

EMTP를 이용한 수변전계통의 전압보상설비효과 분석기법

(Voltage Compensation Analysis in Distribution System by EMTP)

俔龍泰* · 權赫一**

(Yong-Tae Sul · Hyuk-Il Kwon)

요 약

본 연구에서는 대규모 공장과 같은 수변전계통에서의 전압개선을 위한 전압보상설비의 특성을 해석하는 기법을 제시했다. 보상설비는 전력전자 기술을 이용한 SVC에 대해서 전기적인 과도특성 해석에 가장 정확한 S/W중의 하나인 EMTP를 이용하여 TCR전류, 전압 및 점호특성 등을 분석하였다. 이러한 해석기법은 전압개선의 필요성이 높은 제철공장과 같은 대규모 공장의 수변전계통에서 외란에 대한 SVC의 전압개선 특성효과를 분석하는데 유용함을 보였다.

Abstract

This paper proposed the voltage compensation analysis method in distribution system by EMTP. SVC (Static Var Compensator) of the thyristor controlled reactor type is used for compensation system. EMTP(Electro Magnetic Transient Program) model of SVC is proposed to analysis the voltage improvement characteristics at the high voltage system bus. It is composed with three parts ; rms detector, voltage regulator and gate pulse generator. The control signal of TCR is determined by rms value which was measured in system. As the result of EMTP simulation, all of the SVC characteristics like TCR current, firing pulse and bus voltage is very reliable. This method could be used to analysis the planning and the operation of compensation system in the large scale factory.

1. 서 론

대규모 공장과 같은 산업용 수변전계통의 전압과 주파수를 규정치로 유지하는 것은 생산제품의

품질개선과 원가절감 등과 연관되는 중요한 문제이다. 주파수는 계통 전반에 걸친 문제로 공급자측에서 제어하며, 무정전은 차단기, 계전기와 같은 여러가지 보호설비에 의해서 구현되고 있다. 또한 국부적인 특성을 갖는 전압을 일정한 규정치로 유지하기 위해서는 탭변환 변압기, 승압기, 유도전압조정기 등 여러가지 설비들이 이용되고 있다. 그러나 제철공장과 같은 곳에서는 압연기

*正會員 : 호서대학교 전기공학과 교수

**正會員 : 포항제철 설비기술부

接受日字 : 1996年 6月 28日

의 사용과 같은 부하급변으로 인한 역률저하와 전압강하로 전압조정이 용이하지 않다. 따라서 제철소 등과 같이 전압강하가 심한 대규모의 산업용 전력설비에서는 단순한 조정설비가 아닌 커패시터를 이용한 무효전력보상을 통한 전압제어 방식인 SVC(Static Var Compensator)를 사용하고 있다. 이러한 설비는 사이리스터를 이용한 전력전자 기술의 발전에 따라서 종래의 소용량에서 최근에는 대전류, 고전압의 대용량소자가 개발되어 대규모의 수변전 설비계통에 스윗칭소자로 이용이 가능해지고 있다.^{1~4)}

이러한 전력전자 기술을 이용한 스윗칭 소자는 기존의 전기적, 기계적소자에 비해서 고속으로 정확하게 작동하는 장점이 있어 그 사용추세가 급증하고 있다.

본 연구에서는 대규모의 공장과 같은 수변전계통에서의 전압개선을 위한 SVC의 특성을 EMTP(Electro Magnetic Transient Program)를 이용하여 해석하는 기법을 제시한다. SVC는 실효치 감지부, 전압조정부 및 GPG(Gate Pulse Generator)등의 세 부분으로 구성하였다. 즉, 계통에서의 전압을 감지하여 실효치로 환산한 다음, 이를 전압조정부에서 기준전압과 비교하여 그 편차를 계산한 후 GPG에서 사이리스터의 도전시간과 점호지연을 결정해서 점호펄스를 발생한다.

SVC모델은 전기적인 과도특성 해석에 가장 정확한 S/W중의 하나인 EMTP를 이용하여 TCR(Thyristor Controlled Reactor)전류, 전압 및 점호특성 등을 분석하였다. 이러한 해석기법은 전압개선의 필요성이 높은 제철공장과 같은 대규모 공장의 수변전계통에서 외란에 대한 SVC의 전압개선특성 효과를 분석하는데 유용함을 보였다.

