

Zig-Zag 결선 및 Open-Delta 방식을 이용한 새로운 고조파 저감장치의 개발

(Development of the New Harmonic Eliminating Device Using Zig-Zag Connection and Open-Delta Mode)

이성호* · 김기성 · 유상봉

(Sung-Ho Lee · Gi-Sung Kim · Sang-Bong Yoo)

요 약

지금까지의 고조파 필터는 중성선 리액터와 지그재그결선의 영상 고조파 전류를 제거하였으나, 부하율에 따라 고조파 저감율이 변하여 경부하에서는 고조파 저감율이 낮아지는 특성이 있고, 중성선 리액터 과열로 중성선 단선 위험의 문제가 발생하였다.

본 Zig-Zag 결선 및 Open Delta 방식을 이용한 새로운 고조파 저감장치(HANOS)는 Zig-Zag 결선의 Core Block내에 추가로 Open Delta 방식을 결선하여 중성선에 연결함으로써 중성선에 흐르는 영상 고조파 전류가 과열 없이 안전하게 제거되는 것을 시험 분석한 결과로 증명하였다.

Abstract

The conventional harmonic filters to reduce zero harmonic current from neutral reactors and Zig-Zag connection, have several disadvantages of the decreased reduction rate of harmonics under a light load, because they have the load factor-dependent reduction rate of harmonics, and the risk of potential breaking in the neutral line by heated neutral reactor.

Based Zig-Zag connection and Open-Delta mode, this new harmonic eliminating device (HANOS) adopts the combination of Zig-Zag connection and Open-Delta mode-the latter is additionally applied to the transformer's core block for connection to the neutral line. The results of this study demonstrated that the new device could eliminate safely zero harmonic current running in the neutral line without heating.

Key Words : New Harmonic Eliminating Device(HANOS), Zig-Zag Connection, Open-Delta Mode

1. 서 론

* 주저자 : (주)미주파워텍 대표이사
Tel : 032-579-8300, Fax : 032-579-8301
E-mail : megarpower@yahoo.co.kr
접수일자 : 2004년 11월 22일
1차심사 : 2004년 11월 24일
심사완료 : 2004년 12월 3일

급격한 IT시대로 변화하면서 전력전자의 급격한 보급으로 비선형부하 설비에서 발생하는 영상 고조파들이 각종 정밀기기에 손상을 입히고, 장비의 수

명을 단축시키며, 특히 저압부하 선로의 중성선 및 전기설비를 과열시켜 많은 전기화재 및 정전사고의 원인이 되고 있다.

이러한 저압 부하선로에서 발생하고 있는 영상 고조파를 제거하기 위해 현재까지의 고조파 저감장치는 중성선 리액터 및 콘덴서를 조합하여 사용하고 있으며, 이는 중성선 단자 간에 전위차를 발생시켜 중성선 불안정과 대지 전위를 상승시키고, 부하량에 따라 저감효과가 달라져 중성선 과열 및 단선의 원인이 되었다.

본 고조파 저감장치(HANOS)는 부하 량에 관계 없이 중성선에 흐르는 고조파 저감율을 항상 일정하게 유지함으로써 중성선 과열 및 단선의 원인이 없고, 단자 간에 전위차 없이 중성선이 안정되어 전기 기기를 보호하여, 고품질의 전원 공급으로 효율을 향상시켜 불필요한 전력손실과 정전사고를 줄일 수 있다[1,2].

2. 본 문

2.1 고조파 발생 개요

우리가 사용하는 주파수는 기본 주파수 60[Hz]이며, 이 주파수의 정수배 주파수의 파형을 고조파라고 부른다. 제2고조파는 60[Hz]의 2배수인 120[Hz]이며, 제3고조파는 180[Hz]이다. 3상 전력 시스템에서 짝수 고조파(제2, 제4, 제6 등등)는 상쇄되므로 홀수 고조파만 다루면 된다. 고조파는 불 평형으로 나타나며 다음 표 1과 같이 불 평형 속에 포함된 고조파는 정상, 역상, 영상 분으로 나뉘어 진다.

