characteristics of damping effects of UPFC Controller and shows a very stable frequency response via UPFC in test model. The series branch of the UPFC is designed to damp the power oscillation during transients, while the shunt branch aims at maintaining the bus voltage and angle. Comprehensive time-domain simulation studies using PSS/E show that the proposed robust UPFC controller can enhance the small signal stability efficiently in spite of the variations of power system operating conditions.

Key Words : UPFC, eigenvalue and eigenvector analysis, local mode, interarea mode, small signal stability

1. 서 론

UPFC는 송전선로 임피던스, 위상각 및 무효전력을 제어할 수 있을 뿐만 아니라 병렬측에서는 STATCOM의 역할을 직렬측에서는 SSSC같이 역할을 하여 병렬측에서 전압 및 위상각을 제어하고 직렬측에서 진동에 대한 제동을 하는 역할을 하므로 가장 우수한 FACTS 기기라 볼 수 있다. 이러한 UPFC를 계통에 연계하는 경우 계통의 송전용량을 증가시킬 수 있으며 전압제어와 미소 외란 등으로 인한 계통의 불안정시 제동특성 면에서도 우수하여 계통의 신뢰성 및 안정성이 증대되는 효과를 얻을 수 있다.

향후 지속적인 부하증가로 인해 계통의 임피던스가 증가됨으로 인해 계통의 제동 특성이 나빠지고 광역모드에서 발생하는 현상으로서 지속적인 저주파 진동이 발생하게 될 것이다. 이러한 미소신호 안정도 문제는 전압안정도 문제와 함께 미래의 전력계통의 안전운전에 위협이 되고 송전네트워크의 전송능력을 제한하게 되는 심각한 요인이 될 것이다. 이에 UPFC를 계통에 연계시 고유치 특성을 분석하여 안정도 향상 효과를 살펴보고 지역모드 및 광역모드에서 발생하는 저·고주파 진동에 대한 제동비 향상과 진동 주파수의 감소 등을 살펴보았다. 이 논문에서는 송전선로에 연계되었을 경우와 연계되지 않았을 경우에 대한 고유치, 참여계

수, 제동비 및 주파수 응답에 대한 해석과 상정사고시 전압 및 위상특성의 변화와 제동상태를 고찰하였다. 또한 광역모드가 tie선로의 취약성을 가질 경우 더 잘 발생하므로 모의 계통에서 tie선로 중 한 선로를 끊어 계통상태를 매우 취약하게 할 경우 광역모드에서의 진동발생에 대해 UPFC를 연계할 경우 광역모드에서 진동에 대한 제동효과를 가진다는 것을 고유치 및 고유벡터를 통해 확인함으로써 UPFC기기가 미소신호 안정도[6] 및 전압제어, 위상각 제어, 무효전력 제어에 어떠한 우수성을 나타내는가를 분석하여 향후 대 전력 계통에서의 동적 안정도 개선에 도움을 주는데 목적을 두고 있다.

2. 모드해석에 의한 선형해석

블록 다이어그램에 의한 접근방식은 동기기의 미소신호 안정도를 해석하기 위해 사용되어지나 대규모 계통에 대해서는 상세한 연구가 적절치 못하다. 따라서 모의계통의 미소신호 안정도를 선형해석하기 위해 식 (1), (2) 와 같은 상태방정식을 이용한다. 여기서 A는 발전기 상태변수에 관한 행렬이고 B는 제어나 입력변수에 관한 행렬, C는 입력에 대한 출력을 나타내는 행렬이고 D는 출력이 나타나는 입력과의 비율을 나타내는 행렬이다. 발전기에 관련된 변수에 관한 특성을 확인하기 위해서는 A행렬에 대한 고유치를 구해야 한다.

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (1)$$

$$v = Cx + Du \quad (2)$$

여기서,

* 準 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 碩士課程

** 正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 博士課程

*** 正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 助教授 · 工博

接 受 日 字 : 2002年 11月 12日

最 終 完 了 : 2003年 8月 4日

$x, u, v =$ 상태, 입력, 출력벡터

$$\det(sI - A) = 0 \quad (3)$$

식 (3)에서 s 가 A행렬의 고유치를 의미하며 안정한 계통에 대해서 모든 고유치는 실수축 좌반부에 위치한다. 허수부 고유치는 주파수의 진동을 나타내고, 음의 실수부 고유치는 감쇠모드를 의미하므로 크기가 클수록 진동을 더 빠르게 감쇠시킨다.