2. SVC의 기본특성

2.1 SVC의 기초이론

일반적으로 SVC는 그림 1과 같이 고정 커패시터와 양 방향 사이리스터로 제어되는 리액터로 구성된다.⁵⁾

이러한 SVC는 지상과 진상 무효전력을 계통

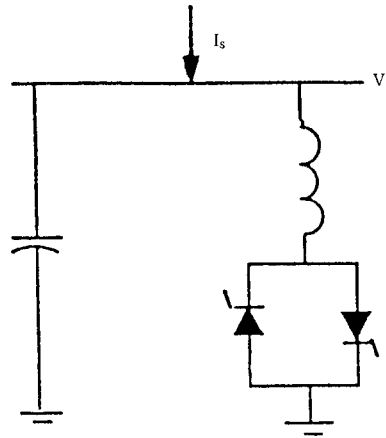


그림 1. SVC의 구성도
Fig. 1. Diagram of SVC

에 공급하여 전압을 조정하며, 이의 기본 V-I_s 특성은 그림 2와 같다.

그림 2에서 V는 모선전압, I_s는 SVC의 무효전류로서 정상운전시 전압 V₀로 운전하던 중 부하가 감소하면 전압이 V₁으로 증가한다. 이때 SVC는 리액턴스 용량을 투입하여 유도성 전류를 흡수함으로써 전력의 소비로 과전압을 해소하는 기능을 하여 전압을 V₃로 저하시킨다. 반면에 부하가 증가한 경우에는 전압이 V₀에서 V₂로 감소하는데, 이 경우 SVC는 커패시턴스 용량을 투입하여 가용량성 전류 I_c에 의한 보상효과로 전압이 V₂에서 V₄로 상승하게 된다. 이러한 특성을 SVC의 기술기 리액턴스 X_{SL}을 이용하여 수식으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$V = V_0 + X_{SL} I_s \quad (1)$$

