

에너지 절약을 위한 가정용 전력품질보상장치에 관한 특성연구

‘한후석 ‘이상성 ‘‘한병문 ‘전영수
‘기초전력연구소 ‘‘명지대학교

Characteristics on Power Quality Compensator for Home Energy Saving

‘H. S. Han ‘S. S. Lee ‘‘B. M. Han ‘Y. S. Jon
‘EESRI ‘‘Myongji University

Abstract - 본 논문에서는 부하의 상태에 따라 능동적으로 추종 및 보상기능을 갖으며, 에너지절약기능 및 고품질을 유지할 수 있는 소형이면서 가격도 저렴한 전력품질보상장치의 Prototype을 구성하고자 한다. 최근 일반 주택이나 사무실내에 반도체소자 및 전력전자기기의 사용이 급증하면서 이들 기기에서 발생하는 고조파 및 무효전력량이 증가하여 주위의 환경과 전기적 손실이 심각한 문제를 발생한다. 이런 상황 하에서 전력품질에 민감한 부하들이 급증하고 부하의 민감도에 따라 다양한 전력품질을 요구하는 장치가 점점 필요로 하게 되었다. 지금까지 국내·외적으로 이런 문제를 보상하는 소형보상장치는 가전기기 즉 세탁기 냉장고등 각기 개개로 부착하고 있는 것들은 어느 정도 개발되어 사용되고 있으나, 가정용도로 사용하기 위하여 주택전체를 보상하는 기기는 개발이 되어있지 않은 상태에 있다. 따라서 현재까지 국내·외적으로 개발되어온 기기들은 가정용 소형 전력품질의 모니터링 수준이라고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 기기의 최 말단 즉, 기기자체에 부착하여 사용하는 단순형 보상형태를 확장시켜 소형이면서 에너지 절약이 가능한 가정용으로 적합한 능동 추종형 전력품질 보상장치의 기술에 대한 연구를 하는 것이 목적이다.

1. 서 론

최근 전력전자기기의 사용이 급증하면서 이들 기기에서 발생하는 고조파전류가 심각한 문제로 대두되어 있다. 이들 고조파전류는 배전계통의 전압파형을 왜곡시켜 변전소의 변압기를 과열시키고 연계된 다부하에 악영향을 주며 인접한 통신선로에는 자기유도에 의한 장애를 유발한다. 능동전력필터는 이들 전류고조파를 제거하는 동시에 무효전력을 보상하는 장비로 많은 연구자에 의해 개발되어 왔다[1-4].

더욱이 일반 주택이나 사무실내에 반도체소자 및 전력전자기기의 사용이 급증하면서 이들 기기에서 발생하는 고조파 및 무효전력량이 증가하여 주위의 환경과 전기적 손실이 심각한 문제를 발생한다. 이런 상황 하에서 전력 품질에 민감한 부하들이 급증하고 부하의 민감도에 따라

다양한 전력품질을 요구하는 장치가 점점 필요로 하게 되었다.

이를 보상하는 장치중의 한 종류인, 능동전력필터는 비선형부하와 병렬로 전류되어 비선형부하에서 요구되는 고조파전류를 공급하여 전원 단에서는 전원전압과 동상인 정현파 성분만 공급하도록 하여 전원측의 고조파 오염을 방지하는 전력전자기기이다. 능동전력필터가 고조파성분의 전류만 공급하기 위해 통상 사용하는 제어방식은 부하측의 전류를 측정하여 기본파성분을 제거하고 고조파성분만 추출하여 이를 기준신호로 능동전력필터의 출력전류를 이에 추종시키는 것이다.

따라서 단상능동전력필터의 경우 2개의 전류센서를 필요로 하며 능동전력필터의 손실을 보상하기 위해 전압센서로 직류링크전압을 측정하여 일정 기준치에 추종시키는 것이 필요하다[5-7].

이상 설명한 방식과는 달리 하나의 전류센서로 전원측 전류를 측정하고 두개의 전압센서를 이용하여 직류링크 전압과 연계점의 교류전압을 측정하여 능동전력필터의 출력전류를 제어하는 소용량의 보상장치를 개발하고자 한다.

