2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2002.7.10-12

3상 4선식 배전계통에서 단상 능동필터를 이용한 중성선 전류의 보상

최시영, 김병섭, 송종환
효성 중공업 연구소 기초팀

Neutral Current Compensation Using Single Phase Active Power Filter in Three-Phase Four-Wire Electric Distribution Systems

See-Young Choi, Byung-Seob Kim, Jong-Hwhan Song
R&D Institute, Industrial Performance Group,
Hyosung Corporation

Abstract - The increase of triplen harmonics in three-phase four-wire systems leads to overloaded neutral conductor, common-mode noise problems, derating of transformers, and so on. Various compensator has been designed to prevent the problems associated with the triplen harmonics. But these can not protect distribution system effectively because the triplen harmonic source is distributed extensively and distribution system type is diverse. This paper explain the operation and installation of single phase active power filter to eliminate triplen harmonics and then it is verified by simulation.

1. 서 론

3상 4선식 배전계통에서 중성선 전류는 3상 전류의 합이다. 평형 3상부하의 경우, 3상 전류의 합은 0이 되므로, 중성선에는 전류가 흐르지 않는다. 단상부하에 전력을 공급하는 3상 시스템인 경우, 일반적으로 부하는 어느 정도 불평형이 되고, 이때 중성선에는 영상분 전류가 흐른다. 하지만, 이런 부하의 불평형으로 인한 중성선 전류는 배전시스템에서 심각한 문제를 일으키지 않는다. 또한 이런 문제는 배전 변압기의 최적의 상배열을 통해 상당부분 해결 될 수 있다[1]. 부하가 평형이 이루어 졌을 때에도 중성선에는 큰 전류가 흐를 수 있는데, 이것은 정류기나 파워서플라이와 같은 비선형 부하나, 안정기를 가지는 형광등 부하등에 기인한다[2]. 이들 부하는 3의 배수차의 고조파 전류를 발생시키고, 3의 배수차의 고조파 전류는 중성선에서 상쇄되지 않고 더해지게 되고, 최악의 경우 상전류의 1.73배의 전류가 중성선에 흐를 수 있다[3]. 이러한 중성선 전류는 중성선에서의 과전류, 커먼모드 노이즈, 보호 릴레이의 오동작, 배전 변압기의 과열 등의 문제를 발생시킨다.

이런 중성선 전류를 제거하기 위한 방법 중 하나가 지그재그 변압기를 사용하는 것이다[4]. 이외에 다양한 형태의 능동전력필터를 이용한 중성선 전류 제거 방법이 제안되었다[5][6][7]. 지금까지 중성선 과전류 문제는 주로 사무자동화 기기를 집중적으로 사용하는 대형 빌딩에 주로 국한되었다. 그러나 컴퓨터와 비선형부하의 보급은 배전계통 전반에 걸쳐 영상전류를 방생시키고 있다. 또한 중성선 전류로 인한 문제점의 형태는 변전소에

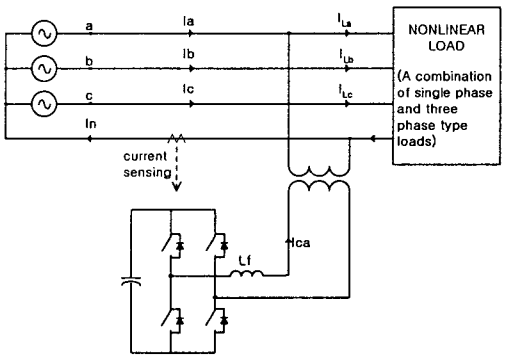

그림 1 단상능동필터를 이용한 중성선 전류의 보상

가까운 지역일수록 중성선 과전류의 문제점이 나타나고, 변전소와 먼 지역일수록 중성선 전위상승의 문제점이 나타나게된다[8]. 따라서 기존의 중성선 전류 보상 방법은 고조파의 발생원이 넓게 분포되어 있는 배전 계통에서의 중성선 전류 문제를 원천적으로 해결할 수 없다.

