

# 다기계통에서의 SVC와 TCSC특성 해석

설 용 태  
( 호 서 대 학 교 전기공학과 )

## SVC & TCSC Effects in Multi-Machine Power System

Sul, Yong Tae  
( Ho Seo University, Dept. of Electrical Eng.)

### Abstract

This paper prescribe the effects of SVC & TCSC in multi-machine power system. EMTP models of two FACTS controllers are proposed to analysis the basic characteristics of SVC & TCSC and the control signal of TCR is determined by rms value which was measured in system. The oscillation model of generator is proposed to analysis the damping effect and the most effective location of TCSC in multi-machine power system is identified by the residues associated with the natural oscillation modes. The 3 generator-9 bus model system is used to demonstrate the applicability of the proposed model.

### 1. 서 론

FACTS(Flexible AC Transmission System)이론은 1980년대 후반부터 미국에서 EPRI를 중심으로 연구가 시작된 새로운 송전 방식으로, 전력전자 기술을 이용하여 전력계통의 효율적인 운용과 안정도를 향상시키는 기법이다. 즉, 고전압 대전류용 사이리스터와 같은 전력전자 설비를 도입하여 계통의 전압, 동요특성을 개선하고, 전력조류를 통해서 선로의 최대한제용량까지 전력을 전송함으로써 추가로 송전선로를 건설하는 부담을 경감시킬 수 있다.

FACTS설비에 대한 연구는 외란에 대한 모션의 전압특성, 발전기의 제동특성, 및 고조파해석, 에너지함수를 이용한 과도안정도 해석을 위한 각 설비들의 모델링 등 여러가지 특성해석에 관한 연구가 활발하다[1~4]. 이러한 연구의 대부분은 1기 시스템과 같이 간단한 모델시스템에 대한 해석에 치중하고, 다기계통에서의 여러 가지 설비가 작용하는 경우 등에 대해서는 미흡한 실정이다. 이는 각 제어설비의 상호 연계특성과 해석의 어려움과 다기계통 모델해석의 복잡성 등에 기인한다.

본 연구에서는 FACTS설비중에서 실효성이 높은 SVC와 TCSC를 다기계통에서의 제반특성을 전력시스템의 과도특성 해석에 가장 정략한 S/W인 EMTP (Electro Magnetic Transient Program)와 MATLAB을 이용하여 해석하는 기법을 제시한다. 먼저 SVC와 TCSC의 EMTP와 MATLAB을 이용하여 해석하기 위한 모델링을 구성한 후 이를 근거로 1기 무한대 모션계통에서의 TCR전류,전압 및 점호특성 등을 분석하였다. 또한 TCSC의 특성을 고려한 시스템 모델을 구성하여 다기계통에서의 외란에 대한 TCSC의 전압특성, 동요특성 등의 효과를 분석하였다. 자연

적인 진동형태에 관련된 잔차특성의 분석을 통해서 다기계통에서의 TCSC의 설치장소를 효과적으로 선정하는 방법과 여러대의 TCSC를 동시에 채용하는 경우의 효율성 등을 분석하였다. 이러한 해석기법은 3기 9모선과 같은 다기계통에 적용하여 시뮬레이션 기법을 통해서 그 효율성을 평가하였다.

### 2. SVC와 TCSC의 기본특성

#### (1) EMTP모델

그림 1과 같은 SVC의 모델에 대해서 보자.

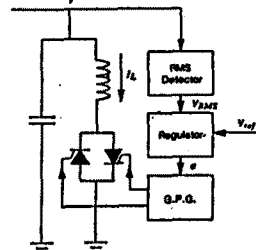


그림 1. SVC의 EMTP모델

그림에서 보면 EMTP모델은 크게 실효치 검출부( RMS Detector), 전압조정부( Voltage regulator ) 및 GPG( Gate Pulse Generator)의 세 부분으로 구성된다.

실효치 검출부는 계통으로부터 감지된 전압을 실효치로 환산하며, 3상의 경우는 각 상전압의 평균을 취한 후 그 실효치를 계산하여 전압조정부로 보내준다. 전압조정기에서는 이 실효치 전압을 기준전압  $V_{ref}$ 와 비교하여, 그 편차  $\Delta V$ 를 계산한 후 제어 신호로 사이리스터의 도전시간  $\alpha$ 나 점호지연  $\alpha$ 를 구한다. GPG에서는 전압조정기에서 발생한  $\alpha$ 와  $\sigma$ 를 이용하여 사이리스터에 점호 펄스를 보내준다.

