

# 주택인입구에 설치 가능한 소형전력품질보상장치에 관한 연구

論 文  
55A-2-1

## Study on Small Power Quality Compensator Installable at Home Power Inlet

全永秀<sup>†</sup> · 崔俊英<sup>\*</sup> · 韓炳文<sup>\*\*</sup> · 韓后錫<sup>\*\*\*</sup>  
(Young-Soo Jon · Jun-Young Choi · Byung-Moon Han · Hoo-Sek Han)

**Abstract** - This paper proposes a small low-cost power quality compensator to be installed at the electricity supply inlet of residential customer. The compensator is composed of a single-phase active power filter with a simple controller using analog electronics, which can correct the power factor and damp out the harmonics. The operation and performance of proposed compensator was verified through simulations with PSCAD/EMTDC and experimental works with hardware prototype. The proposed compensator can offer reduction of power loss and improvement of power quality to the residential customer.

**Key Words** : Power Quality, Active Power Filter, THD, PSCAD/EMTDC

### 1. 서 론

최근 단상전원을 사용하고 있는 주택이나 사무실에도 비선형부하인 전자기기의 사용이 급증하면서 이들 기기에서 발생하는 고조파와 무효전력이 초래하는 전력의 품질저하와 손실증가가 심각한 문제로 대두되어 있다. 이들 전자기기에서 발생하는 고조파전류는 공급전압의 파형을 왜곡시켜 주상변압기를 과열시키고 인접한 통신선로에는 자기유도에 의한 장애를 유발한다.

산업용 전자기기에서 발생하는 고조파전류를 제거하고 무효전력을 보상할 목적으로 배전방식에 따라 3상3선식 또는 3상4선식 능동전력필터가 이미 개발되어 사용되고 있다. 능동전력필터는 통상 비선형부하인 산업용 전자기기와 병렬로 연결되어 부하에서 요구되는 고조파전류를 공급하므로 전원단이 고조파로부터 오염되는 것을 방지하고 역률을 1.0으로 유지하여 손실을 저감하는 보상기기이다[1-4].

본 연구에서는 주택이나 사무실에서 사용하고 있는 각종 전자기기에서 발생하는 고조파전류와 역률을 개별 기기에 대해 보상하지 않고 급전인입구에 설치하여 단위 수용가 전체적으로 보상을 단상능동전력필터를 제안한다. 각 전자기기에 대한 개별적인 보상은 제작사가 책임을 갖고 수행해야 하나 가격상승 때문에 현실적으로 불가능하다. 그러나 전력회사 입장에서 전기품질을 효율적으로 관리하고 향후 수용가 측에서 발생하는 고조파의 계통유입을 차단하는데

효율적이다.

제안하는 단상능동전력필터의 경우 수용가단위의 설치를 고려할 때 가격이 낮아야 경쟁력이 있을 것으로 판단되어 전력회로는 듀얼 IGBT 1개를 사용하고 제어기는 OP 앰프를 이용한 아날로그 방식을 채택하였다. 또한 제어가 출력전류를 제어하기 위해서는 2개의 전류센서로 부하전류와 보상전류를 측정하고 2개의 전압센서로 직류링크전압과 연계 점의 교류전압을 측정하나[5-7], 본 연구에서는 1개의 전류센서로 전원전류를 측정하고 2개의 전압센서로 직류링크전압과 연계 점의 교류전압을 측정하는 방식을 제안하였다.

본 연구에서는 EMTDC를 이용하여 제안하는 시스템에 대해 시뮬레이션모델을 개발하고 다양한 시뮬레이션을 통해 시스템의 성능을 세부적으로 확인하였다. 또한 실제시스템의 개발을 목적으로 3kVA 용량의 하드웨어 시작품을 실험실에 제작하고 비선형부하를 결합하여 다양한 실험을 실시하였다. 또한 이를 바탕으로 수용가 인입구에 설치가능한 소형, 저가, 고 신뢰도의 시제품을 향후 상품화를 고려하여 설계 및 제작하고 실증시험을 실시하였다.

### 2. 수용가 급전 시스템

그림 1은 가정용 급전시스템의 회로구성을 나타낸 것이다. 회로구성은 옥외에 설치된 주상변압기에서 22,900V/220V로 강압된 단상전압이 주택의 전력량계와 차단스위치를 거쳐 분전반에서 전력을 분산하여 옥내의 각 전기기기 또는 콘센트로 분배되는 방식이다.