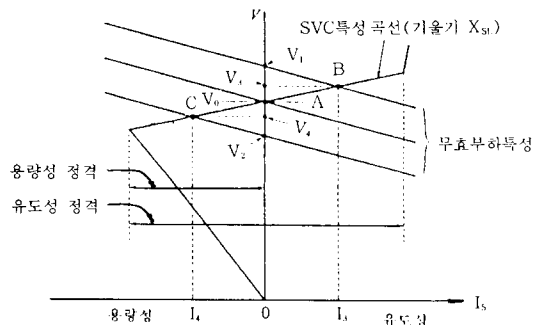


그림 2. SVC의 V-I_s 특성
Fig. 2. V-I_s characteristic of SVC

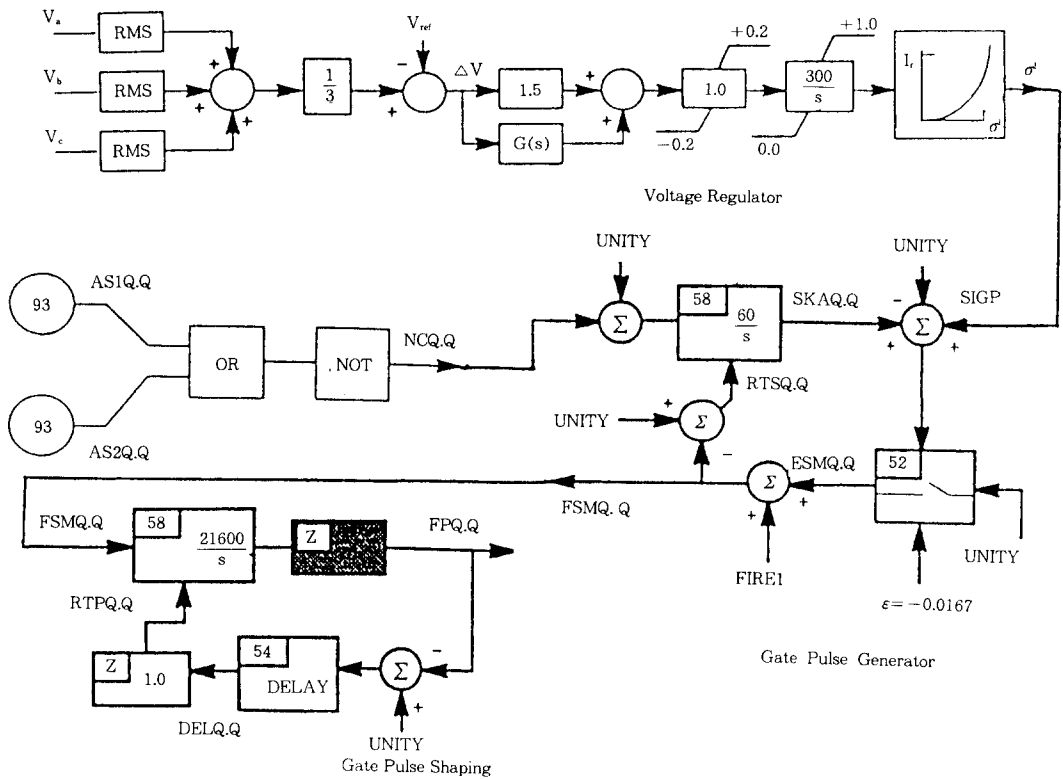


그림 3. SVC의 EMTP모델
Fig. 3. EMTP model of SVC

2.2 SVC의 EMTP모델

그림 1과 같은 SVC의 EMTP모델은 다음과 같이 구성된다.

그림 3에서 보면 SVC의 EMTP모델은 크게 실효치 검출부(RMS Detector), 전압조정부(Voltage regulator) 및 GPG의 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 ΔV 를 계산한 후 제어신호로 사이리스터의 도전시간 σ 나 점호지연 α 를 구한다. GPG에서는 전압조정기에서 발생한 α 와 σ 를 이용하여 사이리스터에 점포 펄스를 보내준다. 일반적인 TCR의 점호특성은 그림 4와 같다.

그림 4는 전압 영점교차(voltage zero crossing)

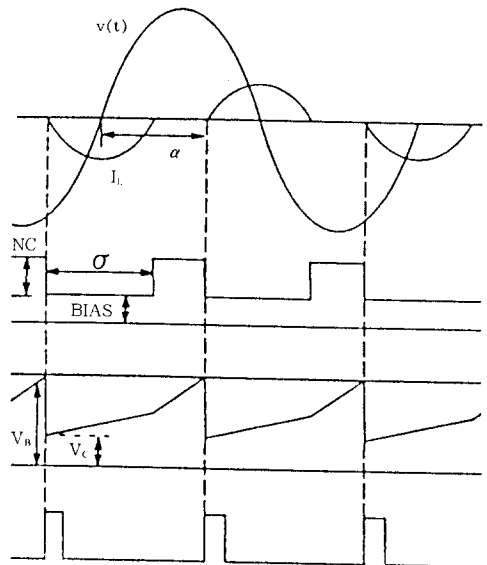


그림 4. TCR의 점호특성
Fig. 4. Firing characteristic of TCR

법에 따른 것으로 사이리스터의 도전시간 σ 와 점호지연 α 사이에는 $2\alpha + \sigma = 2\pi$ 의 관계가 성립한다. 또한 σ 는 제어입력 전압 V_c 에 비례하고, V_B 는 V_c 와 이득 G 에 관련되며, 이러한 관계는 다음식과 같이 표시된다.

도전시간 동안은,

$$\int_0^{\sigma/\omega} Gdt = \frac{G\sigma}{\omega} \quad (2)$$

비도전시간에 대해서는,

$$2 \int_0^{\alpha - \frac{\sigma}{2}} Gdt = 2G \frac{\alpha - \frac{\sigma}{2}}{\omega} \quad (3)$$

와 같은 관계가 성립하며, 반전된 적분기 출력 V_B 는 식(4)와 같다.

$$V_B = V_c + \frac{G\sigma}{\omega} + 2G \frac{\alpha - \frac{\sigma}{2}}{\omega} \quad (4)$$

또한, $\alpha = \pi - \sigma/2$ 의 관계를 이용하면 식 (4)는

$$V_B = V_c - \frac{G\sigma}{2\pi f} + \frac{G}{f} \quad (5)$$

이 되고, 만일 $G=60$, $f=60\text{Hz}$, $V_B=1.0$ 인 경우 제어입력 전압 V_c 는 다음과 같이 된다.

$$V_c = \frac{\sigma}{2\pi} \quad (6)$$

3. 시뮬레이션

3.1 1기 시스템

SVC가 송전선로를 통해 교류전원에 연결된 경우의 등가회로는 그림 5와 같고 이 경우 $L=1.66(\text{mH})$, $C=1,500(\mu\text{F})$ 이다.

