

PWM 전압형 콘버터에 의한 정지형 무효전력 보상장치

Static VAR Compensator Using PWM Voltage type Converter

鄭 然 澤* · 李 勳 九** · 黃 樂 堯***

(Yon-Tack Chung · Hoon-Goo Lee · Lak-Hoon Hwang)

요 약

본 논문은 전력 계통의 무효전력을 보상하는 SVC(Static Var Compensator) 시스템을 제안한 것으로 이 시스템은 전압형 PWM(Pulse Width Modulation)콘버터 및 이 콘버터와 전원을 연결시키는 리액턴스로 구성된다.

이 시스템은 4상한으로 운전이 되며, 전원에 대한 SVC의 위상을 조절하므로써, SVC의 입력전압의 크기를 결정하고, 입력전압과 전원전압의 크기를 비교하여 입력전압의 크기가 전원전압의 크기보다 클때는 진보상전류를 발생하고, 작을 때는 지보상전류를 발생한다.

이 보상전류는 전력 계통에서 임의의 부하에 대한 무효전력을 평활하게 보상하여 전원의 역률이 개선되도록 하였다.

더우기 PWM법을 이용하여 입력전압의 제5차 및 제7차 고조파성분을 제거하므로써 전원전류파형을 개선시킬 수 있었다.

Abstract- This paper presents a Static Var Compensator (SVC) system compensating the reactive power for power systems, which consists of a voltage type Pulse Width Modulation (PWM) converter and a reactance linking the converter to the source. The system drives the four quadrant modes. The system determines the magnitude of the input voltage, and then compares it with the magnitude of the source voltage by regulating the phase of the SVC about the source. Therefore, the system generates leading compensation currents when the input voltage is larger than the source in magnitude, and lagging compensation currents for smaller input voltage. Reactive power about voluntary load in power system is smoothly compensated by those compensation currents, and also power factor of source is improved. Furthermore, the SVC system using PWM method may improve the source current waveforms by eliminating the 5th and 7th harmonic components from the input voltages.

1. 서 론

부하의 역률 개선과 전력 계통의 무효전력을 보상하기 위하여 다이리스터 제어 리액터(TCR) 및 다이리스터 개폐 콘덴서(TSC)를 사용하거나 반도체 전력변환 장치를 이용한 무효전력 보상장치(SVC)등이 널리 연구되어 왔다. [1~3]

특히 최근에는 전력계통의 역률개선을 목적으로 전류형과 전압형 컨버터에 의한 무효전력 보상장치가 Ziogas등에 의해 각각 발표된 바 있다. [4, 5]

이들 제어 방식의 변환 장치들은 보상전류를 만들기 위해 고속의 스위칭 동작이 요구되며, 전류형에서는 직류 전류에 의해 위상제어를 하는 반면 전압형에서는 전원과 SVC사이의 리액턴스 X에 의해 전압량이 전류량으로 변환되어 보상전류를 공급하고 있기 때문에 전압형측이 리액턴스 X만큼 시정수에 대한 응답은 좋지 않다.

그러나 스위칭에 의해 발생하는 고차 고조파 전류를 전압형에서는 리액턴스가 필터역활을 하는데 반하여 전류형에서는 별도의 억제 필터를 사용해야 하고 항상 고조파 부하를 더한 값으로 보상전류를 흘려야 하는 문제점등이 지적되고 있다.

그러므로 전원과 SVC사이에서 적절한 리액턴스 X만을 결합하고, SVC를 기동 시키기 위한 별도의 컨버터나 평활 리액터 및 다중 인버터등이 요구되지 않는다면 전압형측이 대단히 유리하다. [6]

또한 보상장치를 설계하는 경우 보상 대상이 한정 되기 때문에 설계상 많은 제약이 따르고, 특히 보상하는 전류에 여러가지의 주파수 성분이 포함되는 경우에는 만족할 만한 보상 특성을 얻기가 곤란하다. [7, 8]

본 연구에서는 전류형 컨버터보다 많은 장점을 가진 전압형 컨버터를 사용하여 정지형 무효전력 보상장치(Static Var Compensator : SVC)를 설계하고, SVC자체에서 발생하는 고조파를 저감시킬 목적으로 PWM방식을 도입하였으며, 임의의 부하에 대한 무효전력을 보상할 목적으로 전원전압에 대한 PWM파형의 위상 및 그 크기를 조절하여, SVC의 전압이 큰 경우에는 진상 보상 전류를, SVC의 전압이 작은 경우에는 지상 보상전류를

를 발생 시키므로써 전원측의 무효전력을 보상하여 역률이 개선되도록 하였다.

2. 무효전력 발생장치

2.1 무효전력 발생에 대한 원리

그림 1에서 리액턴스 X의 양단 전압은 전원 전압과 전력 변환 장치의 교류측 전압과의 차가 되며 이 전압과 리액턴스의 크기(Q)에 따라 결정된 전류가 전원측에 흐르게 되며, 그림 2와 같이 리액턴스 양단 전압을 전원과 동상 또는 반대의 위상이 되도록 전력 변환 장치의 교류측 전압의 크기를 변화시킬 수 있다면 지상 또는 진상의 보상 무효 전력을 발생시킬 수 있고 무효 전력의 크기 도 제어할 수 있게 된다.

