

고조파의 영향과 장애

글/이 재 인(한양대학교 전기공학과 교수, 당협회 출판위원)

고조파로 인하여 전기설비에 미치는 것은 변압기, 전동기, 조명기구 및 배선, 전자기기와 CVCF 등이 있으나 여기서는 변압기와 전동기에 미치는 영향은 널리 알려져 있으므로 설명하지 않기로 하겠다.

1. 조명기구의 고조파 영향과 장애

조명기구에 미치는 고조파의 영향은 입력전류의 증감, 조도의 변화 및 명멸(Flicker) 등이 생각되나 여기서는 안전기의 소손 또는 수명의 단축에 관계되는 입력전류의 영향에 관하여 설명하기로 한다.

1. 1 광원의 종류와 주파수 특성

광원의 종류는 크게 나누어 백열전구와 방전등으로 분류되며 그 특성은 다음과 같다.

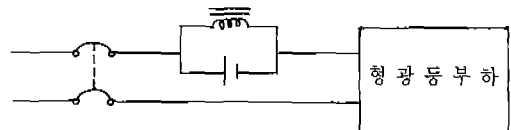
구 분	부 하 특 성	주 파 수 의 영 향
백 열 전 구	R	없 음
방 전 등 (안정기포함)	R, L, C의 합성	영향을 크게 받으며 주파수 정격값을 갖음

즉, 방전등은 안전기의 L과 C의 임피던스가 주파수에 따라 변화하므로 전원전압의 파형에 고조파가 포함되면 고조파의 영향을 받는다.

1. 2 고조파에 의한 영향

고조파에 의한 장애의 영향정도는 정량적으로 해석한 값은 대단히 작으며 그 한 예를 소개하여 본다. 철도의 모역에 형광등 회로의 MCB가 트립되었

다. 그 원인은 15[A]의 분기회로에 정격 9.8[A]로 설계되었으나 20[A]의 전류가 흘러서 MCB가 과전류로 인하여 트립되었다. 이유는 전철용의 정류전원과 같은 계통이므로 제11고조파가 11.4[%] 포함되었으며, 역률개선용 콘덴서에 이상전류가 흘렀다. 그러므로 고조파가 제11차로 해석되었으므로 그림과 같이 L과 C를 병렬공진회로로 하여 삽입, 고조파분을 제거하였다.



1. 3 안정기의 수명

안정기의 수명은 온도상승치에 따라 결정된다. 허용온도상승은 사용환경에 따라서 다르나 높은 온도에서 사용하면 수명은 짧게 된다. 일반적으로 안정기의 수명은 8~10년정도라 하지만 약 8[°C]정도 높아지면 수명은 절반으로 단축되고, 반대로 8[°C] 정도 낮아지면 수명은 2배로 길어지는 것으로 알려져 있으며, 고조파에 의한 영향도 권선의 온도상승에 따라 판단된다.

안정기의 회로도 보통 회로와 같이 간단한 것만이 아니라 1차권선, 2차권선 등 복잡한 설계가 있으며 역률도 달라지므로, 입력전류의 증가는 반드시 권선의 전류 증가를 의미하는 것은 아니다. 따라서 권선

의 온도상승으로 수명의 영향 평가를 한다.

2. 고조파에 의한 배선의 영향

전선에 있어서 고조파전류로 인하여 허용전류의 변화 및 배선방식에 의한 고조파전류의 분포, 포설 방법에 의한 유도장해가 문제로 된다.

2.1 선로 임피던스와 고조파

단락전류나 전압강하의 계산에 기초가 되는 선로 임피던스 \bar{Z} 는

$$\bar{Z} = R + jX = R + j\omega L [\Omega] \dots\dots\dots (1)$$

여기서 R : 1선의 교류도체저항 [Ω]

L : 1선의 인덕턴스 [H]

ω : $2\pi f$, f 는 주파수 [Hz]

로 표시되며 리액턴스 X 는 주파수에 비례한다.

