

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

(New harmonic drop device develop take advantage of Zig-zag TR line and Open Delta mode)

*유상봉 **이성호 **김기성
*Sang-bong Yoo **Sung-ho Lee **Gi-sung Kim

*용인송담대학교 ** (주)미주파워텍
*Yong-in Songdam College **Miju Power Tech.

Abstract

The past harmonic filter was reactor and Zig-zag. However neutral reactor over heating become an issue.

If take advantage of Zig-zag TR line and Neutral line Open Delta mode TR to disappear TR sounds and harmonic by the help of experiments.

The disappear harmonic have not relation of neutral line electric current quantity

요 약

지금까지의 고조파 필터는 중성선 리액터와 이중 엇갈린 결선으로 영상고조파 전류를 제거하였으나 중성선 리액터 과열로 중성선 단선 위험의 문제가 발생 하였다. 본 중성선 Open Delta 방식은 이중 엇갈린 결선의 Core Block내에 결선하여 중성선에 연결하면 중성선으로 흐르는 영상 고조파 분 전류를 과열 없이 안전하게 제거하고 중성선 고조파 부하 전류량에 관계없이 완전하게 제거되는 것을 시험 분석한 결과로 가장 효과적인 고조파 저감 대책을 개선사례로 제시하여 관련선로에 도움이 되고자 한다.

1. 서 론

급격한 IT시대로 변화하면서 전력전자의 급격한 보급으로 설비에서 발생하는 고조파들이 각종 정밀기에 손상을 입히고 장비의 수명을 단축시키며, 특히 전력선로의 중성선 및 전력기기를 과열시켜 많은 전기 화재 및 정전사고의 원인이 됩니다.

이러한 저압 부하선로에서 발생하고 있는 고조파를 본 고조파 저감장치를 설치하여 제거 시키므로서 전력변환 장비를 보호하고 효율을 향상시켜 고품질의 전원 공급으로 불필요한 전력손실을 줄여주기 위함입니다.

2. 본 론

2.1 고조파 발생 개요

우리가 사용하는 주파수는 기본 주파수 60Hz의 몇 배수의 주파수이며, 이 몇 배수의 주파수의 파형을 고조파라고 부른다.

제2고조파는 60 Hz의 2배수인 120Hz이며, 제3고조파는 180Hz 이다. 3상 전력 시스템에서

짝수 고조파(제2, 제4, 제6 등등)는 상쇄되므로 홀수 고조파만 다루면 된다.

고조파는 불평형으로 나타나며 다음과 같이 불평형속에 포함된 고조파는 정상, 역상, 영상분으로 나뉘어진다.

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 영상분고조파, 5고조파는 역상분고조파, 7고조파는 정상분 고조파라 한다.

고조파는 옴의 법칙에 따라 전류 파형을 찌그러뜨리기 시작한다. 이 전류 왜형은 전자 기기에서 조기의 장애·고장을 유발한다.

3상 시스템에서 전력 시스템의 3개의 상(Phases)은 120도씩 차이가 나며, B상의 전류는 A상 전류의 120도(1/3 Cycle) 후에 생긴다. 이와 마찬가지로, C상의 전류는 B상 전류의 120도 후에 생긴다.

이것 때문에 60Hz 기본파 전류는 중성선에서 실제로 상쇄된다. 우리가 3상 선로에서 대칭인 60Hz 전류를 갖게 되면 중성선 전류는 제로가 될 것이다. 그러나 고조파 전류가 존재하면 이 수학은 깨

진다.

3상 선로에 3고조파 전류가 중성선에 들어오면 상쇄되지 않고 그것들은 합하여 상 선로 보다 중성선에 약3배까지의 많은 전류가 흐른다. 이 고조파 전류는 열을 발생시키고 장시간의 열 발생은 중성선의 온도를 상승시키며, 이 온도의 상승은 주위 선로를 과열 및 단선시키며 절연 파괴를 일으킨다.