그림 2는 전원 전압과 전력 변환 장치의 교류측 전압과의 위상관계를 표시한 페이서도이다. 그림 2(a)에 나타낸것 같이 $v_a > e_a$ 인 경우에 리액턴스 양단에는 전원과 동상인 전압이 인가되므로 리액턴스 X에 흐르는 전류 i_{sa} 는 전원 전압보다 90° 뒤진 지상전류가 흐르게 되어 리액터와 같은 동작을 하게 되고, 그림 2(b)에 나타낸것 같이 $v_a < e_a$ 인 경우에 리액턴스 양단에는 전원과 반대인 전압이 인가되므로 리액턴스 X에 흐르는 전류 i_{sa} 는 전원전압보다 90° 앞선 진상전류가 흐르게 되어 콘

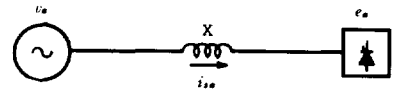


그림 1 전원-전력변환 장치의 결합 등가회로
Fig. 1 Equivalent circuit of combined Source and SVC

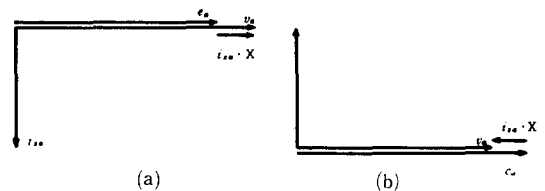


그림 2 페이서도
(a) i_{sa} 가 지상일 경우
(b) i_{sa} 가 진상일 경우
Fig. 2 Phasor diagram
(a) Case of lagging i_{sa}
(b) Case of leading i_{sa}

*正 會 員 : 明知大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

**正 會 員 : 忠南專門大 電子科 副教授 · 工博

***正 會 員 : 忠南專門大 電氣科 助教授 · 工博

接受日字 : 1990年 3月 24日

1次修正 : 1990年 7月 13日

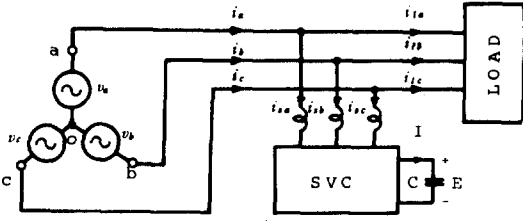


그림 3 전압형 무효전력 보상장치
Fig. 3 Voltage type SVC

덴서와 같은 동작을 하게 된다.

이상과 같은 원리에 의하여 그림 3과 같이 3상의 무효전력을 발생시킬 수 있는 전압형 PWM콘버터를 구현할 수 있다.

2.2 고조파 해석과 V특성 곡선

그림 1에서 전원의 전류위상은 리액터 전압과 90°의 위상각을 가지므로 전력변환장치의 출력 파형에 대한 고조파 해석을 할 경우, 전류의 급수전개는 기수항의 정현항만이 존재하게 된다. 그림 1에 의해 회로방정식을 세우면

$$v_a - e_a = \omega L \frac{d}{dt} i_{sa} \tag{1}$$

과 같이 된다.

여기서 $v_a = v_p \cos \theta$ 식(1)의 해를 구하면

$$i_{sa} = \frac{v_p}{\omega L} \sin \theta - \frac{1}{\omega L} \int e_a d\theta \tag{2}$$

과 같이 되며

여기서

$$\frac{v_p}{\omega L} \sin \theta : \text{전원 전류의 기본파 성분}$$

$$\frac{1}{\omega L} \int e_a d\theta : \text{콘버터의 기본파 성분 + 나머지}$$

고조파 성분

기본파 성분은 정현파이므로 고조파를 포함하는 제2항만을 고려하면 되므로 식(2)에서 제2항만 다시 전개하면 고조파 특성을 알 수 있다.

$$\frac{1}{\omega L} \int e_a d\theta = \frac{1}{\omega L} (E_1 \cos \theta + E_3 \cos 3\theta + E_5 \cos 5\theta + \dots) d\theta \tag{3}$$

식(3)에서 기본파를 제외한 n차 고조파의 계수만을 고려할 경우

$$i_n = \frac{En}{\omega L} \cdot \frac{1}{n} \tag{4}$$

단, $n=3, 5, 7, 9, \dots$

와 같이 되므로 이를 식(4)에서 고찰하여 보면 전원 전류에 포함된 고조파가 전력 변환 장치에 갖는 고조파의 1/n배가 되는 특성이 있어 고차고조파로 될수록 고조파 함유율이 낮아지는 것을 알 수 있다.

또한 식(2), (3), (4)에서 고조파를 제외한 기본파성분에 대한 보상 전류의 수식은 식(5)와 같으며 동기조상기의 V특성 곡선과 같은 성질을 가지고 있다.

$$i_{s1} = \frac{v - E_1}{\omega L} \tag{5}$$

즉 식(5)에서 전원 전압 v 는 일정하기 때문에 보상해야 할 보상 전류의 값 i_{s1} 의 선택 폭이 정하여지면 전력 변환 장치의 교류측 전압 E_1 을 가변시킬 수 있는 범위(50~250(V))내에서 리액턴스 ωL 의 용량을 선정할 수 있다.

2.3 무효전력량의 조정

무효전력은 리액턴스양단의 전압에 따라 결정되므로 전력변환장치의 전압 변동에 의해 무효전력이 조절된다.

그림 4(a)에서 보는 바와 같이 전력 변환장치의 교류측 전압위상이 전원전압의 위상보다 앞설 때는 보상전류가 II 상한 또는 III 상한에서 동작하므로 $\cos \theta$ 의 값이 (-)가 되어 전력 변환장치에서 전원측으로 유효전력이 공급되기 때문에 전력 변환장치의 콘덴서 전압이 강하하게 된다.