지금까지 국내·외적으로 이런 문제를 보상하는 소형 보상장치는 가전기기마다 개개로 부착하고 있는 것들은 어느 정도 개발되어 있으나, 가정용도로 하여 주택전체를 보상하는 기기는 개발이 되어있지 않은 상태에 있다. 따라서 현재까지 국내·외적으로 개발되어온 기기들은 가정용 소형 전력품질의 모니터링 수준이고 기기의 최 말단 즉, 기기자체에 단순형 보상형태이다.

본 논문에서는 부하의 상태에 따라 능동적으로 추종하여 보상기능을 갖도록 하여 에너지절약기능 및 고품질을 유지할 수 있는 소형이면서 가격도 저렴한 전력품질보상 장치의 Prototype을 개발하고자 한다.

2. 본 론

2.1 가정용 소형 전력품질보상장치의 구성

본 연구에서는 부하의 상태에 따라 능동적으로 추종하여 보상기능을 갖도록 하여 에너지절약기능 및 고품질

을 유지할 수 있는 소형이면서 가격도 저렴한 전력품질 보상장치를 개발하고자 한다. 우선 개발의 목표는 능동형 주입식 필터형태로 구성하여 보상장치를 구성할 것이다.

이런 상황 하에서 전력품질에 민감한 부하들이 급증하고 부하의 민감도에 따라 다양한 전력품질을 요구하는 장치가 점점 필요로 하게 되었다. 지금까지 국내외적으로 이런 문제를 보상하는 소형보상장치는 가전기기 마다 개개로 부착하고 있는 것들은 어느 정도 개발되어 있으나, 가정용으로 하여 주택전체를 보상하는 기기는 개발이 되어있지 않은 상태에 있다.

현재까지 개발되어온 기기들은 가정용 소형 전력품질의 모니터링 수준이고 기기의 최 말단 즉, 기기 자체에 단순형 보상형태이다. 이번 연구의 목적은 이런 기능상의 취약점을 보완하고 가정용 인입구에 적당한 장치를 개발하는 것이다.

2.2 가정용 소형 전력품질보상장치의 구성

그림1은 가정용 소형 전력품질보상장치의 구성도이다. 선로구성은 옥외의 주상변압기에서 22,900V/220V로 강압된 전압이 주택의 전력량계를 거쳐 분전반에서 전력을 분산하여 옥내의 각 콘센트로 분배되는 방식이다.

여기서 보상기의 설치점은 차단기(MCCB, ELB)를 지난 후 적당한 여분의 공간에 설치하는 것이다. 그리고 분전반 아래에 위치한 연계시스템은 소형 분산전원용 단자이다. 여기에 접속할 발전원은 도시가스를 이용한 소형 가스터빈, 태양전지, 연료전지이외의 최근 개발중인 바이오매스발전시스템과 연계가 가능하게 할 수 있다. 또한 축전지기능을 구비하면 무정전전원장치(UPS)로서도 사용이 가능하게 설계할 수 있다.

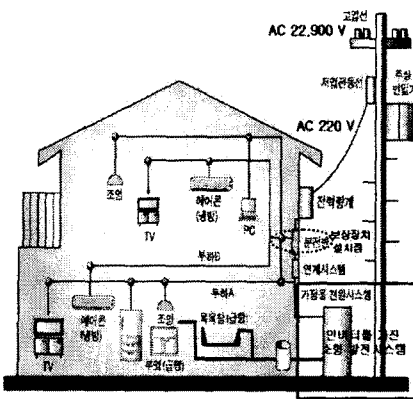


그림 1. 가정용 전력품질보상장치의 개념도
* 위 그림은 KEPRI Journal(2002 겨울호)에서 인용한 것임.

2.3 소형 단상능동필터의 원리

그림2는 일반적으로 사용 되어온 기존의 단상능동필터의 구성이다. 이 그림에서 능동전력필터는 비선형 부하에서 요구되는 고조파전류 $i_c(t)$ 를 공급하여 전원전류 $i_s(t)$ 는 정현에 가까운 파형을 갖도록 하는 것이다. 그림 2에서 보인바와 같이 전원 측에서 공급하는 전류 $i_s(t)$ 는 비선형부하 때문에 고조파를 함유 하게 된다. 전원측 전류는 다음과 같이 기본파와 고조파의 합으로 구성된다.

