

전기수용설비의 중성선 영상분 고조파전류저감장치

A Device for Reducing the Zero phase Harmonics of Neutral Line of Power Facility

강창원, 최길수, 한성배,
김범수, 정연해, 이기철
C.W.Kang, G.S.Choi,
S.B.Han, B.S.Kim

Abstract - Wide use of non-linear loads such as personal computers, monitors, laser printers, variable speed drives, UPS systems and other electronic equipment have led to harmonics becoming #1 issue in the electrical industry today.

Commercial and Industrial building power distribution systems, designed for the old, linear-style loads especially when found in high densities. Some common power system problems include overloaded neutral conductors, overheated distribution transformers, high neutral-to-ground voltage, poor power factor and distortion of the voltage waveform supplying these loads. The power quality problems, particularly high voltage distortion, have been known to cause equipment downtime due to malfunctions and component failure.

1. 서론

우리나라에서는 3φ4w 배전방식을 채택하고 있는데 최근에는 컴퓨터 등 OA 기기 사용증가로 이때 발생하는 영상분 고조파에 의하여 중성선에 상전류 보다 큰 전류가 흐르게 된다. 고조파에 의한 중성선 과전류는 케이블·변압기 과열손손, 변압기·발전기 출력저하, 역률저하, 전력손실 증가, ELB·MCCB 오동작, 유도장

해, 중성선 대지전위 상승 등 심각한 장애를 일으키고 있다.

2. 본론

2.1 기술개발의 필요성

1) 고조파 발생 및 피해 현황

◆ 기기별 고조파 발생현황

다음표는 고조파 발생을 실측한 자료이며

기기명	구분	차수별 고조파 발생율(%)					ITHD (%)	
		3차	5차	7차	9차	11차		13차
PC 본체		85.1	69.5	49.9	29.6	12.8	9.0	126.4
PC 모니터		91.7	70.6	45.3	23.9	11.6	10	128.8
인버터		7.75	54.41	35.5	0	6.32	1.02	87.57
로보트		0	42.01	24.25	0	24.25	17.15	69.16
SCR 교류 위상 제어장치		49.53	17.6	9.65	7.29	4.65	5.76	65.04
DC 정류기		3.0	41.3	10.4	0.9	6.6	1.6	43.50
UPS		1.9	35.6	4.9	0.2	9.0	1.2	37.70
전자식 안정기		25.3	16.32	11.76	8.32	1.7	0	35.75

* 자료 : (주)피에스디테크 보고서

Power Electronics 응용기기에서 많은 양의 고조파가 발생되고 있음을 알 수 있다. 특히 컴퓨터에서 고조파가 많이 발생하고 있으며 그 중 제3고조파가 많이 발생하고 있다.

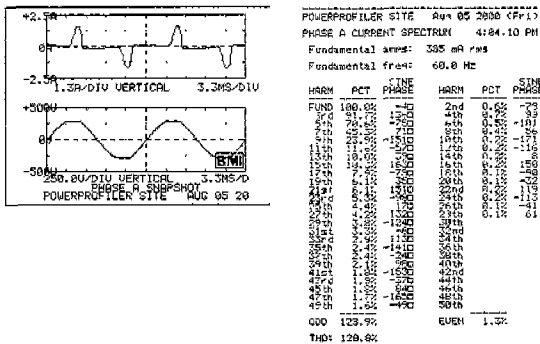
◆ 고조파 장애 유형과 피해 기기

1996년 한국전기안전공사 설문조사 결과 고조파 장애가 있었다고 응답한 사용자가 46.1%를 차지할 정도로 나타났으며 컴퓨터 사용증가 등으로 장애발생 사례가 늘고 있다.

