

최신 에너지 절약 기술 ②

글/전 용 선 세종글로벌(주) 상무

유 상 봉 용인송담대학 교수/공학박사/기술사

나. 능동 Filter (Active Filter)

Active Filter는 수동 Filter와 같이 공진 특성을 사용하지 않고 인버터 응용기술에 의하여 역위상의 고조파를 발생시켜 고조파를 소거하기 위한 이상적인 Filter 이다.

그림 1-7은 Active Filter의 접속도를 나타냈으며 그림 1-8에 동작파형을 그려 보았다. 그림 1-7과 같이 Active Filter는 고조파 발생부하와 병렬로 접속한 것으로

부하전류 I_L 을 CT에서 검출하고 부하전류에 포함된 고조파 전류성분 I_H 를 끄집어낸다.

이 I_H 를 전류제어의 기준 신호로서 인버터에 흐르는 전류를 제어하는 것으로 I_H 와 역위상의 전류 I_c 를 Active Filter로 흐르게 함으로써 전원전류에 포함된 고조파 전류성분을 상쇄하기 때문에 전원전류 I_s 는 정현파가 되는 것이다.

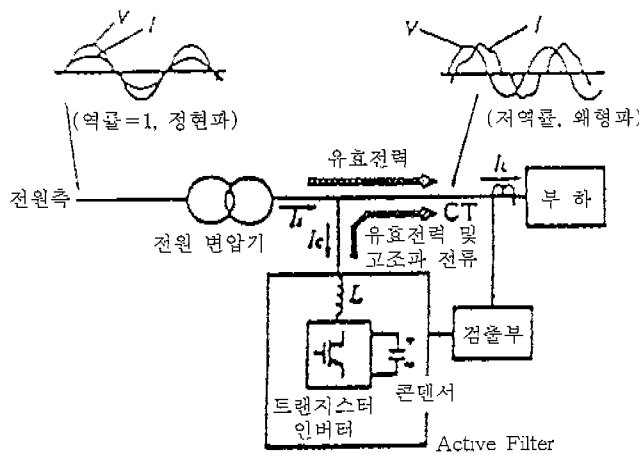


그림 1-7 Active Filter 접속도

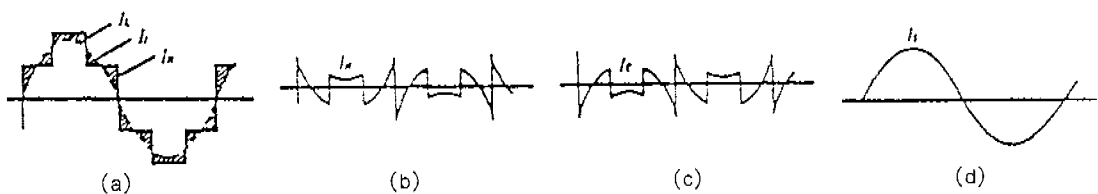


그림 1-8 동작파형

액티브 필터의 주회로 구성은 그림 1-9에 나타낸 것과 같이 IGBT와 다이오드에 의한 3상 구성으로서 AC 모터 드라이브에 사용하는 전압형 PWM 인버터와 비슷한데 전원계통을 부하로 보고 AC 리액터를 거쳐 고조파 전류를 주입한다. 또한 스위칭 리플 제거용 필터에 의해 IGBT 출력의 PWM 파형(펄스 파형)의 고주파 성분(리플)을 제거하고 필요한 고조파 전류성분을 출력한다. 또한 인버터부에서 정현파를 출력시키면 무효전력(진상/지상)도 공급할 수 있기 때문에 고조파 억제만이 아니고 무효전력 제어(역률 제어)도 할 수 있는 것을 특징으로 하고 있다.

다. Active Filter와 LC Filter의 비교

Active Filter 와 LC Filter의 특징을 비교하면 표 1과 같다.

또한 Active Filter와 LC Filter 의 접속계통의 전압, 상수, 주파수는 동일 표현이지만 정격용량의 표시방법이 서로 다르다.

$$\begin{aligned} & \text{액티브 필터의 정격용량[kVA]} \\ & = \sqrt{3} \times \text{계통전압} \times \text{보상전류 실효치} \end{aligned}$$

보상전류 실효치는 경우에 따라 액티브 필터의 설치 목적에 따라 고조파 전류만의 경우와 기본파 전류를 포함하는 경우도 있다.

