

단상 인버터를 사용한 중성선 전류 저감 기법

민준기, 김효성*, 최재호

충북대학교 전기전자 컴퓨터 공학부, *공주대학교 전기전자공학부

Neutral Current Reduction Method Using Single-Phase Inverter

Joonki Min, Hyosung Kim*, Jeoho Choi

School of Electric, Electronic & Computer Chungbuk Univ. *School of Electric & Electronic Kongju Univ.

Abstract - This paper analyzed the adoption possibility of a low cost single phase active power filter as the neutral current reduction device in three-phase four-wire power system with the balanced or/and unbalanced nonlinear load conditions. Proposed system can make neutral line current to within rated value without the phase current THD change of the installed phase line.

1. 서 론

전력전자 기술이 발달함에 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]. 이때 중성선 전류 크기는 상전류의 3배까지 증가될 수 있다^[3]. 그러므로 3상 4선식 배전망에서는 중성선 전류를 보상할 수 있는 기능의 보상장치가 요구된다^[4].

본 논문은 3상 4선식 배전망에서 비선형 부하 사용과 비선형 부하의 불평형에 의해 발생하는 중성선 전류를 저감할 수 있는 단상 전력용 능동 필터의 적용 가능성을 분석한다. 제안한 시스템은 사용 전후 각 상전류의 THD의 변화없이 중성선 전류를 허용 정격 전류 이하가 되도록 한다. 이때 중성선의 정격 전류는 각 상의 정격 전류와 동일하다고 가정한다. 디지털 제어기 사용을 용이하게 하기 위해 보상전류의 제어방식은 삼각파 비교 PWM 방식을 채용하였다. 전력용 능동필터의 동작 특성에 따른 시간지연을 고려하였다. 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 전류와 전류 고조파

2.1 중성선 전류

중성선 전류는 전원의 불평형과 부하의 종류와 배치에 의하여 발생하게 된다. 중성선 전류는 식 1과 같이 정의 된다. 3상 전원의 평형상태에서 각 상의 저항부하 (R_a, R_b, R_c)에 따른 중성선 전류의 크기를 식으로 나타내면 식 2와 같다

$$i_N = i_a + i_b + i_c \tag{1}$$

$$\sqrt{x^2 + y^2} \sin(\omega t + \theta) \tag{2}$$

단,

$$x = \sqrt{2} V \left\{ \frac{1}{R_a} - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c} \right) \right\}$$

$$y = \frac{\sqrt{6}}{2} V \left\{ -\frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c} \right\}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

$$\sqrt{x^2 + y^2} = V \sqrt{\left(\frac{1}{R_a} - \frac{1}{R_b} \right)^2 + \left(\frac{1}{R_b} - \frac{1}{R_c} \right)^2 + \left(\frac{1}{R_c} - \frac{1}{R_a} \right)^2}$$

식 2에서 R_c 를 정격 값으로 하고 R_a 와 R_b 의 변화에 대한 중성선 전류를 그림으로 나타내면 그림 1과 같다. 그림 1과 같이 저항 부하의 값이 동일할 때에는 중성선 전류는 발생하지 않고, 한 상에만 부하가 존재하는 경우 중성선 전류가 가장 큰 것을 알 수 있다.

2.2 전류 고조파

고조파^[5]는 기본 주파수에 대해 정수배의 주파수를 가지는 주기파형 또는 양의 정현파 성분의 합으로 정의 된다. 고조파 전류 파형을 고조파의 비교와 측정에 사용되는 THD(Total Harmonic Distortion)로 나타내면 다음 식 3과 같다.

