

# 전압형 PWM 컨버터를 이용한 교류 전력필터

김한성    최규하    이재필    권호철  
건국대학교

## AC Power Filter Using Voltage-Source PWM Converter

Han-Sung Kim   Gyu-Ha Choe   Jea-Pil Lee   Ho-Cheol Jeon  
Kon-Kuk University

### ABSTRACT

The active filter system for harmonic current compensation is presented in this paper. The active filter compensates both the harmonic currents and the reactive power by injecting the PWM current to the ac line. This paper describes the principle of harmonic current compensation, the calculation circuits for the harmonic currents to be injected, also the experimental results are shown to verify the theory proposed in this paper.

### 1. 서   론

최근 반도체소자의 발달로 인해 전력의 변환이나 제어를 위해 전력전자변환장치가 많이 보급되고 있다. 이런 전력변환장치들은 비선형성을 가지며 그로 인해 교류전원측으로 비정현파전류가 흘러 고조파가 발생된다.

근래 고조파발생원의 대표적인 것으로 간주되고 있는 전력변환장치들은 스위칭에 따라 출력을 제어하고 이로써 교류측 역률이 심히 저하되는 경향이 있다.

최근에 많이 연구되고 있는 능동필터는 수동필터에 비해 계통의 주파수가 변해도 효과적으로 고조파전류를 제거할 수 있고 신호조작만으로 제거하고자 하는 고조파의 양이나 차수를 임의로 변경가능한 특징을 가지고 있다. [3, 4] 근래에 와서 능동필터는 고조파제거 뿐만 아니라 무효전력보상의 기능을 동시에 발휘하는 형태로 발전되고 있다.

능동필터는 크게 전류형과 전압형으로 구분할 수 있으며 전류형 능동필터는 정전류원으로 리액터, 전압형 능동필터는 정전압원으로 커패시터를 사용하여 고조파 보상전류를 발생시킨다. 전류형필터는 일정 리액터치류를 직접 PWM전류로 변환, 주입하므로 고조파 억제효과 및 속응성이 좋은 장점이 있으나 잔류고조파를 제거하기 위해 반송파제거필터를 부착하여야 하며, 고조파억제특성을 향상시키기 위하여 리액터치류를 증대시켜야 하며 그로 인해 손실이 증대되는 단점이 있다.

반면 전압형 능동필터는 전류형필터에 비해 다소 느린 응답특성을 가지고 있으나 실시간제어에 문제가 없고 고조파전류에 부합된 순시전류만 흘러면 되므로 손실이 적은 장점을 가지고 있다.

따라서 본 논문은 전압형 능동필터를 이용하여 고조파제거와 무효전력보상을 동시에 수행하는 보상 원리에 관해 연구하고자 한다. 기본보상전류는 p-q 변환으로 쉽게 구할 수 있고 필터에 의한 보상전류발생은 속응성을 위해 전류적응제어 기법을 이용하였다. 전압형 필터의 특성을 고찰하기 위해 실험을 수행하였고 그 결과를 제시하였다.

### 2. 보상 시스템

#### (1) 보상원리

비선형부하가 계통에 연결되어 고조파가 발생될 때 발생된 고조파와 똑같은 이상적인 고조파 보상전류  $i_c$ 를

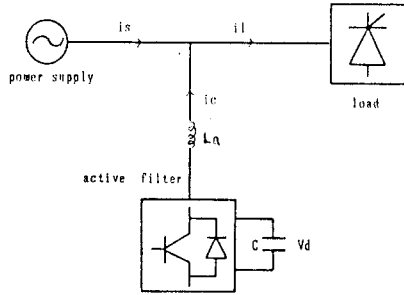


그림 1. 전압형 능동필터

Fig.1 Voltage-type active filter.

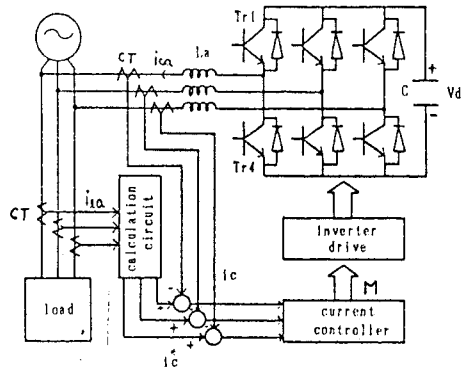


그림 2. 능동필터시스템

Fig.2 System of active filter.