그림 5의 SVC의 EMTF모델을 이용하여 시뮬레이션하면 각 제특성은 그림 6과 같다.

그림 6은 점호펄스, TCR전류 및 전압특성을

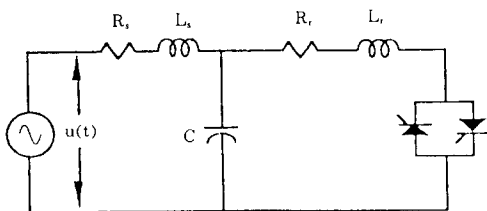


그림 5. 1기 모델 시스템
Fig. 5. Single machine model system

표시한 것으로, 전압이 0이되는 1/2cycle마다 TCR전류가 정확히 교차됨을 알수 있다. 또한 계통에서 감지된 전압을 이용한 TCR의 제어특성이 원활함을 보여준다.

3.2 수변전 모델계통

(1) 모델계통

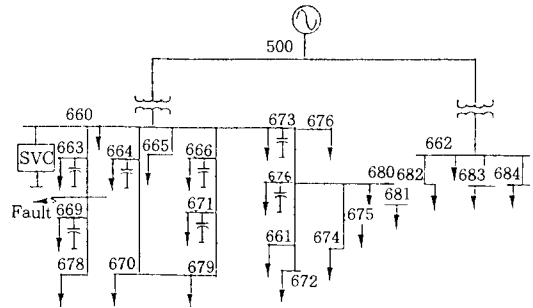


그림 7. 수변전 모델계통
Fig. 7. Distribution model system

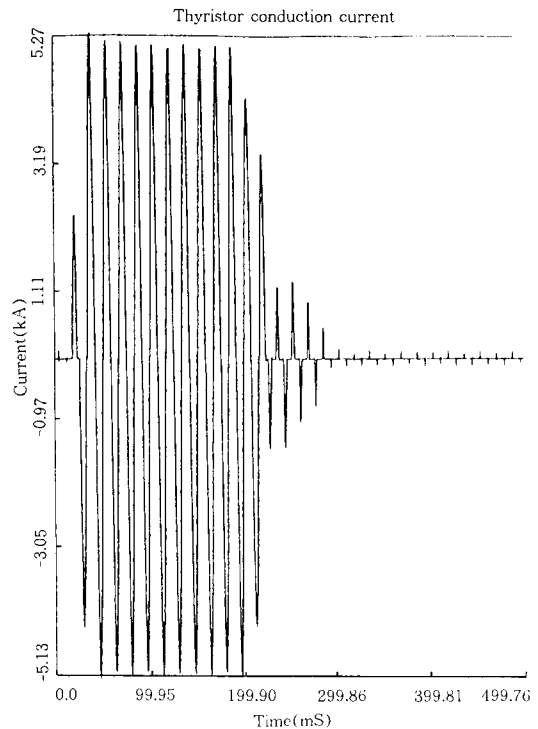


그림 8. SVC의 TCR 전류특성
Fig. 8. TCR current of SVC

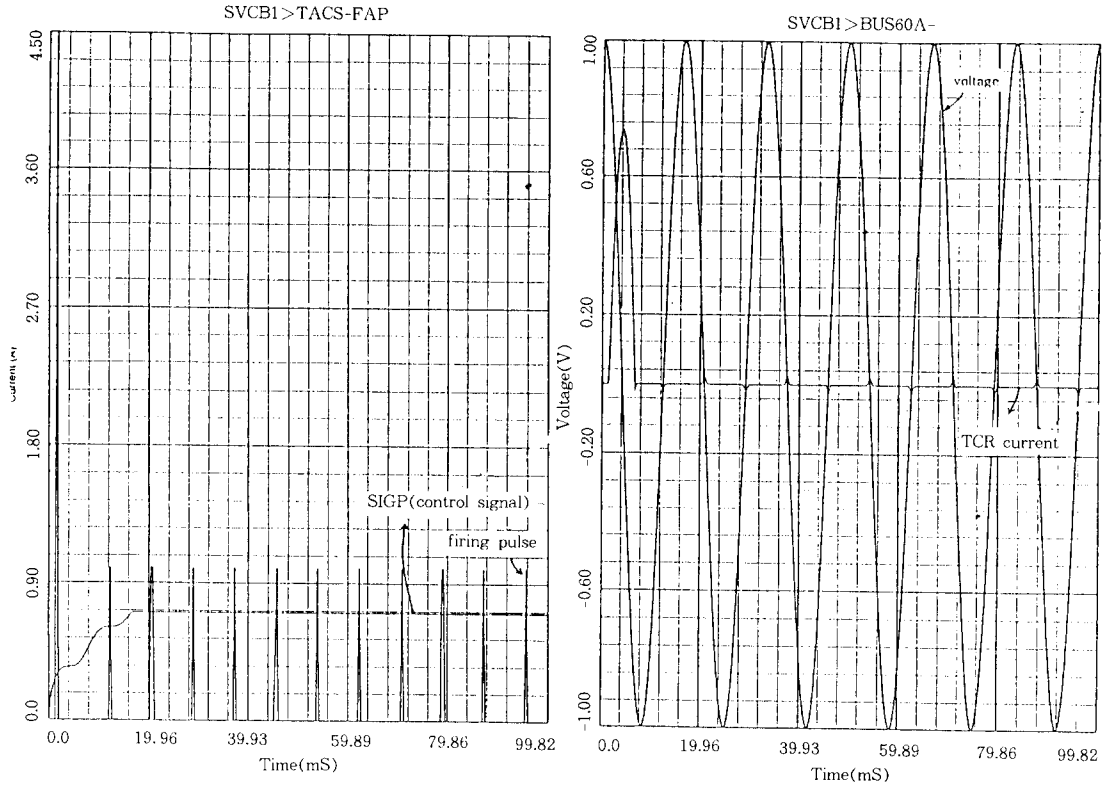


그림 6. SVC의 기본특성
Fig. 6. Basic characteristics of SVC

표 1. 모델계통 데이터
Table 1. Model System data

Form	660	660	660	660	660	661	661	662	662	662	663	664	666	667	669	670	671	673	674	675	676	680	681	500	500
To	663	664	665	666	673	672	676	682	683	684	669	670	671	673	678	679	679	676	675	676	680	681	682	660	662
