전력품질 개선을 위한 단상 전압제어형 능동전력필터 시스템에 관한 연구

論 文
52B-5-6

A Study on the Single Phase Voltage-Controlled Active Power Filter for Power Quality Improvement

孫 珍 劤*
(Jin-Geun Shon)

Abstract - In this paper, a single phase voltage source voltage-controlled active power filter(APF) for power quality improvement was proposed. The proposed APF has the performance of harmonic suppression and unity power factor correction. The performance of harmonic suppression can be obtained by controlling the waveshape of the APF output voltage to be sine wave. And, unity power factor is controlled by the reactive power control loop of the APF output. Simulation and experimental results using diode rectifier showed that the voltage-controlled APF, unlike the current-controlled APF, can reduce the voltage harmonics as well as current harmonics. Also the results showed that the input power factor and power quality were greatly improved.

Key Words : Active Power Filter(APF), Power Quality, Reactive Power, Harmonic Suppression, Unity Power Factor

1. 서 론

저전압 배전계통에서, 비선형 부하(non-linear loads)인 전력전자기기의 사용이 급속도로 증가함에 따라 전력의 품질이 현저하게 저하되고 있다. 이러한 전력전자기기의 사용급증은 무효전력 및 고조파를 발생하고, 역률저하 및 순시전압강하 등 전력의 품질을 저하시키는 근본적인 원인이 된다. 무효전력의 증가는 전력계통 장치들의 설비 용량증대 및 전력요금의 추가상승을 초래하며, 또한 고조파의 발생은 전기기기 및 전기부품 등에 소음 및 추가적 열을 발생시키고, 절연파괴에 의한 기기의 수명단축을 초래한다. 뿐만 아니라 이러한 고조파는 인근 계통의 통신기기나 정밀기기 등에 오동작을 유발하는 등 그 피해가 날로 증가하고 있다[1-3].

따라서, 배전계통에서의 고조파 발생 및 무효전력 증가에 따른 역률저하 등 전력의 품질을 개선하기 위한 가장 현실적인 방안으로 능동전력필터(이하, APF로 표기)가 대두되고 있다. 이러한 APF의 분류는 크게 배전계통에 대한 접속의 형태에 따라 직렬형과 병렬형으로, 제어의 형태에 따라 전류제어형과 전압제어형으로 각각 나눌 수 있다[3-6].

전류제어형 APF는 APF의 출력전류 제어에 의하여 전원측 입력전류가 정현파 및 전압과 동상의 파형으로 추종하도록 제어하는 방식으로써, 이는 속응성 있게 전류고조파 및 역률 보상이 이루어진다는 장점 때문에 사용이 많지만, 공진의 가능성 때문에 시스템 안정성이 떨어지고, 전압고조파를 보상하지 못한다는 단점을 갖는다[2-3].

* 正 會 員 : 曉園專門大學 電氣制御시스템科 副敎授 · 工博
接受日字 : 2003年 2月 10日
最終完了 : 2003年 3月 14日

또한 전압제어형 APF는 전원과 비선형 부하사이에 연결된 APF의 출력전압을 정현적인 형태로 유지함으로써 전압고조파와 전류 고조파를 동시에 저감하고, 무 · 유효전력의 제어에 의한 역률개선의 효과를 얻는 방식이다. 또 이러한 방식은 입력전압의 변동에 민감한 부하의 보호 시스템으로도 활용 가능하다는 장점이 있다[5][7].

따라서 본 논문에서는 비선형 부하에서 발생하는 전력품질의 저하를 개선하기 위한 전압소스-전압제어형 단상 APF를 제안하였다. 제안된 APF는 추가적인 전압소스의 새로운 전력회로 모델링에 의하여, 전류 및 전압고조파의 동시보상, 무효전력제어에 의한 입력 역률을 개선하는 방식으로써, 시뮬레이션과 실험을 통하여 제안된 제어기법의 타당성을 입증하였다. 또한 본 논문에서는 전원과 전압제어형 APF사이에 연결된 링크인덕터와 유효전력의 관계를 분석하였고, 본 시스템을 적용하여 전원전압의 순시정전시 UPS로써의 사용 가능성에 대해서도 고찰하였다.

2. 전압제어형 APF의 구성과 제어원리

2.1 전압제어형 APF와 전압제어형 APF

전력전자기기 등 비선형 부하에서 발생되는 전력품질의 저하 문제를 해결하기 위한 적극적인 대처 방안의 하나로 APF가 도입되고 있다. APF에 대한 분류는 크게 접속의 형태에 따라 직렬형과 병렬형이 있으나, 전류고조파 및 무효전력의 보상 등 많은 장점이 있는 병렬형 APF가 주로 사용되며, 직렬형과 병렬형의 장점을 이용한 직 · 병렬형 APF, 능동필터와 수동필터를 병행하여 사용하는 혼합형 APF도 사용되고 있다. 또한 APF는 필터의 에너지 저장방식에 따라

전류소스 APF와 전압소스 APF가 있으나 에너지의 저장효율이 높은 전압소스 APF가 주로 사용되고 있으며, 제어의 형태에 따라 전류제어형 APF과 전압제어형 APF로 나눌 수 있다[2][6].

그림 1은 전원과 비선형 부하사이에 병렬로 접속된 전압소스형 단상 APF를 나타내고 있다. 여기에는 전류제어형과 전압제어형 APF가 있는데 회로의 구조적 차이점은 APF가 전원과 직접 연결된 형태가 전류제어형이며, APF와 전원사이에 점선으로 표시된 링크인덕터(L_{link})가 삽입된 형태가 전압제어형이다. 또한 APF는 DC부분에 점선으로 표시된 바와 같이 캐패시터 또는 인덕터의 부착 여부 즉 에너지의 저장형태에 따라 전압소스형과 전류소스형이 있다.