LC 필터의 정격용량[kVar]은 각 분로마다의 기본파용량(진상 무효전력 용량)으로 표시하고 일반적으로 고조파 용량으로는 표현하지 않으며 고조파의 정격으로는 각 분로마다 각 고조파 차수의 정격 고조파전류[A]로 규정하고 있다.

표 1 액티브 필터와 LC필터 특징 비교

구 분	액티브 필터	LC 필터
고 조 파 억제효과	① 임의의 고조파를 동시에 억제가능 ② 저차 고조파의 확대는 없다. ③ 전원 임피던스의 영향에 의한 효과의 변화가 적다.	① 분로를 설치한 차수만 억제 ② 저차 고조파를 확대하는 일이 있다. ③ 전원 임피던스의 영향을 크게 받는다.
과 부 하	과부하가 되지 않는다.	부하의 증가나 계통전원전압 왜곡이 커지면 과부하가 된다.
역률 개선	있다(가변제어 가능)	고정적으로 있다.
증 설 용이	용이	필터간의 협조 필요
손 실	장치용량에 대해서 5~10%	장치용량에 대해서 1~2%
가 격	300~600%	100%

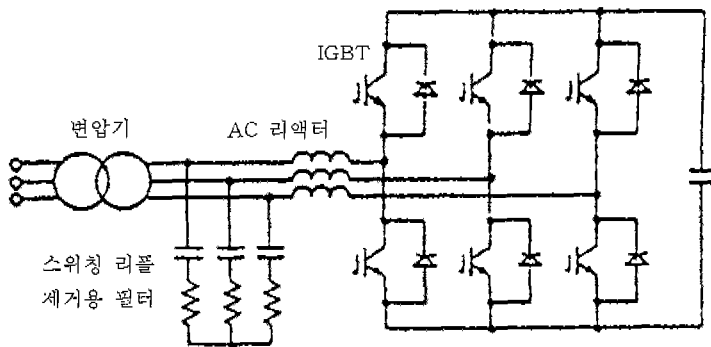


그림 1-9 액티브 필터의 주회로 구성

표 2

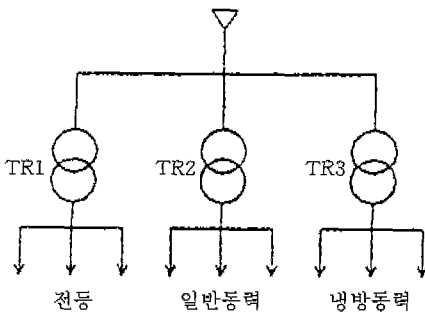
고조파(h)	lh(pf)	lh(pu)	lh(pu) ²	n ²	K-h Factor = lh(pu) ² n ²
1	100%	0.886	0.786	1	0.7855
3	37.6%	0.333	0.111	9	0.998
5	22.6%	0.200	0.040	25	1.000
7	16.1%	0.143	0.020	49	0.98
...
합 계	52.3%	52.3%	1.000		K-Factor 12.786

용량의 단위 표기는 액티브 필터는 피상 전력의 용량표현을 위해 “kVA”로 하고 LC 필터는 무효전력의 용량표현을 위해 “kVar”로 한다.

⑤ K-Rated 변압기

고조파 전류에 의해 발생하는 추가적인 열을 감당하기 위한 특별한 변압기로서 이런 종류의 변압기는 신규 컴퓨터실이나 컴퓨터 Lab. 시설을 위해 보통 사용된다.

그림 1-10과 같은 계통에서 고조파 부하가 많을 경우 고조파전류 중첩, 포피효과에 의한 저항 증가에 따라 IR이 크게 증가하므로 용량을 크게 하거나 (2~2.5배), 발주시 “K-Factor”가 고려되도록 하여야 한다.



