

단상 능동전력필터의 새로운 제어방식

한 병문\*, 김희중\*\*, 박덕희\*, 소용철\*\*

\*명지대학교 전기공학과, \*\*생산기술연구원

New Control System for Single-Phase Active Power Filter

Byung-Moon Han\*, Hee-Joong Kim\*\*, Duk-Hee Park\*, Yong-Cheol Soh\*\*

\*Myung-Ji University, \*\*KITECH

**Abstract** - A simplified control method for the single-phase active power filter is proposed. This method has the advantages of using only one current sensor, a simple control circuit and low implementation cost. A model of this method is derived. A prototype is also developed to demonstrate the performance of this method. The test results show that the proposed active power filter has the expected performance.

1. 서 론

최근 비선형특성을 가지고 있는 전력전자기들의 사용이 급격히 증가하고 있다. 이들 전력전자기들은 고조파전류의 발생원으로 배전계통의 전압파형을 왜곡시켜 변전소의 변압기를 과열시키고 연계된 타부하에 악영향을 주며 인접한 통신선로에 자기유도에 의한 장애를 유발한다. 이러한 이유로 능동전력필터는 동시에 전류고조파를 억제하고 무효전력을 보상하는 장비로 최근에 발전되어왔다.

능동전력필터는 에너지 저장요소에 따라 크게 전압원과 전류원으로 나누어 질 수 있으며, 제어모드에 따라서는 전압모드제어와 전류모드제어로 나누어 질 수 있는데 일반적으로 전압원방식의 전류모드제어가 널리 사용된다.

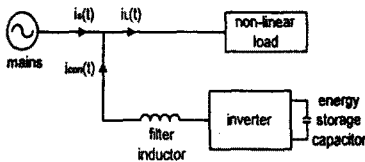


그림 1. 전류모드 능동전력필터

그림 1은 전류모드 능동전력필터를 보여준다. 이 구성은 간단하고 응답시간 또한 빠르기 때문에 일반적으로 많이 사용하는 형태이다. 그러나 이러한 형태의

단상 능동전력필터를 제어하기 위해서는 전원전압, DC모선전압, 인버터 출력전류, 부하전류를 각각 검출하기 위해 두 개의 전압센서와 적어도 두 개의 전류센서를 필요로 한다. 그렇기 때문에 설치비용의 증대문제와 제어의 복잡성을 초래하게된다. 실적을 위해서는 좀 더 낮은 비용과 높은 신뢰도가 기대된다.

본 논문에서는 삼각과 비교방식을 이용한 단상 능동전력필터를 제안하였다. 제안된 능동전력필터는 전원전압, DC모선전압 그리고 전원전류를 각각 검출하기 위해 두 개의 전압센서와 단지 하나의 전류센서를 사용하였다. 제어회로 또한 기존의 능동전력필터 알고리즘보다 훨씬 간단하다.

2. 본 론

2.1 제안된 능동전력필터

능동전력필터의 기대되는 동작은 정현파로 전원전류를 유지하는 것과 전원전압과 동기 하는 것이다. 제안된 방법의 두드러진 점은 부하특성에 관계없이 이 전 동작으로 전원전류를 강제로 수행하게 하는 것이다. 이 방법과 다른 방법들의 차이점은 계산결과가 제안된 방법에서는 전원전류이고 기존의 방법에서는 인버터 출력전류(보상전류)라는 것이다. 제안된 방법에서 전원전류의 크기는 전원, 전력변환기, 부하의 전력평형을 좌우한다. 전압원 인버터를 위해 전력변환기의 DC모선에 위치한 DC캐패시터는 전압조정을 위한 에너지 저장요소로서 사용된다. 정상상태에서 전원으로 부터 공급된 전력은 부하에 의해 요구된 유효전력과 같아야하며, 무손실 능동전력필터를 위해 어떤 유효전력도 전력 변환기를 통해 통과하지 않는다.

2.2 제어기의 수학적 해석

제안된 방법에서 제어목적은 전원전류이다. 실제 전원전류는 요구되는 보상기능을 수행하기 위해 검출되어야하고 기준전원전류에서 감산되어 에러증폭기로 보내어진다. 에러증폭기의 출력은 PWM 변조기의 변조 신호  $v_m(t)$ 이다. 이는 다음 식으로 표현된다.

$$v_m(t) = K(i_r^*(t) - i_s(t)) \tag{1}$$

여기서, K는 여러종족기의 이득이다.