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

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

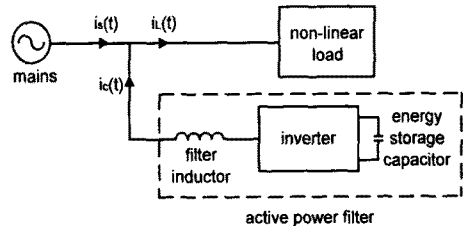


그림 2. 일반적인 능동필터보상기의 구성도

그림 3은 연구에서 제안하는 새로운 소형 능동전력필터의 구조와 제어블럭 다이어그램을 나타낸 것이다.

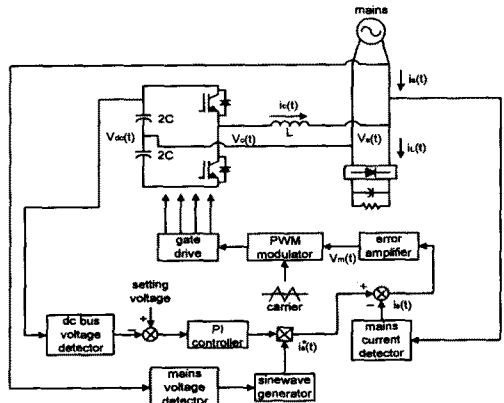


그림 3. 새로운 소형 단상능동필터

본 연구에서 제안하는 방식은 하드웨어 비용이 낮고 제어방식이 간편한 새로운 단상능동필터인 전력품질보상장치를 가정용에 적합하도록 소형으로 구성하고자 한다.

앞에서 동작원리를 설명한 단상 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 단상 능동전력필터의 경우 소용량으로 부하와 근접한 위치에 설치되고 높은 신뢰도와 낮은 하드웨어비용이 요구된다.

본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 하드웨어비용이 낮고 제어방식이 간편한 새로운 단상 능동전력필터를 설계하고자 한다.

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.

2.4 시뮬레이션 모형과 결과

제안하는 능동전력필터의 동작과 성능을 분석하기 위해 EMTDC/PSCAD를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 그림 4는 본 연구에서 고려한 EMTDC/PSCAD 시뮬레이션 모형을 나타낸 것으로 시뮬레이션에 사용된 정수들은 표 1에 나타내었다.

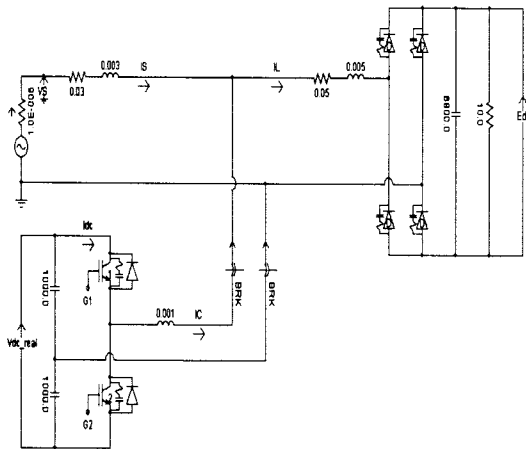


그림 4. EMTDC 시뮬레이션 모형

시뮬레이션은 다이오드정류기로 구성된 비선형부하를 전압이 110[V]인 단상전원에 연결하고 능동전력필터를 이와 병렬로 연결하여 실시하였다. 정류기와 결합된 변압기와 선로를 모형화하기 위해 적절한 임피던스 값으로 이를 표시하여 일정부하에서의 동작을 실시하였다.

표 1. 시뮬레이션모형의 회로정수

파라미터	파라미터 값
Source voltage	110[V], 60[Hz]
Load	C=6800[μF], R=10[Ω]
DC link	C=1000[μF]×2
Filter L	1[mH]
Switching frequency	10[KHz]
Source inductance	R=0.03[Ω], L=3[mH]
AC line connection inductance	R=0.05[Ω], L=5[mH]

그림 5는 시뮬레이션에서 사용된 제어기를 보여주며 이 제어기는 앞에서 설명한 능동전력필터의 제어기와 유사하게 구성하였다. 제어기의 전반적인 동작순서는 같으며 제어기 안에 포함된 세부적인 이득 값이나 기준치들은 표 2에 나타내었다.

