

능동 전력 필터의 새로운 제어 방법

유완식*, 김남정*, 조규민**, 인치각***
 특허정*, 유한대학**, 인프라***

A New Control Strategy of The Active Power Filter

Wan-Sik You*, Nam-Jeung Kim*, Kyu-Min Cho**, Chi-Gak In***
 KIPO*, Yuhan College**, INFRA***

Abstract - This paper presents a new control strategy of the active power filter to compensate the fundamental and high order reactive power. Using the proposed control strategy, the calculation of active and reactive power of the load is not required. So the system configurations and the controller can be constructed very simply. To decrease the load of active power filter, the LC passive filter bank can be used without any additional strategy. In this paper, the algorithm of the proposed new control strategy is discussed and the experimental results are shown.

1. 서론

각종 전기전자기기의 사용이 급증함에 따라 주변기기의 오동작 방지 및 인체에 미치는 영향을 억제하기 위하여 기기에서 발생되는 전자파를 줄이기 위한 각종의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 전력선에서 발생하는 고조파는 그 영향을 미치는 범위가 넓으므로 이에 대한 대책이 시급하나 제도적 미비에 따라 실제로 전력선 고조파 발생 저감을 위한 수용가의 노력은 미미하다. 그러나 학계에서는 이미 오래 전부터 능동전력필터에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있으며, 근래에는 각종의 새로운 개념의 순시전력 연산 알고리즘이 소개되고, 능동 전력 필터의 성능향상에 관한 여러 연구가 진행되고 있다. 또한 전력용 스위칭 소자 및 제어용 프로세서들이 상당한 수준에 달해있기 때문에 능동전력필터의 고성능 제어가 용이하며 이에 따라 산업현장의 적용 사례들도 점진적으로 증가해 가고 있다.⁽¹⁻⁵⁾

통상의 경우 전력용 능동 필터를 운전하기 위하여는 무효전력 또는 고조파 전력 발생원인 부하단의 순시 유, 무효전력의 연산이 필요하다. 그리고 그 결과로부터 부하단의 무효전력 또는 고조파전력을 상쇄할 수 있도록 능동전력필터를 운전시키므로 순시 유, 무효전력의 연산은 필수적이며, 이를 구현하기 위하여는 고성능의 프로세서가 소요된다. 또한 전압 전류를 검출하기 위한 센서의 수가 많기 때문에 능동전력필터의 경우 일반적인 인버터에 비하여 그 제어기의 구성에 있어 상당한 비용의 상승이 요구된다. 본 논문에서는 부하단에서 발생하는 기본파 무효전력 및 고조파 무효전력을 모두 보상하는 능동 전력 필터의 새로운 제어 방법을 제안하였다. 제안하는 방법의 경우 부하단의 순시 유, 무효전력의 연산이 필요하지 않기 때문에 제어 알고리즘이 매우 단순하며, 이에 따라 저가의 범용 프로세서를 이용하여 용이하게 제어기가 구성될 수 있다. 또한 소요되는 전류센서의 수도 반감되기 때문에 동일 용량의 인버터 제어기에 비하여 가격 상승 요인이 거의 없다.

본 논문에서는 제안하는 새로운 능동전력필터의 제어 알고리즘을 기술하고 실험결과를 통하여 그 타당성을 입증하고자 한다.

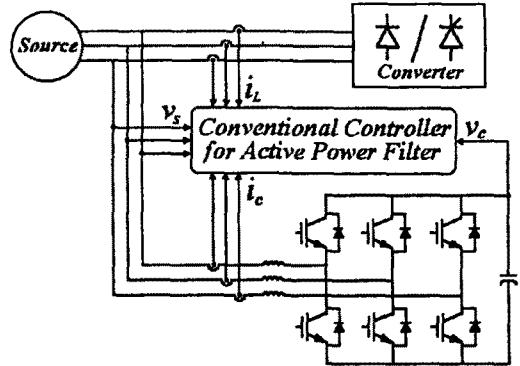


그림 1 일반적인 능동 전력 필터 구성도

2. 본론

그림 1에 3상 병렬형 능동전력필터의 일반적인 구성도를 나타내었다. 근래에는 직렬형 능동전력필터를 적용하는 경우 및 3상 4선식의 중성선 전류도 제어하는 경우도 소개되고 있으며 UPS와의 겸용 및 다기능 전력 변환기로 운전되는 방법들이 제안되고 있으나 본 논문에서는 제안하는 능동전력필터의 기본 개념을 기존 방법과 비교 기술하고자 하므로 간단한 구성의 병렬형 능동전력 필터를 기준으로 하고자 한다. 그러나 본 논문에서 제안하는 제어방법은 전술한 기타의 경우에 있어서도 동일하게 적용될 수 있다.