R(pu)	0.090	0.180	0.170	0.045	0.224	0.540	0.135	0.090	0.900	0.360	0.270	0.360	0.600	0.020	0.679	0.510	0.679	0.090	0.010	0.180	0.169	0.170	0.090	0.006	0.006
X(pu)	0.220	0.390	0.230	0.100	0.500	1.070	0.292	0.195	1.950	0.780	0.590	0.780	0.810	0.012	0.920	0.690	0.920	0.195	0.006	0.390	0.229	0.230	0.195	0.100	0.100

그림 7과 같은 대규모 공장의 수변전 모델계통에 대해서 분석하였다.

(2) 결과 분석

그림 7의 수변전설비 모델계통에서 모선 660에 SVC가 설치된 경우에 대한 결과를 분석한다. 이때 외란은 모선 663-669 사이의 점 F에서 1선 지락고장이 발생하여 0.05초 후에 제거된 것으로 하였고, 이 경우 모선 660의 전압을 규정치로 유지하기 위해서는 42.86[Mvar]가 필요하므로, SVC의 $C=850.8[\mu F]$, $L=8.26[mH]$ 이 된

다.

그림 8은 SVC의 TCR 전류특성을 나타낸 것으로 외란발생 5~6 cycle후 그 크기가 0으로 되어, 계통에서 감지된 전압에 따른 전압영점 교차법이 효과적으로 적용됨을 알 수 있다.

고장에 직접적인 영향을 받는 모선 660의 전압, 전류특성은 그림 9와 같다.