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_{H^2}}}{I_1} \times 100[\%] \tag{3}$$

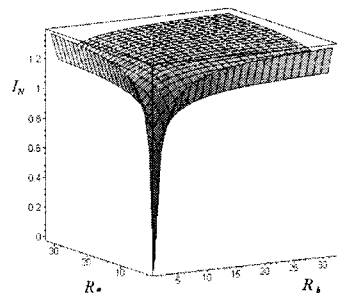


그림 1 저항부하의 크기에 따른 중성선 전류

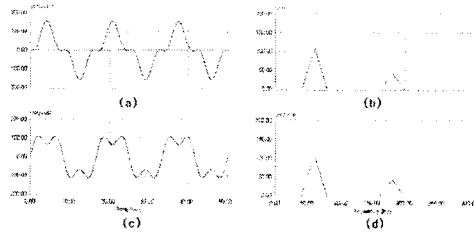


그림 2 $\sin\omega t$ 와 $0.4\sin3\omega t$ 의 관계
 (a) $\sin\omega t$ $0.4\sin3\omega t$ 파형 (b) $\sin\omega t$ $0.4\sin3\omega t$ 의 FFT
 (c) $\sin\omega t+0.4\sin3\omega t$ 파형 (d) $\sin\omega t+0.4\sin3\omega t$ 의 FFT

그림 2는 $\sin\omega t$ 와 $0.4\sin3\omega t$ 의 관계를 나타내고 있다. 그림 2 (a)는 전형적인 단상 정류기 부하의 전류 파형을 기본파와 3고조파로 나타낸 것이다. 이 파형은 $\sin\omega t$ 에 대한 $0.4\sin3\omega t$ 의 차로 나타낼 수 있으며 고조파 분석을 하면 (b)와 같다. 이때 CF(Crest Factor)는 1.979이다. 이것을 $\sin\omega t$ 와 $0.4\sin3\omega t$ 의 합으로 나타내면 (c)와 같이 나타낼 수 있으며, 고조파 분석을 하면 (d)와 같고 CF는 1.401이다. 그리고 (a)와 (c) 파형의 THD는 동일하다.

3상 평형 전원 상태에서 각 상의 부하의 크기가 동일한 캐패시터 입력형 정류기 부하에서, 한 상에 정격 전류가 흐르고 있을 때의 파형이 그림 2 (a)와 같다고 가정하면, 중성선 전류는 각 상의 3고조파 전류의 합인 $1.2\sin3\omega t$ 가 될 것이다. 이것은 중성선 전류가 정격전류 이상으로 흐르고 있음을 의미하게 된다. 이러한 가정에서 각 상에서 3고조파 전류가 정격 전류의 33%이상의 크기를 갖게 되면 중성선 전류는 허용 정격 전류를 초과하는 결과를 초래하게 된다. 만약 각 상의 3고조파 전류가 정격 전류의 50%이상의 크기를 가지게 되는 경우는 두 상의 3고조파 전류만으로 허용 정격 전류를 초과하게 된다.

그림 2(a)의 파형에서 고조파 전류를 보상하기 위한 전력용 능동필터의 고조파 전류 보상 지령치는 $0.4\sin3\omega t$ 이 될 것이다. 그리고 이 보상 지령치를 중성선 전류 보상의 관점에서 본다면, 전체 중성선 전류의 3고조파 성분을 1/3만을 보상한다.

여기에 그림 2(a)와 같은 전류 파형에 대하여 보상 전류 지령치를 $0.4\sin3\omega t \times 2$ 로 한다면 전류파형은 그림 2(c)와 같게 된다. 이때 보상 전과 후의 전류파형의 THD는 동일하고 CF는 감소하는 효과를 가지게 된다. 덧붙여 중성선 전류의 보상이라는 관점에서 본다면, 중성선 전류의 3고조파 성분을 2/3를 보상하는 효과가 발생된다.