표 1. 고조파차수와 대칭성분의 관계
Table 1. Relationship between harmonic orders and sequence components

Sequence	Harmonic Order
정 상	1, 4, 7, 10, 13,
역 상	2, 5, 8, 11, 14,
영 상	3, 6, 9, 12, 15,

즉, 3고조파는 영상 분 고조파, 5고조파는 역상 분 고조파, 7고조파는 정상분 고조파라 한다.

고조파는 Ohm의 법칙에 따라 전류 파형을 찌그

러뜨리며, 이 전류 왜형은 전기·전자장비의 장애·고장을 유발한다.

3상4선식 전력 시스템의 3개의 상(Phases)은 120도씩 차이가 나며, S상의 전류는 R상 전류의 120도 (1/3 Cycle) 후에 생긴다. 이와 마찬가지로, T상의 전류는 B상 전류의 120도 후에 생긴다. 이것 때문에 60[Hz] 기본파 전류는 중성선에서 실제로 상쇄된다.

우리가 3상4선식 선로에서 대칭인 60[Hz] 전류를 갖게 되면 중성선 전류는 제로가 될 것이다. 그러나 3상4선식 Y선로에 비선형 부하가 있을때 중성선에 흐르는 전류는 영상고조파(3, 9, 15차) 전류가 중성선에서는 위상이 동일하여 벡터 합이 아닌 스칼라 합이 되어 그림1 과 같이 중성선에 최대 3배까지의 많은 전류가 흐른다.

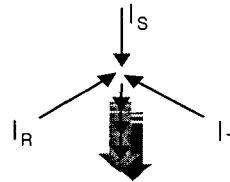


그림 1. 영상고조파 전류의 합성
Fig.1. Composition of the zero harmonic current

이 고조파 전류는 열을 발생시키고, 장시간의 열 발생은 중성선의 온도를 상승시켜 주위 선로를 과열 및 단선시키며, 절연 파괴를 일으킨다. 또한, 이 전류는 전력을 공급하는 변압기를 과열시킨다[3-5].

즉 중성선 및 변압기의 과열 그리고, 기타 아래와 같은 장애가 있다.

- 회로 차단기의 트리핑(Tripping) 현상
- UPS 및 발전기 시스템의 오동작(Malfunction)
- 컴퓨터 오동작
- 계량·계측의(Metering) 문제
- 과전압(Overvoltage) 문제
- 전기요금 증가

2.2 고조파 저감장치의 개발

2.2.1 새로운 고조파 저감장치의 원리

권철심 코아 채택으로 자체 무부하 손실을 최소화

하였으며, 철심 블록 내 Zig-Zag Y결선 중성점에 각 상을 통과하는 Delta 결선의 삼상 접속점 중 한상을 개방(Open Delta)하여, Zig-Zag Y결선 중성점과 인입 중성점에 연결 하므로써 3개의 상(Phases)은 120도씩 위상차로 고 리액턴스 전류를 갖게 되어 중성선 전류는 제로가 되고 각상으로 상쇄된다.

중성점 리액터 없이 중성선으로 흐르는 고조파 전류 분을 완전하게 제거하는 것을 특징으로 그림 2의 회로도 와 같다.

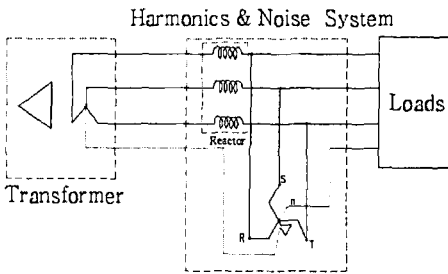


그림 2. 새로운 고조파 저감장치(HANOS)의 회로도
Fig. 2. Circuit diagram of the New Harmonic Eliminating Device

일반적인 Zig-Zag 변압기는 변압기의 일반법칙에 의해 1차의 자속과 2차의 자속은 같다는 것으로 설명하면 그림 3의 결선도와 같이

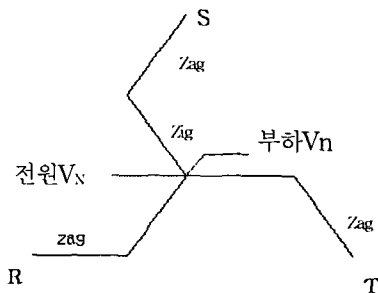


그림 3. Zig-Zag Tr. 결선도
Fig. 3. Connection diagram of the Zig-Zag Tr. connection

$$\Phi_{zig} + \Phi_{zag} = 0 \quad (1)$$

이 성립해야 한다.

