EMTP를 이용한 STATCON 모델링에 관한 연구

유일도*, 한영성*, 차재덕*, 조경래*, 김학무*, 이학성*, 이기선**, 문건우**
효성 중공업 기술연구소*, 한전 전력 연구원**

A study on the modeling of STATCON using the EMTP

I.D Yoo* Y.S. Han* J.D. Cha*, K.R. Cho* H.M. Kim* H.S. Lee* K.S. Lee** G.W. Moon**
HICO R&D Institute*, KEPRI**

Abstract - This paper presents a novel modeling methodology for STATCON and relevant controller using EMTP. It also provides with an idea for suppressing numerical oscillation that usually occur at switching operation by incorporating resistor component of STATCON into system modeling. Some simulation results validate propriety of methodology the proposed for modeling of system and suppressing numerical oscillation

1. 서 론

전력 계통의 전력 전송 능력을 극대화하고 정밀하고 고속의 조류제어를 위한 FACTS(Flexible AC Transmission System)연구가 국내외적으로 활발히 이루어지고 있다. 이 중에서 배전용 STATCON (Static Condenser)은 수전단의 과도 안정도와 전압 안정도를 증대하기 위해 도입되고 있다.

STATCON과 이를 제어하기 위한 제어기 개발시 하드웨어 제작 못지 않게 이들 기기의 설치 장소와 설치 장소에 맞는 사양을 결정하고 예정된 장소에 설치후 개선된 효과를 관찰하기 위해 이들 기기에 관한 시뮬레이션은 필수적이다. 또한 효과적인 제어를 위해 결정된 제어블록의 파라메터의 효과도 시뮬레이션을 통하여 관찰할 수 있다. 이를 위해 기기 들의 정확한 모델링이 선행되어야 한다. 현재 전력시스템 시뮬레이션의 표준으로 인정되고 있는 EMTP(Electromagnetic Transients Program)는 지금까지 지속적인 개발을 통하여 전력시스템의 거의 모든 요소를 시뮬레이션 할 수 있도록 개발되었다.

본 논문에서는 배전용 STATCON과 제어기를 EMTP를 이용하여 모델링하고 기존의 계통 모델과 조합하여 STATCON의 동작을 확인하고 향후 제어기 파라메터 설정에 이용하고자 한다.

2. 시뮬레이션 모형

그림 1은 시뮬레이션을 위해 사용한 배전계통과 STATCON의 구성을 나타낸 것이다. 배전선의 말단에 부하가 연결되어 있고 STATCON이 22.9kV 배전선에 연결되어 무효전력을 제어하고 있다.

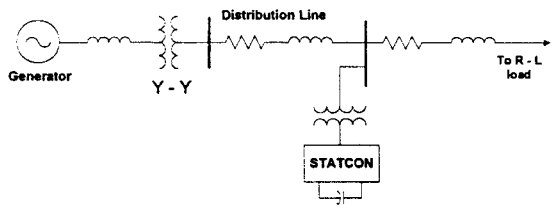

그림 1. 시뮬레이션 모형

배전계통에 있어서 전압원 인버터형 무효전력보상기의 기능은 동기조상기의 기능과 동일하나 동기조상기에 비해 대단히 빠른 속도로 동작하므로 부하의 영향으로 발생되는 전압 강하, 전압 왜곡, Flicker등의 발생을 최소화하여 이와 같은 현상이 인접 배전선로나 수용가로 확산되는 것을 방지하는 것이다. 또한 산업용 대형 유도성 부하로 인한 역률 저하를 보상할 목적으로 사용된다.

3. EMTP 모델링

초기의 EMTP에서는 전력계통과 연계되어 있는 제어시스템을 전원 조작 또는 스위치의 개폐 조작 등의 방법으로 모의하였으나, TACS(Transient Analysis of Control System) 기능이 추가됨으로써 상세한 제어시스템의 모의가 가능하게 되었다. TACS는 검출기에 의해 전력계통으로부터 신호를 받아들이고, 이를 적절히 처리하여 필요한 지령을 전력계통에 발생시키는데, TACS는 이러한 분리시스템 개념에 의해 지금까지 계속적으로 발전하였다. 이러한 TACS를 이용하여 제어블록을 구성하고 제어동작을 TACS제어 스위치에 적용하므로써 배

전선로에 연결된 STATCON의 동작을 시뮬레이션 할 수 있다.

