

3상4선식 계통에서 중성선 영상고조파 저감에 따른 기대효과

강창원·이재천·이성우·이일무
<(주)피에스디테크>

1. 고조파

1.1 고조파의 정의

일반적으로 고조파(高周波, High Frequency)는 전력관계에서 상용 주파수보다 높은 주파수, 예를 들면 수백 Hz 이상인 주파수를 말하며, 고조파(高調波, Harmonics)는 기본파에 대하여 그의 정수배의 주파수를 말하는 것으로, 통상 왜형파는 그림 1과 같이 기본파와 고조파로 분해해서 생각할 수 있다.

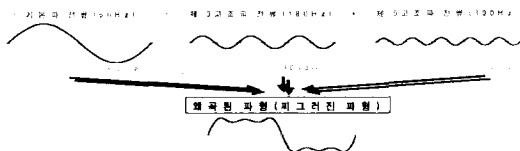


그림 1. 3차, 5차 고조파를 포함한 왜곡파형

1.2 고조파 발생원

근래에 들어 첨단기술의 발전과 아울러 고조파 발생원이라고 할 수 있는 각종 사이리스터 및 반도체 응용기기, 전력전자기술 응용기기의 사용이 증가하고 있다. 특히 조명기구의 다양화 및 고급화, 고절전화에 따라 고조파가 급증하고 있고 가정에서 사용하고 있는 개인용 컴퓨터를 비롯하여 오디오, 세탁기, 텔

래비전, 비디오, 팩스 등의 기기에 이르기까지 거의 모든 가전제품은 교류전력을 그대로 사용하지 않고 직류로 변환하여 사용하거나 정현파의 일부를 사용하게 된다. 이와같이 교류를 직류로 바꾸어 사용하는 과정에서 입력측의 전류가 크게 일그러져 있음을 알게 된다.

고조파 전류의 발생원은 대부분 전력전자소자 (Power Electronics ; Diode, SCR 등)를 사용하는 기기에서 발생된다. 고조파 발생원은 다음과 같다.

- ① 변환장치 [인버터, 컨버터, 무정전 전원장치, 정류기, 가변전압 가 변주파수 장치 (VVVF) 등]
- ② 아크로, 전기로 등
- ③ 위상제어장치
- ④ 조명기기용 안정기
- ⑤ 회전기기
- ⑥ 변압기 여자전류

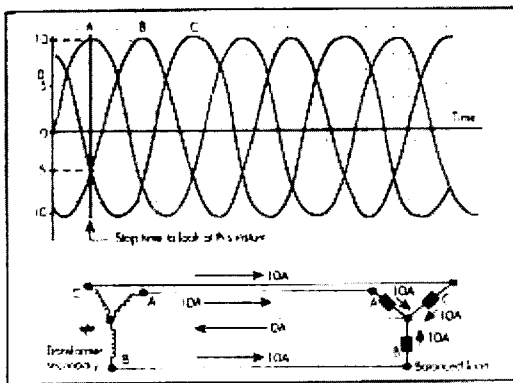
여기에서 ⑤~⑥는 발생 고조파 크기가 적고 순간적인 것이 많아 크게 문제가 되지 않으나, ①~④의 고조파 발생원은 지속적이고 고조파 전류 성분이 크기 때문에 다른 기기나 선로에 미치는 영향이 대단히 크다. 특히 3상4선식을 적용하고 있는 우리나라의 경우에는 이렇게 발생된 고조파가 중성선으로 유입되어 상전류보다 더 큰 전류가 흘러 여러 가지 장애

요인이 되고 있다.

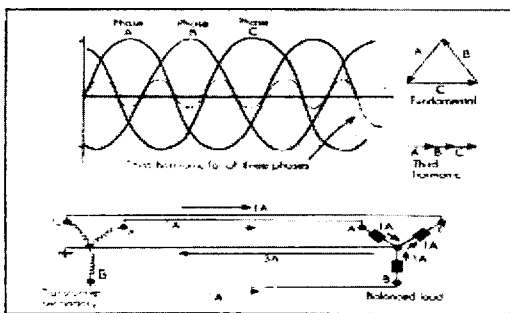
2. 중성선 영상 고조파전류 발생 및 영향

2.1 중성선 영상전류 발생

그림 2 에서 처럼 평형부하이고 선형부하일때 중성선에 흐르는 전류는 중성선에서 벡터합이 되어 0[A]가 되는 것에 비해서 평형부하이고 비선형부하일때 중성선에 흐르는 전류는 영상고조파(3, 9, 15차) 전류가 중성선에서 위상이 동일하여 벡터합이 아닌 스칼라합이 되어 중성선에는 상에 흐르는 전류의 3 배의 과전류가 흐르게 된다.



