

전력계통에서의 고조파 발생원인 및 영향

윤기갑* · 김응상**

(*한전전력연구원, **한국전기연구원)

1. 머리글

지금까지의 전력공급은 전력회사의 확실적인 품질과 요금체제로 수용가에 공급되어 왔으나, 전기사용의 변화 및 사회환경의 변화로 인해 전기품질의 변동에 따른 영향이 과거와는 다른 양상을 보이고 있다. 즉, 극히 짧은 시간 동안의 전기품질 저하에도 전기사용 기기가 민감하게 작용하여 공장의 생산활동 장애, 정보 통신 기기의 장애로 인한 정보흐름의 단절 등으로 기회비용이 막대하게 증가하고 있으며, 이러한 비용은 앞으로도 계속 증가 할 것으로 예상되고 있다.

이처럼 전기품질의 저하현상은 오늘날의 사회·경제활동에 막대한 지장을 초래하여 수년 전부터 선진국들은 이를 극복하기 위한 첨단 전력 기기 개발과 아울러 이를 수용가에 가장 인접해 있는 배전계통에 도입하여 배전계통을 새롭게 구성함으로써 신뢰성이 높은 전력공급 체제를 구축하고 이를 통해 고품질의 전력을 수용가에 공급하고자 하는 노력을 계속해오고 있다. 여기에 수용가가 요구하는 전기품질의 우선 순위도 업종에 따라 정전, 전압, 고조파, 플리커, 요금 등등으로 다양하게 변화되고 있어 전기 품질을 차등화하여 공급할 수 있는 체제를 요구하기에 이르렀다. 또한 전력산업의 구조개편이 완료되면 전력은 품질과 양 모두가 상품으로서 가치를 가지게 될 것이며, 이러한 시점에서 본고에서는 산업현장에서 빈번히 발생될 수 있고 정확한 측정에 의한 실측데이터는 충분히 확보되지는 않았지만 많은 악영향을 미치고 있다고 하는 고조파에 대해 발생원인, 미치는 영향 및 측정방법에 대한 국내외의 관련 자료를 조사하고 분석하여 보고함으로써 이 분야 더욱더 관심을 고조시키고 문제해결에 조금이나마 보탬이 되고자 관련자료 수집, 분석 및 대응책을 제안하고자 한다.

2. 고조파 발생 원인

일반적으로 전원에는 다양한 부하들이 연결되어 있으며, 이때 어떠한 부하가 비선형성이면 그 부하에 흐르는 전

류는 비정현파로 흐르고 그때 나타나는 고조파 전류는 전원측으로 유입되어 배전계통으로 흐르게 되어 다른 부하나 전기설비에 나쁜 영향을 미치게 된다. 이와 같은 부하를 고조파 발생원이라 하며, 고조파 발생량이 큰 것을 대상으로 정리하면 다음과 같다.

2.1 콘버터 (Converters)

2.1.1 이상적인 전압 파형

그림 1은 브리지 정류기에 전원을 공급하는 3상 전원 시스템을 나타내며, 인덕턴스를 무시하고 무부하 상태를 가정한다면 직류부하 회로에는 그림 2와 같이 이상적인 전압 파형이 공급된다.

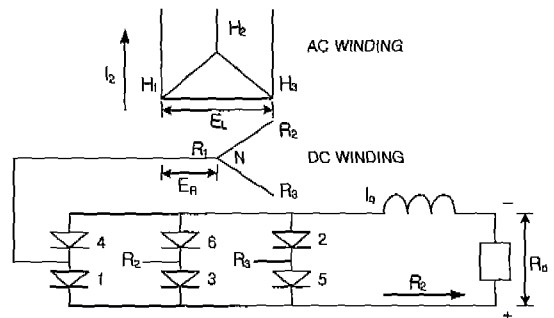


그림 1. 3상 브리지 정류회로

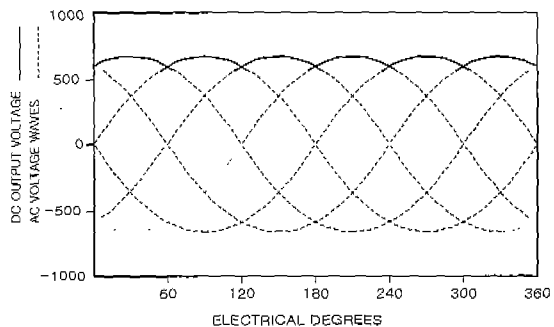


그림 2. 이상적인 정류기 출력 파형

2.1.2 이상적인 전류 파형

그림 3은 브리지 정류기의 이상적인 AC 전류 파형을 보여준다. 이러한 형태는 직류전류는 유도성 부하가 없다는 가정 하에 리플이 없고, 직류전류가 한 상에서 다른 상으로 전달될 때 들어오는 상의 순간적인 전압이 나가는 쪽 상의 전압보다는 크다는 가정 하에 나타난다. AC 전류 파형의 고조파 전류성분은 아래와 같다.