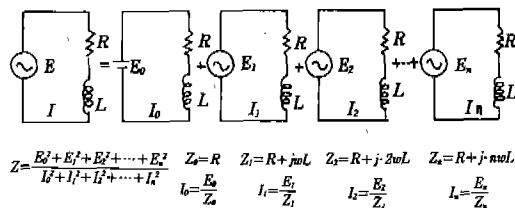
고조파는 기본파의 차수 n 배의 주파수의 파형이므로 고조파회로의 계산은 <그림 1>과 같이 외형파를 푸리의 급수로 각각의 차조파로 분해하여 각 차조파마다 회로계산을 하고, 이것을 중첩하여 외형파의 전압과 전류의 관계를 구한다. n 차고조파에 대한 (1)식은

$$\bar{Z}_n = R + j_n X \dots\dots\dots (2)$$

로 된다. (2)식에서 고조파에 의한 교류도체의 저항 변화는 고려하지 않는다.

2.2 고조파를 포함한 전류의 실효치

고조파전류에 의한 전선의 허용전류의 변화를 고



<그림 1> 고조파에 대한 선로 임피던스 계산

려할 경우, 기준이 되는 전류치가 고조파성분이 포함됨으로써 어떻게 변화하는가를 검토하여 본다.

일반 교류전류계는 실효치를 지시하나 이 실효치는 직류전류치와 등가적인 교류전류치이며 전류파형 순시치의 2승합의 평방근으로 표시된다.

전류파형이 정현파인 경우의 실효치는 전류파형의 최대치 $\sqrt{2}$ 분의 1로 된다. 전류파형에 고조파성분이 포함될 때 실효치는 <그림 1>의 직류분을 무시하면 (3)식과 같이 각 조파의 전류실효치의 2승합에 평방근이 된다.

$$I = \sqrt{\sum I_n^2} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_n^2} \dots\dots\dots (3)$$

여기서 I : 고조파를 포함한 전류의 실효치, I_1 : 기본파 전류의 실효치, I_n : 각차 조파 전류의 실효치이다.

예로써 100[%]의 기본파전류에 30[%]의 특정한 차수의 고조파전류가 포함되었다고 하면, 전류계의 지시는 104.4[%]로 불과 4.4[%]만 증가한다.

2.3 케이블 허용전류의 고조파 특성

전선의 허용전류는 전선의 최고허용온도와 기저온도와의 차이이며 어느 온도의 상승한도와 여기에 대응하는 전선의 발열량과 방열계수의 비로 결정된다. 그러므로 전선의 형상치수, 포설조건이 같은 경우는 방열계수가 같으므로 허용전류의 고조파특성은 도체의 온도 및 발열량을 일정하다고 하고 교류도체 저항의 변화를 고려하여, 이 변화에 따라서 허용전류를 보정하면 된다.

(1) 고조파와 교류도체 저항

도체온도를 일정하게 하였을 경우 교류도체 저항 R_A 는 (4)식으로 표시된다.

$$R_A = R_D(1 + \lambda_S + \lambda_P) \dots\dots\dots (4)$$

여기서 R_D : 특정온도에서 직류도체 저항 [Ω], λ_S : 표치효과 계수, λ_P : 근접효과 계수이다.

(4)식에서 표치효과 계수는 교류전류에 의한 자속이 도체의 표면부근보다 중심부가 크게 되며, 자기인덕턴스에 의하여 전류가 자기 인덕턴스가 작은 도체의 표면으로 많이 흐르게 되므로 저항의 증가분을

계수로 표현한 것이며 주파수가 높을수록, 도체의 단면적이 클수록 표치효과는 현저히 크게 된다. 근접효과 계수는 교류 다심케이블의 상호유도효과에 의하여 도체 상호간 근접에 따라 전류분포가 편재되므로 저항의 증가분 계수이다.

