

전력용 능동 필터의 중성선 전류 저감 기법

민준기, 김효성*, 최재호

충북대학교 전기전자 컴퓨터 공학부, *공주대학교 전기전자공학부

Neutral Line Current Compensation Method of Active Power Filter

Joonki Min, Hyosung Kim*, Jaeho Choi

Chungbuk Natl Univ. Elec. Eng., *Kongju Natl Univ. Cont. & Measur. Eng.

ABSTRACT

This paper proposes a new neutral current reduction method using PQR instantaneous power theory on the active power filter, unbalanced nonlinear load condition in three-phase four-wire systems. For reduction of neutral line current, the single phase active power filter is used and its performance is same with the three-phase four-wire active power filter. For fully-digital implementation, ramp comparison PWM method was adopted. Simulation results verify good performance of the proposed current control strategy on the shunt APFs.

1. 서론

전력전자 기술의 발달에 따라 비선형 부하의 사용이 증가하여 배전망에서 전원품질이 많은 영향을 받고 있다. 가변속 모터 구동, 사이리스터 정류장치, 대용량 무정전 전원장치 등과 같은 3상 비선형 부하들은 전류 고조파 등과 같은 문제를 발생시킨다^[1]. 컴퓨터의 SMPS, 형광등의 전자식 안정기 등과 같은 단상 전력변환기들은 3상 4선식 배전망에 설치될 때, 각상의 부하가 평형을 이루도록 배치하더라도 중성선에 예상치 못한 많은 고조파 전류가 흐르게 되는 문제가 발생한다.^{[2][3]} 그러므로 3상 4선식 배전망에서는 중성선 전류를 보상할 수 있는 구조의 전력용 능동 필터가 요구된다^[4].

본 논문은 PQR 순시 전력 이론^[5]을 적용하여 3상 4선식 배전망에서 비선형 부하 사용 그리고 비선형 부하의 불평형에 의해 발생하는 중성선 전류를 저감할 수 있는 저가의 단상 전력용 능동 필터의 적용 가능성을 분석한다. 디지털 제어기 사용을 용이하게 하기 위해 보상전류의 제어방식은 삼각과 비교 PWM 방식을 채용하였다. 전력용 능동필터의 동작특성에 따른 시간지연을 고려하였다. 중성선 전류에 의해 문제가 발생하는 특수한 몇가지 경우를 가정하고 이에따른 전력용 능동필터의 중성선

전류에 대한 제어특성을 향상시킬 수 있는 제어기 구조와 제어 이득을 선택하였다. PSIM 시뮬레이터를 사용하여 제안된 전력용 능동 필터가 비선형 부하의 불평형에 의하여 발생하는 중성선 전류의 저감 결과와 3상 4선식 전력용 능동필터의 사용에 의한 중성선 전류 저감효과를 비교하여 제안된 저가의 단상 전력용 능동필터의 우수성을 입증하였다.

2. 중성선 전류 저감 APF 시스템

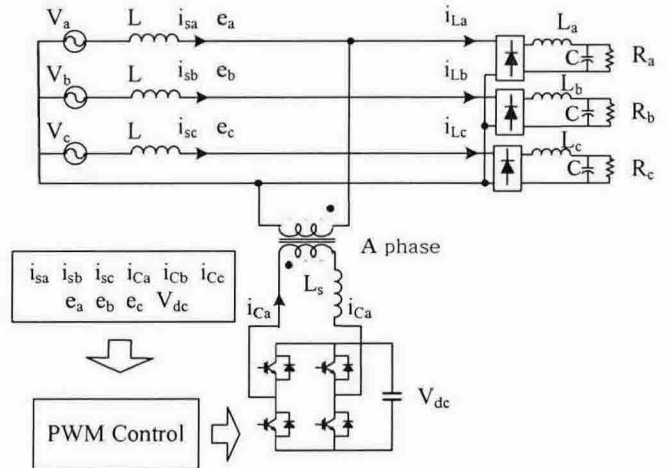


그림 1 중성선 전류 저감 전력용 능동 필터 회로도
Fig. 1 Neutral current reduction active power filter

3상 4선식 전력시스템을 그림 1에서 보이고 있다. 먼저 각 상의 고조파 전류성분에 의해 중성선의 설비용량을 초과하는 중성선 전류에 의해 문제가 발생하고 있는 3상 4선식 전력시스템을 가정한다. 이때 각상의 고조파 전류를 포함하는 전체 전류는 설비용량을 초과하지 않고, 각 상의 전류 고조파에 의한 전원 임피던스에 의한 전압왜곡 등의 다른 문제는 발생하지 않는 것으로 가정한다. 이 문제에 대한 가장 이상적인 해결방법은 3상 4선식 APF를 설치하여 각 상의 고조파 전류를 보상하여 중성선 전류를 저감하는 APF 시스템이다. 저가의