그러나 향후 가정에 분산전원이 연계될 것을 고려하여 분전반 아래에 이를 연계하기 위한 단자를 둘 예정이다. 여기에는 도시가스를 이용한 소형가스터빈, 태양전지, 연료전지 이외 최근 개발 중인 바이오매스발전시스템의 연계가 가능하다. 또한 전기에너지 저장기능을 구비한 무정전전원장치

<sup>†</sup> 교신저자, 明知大 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
E-mail : erichan@mju.ac.kr

<sup>\*</sup> 正 會 員 : LS 산전(주) 중앙연구소

<sup>\*\*</sup> 學生會員 : 明知大 工大 電氣工學科 碩士課程

<sup>\*\*\*</sup> 正 會 員 : 基礎 電力 研究院 · 工博

接受日字 : 2005年 9月 1日

最終完了 : 2005年 12月 2日

(UPS)도 사용이 가능하도록 설계 가능하다.

따라서 본 연구에서 제안하는 보상기의 설치 점은 차단스 위치를 지난 후 적당한 여분의 공간이다. 이럴 경우 가정용 부하가 발생하는 각종 고조파와 무효전력은 인입구에 설치된 보상기에 의해 보상되어 배전선로에는 깨끗한 파형을 유지한다.

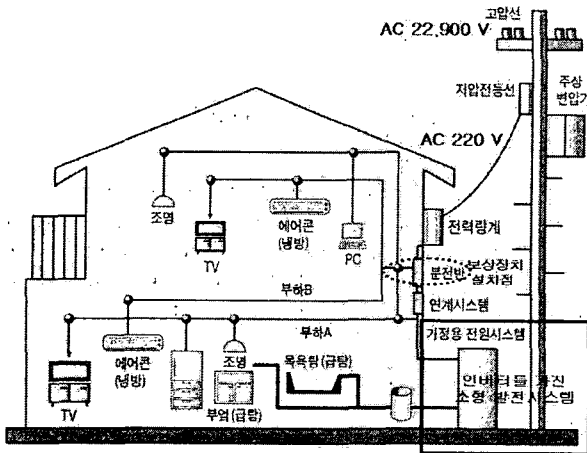


그림 1. 가정용 급전시스템 구성도  
Fig. 1. Configuration of residential electricity supply

3. 가정용 부하의 특성

그림 2는 가정에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 각종 부하의 고조파특성을 분석한 결과를 도표로 나타낸 것이다. 이 그림에서 보면 디지털가전기기나 컨버터를 사용하는 가전기기는 고조파전류 함유율이 아주 높은 것으로 나타난다.

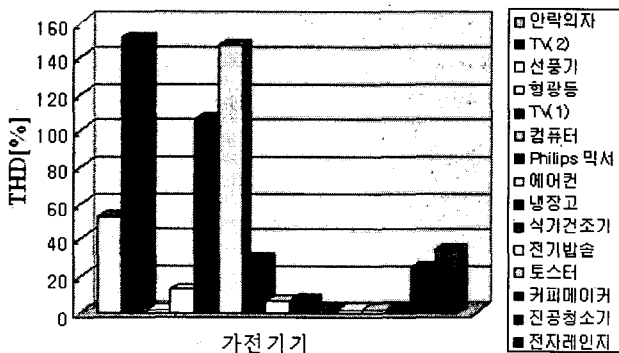


그림 2. 가정용부하의 전류 고조파 특성  
Fig. 2. Current harmonic characteristics of residential load

그림 3은 가정에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 각종 부하의 유효전력, 무효전력, 고조파전력을 나타낸 것이다. 역시 이 그림에서 보면 디지털가전기기나 컨버터를 사용하는 가전기기는 무효전력과 고조파전력의 크기가 아주 높은 것으로 나타난다.

대부분의 가정용 전기기기에서 발생하는 고조파는 내부에 탑재되어 있는 정류기에 의한 것으로 이것은 정류기가 갖는 비선형부하특성에 기인하는 것이다. 그런데 급전인입구에서

보았을 때는 전등과 같은 선형부하가 이들 비선형부하와 병렬로 결합된 형태이다. 본 연구에서는 인입구에서 들여다 본 가정용부하를 다이오드브리지회로와 선형부하의 병렬결합으로 모의하여 분석하였다.