같은 온도조건에서 기본과 전류에 의한 교류도체 저항 R_{AI} 과 고조파전류에 대한 교류도체 저항 R_{An} 의 비를 β_n 이라하면

$$\beta_n = \frac{R_{An}}{R_{AI}} = \frac{1 + \lambda_{Sn} + \lambda_{Pn}}{1 + \lambda_S + \lambda_P} \dots\dots\dots (5)$$

로 된다.

(2) 고조파전류에 의한 허용전류 감소율

기본과전류에 의한 도체의 발열량 W 는 $I^2 R_A$ 로 표시되며, 전류 I 에 고조파전류가 포함되면 (3) 및 (5)식에서

$$W = \Sigma I_n^2 R_{An} = R_A (I_1^2 + \beta_2 I_2^2 + \beta_3 I_3^2 + \dots + \beta_n I_n^2) \dots (6)$$

으로 된다. 여기서 각 조파전류 성분의 기본과 전류치에 대한 함유율을 x_n 이라하면 (6)식은 (7)식과 같이 표현된다.

$$W = \Sigma I_n^2 R_{An} = I_1^2 R_A (1 + \beta_2 x_2^2 + \beta_3 x_3^2 + \dots + \beta_n x_n^2) \dots\dots (7)$$

고조파전류에 의한 교류도체 저항 R_A 가 변하지 않는다고 가정하면, 교류전류의 실효가 같은 경우 도체의 발열량 W 는 고조파의 함유율에는 관계없게 되므로 (7)식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$W = \Sigma I_n^2 R_A = I_1^2 R_A (1 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_n^2) \dots (8)$$

따라서 (7)식의 발열량과 (8)식의 발열량이 같으므로 $(I_{SI} - I_1) / I_{SI}$ 을 구하면, 이것이 고조파성분을 포함한 전선의 허용전류 감소율 r 의 일반식이 된다.

$$r = 1 - \frac{I_1}{I_{SI}} = 1 - \sqrt{\frac{1 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_n^2}{1 + \beta_2 x_2^2 + \beta_3 x_3^2 + \dots + \beta_n x_n^2}} \dots (9)$$

실제로는 고조파전류 성분에 의한 허용전류 감소율의 개략치를 파악하기 위하여 표치효과 계수 및 근접효과 계수의 계산식을 인용하여 제3, 제5 및 제7조파에 의한 도체 CV600V 및 6,600V 케이블에 관하여 λ_{Sn} , λ_{Pn} 을 구하고 고조파 차수의 영향을 정성적으로 표시하기 위하여 단일 고조파성분을 포함하였다고 하면 (9)식을 (10)식과 같이 간략화하여

계산할 수 있다.

$$r_n = 1 - \sqrt{\frac{1 + x_n^2}{1 + \beta_n x_n^2}} \dots\dots\dots (10)$$

여기서 n : 고조파 차수, x : 기본과에 대한 고조파 함유율, β : 기본과에 대한 교류도체 저항비, r : 기본과에 대한 허용전류 감소율이다.

2. 3 배선방식에 따른 고조파전류의 분포

3상교류에는 상회전이 있다. 기본과의 상회전 방향을 정상이라 하면 각차 기수고조파의 상회전 방향은

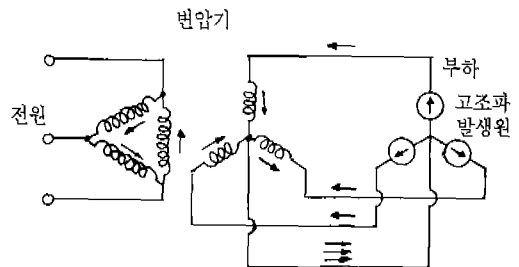
정상 제7, 제13, 제19, 제25.....(6N+1), N는 정수

동상 제3, 제9, 제15, 제21.....(6N-3)

역상 제5, 제11, 제17, 제23.....(6N-1)

으로 된다. 이것은 마치 대칭좌표법에서 정상분, 역상분, 영상분에 해당되므로 고조파가 발전기 등의 회전기에 미치는 영향을 정량적으로 표시하기 위하여 고조파의 각 차수마다 보정을 하지 않은 등가 역상분으로 표시하기도 한다.