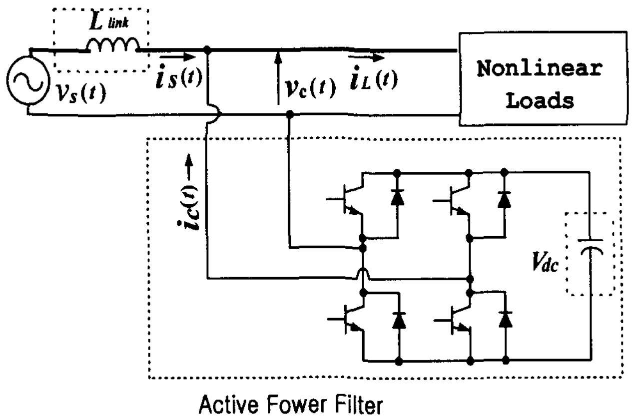

그림 1 병렬형 전압소스 단상 APF의 구조
Fig. 1 Configuration of voltage source shunt-type APF.

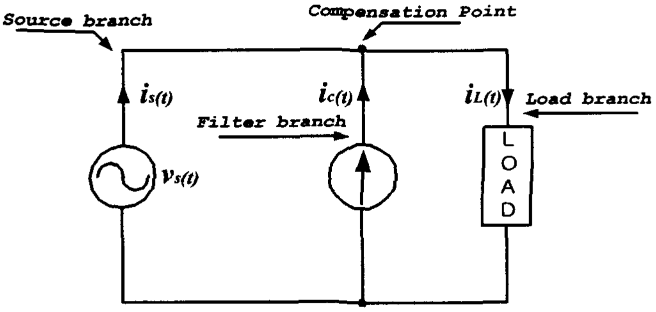

그림 2 전류제어형 단상 APF의 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of single phase current-controlled APF.

그림 2는 그림 1의 회로구조에 대한 단상 전류제어형 APF의 등가회로를 나타낸 것이다. 이는 전원과 부하사이에 또 하나의 다른 제어전원이 직접 병렬로 접속되어 있는 회로이며, 링크인덕터는 접속되어 있지 않다. 이때의 전원전압 $v_s(t)$을 식 (1)과 같이 정현파로 가정하면, 부하전류는 식 (2)와 같이 기본파 성분과 고조파 성분으로 나타낼 수 있다.

$$v_s(t) = V_s \sin(\omega t) \tag{1}$$

$$i_L(t) = \sum_{n=0}^{\infty} I_{L\,n} \sin(n\omega t + \theta_n) \tag{2}$$

그림 2의 회로에 키르히호프의 전류법칙을 적용하면 APF의 출력전류 $i_c(t)$는 식 (3)과 같이 쓸 수 있으며, 이 관계에 의하여 전원전류 $i_s(t)$가 기본파 정현전류가 되도록 APF에 보상전류를 주입하면 역률 개선과 고조파 저감의 효과를 얻을 수 있다.

$$i_c(t) = i_L(t) - i_s(t) \tag{3}$$

이러한 전류제어형 APF는 부하에 필요한 고조파 성분을 직접 주입하기 때문에 응답특성이 좋고, 신뢰성이 우수하다는 장점을 갖는다. 그러나 이러한 제어시스템은 기준 보상 전류에 대한 빠른 신호처리가 요구되고, 또한 고조파 전압 왜곡에 대한 보상 알고리즘을 갖고 있지 않다는 단점을 지니고 있다.

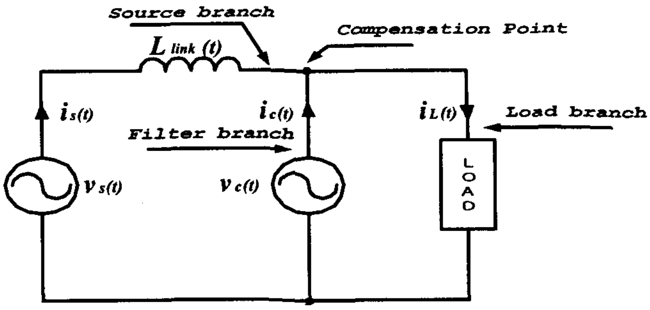

그림 3 전압제어형 단상 APF의 등가회로
Fig. 3 Equivalent circuit of single phase voltage-controlled APF.

그림 3은 그림 1의 회로구조에 대한 단상 전압제어형 APF의 등가회로를 나타낸 것이다. 이는 전원과 부하사이에 또 하나의 다른 전압원이 병렬로 접속되어 있는 회로로써, 전원과 APF사이에 링크인덕터(L_{link})가 삽입된 형태의 구조를 가진다. 이때의 링크인덕터는 병렬로 연결된 APF의 전압을 제어하기 위한 인터페이스 역할을 하며, 입력전압의 순시적 변동(돌입전류, 순시전압상승 및 순시전압강하 등)이 부하에 직접 영향을 주지 않도록 하는 저지역할을 한다.

이러한 전압제어형 APF를 구성하여 필터의 출력전압 $V_c(t)$를 순수 정현파출력으로 제어한다면, 전원과 APF사이에 흐르는 입력전류 $i_s(t)$는 전압과 동상이며 고조파가 포함되지 않는 정현파 전류가 된다. 그러므로 이러한 구조의 APF는 전원전류의 고조파 뿐 만 아니라 전압 고조파까지도 보상할 수 있는 장점을 가지며, 입력전원의 변동에도 강인한 구조를 갖는다는 장점이 있다.