그림 9(a)는 SVC가 없는 경우로서 외란에 따라 직접적인 영향을 받는 모선 660의 전압이 약 11[%]정도 저하함을 보였다. (b)는 SVC에 의한

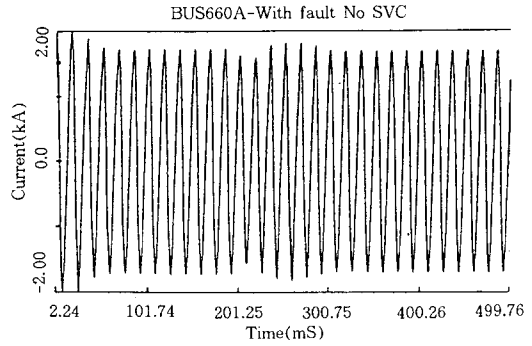
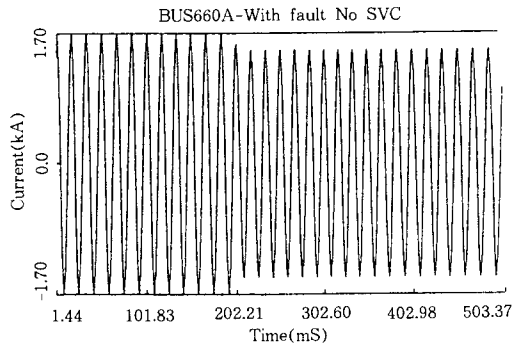
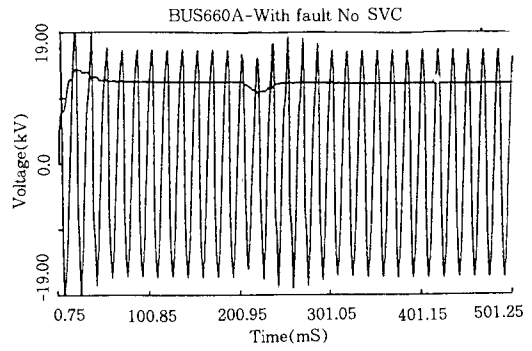
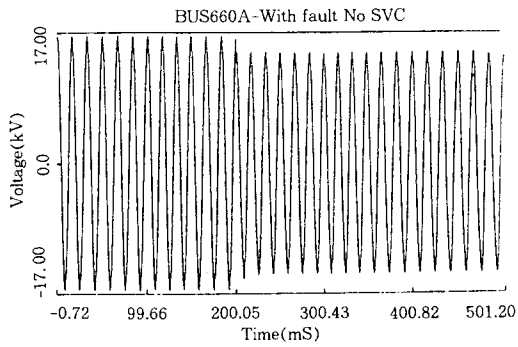


그림 9. 모선 660의 전압, 전류특성
Fig. 9. Voltage and current of bus 660

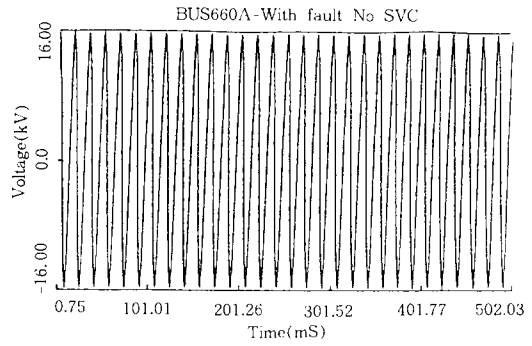
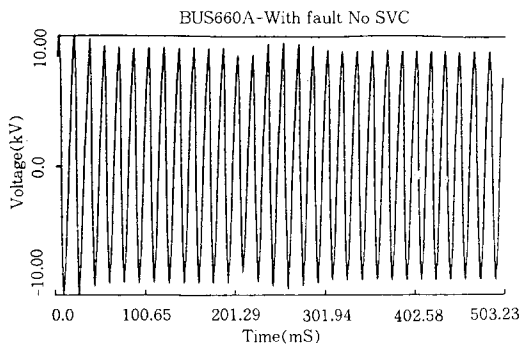
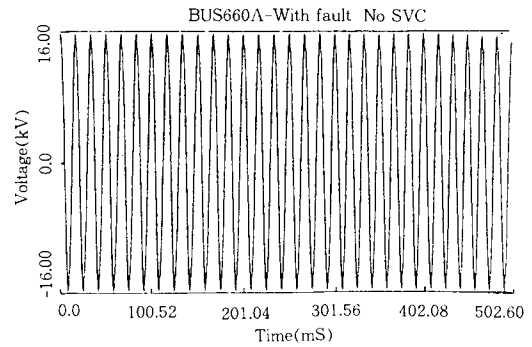
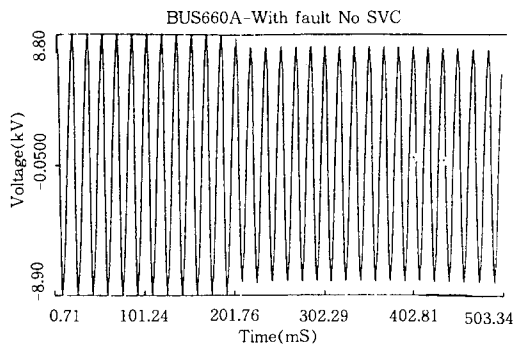