	진동	이상음	과부하	과열	소손	오동작	중성선 과열	화상	집음	원불명	계
장애건수	25	43	30	35	33	53	11	8	10	248	
점유율 (%)	10.1	17.3	12.1	14.1	13.3	21.3	4.4	3.2	4.0	100	

자료 : 한국전기안전공사

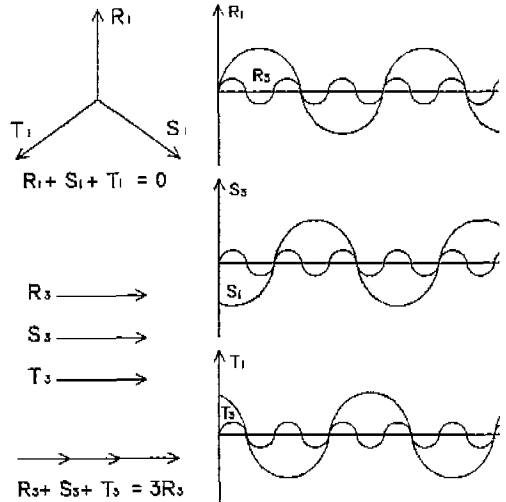
2.2 고조파에 의한 중성선 과전류 현상



컴퓨터, 복사기, 자판기, 전자식 안정기 등 단상정류기에서는 영상분 고조파인 제3고조파가 많이 발생함을 알 수 있다.

평형상태의 R, S, T 전류는 120°의 위상차를 가지고 있어 그 중성선에 흐르는 전류는 R, S, T 각 상의 벡터합 즉, $I_R + I_S + I_T = 0$ 이다. 그러나 다음의 그림과 같이 R상에 흐르는 제3고조파, S상에 흐르는 제3고조파, T상에 흐르는 제3고조파의 위상이 같기 때문에 중성선에는 벡터합이 아니고 스칼라 합의 전류가 흐르게 된다. 이러한 이유로 중성선에 흐르는 전류는 0

이 아니고 상전류보다 큰 값이 되어 과전류가 흐르게 된다. 내선규정에 중성선의 굵기는 상선과 같게 포설토록 규정되어 있는데 영상고조파에 의해 상전류보다 큰 전류가 중성선에 흐르면 케이블은 정격이상의 전류가 흐르게 되므로 과열되어 화재발생의 원인을 제공하게 된다.



각 상에 흐르는 전류는

$$I_{R1} = I_m \sin \omega t$$

$$I_{S1} = I_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$I_{T1} = I_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

로 표시되며, 전류의 합은

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

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

이 되고, 동위상인 제3고조파 전류

$$I_{R3} = I_m \sin 3\omega t$$

$$I_{S3} = I_m \sin 3(\omega t - 120^\circ) = I_m \sin 3\omega t$$

$$I_{T3} = I_m \sin 3(\omega t - 240^\circ) = I_m \sin 3\omega t$$

로 표시되며, 전류의 합은

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

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

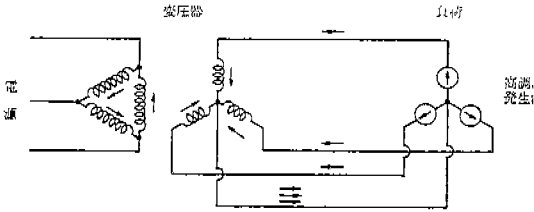
$$= 3I_m \sin 3\omega t$$

가 된다.

2.3 영상 고조파에 의한 중성선 과전류 발생시 장애

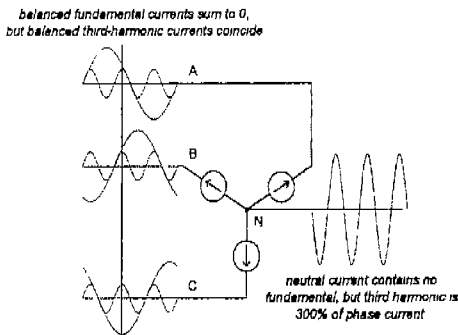
2.3.1 변압기 과열

비선형 부하에서 발생하는 고조파는 전원측으로 유출된다고 가정하면 아래 그림 예시와 같이 유출되는 영상분 고조파는 변압기 1차로 변환되어 △권선내를 순환하게 된다. 이 순환하는 전류가 열로 바뀌게 되어 열이 많이 발생하게 되는데 빌딩에서 사무용기기(단상정류기)를 많이 사용할수록 열이 많이 발생하여 온도가 상승하게 되며 이는 변압기의 와전류 손실 및 표피 효과에 의한 코일의 동손 증가 등의 영향에 증폭되어 변압기의 열화를 촉진하게 되고, 또한 전력손실도 증가하게 된다.