3.1 STATCON 구성

그림 2는 IGBT형 STATCON의 간략한 등가회로를 나타낸 것인데 직류 커패시터, 인버터, 그리고 배전선에 결합된 직렬 리액터로 구성되어 있다. 이 직렬 리액터는 실제 3상 변압기를 나타내고 회로에서 직류 커패시터와 병렬로 연결된 저항은 인버터와 결합용 변압기의 전도 손실을 나타낸다.

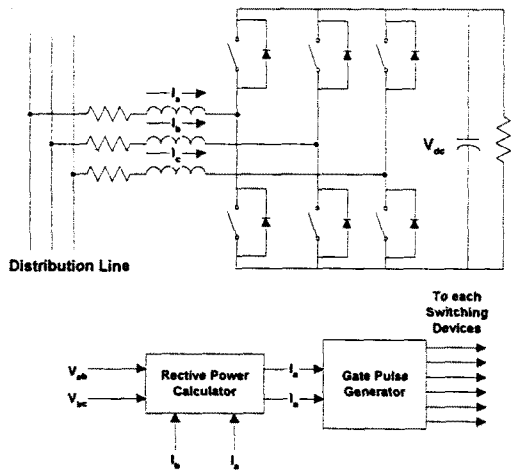

그림 2. 간략화된 STATCON모델

3.2 변압기 모델

변압기 모델은 단상 포화 변압기(XFORMER) 3개를 상호 연결하여 구성하였다. 사용된 변압기는 154/22.9kV, 50MVA정격의 변압기이고 등가회로의 누설 임피던스는 고압측을 기준으로한 임피던스 베이스 값의 0.15pu로 하였다. 또한 포화특성을 고려하기 위해 정격전류의 약 1.2pu에서 자화곡선이 40%의 기울기가 생기도록 하였다.

3.3 IGBT 모델

IGBT 소자는 TACS 제어 스위치로 모델링 되었다. EMTP는 단순한 L, C회로에 관한 시뮬레이션의 경우 수치적인 진동이 문제되지 않은다. 하지만 스위칭 작용이 있을 경우 수치 해석적 불안정이 발생하여 연산이 멈추게 되는 경우가 있는데 이러한 문제는 단순히 계산간격을 줄임으로 해결되지는 않는다. 이와 같은 경우 수치적인 진동을 해결하기 위해 스위칭 소자와 병렬로 댐핑회로가 필요하다. 댐핑회로로는 간단히 R-C 직렬회로가 사용될 수 있고 이와 같은 목적으로 첨가된 R소자는 IGBT 소자의 자체 손실을 표현하는 것으로도 생각할 수 있다.

3.4 제어기 모델

STATCON의 주요한 기능의 하나인 배전선로의 전압 조절은 무효전력을 흡수 또는 방출함으로 달성되는데, 이를 효과적으로 수행하기 위해 단자전압과 단자전류를 입력받아 d-q변환을 수행한다. 그리고 변환된 d축, q축 성분과 무효전력은 다음의 관계가 성립한다.

$$Q = \frac{3}{2}|V||I|\sin(\theta) = \frac{3}{2}(V_{ds} I_{qs} - V_{qs} I_{ds}) \quad (1)$$

여기서

θ : 전압과 전류사이의 위상차

V, I : 선간 전압

V_{ds}, V_{qs} : d-q변환후 d축, q축 전압

I_{ds}, I_{qs} : d-q변환후 d축, q축 전류

배전용 STATCON의 경우 IGBT가 스위칭 소자로서 사용되는데 스위칭 주파수가 높아 소자의 구동에 PWM(Pulse Width Modulation)스위칭 방식을 이용한다. 무효전력은 PWM발생시 동기과의 위상을 제어하여 조절 할 수 있도록 하였다.

그림 3은 STATCON의 제어를 위해 사용된 제어 블록이다. 입력된 단자전압과 단자전류를 d축과 q축 성분으로 분리하고 분리된 q축 전류를 기준값과 비교하여 이 값들의 차를 PI제어기의 입력으로 사용하고 PI제어기의 출력은 각각 소자의 점호각 발생시키는 유니트의 입력으로 사용된다.