순시 컨버터 출력전압  $v_{con}(t)$ 과 PWM 변조방법에서 변조 신호  $v_m(t)$ 사이의 관계를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{v_{con}(t)}{v_m(t)} = \frac{V_c}{V_{tri}} \quad (2)$$

여기서,  $V_c$ 는 DC 캐패시터 전압이고  $V_{tri}$ 는 삼각파의 피크 값이다.

컨버터 출력전류는 다음과 같다.

$$i_{con}(t) = \frac{1}{L} \int_0^t (v_{con}(t) - v_s(t)) dt \quad (3)$$

여기서, L은 필터인덕터이다.

$I_s(s)$ 와  $I_c^*(s)$ 의 전달함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{I_c(s)}{I_c^*(s)} = \frac{-KV_c/V_{tri}L}{s - (KV_c/V_{tri}L)} \quad (4)$$

이 때, 전력변환기가 손실이 없다면, 전원은 부하에 요구되는 유효전력을 공급하고 전력변환기는 정상상태에서 부하의 무효전력을 공급한다. 전력변환기로부터 공급되는 무효전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{p}_c(t) = \sum_{n=1}^{\infty} P_n \cos(n\omega t + \phi_n) \quad (5)$$

### 2.3 제어 블록 다이어그램

그림 2는 제안된 능동전력필터의 구조와 제어블록 다이어그램을 보여준다. 여기서 3개의 신호-전원전압, DC모선전압, 전원전류-가 제안된 능동전력필터에서 검출된다. 전원전압의 신호는 일정한 크기와 전원전압과 동기된 기준 정현파를 발생하기 위해 사용된다. DC모선전압은 전력평형의 정보를 제공하는데 사용된다. 실제 전원전류의 신호는 전원전류의 파형과 위상 정보를 제공한다. 검출된 DC모선전압은 설정된 전압과 비교된다. 비교된 결과는 전원전류가 요구하는 크기를 발생하기 위해 P-I제어기로 들어간다. P-I제어기의 출력과 기준 정현파는 요구하는 전원전류  $i_c^*(t)$ 를 발생하기 위해 아날로그 곱셈기로 이동한다. 전원전류가 정현파이면서 전원전압과 동상이 되기 위해서, 요구하는 전원전류와 검출된 실제 전원전류는 전력변환기의 스위칭 신호를 발생하기 위해 PWM발생기로 들어간다. 단지 하나의 전류센서가 이러한 이유로 인해 사용되고, 제어회로는 간단해진다.

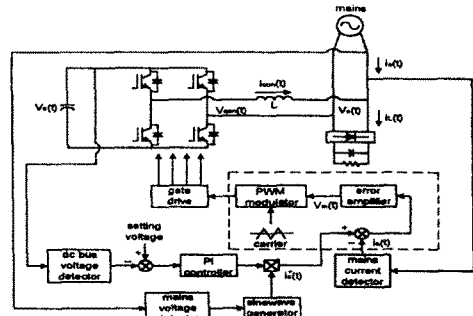


그림 2. 능동전력필터의 구조와 블록도

### 2.4 시뮬레이션 모형 및 결과

고안된 제어기의 성능평가와 능동전력필터의 특성을 분석하기 위해서 그림 3의 EMTF시뮬레이션 모형이 설정되었다. 제안된 능동전력필터는 모선에 병렬로 연결되어 있다.

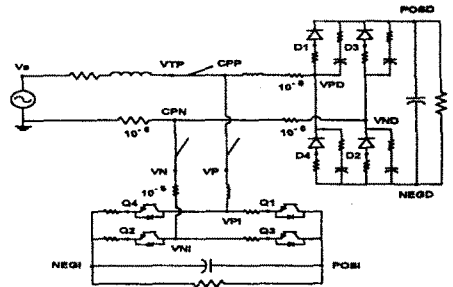


그림 3. 시뮬레이션 모형

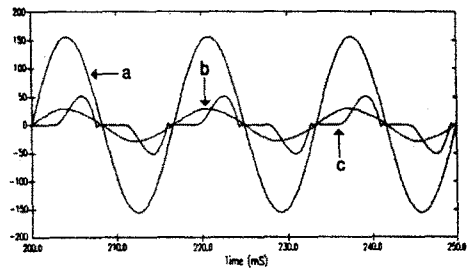


그림 4. 시뮬레이션결과 파형

- a. 전원전압 파형
- b. 전원전류 파형
- c. 부하전류 파형

그림 4는 능동전력필터가 계통에 투입된 후의 파형을 나타낸 것이다. 전원전류가 거의 정현파에 가깝고

전원전압과 동상을 이루고 있음을 확인할 수 있다.