표 1. 시뮬레이션 전압 및 부하 조건
Table 1. Simulation voltage and load conditions

	전압조건	부하 조건
Case I	a상 220[V]	$R_a=3[\Omega], L=2[\text{mH}], C=500[\mu\text{F}]$
	b상 220[V]	$R_b=3[\Omega], L=2[\text{mH}], C=500[\mu\text{F}]$
	c상 220[V]	$R_c=3[\Omega], L=2[\text{mH}], C=500[\mu\text{F}]$
Case II	a상 220[V]	$R_a=3[\Omega], L=2[\text{mH}], C=500[\mu\text{F}]$
	b상 220[V]	$R_b=6[\Omega], L=2[\text{mH}], C=500[\mu\text{F}]$
	c상 220[V]	$R_c=10[\Omega], L=2[\text{mH}], C=500[\mu\text{F}]$

중성선 전류 보상 장치는 그림 1과 같이 전원 전압과 전류, APF 출력전류, APF DC Link 전압을 검출하는 부분과, PQR 전류 제어 기법에 의한 PWM 파형을 만들어내는 프로세서 부분 그리고 H브리지 전력용 스위치부분으로 구성된다.

3. 중성선 전류 보상 결과 비교

그림 1은 3상 4선 전력 시스템에서 중성선 전류 저감 전력용 능동 필터 회로도를 보여주고 있다. 회로에 의해 동작하는 중성선 전류 저감 전력용 능동 필터의 동작 조건은 표1과 같다. 표1에서 Case I은 3상 전원전압 평형 조건에서 비선형 부하의 사용으로 인한 중성선 전류 발생하는 부하조건이고 Case II는 3상 전원전압 평형 조건에서 비선형 부하 불평형에 의해서 중성선 전류가 발생하는 조건이다.

단상 APF를 사용하여 3상 4선식 전력시스템의 중성선 전류를 보상하는 경우 부하 전류가 가장 큰 상을 선택하여 APF를 동작시키고, 전류 지령치에 대한 경우에 따라 시뮬레이션을 실행하였다. 비교를 위해 3상 4선식 APF의 동일 조건에서 각 상의 전류와 중성선 전류를 보상하는 전압, 전류 파형을 그림 2와 3에서 보인다. APF가 설치된 상에서 단상 APF로 동작할 경우는 그림 4와 7과 같다. 발생하는 3고조파 성분을 보상하도록 하는 지령치를 주는 경우는 그림 5와 8과 같다.

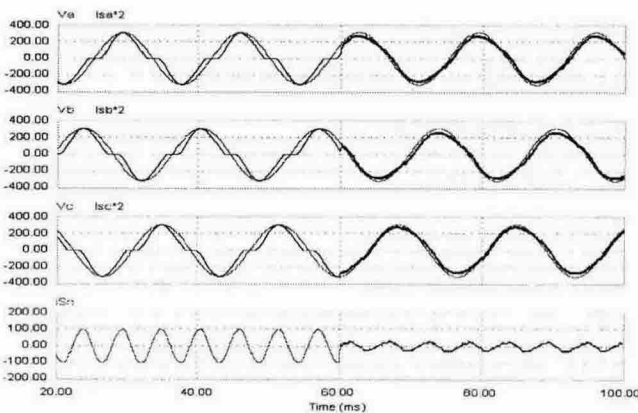


그림 2 Case I에서 3상 APF의 고조파 전류 보상
Fig 2. Harmonic current compensation of three phase APF in Case I

그림 6과 8은 APF가 설치된 a상의 3고조파 전류의 2배 지령치를 준 경우이다. 이 경우 전류 THD의 정의에 의해 a상의 전류THD는 보상전이나 보상후 동일하며 단상 APF로 동작하는 경우보다 2배로 중성선 전류의 저감효과를 보이고 있다. 그러나 Case II의 경우는 부하 불평형에 의한 기본파 성분의 불평형이 보상되고 있지 않다.

4. 결론

3상 4선식 전력시스템에서 단상 APF를 사용하여 중성선 전류 저감하는 방식의 APF 기법을 제안하였다. 중성선 전류 저감 APF의 지령치는 설치된 상의 3고조파 보상 성분의 2배로 하는 경우가 가장 좋은 성능을 가지게 되는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

앞으로의 연구과제는 제안된 시스템을 디지털적으로 구현하여 그 성능을 검증하는 일이다.