그러나 이러한 원리에 의해서는 중성선 영상 고조파 분을 완전히 제거할 수 없다.

뿐만 아니라 부하의 중성점 전위 V_n 과 고조파 전압이 존재하는 Y결선의 중성점 전위 V_N 이 붙어서 위 원리로는 고조파를 완전히 제거할 수 없다.

그리고 중성선 리액터로는 전류 양에 따른 리액턴스 L 값의 가변으로 완전히 제거되지 않으며, 또한, 과열에 의한 단선의 위험을 안고 있다.

그림 4와 같이 개발된 Zig-Zag Tr.과 중성선 Open Delta 결선도 에서는

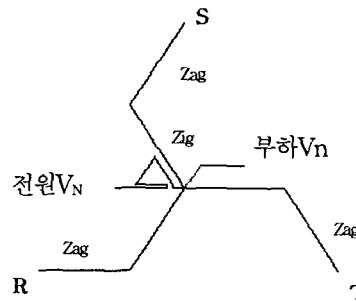


그림 4. Zig-Zag Tr. 과 Open-Delta 결선도
Fig. 4. Connection diagram of the Zig-Zag Tr. and Open-Delta

Zig권선과 Zag권선의 자속 상쇄 원리로

$$V_{zig} + V_{zag} = 0 \quad (2)$$

이 되며, 부하의 중성점 전위 V_n 은 3상 전위의 합인 중성전위를 갖는다. 즉

$$V_n = V_R + V_S + V_T + V_N = 0 \quad (3)$$

가 된다.

그러므로 고조파 전압이 존재하는 Zig-Zag Y결선의 중성점 전위 V_N 과는 중성선 Open Delta 결선으로 분리되어 있으며, 3상 120도 위상을 가지므로 전위가 같다.

$$V_n = V_N \quad (4)$$

그 결과 부하측 중성점 전위 V_n 과 전원측 Open Delta 중성선 V_N 에는 3상 120도씩 위상차로 고 리액턴스에 의해 고조파 전압이 걸리지 않으며, 이 원리

Zig-Zag 결선 및 Open-Delta 방식을 이용한 새로운 고조파 저감장치의 개발

로 영상고조파 전류가 적은 것이다.

또한 변압기 원리로 전류의 흐름을 보면,

$$\Phi_{zig} + \Phi_{zag} + \Phi_{delta} = 0 \quad (5)$$

이 되고, Φ_{delta} 를 각 상으로 보면,

$$\Phi_R = \Phi_S = \Phi_T = \text{Constant} = L_{\Delta N} \quad (6)$$

으로 증명이 되고, 리액턴스(L)은 중성선 Open Delta결선의 변압기 턴수 만큼 증가되면 커지게 되어 반비례로 $i_N \approx 0$ 이 되는 것이다.

$$(\Phi_{zig} + \Phi_{zag})_R = (\Phi_{zig} + \Phi_{zag})_S = (\Phi_{zig} + \Phi_{zag})_T = \text{Constant} = L_{\Delta N} \quad (7)$$

중성선에 흐르는 부하전류 i_n 는 각상 Zig권선과 Zag 권선으로 자속이 통제되어 각상 전위로 분배 되어 R상 부하에서 n상으로 또 n상에서 S, T상 Zig권선과 Zag 권선으로 전류가 분배 되는 것이다.

그러므로 부하측 에는 3상 전위의 합인 중성점 전위가 만들어지고, 전원측에도 영상 고조파가 적으며 각 상 전류 균형이 잡히는 것이다.

2.2.2 새로운 고조파 저감장치 적용 효과

고조파 발생 부하 전단에 새로운 고조파 저감장치 (HANOS)를 설치함으로써 아래의 장해를 제거 할 수 있다.