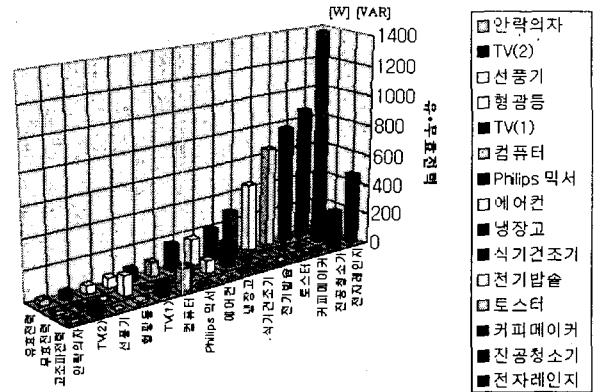
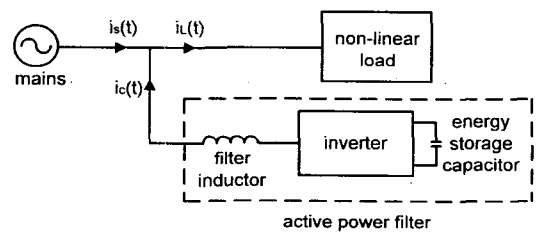


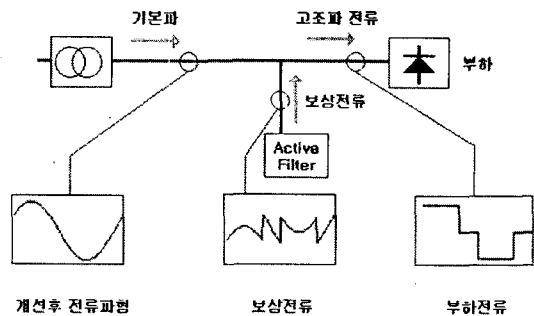
그림 3. 가정용부하의 유효무효전력 특성  
Fig. 3. Active and reactive power of residential load

4. 단상전력품질보상기

그림 4는 일반적으로 사용 되어온 기존의 단상 능동전력 필터의 구성이다. 이 그림에서 능동전력필터는 비선형 부하에서 요구되는 고조파전류  $i_c(t)$ 를 공급하여 전원전류  $i_s(t)$ 는 청현에 가까운 파형을 갖도록 하는 것이다. 그림 2에서 보인바와 같이 전원 측에서 공급하는 전류  $i_s(t)$ 는 비선형부하 때문에 고조파를 함유하게 된다.



(a) 능동전력필터의 구성



(b) 능동전력필터의 원리

그림 4. 능동전력필터의 구성 및 원리

Fig. 4. Configuration and principle of active power filter

전원측 전류는 식(1)과 같이 기본파와 고조파의 합으로 구성된다.

$$i_s(t) = I_1 \sin(\omega t + \theta_1) + \sum_{n=2}^{\infty} (I_n) \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (1)$$

통상적으로 단상 부하에서 발생하는 고조파 전류는 식(1)의 고조파 차수가  $n=4N\pm 1$  ( $N=1, 2, \dots$ )인 고조파전류들의 합성으로 정의된다.

이를 위해서 통상은 부하전류를 측정하여 기본파성분을 제거한 후 나머지 고조파성분을 능동전력필터의 기준치로 제어기에 입력하여 능동전력필터의 출력전류를 이에 추종시키는 것이다.

그림 5는 논문에서 제안하는 단상능동전력필터의 구조와 제어 블록 다이어그램을 나타낸 것이다. 제안하는 능동전력필터는 하드웨어구성과 제어방식이 간단하여 저가의 소형전력품질보상장치로 수용가에 설치가 적합하도록 구성하였다.

앞에서 동작원리를 설명한 능동전력필터의 경우 부하전류와 인버터출력전류를 검출하기 위한 두 개의 전류센서 직류링크전압과 전원전압을 검출하기 위한 두 개의 전압센서를 필요로 한다. 그렇기 때문에 하드웨어 비용이 높고 제어가 복잡한 단점을 갖는다.

그러나 단상능동전력필터의 경우 용량이 낮고 부하와 근접한 위치에 설치되며 높은 신뢰도와 낮은 하드웨어비용이 요구된다. 본 논문에서는 이러한 점에 착안하여 하드웨어비용이 낮고 제어방식이 간편한 단상능동전력필터를 가정용 소형전력품질보상장치로 설계 및 제작하였다.