상태변수와 고유값과의 연관성을 평가할 수 있는 지표를 주는 참여도 지수는 다음과 같이 정의된다.

$$P_{ki} = \frac{\partial \lambda_i}{\partial a_{kk}} \quad (4)$$

식 (4)는 우측 고유벡터(right eigenvector)와 좌측 고유벡터(left eigenvector)의 곱으로 표현할 수 있다.

$$P_{ki} = \frac{\partial \lambda_i}{\partial a_{kk}} = \frac{w_{ki} v_{ik}}{w_i^t v_i} \quad (5)$$

식 (5)에서 w_i 는 대응되는 고유값의 좌측 고유벡터이고, v_i 는 우측 고유벡터이며, w_{ki}, v_{ik} 는 각각 k 번째 원소를 의미한다. 본 논문에서는 UPFC가 시스템에 미치는 영향을 알아보기 위하여 UPFC를 연계시에 시스템의 고유값에 미치는 영향을 해석했다. 참여계수는 응답하는 모드 내에 각각의 상태변수에 관련된 참여도를 의미하므로 고유치 해석시 중요한 민감도 요소로서 활용한다. 예로서 지역모드 및 광역모드 해석시 고유벡터의 참여도를 확인하여 기기나 발전소간의 참여율이 높으면 지역모드로 해석하고 다른 지역의 기기와 함께 고루 참여율이 높을 경우에는 광역모드로 해석한다. 따라서 고유치 해석은 모드 해석시 가장 중요한 요소가 되며 이를 가지고 주파수 응답과 제동비를 산출해 낼 수 있다.

3. UPFC 동적 모델링

단상으로 구성된 그림 1은 직렬측 변압기(BT)와 병렬측 변압기(ET)로 구성되어 있는 UPFC의 구성회로도이다. m 은 진폭변조지수이고 δ 는 각 컨버터의 제어신호에 대한 위상각이다. L_E 와 L_B 는 각각 직·병렬 변압기의 인덕턴스이다. 동기 회전자 발전기의 출력전압을 $V_{ED}, V_{EQ}, V_{BD}, V_{BQ}$ 등으로 쓸 수 있으며 식 (6), (7)과 같이 표현된다.

$$V_{ED} = \frac{m_E V_{dc}}{2} \cos \delta_E \quad V_{EQ} = \frac{m_E V_{dc}}{2} \sin \delta_E \quad (6)$$

$$V_{BD} = \frac{m_B V_{dc}}{2} \cos \delta_B \quad V_{BQ} = \frac{m_B V_{dc}}{2} \sin \delta_B \quad (7)$$

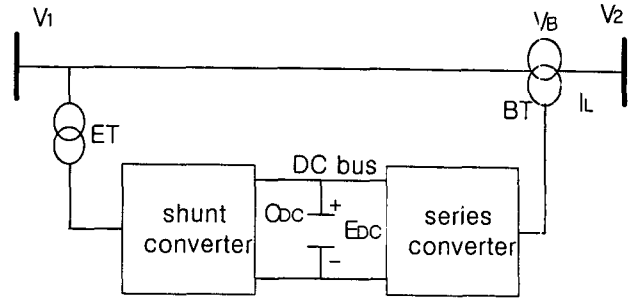


그림 1 UPFC 구성 회로도

Fig. 1 Schematic diagram of UPFC

단자간 유효전력이 교환되는 값이 같으므로 아래에 식 (8), (9)을 얻을 수 있다.[1]

$$V_{dc} I_{Edc} = V_{ED} I_{ED} + V_{EQ} I_{EQ} \quad (8)$$

$$V_{dc} I_{Bdc} = V_{BD} I_{BD} + V_{BQ} I_{BQ} \quad (9)$$

$$\dot{V}_{dc} = \frac{\omega_0}{C_{dc}} I_{dc} - \frac{\omega_0}{C_{dc} R_p} V_{dc} \quad (10)$$

여기서, $\omega_0 = 2\pi \text{rad/sec}$.