반대로 전력변환장치의 교류측 전압위상이 전원 전압의 위상보다 뒤진 경우는 그림 4(b)와 같이 보상전류는 I 또는 IV 상한에서 동작하게 되므로 $\cos \theta$ 는 (+)가 되어 전원에서 전력 변환장치측으로 유효전력이 흡수되기 때문에 콘덴서전압은 상승하게 된다.

결국 전력 변환 장치의 위상 변화로 유효전력의 수수와 함께 전력 변환 장치의 교류측 전압이 조정되며, 과도상태를 지나 정상상태가 되면, $\cos \theta = 0$ 이 되어 전원전압과 전력 변환장치 교류측 전압은 위상이 동상으로 되기 때문에 유효전력의 수수는 더이상 일어나지 않고 순수한 무효전력만을 보상하게 된다.

여기에서 전원전압과 전력 변환장치 교류측 전압의 위상과 전위차에 따라 리액턴스 X에 흐르는 보상전류의 크기와 위상이 결정되므로 무효전력의 양을 조절할 수 있다.

3. 무효전력 보상기의 설계

그림 5는 정지형 무효전력 보상장치에 대한 등가회로를 나타낸 것으로 스위칭 회로의 표현은 S가 on되었을 경우를 1로 하고 S가 off되었을 경우를 0으로 하는 2진 논리 스위칭으로 표현한다.

3.1 교류측 회로 방정식

그림 5의 회로에서 a와 b사이, b와 c 사이에 전

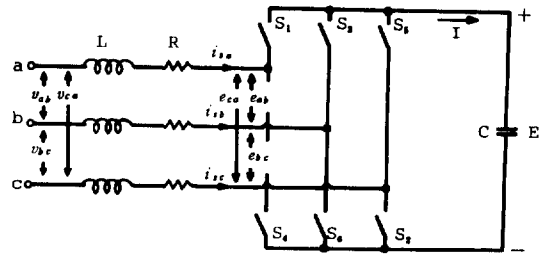


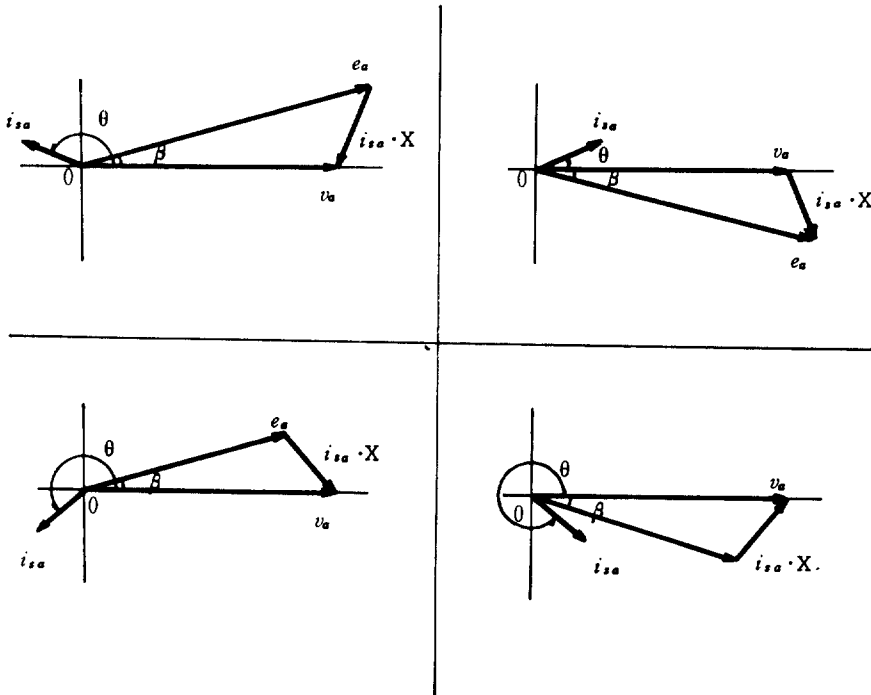
그림 5 SVC의 등가회로
Fig. 5 Equivalent circuits of SVC

압에 관한 방정식을 세우면

$$v_{ab} - e_{ab} = L \frac{d}{dt} i_{sa} + R i_{sa} - L \frac{d}{dt} i_{sb} - R i_{sb} \quad (6)$$

II 상한($e_a > V_a$): 용량성 동작

I 상한($e_a > V_a$): 용량성 동작



III 상한($e_a < V_a$): 유도성 동작

VI 상한($e_a < V_a$): 유도성 동작



그림 4 전력 변환 장치의 전압 조정

(a) 전력 변환기 전압의 강하($\cos\theta < 0$) (b) 전력 변환기 전압의 상승($\cos\theta > 0$)

Fig. 4 Voltage regulation of SVC

(a) Voltage drop of SVC (b) Voltage rise of SVC

$$v_{bc} - e_{bc} = L \frac{d}{dt} i_{sb} + R i_{sb} - L \frac{d}{dt} i_{sc} - R i_{sc} \quad (7)$$

과 같고 a, b, c에서의 전류에 관한 방정식을 세우면

$$i_{sa} + i_{sb} + i_{sc} = 0 \quad (8)$$

와 같이 된다.

