

EMTP를 이용한 전압보상용 SVC모델링

박대운, 이유진, 김철환
성균관대학교

Modeling of Static VAR Compensator for Voltage Control Using EMTP

Dae-Yun Park, You-Jin Lee, Chul-Hwan Kim
Sungkunkwan University

Abstract - TCR(Thyristor Controlled Reactor, 사이리스터 제어 리액터)를 사용한 SVC(Static VAR Compensator, 정지형 무효전력 보상장치)의 모델링을 제시한다. 이 모델링을 전력계통의 전압 제어에 적용하며 EMTP(Electro-Magnetic Transient Program, 전자기적 과도현상 해석 프로그램)를 통하여 시뮬레이션의 결과를 도출하고 EMTP를 통한 모델링을 확인한다.

1. 서 론

전력 수요가 점점 증가하고 계통이 점점 비대해짐에 따라 송전용량의 증대 및 전력품질에 관한 관심이 증가하였다. 따라서 이를 위한 FACTS(Flexible AC Transmission System, 유연송전시스템)기술이 대두되어 연구되고 적용되고 있다. FACTS기 중 SVC(Static VAR Compensator, 정지형 무효전력 보상장치)는 전력계통의 전압제어 및 무효전력 보상을 위한 장치다. SVC는 안정도가 취약한 계통의 전압 안정을 도모함으로써 송전 용량의 증대와 부하 급변에 대응할 수 있는 능력을 높이기 위해 사용되고 있다[1]. SVC의 보편화된 형태로는 TCR(Thyristor Controlled Reactor, 사이리스터 제어 리액터)과 TSC(Thyristor Switched Reactor, 사이리스터 개폐 커패시터)가 있는데, 본 논문에서는 전력계통의 전압제어를 위해 TCR을 사용한 SVC 모델에 대해 기술하였다.

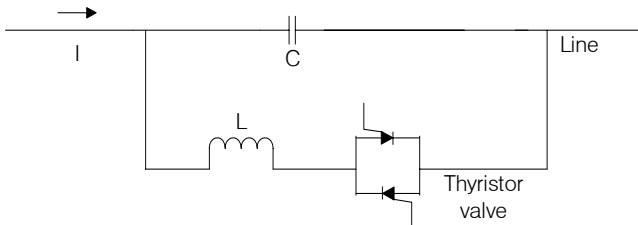
모델링을 위해서 SVC의 유효전력 대 무효전력의 비를 일정하게 유지 시킴으로써 무효전력 제어 특성을 고려하였고 TCR의 동작 특성 방정식을 이용하여 개념적으로 표현함으로써 전압 제어 특성만을 모의하였다. 전압 보상 모델은 3상 가변 부하 모델과 SVC 모델 및 유효전력 계산 모델로 구성한다. 이러한 모델은 적분기(Integrators), 지연기(Delay), 전달함수(Transfer Functions)등의 회로소자로 구성되며 EMTP에 의해 시뮬레이션하였다[1].

2. SVC 모델

2.1 SVC의 정의

SVC는 FACTS기기의 하나로서, 고전압 전기 전송 네트워크상에서 유도성 무효전력의 공급을 위한 장치이다[3].

SVC의 기본적 구성은 다음 <그림 1>에서 볼 수 있듯이 FC(Fixed capacitor, 고정 커패시터)에 TCR회로가 병렬로 접속되어 구성된다. 회로에 흐르는 전류의 위상각은 사이리스터 밸브에 의해 제어되는데, 밸브가 닫힐때 전류는 최대가 되며 밸브가 열릴때 영이 된다. FC는 거친 전압 파형을 부드러운 전압 파형으로 걸러주는 필터 역할을 한다.



<그림 1> SVC의 개념적 구성 모델

2.2 SVC 모델링

SVC 모델은 TCR모델과 가변부하 및 유효전력 계산모델로 구성되며 SVC의 역할을 일정하게 고정 시킨 유도성 부하의 변동을 고려하여 보상기의 전압제어 특성만을 고려하였다. 이를 TCR의 동작 특성식을 이용하여 개념적으로 설명하였다.

2.2.1 EMTP를 이용한 TCR 모델링

TCR에 흐르는 전류는 모선 전압에 의해 조정되는 사이리스터 점화각에 따라 달라지는데, TCR의 인덕턴스가 L에서 무한대까지 변하는 것으로 표현 할 수 있다.

$$v(t) = \frac{L}{K} \cdot \frac{di(t)}{dt} \quad , \quad 0 \leq k \leq 1 \quad (1)$$

$$I(s) = \frac{k}{L} \cdot \frac{V(s)}{s} \quad (2)$$

위의 식 (2)에서 $\frac{k}{L}$ 은 모선 전압의 기준전압에 대한 오차를 적분하여 TCR의 전류를 제어하는 요소로써 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{k}{L} = K \cdot \int_0^t \Delta V dr \quad (3)$$

K:제어기 이득 ΔV 전압 오차

위의 식 (3)에서 K는 SVC의 동작특성을 나타낸다.