3상3선식 회로에 있어서 동상분은 전류통로가 없으므로 선전류에는 포함되지 않으나 3상4선식 회로의 중성선에는 강상의 부하가 평형되어 있어도 부하에 고조파전류 발생원이 있으면 <그림 2>와 같이



<그림 2> 3φ4W 회로의 동상분 고조파전류 등로

(6N-3)의 동상분 고조파전류 3배의 전류가 흐르게 된다.

예를 들어 각상의 부하전류에 기본파 전류의 40 [%]에 제3조파 전류가 포함되었다고 하면, 각 상의 전류는 (3)식에 의한 기본파 전류의 107.7[%]가 되나 중성선에는 $40[\%]\times 3=120[\%]$ 의 제3조 전류가 흐르며 각 상의 선전류보다 큰 전류가 된다.

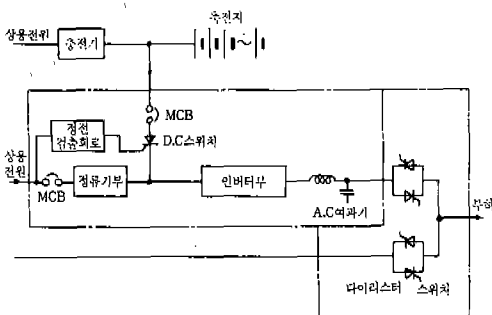
3. 고조파에 의한 전자기기의 영향

중정기기에 사용되고 있는 전자공학의 응용인 제어회로와 고조파와의 관계에 관하여 전력전자공학이 대표적인 장치이며 무정전 전원장치의 정전검출회로 및 자가발전장치의 자동전압조정장치(AVR)에서 오동작의 원인 및 그 대책에 관하여 설명한다. 또 통신 설비에 전력설비로 인한 전자유도의 문제, 가전기구에서 허용하는 전압외형률의 지침 및 유도원판형 파전류계전기의 고조파로 인한 특성변화 등도 설명하겠다.

3. 1 무정전 전원장치

무정전 전원장치(UPS)는 은행에서 온라인용 전자계산기, 보도통신, 공장 및 학교, 병원 등 중요부하의 안정화 전원으로 널리 사용되고 있다.

이 UPS는 <그림 3>과 같이 정전압 정주파수장치(CVCF), 스위치반, 충전기 및 축전지로 구성되어



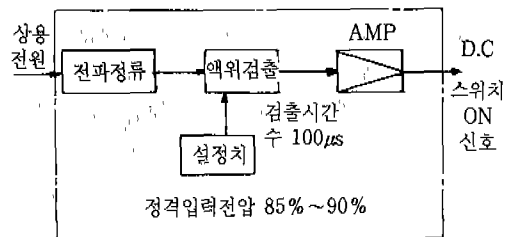
<그림 3> 무정전 전원장치의 기본회로

있다.

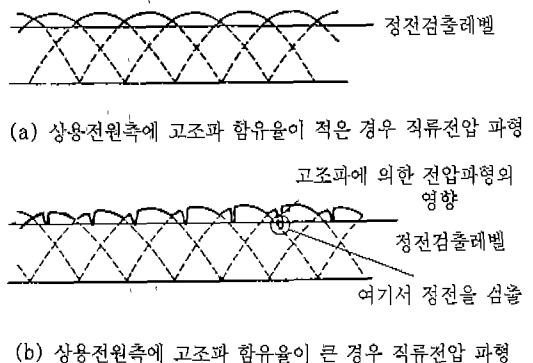
만일 상용 교류입력이 정전되었을 경우 중요부하에는 축전지로 부터 직류입력을 교류로 변환하여 공급할 수가 있다.