식(6), (7), (8)에 의해 i_{sa} , i_{sb} 에 관한 식으로 정리하면 다음과 같은 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \frac{d}{dt} i_{sa} \\ \frac{d}{dt} i_{sb} \end{bmatrix} = -\frac{R}{L} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \end{bmatrix} + \frac{1}{3L} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{ab} - e_{ab} \\ v_{bc} - e_{bc} \end{bmatrix} \quad (9)$$

3.2 컨버터터 입출력 방정식

3.2.1 전류 방정식

그림 5에서 스위칭 회로로 표시된 부분의 교류측과 직류측의 전류는 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$I = i_{sa} \cdot S_1 + i_{sb} \cdot S_3 + i_{sc} \cdot S_5 \quad (10)$$

위 식을 i_{sa} , i_{sb} 만의 항으로 만들면

$$I = i_{sa}(S_1 - S_5) + i_{sb}(S_3 - S_5) \quad (11)$$

과 같이 되어 교류 입력 전류와 직류 출력 전류의 관계가 스위칭함수로 표현 되어진다.

3.2.2 전압 방정식

그림 5에서 보는 바와 같이 전력 변환 장치는 6개의 반복 스위칭($S_1 \sim S_6$)에 의해 동작되므로 스위칭 시퀀스를 그림 6과 같이 나타낼 수 있다.

그림 6에서 교류측 전압 e_{ab} , e_{bc} 는 스위칭 함수에 의해 직류 전압 E 와의 관계식으로 다음과 같이 표현 된다.

$$e_{ab} = E \cdot S_1 - E \cdot S_3 = E(S_1 - S_3) \quad (12)$$

$$e_{bc} = E \cdot S_3 - E \cdot S_5 = E(S_3 - S_5) \quad (13)$$

3.3 직류측 전압 방정식

그림 5에서 전력 변환 장치의 직류측 콘덴서에

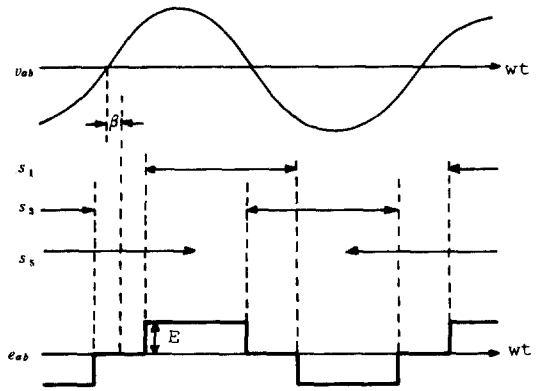


그림 6 스위칭 시퀀스
Fig. 6 Switching sequence

흐르는 충전 전류를 I , 충전전압을 E 라 하면 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$E = \frac{1}{C} \int Idt \quad (14)$$

3.4 시스템의 상태 방정식

그림 5의 전력 변환장치 등가회로로 부터 구해진 식(5)로부터 식(13)의 관계로 전원전압과 전력 변환장치에 대한 상태 방정식은 다음과 같이 정리 된다.

$$\begin{bmatrix} \frac{d}{dt} i_{sa} \\ \frac{d}{dt} i_{sb} \\ \frac{d}{dt} E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & 0 & \frac{-2S_1 + S_3 + S_5}{3L} \\ 0 & -\frac{R}{L} & \frac{S_1 - 2S_3 + S_5}{3L} \\ \frac{S_1 - S_5}{C} & \frac{S_3 - S_5}{C} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ E \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{2}{3L} & \frac{1}{3L} \\ -\frac{1}{3L} & \frac{1}{3L} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{ab} \\ v_{bc} \end{bmatrix} \quad (15)$$

식(15)를 Runge-kutta 방법에 의해 PWM 스위칭 패턴에 따른 데이터를 대입하여 i_{sa} , i_{sb} , E 를 구할 수가 있다.

4. 펄스폭 변조

4.1 스위칭 패턴과 선간 전압

그림 7은 스위칭 패턴과 선간전압에 관한 파형을 나타낸 것으로써 S_1, S_3, S_5 는 그림 6에서의 스위칭시퀀스와 같으며 e_{ab} 는 무효 전력 보상 장치의 교류측 순시전압이다.

그림 7과 같은 선간전압에 대한 PWM파형을 푸우리에 급수전개하면 식(16)과 같이 되며

$$e_{ab}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \cdot nwt + b_n \sin \cdot nwt) \quad (16)$$

여기서

$$a_n = 0$$

$$b_n = \frac{4}{n\pi} \left[1 + 2 \sum_{k=1}^k -1^k \cos \cdot nak \right]$$

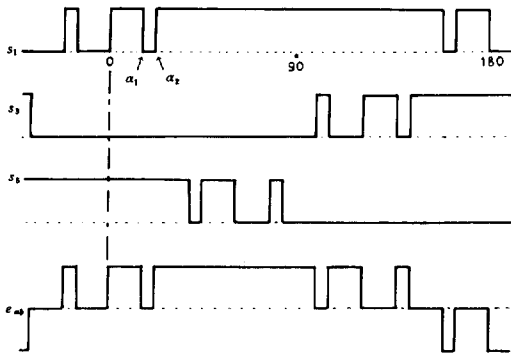


그림 7 스위칭 패턴과 선간전압파형
Fig. 7 Switching pattern and line to line Voltage waveforms

단, $n=1, 5, 7, 11, 13 \dots$
식(16)에서 3고조파 및 그의 배수 고조파는 0이 되어 나타나지 않는다.