본 논문에서는 저압측인 2차측에 단상능동필터를 배전계통에 다중 설치하여 중성선의 전류와 전압의 문제를 해결할 수 있는 방법을 제시하고, 그 타당성을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. 단상능동필터를 이용한 중성선 전류의 보상

단상 보상기를 배전계통에 다중으로 설치할 때, 보상기는 설치의 용이함을 위해 가볍고 작게 구현되어 전신주에 설치가 가능하도록 구성되어야 한다. 또한 제어가 간단하고 소용량으로 구현되어 경제성을 가져야 한다. 일반적으로 배전계통의 급전선은 일정한 굵기를 가지지만, 모두 4선으로 제공되지 않고, 경제적인 측면을 고려하여 3선이나 2선으로 공급되는 지역도 있다. 따라서 설치의 용이함과 경제적인 면을 고려할 때 보상기는 3상보다는 단상으로 구현되는 것이 바람직하고, 변압기를 가지지 않는 구조로 설치하여야 한다.

그림 1은 하나의 단상 능동필터의 동작을 나타내는 그림이다. 부하는 3상 평형부하이고, 비선형 부하로는 큰 커패시터를 가지는 단상 다이오드 정류기가 사용되었다. 단상능동필터는 저압측인 2차측에 설치되어 있고, 1차측의 중성선 전류를 검출 받아 중성선의 전류가 0이 되도록 제어가 이루어지도록 구성된다. 따라서 고압인 1

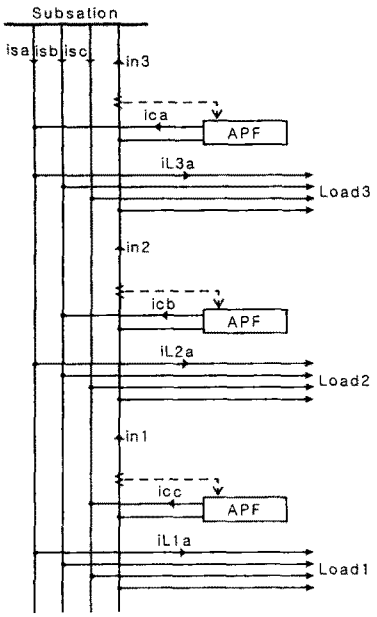

그림 2 3개의 단상능동필터의 설치

차측의 상 전류를 검출 받을 필요가 없다. 이 때 중성선에 흐르는 전류는 식(1)과 같다.

$$i_{La}+i_{Lb}+i_{Lc}=i_n \tag{1}$$

부하는 3상 평형이라고 가정하면, 중성선의 전류는 3의 배수차수의 고조파 성분이 된다. 보상기가 그림 1과 같이 a상에 설치되어 있고 중성선 전류를 모두 보상하고 있다고 가정하면, a상의 전원측 전류는 식(2)와 같다.

$$i_{sa}=i_{La}-i_n=(i_{La}^{p}+\frac{1}{3}i_n)-i_n=i_{La}^{p}-\frac{2}{3}i_n \tag{2}$$

i_{La}^{p}은 a상 부하전류 중 영상성분을 뺀 나머지 성분의 전류임을 나타낸다. 즉, a상의 부하전류는 i_{La}^{p}와 중성선 전류의 3분의 1만큼의 전류와의 합이 된다. 식 (2)에서 알 수 있듯이, 하나의 단상 보상기가 설치되었을 경우, 보상기가 설치 된 상의 전원측 전류는 3의 배수차 고조파가 부하전류보다 $i_n/3$ 만큼 증가됨을 알 수 있다. 하지만 이런 문제는 여러 대의 단상보상기를 적절히 배치함으로써 해결될 수 있다. 그림 2는 3개의 단상보상기가 배전계통에 각각 다른 상에 설치되어 있는 경우를 나타내는 그림이다. 이 때 각상의 전원측 전류는 식(3)~식(5)와 같다.