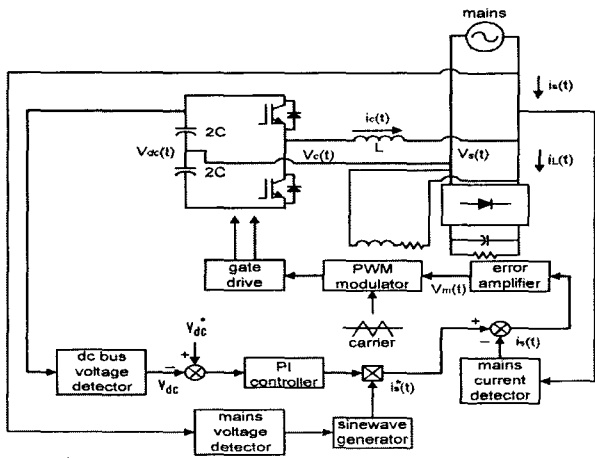


그림 5. 단상능동전력필터의 제어구성  
Fig. 5. Configuration of single-phase active power filter

제안된 능동전력필터의 인버터는 반브리지를 사용하고 있으며, 전원전압, 직류링크전압, 전원전류의 3개 신호가 센서로 측정되어 제어입력변수로 사용된다. 전원전압은 이와 동기된 단위 크기의 기준 정현파를 발생하는데 사용되고, 직류링크전압은 전력평형에 관한 정보를 제공하는데 사용되며, 전원전류는 파형과 위상정보를 제공한다.

### 5. 시뮬레이션

제안하는 단상능동전력필터의 동작과 성능을 분석하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용하여 다양한 시뮬레이션을 실시하였다. 그림 6은 개발된 시뮬레이션 모형을 나타낸 것으로 시뮬레이션 정수들은 표 1에 나타내었다.

시뮬레이션에서 부하는 다이오드정류기로 구성된 비선형 부하를 전압이 110[V]인 단상전원에 연결하고 수용가의 상황을 고려하여 선형부하가 병렬로 연결되어 있다. 능동전력필터는 수용가의 인입구에 위치한 것을 가상하여 비선형부하와 선형부하의 앞단에 병렬로 연결하여 시뮬레이션을 실시하였다. 또한 정류기와 결합된 변압기와 선로를 모형화하기 위해 적절한 임피던스 값으로 이를 표시하여 일정부하에서의 동작을 시뮬레이션 하였다.

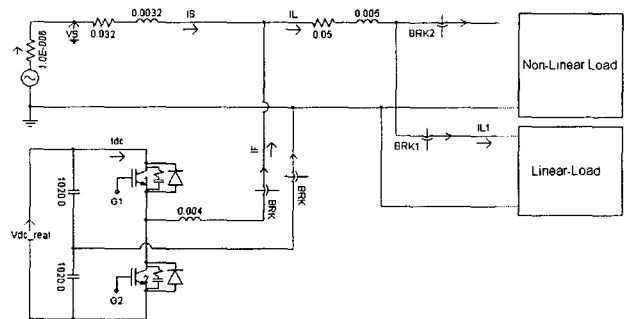


그림 6. PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 모형  
Fig. 6. Simulation model using PSCAD/EMTDC

표 1. 시뮬레이션 모형의 회로정수  
Table 1. Circuit parameters for simulation model

파라미터	파라미터 값
전원전압	110[V], 60[Hz]
비선형부하	C=6800[μF], R=40[Ω]
선형부하	R=20[Ω], L=8[mH]
직류 커패시터	C=1020[μF]×2
필터리액터	4[mH]
스위칭주파수	8[KHz]
전원임피던스	R=0.032[Ω], L=3.2[mH]

그림 7은 시뮬레이션을 통해 개발된 제어기의 구성을 나타낸 것인데, 이 제어기는 앞에서 설명한 능동전력필터의 제어기와 동일하게 구성되어 있다. 제어기의 전반적인 동작순서는 그림 5와 같으며 제어기 안에 포함된 세부적인 이득값이나 기준치들은 표 2에 나타내었다.

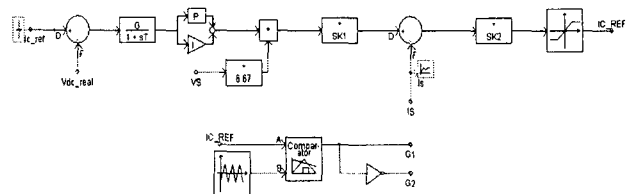


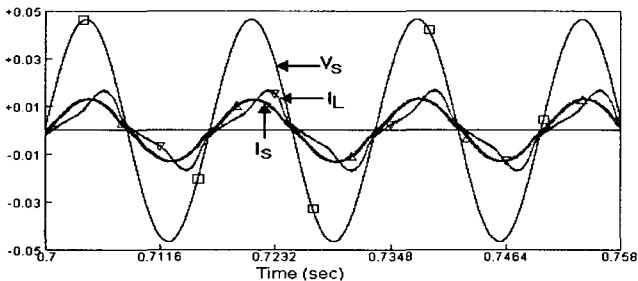
그림 7. 시뮬레이션에 사용된 제어기구성  
Fig. 7. Controller configuration in simulation