그림 10. 모선 672, 684의 전압특성
Fig. 10. Voltage of bus 672, 684

전압개선의 효과를 나타낸 것으로서, 0.2초에 고장이 발생하여 처음 2 cycle 정도는 전압이 저하한 후 약 4 cycle 정도의 과도상태를 거친 후인 고장발생 5~6 cycle 후에 모선전압이 SVC가 효율적으로 동작하여, 모선 660의 전압이 정상상태로 회복되어 전압변동을 효율적으로 조절할 수 있음을 알 수 있다. 모선 660의 전류도 전압과 비슷한 특성을 보였다.

그림 10(a)는 모선 660에 접속된 모선 672의 전압특성을 보인 것으로 모선 660의 경우와 유사함을 보인 반면, 모선 660과는 직접적인 영향을 받지않는 모선 684의 전압은 전혀 변화하지 않음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 제철공장과 같이 전압변동이 심한 대규모의 수변전 계통에서의 SVC에 의한 전압개선 효과를 EMTP를 이용하여 해석하는 기법을 제시했다.

계통 모선의 전압을 감지하여 GPG에서 사이리스터의 점호를 결정하는 전압영점법을 적용한 결과 SVC가 고장발생 5~6 cycle 후 효율적으로 모선 전압을 조절할 수 있음을 입증하였다. 또한, 수변전 설비계통에서의 SVC의 효과를 단순한 전압의 크기만으로 해석하는 것보다 전압보

상까지의 소요시간과 전압파형 등과 같은 전기적인 과도현상을 EMTP를 이용하여 해석함으로써 보다 정밀한 분석이 가능함을 입증하였다.

이러한 해석기법은 전압변동이 심한 제철공장 등과 같은 대규모의 수변전계통에서 SVC를 이용한 전압조정설비의 설치계획 및 운용에 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 기대되며, 향후 국내의 실제 공장에 대한 적용연구를 계속할 예정이다.

본 연구는 '96년도 호서대학교 교내연구비로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 1) FACTS Scooping Study, Vol. 1, 2, EPRI, 1990.
- 2) Current Activity in FACTS, IEEE, 1992.
- 3) FACTS Technology, EPRI, 1994.
- 4) EMTP Workbook I, IV, EPRI, 1989.
- 5) Kundur, Power System Control and Stability, EPRI, 1994.
- 6) R.H.Lasseter, S.Y.Lee, "Digital simulation of static VAR system transients", IEEE Trans. PAS, Vo1. PAS-109, No. 10 Oct, 1982.
- 7) A.M.Gole and V.K.Sood, "A static compensator model for use with EMTP", IEEE Trans. PD, Vo1. 5, No. 3, July 1990.
- 8) A.N.Vasconcel, et al, "Detailed modeling of an actual SVC for electromagnetic transient studies", IEEE/PES winter meeting, New york, Feb. 3-7, 1991.

◇ 著 者 紹 介 ◇



설용태(僣用泰)

1958년 8월 4일생. 1979년 한양대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1985년~현재 호서대학교 전기공학과 교수. 1995년~1996년 미국 Wisconsin 주립대 Visiting Scholar.



권혁일(權赫一)

1960년 4월 21일생. 1983년 단국대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년~현재 포항제철 설비기술부 근무. 1995년~1996년 미국 Wisconsin 주립대 Visiting Scholar.