식(16)에서 원하고자 하는 고조파를 제거할 경우, 특히 제5및 제7고조파를 제거하려면

$$b_1 = \frac{4}{\pi} (1 - 2\cos\alpha_1 + 2\cos\alpha_2 - 2\cos\alpha_3) \quad (17)$$

$$b_5 = \frac{4}{5\pi} (1 - 2\cos 5\alpha_1 + 2\cos 5\alpha_2 - 2\cos 5\alpha_3) = 0 \quad (18)$$

$$b_7 = \frac{4}{7\pi} (1 - 2\cos 7\alpha_1 + 2\cos 7\alpha_2 - 2\cos 7\alpha_3) = 0 \quad (19)$$

과 같이 된다.

식(17)에서 식(19)에 의해 스위칭각 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 를 구하여, 식(15)의 S_1, S_3, S_5 의 각 구간에 대한 온-오프 데이터를 얻을 수 있다.

이들 데이터에 의하여 전력변환장치의 다이리스터를 턴-온하게 된다.

4.2 전원전압과 PWM 파형

그림 8과 그림 9는 전원 전압과 전력 변환장치의 교류측 순시전압에 대한 파형으로서 그림 2의 백터도에 대한 컴퓨터의 시뮬레이션 결과이다.

전원 전압 v_{ab} 와 전력 변환장치의 교류측 순시전압 e_{ab} 가 동상인 경우를 그림 8과 그림 9에 표시 하였으며 그림 8에서 $v_{ab} > e_{ab}$ 경우에 리액턴스 양단의 전압은 전원 전압과 동상으로 전원 전압에 비해서 90° 뒤진 지상 전류를 발생시켜 임의의 부하에 대하여 전원측에서 본 진상무효전력을 보상한다. 그러나 그림 9에서와 같이 $v_{ab} < e_{ab}$ 경

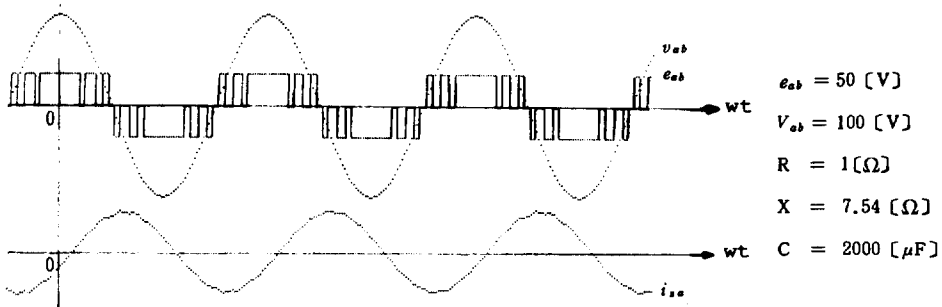


그림 8 지상 ($v_{ab} > e_{ab}$)
Fig. 8 Lagging ($v_{ab} > e_{ab}$)

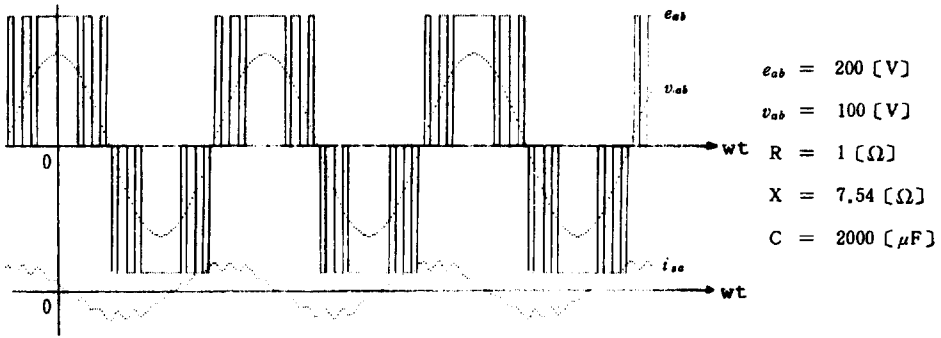


그림 9 진상 ($v_{ab} < e_{ab}$)
 Fig. 9 Leading ($v_{ab} < e_{ab}$)

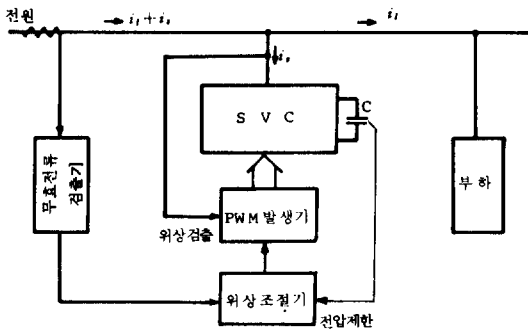


그림 10 제어 블록도
 Fig. 10 Control Block Diagram

우에는 리액턴스 양단전압이 전원 전압과 반대의 위상으로 전원전압에 비해서 90°앞선 진상 전류를 발생시켜 임의의 부하에 대하여 전원측에서 본 지상무효전력을 보상하게 된다.

또한 v_{ab} 와 e_{ab} 와의 차 전압과 리액턴스의 크기에 따라 결정된 전류에 의해 무효 전력의 크기도 제어된다.

5. 무효전력 보상장치

시스템은 전력 변환장치의 교류측 전압과 전원 전압이 동상일 때가 정상상태로서 $e_{ab} > v_{ab}$ 인 경우 진상 무효전력을 공급하며 $e_{ab} < v_{ab}$ 인 경우 지상무효전력을 공급한다.