2.2 전압제어형 APF의 제어모델링

2.2.1 유효전력 및 무효전력의 제어

그림 3과 같은 전압제어형 APF의 등가회로에서 전원전압이 식 (1)과 같고, APF의 출력전압이 식 (4)와 같이 출력

된다면, 식 (1)과 식 (4)의 전압관계 및 전압방정식을 이용하여 입력전류 $i_s(t)$는 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$v_c(t) = V_c \sin(\omega t - \alpha) \tag{4}$$

$$\begin{aligned} i_s(t) &= \frac{1}{L_{link}} \int_0^t (v_s(t) - v_c(t))dt \\ &= \frac{1}{\omega L_{link}} (V_c \cos(\omega t - \alpha) - V_s \cos(\omega t)) \\ &= I_s \sin(\omega t - \delta) \end{aligned} \tag{5}$$

여기서,

$$I_s = \frac{1}{\omega L_{link}} \sqrt{(V_c \sin(\alpha))^2 + (V_c \cos(\alpha) - V_s)^2}$$

$$\delta = \sin^{-1} \frac{V_c \cos(\alpha) - V_s}{\sqrt{(V_c \sin(\alpha))^2 + (V_c \cos(\alpha) - V_s)^2}}$$

따라서, 입력전류의 크기와 위상의 제어는 APF의 출력전압의 위상과 크기를 조절함으로써 입력전류를 제어할 수 있다. 또한 전원전압 및 입력전류의 관계식을 통하여 피상전력은 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} S_{in} &= \frac{V_s}{2} \left(\frac{V_c \sin(\alpha) + j(V_s - V_c \cos(\alpha))}{\omega L_{link}} \right) \\ &= \frac{V_s V_c \sin(\alpha)}{2X_{link}} + j \frac{V_s(V_s - V_c \cos(\alpha))}{2X_{link}} \\ &= P_{in} + jQ_{in} \end{aligned} \tag{6}$$

식 (6)의 결과에 따라서 유효전력 및 무효전력은 식 (7)과 식 (8)과 같이 표현 가능하다.

$$P_{in} = \frac{V_s V_c}{2X_{link}} \sin(\alpha) \tag{7}$$

$$Q_{in} = \frac{V_s}{2X_{link}} (V_s - V_c \cos(\alpha)) \tag{8}$$

따라서, 식 (7)과 식 (8)에 의하여 APF에 대한 출력전압의 크기와 위상의 변화에 따른 유효전력과 무효전력의 제어 가능성을 확인할 수 있으며, 출력전압의 크기와 위상에 대한 이들 전력의 변화율을 식 (9)~(12)와 같이 구할 수 있다.

$$\frac{\partial P_{in}}{\partial \alpha} = \frac{V_s V_c}{2X_{link}} \cos\alpha \tag{9}$$

$$\frac{\partial P_{in}}{\partial V_c} = \frac{V_s}{2X_{link}} \sin\alpha \tag{10}$$

$$\frac{\partial Q_{in}}{\partial \alpha} = \frac{V_s V_c}{2X_{link}} \sin\alpha \tag{11}$$

$$\frac{\partial Q_{in}}{\partial V_c} = -\frac{V_s}{2X_{link}} \cos\alpha \tag{12}$$

그림 4는 APF 출력전압의 크기와 위상 변화에 따른 무효전력과 유효전력의 영향을 나타낸다. 이때의 링크인덕터는 0.3[p.u.]로, 전원 및 출력전압은 1.0[p.u.]으로 설정하였다. 여기서 확인할 수 있는 것은, APF의 전압과 위상각을 조절하여 무・유효전력을 각각 제어할 수 있으나, 유효전력은 위상변화에 대하여 더 민감하게 변화하고 무효전력은 출력전압의 크기에 더 민감하게 반응함을 알 수 있다. 따라서, 유효전력의 제어는 위상각을 통하여, 무효전력의 제어는 출력전압의 크기를 제어하면 보다 빠른 응답을 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

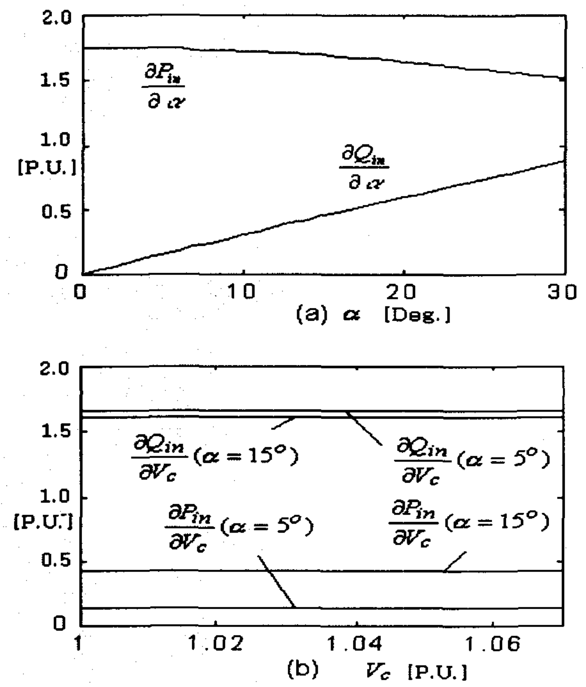

그림 4 APF 출력전압의 (a)위상과 (b)크기에 따른 유효전력과 무효전력의 관계

Fig. 4 Relationship between real power and reactive power for change of (a)phasor (b)magnitude of APF voltage.