본 논문에서 제안한 중성선 전류 보상 시스템의 회로도도 그림 3과 같다. 3상 4선식 전력 시스템에 단상 전력용 능동 필터를 설치하여 중성선 전류를 보상하며 보상 지령값의 범위는 설치된 상의 전류를 정현파가 되게 하는 3고조파 보상 값의

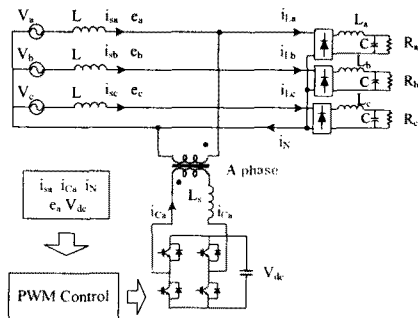


그림 3 중성선 전류 보상 시스템

표 1. 시뮬레이션 전원 전압 및 부하 조건

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

2배한 크기와 중성선 전류의 3고조파 성분의 크기 사이에서 결정되며, 각 상의 전류 THD 변화없이, CF를 낮추면서 평형 캐패시터 입력형 정류기 부하에서 가장 좋은 중성선 전류 보상능력을 가지게 된다.

3. 시뮬레이션 결과

표 1과 같은 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 전류 파형은 2배의 크기로 나타내었다.

그림 4와 5는 Case I과 Case II의 조건에서 3상 4선식 전력 시스템에 단상 전력용 능동필터를 사용하였을 때의 파형이다. 이 경우 중성선 전류의 보상 성능은 전력용 능동필터가 설치된 상의 3고조파 전류 성분의 크기에 따라 결정되며, 중성선 전류는 전력용 능동필터가 설치된 상에서 보상된 3고조파 전류의 크기만큼 줄어들게 된다.

그림 6과 7은 Case I과 Case II에 대하여 제안된 단상 전력용 능동필터의 고조파 전류 보상 지령치를 중성선 전류의 3고조파 보상값으로 한 경우이다. Case I은 중성선 전류는 75%정도 보상되었지만, 설치된 상의 THD는 보상전에 비하여 2배 증가 하였다. Case II에서는 각 상의 부하의 크기 차이에 의하여 발생하는 기본파 성분의 중성선 전류에 의하여 중성선 전류의 실효값은 보상 전에 비하여 약 22% 감소하였다.

그림 8과 9는 Case I과 Case II 조건에서 제안된 단상 전력용 능동필터의 고조파 보상 지령치를 설치된 상의 3고조파 전류 보상 지령치의 2배를 한 경우이다. Case I과 같이 각 상의 부하의 크기가 동일할 경우에는 전체 중성선 전류의 2/3가 보상되지만, Case II에서는 각 상의 부하의 크기 차이때문에 발생하는 기본파 성분의 중성선 전류에 의하여 중성선 전류의 실효값은 보상 전에 비하여 약 16% 감소하였다.

그림 10와 11은 Case I과 Case II 조건에서 제안된 단상 전력용 능동필터의 고조파 보상 지령치를 설치된 상의 3고조파 보상 지령치 2배 값에 중성선 전류의 기본파 성분 보상하기 위한 값의 합으로 하였다. 단상 전력용 능동 필터가 설치된 상의 THD는 설치전과 비하여 변화가 없었고, 중성선 전류는 약 65% 감소하였다.

4. 결 론

본 논문은 3상 4선식 전력시스템에서 단상 전력용 능동 필터를 사용한 중성선 전류를 저감하는 기법을 제안하였다. 각 상의 전류 THD 변화없이 정류기 부하에서 발생하는 3고조파 전류의 합으로 정의되는 중성선 전류를 보상하기 위하여, 부하 조건에 따른 중성선 전류의 발생 범위를 해석하고 중성선 전류가 정격 전류를 넘지 않는 범위에서 보상 전류 지령치의 범위를 설정하였다. 이때 CF는 감소하는 결과를 얻었다.

제안한 중성선 전류 저감 기법을 검증하기 위하여 시뮬레이

션을 수행하였고, 시뮬레이션 결과를 통하여 제안한 기법의 타당성을 입증하였다.

[참 고 문 헌]

[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] "IEEE 100 : the Authoritative dictionary of IEEE standards terms," 7th ed. IEEE Press.