표 2. 시뮬레이션 제어기의 정수

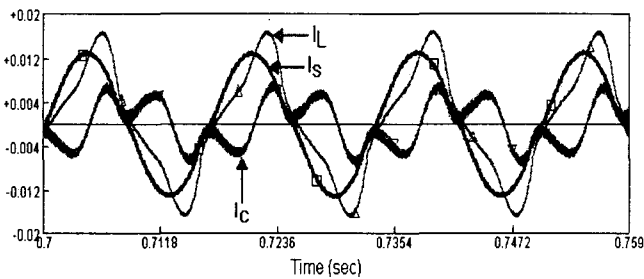
Table 2. Parameters for simulation controller

파라미터	파라미터 값
Vdc 기준값	450[V]
Kp	70
Ki	876
K1	1/120
K2	-40

그림 8(a)는 정류기의 부하가 40[Ω]일 때 전원전압, 전원 전류, 부하전류를 확대하여 나타낸 것이다. 전원전압은 실제 크기의 0.3배하여 도시하였다. 능동전력필터에서 공급되는 보상전류가 부하에서 발생하는 고조파를 제거하여 전원전류에는 고조파성분이 제거된 정현파에 가까운 파형이 되고 전원전압과 동상이 됨을 확인 할 수 있다.



(a) 전원전압  $V_s(\times 0.3)$ , 전원전류  $I_s$ , 부하전류  $I_L$



(b) 전원전류  $I_s$ , 부하전류  $I_L$ , 보상전류  $I_c$

그림 8. 시뮬레이션 결과  
Fig. 8. Simulation results

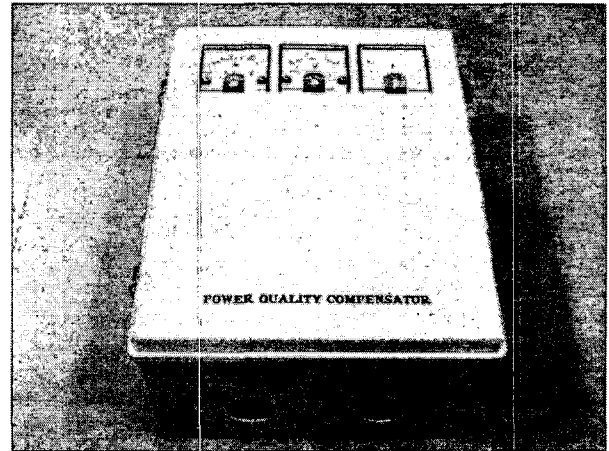
그림 8(b)는 전원전류, 부하전류, 보상전류의 파형을 나타낸 것이다. 전원전류는 부하전류와 보상전류의 합으로 되어 있음을 확인할 수 있다.

### 6. 프로토타입 제작 및 실험

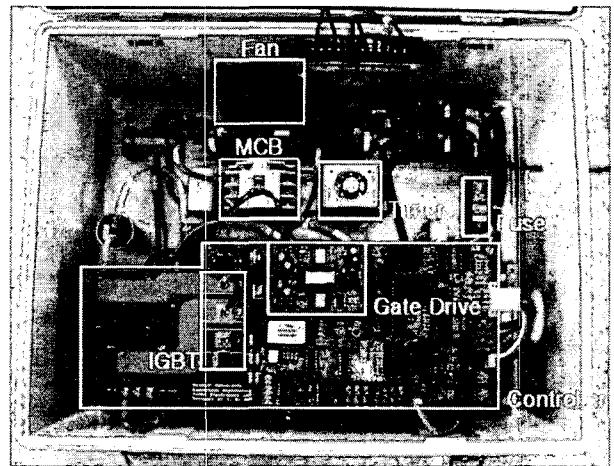
제안하는 단상 능동전력필터의 하드웨어 구현을 통한 동작검증을 위해 그림 9에 보인 프로토타입을 제작하고 110V 전원에 다이오드정류기와 병렬로 연결하여 실험을 실시하였다. 인버터의 스위칭 소자는 600V/50A 듀얼 IGBT 하나를 사용하였으며, 인버터의 스위칭 주파수는 10KHz로 하였다.