[선형부하]



[비선형부하]

그림 2. 스칼라합으로 나타나는 중성선 영상고조파 전류

3상4선식 배전계통에서 선형부하를 평형상태로 연결하여 운전시 중성선에 흐르는 전류는

$$\begin{aligned} \dot{I}_N &= \dot{I}_{R1} + \dot{I}_{S1} + \dot{I}_{T1} \\ &= I_m \sin \omega t + I_m \sin(\omega t - 120^\circ) + \\ &\quad I_m \sin(\omega t - 240^\circ) = 0 \end{aligned}$$

3상4선식 배전계통에서 비선형부하를 연결하여 제 3고조파가 유출할 때 중성선 전류는

$$\begin{aligned} \dot{I}_{N3} &= \dot{I}_{R3} + \dot{I}_{S3} + \dot{I}_{T3} \\ &= I_m \sin 3\omega t + I_m \sin 3(\omega t - 120^\circ) + \\ &\quad I_m \sin 3(\omega t - 240^\circ) \\ &= I_m \sin 3\omega t + [(I_m \sin 3\omega t) - (I_m \sin 3 \times \\ &\quad 120^\circ)] + [(I_m \sin 3\omega t) - (I_m \sin 3 \times 240^\circ)] \\ &= I_m \sin 3\omega t + [(I_m \sin 3\omega t) - (I_m \sin 360^\circ)] + \\ &\quad [(I_m \sin 3\omega t) - (I_m \sin 720^\circ)] \\ &= 3 \times I_m \sin 3\omega t \end{aligned}$$

상기와 같이 영상고조파는 평형부하임에도 불구하고 중성선에서 스칼라 합이 되어 각상의 합인 3배의 전류가 중성선에 흐르게 된다.

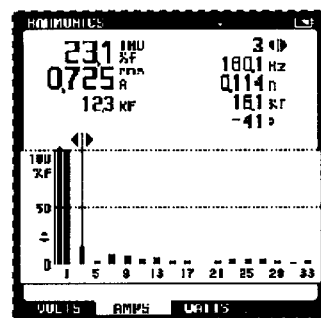


그림 3. 메탈 할라이트등에서의 고조파 전류

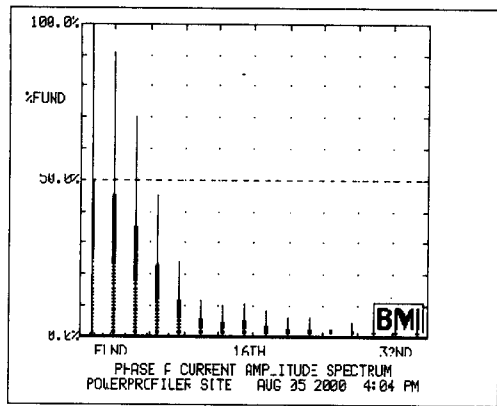


그림 4. 모니터 부하에서의 고조파전류

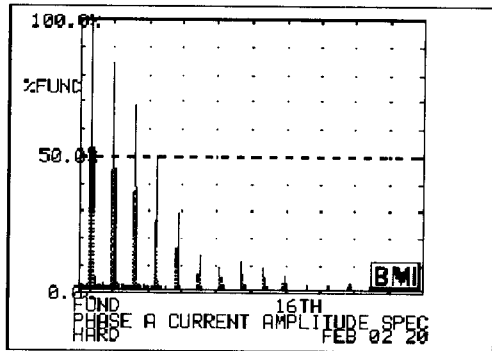


그림 5. PC부하에서의 고조파전류

그림 3, 4, 5는 부하에서 나오는 고조파 양을 측정 한 것이다. 모니터에서는 3차 고조파가 90% 이상 나오고 PC에서도 80%이상의 고조파 전류가 나오는 것을 알 수 있다. 메탈 할라이트 등은 한등에서 나오는 고조파 전류의 양을 측정 한 것이다.

2.2 중성선 영상전류에 의한 영향

고조파에 의한 중성선 과전류는 케이블·변압기 과열 및 소손, 변압기·발전기 출력저하, 역률저하, 전력손실 증가, ELB·MCCB 오동작, 유도장해, 중성선 대지전위 상승 등 심각한 장해를 일으키고 있다.

그림 6, 7, 8에서 보이는 것과 같이 중성선 영상고조파로 인하여 생기는 문제점은 다양하고 또한 심각한 수준에 도달해 있다. 이를 그냥 방치해 둔다면 계

3상4선식 계통에서 중성선 영상고조파 저감에 따른 기대효과

통의 불안정은 물론이고 각종기기의 오동작 및 수명 단축, 과열로 인한 사고/화재등 많은 경제적 손실을 가져올 수 있다. 따라서 중성선 영상전류 저감을 위한 장치의 개발이 필요하다.