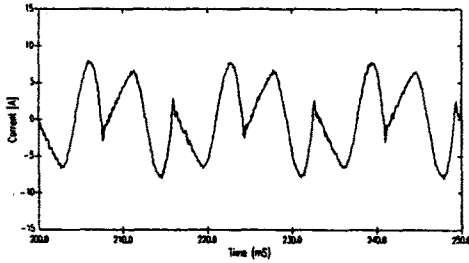


그림 5. 보상전류파형

그림 5는 능동전력필터가 고조파 전류를 억제하고 무효전력을 보상하기해서 계통에 주입되는 보상전류 파형을 나타낸다.

### 2.5 프로토타입 제작 및 실험

제안된 능동전력필터의 동작을 검증하기 위해, 단상 프로토타입이 개발되었고, 110V의 전원에서 실험을 실시하였다. 인버터의 스위칭소자로는 듀얼구조의 IGBT를 이용하였으며, 출력 파형은 PWM방식으로 동작한다. 이때, 스위칭 주파수는 5KHz이다. 제어기는 아날로그제어기를 제작하여 실험을 하였다. 또한, 비선형 부하를 위해 단상전과정류기를 포함한 2KVA RC부하를 사용하였다. 이는 전형적인 비선형부하이다.

그림 6은 제안된 능동전력필터의 실험결과를 보여준다. 보상후의 전원전류가 거의 정현파에 가까움을 보여주고 있으며, 전원전압과 동상을 보여준다. 즉, 제안된 능동전력필터는 효과적으로 무효전력을 보상하고 고조파 전류를 억제할 수 있다.

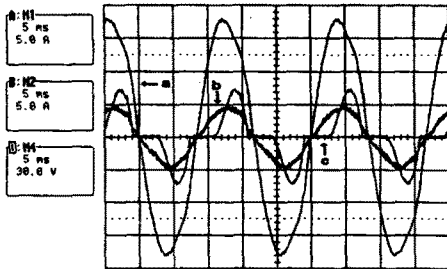


그림 6. 실험결과 파형

- a. 전원전압 파형
- b. 전원전류 파형
- c. 부하전류 파형

그림 7은 능동전력필터에서 계통에 주입되는 보상전류파형을 보여주고 있다. 그림 5의 시뮬레이션에서 확인한 것과 같이 능동전력필터가 효과적인 보상전류

를 내보내고 있음을 확인할 수 있다.

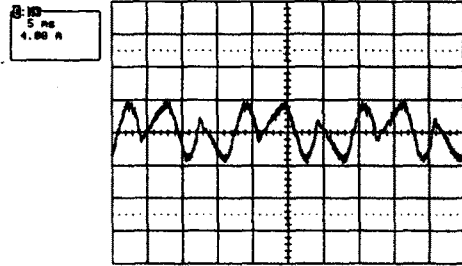


그림 7. 보상전류파형

### 3. 결 론

컴퓨터, 자동화설비, 통신장비의 직류전원은 교류전력을 공급하는 배전계통에 고조파오염을 초래한다. 최근 이들장비의 사용이 급증하면서 고조파오염은 더욱 심각한 상황이다. 따라서 각국은 고조파관련규정을 점점 강화하고 그 해결책으로 효과적인 능동전력필터의 개발에 치중하고 있다. 본 논문에서는 단상능동전력필터의 새로운 제어방식을 제안하고 그 성능을 시뮬레이션으로 확인하였다. 또한 프로토타입을 제작하고 실험을 수행한 후 그 결과를 시뮬레이션 결과와 비교분석하여 제안하는 제어방식의 우수성을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 제어방식은 기존방식과 비교하여 회로의 구성이 간단한 장점을 갖는다. 따라서 제안하는 제어방식을 채택한 단상능동전력필터는 시스템의 규모가 적고 가격이 저렴하며 성능이 우수할 것으로 판단된다.

### [참고 문헌]

- [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] Seung-Gi Jeong, Myoung-Ho Woo, "DSP Based Active Filter with Predictive Current Control", IEEE IECON, pp. 645~650, 1995.
- [4] Malesani, L., Rossetto, L., and Tenti, P, "Active Filter for reactive power and harmonics compensation", IEEE Power Electron. Spec. Conf. Rec., pp. 321~330, 1986.
- [5] Harashima, F., Inaba, H., and Tsubio, K., "A closed-loop control system for the reduction of reactive power required by electronic converters", IEEE Trans., IECI-23, (2), pp. 162~166, 1976.