또한 무효전력의 크기는 전력변환장치와 전원사이에 연결된 리액턴스와 보상전류의 크기 및 위상에 의하여 결정되므로 회로정수가 정하여지면 콘덴서전압(직류전압)을 변화시켜 간접적으로 무효

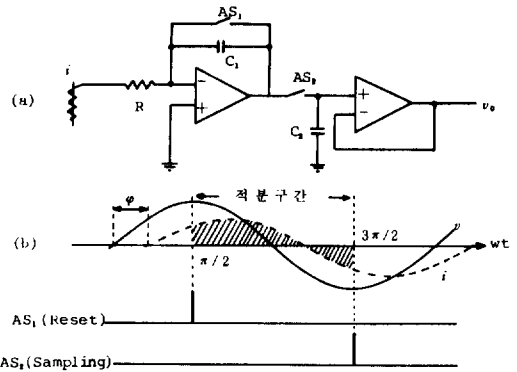


그림 11 무효 전류 검출 회로
 Fig. 11 Reactive current detection circuits

전력의 크기를 제어한다.

그림 11의 회로에서 검출된 무효전류에 의하여 임의의 부하에 대한 역률을 보상하기 위한 실험회로는 그림 8과 같다.

그림 10은 시스템의 제어 블록을 나타낸 것으로 무효전류검출기로 부터 임의의 부하와 전력 변환장치로 흐르는 전류($i_2 + i_s$)가 진상인가 또는 지상인가를 검출하여 전원과 전력 변환장치의 위상(최대 조절범위 $\pm 45^\circ$)을 조절시켜 전력변환장치의 전압의 크기를 결정하여 전원전압과 전력변환장치의 교류측전압과의 차에 의한 지상 또는 진상분의 전류를 흘리므로 해서 전원의 역률이 개선되도록 하였다.

그림 11은 무효전류 검출기로서 AS_1 과 AS_2 신호에 의해서 v_o 에 무효전류가 검출되며 다음과 같은 식으로 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 v_0 &= -\frac{k}{RC_1} \int_{\pi/2}^{3\pi/2} i dt = -\frac{kIm}{RC_1} \int_{\pi/2}^{3\pi/2} \sin(\theta - \varphi) dt \\
 &= -\frac{k2Im}{RC_1} \sin\varphi = KIm\sin\varphi \quad (17)
 \end{aligned}$$

무효전류의 검출은 전원이 완전한 평형상태라고 가정하여 전원의 1주기에 한번 검출하였다. 그림 11(b)에서 무효전류는 전류파형을 정현파로 가정하여 전압파형의 $\pi/2 \sim 3\pi/2(\text{rad})$ 에의 적분으로 구분했으며 무효전류 검출회로는 그림 11(a)와 같고 이 회로의 동작은 아날로그 스위치1에 의해서 리세트된 적분기가 전원 전압파형의 $\pi/2 \sim 3\pi/2(\text{rad})$ 까지 적분하여 $3\pi/2(\text{rad})$ 의 점에서 아날로그 스위치2에 의하여 샘플링되도록 한다. [9]

6. 실험결과 및 고찰

그림 10에 나타난 것과 같은 전력 변환장치에 의하여 진상 및 지상운전을 하여 그림 12와 같은 V특성 곡선과 그림 13으로부터 그림 20과 같은 실험결과를 얻으므로써, 임의의 부하에 대한 전원의 무효전력을 보상하였으며 역률 또한 개선시켰다.

무효전력 발생 장치는 50[A] 600[V]의 TR, 450[V] 2400[μF]콘덴서를 사용하였고 12[Ω]의 리액턴스를 전원과 SVC사이에 삽입하여 전원 전압 120(V)3상으로 실험하였다.

그림 17은 전력 변환 장치로 부터 출력되는 교류 출력 전압에 대한 PWM파형의 스펙트럼에 관

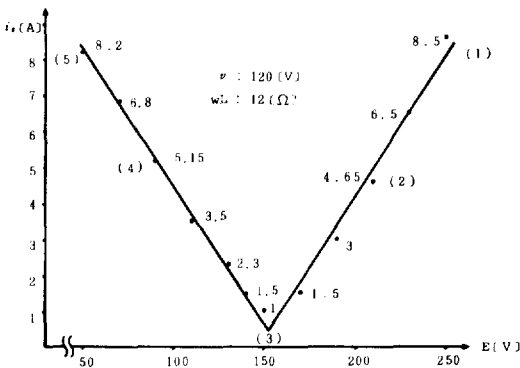


그림 12 V특성 곡선
Fig. 12 V characteristics curve

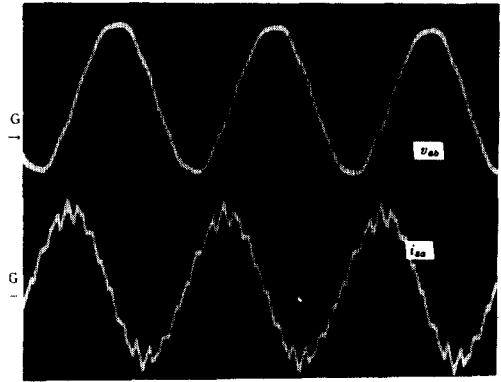


그림 13 V 특성 곡선중 (1)의 경우
상 : 전원 선간 전압 파형
하 : 진상 무효 전류

Fig. 13 The case (1) of V characteristics
top : Line voltage waveform
bot : Leading reactive current
H : 5ms/div V : 상 : 100V/div
하 : 10A/div