UPS의 역할을 고려하면 정전검출회로는 대단히 중요한 회로이다. 정전검출회로는 상용전원이 정전되었을 때 3상 전파정류된 전압이 강하하여 설정치(정격전압의 85[%]~90[%]) 이하가 되면 D.C스위치로 투입신호가 출력되며 D.C스위치는 고속동작하여 UPS는 순간 무정전으로 안정된 교류전력을 공급할 수 있다. <그림 4>는 일반적인 정전검출회로의 블록그림이다.

<그림 3>에서 UPS에 내장된 정류기부 및 교류전원측에 접속된 다이리스터 기기 등에서 발생하는 고조파가 UPS의 정전검출회로에 미치는 영향을 검



<그림 4> 정전 검출회로의 블록도



- (a) 상용전원측에 고조파 함유율이 적은 경우 직류전압 파형
- (b) 상용전원측에 고조파 함유율이 큰 경우 직류전압 파형

<그림 5>

토하기로 한다.

교류전원측의 고조파 함유율이 증가하면 전압파형이 찌그러져 직류측에도 <그림 5>와 같은 영향을 준다. UPS의 정전검출 시간은 수 백 μsec 라는 대단히 고속이기 때문에 정전검출회로가 불필요한 동작을 하여 D.C스위치를 투입하게 된다.

이 때 교류입력측의 파형이 계속 찌그러지면 D.C스위치는 투입상태가 계속되어 축전지는 방전하게 되며 실제로 정전시에는 유효하게 사용되는 정보보상시간이 짧게 된다.

이상과 같은 고조파 문제에 대한 정전검출회로의 대책으로는 정전검출회로의 시정수를 길게 하는 방법이 있으나 UPS의 출력전압 순시변동 등의 특성에 영향을 미치게 되므로 부하측에서 허용할 수 있는 범위를 고려하여 시정수를 결정하여야 한다.

3. 2 발전기

발전기는 고조파전류에 대하여 어느 정도는 허용할 수 있게 제작되어 있으나 고조파가 증가할수록 바람직스럽지는 않다. 이와 같은 것은 발전기의 댐퍼 권선의 가열이나 제어회로의 난조 등에 영향을 미치며 부하측에도 영향을 미치게 되므로 충분한 대책을 강구하여야 된다.

전압의 파형이 찌그러졌을 경우 자동전압조정장치(AVR)의 실효치 검출회로가 전파형에 걸쳐 검출이 되지 못하게 됨으로써 전압변동이 크게 되는 경향이 있다. 이 때는 다음과 같은 대책을 AVR에 실시할 필요가 있다.

(1) AVR의 입력회로에 여파기를 삽입하여 파형의 절단에 의한 영점과 교류전압의 본래의 영점과 혼동하지 않게 하고, 교류전압의 영점으로 확실하게 동기를 취한다.

(2) 계자제어용 다이리스터의 점호신호를 구형파로 하고 영전압구간에서도 다이리스터를 통상상태로 유지시킨다.

(3) 전압검출회로의 여파기 회로정수를 신중히 고려하여 선정하고, 전압파형의 전영역에 걸쳐 실효치

의 검출이 될 수 있게 한다.

이상과 같은 대책을 강구한 AVR를 채용하면 외형률 50[%]정도의 전압파형에서도 난조현상이 없고, 전압변동률도 감소시킬 수 있으며 안정한 동작이 된다.

3. 3 가전기구

TV, 라디오 및 음향기기, 비디오, 조명기구 등의 가전기구도 전원에 포함되어 있는 고조파에 의하여 잡음, 어른거림 등의 영향을 받는다.

이와 같은 영향이 전원에 포함되어 있는 고조파와 어떠한 관계가 있는가를 정량적으로 파악하기는 곤란하다.

그러나 가전기구에서 발생하는 고조파전류를 규제하는 방안은 제안되어 있다. 유럽 전기규격위원회에서는 <표 1>과 같은 제한을 설정하고 있다.