2.3.2 케이블 과열

일반적으로 중성선의 굵기는 다른 상에 비하여 같거나 가늘게 선정하고 있는데 그림과 같이 영상분 고조파에 의하여 중성선에 많은 전류가 흐르게 되면 케이블이 과열된다. 또한, 제3 고조파는 기본파의 3배인 180Hz의 주파수 성분을 갖기 때문에 표피효과에 의해 케이블의 유효 단면적을 감소시켜 저항의 증가현상으로 과열 현상은 증가한다.

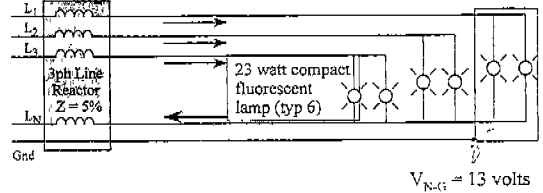


2.3.3 중성선 대지전위 상승

중성선에 제3고조파 전류가 많이 흐르면 중성선과 대지간의 전위차는 중성선 전류와 중성선 리액턴스의 3배의 곱

$$V_{N-G} = I_n \times (R + j3X_L)$$

이 되어 큰 전위차를 갖게 된다.



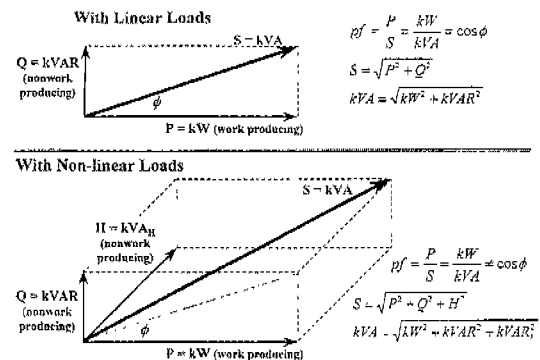
2.3.4 유도장해

전력계통에서 발생한 고조파는 인접해 있는 통신회선에 유도되어 장해를 일으킨다.

2.4 경제적 측면에서의 고조파 영향

2.4.1 역률저하

역률이라하면 일반적으로 아래위의 그림에서와 같이 전동기 리액턴스 성분만 고려하여 $PF = \cos \phi$ 라 하고 있지만 비선형 부하에서는 고조파 전압과 고조파 전류에 의한 왜곡전력도 무효분으로 아래 하단 그림에서와 같이 3차원적으로 해석해야 한다. 즉 리액턴스 성분에 의한 무효분이 작더라도 왜곡전력이 크면 무효분이 크게 되어 역률이 저하하게 된다.



▶ 역률 실측 결과

다음은 경북 구미의 전자공장에서 측정된 Data로서 기본과 역률 (dPF: 인덕티브 무효분)은 100%이나 고조파 전류가 83% 함유되어 있어 종합역률(PF)은 76%로 나타나고 있다.

전압	전류	유효전력	피상전력	무효전력	종합역률 (PF)	왜전압률	왜전류률
376.74	214.9°	61.74kW	80.93kVA	6.33kVAr	76%	100%	3.9%

▶ 고조파 저감시 역률개선

Non-Linear(비선형) 부하의 고조파 무효분(H)을 제거함으로써 역률 77%(고조파 제거전)을 99%(고조파 제거후)로 개선한 사례를 나타내었다.

◎ 고조파 전류 개선전 실측자료

ALL CHANNELS SUMMARY REPORT f=60.03hz (A)

```

***A***   ***B***   ***C***   ***D***
***ABC***
V   216.7   217.7   217.0   0.101   216.7
I   72.53   76.45   75.52   0.000   72.53
PF  0.776   0.781   0.776   0.000   0.766
Ithd 74.75   73.30   73.35
    
```

◎ 고조파 전류 개선후 실측자료

ALL CHANNELS SUMMARY REPORT f=60.03hz (A)

```

***A***   ***B***   ***C***   ***D***   ***ABC***
V   216.9   217.9   217.3   0.107   216.9
I   59.59   63.01   61.68   0.000   59.59
PF  0.998   0.988   0.984   0.000   0.988
Ithd 6.388   6.033   5.737
    
```