이 논문은 한국 과학재단 목적기초연구(R05-2004-000-10228-0) 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] H. Akagi, "New trends in active filters for power conditioning," *IEEE Trans. Industry Applications*, Vol.32, No.6, pp.1312-1322, Nov.-Dec. 1996.
- [2] T.M. Gruz, "A survey of neutral currents in three-phase computer power systems," *IEEE Trans. Industry Applications*, Vol.26, No.4, pp.719-725 July-Aug. 1990.
- [3] R.Arthur, and R.A.Shanahan, "Neutral Current in Three Phase Wye Systems", *ICHQP'96-Lasvegas*, pp.40-47, 1996.
- [4] B.Singh, K.Al-Haddad, and A.Chandra, "A review of active filters for power quality improvement," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, Vol.46, No.5, pp.960-971, Oct. 1999.
- [5] H. Kim, F. Blaabjerg, B. Bak-Jensen, and Jaeho Choi, "Instantaneous power compensation in three-phase systems by using p-q-r theory," *IEEE Trans. Power Electronics*, Vol.17, No.5, pp.701-710, Sept. 2002.

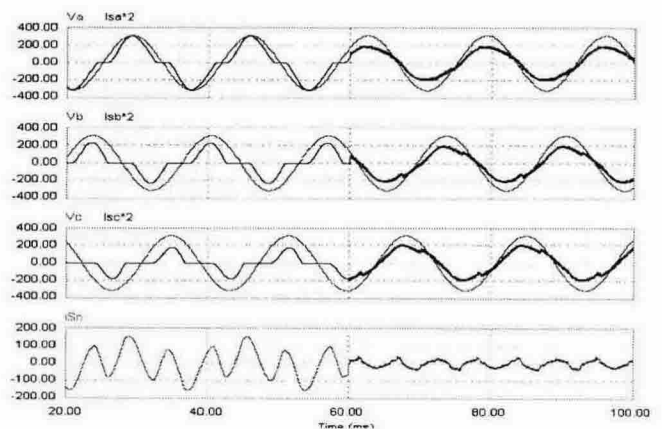


그림 3 Case II에서 3상 APF의 고조파 전류 보상
Fig 3. Harmonic current compensation of three phase APF in Case II

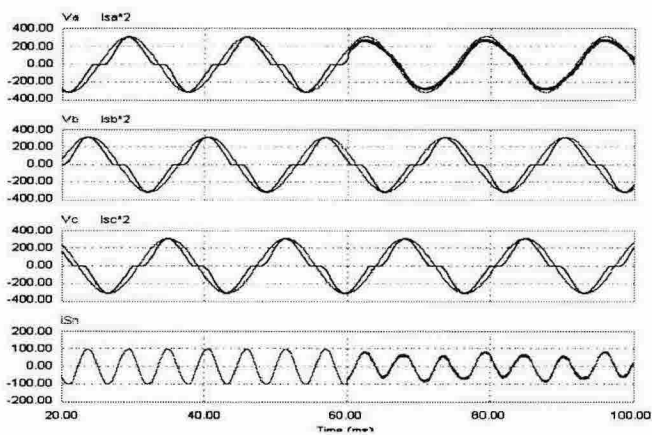


그림 4 Case I에서 단상 APF의 A상 고조파 전류 보상
Fig 4. A phase harmonic current compensation of single phase APF in Case I

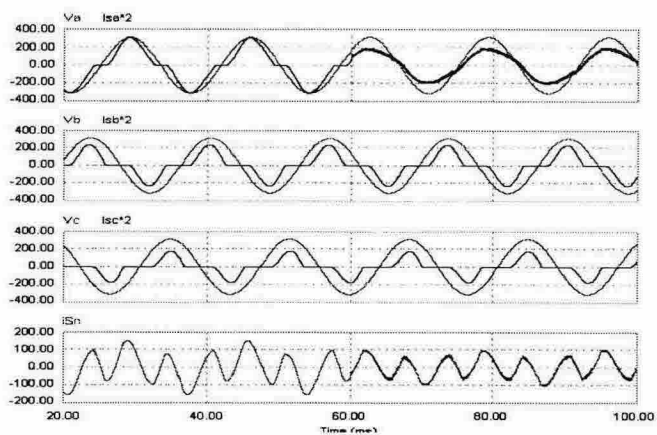


그림 7 Case II에서 단상 APF의 A상 고조파 전류 보상
Fig 7. A phase harmonic current compensation of single phase APF in Case II