$$h = kg \pm 1 \text{ ----- (1)}$$

$$I_h = \frac{I_1}{h} \text{ ----- (2)}$$

여기서, h : 고조파의 차수

k : 양의 정수

q : 정류회로의 펄스 수

I_h : h차 고조파 전류의 크기

I_1 : 기본파 전류의 크기

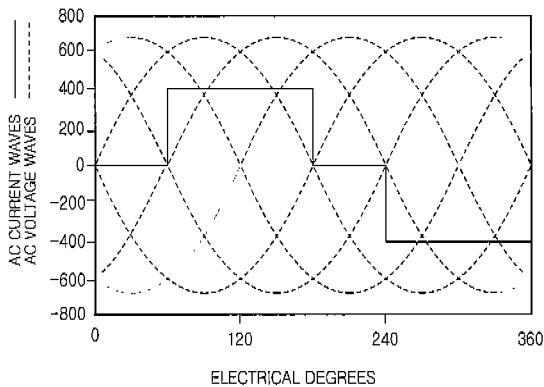


그림 3. 이상적인 AC 전류 파형

2.2 아크로(Arc Furnaces)

철을 생산하기 위해 사용되는 아크로에 의해 발생하는 고조파는 가공하는 철의 종류에 따라 아크의 사이클 변화가 발생하므로 그것을 예측하기가 매우 어렵다. 이러한 아크전류는 비 주기성을 띄며, 그것을 분석해 보면 정수 및 비 정수 차수의 고조파 주파수를 가진 연속적인 스펙트럼을 발견할 수 있다. 그러나, 고조파 측정은 비 정수 차수의 고조파 보다 훨씬 지배적인 정수 차수의 고조파, 그 중에서도 특히 낮은 차수인 2차에서 시작하여 7차 고조파를 측정하여 왔으며, 그 크기에 있어서는 차수에 따라 줄어들음을 보여왔다. 금속 주조방식의 로(furnaces)의 발달은 아크를 더욱 안정된 상태를 가져오며, 전류는 기준 축(zero-axis)을 중심으로 대칭을 이루므로써 짝수 차수와 비 정수 차수의 고조파는 제거된다.

2.3 정지형 무효전력 보상기

TCR(Thyristor Controlled Reactor)은 배전계통의 전기 아크로를 위한 정지형 병렬 보상기(Static shunt Compensator)뿐만 아니라 전압강하 보상을 통한 전압레벨의 유지 및 플리커의 저감, 역률 개선, 상 불평형의 개선, 전력시스템의 안정도 향상과 같은 다양한 분야에 광범위하게 사용되고 있다. 전파전류(full conduction current)는 정현파로 나타나지만 사이리스터의 게이트 동작의 지연은 전류의 크기를 감소할 뿐 아니라 파형을 변화시킨다. 부분적인 전도에 의해 발생하는 고조파 전류는 만약 게이트의 점호 각이 쌍을 이루는 두 개의 사이리스터에 의해 균형을 이룬다면 모두 홀수 차수로 나타나며 각 고조파의 실효 치는 (3)식과 같다.

여기서,

$$I_h = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{V}{X} \left[\frac{\sin(h+1)\alpha}{2(h+1)} + \frac{\sin(h-1)\alpha}{2(h-1)} + \cos\alpha \frac{\sinh\alpha}{h} \right] \text{ (3)}$$

여기서,

h = 3, 5, 7, ...

V = line-to-line fundamental voltage

X = total inductive reactance of reactors each phase

α = advance angel

2.4 Inverters for Dispersed Generation

최근 재생에너지 및 대체에너지원의 출현은 전력시스템에 연계운전을 위한 인버터나 Power conditioner와 같은 새로운 형태의 설비를 사용하게 되었으며, 이러한 인버터 설비들은 단상 및 3상에서의 적용이 가능하다. 그러나, 이런 형태의 새로운 설비들의 출력은 역률 1에 가까운 정현파일수도 있지만 전력계통에서 부적합한 전력품질을 초래하거나 전력계통의 제어 및 보호 계전을 방해할 수 있는 다양한 특성 뿐 아니라 비특성 고조파를 포함할 수도 있다.