일반적인 경우에 있어서 능동전력필터의 제어 알고리즘을 간략하게 기술하면 다음과 같다.

먼저, 전원전압 v_s 와 부하전류 i_s 를 검출하고 순시 유, 무효전력 이론에 의하여 부하단의 순시 유효전력 p_L 과 순시 무효전력 q_L 을 산출한다. 이 때 이들 순시 전력들은 각각 기본파분과 고조파분으로 이루어지며 이들을 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$p_L = p_{L1} + p_{Ln} \quad (1)$$

$$q_L = q_{L1} + q_{Ln} \quad (2)$$

따라서 능동전력필터가 보상할 대상, 즉 고조파만 보상하는 경우 또는 고조파 및 무효전력을 모두 보상하는 등, 각 경우에 따라 각각 보상할 유, 무효전력을 도출하고 이와 반대 부호로 정의되는 보상 유, 무효전력 p_c 와 q_c 를 산출하여, 최종적으로 전원전압의 크기에 따라 보상전력을 담당할 보상전류 i_c 를 지령치로 하여 능동전력 필터의 전류 i_c 를 제어하게 된다.

한편, 부하단의 고조파 전력 및 무효전력을 모두 보상

하는 경우에 있어서는 부하단의 평균 유효전력 P_L 만 산출하여 이를 담당할 수 있는 전원 전류의 최댓값 i_{Smax} 을 구하여 검출된 부하전류 i_L 과의 차이를 이용하여 능동전력필터를 운전함과 동시에 직류단의 에너지를 이용하여 일부 전력을 담당하는 다기능 전력공급 장치가 국내 연구진에 의하여 제안된 바도 있다.⁽⁶⁾ 그러나 이러한 방식으로 능동전력필터를 제어하는 경우에 있어도 부하단의 평균 유효전력은 저역통과필터를 사용하여 용이하게 산출할 수 있기는 하지만, 부하단과 능동전력필터단에 각각의 전류센서가 소요된다.

이제 본 논문에서 제안하는 능동전력필터의 제어 알고리즘에 대하여 기술하기로 한다.

부하단의 고조파전력 및 무효전력을 모두 보상하는 경우 전원전류 i_s 는 전원전압 v_s 와 동상인 정현파형이다. 따라서 전원측에서는 일정한 기본파 유효전력 P_S 만 공급하게 된다. 이제 부하단의 평균 유효전력 P_L 이라고 하면 능동전력필터로 유입되는 평균 유효전력 P_C 는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_C = P_S - P_L \quad (3)$$

여기서, 능동전력필터로 유입되는 평균 유효전력은 필터 및 인버터의 손실분을 공급하고, 남은 전력은 직류링크의 커패시터에 충전된다. 능동전력필터의 손실분 유효전력의 크기는 능동전력필터의 운전상태에 따라 변동된다고 하여도, 평균적으로는 식 (4)가 성립한다.

$$\frac{1}{2} C_c V_c^2 \propto P_C \quad (4)$$

여기서, C_c 와 V_c 는 각각 능동전력필터 직류링크의 커패시턴스와 직류링크 전압 v_c 의 평균치이다.

따라서, 직류링크 전압의 평균치가 V_c^* 로 유지되도록

하고 전원측에서는 유효전력만 공급하도록 전원전류 i_s 를 직접 제어하면 능동전력필터로 유입되는 평균유효전력과 부하단의 평균유효전력이 전원측의 유효전력이 되고 부하단에서 발생하는 고조파전력 및 무효전력은 자동적으로 능동전력필터가 보상하게 된다는 것이 본 논문에서 제안하는 능동전력필터의 동작 원리이다. 사실 이는 일반적인 방법에서도 적용되는 개념이다. 그러나 본 논문에서는 전류센서를 전원측에만 두어 전원전류가 최댓값 전원전류 i_s 가 되도록 능동전력필터를 운전하기 때문에 보상전류 i_c 에 대한 연산이 필요 없으며 따라서 검출 또한 필요하지 않게 된다. 그림 2에 제안하는 능동전력필터 시스템의 구성도를 제어 블록도와 함께 나타내었다. 그림으로부터 통상적인 방법에 비하여 매우 단순한 구성임을 알 수 있다. 따라서 저가의 범용 마이크로프로세서로도 구현이 용이하게 된다. 한편 그림 2에 나타내었듯 능동전력필터의 부담을 경감시키기 위하여 부하의 기본파 또는 특정 조파 성분의 무효전력을 보상하기 위한 LC 수동필터가 설치되어 있는 경우에도 그대로 운전이 가능하다. 다만 자동적으로 전류용량만 감소하게 될 뿐이다. 또한, 필요에 따라서는 능동전력필터의 직류링크 전압을 안정된 직류전원으로도 사용이 가능하며 이 경우에도 제어기에는 어떠한 변화도 요구되지 않는다. 다만 소요되는 직류전압이 전체적인 시스템을 안정하게 운전시킬 수 있는 범위의 전압이어야 한다.