2.2.2 역률제어

전원측에 대하여 역률1을 얻기 위해서는 무효전력을 영으로 제어할 필요가 있으며, 이를 위해서는 식 (8)로부터 식 (13)과 같은 단위역률 조건을 만족해야 한다. 따라서, 역률1을 유지하는 동안의 입력전류는 식 (14)와 같이 되고, 이는 전압과 동상인 기본파 성분만을 갖게된다.

$$V_s = V_c \cos(\alpha) \tag{13}$$

$$I_s = \frac{1}{\omega L_{link}} V_s = \frac{1}{X_{link}} V_c \cos(\alpha) \tag{14}$$

식 (14)에서 표현된 입력전류가 기본파 성분만을 갖게된

다면 이는 식 (15)와 같이 표현할 수 있으며, 이를 식 (14)에 대입하여 식 (13)의 V_s를 소거하면, 전원전압과 APF의 출력전압과의 위상차는 식 (16)으로 된다. 따라서, 전압제어형 APF는 출력전압의 크기와 위상제어에 의하여 역률1의 제어가 가능하다는 것을 알 수 있다.

$$I_s = I_{s1}\cos(\theta_1) \tag{15}$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{I_{s1}\cos(\theta_1)X_{link}}{V_c}\right) \tag{16}$$

또한 APF의 출력전압 크기는 식 (16)의 위상각 $\sin\alpha$를 이용하여 식 (17)과 같이 표현 가능하며, 이는 전원전압과 전류, 링크인덕터의 관계에 의하여 결정됨을 알 수 있다.

$$V_c = \sqrt{V_s^2 + (I_s X_{link})^2} \tag{17}$$

3. 전력회로의 설계와 제어기의 구성

본 논문에서 사용된 전압제어형 단상 APF의 전력회로 구성은 그림 5와 같다. 전원과 APF의 출력사이에의 전압조절 및 인터페이스를 위한 링크인덕터 L_{link}가 부착되었다. APF부에는 평활한 직류전압을 얻기 위한 직류링크 캐패시터 C_{dc}, 직류출력단의 전류변동을 막아주고 역률을 개선하기 위한 직류 링크인덕터 L_{dc}로 구성하였다. 이와 더불어 APF의 PWM 전압출력을 정현적인 파형으로 변환시키기 위하여 2차 수동필터(점선부분)로 구성된 출력필터 L_c과 C_c가 추가되었으며, 비선형 부하에는 다이오드 정류기를 부착하여 부하를 가변하도록 하였고, APF의 DC부에 점선으로 표시된 배터리 장치는 UPS기능의 추가적 시험을 하기 위하여 탈착 가능하도록 회로를 구성하였다.

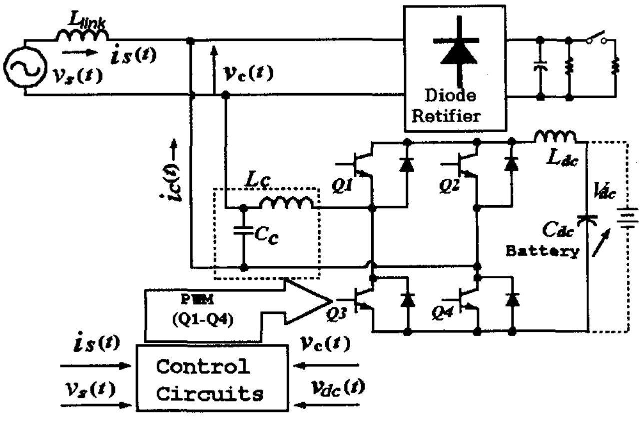

그림 5 전압제어형 APF의 전력회로 구성

Fig. 5 Power circuit configuration of voltage-controlled APF.

그림 5와 같은 회로구조에서의 가장 큰 특징은 입력전원과 APF사이에 링크인덕터가 추가된 것이다. 이는 종래에 많이 사용되었던 전류제어형 APF와는 달리, 전원과 APF는 병렬로 연결된 형태이므로 만일 링크인덕터가 없다면 전압제어가 불가능하므로 이는 두 전원사이에 인터페이스의 역할을 한다.

이러한 링크인덕터의 설정은 APF의 출력에 대하여 제어범위와 응답속도를 결정하게 된다. 만약 링크인덕터의 값이 작으면 APF출력전압의 크기를 제어하는 범위가 줄어드는 문제점을 갖고, 반대로 링크인덕터가 큰 경우에는 전압제어의 응답특성이 저하되는 단점을 갖는다. 식 (17)에서 알 수 있듯이 링크인덕터의 크기에 따라서 APF의 제어 범위가 결정되므로, 이러한 링크 인덕터의 파라미터 선정은 시스템 성능에 중요한 영향을 미친다.

가령, APF의 출력전압과 부하의 정격이 결정되면 식 (13)과 식 (16)을 이용하여 링크인덕터를 결정할 수 있으며, 또한 링크인덕터와 유효전력과의 관계는 식 (7)을 통해서 식 (18)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\left|\frac{\partial P_{in}}{\partial L_{link}}\right| = \frac{V_c V_c}{4\pi f L_{link}^2}\sin\alpha \tag{18}$$

식 (18)을 이용하여, 본 논문에서는 링크인덕터 L_{link}를 1[mH]에서 11[mH]까지 변화시키면서 위상지령에 따른 유효전력의 응답특성을 구하였으며, 이의 결과를 그림 6에 나타내었다. 이 결과에서 알 수 있듯이 링크인덕터 값이 큰 경

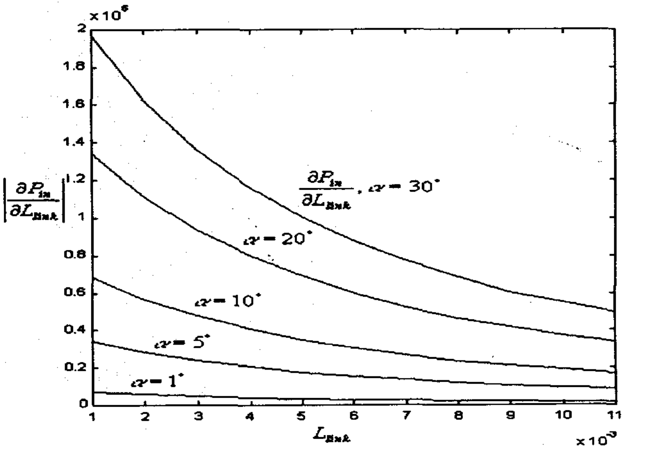

그림 6 링크인덕터와 유효전력의 관계

Fig. 6 Relationship of real power and link inductor.