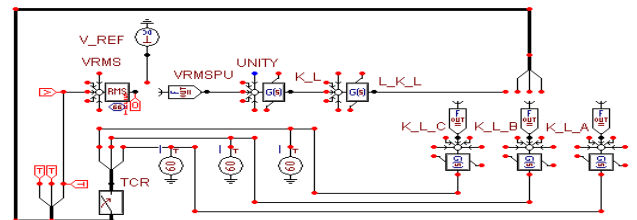
$$1.0 = K \cdot \int_0^{2T} 0.1 dr \Rightarrow K = 300 \quad (4)$$

2T(주기) = 0.0333

전압오차 10%에서 2주기 만에 최대(최소) 보상에서 최소(최대) 보상으로 변화한다고 가정하면 위의 식 (4)에 의해 SVC의 동작특성은 제어기 이득 K=300으로 나타낼 수 있다.

TCR의 동작특성 식을 사용하여 다음 <그림 2>을 ATPDraw를 이용하여 표현하였고 스위칭 소자, 전달함수 소자, DEVICE 66소자 등으로 구성하였다.

위의 식 (4)을 통해 얻은 제어기 이득 값은 노드 K_L에 연결된 전달함수로 표현되었고 노드 L_K_L에 연결된 전달함수는 $\frac{k}{L}$ 이며 그 값은 1.25이다.



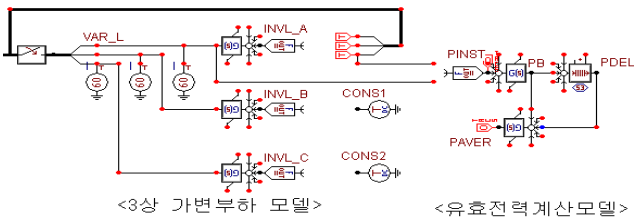
<그림 2> TCR모델의 ATPDraw 작성도

2.2.2 EMTP를 이용한 3상 가변부하 모델링 및 유효전력 계산 모델링

3상 가변부하 모델은 단상 가변부하 모델 기법을 이용하여 3상으로 확장하여 모의 할 수 있고 단상 가변부하를 TACS에 의한 가변부하를 등가 전류원으로 변환하여 모의할 수 있다. 이렇게 모의한 모델계통에서는 부하 변화에 따라 부하에 걸리는 전압의 실효치가 달라진다.

$$\frac{1}{L} = \frac{\omega P}{V_{\text{실효치}}^2} \cdot \left(\frac{P}{Q} + \frac{Q}{P} \right) \quad (5)$$

위의 식 (5)를 통해 다음 <그림 3>은 가변부하와 유효전력 계산모델을 ATPDraw를 이용하여 구현하였다.

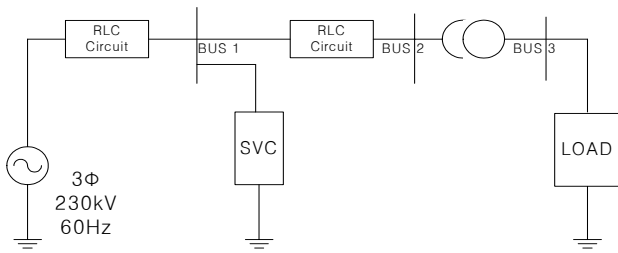


<그림 3> 가변부하와 유효전력 계산모델의 ATPDraw 작성도

2.3 시뮬레이션 및 결과

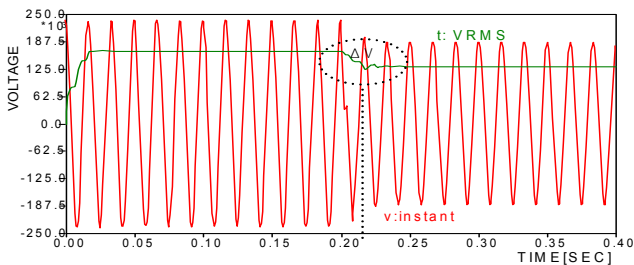
다음 <그림 4>는 3Φ, 230[kV]계통에 SVC와 등가 전류원으로 모의한 가변부하로 구성된 전체 전력 계통도를 나타낸다.

본 논문에서는 BUS 1에서 SVC가 연결된 경우와 연결되지 않은 경우에 대한 임의의 단상 전압파형과 실효치 전압파형(RMS)을 관찰하였다.



