

3상4선식 계통에서 중성선 영상고조파 저감에 따른 기대효과

강창원
(주)피에스디테크

이성우
(주)피에스디테크

정연해
전력기술인협회

김세동
두원공과대학

이원구
에너지관리공단

The expectation effects of a decrease in neutral wires Zero Sequence harmonic currents in 3 phases - 4 wires systems

Kang Chang-Won

Lee Sung-Woo

Jung Yeun-Hea
Won-Goo

Kim Se-Dong

Lee

Abstract - Recently, Dangers due to harmonics emanated from all sorts of machinery have been on the increase with the development in industry. One of them is that Zero Sequence harmonic currents flow from the neutral wires in 3 phases - 4 wire systems. The flowing of harmonic currents in neutral wires brings about the superheating and falloff in output of transformer, the overheating of them, a rise in ground potential and the wrong movement of machinery, so has a bad influence on this system. To develop the machinery to decrease neutral wires Zero sequence harmonic currents and apply it help solve these problems and bring about the effects of a improvement in power factor and energy savings.

1. 서 론

전기는 매우 편리한 에너지로서 모든 산업의 원동력일 뿐만 아니라 현대 생활을 안락하게 하는 가장 중요한 편익상품이다. 산업의 고도화와 국민생활의 향상에 따라 전력품질의 향상에 대한 요구는 날로 커져가고 있으며, 첨단 전자부품 및 신소재 개발에 힘입은 모든 산업제품의 정밀성 및 효율성 향상, 가정용 컴퓨터 등 첨단 가전기기의 보급 등이 그 좋은 예라 할 수 있다. 전기품질의 요건으로는 무정전, 일정주파수, 정전압 및 순 정현파를 들 수 있는데, 앞의 3개 항목에 대하여는 전력 수용가에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 이미 오래 전부터 많은 설비투자자 기술개선이 이루어져 현재로서는 선진국에 버금가는 수준에 와 있다고 볼 수 있다.

그러나 지금까지 순 정현파 공급, 즉 고조파 문제는 그 피해의 심각성이 크게 인식되지 않아 상대적으로 다른 항목에 비하여 주목받지 못하고 있는 실정이다. 고조파의 발생요인은 크게 두 가지 그룹으로 구분할 수 있는데, 그 하나는 근래에 이르러 사용이 급격히 늘어난 첨단 제어장치, 전력전자기기 등 다양한 반도체 전력변환 설비에 의한 것이며, 다른 하나는 기존 전력기기(변압기 및 회전기)의 비선형 특성영역에서의 운전으로 인한 것을 들 수 있다. 이러한 비선형 부하의 유형이나 양이 증대하면, 전원측에 많은 고조파 전류가 흐르게 되고 따라서 전압의 왜형이 발생하여 제통내의 다른 설비까지 악영향을 미친다. 뿐만 아니라 무효전력의 증가로 역률까지 저하되는 등 전력품질상의 심각한 문제가 초래된다.

특히 3상전원의 각상에 SMPS(Switching Mode Power Supply), UPS 등 제3조파 발생원부하가 연결되

어 있는 경우 3상 평형이 맞았음에도 불구하고 중성선에 는 상전류보다 큰 전류 흐름이 관측된다. 이것은 3상의 경우 각상의 위상차는 120도이기 때문에 각 상의 전류에 포함되어 있는 3배수 조파 전류(3조파, 9조파, 15조파, .. 등)가 중성선에서 서로 상쇄되지 않고 합쳐지기 때문이다. 이러한 중성선에 흐르는 3배수 조파(영상고조파)의 고조파 전류들로 인해 분전반과 배전선로에 실제로 문제가 발생한 예가 많이 있다.

각상에 기본파의 $1/\sqrt{3}$ (약 57%)의 크기를 갖는 영상 고조파전류가 포함된 경우 중성선에 흐르는 고조파 전류는 상전류의 $\sqrt{3}$ 배($3 \times 1/\sqrt{3} = \sqrt{3}$) 크기를 갖으며 180Hz의 주파수를 갖기 때문에 표피효과에 의해 전선의 유효 단면적을 감소시켜 중성선의 발열을 초래한다.