표 1 시스템 파라미터 및 정격

Table 1 System parameters and ratings

Parameters	Values	Parameters	Values
Peak input voltage v_s	141.0[V]	Link Inductor L_{link}	11[mH]
Input voltage frequency f	60.0[Hz]	Output filter capacitor (C_c)	150[μF]
DC voltage V_{dc}	156.67~164.50[V]	Output Filter inductor (L_c)	1.0[mH]
Peak output voltage v_c	141.0~148.5[V]	DC link capacitor(C_{dc})	3000[μF]
Switching Frequency f_{SW}	10.0[kHz]	DC link inductor (L_{dc})	0.3[mH]

우에는 위상변동에 둔감하게 반응하고 링크 인덕터의 값이 작을 수록 민감하게 반응함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이와 같은 응답특성을 고려하여 L_{link}를 11[mH]로 설정하였으며, 기타 본 시스템에 사용된 파라미터의 선정은 표 1에 나타내었다.

그림 7은 본 논문에서 사용된 전압제어형 APF의 제어기 전체 구성도를 나타낸 것이다. 이 그림에서는 유효전력 제어루프와 무효전력 제어루프로 크게 구성되어 있으며, 나머지는 APF의 전압파형을 정현파 출력으로 개선하기 위한 파형개선 제어기로 구성되어 있다.

유효전력의 제어는 DC캐패시터의 전압을 이용하여 유효전력의 상태를 관측하고, 관측된 유효전력의 상태에 따라서 APF의 위상제어각 α를 통하여 제어를 수행한다. 즉, 전원이 정상적으로 부하에 공급된다면 APF는 부하에 무효전력분만을 공급하기 때문에 DC전압은 특정 값을 유지하고 있다. APF의 출력전압이 전원전압 보다 낮을 경우에는 무효전력을 공급할 수 없으므로 APF의 DC전압을 항상 특정값이 유지되게 제어한다. 만약 부하가 증가하게되면 부하는 더 많은 유효전력을 소비할 것이다. 그러나 전원에서 공급되는 유효전력의 양은 부하의 변화를 인지하지 못하고 부하가 필요한 양보다 작은 양만을 공급하게 된다. 따라서 부하는 부족한 유효전력을 APF의 DC캐패시터에 축적된 에너지를 소비하기 시작하므로 캐패시터 전압이 낮아지게 된다. 이럴 경우에는 유효전력제어기는 APF의 출력전압 위상각을 좀더 지상으로 조절하여 전원에서 공급되는 유효전력양을 증가시켜서 제어하게 된다.

또한, 무효전력의 제어는 입력전원의 전압과 전류의 위상차를 보상하기 위한 APF의 기준전압의 크기지령, 즉 $|V_c^*|$의 발생에 의하여 제어가 수행된다. 즉 정상시의 무효전력은 APF에 의해서 공급되지만 부하의 변동으로 APF에서 공급되는 양 이상의 무효전력이 요구되는 경우에는 전원측에서 부족한 무효전력을 공급하게된다. 전원측에서 무효전력을 공급함에 따라서 입력단 역률의 저하로 입력전압과 전류의

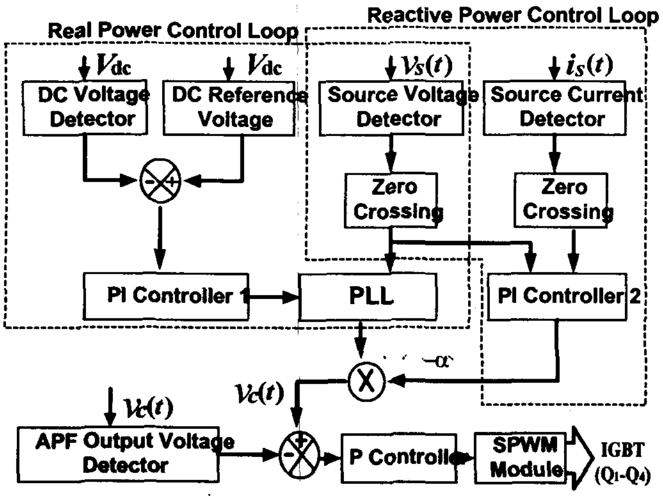

그림 7 전압제어형 APF의 제어기 전체 구성도

Fig. 7 Overall controller configuration of voltage-controlled APF

위상차가 발생하게 되며, 이때 무효전력제어기는 APF의 출력전압을 증가시켜 입력 역률을 개선시킨다. 따라서, APF에서 출력전압의 크기를 증가시켜 더 많은 무효전력을 발생시켜 부하에 필요한 무효전력양을 만족시키게 하는 것이다.