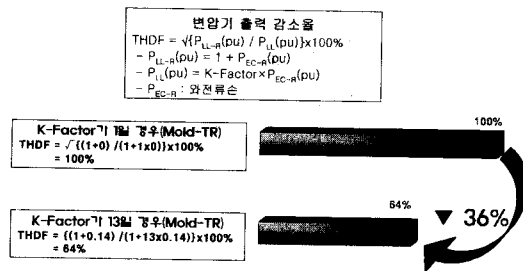


그림 6. 변압기 출력감소

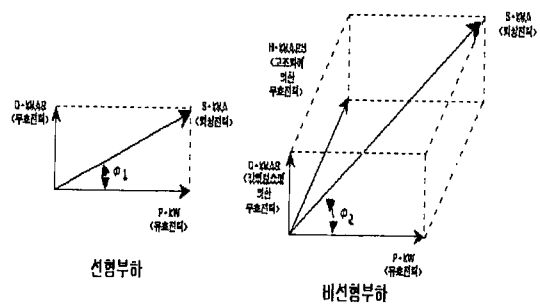


그림 7. 중성선 영상고조파 전류에 의한 역률저하 (cosφ 1) cosφ 2)

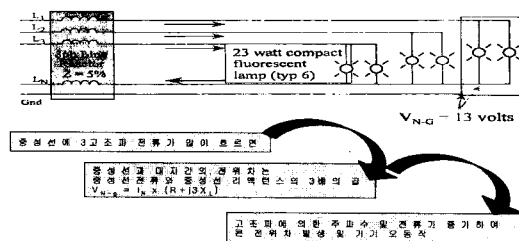


그림 8. 중성선 전류에 의한 대지전위 상승

3. 중성선 영상고조파전류 저감장치 (ZED: ZeroHarmonicsEliminating Device, 이하 ZED)

3.1 개요

중성선 영상전류를 저감시키기 위해서 영상분 임피던스가 낮은 분로장치를 설치하여 기기에서 발생하는 영상분 고조파 전류가 계통으로 흐르지 않고 영상분 분로장치로 By-Pass하도록 하여 중성선에 파전류가 흐르지 않도록 한다. 그림 9에서 보이는 것과 같이 설치전에는 계통으로 유입되던 영상고조파 전류가 설치후에는 영상임피던스가 낮은 ZED쪽으로 By-Pass 되면서 계통과 분리되게 된다. 이후 ZED에서 제거되고 남은 영상고조파 일부가 계통으로 다시 흘러 들어가게 되지만 그 양은 매우 적은 수치이므로 크게 계통에 고조파가 미치는 영향은 최소화가 된다.

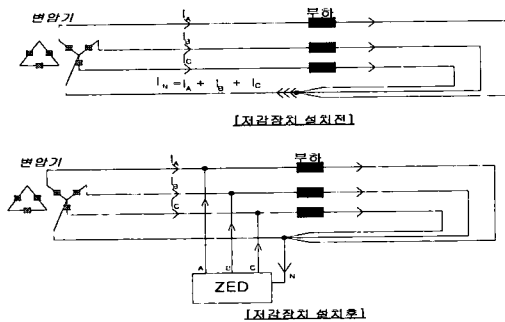


그림 9. 중성선 영상전류 저감장치 설치 전/후

3.2 중성선 영상고조파 저감장치(ZED) 원리

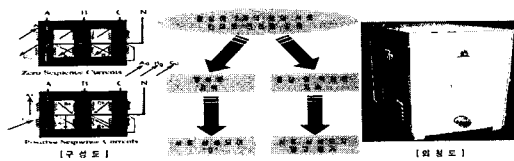


그림 10. 영상고조파전류 저감장치

그림 10에서 보이는 것처럼 영상분은 서로 상쇄되어 거의 "0"에 가깝게 되고 정상분 및 역상분은 서로 합해져서 더욱 커지게 된다. 그러나 정상분 및 역상분은 유입되는 양이 극히 미미하므로 별 영향을 끼치지 못한다.

3.3 현장설치 사례



그림 11. 현장설치

그림 11는 현장에 직접 ZED를 설치한 모습을 나타내고 있다. 주로 분전반이나 EPS실 내부에 설치하면 된다.