제어기는 그림 10에서와 같이 OP앰프와 디지털 논리회로 등을 이용하여 아날로그 방식으로 제작하였다. 아날로그 제어기의 구성은 크게 정현파 발진부, 직류제어부, 전류제어부, 삼각파 발진부와 데드타임부로 나눌 수 있다. 정현파 발진

부는 선로의 고조파 전류에 대해 인버터가 주입해야 할 보상 전류를 산출하기 위한 기준 정현파를 얻기 위해 구성하였다.



(a) 하드웨어 외부구조



(b) 하드웨어 내부구조

그림 9. 단상전력품질보상기의 시작품

Fig. 9. Single-phase power quality compensator

비선형 부하에 대해 선로의 전압은 정현파로 나타나기 때문에 선로전압을 PT로 검출하여 이를 기준신호로 사용하였다. 이는 선로전압을 기준신호로 사용함으로써 인버터 주입 전류를 선로전압과 동상이 되게 주입하여 별도의 역률각 제어가 필요 없이 역률을 향상시킬 수 있다는 장점 또한 가지고 있다. 이 정현파 발진부의 또 다른 특징은 선로전압이 변동할 경우 기준 정현파의 크기가 변하여 인버터의 오동작을 일으킬 수 있다는 점을 감안하여 선로의 전압변동이 발생하여도 항상 일정한 크기의 정현파를 발생한다는 점이다.

직류 전압제어부는 인버터가 선로에 대해 보상해야 할 무효성분의 양을 결정하기 위해 반드시 검출되어야 할 부분이다. 이를 위한 직류전압검출은 과거에는 아날로그 디바이스사의 AD210AN을 많이 사용하였으나 본 연구에서는 이보다 가격이 저렴한 HP사의 HP7800을 사용하여 실제 DC-link 전압을 기준치와 비교할 수 있도록 일정 범위의 비교전압으로 만들어 주는 역할로 사용하고 있으며, OP앰프로 구성된 차동증폭기와 PI제어기를 사용하여 제어를 실시하였다.

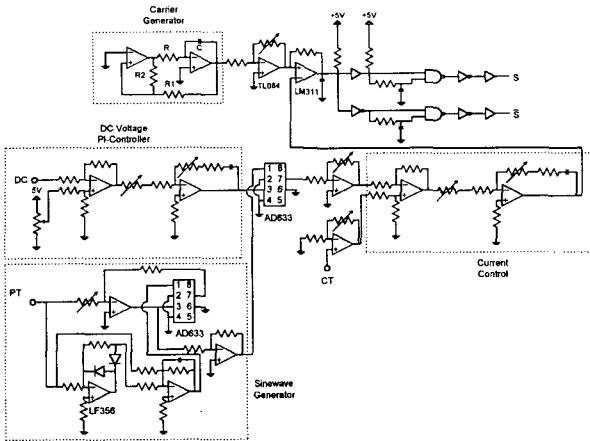


그림 10. 아날로그 제어회로도  
Fig. 10. Circuit diagram for analog controller

전류제어부는 인버터가 선로의 고조파 전류에 대해 보상해야 할 전류를 생성하기 위한 부분으로, 선로의 전류를 검출하고 이를 기준신호와 비교하여 이들의 차를 구함으로써 얻을 수 있다. 삼각파 발생부는 전류제어부를 통하여 얻은 전류신호를 스위칭소자가 스위칭하는데 필요한 구형파의 PWM신호로 변환하기 위하여 사용하였다. 삼각파를 발생하기 위해 슈미트회로와 적분회로를 조합하여 구성하였으며, 스위칭주파수는 저항값을 적절히 조절함으로써 원하는 주파수를 얻을 수 있는데, 이는 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$f_0 = \frac{1}{4RC} \left( \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (2)$$

데드타임부는 인버터의 스위칭시 회로의 단락을 방지하기 위하여 전압형 인버터에서는 반드시 사용되어야 할 부분이다. 이를 위해 컴퍼레이터를 통해 생성된 구형파의 신호에 RC시정수를 두어 두 신호를 AND시킴으로써 데드타임을 주었다. 본 실험에서는 약 4μ[sec]의 데드타임을 두었다. 시스템에 이상이 발생하였을 경우 스위칭이 제대로 되지 않을 수 있기 때문에 보호할 수 있도록 평상시 Low Active상태에서 이상이 발생하였을 경우 스위칭을 끊어주는 역할을 하도록 설계하였다.