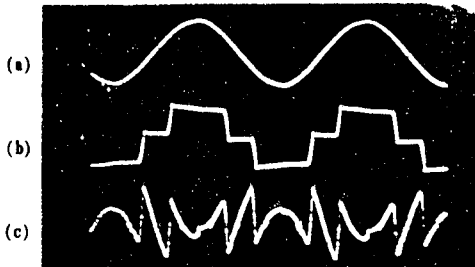


그림 3(a). 교류 입력전압

3(b). A상 부하전류

3(c). A상 기준보상전류

Fig.3(a) AC input voltage

3(b) A-phase load current

3(c) A-phase reference compensation current.

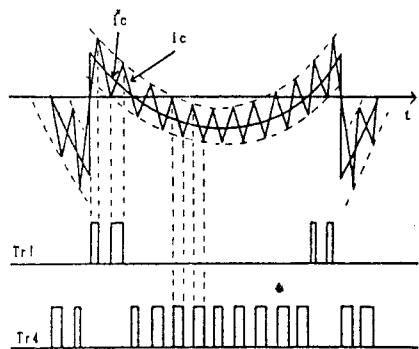


그림 4. 보상전류 제어방식

Fig.4 Control method of compensation current.

그림 1과 같이 고조파발생원의 입력단으로 주입시키면 고조파를 완전히 제거할 수 있다. 이러한 보상전류  $i_c$ 는 그림 2와 같이 전압형 인버터와 정전압원  $V_d$ 로 구성되는 전압형 필터로써 발생시킬 수 있다.

비선형부하의 교류입력측에서 current transformer (CT)로 그림 3(b)와 같은 a상 부하전류  $i_{La}$ 를 검출하여 보상전류 계산회로에서 그림 3(c)와 같은 기준보상전류  $i_c^*$ 를 계산하고 이 보상전류는 비교기에 입력되어  $i_c^*$ 에 근사한 출력전류  $i_c$ 가 발생되도록 한다. 이를 위해 그림 4와 같이 전력트랜지스터 구동신호 M이 발생 된다.

이러한 제어신호 M에 따라 정전압원 C와 전원측의 페뢰토가 형성되어 전원측에 존재하는 고조파를 제거하도록 실제보상전류  $i_c$ 가 교류측으로 주입된다.

즉, 정전압원에 의해서 a상전류  $i_{La}$ 가 주입되는 방향을 살펴보면,  $i_h$ 가 흘러나올 경우 기준보상전류  $i_c^*$ 가 Positive 이면,  $i_h$ 를 상쇄시키기 위해서  $i_{c1}$ 를 주입시켜

주어야 하므로 그림 4와 같이 Tr1이 도통하게 된다. 이때 주입되는 전류  $i_{c1}$ 가 히스테리시스 비교기의 상한에 도달하면 Tr1은 오프되고 다이오드를 통해 충전전류가 커패시터로 흘러 하한에 도달하면 다시 Tr1이 도통되어 전류를 주입시키는 동작을 반복하여 기준보상전류를 계속적으로 추종해간다. 또한  $i_{c1}$ 가 반대극성이면 Tr4가 고조파를 제거하기 위하여 그림 4의 동작을 반복해간다.

(2) p-q 변환

3상 부하전류  $i_{La}$ ,  $i_{Lb}$ ,  $i_{Lc}$ 로부터 고조파성분과 무효전력보상을 위한 무효전류성분을 동시에 계산하기 위해 2상 전류로 변환시킨다. 2상 전류를  $i_p$ ,  $i_q$ 라 하면

$$\begin{bmatrix} i_p \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{3} \begin{bmatrix} \sin \omega t & \sin(\omega t - 2\pi/3) & \sin(\omega t - 4\pi/3) \\ \cos \omega t & \cos(\omega t - 2\pi/3) & \cos(\omega t - 4\pi/3) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{bmatrix} \quad (4)$$

와 같다. 여기서  $i_p$ 는 유효전류성분이고  $i_q$ 는 무효전류성분으로서 다음 식과 같이 직류성분과 교류성분으로 표현할 수 있으며

$$\begin{aligned} i_p &= \bar{i}_p + \tilde{i}_p \\ i_q &= \bar{i}_q + \tilde{i}_q \end{aligned} \quad (5)$$