$$i_{sa}=i_{L1a}+i_{L2a}+i_{Ba}-i_{n3} \tag{3}$$

$$i_{sb}=i_{L1b}+i_{L2b}+i_{Bb}-i_{n2} \tag{4}$$

$$i_{sc}=i_{L1c}+i_{L2c}+i_{Bc}-i_{n1} \tag{5}$$

위 식을 영상성분의 전류를 분리하여 정리하면

$$i_{sa}=(i_{L1a}^{p}+i_{L2a}^{p}+i_{L3a}^{p})+\frac{i_{n1}+i_{n2}-2i_{n3}}{3} \tag{6}$$

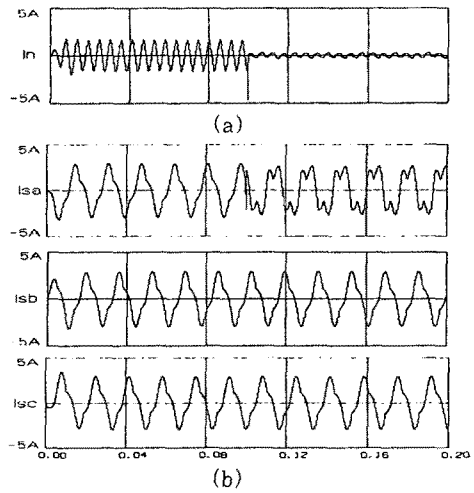

그림 3 하나의 단상능동필터를 이용한 중성선 전류의 보상 (a) 중성선 전류 (b) 전원측 전류

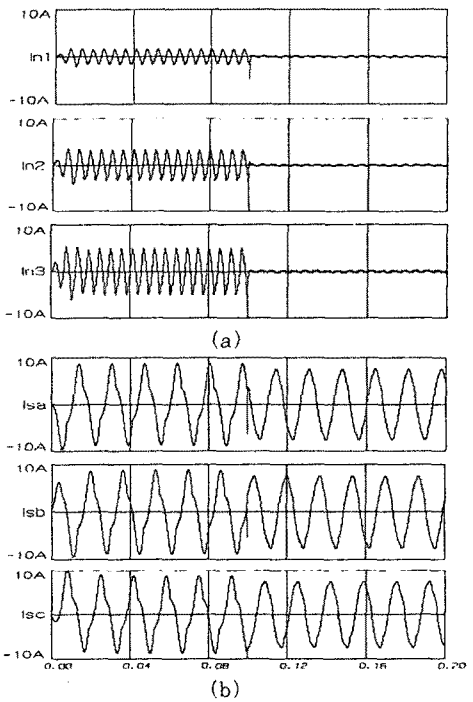

그림 4 세 개의 단상능동필터를 이용한 중성선 전류의 보상 (a) 중성선 전류 (b) 전원측 전류

$$i_{sb}=(i_{L1b}^{p}+i_{L2b}^{p}+i_{L3b}^{p})+\frac{i_{n1}-2i_{n2}+i_{n3}}{3} \tag{7}$$

$$i_{sa}=(i_{L1c}^{p}+i_{L2c}^{p}+i_{L3c}^{p})+\frac{-2i_{n1}+i_{n2}+i_{n3}}{3} \tag{8}$$

이 된다. 이 때 다음 조건이 만족된다면 식(6)~식(8)의 영상전류성분은 0이 된다.

$$i_{n1}=i_{n2}=i_{n3} \tag{9}$$

즉, 단상 보상기를 식(9)의 조건이 만족하도록 설치한다

면, 식(2)에서와 같이 단상 보상기를 하나만 설치하였을 경우에 일어나는 전원측 전류의 외란을 막을 수 있을 뿐만 아니라, 전원측 전류에서 영상전류성분을 제거하여 고조파성분을 감소시키는 효과를 가져올 수 있다.