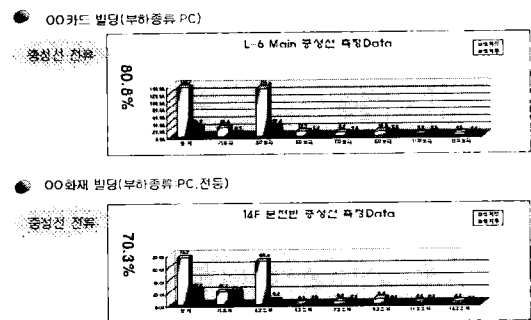


그림 12. 현장측정사례

그림 12는 현장에 설치했을 때 영상고조파가 저감된 현장실측 데이터를 도표화 한 것이다. 제일 왼쪽부터 중성선 전류의 합계, 기본파, 3고조파, 5고조파의 순이다. 3고조파가 70~80[%]정도 저감된 것을 볼 수 있다.

3.4 중성선 영상고조파전류 저감시 효과

3.4.1 변압기 출력여유율 증가

3고조파가 발생하면 전류파형이 첨두파형으로 변하여 변압기에 유입되어 변압기출력이 현저히 저하된다. 컴퓨터 등 OA 전용 변압기의 경우는 출력이 50%이하로 감소한다. ZED를 설치하여 영상분 고조

과를 흡수하면 변압기에는 영향을 최소화하여 변압기 출력에 여유가 생기게 된다.

3.4.2 변압기·케이블 과열 및 소손방지

중성선에 흐르는 영상분 고조파에 의하여 변압기·케이블 중성선이 과열되며, 이로인한 수명 단축 및 소손에 이르게 되는데, 중성선의 영상고조파를 제거하여 과열 및 소손을 예방하고 송전용량을 증가 할 수 있다.

3.4.3 역률개선

고조파에 의해서 생성되는 무효전력을 감소시킴으로써 종합역률(PF)을 개선함으로써 전력손실 저감 및 기기효율 향상을 기할 수 있다.

3.4.4 Noise 등에 의한 오동작 방지

중성선에 고조파가 흐르면 중성선과 대지간 전위가 상승되며, 또한 중성선 전류로 인한 유도에 의하여 제어가 오동작되거나 Noise원으로 작용할 수 있으며 EIB 오동작, MCCB Trip 등의 원인이 되는데, 중성선의 영상 고조파를 제거하여 이러한 현상을 예방할 수 있다.

4. 결 론

중성선 영상고조파 전류는 위에서 열거한 것과 같이 계통에 많은 문제점을 야기하고 있으며 기기에도 악영향을 끼친다. ZED를 설치하여 00카드 빌딩에서 80.8%, 00화재빌딩에서 70%의 영상고조파를 저감하였다. 실제로 현장에서 혹은 3상4선식 빌딩에서 많이 문제가 되고 있는 중성선 영상고조파를 효과적으로 감소시킴으로 인하여 위에서 열거한 많은 문제점들을 개선할 수 있었다.

중성선 영상고조파는 PC, Inverter, Converter, UPS 또는 전자식 안정기등의 사용증가로 인하여 나날이 증가되는 추세이다. 이러한 영상고조파 발생개소에 ZED를 설치하여 중성선 영상고조파 전류를 저감시킴으로써 계통의 안정화와 기기보호, 에너지 절감, 역률개선, 변압기 출력여유 및 용량감소등의 효과를 극대화 시킬수 있다.

참 고 문 헌

- (1) (주)피에스티테크 진단보고.
- (2) (주)서울유일엔지니어링 진단보고.
- (3) 성안당 "변압기 활용기술" 1998. 4.
- (4) A. C. Franklin "The J&P Transformer Book 11th Edition" 1984.
- (5) 전기안전공사 "전기사용장소의 고조파 상세분석 연구" 1996. 12.

◇ 著 者 紹 介 ◇



강 창 원(姜昌遠)

1956년생. 홍익대학교 전기공학과 졸업. KAIST 테크노 경영대학원 최고경영자 과정 수료. 전 한국전기안전공사 연구부장 역임. 전 (주)서울유일엔지니어링 대표이사, 현 (주)피에스티테크 대표이사.



이 재 천(李在千)

1967년생. 창원대학교 전기공학과 졸업. 전 오리온전기(주) 공무부. 현 (주)피에스티테크 기술지원팀장.



이 성 우(李性雨)

1967년생. 광운대학교 전기공학과 졸업. 동대학원 전기공학과 졸업(전기전자재료전공). 전 이천전기(주) 연구소 및 개발실. 전 한성중전기(주) 기술개발팀. 현 (주)피에스티테크 연구소 선임연구원.



이 일 무(李一茂)

1971년생. 홍익대학교 전기공학과 졸업. 동대학원 전기공학과 졸업(전력계통전공). 현 (주)피에스티테크 연구소 연구원.