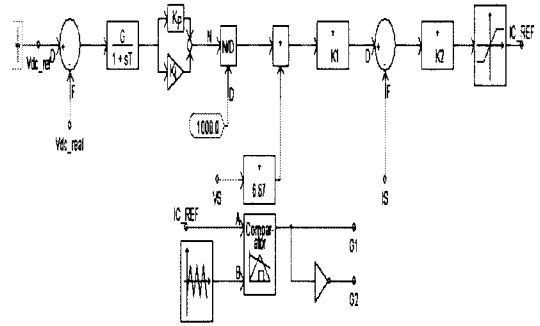
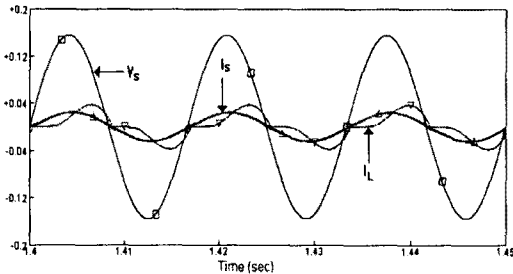


그림 5. EMTDC 시뮬레이션 제어기

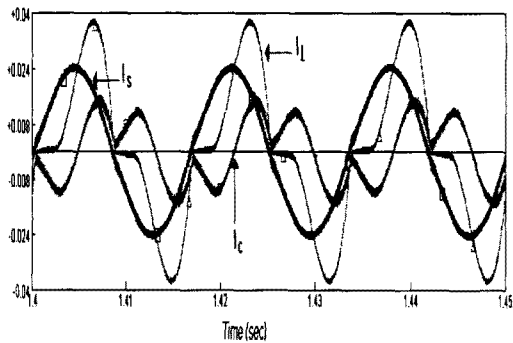
표 2. 시뮬레이션 제어기의 정수

파라미터	파라미터 값
Vdc reference	450[V]
Kp	100
Ki	700
K1	1/120
K2	-40

시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 능동전력필터는 적절히 동작함을 확인할 수 있었다. 또한 고정부하에서 뿐만 아니라 부하변동 시에도 우수한 성능을 나타내는 것을 검증할 수 있었다. 특히 각각의 경우 직류단 전압이 안정적으로 일정한 값을 유지함을 확인할 수 있었다.



(a) 전원전압 V_s , 전원전류 I_s , 부하전류 I_L



(b) 전원전류 I_s , 부하전류 I_L , 보상전류 I_c

그림 6. 시뮬레이션 결과

그림 6(a)는 정류기의 부하가 10[A]일 때 전원전압, 전원전류, 부하전류를 확대하여 나타낸 것이다. 능동전력필터에서 공급되는 보상전류가 부하에서 발생하는 고조파를 제거하여 전원전류에는 고조파성분이 제거된 정현파에 가까운 파형이 되고 전원전압과 동상이 됨을 확인할 수 있다. 그림 6(b)는 전원전류, 부하전류, 보상전류의 파형을 나타낸 것이다. 전원전류는 부하전류와 보상전류의 합으로 되어 있음을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 에너지 절약을 위한 가정용 소형 전력품질보상장치를 설계하는 것이 목적이었다. 제안된 보상장치는 부하의 상태에 따라 능동적으로 부하를 추종하여 보상기능을 갖도록 하여 에너지절약기능 및 고품질을 유

지할 수 있는 소형이면서 가격도 저렴한 소형 전력품질보상장치의 Prototype을 설계하였다. 국내·외적으로 이런 문제를 보상하는 소형보상장치는 가전기기마다 개개로 부착하고 있는 것들과는 달리, 제안된 보상장치는 가정용도로 하여 주택전체를 보상하는 기기에 초점을 맞추었다. 이 기능에 덧붙여 소형 분산전원과 연계시켜 에너지 저장장치의 기능을 유지하면서 부가적인 UPS의 기능을 가지도록 확장시키는 것이 가능할 것이다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여
기초전력공학공동연구소 주관으로 수행된 과제임

[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.