이러한 인버터는 전력계통에 연계된 전류원이나 직렬임피던스와 함께 전압원으로 동작할 수 있으며 인버터의 전력계통 연계시 인버터와 전력계통 사이의 전류를 제한하기 위해 보통 인덕턴스와 같은 직렬임피던스를 삽입하여 사용한다. 전력계통에 연계 운전되는 인버터는 그 동작특성에 따라 다양한 형태로 나타날 수 있으며, 다음은 그러한 인버터의 몇 가지 형태를 나타낸다.

- ▶ Line commutated
- ▶ Pulse with modulated
- ▶ Self-commutated high-frequency link
- ▶ Self-commutated programmed pulse switching amplifier

2.4.1 단상 인버터

분산형 전원을 위한 단상 인버터의 정격은 보통 10[kW] 이하이며, 그 수가 적을 경우에 전력계통에 큰 문제를 일으키지 않는다. 그러나 인버터의 사용이 증가함에 따라 같은 피더에 다수의 인버터가 연계된다면 인버터에 의한 고조파의 증가에 의해 여러 가지 문제가 발생할 후 있으므로 이에 대한 대책이 필요하다.

2.4.2 3상 인버터

분산형 전원을 위한 3상 인버터의 정격은 일반적으로 10[kW]에서 1[MW]정도이며, 만약 인버터의 출력 파형에 많은 고조파가 함유되어 있다면 인버터가 설치된 근방에서는 전력계통에 부적합한 파형을 초래할 수 있다. 3상 인버터는 단상 인버터와 같이 line-commutated와 self-commutated 형태가 있으며, 또한 단상 인버터와 같이 출력 고조파는 많은 변수들에 의해 좌우된다. 인버터를 위한 DC 동작 전압레벨은 최근 재생에너지원을 위해 넓은 범위까지 변화하고 있으며, 이러한 변화는 날씨, 낮 시간, 온도, tracking algorithm, collector의 노화 뿐 아니라 다른 여러 가지 제어하기 힘든 요소들에 의해 좌우된다. 또한 AC 전력계통은 인버터의 출력이 바람직하지 않은 영향을 줄 수 있으면 전력계통의 고조파, 전압의 불평형, 불균등한 상의 분리, AC전압의 과전압과 저전압, 선로 임피던스와 같은 변수들은 인버터의 출력 고조파에 영향을 주는 몇몇 변수들에 속한다.

2.5 위상제어기

부하에 공급되는 전력의 제어를 위해 사용되는 사이리스터의 위상제어는 고조파 전류를 발생시킨다. 앞에서 논의된 TCR의 경우는 역률이 0일 때 전자제어의 한 특별한 경우이다. 100%에 가까운 역률을 갖는 열 부하들은 가끔씩 사이리스터의 위상제어에 의해 제어되며 파형과 크기는 0% 역률의 경우와 다르지만, 홀수 차수의 고조파는 여전히 발생한다. TCR의 적용을 제외하고는 일반적으로 부하는 순수한 인덕턴스 성분도 아니고 순수한 저항성분도 아니다. 따라서 일반적인 부하들은 0%나 100%가 아닌 그 사이의 역률 값을 가지며, 고조파의 최대 값도 또한 이러한 순수한 경우의 값 사이에 놓일 것이다.

2.6 Cyclo-converter Harmonics

Cyclo-converter Harmonics에 의한 고조파 전류는 Cyclo-converter의 주파수 비의 함수로 나타나므로 그 표현은 매우 복잡하게 나타난다. (4)식은 고조파의 주파수를 나타내며, 첫 번째 항은 6-Pulse converter를 나타내고, 두 번째 항은 컨버터의 Sideband 특성 주파수를 나타낸다.

$$f_n = f_1(kq \pm 1) \pm 6nf_0 \quad (4)$$

여기서,

f_n : the harmonic frequency imposed on the ac system

k, n : integers

f_0 : the output frequency of the cyclo-converter

2.7 Switch Mode Power Supplies

최근 전자설비들은 전력설비에 전압을 공급하기 위한 switch mode power supply를 사용한다. 이것은 전력시스템의 작은 전압변동에 영향을 받지 않는 경제적인 전원 공급

방식으로 잔자 회로에 전압을 공급하기 위해 캐패시터가 들어 있다. 전력시스템에서 보았을 때 부하는 캐패시터이므로, 전원공급장치의 전류는 반주기에서만 전류가 흐르는 불연속 형태의 전류가 흐른다.