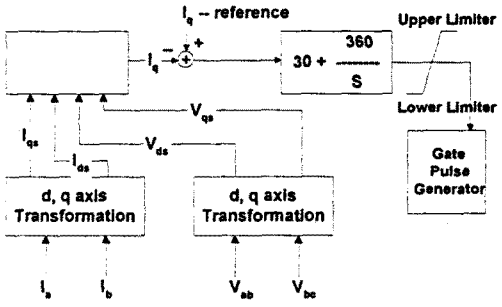

그림 3. 제어 블록

여기서

$$KSN = \frac{V_{qs}}{\sqrt{V_{ds}^2 + V_{qs}^2}} \quad (2)$$

$$KCS = \frac{V_{ds}}{\sqrt{V_{ds}^2 + V_{qs}^2}} \quad (3)$$

$$I_q = \frac{-KSN\, I_a + KCS\, I_{qs}}{400} \quad (4)$$

4. 시뮬레이션 결과

그림 4의 결과는 수전단에서 부하로 인해 발생한 전압을 보상하기 위해 기준 전류 I_q를 40ms에 step으로 인가하여 무효전력을 공급하여 수전단의 전압을 보상한 예로 STATCON에 의해 수전단의 전압이 상승하고 있음을 보이고 있다.

그림 5는 배전선로에서 STATCON으로 흐르는 전류이다. 그림 6은 STATCON 컨버터의 선간전압이다. PWM파형을 관찰할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 제어기 모델과 STATCON 모델을 EMTP 적용시 모델링 방법을 기술하였고 시뮬레이션을 통해 STATCON의 효과를 관찰하였다.

향후에는 STATCON의 실제 적용과 고조파 제거를 위한 Active Filter 기능을 가지는 상세한 제어기 연구가 진행될 것이다.

본연구는 한전전력연구원 주관으로 수행되었음

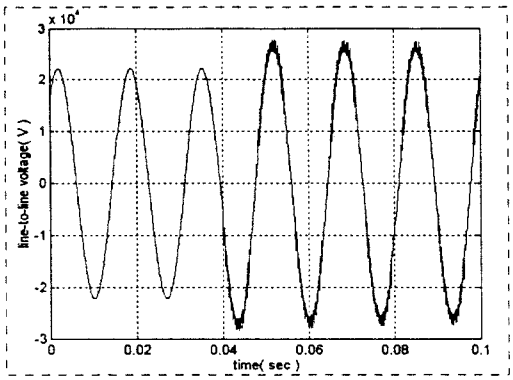

그림 4. 수전단의 선간전압

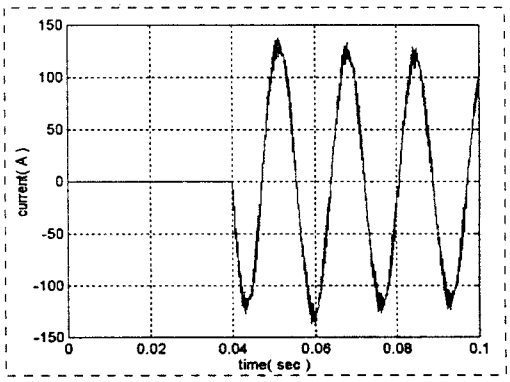

그림 5. STATCON에 흐르는 전류

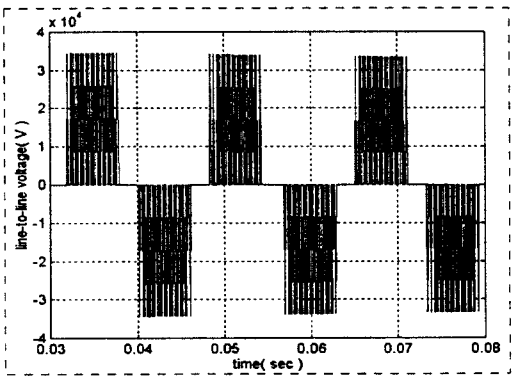

그림 6. STATCON의 선간전압

[참 고 문 헌]

[1] J. R. Marti, J. Lin, "Suppression of Numerical Oscillations in the EMTP," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 4, no. 2, pp. 739-747, May 1989.

[2] S. Lefebvre, L. Gerin-Lajoie "A S tatic Compensator Model for the EMTP," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 7, no. 2, pp. 477-486, May 1992.

[3] 한병문, " 비선형 보상을 적용한 송전용 무효전력보상기의 제어시스템 설계", *전기학회 논문지* 제46권 1호, pp. 31-37, 1997

[4] 한국전력공사 전력연구원, "*1MVA급 IGBT형 STATCON 개발 분기보고서*", 1997. 4

[5] *ATP Rule Book*, vol Ⅰ,Ⅱ