DC측 회로 방정식은 식 (10)과 같이 표현할 수 있으며, DC전류를 구하기 위해 식 (6), (7), (8), (9)를 조합하여 식 (11)을 얻을 수 있다.

$$I_{dc} = I_{Edc} - I_{Bdc} = \frac{m_E}{2} (\cos \delta_E I_{ED} + \sin \delta_E I_{EQ}) - \frac{m_B}{2} (\cos \delta_B I_{BD} + \sin \delta_B I_{BQ}) \quad (11)$$

식 (12)는 UPFC의 등가회로에 대한 상태방정식을 나타낸다. A행렬에서 R_p 는 컨버터의 스위칭 손실을 나타내는 캐패시터를 가진 병렬로 된 저항을 의미하며, UPFC 상태변수의 초기조건을 계산하기 쉽게 하기 위해서 쓰여졌다.[2]

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$x = [I_{ED} \ I_{EQ} \ I_{BD} \ I_{BQ} \ V_{dc}]^T \quad (12)$$

$$u = [V_{1D} \ V_{1Q} \ V_{21D} \ V_{21Q}]^T$$

UPFC 변수에 대한 행렬은 A이고, 제어데이터에 대한 변수는 B이다. 상태벡터는 직·병렬측 출력 전류를 나타내고 입력벡터 변수는 각각의 d, q축 전압이다. 입력벡터에서 V_{1D}, V_{1Q} 와 V_{21D}, V_{21Q} 는 회전자 발전기에서의 상전압과 상간전압을 나타낸다.

$$A = \omega_c \begin{bmatrix} \frac{-R_E}{L_E} & \omega & 0 & 0 & -\frac{m_E}{2L_E} \cos \delta_E \\ -\omega & \frac{-R_E}{L_E} & 0 & 0 & -\frac{m_E}{2L_E} \sin \delta_E \\ 0 & 0 & -\frac{R_B}{L_B} & \omega & \frac{m_B}{2L_B} \cos \delta_B \\ 0 & 0 & -\omega & -\frac{R_B}{L_B} & \frac{m_B}{2L_B} \sin \delta_B \\ \frac{m_E}{2C_{dc}} \cos \delta_E & \frac{m_E}{2C_{dc}} \sin \delta_E & -\frac{m_B}{2C_{dc}} \cos \delta_B & -\frac{m_B}{2C_{dc}} \sin \delta_B & -\frac{1}{C_{dc}R_p} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\omega_0}{L_E} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\omega_0}{L_E} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{\omega_0}{L_B} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{\omega_0}{L_B} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4. Local Mode 및 Inter-area Mode

상호 연결된 동기발전기들 사이의 전기-기계적 진동은 전력계통에서의 고유 현상이다. 이러한 진동의 안정도는 안전한 시스템 운전을 위해 필수적이다. 몇몇 저주파 불안정 진동들은 대 전력 계통이 상대적으로 약한 tie선로에 의해 연결되어 있을 때 관찰되고, 여자기나 PSS와 같은 제어기들이 상호 연결된 시스템을 안정화시키기 위해서 사용된다. 특히 여자기는 지역모드 제어에 PSS는 광역모드 제어에 유리하며 시스템 과도안정도를 향상시킨다.[3]

우선 모드 해석을 하기 위해서는 고유치에서 주파수 응답과 저동비를 구해야 한다.

$$\zeta = \frac{\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2}}, \quad f = \frac{\pi}{2} \quad (13)$$

위 식에서 ζ 는 제동비를 의미하고 σ 는 고유치의 실수축, ω 는 허수축을 의미한다. 즉 고유치 결과 값의 실수부와 허수부를 이용하여 위에 식(13)과 같이 제동비와 주파수를 구할 수 있으며 상태변수에 대한 모드별 모션참여율을 이용하여 지역모드와 광역모드에서의 제동비와 주파수를 구할 수 있다.