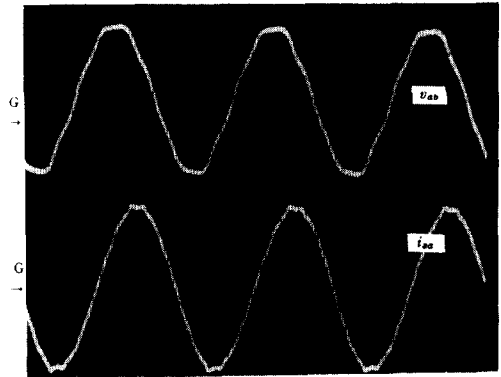


그림 14 V 특성 곡선 중 (5)의 경우
상 : 전원 선간 전압 파형
하 : 지상 무효 전류

Fig. 14 The case (5) of V characteristics
top : Line voltage waveform
bot : Lagging reactive current
H : 5ms/div V : 상 : 100V/div
하 : 10A/div

한 분석을 나타낸 것이다.

그림 17에서 알 수 있는 바와 같이 기본파 전압을 100%로 하여 측정하였을 경우 제5, 제7조파가

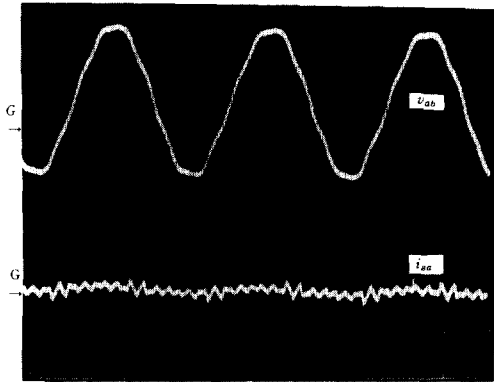


그림 15 V 특성 곡선중 (3)의 경우
 상 : 전원 선간 전압 파형
 하 : $i_{sa}=0$

Fig. 15 The case (3) of V characteristics
 top : Line voltage waveform
 bot. : $i_{sa}=0$
 H : 5ms/div V : 상 : 100V/div
 하 : 10A/div

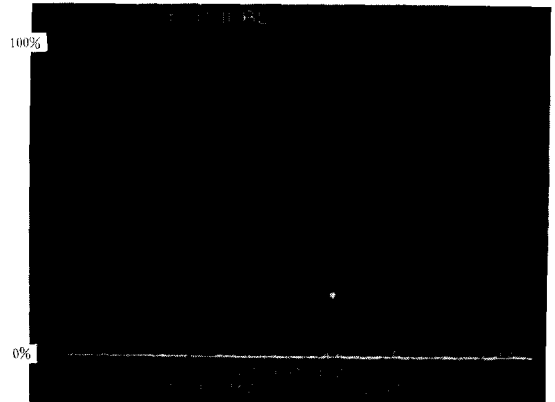


그림 17 PWM 파형의 스펙트럼
 Fig. 17 Spectrum of PWM waveform
 H : 100Hz/div V : 100%

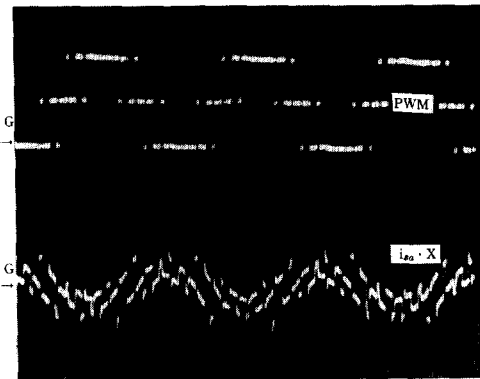


그림 16 상 : PWM 파형
 하 : X양단의 전압파형

Fig. 16 top : PWM Waveform
 bot. : Voltage waveform of X side
 H : 5ms/div V : 상 : 100V/div
 하 : 10A/div

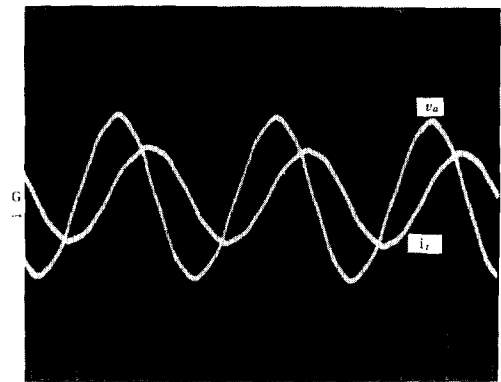


그림 18 상 : 전원 상전압 파형
 하 : 부하 전류(보상전)

Fig. 18 top : Phase voltage waveform
 bot. : Load current
 H : 5ms/div V : 상 : 50V/div
 하 : 5A/div

제거된 것을 확인할 수 있다.

그림 18에서 부터 그림 20까지는 4극, 1마력, 전원 전압 200(V), 선전류 3.3(A)의 유도 전동기를 유도 부하로 구동시켰을 때, 전원의 상전압과 부하로 흐르는 전류와 전원 전류 그리고 SVC의 보상 전류에 대한 파형들을 비교한 사진들이다.

이상의 결과로 부터 알 수 있듯이 임의의 부하에 대하여 흐르는 전류(그림 18)가 진상인가 지상인가를 무효 전류 검출기로부터 검출하여 그것을 보상하기 위한 전류(그림 19)를 SVC로부터 발생시켜 무효 전류를 보상하므로써 역률이 개선된 것을 확인(그림 20)할 수 있으므로 본 연구에서 사용한 SVC장치는 양호한 V특성 곡선을 갖는 우수한 무효 전력 보상 장치임이 입증되었다.