각 변압기용량 = 각 설비용량의 합 × 수용률

그림 1-10 수전계통

K-Factor란 비선형부하들에 의한 고조파의 영향에 대하여 변압기가 과열현상 없이 전원을 안정적으로 공급할 수 있는 능력으로 ANSI C57.110에 의하면 표 2와 같다.

K	Typical Load Characteristics
1	Purely linear, no distortion
7	50% 3 phase nonlinear, 50% linear
13	3 phase nonlinear
20	Both single and 3 phase nonlinear
30	Purely single phase nonlinear

2) 고조파 교정(Intelligent Harmonics Correction)

고조파 발생 부하 근처에 고조파 제거 장치의 사용으로 상위단에서 아래의 장애를 제거할 수 있다.

- 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 증가
- 과부하 된 중성선과 도선으로부터 재산과 생명 안전의 위험

K-Rated 변압기와 같은 것을 쓰면 전력 송전선망으로부터의 초과 전류를 제거하나 공장 내부의 문제를 해결하지는 못하며 왜형 발생 부하 또는 근처에서 처리하는 방법이 좋다.

3) 고조파로부터의 전기 요금 계산

표준 클램프 온(Clamp-On) 암페어 미터가 비기본(Non-Fundamental)의 주파수 전류치를 감지하지 못하는 것과 같이 종래의 전기기계식 적산전력계는 이러한 상이한 주파수의 고조파 전류를 전기 요금 과금(Billing) 목적으로 감지하지 못한다.

그러나 전자식 유틸리티 미터를 사용하여 증가된 고조파 전류의 증가와 증가된 볼트-암페어 사이의 관계는 선형(Linear)이며 발생된 고조파 전류에 대해 전기 요금을 계산할 수 있다.

4) 고조파와 전압 왜형

전압 왜형은 AC 라인 전압의 공칭 정현파로부터의 어떤 이탈이라고 볼 수 있다. 비슷한 정의가 전류 왜형에도 적용되지만 전압 왜형과 전류 왜형은 서로 다르다. 왜형 파형은 어떤 특성을 가지고 있다.

고조파 왜형률(Harmonic Distortion Factor)은 고조파 실효치와 기본파 실효치의 비로서 나타내며 고조파 발생의 정도를 나타내는데 많이 사용된다.

즉 보통 각각의 고조파의 크기는 왜형파의 토탈 RMS값을 기준하지 않고 기본파 RMS값의 백분율로 표시된다. 예를 들어 전압 파형이 120 Volts의 RMS값을 가지며 기본파는 단지 100 Volts라고 가정할 때 만일 제3고조파의 크기가 25 Volts라면 제3고조파의 왜형율은 25%가 된다.

모든 고조파의 총계 효과는 토탈 고조파 왜형(Total Harmonic Distortion : THD)이라 부른다. THD는 모든 고조파의 RMS값을 기본파의 RMS값으로 나눈 값과 같고 보통 퍼센트로 바꾸어 부른다.

5) 고조파 왜형의 증상

① 전자 기기(Electronic Equipment)

전자 기기가 전류 왜형의 주된 발생원이지만 그것은 또한 희생물이라고 볼 수 있다. AC전류가 도선을 통하여 흐르면 전자장을 발생하며 전류의 주파수가 높으면 높을수록(예를 들면 고조파가 존재할 때) 전자장의 주파수도 커진다. 이 전자장은 데이터의 흐름을 혼란케 하여 데이터의 유실, 데이터 에러 및 늦은 데이터 송신율을

야기 시킨다.

전류 왜형은 시스템 임피던스와 작용하여 전압 왜형을 만들며 전압 왜형은 전력 공급장치의 동작을 방해하여 고장, 재가동 및 전력 공급장치의 손상을 가져온다.

3상 가변속 드라이브 컨트롤러는 라인 노칭(Line Notching)이라 불리는 전압 왜형을 일으킨다. 라인 노칭은 전압 파형에서 또 다른 제로 크로싱(Zero Crossings)을 만들어 내어 타이밍 회로의 모든 방식을 혼란시켜 버린다.