2.4.2 변압기 손실 증가

▶ 부하손실

변압기의 부하손실은 주파수와 관계없는 저항손과 주파수와 관계가 있는 도체중의 와전류손, 도체를 제외한 부분의 누설자속에 의한 표류손실로 이루어진다. 와전류손과 표류손은 서로 밀접한 관계가 있어 분리가 곤란하기 때문에 일반적으로 양자를 합하여 표류손실이라 말한다.

다. 부하손실은 다음 식으로 나타낸다.

$$W = W_R + W_E$$

(W_R : 저항손실 W_E : 표류손실)

$$W = \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 R (1 + \beta n^m)$$

▶ 무부하손실

계통 말단에 고조파 전류 발생원이 있으면 전압파형이 왜곡된다. 변압기 여자전압이 비정현파인 경우는 자속파형도 일그러져 무부하손실의 값이 변한다. 무부하 손실의 대부분은 규소강판에서 발생하는 철손이고, 철손은 히스테리시스손과 와전류손으로 이루어진다. 히스테리시스손은 주파수와 여자전압의 평균치와 함수관계에 있고, 와류손은 여자전압 실효치의 2승에 비례하기 때문에 고조파가 증가하면 무부하 손실은 증가한다.

2.4.3 케이블 손실 증가

▶ 케이블 과열

▷ 교류도체저항 증가, 전류 증가 ⇒ 케이블 과열

교류저항 $R_{AN} = R_D \times (1 + \lambda_S + \lambda_P)$

R_D : 직류도체저항

λ_S : 표피효과계수

λ_P : 근접효과계수

즉, 고조파에 의한 높은 주파수로 인하여 볼의 교류저항은 증가하고, 송전용량은 감소한다.

도체의 발열(Watt) = $\sum (I_N^2 \times R_{AN})$

2.4.4 변압기 출력감소

변압기에 고조파가 함유되면 아래 그림과 같이 전류파형의 끝이 뾰족한 첨부파형의 형태로 되거나 과열 현상에 의하여 변압기 출력이 저하된다. 일반적으로 고조파 부하(비선형 부하) 전용변압기인 경우는 변압기의 최대 이용 출력이

50-60% 정도로 저해된다.

변압기 출력감소를

$$THDF = \frac{\sqrt{2} I_{true\ rms}}{I_{peak}}$$

※ THDF : Transformer Harmonics Derating Factor

<3상부하(ANSI/IEEE C57-110)>

변압기 출력 감소를

$$THDF = \sqrt{\frac{P_{LL-R}(pu)}{P_{LL}(pu)}} \times 100(\%)$$

*. $P_{LL-R}(pu) = 1 + P_{EC-R}(pu)$

*. $P_{LL}(pu) = 1 + K-Factor \times P_{EC-R}(pu)$

*. PEC-R : 와류손

K-Factor 13 인 경우 (Mold TR)

$$THDF = \sqrt{\frac{1+0.14}{1+13 \times 0.14}} \times 100 = 64(\%)$$

즉, 정격의 64%가 최대이용율임.

2.4.5 발전기 출력저하

발전기의 댐퍼봉과 단락동관은 변류기의 2차측 권선작용을 하기 때문에 발전기에 역상전류가 흐르면 역상회전자계의 자속이 댐퍼권선 회로와 쇄교하여 댐퍼권선 등의 손실이 증가되고 출력을 저하시킨다.