지역모드와 광역모드에 대한 특성을 확인하기 위해서는 tie선로가 중심이 되어 좌우 대칭이며 오른쪽은 G_1, G_2 가 왼쪽은 G_3, G_4 가 구성된 모델 계통에서 그림 2와 같은 특성을 통해 알 수 있다. 그림 2는 지역모드와 광역모드에 대한 고유벡터의 그림을 나타낸 것으로 벡터방향이 반대가 되는 것은 진동에 대한 제동의 방향을 나타냄을 의미한다. 그림 2에서 첫 번째, 두 번째 그림과 같이 참여도가 높은 고유벡터 값이 하나의 발전기나 하나의 발전소와 관련된 모든 상태변수가 관계된다면 이러한 경우의 진동모드를 Local (plant or inter-machine) modes라 부르고, 0.7~2.0Hz의 범위에서의 주파수에서 주로 발생한다. 그림 2의 세번째 그림과 같이 참여도가 높은 고유벡터의 값이 여러 발전기들이나 여러 발전소들에 관련된 상태변수와 관련하여 발생하는 진동모드를 inter-area modes라 부르고, 0.1~1.0Hz의 주파수 범위에서 주로 발생하게 된다.[4]

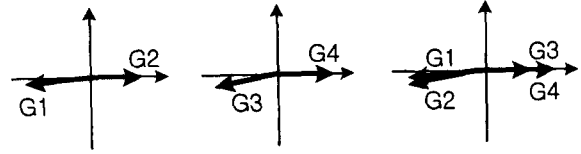
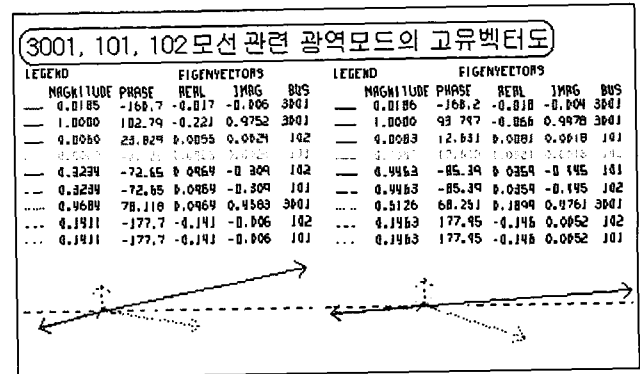


그림 2 지역모드와 광역모드의 일반적인 개념
Fig. 2 General concept of Local mode and Inter-area mode

모드 형태별 특성에 따라 각기 다른 특성을 보이는데 만약 tie선로를 중심으로 좌우 대칭인 계통에서 두 지역 사이에 전력전송이 없는 대칭의 계통인 경우에 한 지역의 발전기들이 다른 지역의 발전기들에 정확히 반대로(180도 차이) 진동하게 되고 tie선로의 조류는 흐르지 않는다. 또한 수전단 지역에서의 발전기들이 송전단 지역에서의 발전기들 보다 더 많은 진폭과 함께 진동한다. tie선로를 중심으로 좌우 대칭인 계통에서와 같이 tie선로가 한 개인 경우는 간단하게 해석이 되지만 모의 계통에서와 같이 tie선로가 여러 개이고 발전기 수가 많으면 매우 복잡하고 해석하기가 난해해 지게 된다. 따라서 Inter-area mode의 진동특성이 발전기들에 어떠한 영향을 미치는지가 완전하게 이해되지 않고 이것을 연구하여 제어하는 것은 훨씬 더 복잡하다.[5]



a) UPFC 연계전 b) UPFC 연계후
그림 3 UPFC 연계전·후의 3001, 101, 102모션 관련 광역모드에서의 고유벡터도

Fig. 3 Eigenvectors diagram of inter-area mode related with 3001, 101, 102bus via UPFC or not UPFC in test model

따라서 그림4의 모의 계통과 같이 tie선로에 의해 지역이 구분되는 시스템을 이용하여 모의하게 되었고 그림 3에서와 같이 UPFC 연계시 참여도 지수가 높은 상태변수를 이용하여 고유벡터의 위상각과 제동벡터의 크기가 더 커짐을 알 수 있는데 이는 기본적으로 그림 2를 통해 이해할 수 있으며 광역모드에서의 제동력을 확인할 수 있다.

주파수 신호는 발전소 내에 발전기들 사이에 발생하는 모드에서 보다 커다란 계통사이에서 포함되는 진동모드에 더 민감하다. 따라서 기기와 기기 사이에서 또는 지역과 지역사이에서의 진동모드가 발생하는 데 이에 대한 효과적인 제어가 대 전력 계통에서 풀어야 할 과제이므로 UPFC를

이용하여 지역 및 광역모드에 대한 우수한 성능을 해석해 보고자 한다.