2.8 Pulse width Modulated(PWM) Drive

DC link를 위한 PWM 방식은 다이오드 정류기만큼의 높은 역률을 갖는 점에서 다른 정지형 컨버터(Static Power Converter Circuit)와 다르다. 그러나 이것은 DC시스템과의 연계를 위해 전압을 조정하는 큰 캐패시터를 포함한다. 따라서 경 부하 시(30%-50%) 전류는 단지 다이오드 정류기의 출력전압이 캐패시터의 전압보다 클 때만 흐르게 된다. 경 부하 시 AC회로의 전류는 불연속이다. 드라이브의 부하가 증가함에 따라 전류는 연속적으로 변화하며 전류가 불연속이 되는 점은 DC Link 인덕턴스의 크기에 의해 결정된다.

3. 고조파에 의한 영향

3.1 개요

어느 정도의 고조파까지 허용될 수 있는지는 부하(또는 전원)의 민감도에 의해 결정된다. 가장 덜 민감한 설비의 종류는 오븐이나 용광로처럼 열을 내는 것이 주 기능인 것이다. 이 경우, 일반적으로 고조파 에너지가 이용되고, 그러므로, 아주 완전하게 허용될 수 있다. 가장 민감한 설비의 종류는 완벽한 정현파를 기본 입력으로 하는 방식으로 설계되거나 구성된 것으로 통신설비나 데이터 처리 설비 등이 이 범주에 속한다. 전동기 부하의 고조파에 대한 민감도는 위의 두 극단적인 경우의 중간정도이며 상대적으로 고조파에 대해 허용 범위가 크다고 할 수 있다.

그러나 가장 덜 민감한 설비의 경우라도, 고조파에 악영향을 받을 수 있다. 예를 들어, 오븐의 경우 고조파에 의해 전기적 절연체의 조기 노화가 야기될 수 있다.

3.2 전동기와 발전기

고조파 전압 및 전류가 회전기(유도기와 동기기)에 미치는 영향의 대부분은 고조파 주파수에서 철손과 동손으로 인해 열이 증가된다는 것이다. 이렇게 고조파 성분은 기기의 효율을 떨어뜨리고 토크를 발생시킨다. 전동기에서는 고조파 전류로 인해 정현파 여자와 비교해서 더 큰 소음이 발생될 수 있다. 또한 고조파로 인해 cogging이나 유도 전동기에서 crawling으로 부르는 현상이 발생할 수 있다.

제 5차와 제 7차의 고조파와 같은, 고조파 쌍들은 터빈-발전기 조합 또는 전동기-부하 시 기계적 진동을 일으킬 소지가 있다. 이러한 기계적 진동은 고조파 전류와 기본 주파수 자계(magnetic field) 사이의 상호작용에 의해 발생하는 진동 토크가 기계 공진 주파수를 여기 할 때 발생한다.

표1은 6-pulse 컨버터로부터 유도된 특성 고조파 차수들

을 정의하고, 회전기 단자에 적용될 때의 영향을 암시한다. 제 5차, 7차, 11차, 등의 각 고조파 전압은 기계의 고정자에서 상응하는 고조파 전류를 유발할 것이다. 이들 각 고조파는 총 전류의 정상 또는 영상 대칭 성분이다. 이 전류들은 고정자의 권선에서 추가적인 열을 유발하여 기본 전류에 의한 온도 상승에 추가되어 진다.