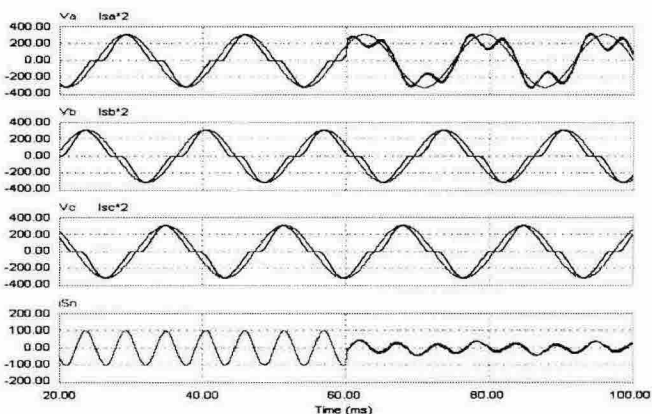


그림 5 Case I에서 3고조파 전류 보상 지령을 가진 단상 APF 동작
Fig 5. Single phase APF with 3rd harmonic current compensation reference in Case I

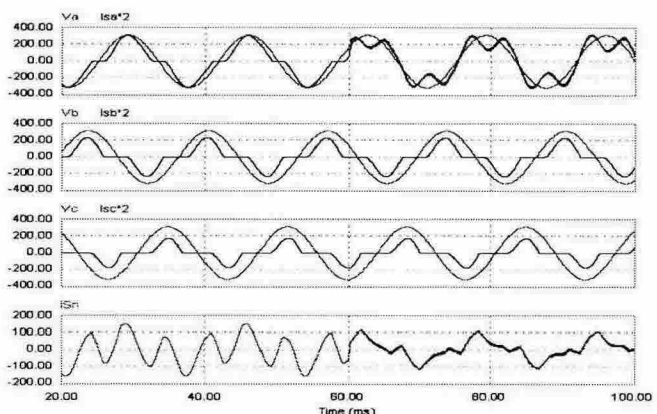


그림 8 Case II에서 3고조파 전류 보상 지령을 가진 단상 APF 동작
Fig 8. Single phase APF with 3rd harmonic current compensation reference in Case II

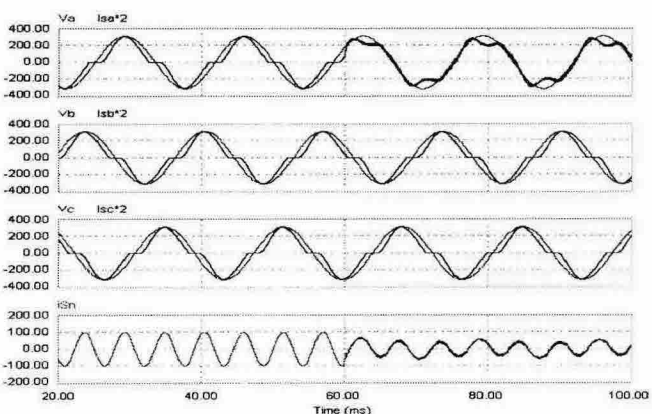


그림 6 Case I에서 a상 3차 고조파 2배 보상 지령을 가진 단상 APF 동작
Fig 6. Single phase APF with a phase 2 times 3rd harmonic current compensation reference in Case I

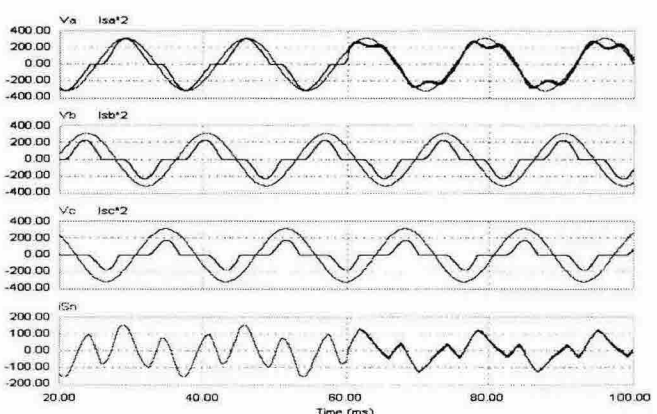


그림 9 Case II에서 a상 3차 고조파 2배 보상 지령을 가진 단상 APF 동작
Fig 9. Single phase APF with a phase 2 times 3rd harmonic current compensation reference in Case II