그림 2에 나타낸 제어 블록도의 기능에 대하여 기술하면, 전원전압 v_s 를 검출하여 이와 동상인 전원전류의 모델 i_s 를 발생시킨 다음, 기 설정된 능동전력필터의 직류링크 전압 지령치 V_c^* 와 검출된 직류링크 전압 v_c 를 저역통과필터로 거른 직류링크전압의 평균치 V_c 와의 오차에 따라 동작하는 보상기 출력으로 전원전류의 모델 i_s 의 크기를 가감하여 전원전류의 지령치 i_s^* 로하여 검출된 전원전류 i_s 의 전류제어를 행하도록 제어기가 구성된다.

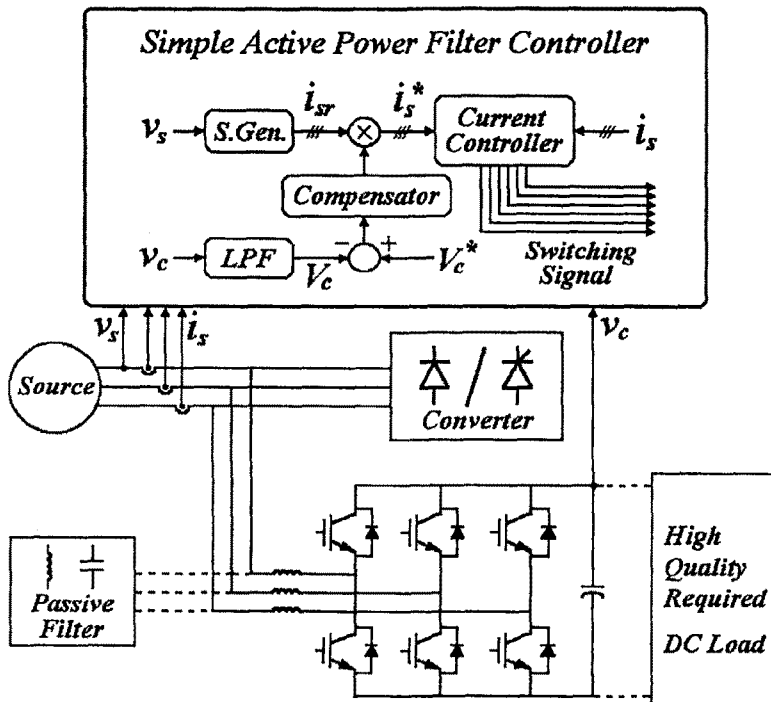


그림 2 제안하는 능동전력필터 시스템 구성도

3. 실험 결과 및 고찰

먼저 실험에 적용한 주요 정수로서, 입력단 전원 선간 전압은 100[V]이고 다이리스터 컨버터 부하단은 필터 인덕턴스 20[mH], 부하저항 25[ohm]이다. 그리고 능동전력필터 입력단 필터 인덕턴스는 3[mH]이며 직류링크 커패시턴스는 250[μ F]이고, 직류링크는 250[V]로 설정하여 스위칭 주파수 15[kHz]로 실험을 수행하였다.