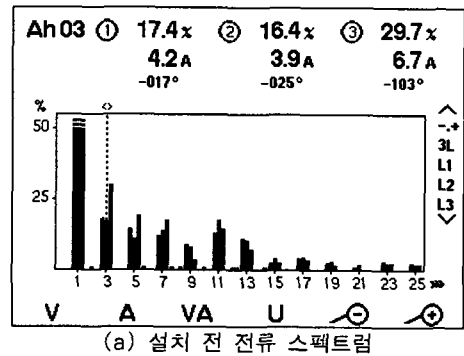
- 통신선 유도장애
- 자동제어 시스템 오동작
- 전압고조파 왜형을
- 역률저하
- 고조파 전류에 의한 배전 용량의 포화
- 고조파 전류에 의한 열발생 선손실 증가
- 고조파 전류로부터의 보호 장치 가동
- 타 연결 공장 기기의 운전 효율 감소
- 모터와 같은 타 연결 기기의 유지 및 보수
- 과부하 된 중성선과 전선으로부터 재산과 생명 안전의 위험
- 정전사고

새로운 고조파 저감장치를 3상 15[kVA] (380y220)[V]

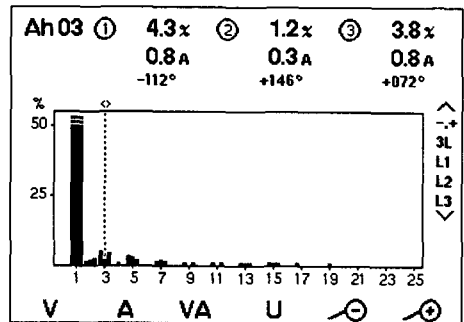
Y선로의 부하 변동이 적은 조명 부하에 적용하였으며, 제 5, 7고조파를 저감하는 리액턴스를 내장하여 설치 전 후를 비교 하면 다음과 같다.

(1) 제3고조파 전류

그림 5(a), (b)는 부하에서 가장 많이 발생하는 제 3고조파 전류를 측정한 각상 제 3고조파 전류 스펙트럼으로 그림 5(a)설치 전 R상 17.4[%], S상 16.4[%], T상 29.7[%], 평균 21.2[%]에서 그림 5(b) 설치 후 R상 4.3[%], S상 1.2[%], T상 3.8[%] 평균 3.1[%]로 85.4[%]의 저감효과를 확인할 수 있었다.



(a) 설치 전 전류 스펙트럼



(b) 설치 후 전류 스펙트럼

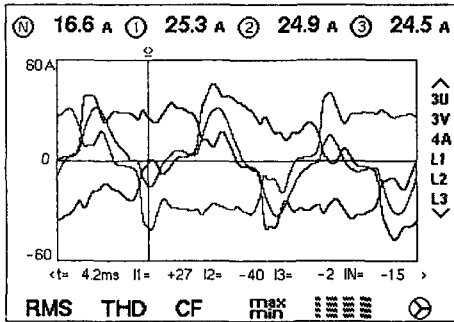
그림 5. 설치 전·후 제3고조파 전류 비교

Fig. 5. Comparisons between the 3Th Harmonic current

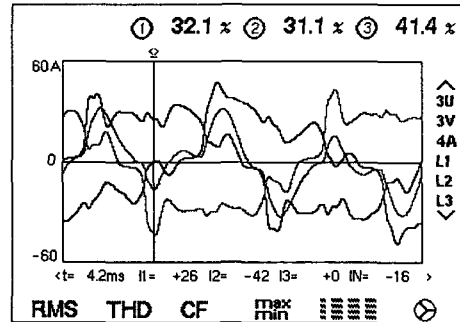
(2) 중성선 전류

중성선 전류는 그림 6(a)설치 전 16.6[A]에서 그림 6(b)설치 후 0.7[A]로 95.78[%]의 저감효과가 있었다.