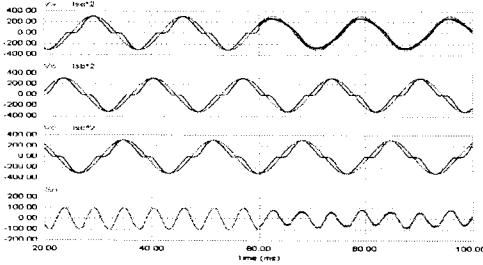


그림 4 Case I 단상 APF의 전류 보상

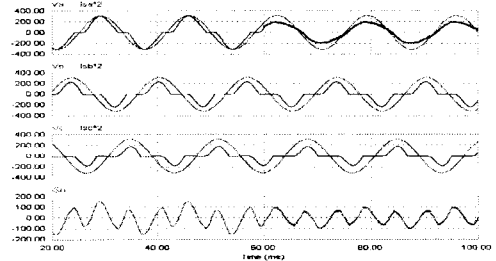


그림 5 Case II 단상 APF의 전류 보상

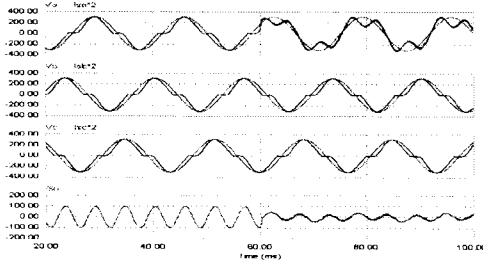


그림 6 Case I 중성선 전류의 3고조파 전류 보상

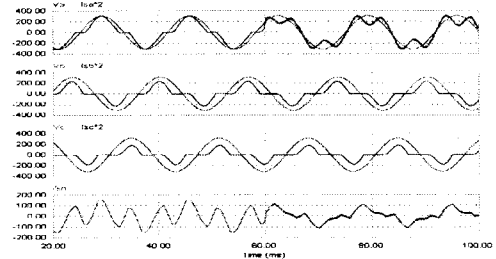


그림 7 Case II 중성선 전류의 3고조파 전류 보상

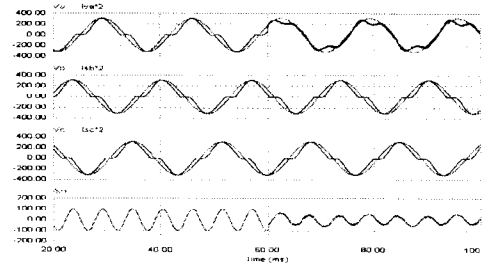


그림 8 Case I a상 3고조파 2배 전류 보상

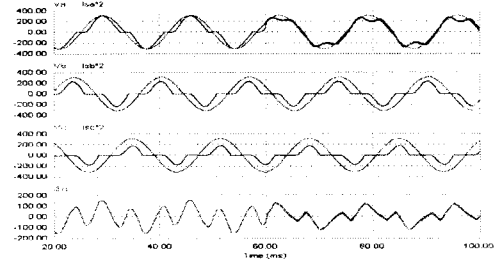


그림 9 Case II a상 3고조파 전류 2배 보상

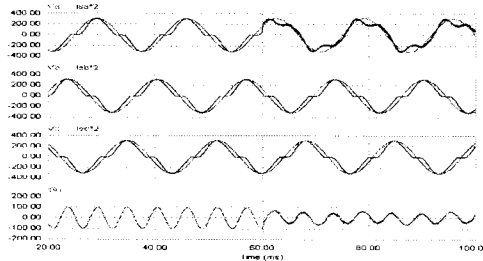


그림 10 Case I a상 3고조파 전류 2배 보상과 중성선 전류의 기본과 전류 보상

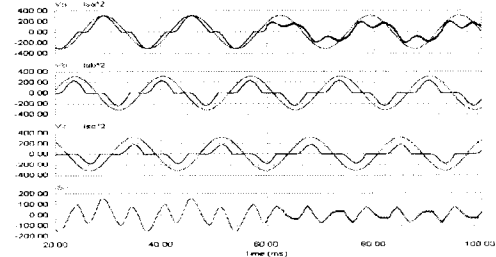


그림 11 Case II a상의 3고조파 전류 2배 보상과 중성선 전류의 기본과 전류 보상