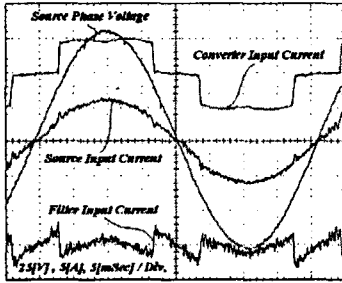


그림 3 위상제어각 0도 시의 각부 전압, 전류 파형

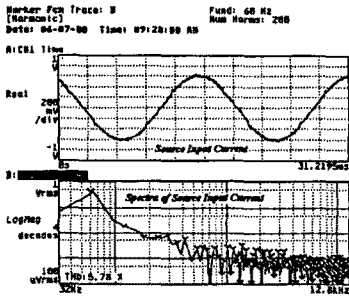


그림 4 그림 3의 전원전류 스펙트럼

그림 3에 다이리스터 컨버터의 위상제어각이 0도 일 때의 컨버터 입력단 전류, 전원 상전압, 전류 및 능동전력필터측으로 유입되는 전류파형을 함께 나타내었다. 여기에서 능동전력필터측으로 유입되는 전류는 인버터에 의하여 직접적으로 제어된 것이 아니고, 전원전류를 직접적으로 제어함에 의하여 자동적으로 인버터측으로 유입되고 있는 전류파형이다. 결국 이와 같은 운전 방식도 인버터 운전 전에 전혀 문제가 발생하지 않음을 확인시켜준다. 성능평가를 위하여 수행된 전원전류의 스펙트럼 분석 결과를 그림 4에 나타내었다. 200조파까지의 고조파 분석결과 5.78%의 THD임을 확인할 수 있다.

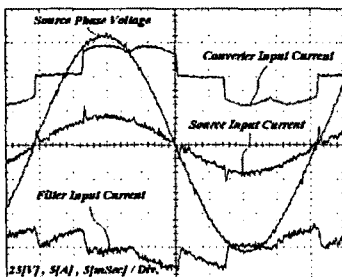


그림 5 위상제어각 30도 시의 각부 전압, 전류 파형

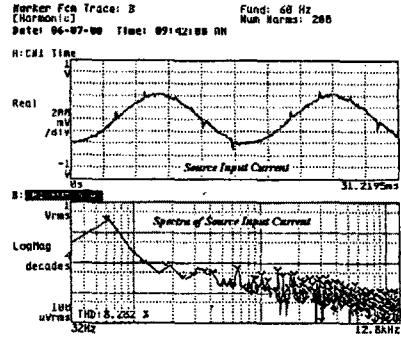


그림 6 그림 3의 전원전류 스펙트럼

그림 5와 그림 6은 다이리스터 컨버터의 위상제어각이 30도 일 때의 각부 파형들 및 고조파 분석결과로 그림 3과 그림 4의 경우와 다름없이 전원전류가 정현파로 잘 제어되고 있음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 부하에서 발생하는 고조파전력 및 무효전력을 모두 보상하도록 능동전력필터를 운전하는 경우에 있어서, 순시 유, 무효전력의 연산이 필요 없는 새로운 능동전력필터의 제어 방법을 제안하고 실험결과를 통하여 제안한 방법의 타당성을 입증하였다. 제안한 방법의 경우 보다 간단한 제어회로로 능동전력필터를 운전할 수 있음과 동시에, 전원측에만 전류센서를 두고 전원전류를 직접적으로 제어하는 방식으로 능동전력필터를 운전하기 때문에 기존방식에 비하여 전류센서의 수량도 반감시킬 수 있는 장점이 있다.

추후 연구과제로는 본 논문에서 제안한 능동전력필터와 연계된 LC 수동필터의 최적 운전방법에 대한 연구와 본 논문에서 제안된 방식의 인버터 운전방식을 다른 분야에도 적용시키는 연구 등이다.

본 논문은 유한대학 학술 연구비 지원에 의하여 수행된 연구결과입니다. 학교 당국 및 연구소 관계자 분들께 감사드립니다.

[참고문헌]

- [1] H. Akagi et al., "Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components", IEEE Trans. on IA, Vol. 20, No. 3, pp. 625-630, 1984.
- [2] H. Akagi et al., "Control Strategy of Active Power Filters Using Multiple Voltage-Source PWM Converter", IEEE Trans. on IA, Vol. 22, No. 6, pp. 460-465, 1986.
- [3] A. Ferrero et al., "A New Approach to the Definition of Power Components in Three-Phase Systems Under Nonsinusoidal Conditions", IEEE Trans. on IM, Vol. 40, pp. 568-577, 1991.
- [4] Feng Zheng Peng et al., "Generalized Instantaneous Reactive Power Theory for Three-Phase Power Systems", IEEE Trans. on IM, Vol. 45, No. 1, pp. 293-297, 1996.
- [5] P. Enjeti et al., "Analysis and Design of A New Active Power Filter to Cancel Neutral Current Harmonics in Three Phase Four Wire Electric Distribution systems", IEEE IAS Conf. Rec., pp.939-946, 1993.
- [6] 김지원 외, "다기능 전력공급 장치 개발", 대한전기학회 추계학술대회논문집, pp. 346-348, 1999.