결과적으로, 유효전력제어기와 무효전력제어기는 병렬로 위치하여 출력되어야할 전압의 위상지령 α^*과 크기지령 $|v_c^*|$을 각각 결정하여 기준 전압파형을 발생시키게 하여 이를 제어하게 하는 것이다. 그러나 이러한 제어에도 불구하고, APF의 출력전압은 임피던스의 불일치 등으로 인하여 왜곡이 발생할 수 있다. 이러한 왜곡을 방지하기 위하여 본

4. 시뮬레이션 및 실험결과

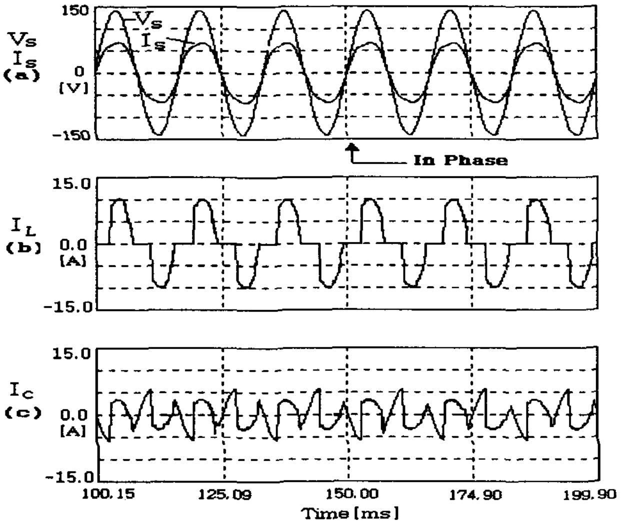

그림 8 전압제어형 APF의 (a)입력전압과 입력전류(×10) (b)부하전류 (c)보상전류

Fig. 8 (a)input voltage and input current (b)load current (c)compensation current of voltage-controlled APF.

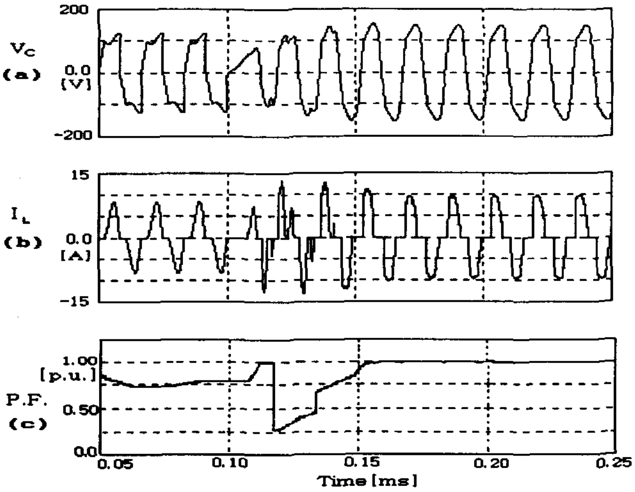

그림 9 전압제어형 APF의 (a)부하전압 (b)부하전류 (c)역률

Fig. 9 (a)load voltage (b)load current (c)power factor of voltage-controlled APF.

논문에서는, APF의 출력전압 $v_C(t)$과 APF의 출력전압지령 $v_C^*(t)$의 오차를 비례 제어기가 보상하도록 파형개선 제어기를 추가하였다.

그림 8과 그림 9는 그림 5와 같이 비선형 부하인 다이오드 정류기와 병렬로 연결된 전압제어형 APF의 PSIM시뮬레이션 결과 파형이다.

그림 8의 (a)는 전원전압과 입력전류를 나타낸 것으로써, 입력전류는 전압제어형 APF의 보상에 의하여 고조파 왜곡이 거의 없이 정현적이면서도 전압과 동상으로 제어되고 있음을 확인할 수 있다. 그림 (b)와 (c)는 부하전류와 APF에서 공급하는 보상전류를 각각 나타낸 것이다.

그림 9는 전압제어형 APF의 출력전압 즉 부하전압의 개선에 의한 전압고조파 저감의 특성 및 역률 개선의 과도상태 동작을 나타낸 것이다. APF가 0.1[msec]근방에서 동작을 개시한 후, 그림 9(a)의 APF 출력전압은 정현적인 모양을 갖추면서 전압고조파를 저감하고 있으며, 그림 9(b)에서의 부하전류의 크기는 APF의 출력전압 즉 부하전압의 증가에 따라서 부하전류 역시 증가하게 되는 것을 나타낸다. 그림 9(c)는 이때의 역률을 나타낸 것으로써, 과도상태를 거친 이후에는 단위 역률로 유지되고 있음을 확인 할 수 있다.

그림 10은 다이오드 정류기에 대한 부하인가시 전압제어형 APF의 입력전압 V_s와 부하전압 V_C의 제어관계를 실험으로 나타낸 것이다. 부하가 유효전력을 소비함에 따라, 전원에서 부하에 유효전력을 공급해야하므로 부하전압과 입력전압의 위상차 α를 발생시키며, 부하전압의 크기가 입력전압의 크기에 비해 크게 운전하므로 부하에 필요한 무효전력 성분을 공급하게 된다.

그림 11은 전압제어형 APF의 동작 중에서 부하전압과 입력전류 파형을 동시에 나타내었다. APF의 운전 초기에는 APF의 DC캐패시터를 충전하는 과도상태를 갖게한 후, 약 100[msec] 부근에서 APF가 동작되면서 부하전압과 전류의 파형은 빠르게 개선되고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 그림 12는 전압제어형 APF의 보상전류 파형을 나타낸 것이다. 약 100[msec] 근방에서 운전을 개시하면서, APF는 DC부의

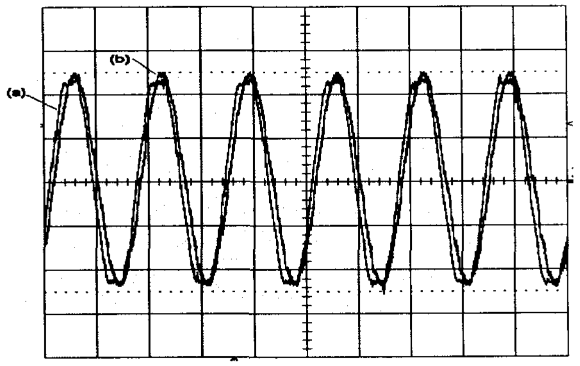

그림 10 전압제어형 APF의 동작(a)입력전압 (b)부하전압(50[V]/Div.], 10[ms/Div.])