또한, 이 전류는 전력을 공급하는 변압기를 과열시킨다. 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
- 전기 요금 증가

2.2 고조파 저감 장치 개발

2.2.1 기존고조파 저감 장치의 문제점

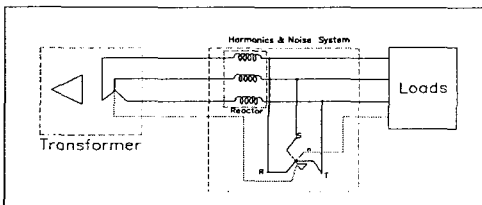
종류	문제점	가격
능동 필터	고속 Switing으로 전력소자 소손 우려 선택 차수 고조파만 제거 중성선 리액터 설치	고가 (3-7배) 손실증가
수동 필터	전원계통과 병렬공진 우려 중성선 리액터 설치	저가 저손실

2.2.2 개발된 고조파 저감 장치의 원리

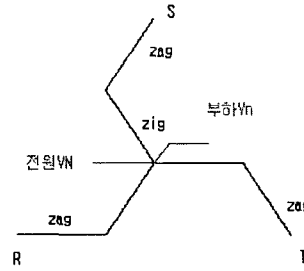
권철심 코아 채택으로 자체 무부하 손실을 최소화 하였으며, 철심 블록내 Zig-Zag Y결선 중성점에 각상을 통과하는 Delta 결선의 삼상 접속점 중 한상을 개방(Open Delta)하여 Zig

-Zag Y결선 중성점과 인입 중성점에 연결하므로써 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 아래 회로도 와 같다.



일반적인 Zigzag변압기는 변압기의 일반법칙에 의해 1차의 자속과 2차의 자속은 같다는 것으로 설명하면



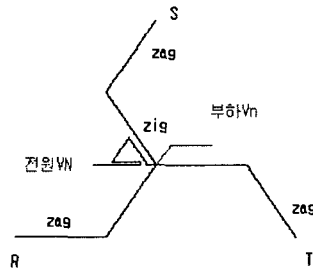
$$\Phi_{zig} + \Phi_{zag} = 0$$

성립해야 한다.

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

뿐만 아니라, 부하의 중성점 전위Vn과 고조파 전압이 존재하는 Y결선의 중성점 전위Vn이 붙어서 위 원리로는 고조파를 완전히 제거할 수 없던 것이고 그래서 중성선 리액터로는 전류양에 따른 리액턴스 L 값의 가변으로 완전히 제거되지 않고 과열에 의한 단선의 위험을 안고 있는 것이다.

발명된 Zigzag 중성선 Open Delta를 보면



Zig권선과 Zag권선 원리로

$$V_{zig} + V_{zag} = 0$$

이 되고, 부하의 중성점 전위Vn은 3상 전위의 합인 중성전위를 갖은 것이다. 즉

$$V_n = V_R + V_S + V_T = 0$$

식이 된다.

그리고 고조파 전압이 존재하는 Y결선의 중성점 전위Vn과는 중성선 Open Delta로 분리되어 있기에 전위가 같지 않다.

$$V_n \neq V_N$$

그 결과 부하의 중성점 전위Vn 고조파 전압이 흐르지 않으며 이 원리로 영상고조파 전류가 적은 것이다.

또한 변압기 원리로 전류의 흐름을 보면

$$\Phi_{zig} + \Phi_{zag} + \Phi_{delta} = 0 \text{ 되고}$$

Φ_{delta} 를 각 상으로 보면

$$\Phi_R = \Phi_S = \Phi_T = constant = LiN$$

이런 식으로

증명이 되고 L은 중성선Open Delta의 변압기 턴 수만 증가되면 커지게

되어 반비례로 $i_N \approx 0$ 이 되는 것이다.

$$(\Phi_{zig} + \Phi_{zag})R = (\Phi_{zig} + \Phi_{zag})S$$

$$= (\Phi_{zig} + \Phi_{zag})T = constant = LiN$$

중성선에 흐르는 부하전류 i_n 는 각상 Zig권선과 Zag 권선으로 자속이 통제되어 각 상전위 올라가 R상 부하에서 n상으로 또 n상에서 S,T상 Zig권선과 Zag 권선으로 전류가 분배되는 것이다.