② 모터(Motor)

모터는 전압 왜형에 민감하다. 왜형 전압이 모터에 인가되면 더 높은 주파수가 모터의 고정자(Stator)에 주입되며 이것은 권선에서의 고조파 전류를 발생하며 아래와 같은 문제를 일으킨다.

첫째로 높은 주파수의 전류는 와전류 손실(Eddy-Current Loss)에 기인한 권선내의 높은 동작 온도를 야기한다. 이러한 높은 온도는 RMS 전류 레벨에 의존하지 않고 모터는 전부하가 아니더라도 과열 현상이 생기게 된다.

둘째로 왜형 고조파 전압은 단상 및 3상 모터에서 과도한 진동(Vibration)을 일으킨다. 이 진동에 의해 정상보다 높은 베어링 마모가 생기며 또한 모터 축(Shaft)의 안정성에도 영향을 끼친다.

3상 시스템에서 제5고조파의 존재는 특히 모터에 손상을 주는데 이는 역회전을 야기하여 모터가 거꾸로 돌아가도록 작용하기도 한다.

가변속 시스템에서 보통 전자식 드라이브 컨트롤러와 모터는 동일한 공급사로부터의 같은 패키지에 들어있다. 그러나 드라이브가 기존 모터에 추가된 별개의 장치라면 드라이브로부터 모터에 공급되는 전압의 품질을 조사해 보아야 한다.

또한 가변속 컨트롤러는 전자식 기기임을 명심해야 한다. 그것은 원래 전력 품질

의 장애에 영향을 많이 받고 그것들은 전류 왜형을 만들어 낸다.

이에 따라 전력 시스템에 더 많은 왜형 전류를 가져옴으로써 다른 부하와 배전 시스템 자체에 더 많은 문제를 일으킬 수 있다.

③ 조명(Lighting)

시스템의 타입에 따라서 조명은 고조파 왜형의 희생물이기도 하며 발생원이 되기도 한다.

백열등이 아닌 모든 조명 시스템은 전류 왜형을 발생한다.

표준형 형광등 및 HID 시스템은 15%에서 20%까지의 THD를 일으킨다.

전자식 안정기는 그 설계에 따라 10%이하로부터 40% 이상의 THD를 일으킨다.

그러나 왜형 전류의 존재가 꼭 문제를 의미함은 아니며 문제는 전류 왜형이 기기에 바람직하지 않은 영향을 줄 때만 결과로서 나타난다.

높은 중성선 전류의 존재는 중요한 전류 왜형을 일으킬 수 있다. 만일 이 중성선 전류가 도선을 과열시킨다면 그것은 심각한 이상 전압을 만들 것이며 그러한 이상 전압은 쉽게 조명 시스템을 손상시킬 것이다. 그래서 전류 왜형은 간접적으로 시스템에 영향을 줄 수 있다.

④ 배전 기기(Distribution Equipment)

전력 배전 시스템의 컴포넌트들은 전류 왜형에 민감하다.

첫번째로 중요한 점은 전류와 전압의 왜형은 "True RMS" 장비로 측정해야 한다.

"True RMS"가 아니라면 그것은 아마도 평균 타입의 미터로 부정확한 데이터를 제공할 뿐이다.

둘째로 우리는 변압기 부하>Loading)의 개념을 바꾸어야 한다. 변압기에 왜형 전류가 흐르면 정현파 전류 때보다 암페어당 더 많은 열을 발생시킨다. 이것은 변압

기가 전기적으로 전부하가 되지 않더라도 과열됨을 의미한다.

변압기의 정격 출력을 낮추거나(Transformer Derating), K-Rated 변압기를 고려해야 한다.

셋째 만일 3상 와이어 결선이 균형잡혀 있으면 중성선에 전류가 흐르지 않는다고 볼 수 있지만 고조파 전류가 존재할 때 몇몇의 고조파는 중성선에서 상쇄되지 않고 높은 전류가 흐르게 된다. 상 전류의 200%나 되는 높은 전류도 가능하게 된다.

마지막으로 고조파 전류는 차단기나 휴즈가 정확하게 동작하지 못하게 한다.

전류가 그 한계치를 초과하지는 않지만 차단기가 트립될 것이다.