비선형부하로는 1kVA 용량의 단상전파 다이오드정류기에 RC 병렬부하를 연결하여 사용하였다. 선형 부하로는 1.5kVA 용량의 저항과 리액터를 부하단에 병렬로 연결하여 가정용에 쓰이는 부하들의 조건에 맞추어 실험하였다. 예를 들어 TV, 전자렌지, 진공청소기 등에는 고조파 전류의 함유율이 높아 왜형전력이 크게 나타난다. 그리고 전기밥솥, 냉장고, 식기건조기, 토스터, 커피메이커 등은 비교적 사용전력량이 높은 반면에 무효전력은 거의 발생하지 않는다. 이러한 점을 고려하여 수용가의 상황에 맞도록 하기 위해 비선형부하와 더불어 선형부하를 가변하여 실험하였다.

실험은 다이오드정류기로 구성된 비선형부하를 전압이 110[V]인 단상전원에 연결하고 능동전력필터를 이와 병렬로 연결하여 실시하였으며 실제 선로 모형과 유사하게 하드웨어 프로토타입을 구성하여 제작 실험하였다. 표 3은 실험에

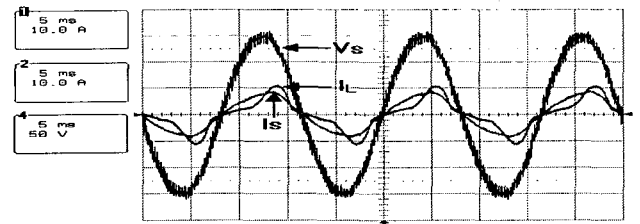
사용된 회로 정수이다.

표 3. 하드웨어 실험 회로 정수

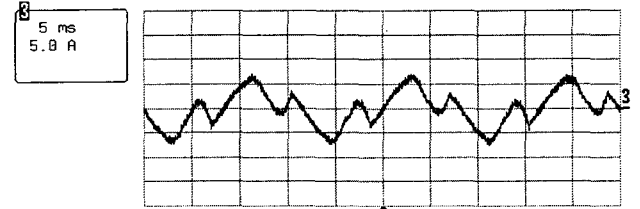
Table 3. Circuit parameters of hardware model

파라미터	파라미터 값
전원전압	110[V], 60[Hz]
비선형부하	C=6800[μF], R=50[Ω]
선형부하	R=20[Ω], 50[Ω], L=10[mH]
직류커패시터	C=1020[μF]×2
필터리액터	4[mH]
스위칭주파수	8[KHz]
전원임피던스	L=3[mH]

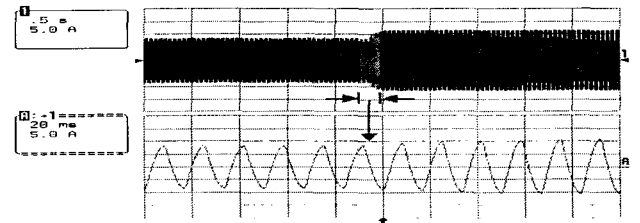
실험은 부하저항이 50[Ω]인 상태에서 능동전력필터를 투입하여 실시하였으며, 또한 선형부하를 50[Ω]에서 20[Ω]로 가변 하여 실험을 실시하였다. 그림 11은 실험결과를 나타낸 것으로서 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션과 유사하게 됨을 확인할 수 있다.