표 1. 6-pulse 컨버터 고조파

Harmonic Order	Frequency Hz	Sequence Network	Stator Harmonic	Harmonic Rotation	Rotor Harmonic
1	60	+	1	Forward	—
5	300	-	5	Backward	6
7	420	+	7	Forward	6
11	660	-	11	Backward	12
13	780	+	13	Forward	12
17	1020	-	17	Backward	18
19	1140	+	19	Forward	18
23	1380	-	23	Backward	24
25	1500	+	25	Forward	24

3.3 변압기

변압기에서의 고조파의 영향은 두 부분이 있다. 고조파 전류는 동손과 표류 자석 손실을 증가시키는 원인이 되고, 고조파 전압은 철손을 증가시킨다. 포괄적으로 순수한 정현파 동작에 비해서, 변압기를 과열시킨다. IEEE C57.12.00-1987는 변압기 전류의 고조파 제한치를 제공한다. 전류 왜형률의 상위 제한치는 정격 전류의 5%이다. 또한 여기서는 변압기가 정상상태에서 견딜 수 있어야 하는 최대 과전압의 실효치를 보여준다. 적용되는 전압의 고조파 전류들에 의해 총 전압의 실효치가 이 기준을 초과해서는 안 된다.

고조파 전압과 고조파 전류에 의해 발생하는 변압기 손실은 주파수에 의존한다는 것에 유의해야 한다. 주파수가 증가함에 따라 손실이 증가하므로 변압기 과열 측면에서는 고주파 성분이 저주파 성분보다 중요할 수 있다. 변압기 손실은 부하 손실과 무부하 손실로 분류되며 부하 손실은 다시 I^2R 과 stray 손실로 나눌 수 있다. stray 손실은 비정현파 전류의 영향으로 인해 추가된 열을 평가할 때 특히 중요하다.

3.4 전력 케이블

시스템 공진에 수반되는 전력용 케이블은 전압 스트레스와 코로나에 영향을 받아서 절연파괴로 이어질 수 있다. 보통 수준의 고조파 전류에 영향을 받는 케이블은 과열되기 쉽다. 도체에 비정현파 전류가 흐르게 되면 파형의 실효치에 대한 기대 값 이상으로 추가적인 과열현상이 발생되게 된다. 이것은 표피효과 및 근접효과라고 알려진 두 가지 현상 때문인데, 어 두 가지 현상은 도체의 크기와 간격뿐만 아니라 주파수에 대한 함수로서 변화한다. 이 두 가지 효과의 결과로서 유효 교류저항 R_{AC} 는 직류 저항 R_{DC} 를 초과하는데 특히 큰 도체의 경우 이러한 현상이 두드러진다. 고

주파수의 고조파 성분이 많은 전류가 케이블에 흐를 때, 케이블에 대한 등가 R_{AC} 는 더욱더 커지고, 따라서 I^2R_{AC} 손실은 증대된다.

3.5 캐패시터

전력 계통에서 커패시터를 사용하는 데 있어서 주요한 관심은 시스템 공진의 가능성이다. 이 효과로 인해 전압과 전류는 공진이 없는 경우보다 상당히 더 높아진다. 캐패시터뱅크의 리액턴스는 주파수에 따라 감소하고 따라서 고조파 전류가 클수록 이뱅크는 'sink'로 작용하게 되는데 이로 인해 과열과 절연에 대한 부담이 가중된다. 변압기와 리액터와 같은, 비선형 자기 성분들을 빈번하게 스위칭하게 되면 고조파를 발생하여 커패시터의 부담을 가중시킬 수 있다. IEEE Std 18-1992에서 캐패시터뱅크에 대한 전압, 전류 및 무효 전력에 대해 제한을 두고 있는데 이를 이용하여 최대 허용할 수 있는 고조파의 수준을 결정할 수 있다. 고조파에 의한 과열 및 전압 가중으로 인해 커패시터의 수명이 줄어들 수 있다.

3.6 전자장비

전력전자 장비는 고조파 왜곡에 의해 야기되는 오동작에 쉽게 영향을 받는다. 흔히 이 장비는 전압의 영점 결정이나 전압 파형의 다른 측면들에 의해 좌우된다. 고조파 왜곡은 전압의 영점이나 한 선간 전압이 다른 선간 전압보다 커지는 지점을 이동시키게 된다. 이 두 점들은 많은 종류의 전자회로 제어에 있어서 중요한 점들인데, 이 두 점이 이동하게 되면 오동작이 발생할 수 있다. 다른 종류의 전자장비들은 장비의 공급전원을 통해 AC 공급 고조파가 전송될 때나 고조파의 자기 커플링이 장비의 구성요소에 작용할 때 영향을 받을 수 있다. 프로그램이 가능한 제어기와 같은 컴퓨터와 유사장비들에 공급되는 AC 전원은 최대 단일 고조파가 기본 전압의 3%를 넘지 않아야 하고 고조파 전압 왜형률이 5% 이하를 유지해야 하는 경우가 많다. 이러한 허용치 이상의 고조파로 인해 심각한 결과가 야기되는 기능이 초래된다. 계측기의 경우도 마찬가지로 잘못된 데이터를 내거나 그 동작이 예측할 수 없게 된다. 더구나 의료장비에 이러한 기능 이상이 발생하면 가장 심각한 결과가 초래된다. 따라서 많은 의료 계측기들은 line-conditioned power를 공급받는다.