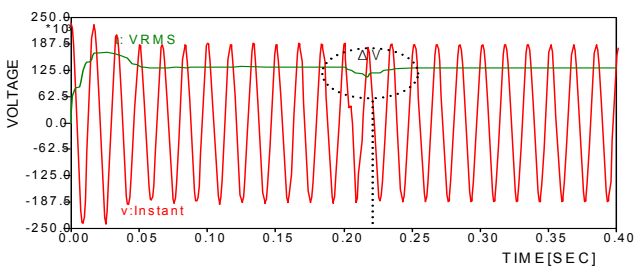
<그림 4> SVC를 포함한 전체 전력 계통도

위의 <그림 4>의 BUS 1에서 전압 파형을 살펴보면 SVC가 연결되지 않은 경우, 다음<그림 5>와 같이 0.22초 부근에서 ΔV만큼 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 이것은 SVC가 연결되지 않아 전압 보상이 이루어지지 않았음을 의미한다[3].



<그림 5> SVC가 연결 되지 않았을 때의 전압파형

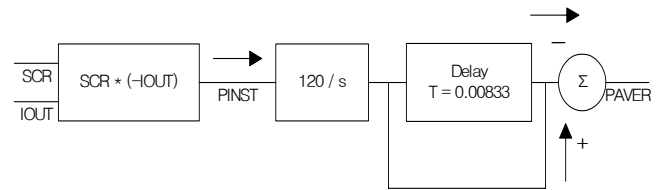
위의 <그림 4>의 BUS 1에서 SVC가 연결된 경우, 다음 <그림 6>과 같이 0.22초 부근에서 ΔV 차이가 이후 원래의 전압으로 보상되는 것 볼 수 있다. SVC의 전압 보상으로 인해 계통이 안정해지며 송전용량 증대에 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있다[3].



<그림 6> SVC가 연결 되었을 때의 전압파형

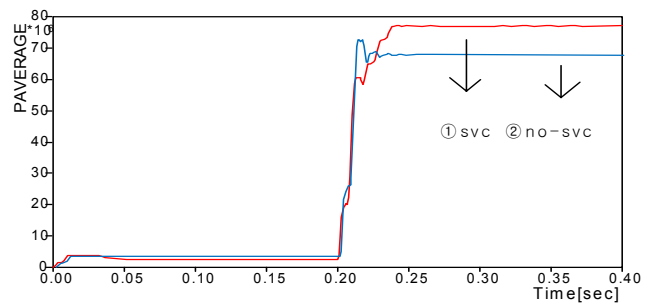
다음 <그림 7>은 SVC 모델에서 사용된 유효전력 계산모델이다. 유효전력 다이어그램은 이득 값이 120인 TACS-전달함수와 T = 0.00833

만큼의 시간지연을 갖는 시간지연기로 구성된다. 주파수가 60Hz인 계통도에서 2주기 만에 최대(최소) 보상에서 최소(최대) 보상으로 변화한다고 가정하였으므로 지연시간 T는 0.00833초이다. 그러므로 시간이 지연된 전력과 원래의 전력을 한 주기에서 적분하면 유효전력을 구할 수 있다 [1].



<그림 7> 유효전력 계산모델의 다이어그램

SVC 존재 유무에 따른 유효전력 변화는 다음 <그림 8>과 같다. 두 가지 경우의 그래프 모두 위의 <그림 7>에서 나타낸 전류(IOUT)보상의 영향으로 0.22초 전후에 유효전력의 크기가 변했음을 확인할 수 있다.



<그림 8> SVC의 존재 유무에 따른 유효전력

위의 <그림 5>와 <그림 6>에서 확인한 바와 같이 SVC로 인한 전압보상의 영향으로 인해 SVC 연결 지점의 전압이 상승하고, 이는 위의 <그림 9>의 ①과 같이 유효전력량이 증가하는 형태로 유효전력 보상이 발생하였음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 EMTP를 이용하여 SVC 모델링을 통한 전압제어의 시뮬레이션 결과를 도출하였다. SVC 모델링의 실현적 구현을 통해 전력계통의 안정성을 도모함으로써 전압제어의 효과성을 확인하였으며, 이로써 전압보상용 SVC 모델링의 정확성 및 전압제어를 통해 송전용량 증대와 부하 급변의 대응력에 영향을 끼칠수 있다는 사실을 확인하였다.

추후 연구에서는 전력계통상에서 전압제어 뿐만 아니라 SVC내의 싸이리스터 절호각 제어를 통해 무효전력 보상이 가능한 SVC 모델링을 연구할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] A. C. S. de Lima, S. S. Wanderley, R. M. Stephan, "Modelling a static VAR Compensator Using EMTP", Circuits and Systems, vol.1, pp.219-222, 1995
- [2] Narain G.Hingorani, Laszlo Gyugyi, "Understanding FACTS", 9 IEE Press, UK, 2000
- [3] Zhijun, E, K. W. Chan, D. Z. Fang, "Hybrid Simulation of Power Systems with Dynamic Phasor SVC Transient Model", Power Electronics and Drive Systems, vol. 1, pp.1670-1675, 2007
- [4] S. Y. Lee, S. Bhattacharya, T. Lejonberg, A. E.Hammad, S.Lefebvre, "Detailed Modeling of Static VAR Compensators Using EMTP", Power Delivery, vol. 7, pp.836-847, 1992