UPFC는 발전기와 멀리 떨어져 설치될 경우가 많으므로 각 발전기, 각 FACTS 기기별로 분산시키는 것이 전력 시스템의 지리적인 특성을 감안하여 제어하는데 유리하다. 따라서 UPFC를 가장 취약한 선로에 설치하여 모의하고 또한 더 취약한 tie선로를 구현하기 위해 154-205 tie모선 사이의 선로를 끊고 모의해 보았으며 이 모의를 통해 저주파 진동의 특성을 알 수 있다.

5. 사례 연구

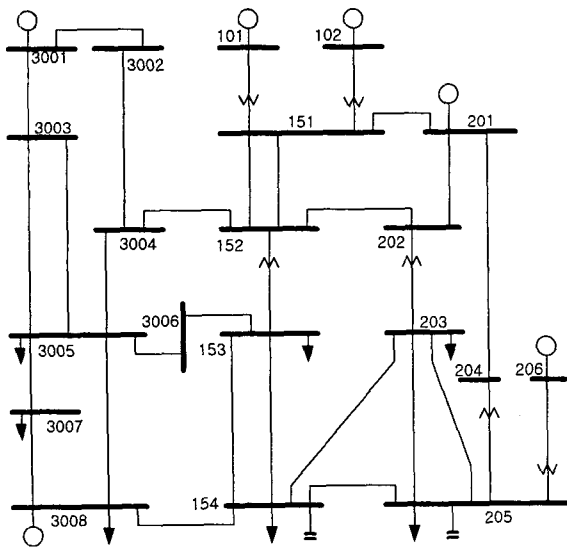


그림 4 6기 30모선 모의 계통도
Fig. 4 Six machine and thirty bus test model

5.1 UPFC의 고유치 해석 및 전압, 위상제어

사례연구를 위해 그림 4와 같은 6기 20모선 모델을 사용하였으며, 각 발전기 모선의 고유치와 관련된 상태변수, 참여도 계수, 주파수 제동비 등을 계산하였다. 표 1의 테이블은 모의 계통에 UPFC를 연계시켰을 경우의 고유치, 관련기기모선 및 지배적으로 관련된 상태변수들과 각 모드별 참여도 계수 값을 나타낸 것이다. 이 표에서 나타난 바와 같이 여러 모드에 걸쳐 UPFC의 참여도 값이 높았으며 그 만큼 전압의 제어나 위상 및 진동에 대한 제동에 있어 여러 모드에 관여하여 영향을 준다는 것을 알 수가 있다.

제어기 변수에 관한 고유치 민감도는 변수가 변할 때 고유치 이동에 관한 크기와 방향을 가리킨다. 그림 5는 각 발전기 모선에서의 회전자 발전기와 관련된 상태변수들만의 고유치 분포를 보여주는 것이고 그림 6은 UPFC 관련 상태변수들이 추가된 고유치 분포를 보여주는 것으로서 x축을 실수부로 y축을 허수부로 하여 각각의 경우에 대한 고유치 값들을 표현했다.

표 1 UPFC 연계시 고유치 해석 결과
Table 1 Eigenvalue analysis result via UPFC

고유치	관련 기기	관련된 상태변수	참여계수
$-2.30 \pm j7.37$	GEN201	ω, Y_a	1, 0.99
	UPFC	ψ, ω	0.85, 0.85
$-1.81 \pm j8.28$	UPFC	ψ, ω	1, 0.99
	GEN3001	ω, ψ	0.71, 0.71
$-8.10 \pm j4.67$	GEN201	E_a	1
	GEN206	Y_a	0.87
	UPFC	E_d	0.73
	GEN102	E_a	0.73
$-39.08 \pm j0.28$	UPFC	Y_d, Y_a	1, 0.26
	GEN206	Y_a	0.82
	GEN3008	Y_a	0.37
$-5.61 \pm j0.16$	UPFC	E_d, Y_d	1, 0.23
	GEN3001	E_d	0.42,
	GEN201	E_a	0.22

