

STATCOM 제어를 이용한 발전기 회전자 위상각 진동 감쇄

박정수, 장길수, 손광명*
 고려대학교 전기전자전파공학부, 동의대학교 전기공학과*

Rotor Angle Oscillation Damping using STATCOM Control

Jungsoo Park, Gilsoo Jang, K. M. Son*
 Korea University, Dong-Eui University*

Abstract - STATCOM은 계통에 무효 전력을 공급함으로써 모선 전압을 유지시키는 역할을 한다. 따라서 발전기들의 회전자 위상각과 같은 유효전력과 관련된 계통 변수들의 제어 능력은 없다. 그러나 여자기에 PSS와 같은 제어를 설치하여 발전기 회전자 진동을 제어하는 것처럼 STATCOM에도 이러한 제어를 설치함으로써 부가적인 효과를 얻을 수 있다.

단자를 연결하는 병렬 변압기를 나타낸다. 적분기 형태의 제어기에 의해 결정된 내부 전압 E_{in}^u 과 단자 전압 V_1^u 의 위상은 같고 이들 사이에 있는 병렬 변압기의 임피던스 x_t 에 의해 외부로 공급되는 전류 I_Q 가 결정된다. I_Q 는 단자 전압 V_1^u 와 90도의 위상차를 가지게 되어 무효 전력이 공급된다. 이는 다음과 같은 수식으로 정리될 수 있다.

1. 서 론

$$\dot{E}_{in}^u = K_S (V_{SREF} - V_1^u - V_{SUP} - Droop \times I_Q) \quad (1)$$

전압형 인버터를 에너지 공급원으로 갖는 FACTS 기기들은 리액턴스 성분을 공급하는 기존의 FACTS 기기들보다 더 좋은 특성을 가진다. 대표적인 병렬 형태의 FACTS 기기인 STATCOM의 경우 캐패시턴스 또는 리액턴스를 공급하는 SVC와 달리 전압형 인버터를 이용하여 무효 전력을 공급하기 때문에 외부 전압에 의존적이지 않고 특히 저 전압에서 더 높은 보상 효과를 보여준다. STATCOM은 계통에 무효 전력을 공급함으로써 모선 전압을 유지시키는 역할을 한다. 따라서 발전기들의 회전자 위상각과 같은 유효전력과 관련된 계통 변수들의 제어 능력은 없는 것으로 알려져 있다. 그러나 여자기에 PSS와 같은 제어를 설치하여 발전기 회전자 진동을 제어하는 것처럼 STATCOM에도 이러한 제어를 설치함으로써 부가적인 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 STATCOM을 이용하여 계통의 지역 간 진동을 감쇄시키기 위한 제어를 설계하고 그 결과를 사례 연구로 확인할 것이다.

$$I_Q = \frac{E_{in}^u - V_1^u}{x_t} \quad (2)$$

$$\overline{I_Q} = I_Q \exp j(\theta_1^u - \frac{\pi}{2}) \quad (3)$$

2.2 Controller 설계

위 그림 1에서 V_{SUP} 은 제어기에 의한 입력 신호를 나타낸다. V_{SUP} 은 다음 그림 2와 같이 Wash-Out과 Lead-Lag로 이루어진 간략한 형태로 설계 되었다.

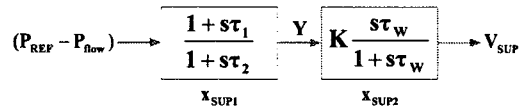


그림 2 제안된 STATCOM의 제어기[1]

2. 본 론

2.1 STATCOM의 동적 모델

아래 그림 1은 STATCOM의 동적 모델을 나타낸 것이다. 이 그림에서 볼 수 있는 것처럼 STATCOM의 동적 모델은 간단한 적분기 형태로 모델링 되었으며 단자 전압을 제어하도록 설정 하였다.

이 제어기의 입력으로 사용될 입력 변수는 STATCOM이 설치된 모선을 지나는 유효 전력의 변화량으로 설정 하였다. 위 그림 2에서 X_{SUP1} 과 X_{SUP2} 는 각각 Lead-Lag와 Wash-Out의 상태 변수를 의미한다. 위 그림 2는 다음과 같은 수식들로 전개될 수 있다.