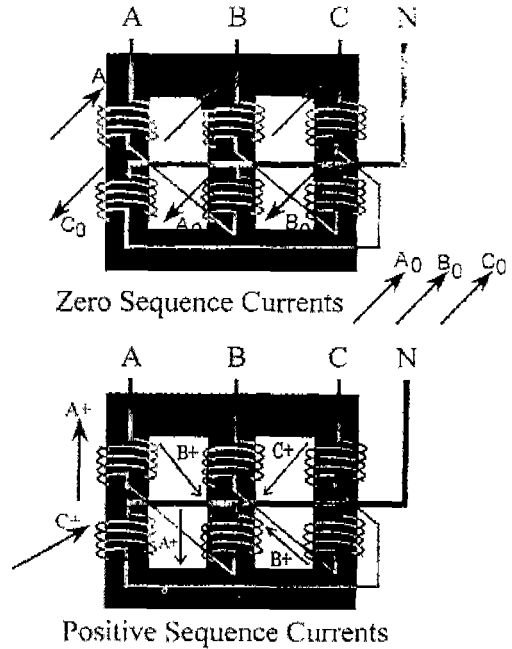
2.5 기술 개발 현황

영상분 고조파 저감장치

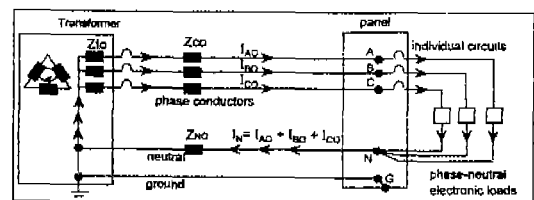
구성 및 원리

영상고조파 저감장치는 그림과 같이 같은 철심에 2개의 권선을 반대방향으로 감은 것으로 영상분 전류는 위상을 상호 반대로 하여 Cancel

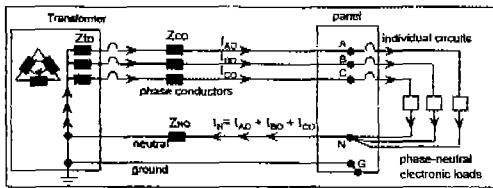
되게 하였으며 정상, 역상분 전류는 벡터합성이 크게 되게 한 것이다. 즉, 영상임피던스는 작게 하여 영상분 전류를 장치로 잘 흐르게 하고 정상 및 역상임피던스는 크게하여 정상, 역상분 전류가 장치로 흐르지 않고 전원측(변압기측)으로 흐르게 한 것이다.



그림은 장치를 설치하지 않은 것과 설치한 것을 비교한 것이며, 장치를 설치하지 않았을 때는 중성선에 영상분전류가 많이 흐르는데 비해 장치를설치하면 영상분 전류는 영상임피던스가 작은 장치로 흐르고 정상 및 역상분 전류만 중성선을 통하여 흐르게 됨 을 알 수 있다.



〈설치 및 영상고조파전류 분포〉



3. 결론

현재와 같이 영상분 고조파로 인하여 중성선에 과전류가 흐르는 것을 방지하면 각종 기기 과열·소손, 오동작, 오제어 등의 현상이 발생하여 현장의 기술자들은 설치하려고 하나 수입 제품이므로 투자비 회수가 길어 적극적으로 설치하지 못하고 있으며 국내에서 개발하여 가격이 낮아지면 보급이 확대될 것으로 보인다.

현재 고조파 저감장치가 풀어야 할 과제로는 고조파 서감장치로 유입되는 고조파에 견디기 위하여 적절한 K-Factor 개념을 도입한 리액터 설계를 위하여 설계기법을 습득하여야 하며 저 손실(저임피던스) 및 Pit 내부 등에 설치가 용이하도록 부피가 작게 제작되어야

한다. 이와 관련하여 고조파가 유입되는 관

계로 발생하는 히스테리시스 손실과 와전류 손실이 크게 증가하므로 이를 저감시키는 자로 구조해석을 진행중에 있다.

참고 문헌

- [1] 한국전력공사 “기술연구원” 전력계통의 고조파 대책연구, 1988.9
- [2] 고조파 억제 대책기술지침 (일본전기협회)
- [3] “Australian Standard to Specify Network Harmonics Limits”, 1978
- [4] “Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Static Power Converters”, IEEE, Jul 1979
- [5] “IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”, IEEE Std 519-1992.

다른사람들이 어떤일을 한다고 해서
 그들을 모조건 쫓아서 그 일을 해서는 안된다.
 어떤일을 할것인가는 너 스스로 결정하라
 그리고 다른 사람들로 하여금 너의 길을 따르도록 하라

-영국 대처 전수상의 아버지