우리나라의 경우 저압의 표준 간선방식은 3상4선식이며, 게다가 가정에서도 Home Office 개념으로 변화되면서 각종 OA기기의 사용 급증으로 중성선에 흐르는 전류로 인해서 중성선의 발열현상 발생 또는 OA기기의 손상 등의 사례가 발생되고 있다. 뿐만 아니라 업무용 건물과 공장 등에서 비선형 부하기기의 사용이 급증하면서 중성선에 누출되는 전류가 급증되고 있으며, 전원주파수의 3 배수에 달하는 고조파 전류가 중성선에 흐르게 되어 막대한 전력손실과 변압기의 소손과 같은 문제가 발생하여 최근 비선형 부하의 증가로 인한 변전설비의 문제점이 심각하게 제기되고 있다.

본 연구에서는 고조파의 영향중에서 영상고조파의 발생원, 발생원리와 이로인한 악영향 등을 조사하고, 이에 대한 대책으로서의 영상고조파전류 저감장치를 설계, 제작하여 실제 문제가 발생하는 곳에 설치하여 목표로 하는 성능 및 효과를 얻고, 상용화하여 수입대체효과는 물론 전력품질의 개선과 전력손실 저감이라는 에너지 절감의 경제적인 효과를 얻을 수 있는 제품을 개발하고자 한다.

2. 본 론

2.1 고조파

2.1.1 고조파의 정의

일반적으로 고주파(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.

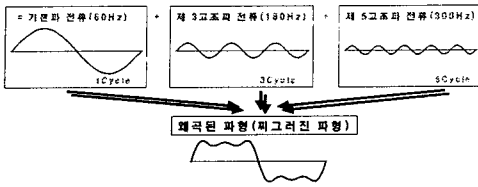


그림 1. 3차, 5차 고조파를 포함한 왜곡파형

2.1.2 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, 텔레비전, 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.

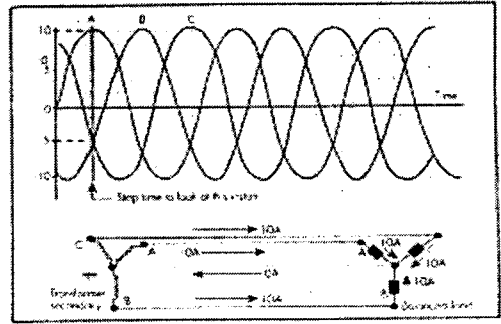
- ① 변환장치 [인버터, 컨버터, 무정전 전원장치, 정류기, 가변전압 가변주파수 장치 (VVVF) 등]
- ② 아크로, 전기로 등
- ③ 위상제어장치
- ④ 조명기기용 안정기
- ⑤ 회전기기
- ⑥ 변압기 여자전류

여기에서 ⑤~⑥는 발생 고조파 크기가 적고 순간적인 것이 많아 크게 문제가 되지 않으나, ①~④의 고조파 발생원은 지속적인 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 장애요인이 되고 있다.

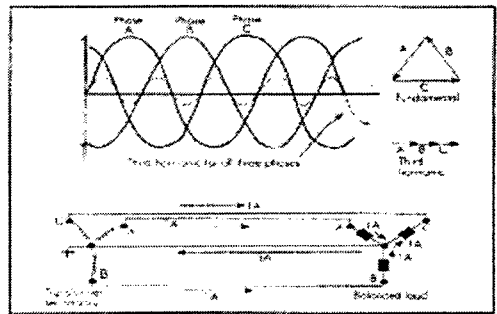
2.2 중성선 영상고조파전류 발생 및 영향

2.2.1 중성선 영상고조파 전류 발생

그림2 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 3배의 과전류가 흐르게 된다.



[선형부하]



[비선형부하]

그림 2. 스칼라합으로 나타나는 중성선 영상고조파 전류

3상4선식 배전계통에서 선형부하를 평형상태로 연결하여 운전시 중성선에 흐르는 전류는

$$I_{N3} = I_{R1} + I_{S1} + I_{T1}$$

$$= I_m \sin \omega t + I_m \sin(\omega t - 120^\circ) + I_m \sin(\omega t - 240^\circ) = 0$$