결국 부하단에는 3상 전위의 합인 중성전위를 만들어 주고 전원단에는 고조파가 적은 전류균형을 잡아 주는 것이다.

2.3 고조파 저감 장치 적용

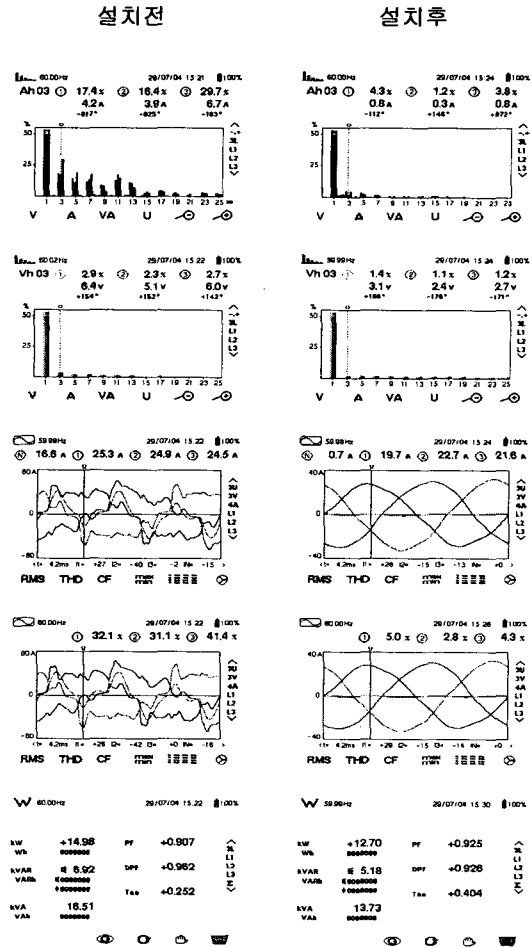
2.3.1. 고조파 저감시 효과

고조파 발생 부하 전단에 본 고조파 저감 장치(Hanos)를 설치함으로써 2.3.2항

HANOS-R 설치 전 후 비교표의 효과로 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 도선으로부터 재산과 생명 안전의 위험
- 정전사고

2.3.2 HANOS-R 설치 전후 비교표



(사진 1)

2.4 결과 분석

3PH 15kVA 380V 고조파 발생 부하 장치에 연결 후 고조파 저감 장치 설치 전, 설치 후 전력분석 측정치에 대해 사진1에 비교 하였으며, 사진1에 대한 전력분석 DATA에 대한 결과 분석은 아래 표1에 정리하였다.

아래 표1에 각 항목을 세부적으로 분석하면

- ① 제3고조파 전류(A) 설치 전 평균 : 21.2%
설치 후 평균 : 3.1% 효과 : 85.4%저감
- ② 제3고조파 전압(V) 설치 전 평균 : 2.63%
설치 후 평균 : 1.23(%) 효과 : 53.2%저감
- ③ 순시치 전류(RMS) 설치 전 평균 : 22.83%
설치 후 평균 : 16.18(%) 효과 : 29.13%저감

특히, 중성선 전류(RMS) 설치 전 평균 : 16.6(A) 발생, 설치 후 평균 : 0.7(A) 저감 효과 : 95.78(%)저감

- ④ 종합 왜형율(THD) 설치 전 평균 : 34.9%
설치 후 평균 : 4.03(%) 효과 : 90.27(%)저감
- ⑤ 유효전력(kW) 측정 설치 전 평균 : 14.98(W)
설치 후 평균 : 12.70(W) 효과 : 15.3(%)저감
- ⑥ 무효전력(kW) 측정 설치 전 평균 : 6.92(W)
설치 후 평균 : 5.18(W) 효과 : 25.1(%)저감
- ⑦ 피상전력(kVA) 측정 설치 전 평균 : 16.51(W)
설치 후 평균 : 13.73(W) 효과 : 16.8%저감
- ⑧ 역률(P.F) 측정 설치 전 평균 : 0.907(%)
설치 후 평균 : 0.925(%) 효과 : 16.8%저감