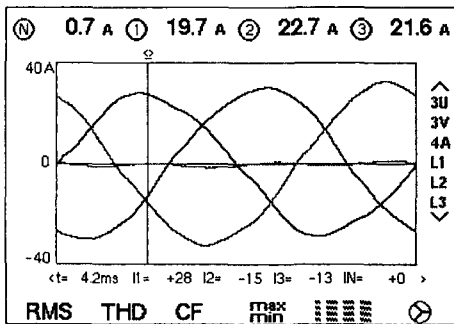
또한, 각상 실효치 전류로는 그림6과 같이 R상



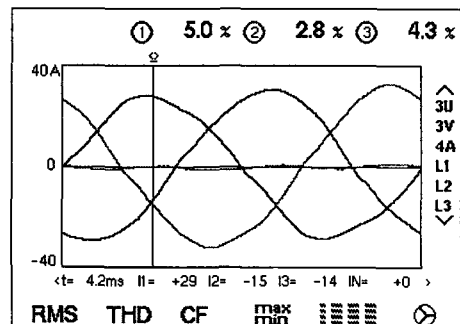
(a) 설치 전 파형



(a) 설치 전 파형



(b) 설치 후 파형



(b) 설치 후 파형

그림 6. 설치 전·후 중성선 전류 비교
Fig. 6. Comparisons between the neutral harmonic current

그림 7. 설치 전·후 종합 왜형률(THD) 비교
Fig. 7. Comparisons between the THD

25.3[A]→19.7[A], S상 24.9[A]→21.7[A], T상 24.5[A]→21.6[A]로 감소되었음을 알 수 있다.

특히 그림 6(b)설치 후 중성선(녹색)이 일직선으로 나타났다.

(3) 종합 왜형률(THD)

종합 왜형률(THD)은 그림 7(a)는 설치 전 R상 32.1%, S상 31.1%, T상 41.4%, 평균 34.9%에서 그림 7(b)설치 후 R상 5.0%, S상 2.8%, T상 4.3% 평균 4.03%로 90.27%의 저감효과가 있음을 알 수 있었다.

3. 결 론

3상4선식 Y선로에서 새로운 고조파 저감장치(HANOS)를 3상15[kVA](380y220)[V] 고조파 발생

부하 장치에 연결 후 설치 전,후 전력분석 및 동일계통의 타 부하 선로 등 다양하게 적용하여도 중성선에 흐르는 영상고조파 전류를 일정하게 제거함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 부하 량에 관계없이 고조파 저감율을 항상 일정하게 유지 할 수 있었으며, 특히 중성선 전류는 부하 변동에 관계없이 90[%]이상 일정하게 저감되는 효과를 얻었다.

(2) 중성선 과열 및 단선의 원인이 없고, 중성선 단자간에 전위차 없이 중성선이 안정되어 전기·전자기기 및 장치를 안전하게 보호 할 수 있었다.

상기와 같이 고조파의 저감을 위한 효과적인 새로운 고조파 저감장치(HANOS)의 개발 설치결과를 바탕으로 전기품질 개선을 위한 연구 분야에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 확신한다.

References

- [1] “고조파·찌지·노이즈 방지대책”, 한국전력 기술인협회, 2000.8.
- [2] “전기설비의 트러블 원인과 방지대책”, 한국전력기술인협회, 2003.3.
- [3] “고조파 억제대책 기술지침”, 일본전기협회 전기기술기준조사위원회, 1995.
- [4] “중성선 영상고조파전류 저감장치(Zero Harmonics Eliminating Device)”, 피에스티테크, 2003.
- [5] 김경철 외 2, “상업용설비부하의 중성선영상전류저감장치 분석 및 적용에 관한 연구”, 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol.18 No.5, 2004.9.

◇ 저자소개 ◇

이성호 (李成浩)

1962년 5월 28일생. 1986~1991년 효성중공업(주) 근무. 1993~2002년 산일전기(주) 부장. 2002년~현재 (주)미주파워텍 대표이사.

김기성 (金起星)

1967년 8월 27일생. 1994년 숭실대학교 물리학과 졸업. 1998~2002년 한국RF(주) 과장. 2004년 전기기사. 2003년~현재 (주)미주파워텍 부장.

유상봉 (庾相鳳)

1954년 10월 26일생. 1980년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1999년 한양대학교 전기공학과(박사). 1993~1995년 기술사(건축전기설비, 전기용융, 발송배전, 전기안전, 소방설비). 1998년~현재 용인송담대학 조명인테리어과 교수(조명·전기설비 전공).