$\bar{i}_p$ ,  $\bar{i}_q$ 는 기본파성분이고  $\tilde{i}_p$ ,  $\tilde{i}_q$ 는 고조파성분을 나타낸다. 그러므로 보상에 주어야 할 성분으로 고조파 제거를 위한  $\tilde{i}_p$  및  $\tilde{i}_q$ 와 무효전력보상을 위한  $\bar{i}_q$ 를 선택하면

$$\begin{bmatrix} i_{pc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{i}_p \\ \bar{i}_q + \tilde{i}_q \end{bmatrix} \quad (6)$$

로 주어진다. 식 (6)의 2상 보상전류를 3상 기준보상전류  $i_{ca}^*$ ,  $i_{cb}^*$ ,  $i_{cc}^*$ 로 변환시키면 다음 식으로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} i_{ca}^* \\ i_{cb}^* \\ i_{cc}^* \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{3} \begin{bmatrix} \sin \omega t & \cos \omega t \\ \sin(\omega t - 2\pi/3) & \cos(\omega t - 2\pi/3) \\ \sin(\omega t - 4\pi/3) & \cos(\omega t - 4\pi/3) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \tilde{i}_p \\ \bar{i}_q + \tilde{i}_q \end{bmatrix} \quad (7)$$

### 3. 실험

#### (1) 시스템 구성

그림2와 같은 전압형 능동필터는 크게 전압형 인버터, 기준보상전류 계산회로, 전류 제어회로, 전력 트랜지스터 구동회로로 구성된다.

#### (2) 실험

식 (4)를 다시 쓰면

$$\begin{aligned} i_p &= i_{La} \times \sin \omega t + i_{Lb} \times \sin(\omega t - 2\pi/3) \\ &\quad + i_{Lc} \times \sin(\omega t - 4\pi/3) \\ i_q &= i_{La} \times \cos \omega t + i_{Lb} \times \cos(\omega t - 2\pi/3) \\ &\quad + i_{Lc} \times \cos(\omega t - 4\pi/3) \end{aligned}$$

와 같이 표현되며, 계산회로인 그림5는 CT로부터 3상 부하전류  $i_{La}$ ,  $i_{Lb}$ ,  $i_{Lc}$ 를 검출하여 식 (7)의 기준보상전류를 계산하는 회로이다. 이 회로는 순수한 아날로그 소자인 승산기 (multiplier), 가산기, op Amp 들로 구성되어 있기 때문에 시간지연이 거의 없어 실시간 제어에 매우 적합하다. 각 상의 기준신호로서  $\sin \omega t$ ,  $\cos \omega t$ 가 발생되고 이것은 부하전류와 곱해지며 가산기를 통해 유효전류성분  $i_p$ 와 무효전류성분  $i_q$ 를 얻는다.  $i_p$ 에서 고조파성분  $\tilde{i}_p$ 를 얻기 위해 high-pass filter (HPF)를 사용하였다.

그림 6(c)는 정류기의 점도각  $\alpha = 0^\circ$ 일 때의  $i_p$ ,  $i_q$ 를 나타낸다.

전류 제어회로는 히스테리시스 비교기를 사용하여 전류 적용제어기법으로 보상전류를 제어하였고 이 비교기의 상한과 하한사이의 폭이 전압형인버터의 스위칭주파수에 영향을 미친다.

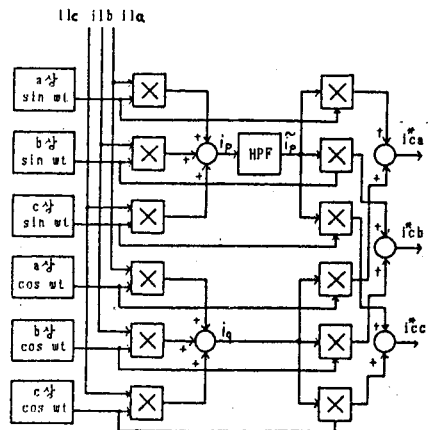


그림 5. 보상전류 계산회로

Fig.5 Calculation circuit of compensation current.