3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 ACSL로 수행되었고, 부하는 선형 부하로는 RL부하가 사용되었고, 비선형 부하로는 단상 다이오드 정류기가 사용되어 3의 배수차 고조파를 발생하도록 설정되었다. 단상 능동필터는 전압원으로 모델링하였고 전류제어를 수행하였다. 그림 3은 하나의 단상 능동필터를 a상에 설치하였을 때의 전류파형이다. 그림 3(a)는 0.1초에 보상기를 운전시켰을 시 중성선 전류의 제거 특성을 나타내는데, 단상 보상기로도 중성선 전류를 제거할 수 있음을 보여준다. 그림 3(b)는 전원측의 3상 전류를 나타내는 파형이다. b와 c상 전류의 경우, 보상기가 동작할 때와 동작하지 않을 때의 파형이 동일하지만, 보상기가 설치되어 있는 상인 a상의 경우, 보상기가 동작할 때 고조파 전류가 증가함을 볼 수 있다. 이는 b와 c상의 영상분 전류가 a상으로 흐르기 때문이고, 이것은 변전소의 변압기와 라인에 외란으로 작용한다. 그림 4는 3개의 보상기를 식(9)의 조건에 맞도록 설치하였을 경우의 시뮬레이션 파형이다. 그림 4(a)는 단상 보상기가 각각 맡은 구간에 대해 중성선 전류를 제거하고 있음을 보여준다. 그림 4(b)는 전원측 전류를 나타내는 데, 보상기가 동작하였을 시 고조파 성분이 감소함을 보여준다. 이것은 영상전류성분이 단상보상기의 동작에 의해 서로 상쇄되기 때문이다. 보상기가 동작한 후에도 전원측 전류에는 고조파 성분이 남아있음을 볼 수 있는데, 이것은 부하전류가 3의 배수차 고조파 성분뿐만 아니라, 그 이외의 고조파도 포함하고 있기 때문이다.

4. 결 론

최근 컴퓨터와 비선형부하의 증가로 인한 3배수 고조파의 증가는 중성선의 과전류를 발생시키고, 이것은 배전선 및 변압기의 과열, 중성선 전위의 상승, 보호기기의 오동작 등 많은 문제를 발생시키고 있다. 또한 중성선에는 보호장치가 없으므로 과전류로 인한 사고의 위험이 매우 높다. 배전계통에서 중성선 전류의 발생원이 넓게 분포하고 있어 어느 한 지점에 보상기를 설치하는 것은 큰 의미가 없다. 따라서 다양한 형태를 가지고 있는 배전계통의 중성선 전류를 효과적으로 제거할 수 있는 단상 보상기를 제안한다. 특히 이러한 단상 보상기를 다중으로 설치했을 때의 현상을 분석하였으며 그 타당성을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 본 논문의 실험적 확인은 추후 진행할 계획이다.

[참 고 문 헌]

[1] Tsai-Hsiang Chen, "Optimal Phase Arrangement of Distribution Transformers Connected to a Primary Feeder for System Unbalance Improvement and Loss Reduction Using a Genetic Algorithm", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 15, No. 3, August 2000

[2] Ah-Choy Liew, "Excessive Neutral Currents in Three-Phase Fluorescent Lighting Circuits", IEEE Transactions on Industry Application, vol. 25, No. 4, July/August 1989

[3] Thomsas M. Gruzs, "A Survey of Neutral Currents in Three-Phase Computer Power Systems", IEEE Transactions on Industry Application, vol. 26, No. 4, July/August 1990

[4] Prem P. Khera, "Application of Zigzag Transformers for Reducing Harmonics in the Neutral Conductor of Low Voltage Distribution System", IEEE IAS conf. Rec. 1990

[5] Prasad N. Enjeti, "Analysis and Design of a New Active Power Filter to Cancel Nertral Current Harmonics in Three-Phase Four-Wire Electric Distribution Systems", IEEE Transactions on Industry Application, vol. 30, No. 6, November/December 1994

[6] Thierry Thomas, "Design and Performance of Active Power Filters", IEEE Industry Application Magazine, September/October 1998

[7] C. A. Quim and N. Mohan, "Active Filtering of Harmonic Currents in Three-Phase, Four-Wire Systems with Three-Phase and Single-Phase Non-Linear Loads", APEC 1992, pp. 829-835.

[8] J. C. Balda, "Measurements of Neutral Currents and Voltages on a Distribution Feeder", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 12, No. 4, October 1997