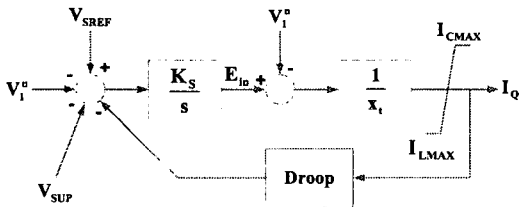


그림 1 STATCOM의 동적 모델[1]

위 그림에서 V_1^u 는 단자 전압의 크기, V_{SREF} 는 기준 전압, E_{in}^u 은 내부 인버터 전압, x_t 는 내부 인버터와 외부

$$V_{SUP} = K \frac{s T_w}{1 + s T_w} \frac{1 + s T_1}{1 + s T_2} (P_{ref} - P_{flow}) \quad (4)$$

$$x_{SUP1} = \frac{P_{ref} - P_{flow}}{T_2} - \frac{1}{T_2} Y \quad (5)$$

$$Y = \frac{T_1}{T_2} (P_{ref} - P_{flow}) + x_{SUP1} \quad (6)$$

$$x_{SUP2} = \frac{V_{SUP}}{T_w} \quad (7)$$

$$V_{SUP} = \frac{K T_1}{T_2} (P_{ref} - P_{flow}) + K x_{SUP1} - x_{SUP2} \quad (8)$$

2.3 선형 분석

STATCOM이 발전기 회전자 진동의 감쇄 효과를 나타내도록 하기 위해서는 위 그림 2와 식 (4)~(8)에 나타나는 제어기들의 파라미터들이 올바르게 선택되어야

한다. 이를 위해서는 위 식 (1), (5), (7)을 선형화 하여 고유치 분석을 수행해야 한다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{E}_{in} \\ x_{SUP1} \\ x_{SUP2} \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} x \\ E_{in} \\ x_{SUP1} \\ x_{SUP2} \end{bmatrix} \quad (9)$$

위 식 (9)는 STATCOM이 설치된 전력 계통의 선형화된 시스템 방정식을 나타낸 것이다. 위 식 (9)에서 x 는 기존 전력 계통에 설치되어 있는 기기들의 상태 변수들에 해당하는 부분이다. x 가 n 개의 변수들로 이루어진 벡터라고 할 때 STATCOM과 제어기의 상태 변수는 모두 3개 이므로 전체 계통은 $n+3$ 개의 상태 변수를 갖는 시스템이 된다.

2.4 사례연구

사례 연구를 위하여 다음과 같은 2 지역 계통을 이용하였다. 아래 그림 3에서 모든 발전기는 2축 모델로 가정하였으며 모든 발전기는 1차 고속 여자가 설치되었다. [2] STATCOM은 8번 모선에 설치하였고 식 (4)의 제어기에 입력되는 유효 전력 변화량은 8번 모선에서 9번 모선으로 흐르는 유효 전력이 감소되도록 하였다.

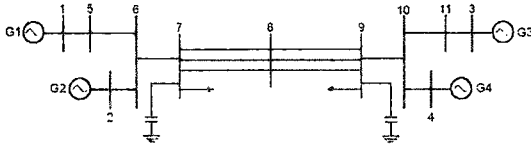


그림 3 2 Area 시험 계통

아래 그림 4는 식 (4)의 감쇄 제어기가 설치되지 않은 상태에서 그림 1의 K_S 의 변화에 따른 계통의 고유치 변화를 나타낸 그림이다. K_S 는 1.0에서부터 25.0까지 1.0씩 증가 되었으며 아래 그림의 고유치는 위 그림 3의 G3와 G1 사이의 지역 간 진동에 해당하는 고유치이다.