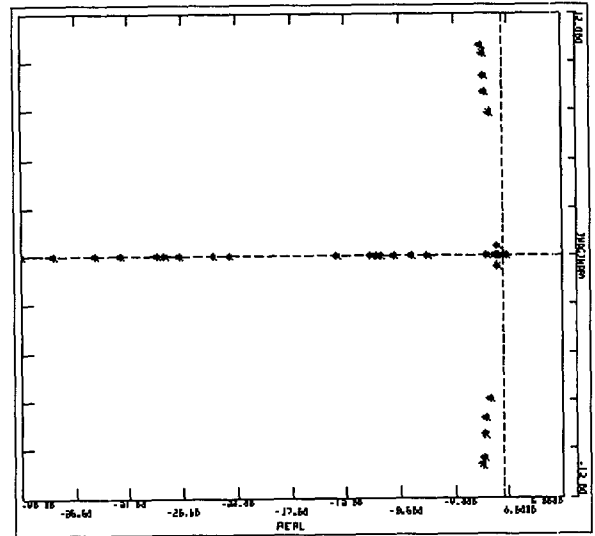


그림 5 모의 계통에서의 고유치 분포
Fig. 5 Eigenvalue distribution of test model

그림 5와 6을 비교해 볼 때 전반적으로 좀더 좌반부로 변수 값들이 이동 된 것을 볼 수 있고 UPFC의 변수가 표 1에서 볼 수 있듯이 가장 참여도가 높은 모드에서의 고유치 값들($-1.81 \pm j8.28$, $-39.08 \pm j0.28$, $-5.61 \pm j0.16$)이 새롭게 관찰되어 진다. 이는 새로운 상태변수들에 의해 다른 고유치 값들이 좌반부로 좀 더 이동함으로써 더 안정화되었고 제동비도 매우 커졌음을 의미한다.

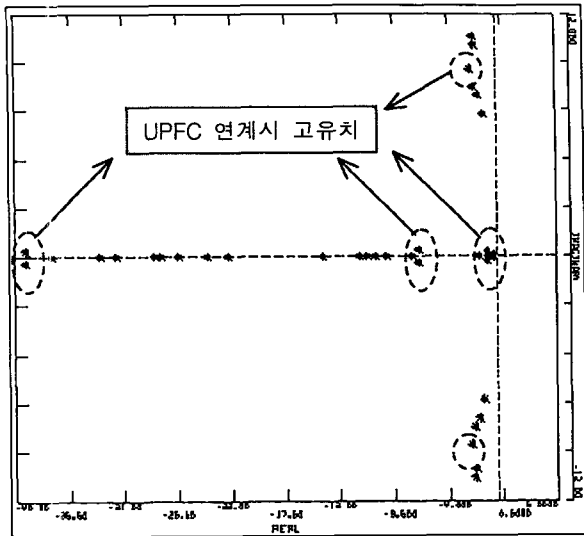


그림 6 모의 계통에서 UPFC 연계시 고유치 분포
Fig. 6 Eigenvalue distribution via UPFC of test model

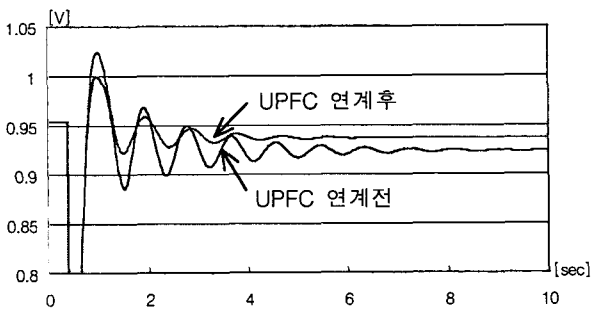


그림 7 모의 계통에서 UPFC 연계시 전압보상 및 제동
Fig. 7 Voltage compensation and damping via UPFC of test model

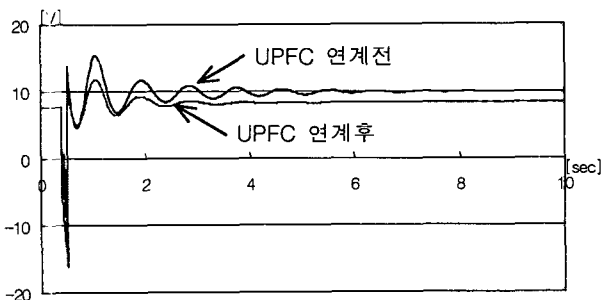


그림 8 모의 계통에서 UPFC 연계시 위상각 보상 및 제동
Fig. 8 Phase angle compensation and damping via UPFC of test model

동적 안정도에 대한 효과를 보이기 위해 계통의 진동을 유발하기 위한 외란으로 그림 4의 154모선에 대한 3상 단락 사고후 154-205 tie선로의 off시에 대해 모의해 보았다.