<표 1> 고조파 전압 외형률의 한계치

차 수	3	5	7	9	11	13	15, 17...39	2, 4, 6...40
고조파전압 외형률(%)	0.85	0.65	0.60	0.40	0.40	0.30	0.25	0.2

여기서 저압회로의 표준 임피던스는 <그림 6>과 같은 값을 사용하였고 부하전압이나 상수에 따라서 제n조파 전압 $V_n(\%)$ 를 계산하고, 그 값이 규제치를 초과하지 않게 장려하고 있다.

단상 220~240[V]이며 R(또는 S, T)과 N상간에 전압이 인가되었을 경우 계산 예는 다음과 같다.

$$V_n(\%) = \sqrt{\frac{(0.4)^2 + n^2(0.25)^2}{V}} I_n \times 100(\%)$$

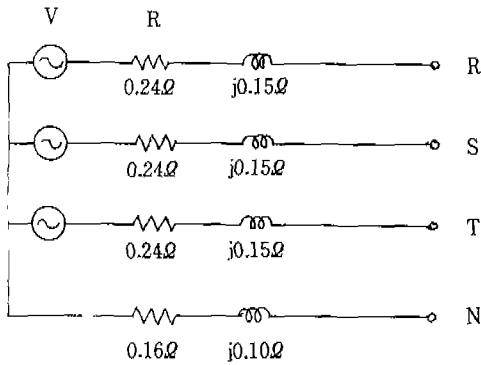
여기서 I_n : 제n조파 전류의 실효치

V : 상전압[V]이다.

3. 4 유도원관형 과전류계전기

유도원관형 과전류계전기는 수용가 전력설비의 과전류 보호용으로 널리 사용되고 있다.

과전류계전기는 고조파전류 발생원인 다이리스터 기기 등이며, 계전기의 본래 동작특성으로 부터 이



<그림 6> 저압회로의 표준 입피던스

탈된다. 고조파전류가 유도원형의 파전류계전기에 유입하였을 경우 그 영향과 장해를 검토하기로 한다.

실제 계전기의 형태는 제작회사에 따라서 다르나 고조파의 함유율이 높을수록 오차가 크게 되는 경향이 있으며 또한 고차고조파로 되면 그 영향이 더욱 크게 된다.

계전기의 주파수 특성을 보면 제5고조파, 제7고조파와 주파수가 더욱 높게 됨에 따라 도작치 오차가 크게 된다.

오차의 절대치는 형식, 사용법에 따라서 다르게 되므로 일반적으로 설명하기는 어려우나, 대개 전기 회로에 있어서 고조파의 함유율은 20[%] 이하로 상정되며, 회로에서 공진현상이 발생하지 않는 한 계전기의 탭, 레버를 적절히 설정하면 실용상 지장은 없을 것으로 판단된다.



에너지 절약 아주 작은 관심에서 시작됩니다

소중한 전기 아껴쓰는 생활의 지혜

조명

불필요한 전등의 사용을 억제합니다.

백열등은 형광등으로 교체 사용합니다.

용무후 소등을 철저히 합니다.

실내에는 자연조명을 적극 활용합니다.

냉장고

냉장고 문여닫는 회수를 줄입니다.

뜨거운 음식물은 반드시 식혀서 넣습니다.

냉장고에 음식물을 가득 채우지 않습니다(60%가 적당).

세탁기

세탁물은 한꺼번에 모아서 세탁합니다.

세탁기 1회 사용시간을 10분 이내로 조정합니다.

탁한 세탁물은 한번 손세탁 후 사용합니다.

TV

원하는 프로그램을 선택하여 시청합니다.

시간을 알기 위해서 TV를 켜지 않습니다.

가전제품을 사용하지 않을 때는 반드시 플러그를

빼둡니다.

전기다리미

다리미질은 한꺼번에 모아서 다리미니다.

옷감마다 적당한 온도로 다리미니다.

얇은 옷감은 남는 열을 이용합니다.

발래를 완전히 말린후 물을 고루 뿌려 사용합니다.

전기장판

장판 밑과 위는 모포를 깔아 사용합니다.

일정한 온도 상승후 온도 조절기는 적정위치로

조절합니다.