국내 고조파 전류 관리기준

UPS출력 KSC-4310 1999년 개정	전류 THD(%) 5%이하
----------------------------	-------------------

3. 결 론

본 회로에 의해 제작된 고조파 저감장치는 수용가의 다양한 부하선로에 설치되어 장기간 운전되어 검증되고 있다.

본 고조파의 저감 장치에 효과적인 HANOS-R의 설치 결과를 바탕으로 전기 품질 개선을 위한 연구분야에 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

참고 문헌

한국전력기술인협회지, 고조파방지대책, 2000.9~11.

【저자소개】

상 호 : (주) 미주파워텍
주 소 : 인천광역시 서구 가좌동 150-49
Tel : 032-579-8300, Fax : 032-579-8301
대표이사: 이 성 호(李成浩)

기술부장: 김 기 성(金起星)
1967년8월27일생

1994년 숭실대학교 물리학과 졸업
2004년- 전기기사
2003.07월- (주) 미주파워텍 근무

유 상 봉(庾相鳳)
1954년 10월 26일생. 1980년 부산 대학교
전기공학과 졸업.

1999년 한양대학교 전기공학과(공학박사)
1993년 건축전기 설비 기술사
1993년 전기응용 기술사
1995년 발송배전 기술사
1995년 전기안전 기술사
1995년 소방설비 기술사

1979.12.01~1996.12.31 쌍용양회공업(주)
엔지니어링 사업본부 근무

1997.0101~1998.02.28 쌍용엔지니어링(주)
기술개발실 및 플랜트부문 근무

1998.03.01~현재 용인송담대학 조명인테리어과 교
수(조명.전기설비 전공)

Tel : 031-330-9333, Fax : 031-330-9333
E-mail : sbyoo@ysc.ac.kr

<표 1> 전력분석 DATA

구분	상	① 3고 조파 전류 (A)	② 3고 조파 전압 (V)	③ 실효 치 전류 (A)	④ 종합 왜형 율 THD	전력분석			
						⑤ kW	⑥ kvar	⑦ kVA	⑧ PF
설 치 전	R	17.4	2.9	25.3	32.1	15	6.9	16.5	0.91
	S	16.4	2.3	24.9	31.1				
	T	29.7	2.7	24.5	41.4				
	N	-	-	16.6	-				
	X	21.2	2.63	22.8	34.9				
설 치 후	R	4.3	1.4	19.7	5.0	12.7	5.18	13.7	0.93
	S	1.2	1.1	22.7	2.8				
	T	3.8	1.2	21.6	4.3				
	N	-	-	0.7	-				
	X	3.1	1.23	16.2	4.03				
결 과 분 석	저 감 치	18.1	1.40	6.7/ 15.9	30.9	2.28	1.74	2.78	0.02
	저 감 율	85.4 ↓	53.2 ↓	29.1/ 95.8 ↓	90.3 ↓	15.2 ↓	25.1 ↓	16.8 ↓	1.95 ↑

2.5 고조파 관리기준

전류 고조파 관리기준(IEEE std. 519)

단락비= %IZ/ 부하전류	각 차수별 고조파 관리기준					
	< 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 < h	TDD
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

일본 고조파 관리기준(Guide Line)

수용가 계약전력 1kW당

고조파유도전류상한치 (mA/kW)

수전전압	5차	7차	11차	13차	17차	19차
6.6kV	3.5	2.5	1.6	1.0	0.9	0.7