그림 7, 8과 같은 결과는 UPFC 연계시 전압 및 위상에 대한 보상효과와 제동특성이 우수함을 보여준다. 이와 같은

결과로서 UPFC가 발전기나 부하의 출력, 송전선로 및 전기적, 기기적 변수들의 변화와 같은 계통 운전조건의 변화에도 불구하고 특히 3상 단락사고와 같은 최악의 사고인 경우에도 미소신호 안정도를 효과적으로 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

5.2 LOCAL MODE 및 INTERAREA MODE 해석

고유치 해석시 구할 수 있는 주파수와 제동비를 이용하여 지역모드 및 광역모드에 대한 변화에 대해 해석하기 위해 표 2, 3에서와 같이 모의 계통에서와 모의 계통에 UPFC 연계시 및 154-205 tie선로 off시 그리고 그 때에 UPFC 연계시 등을 각각 모의하여 지역모드와 광역모드에서의 UPFC 연계 효과를 살펴보았다.

표 2 지역모드에 관한 모드해석 결과

Table 2 Mode analysis results of local mode

	모의계통		모의계통에 UPFC 연계시		154-205 선로 OFF시		선로 OFF후 UPFC 연계시	
	주파수	제동	주파수	제동	주파수	제동	주파수	제동
101 102	1.3522	0.3217	1.3255	0.3251	1.3643	0.3188	1.3268	0.3251
201 206	1.6716	0.1854	1.6304	0.2182	1.6350	0.1864	1.6100	0.2079
206	0.1000	0.9371	0.0947	0.9467	0.1188	0.9300	0.0935	0.9448

표 3 광역모드에 관한 모드해석 결과

Table 3 Mode analysis results of inter-area mode

	모의계통		모의계통에 UPFC 연계시		154-205 선로 OFF시		선로 OFF후 UPFC 연계시	
	주파수	제동	주파수	제동	주파수	제동	주파수	제동
3001, 101,102	1.1049	0.1129	1.0853	0.1257	1.1150	0.0777	1.0922	0.1344
3001,102, 101,3008	0.1480	0.9951	0.1398	0.9956	0.1671	0.9935	0.1621	0.9941

UPFC가 연계됨에 의해 각 모드별로 지배적인 상태변수의 참여도 지수가 변하게 되므로 위의 표에서는 지배적인 상태변수의 순서가 일치하는 모드로서 직접 비교할 수 있는 대상들만을 정리한 것이다. 그러나 실제로는 UPFC 연계함으로 인해 광역모드에 대해 4쌍이나 더 많은 제동 모드가 발생하였고 그 제동비도 거의 1에 가까운 우수한 성능을 보였다. 새로이 생긴 모드는 201, 206, UPFC, 102, 101, 3001모선과 연관된 모드, UPFC, 206, 3008, 102, 101모선과 연관된 모드 및 UPFC, 3001, 201, 102, 101모선과 연관된 모드 201, 3008, 206, 102, 101모선과 연관된 모드 등으로 그 제동비는 0.86(-8.10±4.67), 0.99(-39.08±j0.28), 0.99(-5.61±j0.16), 0.99(-0.54±j0.07) 등으로 광역모드에 있어서 매우 우수한 성능을 가졌다.