#### (2) 사이리스터의 제어이론

일반적인 SVC에서의 TCR ( Thyristor Controlled Reactor )의 점호특성은 그림 2와 같다.

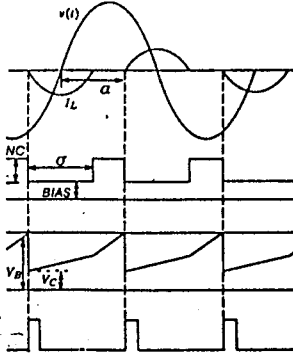


그림 2. TCR의 점호특성

그림 2는 전압영점교차 (voltage zero crossing) 제어법에 따른 것으로 사이리스터의 도전시간  $\sigma$ 와 점호지연  $a$ 사이에는  $2\sigma + a = 2\pi$ 의 관계가 성립한다. 또한  $\sigma$ 는  $V_c$ 에 비례하며  $V_{bias}$ 는  $V_c$ 와  $G$ 에 관련되며, 이러한 관계는 다음식과 같이 표시된다.

$$\int_0^{a/\omega} G dt = -\frac{G\sigma}{\omega} \quad (1)$$

$$2 \int_0^{\frac{a-\sigma}{\omega}} G dt = 2G \left[ \frac{a-\sigma}{\omega} \right] \quad (2)$$

$$V_{bias} = V_c + \frac{G\sigma}{\omega} + 2G \left[ \frac{a-\sigma}{\omega} \right] \quad (3)$$

$a = \pi - \sigma/2$ 의 관계를 이용하면 식 (3)은

$$V_{bias} = V_c - \frac{G\sigma}{2\pi f} + \frac{G}{f} \quad (4)$$

만일  $G=60$ ,  $f=60\text{Hz}$ ,  $V_{bias}=1.0\text{V}$ 인 경우는

$$V_c = \frac{\sigma}{2\pi} \quad (5)$$

### (3) 제동특성 모델

TCSC의 제동특성을 해석하기 위해서는 동기발전기의 제동 효과를 다음과 같은 수식으로 표현한다.

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_E \\ \Delta \delta_F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{G_\beta}{M} & -\frac{D}{M} - \frac{k_r G_X}{M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_E \\ \Delta \delta_F \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{G_V}{M} & 0 \\ 0 & -\frac{G_\beta}{M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta \delta_V \end{bmatrix} \quad (6)$$

### 3. 다기 모델계통

#### (1) 모델 계통

그림 3과 같은 3기 9모선의 다기계통에 대해서 분석하였다.

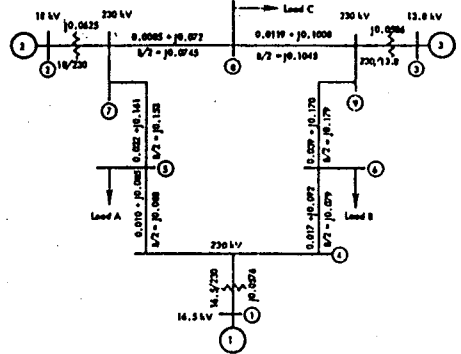


그림 3. 3기 9모선 모델 계통

#### (2) TCSC의 위치 결정

다기계통에서 TCSC를 어느 곳에 설치하는 것이 효과적인가를 결정하는 것은 중요한 사항인데, 이는 자연적인 진동형태와 관련된 잔차(residues)의 분석에 의해서 가능하다.

먼저 전력시스템에서 하나의 TCSC에 대해서 보자. 시스템의 자연 모드는 제어입력을 통한 외부 시뮬레이션에 의해 여차된 때, 다른 비율로 임의로 선택된 출력변수의 응답으로 표현된다.