Fig. 10 (a)input voltage (b)load voltage of voltage-controlled APF.

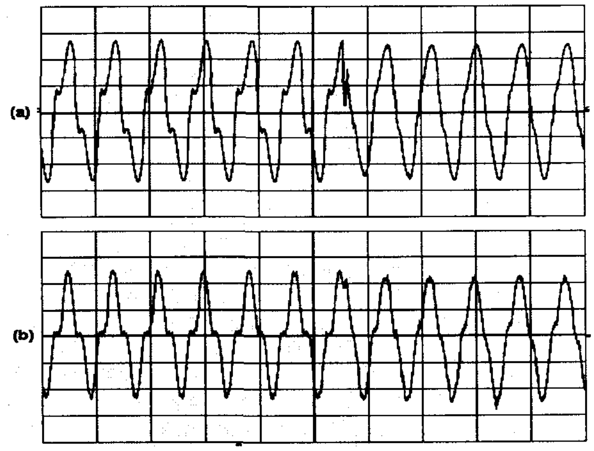

그림 11 전압제어형 능동전력필터 (a)부하전압(50[V]/Div.) (b) 입력전류(5[A]/Div., 20[ms]/Div.)

Fig. 11 (a)load voltage and (b)input current of voltage -controlled APF

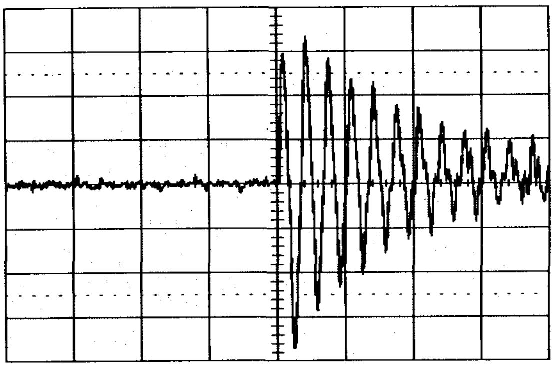

그림 12 전압제어형 APF의 보상전류 (5[A]/Div., 40[ms]/Div.)

Fig. 12 Compensation current of voltage-controlled APF.

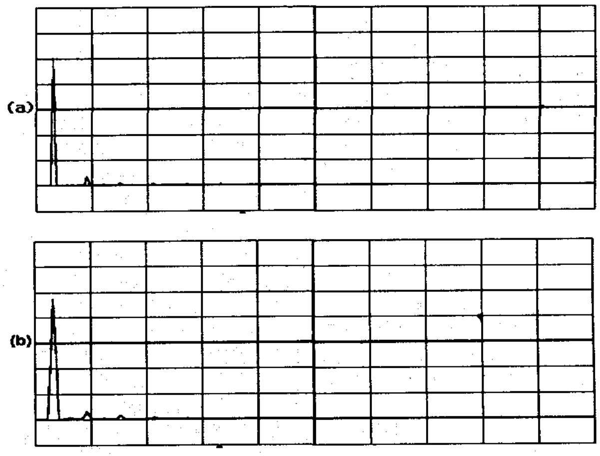

그림 13 제안된 APF의 주파수 분석 (a)부하전압 (20[V]/Div.) (b)입력전류 (1.2[A]/Div., 0.2[kHz]/Div.)

Fig. 13 Frequency analysis of proposed APF. (a)load voltage (b)input current

캐패시터를 충전하기 위해서 초기에 많은 양의 전류가 유입되며, 몇 주기의 과도상태를 거쳐서 점차 정상적으로 전류의 보상을 수행함을 볼 수 있다.

그림 13은 그림 11에서 나타낸 제안된 APF의 부하전압과 입력전류의 주파수분석 결과를 각각 나타낸 것이다. 그림 (a)의 주파수분석 결과에서 3차 고조파는 기본파의 3[%] 미만으로 저감되고, THD 역시 4[%] 미만으로 크게 개선됨을 확인할 수 있는데, 이는 단지 입력전류의 보상제어만을 고려하는 전류제어형 APF의 부하전압보다 전압고조파를 훨씬 저감할 수 있음을 알 수 있다. 그림 (b)의 입력전류고조파 분석은 3차 고조파와 5차 고조파가 현저히 저감됨을 확인할 수 있으며, THD도 5.8[%]로 개선됨을 확인할 수 있다.

그림 14는 제안된 APF의 입력전압 V_s과 전류 i_s를 동시에 나타내고 있는 파형이다. 이때의 입력전압과 전류는 동상을 유지하고 있으며, 이는 APF가 부하에 필요한 무효전력을

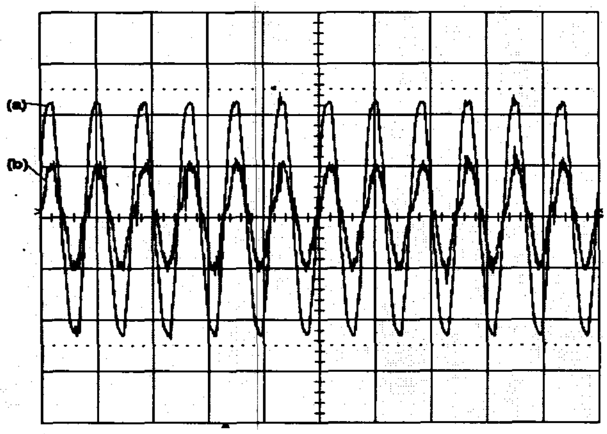

그림 14 제안된 전압제어형 APF의 (a)입력전압(50[V]/Div.) (b)전류(10[A]/Div., 20[ms/Div.)