한편 표 2에서와 같은 지역모드에서도 제동비가 개선되는 등의 진동안정도에 있어서도 우수한 성능을 확인하였다. 또

한 tie선로를 off하여 다른 tie선로를 취약하게 했을 때 진동이 더 커진다는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

점차적으로 급증하고 있는 계통의 부하에 의해 계통의 리액턴스가 증가되고 기기를 중부하에서 운전하는 추세로 인하여 제동능력이 감소하고 지속적인 저주파 진동이 발생하여 미소신호 안정도 측면에 있어서 효율적인 개선이 요구된다. 이에 저주파 진동에 우수한 제동능력을 가지고 있는 FACTS 기기 중 UPFC 제어기의 고유치 해석과 상정사고에 대한 보상효과 및 UPFC 연계시 지역모드, 광역모드에 대한 해석 등을 통해 강인한 제어능력을 보여줌으로서 전압안정도, 위상안정도, 과도안정도, 진동안정도, 미소신호안정도 등과 같은 동적 안정도 향상에 우수한 기여를 하고 있음을 모의를 통해 알 수 있었다. 특히 저주파 진동을 확인할 수 있는 광역모드에서는 UPFC 연계전보다 더 많은 광역모드에 대한 제동모드가 발생했으며 거의 완벽한 제동능력을 보여주고 있다. 특히 저주파 진동을 확인할 수 있는 광역모드에서는 고유벡터값의 크기와 위상의 변화를 통해 제동효과를 확인할 수 있었고, UPFC 연계전보다 더 많은 광역모드에 대한 제동모드가 발생했으며 거의 완벽한 제동능력을 보여주고 있다. 부하의 증가로 인해 크게 대두되고 있는 미소신호안정도의 해석을 위해 우수한 제동능력을 가지는 UPFC를 이용하여 주파수 해석을 함으로서 현대 대전력 계통의 큰 과제인 전압 및 미소신호의 안정성을 해석함으로써 우리나라 대전력 계통의 안정도 진단에 도움이 되었으면 한다.

참 고 문 헌

[1] M. Noroozian, L. Angquist, M. Ghandhari, G. Amdersson. "Use of UPFC for Optimal Power Flow Control", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.12, No.4, Oct. 1997, pp. 1629-1634.

[2] Jang-Cheol Seo, Seung-Il Moon, Jong-Keun Park, Jong-Woong Choe, "Design of a robust UPFC controller for enhancing the small signal stability in the multi-machine power systems", Power Engineering Society Winter Meeting, 2001. IEEE, Volume: 3, 2001 Page (s): 1197 -1202 vol.3

[3] Messina A.R, Ramirez J.M, Canedo C. J.M, "An investigation on the use of power system stabilizers for damping inter-area oscillations in longitudinal power systems" Power Systems, IEEE Transactions on, Volume: 13 Issue: 2, May 1998 Page(s): 552 -559

[4] Noroozian N, Andersson G, "Damping of inter-area and local modes by use of controllable components" Power Delivery, IEEE Transactions on, Volume: 10 Issue: 4, Oct. 1995 Page(s): 2007 -2012

[5] Klein M Rogers, G.J Kundur P, "A fundamental study of inter-area oscillations in power systems' Power Systems, IEEE Transactions on, Volume: 6 Issue: 3, Aug. 1991 Page(s): 914 -921

[6] Xiaolu Li, Lixin Bao, Xianzhong Duan, Yangzan He, Mingyan Gao "Effects of FACTS controllers on small-signal voltage stability", Power Engineering Society Winter Meeting, 2000. IEEE, Volume: 4, 2000 Page (s): 2793 -2799 vol.4

저 자 소 개



김 중 현 (金鍾現)

1973년 03월 16일생. 1998년 명지대 전기공학과 졸업. 2001년~현재 한양대학교 전기공학과 석사과정
Tel : 02-2290-0347, Fax : 2297-1569
E-mail : cult92@hanmail.net



정 창 호 (丁昌鎬)

1966년 6월 15일생. 1994년 원광대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~1997년 전력연구원 위촉연구원. 1997~1999년 LG산전 전력연구소 연구원. 현재 한양대 전기공학과 박사과정
Tel : 02-2290-0347, Fax : 02-2297-1569
E-mail : chung@ihanyang.ac.kr



김 진 오 (金鎭沔)

1956년 1월 17일생. 1980년 서울대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 Texas A&M Univ. 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 한양대 공과대학 전자전기컴퓨터공학부 부교수
Tel : 02-2290-0347, Fax : 02-2297-1569
E-mail : jokim@hanyang.ac.kr