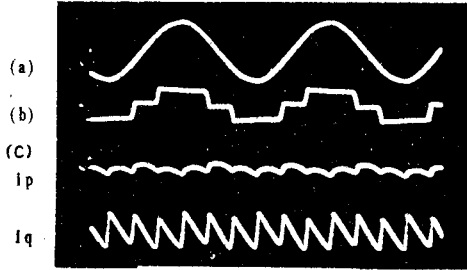


그림 6.  $i_p, i_q$  신호

Fig.6  $i_p, i_q$  signal.

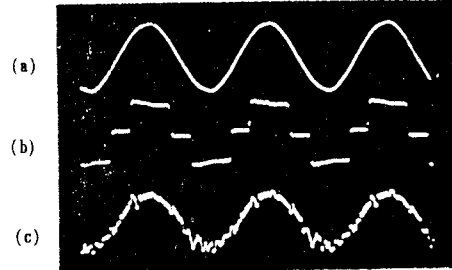


그림 7.  $\alpha = 0^\circ$  일 때 보상된전류

Fig.7 Compensated current at  $\alpha = 0^\circ$ .

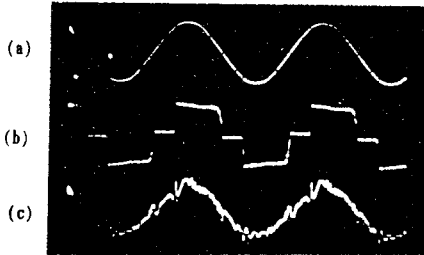


그림 8.  $\alpha = 30^\circ$  일 때 보상된전류

Fig.8 Compensated current at  $\alpha = 30^\circ$ .

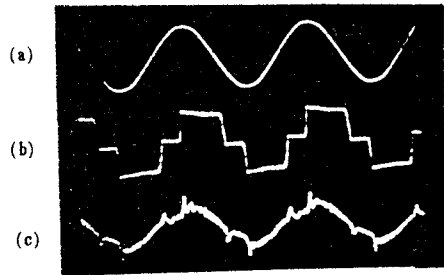


그림 9.  $\alpha = 60^\circ$  일 때 보상된전류

Fig.9 Compensated current at  $\alpha = 60^\circ$ .

비선형부하로서 3상 R-L정류기부하를 사용하여 실험을 하였으며  $\alpha = 0^\circ$  일 때 보상된 교류전류를 그림 7에 보였다. 그림 8는  $\alpha = 30^\circ$  일 때 보상된 전류파형이며써 그림 9는  $\alpha = 60^\circ$  일 때 전류파형으로써 역률이 1임을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서 전압형 능동필터를 이용하여 전원측에 존재하는 고조파를 제거하고 무효전력을 보상하는 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전압형 능동필터에 의한 교류전원측 고조파제거 특성이 양호하다.
2. 제어회로 구성이 순수한 아날로그 소자들로 구성되므로 실시간제어에 우수한 특성을 지니고 있다.
3. 정류기의 점프각 의 변화에 대한 교류 입력전류는 항상 1이다

그리고 이상의 결과로 미루어 전압형 필터는 앞으로 많이 사용될 것으로 전망되며 교류 리액터 La, 커패시터 전압 Vd의 최적치 선정, 수동필터와 병렬은전으로 능동 필터의 용량감소, 일정 커패시터전압을 위한 보상회로 설계등은 추후 연구해야 할 과제로 사료된다.

#### 5. 참 고 문 헌

1. M. Takeda, K. Ikeda et al., " Harmonic current and reactive power compensation with an active filter", IEEE., PESC, pp1174 1988
2. H. Akagi, Y. Kanazawa, and A. Nabae, "Instantous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage component", IEEE Trans. on Ind. Appl. Vol. IA-20, pp. 665 1984
3. Gyu-Ha Choe, Min-Ho Park, " A New Injection Method for AC Harmonic Elimination by Active Power Filtr ", IEEE Trans. on Ind. Elec. Vol. 35, No.1. pp. 141-147. 1988
4. Gyu-Ha Choe, Min-Ho Park, "Analysis and control of Active Power Filter with Optimized Injection". IEEE. PESC, pp. 401-409 1986
5. Gyu-Ha Choe, Min-Ho Park, "Control Technique of Active Filter for Harmonic Elimination and Reactive Power Control," IEEE IAS Annual Meeting Conference Record, pp. 859-866, 1988.