3상4선식 배전계통에서 비선형부하를 연결하여 제3고조파가 유출할 때 중성선 전류는

$$I_{N3} = I_{R3} + I_{S3} + I_{T3}$$

$$= I_m \sin 3\omega t + I_m \sin 3(\omega t - 120^\circ) + I_m \sin 3(\omega t - 240^\circ)$$

$$= I_m \sin 3\omega t + [(I_m \sin 3\omega t) - (I_m \sin 3 \times 120^\circ)]$$

$$+ [(I_m \sin 3\omega t) - (I_m \sin 3 \times 240^\circ)]$$

$$= I_m \sin 3\omega t + [(I_m \sin 3\omega t) - (I_m \sin 360^\circ)]$$

$$+ [(I_m \sin 3\omega t) - (I_m \sin 720^\circ)]$$

$$= 3 \times I_m \sin 3\omega t$$

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

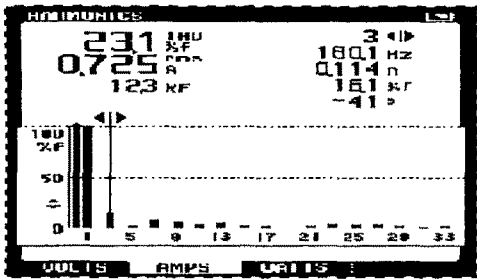


그림 3. 메탈 할 라이트등에서의 고조파 전류

변압기 출력 감소율
 $THDF = \sqrt{(P_{L_{(pu)}} / P_{C_{(pu)}}) \times 100\%}$
 $- P_{L_{(pu)}} = 1 + P_{EC_{(pu)}}$
 $- P_{C_{(pu)}} = K \cdot \text{Factor} \times P_{C_{(pu)}}$
 $- P_{EC_{(pu)}} = \text{역전률손}$

K-Factor가 1인 경우(Mold-TR)
 $THDF = \sqrt{((1+0) / (1+1 \times 0.14)) \times 100\%}$
 $= 100\%$

K-Factor가 13인 경우(Mold-TR)
 $THDF = \sqrt{((1+0.14) / (1+13 \times 0.14)) \times 100\%}$
 $= 64\%$

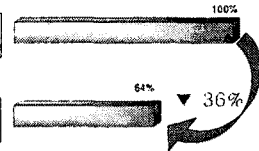


그림 6. 변압기 출력감소

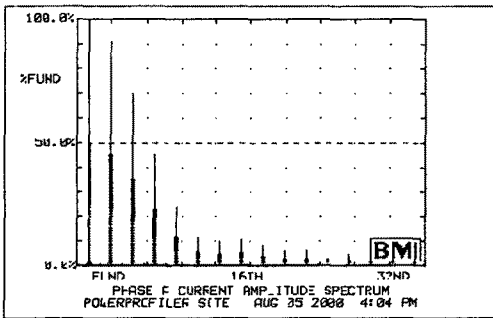


그림 4. 모니터 부하에서의 고조파전류

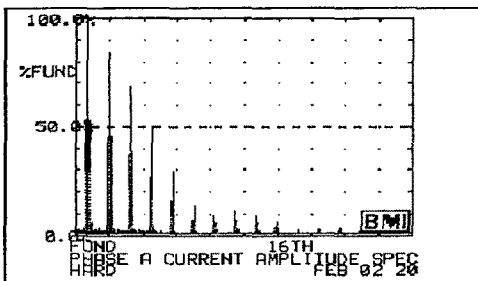


그림 5. PC부하에서의 고조파전류

그림 3, 4, 5는 부하에서 나오는 고조파 양을 측정하는 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 측정하는 것이다.

2.2.2 중성선 영상고조파전류에 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 장애를 일으키고 있다.

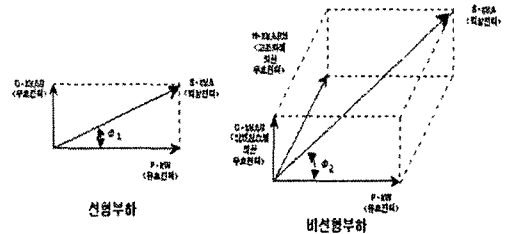


그림 7. 중성선 영상고조파 전류에 의한 역률저하 $(\cos\phi_1) \cos\phi_2)$

그림 6, 7, 8에서 보이는 것과 같이 중성선 영상고조파로 인하여 생기는 문제점은 다양하고 또한 심각한 수준에 도달해 있다. 이를 그냥 방치해 둔다면 계통의 불안정은 물론이고 각종기기의 오동작 및 수명단축, 과열로 인한 사고/화재등 많은 경제적 손실을 가져올 수 있다. 따라서 중성선 영상전류 저감을 위한 장치의 개발이 필요하다.