Fig. 14 (a)input voltage and (b)input current of proposed voltage-controlled APF.

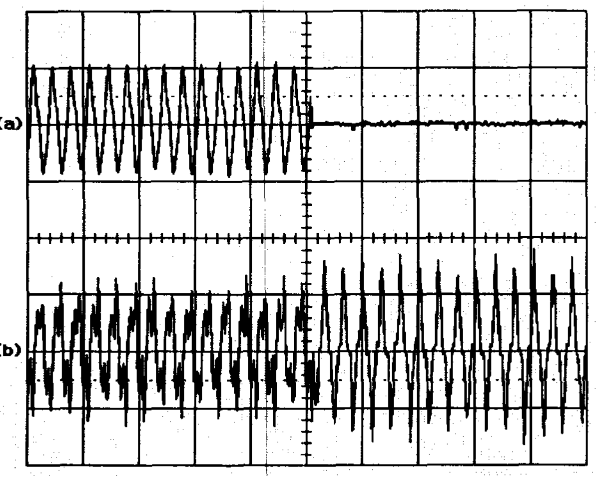

그림 15 UPS 기능에 대한 동작파형 (a)전원전류 (b)출력전류 (5[A]/Div., 50[ms/Div.)

Fig. 15 (a)Input current (b)output current of with UPS function.

보상하고, 전원은 유효전력성분만을 공급하여 역률 개선이 이루어짐을 확인할 수 있다.

그림 15는 그림 5의 실험장치와 같이 APF의 DC부에 배터리를 장착하여 UPS의 성능을 실험한 결과파형을 나타낸다. 이는 255[ms] 부근에서 전원부를 정전시켰을 경우의 입력전류와 APF의 출력전류를 나타낸 것이다. 정전이 발생됨에 따라서 전원에서 전류의 공급은 중단되지만, 이때까지 부하에 필요한 무효전류성분을 공급하던 APF는 부하에 필요한 유효전력성분과 무효전력성분 모두를 공급하게 된다.

5. 결 론

본 논문에서는 비선형 부하에서 발생하는 전력의 품질 저하문제를 해결하기 위한 전압제어형 APF의 제어기 설계에 관한 연구를 수행하였다. 종래에 사용되어왔던 전류제어형 APF는 고조파 전류에 대한 보상이 빠르고 정확하다는 장점이 있지만, 전원전압의 왜곡 및 전압 고조파의 보상에는 미흡하다는 단점이 있다.

이에 비하여 전압제어형 APF는 입력전압을 정현적인 형태로 유지함으로써 고조파 저감과 역률개선의 효과를 얻는 방식이다. 이는 전류의 고조파 뿐만 아니라 전압의 고조파 까지도 저감할 수 있는 방식이며, 입력전원의 변동에도 강인하다는 장점이 있으며, 또한 무효전력의 제어에 의하여 역률개선의 효과까지도 기대할 수 있는 장점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 전압제어형 APF의 전력회로에 대한 새로운 모델링 기법을 제안하여 시뮬레이션과 실험을 수행하였다. 그 결과 무효전력의 보상에 의한 역률개선 및 전압 고조파의 저감 효과를 얻을 수 있었으며, UPS의 기능까지도 포함하는 등 전력의 품질개선에 확연한 효과가 있음을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 한국과학재단의 해외 Post-doc. 연수지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

[1] L. A. Moran, J. W. Dixon, and R. R. Wallace, "A three-phase active power filter operating with fixed switching frequency for reactive power and current harmonic compensation," IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 42, no. 4, pp. 402-408, Aug. 1995.

[2] Hirofumi Akagi, "New trends in active filters for power conditioning," IEEE Transactions on Industry application, vol. 32, no. 6, pp. 1312-1322, Nov./Dec. 1996.

[3] B. Singh, K. Al-Haddad, and A. Chandra, "A review of active filters for power quality improvement," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 46, no. 5, pp. 960-971, Oct. 1999.

[4] H. Fujita and H. Akagi, "The unified power quality conditioner: The integration of series and shunt active filters," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 13,

no. 2, pp. 315-322, Mar. 1998.

[5] J. C. Wu and H. L. Jou, "A new UPS scheme provides harmonic suppression and input power factor correction," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 42, no. 6, pp. 629-635, Dec. 1995.

[6] B. Singh, K. Al-Haddad, and A. Chandra, "A review of active filters for power quality improvement," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 46, no. 5, pp. 960-971, Oct. 1999.

[7] Jin-Geun Shon, K. Shinohara, and K. Yamamoto, " The Improvement of Power Quality for Nonlinear Loads by Voltage Controlled Active Power Filter", in Conf. Rec. JIASC2002 Annu. Meeting, No.73, pp.361-364. August 2002.

[8] 손 진근 외 3명,"회전자 저항 변동보상에 의한 유도전동기의 최대효율 제어기법", 대한전기학회 논문지, 제49P권, 제2호, pp.42-49, 2000. 10.

[9]孫 珍劤, 篠原 勝次, 山本 吉朗, " 無効電力および電壓高調波補償用電壓制御形アクティブフィルタ", 日本電氣學會半導體電力變換硏究會, SPC-02-106, pp.59-64, 2002. 11.

저 자 소 개

손 진 근(孫 珍 劤)

1964年 8月 13日生. 1990년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 졸업(공박). 1992-1995年 현대중공업(주) 중앙연구소 주임연구원. 1997年~현재 경원전문대학 전기제어시스템과 부교수. 2002年 2月-2003年 2月 일본 (국립)가고시마대학 전기전자공학부 해외 Post-doc.

Tel : 031)750-8615

Fax :031)750-8618

E-mail : jgshon@kwc.ac.kr