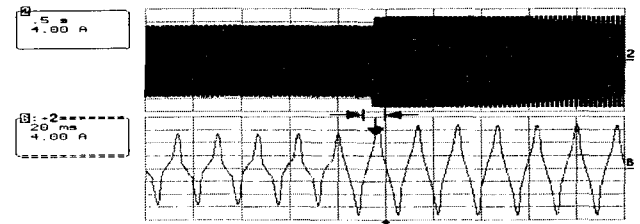
(a) 전원전압 Vs, 전원전류 Is, 부하전류 IL



(b) 보상전류 Ic



(c) 선형 부하 변동 시(50[Ω]→20[Ω]) 전원전류



(d) 선형 부하 변동 시(50[Ω]→20[Ω]) 부하전류

그림 11. 실험결과 파형

Fig. 11. Experimentation results

그림 11의 (a)는 전원전압, 전원전류, 부하전류를 확대하여 나타낸 그림이다. 시뮬레이션에서와 같이 전원전류가 고조파성분을 제거하고 정현파의 형태로 보상됨을 볼 수 있으며, 전원전압과 동상의 형태로 무효성분까지 보상됨을 알 수 있다. 그림 11의 (b)는 이때의 보상전류 파형을 나타낸 것이다. 그림 11의(c)는 선형부하를 50[W]에서 20[W]으로 변동시의 전원전류의 파형이다. 보상이 원활하게 이루어짐을 확인할 수 있다. 그림 11의 (d)는 선형부하의 변동 시의 부하전류의 파형으로써 다이오드 정류기의 비선형 전류의 파형과 선형부하의 정현파와 합으로 이루어진 형태임을 확인할 수 있다. 부하 변동은 가정용 기기가 수시로 ON/OFF를 하기 때문에 이를 고려하여 선형 부하를 가변 한 것이다. 선형 부하 가변 시에도 제어기의 응답특성이 빠르게 이루어짐을 알 수 있다. 이상의 결과는 앞의 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 확인할 수 있다.

7. 결 론

본 연구에서는 가전기기마다 개개로 전력품질보상장치를 부착하는 것과는 달리, 수용가 급전인입구에 설치하여 주택 전체를 보상하는 전력품질보상장치를 제안하였다.

제안하는 전력품질보상장치의 동작특성을 분석하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어에 의한 다양한 시뮬레이션을 실시하였으며 하드웨어구현 타당성을 검토하기 위해 시작품을 설계 및 제작하여 실험실에서 다양한 실험을 통해 향후 제품개발의 가능성을 확인하였다. 제안하는 전력품질보상장치는 부하의 상태에 따라 능동적으로 부하를 추종하여 보상이 가능하고 에너지절약기능도 갖는다.

제안하는 전력품질보상장치는 전력회로와 제어기의 구조가 간단하여 소형이면서 가격도 저렴하도록 설계하였으며 향후 수용가에 설치가 예상되는 소형분산전원과 연계시켜 에너지저장기능을 보유하면서 부가적으로 UPS의 기능을 갖도록 확장가능하다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지원(과제 번호 R-2003-B-057)에 의하여 기초전력 연구원 주관으로 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] H. Akagi, Y. Kanazawa and A. Nabae, "Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power in Three-Phase Circuits" Int. Conf. Power Electronics, Tokyo, 1983, pp. 1375~1386.  
 [2] Yu Qin, Shanshan Du, "A DSP Based Active Power Filter for Line Interactive UPS", IEEE IECON, pp. 884~888, 1995.  
 [3] L. Malesani, L. Rossetto, and P. Tenti, "Active Filter for reactive power and harmonics compensation", IEEE Power Electron. Spec. Conf. Rec., pp. 321~330,

1986.

[4] F. Harashima, H. Inaba, and K. Tsubio, "A colsed-loop control system for the reduction of reactive power required by electronic converters", IEEE Trans., IECI-23, (2), pp. 162~166, 1976.  
 [5] H. Jou, J. Wu, and H. Chu, "New single-phase active power filter", IEE Proceeding Electric Power Application, vol. 141, no. 3, pp. 129-134, May 1994.  
 [6] 김희중, 한병문, 박용식, "단일전류센서를 갖는 저가의 단상 반브리지 능동전력필터", 전력전자학회 논문지, vol. 4, no. 4, pp. 342-348, 1999.  
 [7] 노대석 외5인, "단상용 통합형 전력품질 개선장치의 개발에 관한 기초연구", 전기학회 논문지, Vol. 52A, No. 2, pp. 90-98, Feb., 2003.

저 자 소 개



전 영 수 (全 永 秀)

1976년 11월 10일생.  
 2003년 명지대 전기공학과 졸업.  
 2005년 명지대 전기공학과 대학원 전기공학과 졸업(석사).  
 현재 LS 산전(주) 중앙연구소 연구원



최 준 영 (崔 俊 英)

1980년 2월 6일생.  
 2005년 명지대 전기공학과 졸업.  
 현재 명지대 전기공학과 대학원 석사과정.



한 병 문 (韓 炳 文)

1953년 7월 5일생.  
 1976년 서울대 전기공학과 졸업.  
 1988년 미 아리조나주립대 대학원 전기공학과 졸업(석사).  
 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박).  
 미 Westinghouse중앙연구소 선임연구원.  
 현재 명지대 전기공학과 교수.



한 후 석 (韓 后 錫)

1958년 10월 24일생.  
 1987년 전북대학교 전기공학과 졸업.  
 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)  
 2000년 동 대학원 의용생체계측공학과 졸업(공박)  
 현재 기초전력연구원 책임연구원