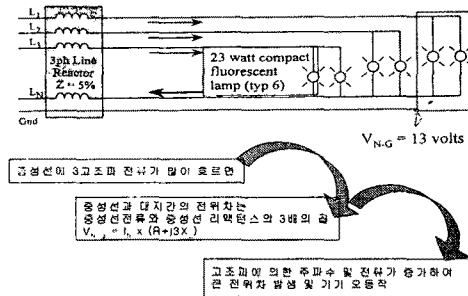


그림 8. 중성선 전류에 의한 대지전위 상승

2.3 중성선 영상고조파전류 저감장치 (ZED:Zero Harmonics Eliminating Device, 이하 ZED)

2.3.1 개요

중성선 영상전류를 저감시키기 위해서 영상분 임피던스가 낮은 분로장치를 설치하여 기기에서 발생하는 영상분 고조파 전류가 계통으로 흐르지 않고 영상분 분로장치로 By-Pass하도록 하여 중성선에 과전류가 흐르지 않

도록 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.

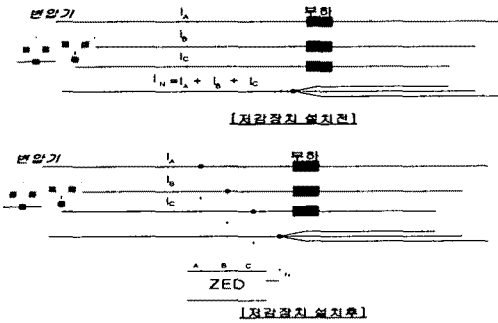


그림 9. 중성선 영상전류 저감장치 설치 전/후

2.3.2 중성선 영상고조파 저감장치(ZED) 원리

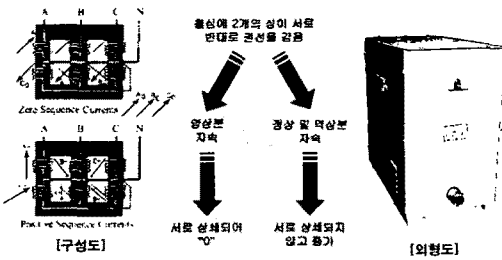


그림 10. 영상고조파전류 저감장치

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.

2.3.3 현장설치 사례

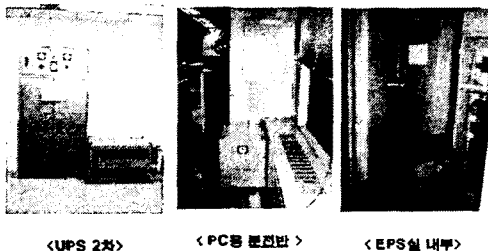


그림 11. 현장설치 (빌딩부하)

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

3. 결 론

3.1 설치결과 고찰

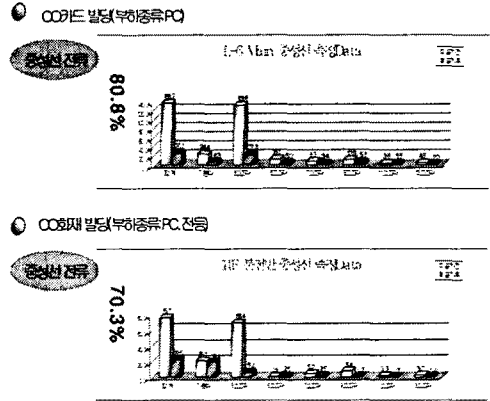


그림 12. 현장측정사례

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.

3.2 중성선 영상고조파전류 저감시 효과분석

3.2.1 변압기 출력여유율 증가

3고조파가 발생하면 전류파형이 침두파형으로 변하여 변압기에 유입되어 변압기출력이 현저히 저하된다. 컴퓨터 등 OA 전용 변압기의 경우는 출력이 50%이하로 감소한다. ZED를 설치하여 영상분 고조파를 흡수하면 변압기에는 영향을 최소화하여 변압기출력에 여유가 생기게 된다.

3.2.2 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.

3.2.3 역률개선

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

3.2.4 Noise 등에 의한 오동작 방지

중성선에 고조파가 흐르면 중성선과 대지간 전위가 상승되며, 또한 중성선 전류로 인한 유도에 의하여 제

어가 오동작되거나 Noise원으로 작용할 수 있으며 ELB 오동작, MCCB Trip 등의 원인이 되는데, 중성선의 영상 고조파를 제거하여 이러한 현상을 예방할 수 있다.

3.3 최종 결론

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 감소시킴으로써 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, 역율개선, 변압기 출력여유율 및 용량감소등의 효과를 극대화 시킬수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] (주)피에스디테크 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 장애분석 연구 ", 1996. 12