동적인 모드에 있는 시스템의 경우 임의의 출력변수  $Y(s)$ 의 라플라스 변환은 입력  $U(s)$ 의 라플라스 변환 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$Y(s) = \left( \frac{R_1}{s - \lambda_1} + \dots + \frac{R_n}{s - \lambda_n} \right) U(s) \quad (7)$$

여기서,  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ 은 시스템의 고유치들이고,  $R_1, \dots, R_n$ 은 이에 대응되는 잔차들이다.

출력  $y(t)$ 의 임펄스 응답은

$$y(t) = \sum_{i=1}^n R_i e^{-\lambda_i t} \quad (8)$$

이고, 복소공액 고유치값 쌍  $a \pm j b$ 와 관련된 임펄스 응답은 다음과 같이 간략히 쓸 수 있다.

$$2 e^{at} \sqrt{(p^2 + q^2)} \sin(bt + \alpha) \quad (9)$$

여기서  $p \pm j q$ 는 대응 잔차쌍이고  $\alpha = \tan^{-1}(\frac{q}{p})$ 이며, 출력  $y(t)$ 로부터 제어입력  $u(t)$ 에 이르기 까지 주어진 동요모드의 가 제어성 정도는 대응잔차  $\sqrt{(p^2 + q^2)}$ 의 크기로 결정된다.

TCSC의 가장 효과적인 설치위치는 제어기의 제어입력을 통해 모든 요구된 동요모드에 걸쳐 가제어성의 충분한 정도에서 동작할 수 있는 곳이다. 따라서 다른 제어기의 위치에 대해 전력각 동요와 관련된 잔차를 분석하여 제어기의 최적위치를 결정할 수 있으며, 이러한 기법은 다중 제어기들의 협조설계에 역시 이용될 수 있다.

#### 4. 결과 분석

그림 4는 설치위치별 특성을 해석하기 위해서 TCSC 1개를 서로 다른 곳에 설치한 경우 발전기 1의 계동특성 결과이다.

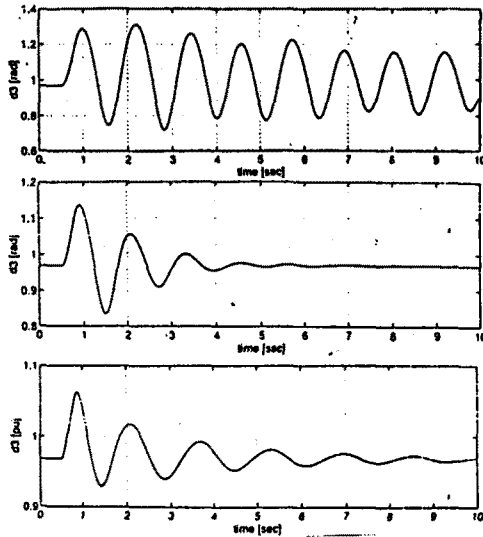


그림 4. TCSC효과 분석

#### 5. 결 론

본 연구에서는 다기계통에서의 SVC와 TCSC의 효과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 사이리스터 점호에 필요한 제어신호를 계통에서 감지된 전압에 의해서 계산하고 전압 영점교차법을 적용한 SVC와 TCSC의 EMTP모델의 적용결과 TCR 전압, 전류 등 기본특성의 해석에 효과적임을 보였다.
- (2) MATLAB을 이용하여 다기계통에서의 계동특성을 해석하기 위한 TCSC의 간략한 모델링의 효용성을 입증하였다.
- (3) 다기계통에서의 가장 효율적인 TCSC의 위치설정은 자연적인 진동형태와 연관된 전차의 분석결과에 의해서 효과적으로 결정될 수 있음을 보였고, 여러대를 동시에 사용하는 경우의 효용성을 평가할 수 있었다.

#### ( References )

1. FACTS Scoping Study, Vol. 1,2, EPRI, 1990.
2. Current Activity in FACTS, IEEE, 1992.
3. FACTS Technology, EPRI, 1994.
4. Anguist, L., " Power oscillation damping using controlled reactive power compensation -a comparison between series and shunt approaches ", IEEE Trans., PS-No.8, pp.687-700, 1993.
5. Anderson,P.M & Fouad,A.A, Power System Control and Stability, Iowa State Univ., Press, 1977.
6. EMTP Workbook I, IV, EPRI, 1989.
7. Kundur, Power System Control and Stability, EPRI, 1994.