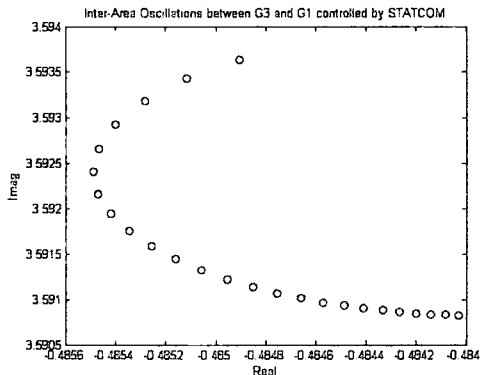


그림 4 K_S 의 변화에 따른 계통의 고유치 변화

위 그림 4에서 볼 수 있는 것처럼 STATCOM은 지역 간 진동에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 고유치의 실수부가 거의 변화가 없고 주파수에 해당하는 허수부 또한 변화가 거의 없기 때문에 감쇄율 또한 거의 변화가 없다.

아래 그림 5는 식 (4)의 제어기를 설치하고 $K_S = 25.0$ 으로 설정한 상태에서 식 (4)의 K 의 변화에 따른 고유치의 변화를 나타낸 그래프이다. K 는 0.0에서부터 1.0까지 0.01씩 증가 되었다.

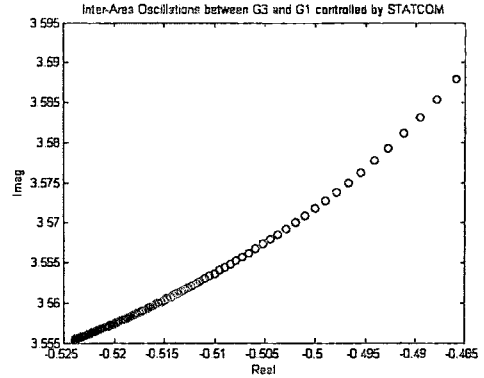


그림 5 K 의 변화에 따른 고유치 변화

이 그림에서 볼 수 있는 것처럼 K 가 증가함에 따라 고유치가 오른쪽으로 이동을 하고 주파수 또한 감소되므로 고유치의 감쇄율이 증가되고 있음을 알 수 있다. 따라서 감쇄 제어기의 효과로 인하여 STATCOM의 지역 간 진동에 대한 감쇄 효과가 나타나고 있다고 할 수 있다.

아래 그림 6은 위 그림 4와 5에 대하여 시간 영역에서의 과도 안정도 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 사고 시나리오는 그림 3의 7번 모선과 8번 모선 사이의 3회선 중 1회선에 0.5초에 3상 선로 사고를 가한 뒤 0.1초간 지속시킨 후 사고를 제거하였다.

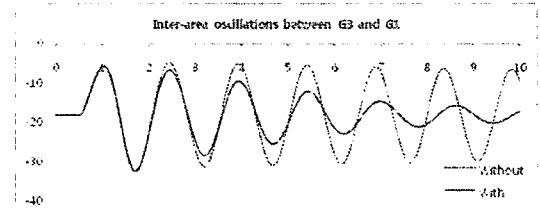


그림 6 시간 영역에서의 시뮬레이션 결과

위 그림에서 볼 수 있는 것처럼 감쇄 제어기 설치 후 STATCOM이 발전기 회전자 위상각의 지역 간 진동 감쇄에 기여하고 있음을 시간 영역에서도 확인할 수 있다.

3. 결 론

위 사례 연구에서 볼 수 있는 것처럼 STATCOM에 어떠한 제어기를 적용하느냐에 따라 전압 보상이라는 STATCOM 본래의 역할 이외에 다른 추가적인 효과를 얻을 수 있다. 따라서 이와 같은 FACTS 기기의 제어 기법에 대한 연구를 통하여 FACTS의 성능을 최대한 이용할 수 있는 방법 또한 고려되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 박정수, 장길수, 손광명, "전력시스템 동특성 해석을 위한 전압원 FACTS 기기의 Newton 전류 주입형 모델링에 관한 연구", 대한전기학회논문지, 55A, 281~289, 2006년 7월
- [2] Prabha Kundur, "Power System Stability and Control", 1994