중중 이것은 전류치를 평균 미터로 측정하기 때문이며 실제로 27 amps 이상의 전류가 있음에도 불구하고 미터는 단지 15 amps를 표시할 지도 모른다. 차단기는 제대로 동작하더라도 미터는 제대로 동작하지 않는 것이다.

전자 기기 부하로부터 높은 인입 전류가 유입될 때 차단기가 트립되는 때도 있다. 차단기가 트립되면 이때 동시에 비선형 부하가 가동되지 않았는지 확인할 필요가 있다.

6) 왜형 고조파 발생원

반도체 모터 컨트롤 및 컴퓨터 전력 공급장치는 다른 기기들의 공급 전압을 왜형으로 만들어서 민감한 전자 기기들이 고장 나든지 간헐적으로 동작하게 만든다.

이러한 고조파 문제의 원인을 규명할 수 있는 것이 이러한 문제를 해결하는 첫번째 단계이다.

* 전형적인 고조파 발생원

- 배터리 충전기(Battery Chargers)
- 대규모 컴퓨터

- 무정전 전원공급장치(UPS)
- 가변속 드라이브(Variable Speed Drives : VSD)
- DC 모터 드라이브
- 아크 용접기(Arc Welders)
- 전자식 안정기의 형광등 조명
- HID 조명(메탈 할라이드등, 나트륨등, 수은등)
- 유도성 히팅 컨트롤러(Induction Heating Controllers)
- 아크 가열로(Arc Furnaces)
- 정류기(전기도급 시스템 및 대규모 DC Power Supplies)
- AC-DC 또는 AC-DC-AC 인버터 Power Supplies

7) 고조파 해결을 위한 접근

고조파 문제를 해결하기 위하여 비선형 부하들을 아래의 3가지 그룹으로 나눌 수 있습니다.

- 정상 상태(Steady State)
- 과도 상태(Transient)
- 전자식(Electronic)

① 정상 상태의 비선형 부하(Steady State Nonlinear Loads)

시간 경과에 관계없이 근본적으로 동일한 레벨의 전류를 만들어 내는 부하는 선형 부하든 비선형 부하든 작은 속도와 토크 제어 범위에서만 변하는 AC 또는 DC 모터 드라이브, 고정된 온도 셋팅과 작은 가변 구간에서 동작하는 Induction Heating, Arc Furnace 또는 대규모 HID 조명 회로 등이다.

이러한 부하들에서 예측할 수 있는 고조파 전류가 장시간에 걸쳐 발생할 수 있는데 고정치(Fixed Value) 교정 방법으로 문제를 해결할 수 있고 이것은 그 부하 자체나 또는 또 다른 건물의 부하가 있더라도 다른 문제를 야기시키지 않는다.


② 과도성의 비선형 부하(Transient Nonlinear Loads)

한 개의 회로 내에 또는 한 대의 생산 기기에 개별적이든 그룹으로든 함유된 많은 비선형 부하는 총전류와 왜형 전류 모두 매우 넓은 폭의 변동을 보여 준다. 시간에 따라 50% 이상으로 변화한다면 고정식 처리 방법은 최대의 전력 절감을 가져올 수 없다.

예를 들면 대규모 다부하(Multi-Load) 설비 직기에서 10 amps에서 100 amps에 걸쳐 2초 내에 신속히 변화하는 경우, 고정값 처리 방법은 10 amps 교정 레벨 가까이만 제한될 것이다.

따라서 액티브 전력 보정 시스템으로 이러한 종류의 빠르게 변화하는 비선형 부하의 처리를 가능하게 할 수 있다.

③ 전자식의 비선형 부하(Electronic Nonlinear Loads)

컴퓨터, 디지털 프린터, 복사기 및 디스플레이 장치와 같은 부하는 AC to DC 전력 공급장치를 갖는 안정된 상태의 부하들이다. 이런 부하들은 상대적으로 많은 양의 고조파 전류를 발생시키며 또한 많은 리액티브 전력을 갖는다. 대규모 그룹으로 이런 부하들은 듀얼-모드 마이크로 프로세서 제어식 전력보정 시스템으로 처리하는 것이 이상적이다. 

● 다음호에 계속 됩니다