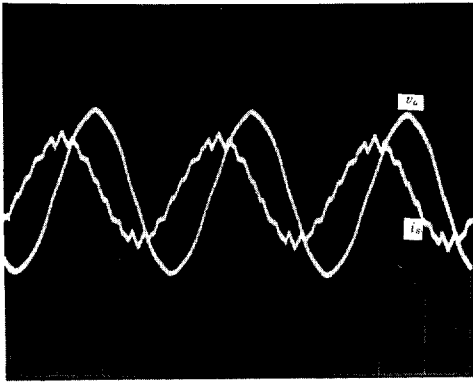


그림 19 상 : 전원 상전압 파형
 하 : 변환기측 전류(보상하기 위한)
Fig. 19 top : Phase voltage waveform
 bot. : Current of SVC
 H : 5ms/div V : 상 : 50.V/div
 하 : 5A/div

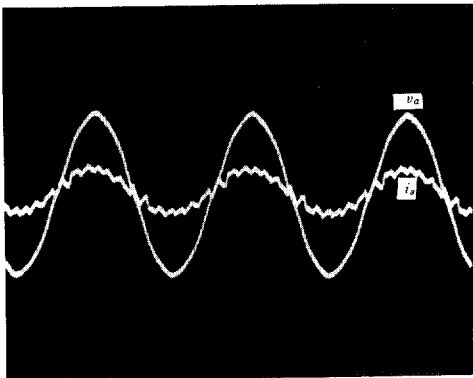


그림 20 상 : 전원 상전압 파형
 하 : 전원 전류(보상후)
Fig. 20 top : Phase voltage waveform
 bot. : Current of power line
 H : 5ms/div V : 상 : 50 V/div
 하 : 5A/div

7. 결 론

본 논문은 정지형 무효전력 보상장치로 전압형 콘버터터블을 채택하여 전원측의 무효전력을 보상하는 방안에 관하여 제안하였다.

또한 보상이 자체에서 발생하는 고조파를 억제하고 무효전력 보상의 이론적 배경과 PWM제어시 얻어지는 결과에 관해 실험을 통하여 다음과 같은

결론을 얻었다.

- 1) SVC의 교류측 전압과 전원전압의 크기를 비교하여 PWM 스위칭 모드에 의해 SVC의 전압이 큰 경우에는 진상 보상전류를, SVC의 전압이 작은 경우에는 지상 보상전류를 발생시켜 전력 계통의 무효 전력을 보상하였으며, 역율을 1로 개선 시켰다.
- 2) 그림 4에서 제시한 바와 같이 전원 전압에 대한 SVC 교류측 전압의 위상과 크기를 조절하므로써, 보상전류의 크기와 위상이 각각 I, II, III, IV상환에서 운전이 되도록 하여 무효 전력을 보상하였다.
- 3) 무효전력 보상이 SVC를 통한 V특성 곡선 실험 파형을 통하여 진상 및 지상의 무효전력을 보상할 수 있는 능력을 갖는다.
- 4) 제11차 이상의 고차고조파는 양호한 V특성을 갖는 적정의 리액턴스 X의 크기를 선택하는 것에 의해 차수가 높아질수록 전원측으로 흡수되는 고조파 성분을 1/n배 만큼씩 저감시킴으로써 전원공급 전류파형이 개선되었다.

이상의 결과들로 미루어 볼때 본 논문에서 채택한 콘버터터블 제어방식은 전력계통에서 임의의 부하에 대한 무효전력 보상에 적합함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] L. Gyugyi "Reactive Power Generation and Control by Thyristor Circuits" IEEE, vol. IA -15, no. 5, Sep/Oct, pp. 521-532, 1979
- [2] Hideyuki, Inoh, Atsushi, Doi and Hiromichi, Kinoshita "A New Control Method for Static Var source during Power System Disturbances" JIEE, Japan, vol. 101, no. co, pp. 57-63, 1981
- [3] Tadashi, Fukao, Mikihik, Matsui and Kazuo, Yomashita "A Steady State Analysis Based on Reactive Power Balance of a Static Var Generator Using Cycloconverter and Operation Limit" TIEE, Japan vol. 104-B, no. 12, pp. 33-40, 1984
- [4] L. Moran, P. Ziogas and G. Joos "Analysis and Disign of 3-Phase Current Source Solid-State Var Compensator" IEEE, PESC Record, pp. 463-472, 1987
- [5] L. Moran, P. Ziogas and G. Joos "Analysis and Design of 3-Phase Synchronous Solid-State Var Compensator" IEEE, Ind. App.

Soc, pp. 835-845, 1987

- [6] 阿藤聰外 5人 “多重電壓形 PWM變換器を用いた 高調波 抑制用 マクティブ フィルタ 補償特性” 日本電氣學會 研究會 資料, SPC-84-82, pp. 71-80, 1984
- [7] Timothy J.E. Miller, “Reactive Power Control in Electric Systems” John Willy and Sons, Inc., pp. 38-222, 1982
- [8] 小松木 和成 外 1人 “電力用 マクティブ フィルタ” 日本電氣學會 研究會 資料, SPC-84-83, pp. 81-90, 1984
- [9] 정연택, 서영수, 이사영 “Ⅲ, Ⅳ상한 위상제어정류기에 의한 무효전력보상에 관한 연구” 전기학회 논문지, vol. 32, no. 3, pp. 8-15, 1983