3.7 계량 및 계측

계량기와 계측기도 고조파 성분들에 의해 영향을 받는데, 특히 회로 상에서 높은 고조파 전압과 고조파 전류를 일으키는 공진 현상이 존재한다면 더욱 그러하다. Watt-hour 미터기와 같은 유도 디스크 장치는 정상 동작 시에 기본 전류만 보인다. 그러나, 고조파 왜형에 의한 상 불평형은 이들 장치의 오동작을 야기할 수 있다. 고조파 왜곡 현상이 있을 때 해당 계량기와 고조파의 종류에 따라 + 및 - 에러가 발생할 수 있다는 것이 연구결과를 통해 입증되었다. 일반적으로 왜형률이 20%를 초과할 정도로 심각해야만 중요

한 어려가 검출된다. 계량과 릴레이에 사용되는 60Hz의 계측 변압기는 정상적으로 발생하는 고조파에 의해 크게 영향을 받지 않는다.

3.8 스위치 기어와 릴레이

다른 종류의 장비와 같이, 스위치기어에서도 고조파 전류들은 과열현상과 손실을 증가시켜서 정상상태의 전류의 수송능력을 감소시키고, 절연 성분의 수명을 단축시킨다. 정상적인 운전동안 고조파에 의해 발생하는 열로 인해 퓨즈는 성능이 저하된다. 현재 스위칭 장치나 퓨즈에 대한 고조파 전류의 기준은 없으며 정격 공급 주파수에서 모든 시험이 시행된다.

3.9 Telephone Interference

전력변환 장치와 관련된 회로 소자에서 고조파 전류나 전압이 작용하면 자계와 전계가 발생하고 통신 시스템의 가까이에서 민감하게 반응하여 동작을 교란시킬 수 있다. 변환장치에서 진폭과 주파수 모두 방해 요소이다.

3.10 정지형 변환기

정지형 전력변환 장치들은 일반적으로 그 기능의 부산물로서 고조파를 발생시킨다. 어떤 상황에서 변환장치는 자체에서 발생된 고조파나 또는 다른 고조파 발생원에서 발생된 고조파로부터 영향을 받는다. AC 전원에 병렬로 연결된 컨버터나 유사한 장치가 고조파의 발생원이 되는 일이 자주 있다. 컨버터는 기능적인 면이나 구성 방법에 있어서 그 종류가 매우 다양하다. 이들 중 몇 가지 종류는 고조파에 민감하지 않으며 일반적으로 다이오드 정류기는 영향을 받지 않는다. 그러나, 이 정류기가 전압을 공유하는 회로망에서 캐패시터를 사용한다면, 설계 시 고려됐던 것 이상의 열적인 스트레스를 받게 되는 데, 그 이유는 교류에 포함된 고조파에 의해 큰 전류가 커패시터에 영향을 주기 때문이다. 이러한 고조파들은 또한 정류기 부하로 유입되어 DC 측의 공정 장치를 해롭게 하거나 교란시킨다.

다이오드 정류기에서 발생한 어려운 점은 사이리스터나 인버터와 같은 다른 종류의 변환장치에서도 비슷하게 발생한다. 후자는 여러 부분의 민감한 영역이 있다. 이들에는 대개 고조파 전류에 의해 과열되기 쉬운 전력용 필터, EMI 필터 및 스너버와 같은 용량성 회로가 있다. 대부분의 컨버터들은 제어를 위하여 교류 공급 전압의 다양한 특성에 의존하는데 만약, 입력 교류 전원이 고조파에 의해 심하게 왜곡되었다면, 이 컨버터는 잘못된 점호 신호를 발생시키거나 교신이 실패하거나, 혹은 비 특성 고조파를 발생하게 한다. 또한, 컨버터의 제어회로에는 종종 풀림플롭과 같은 부품들이 포함되는 데, 이러한 부품은 고주파의 고조파 현상에 매우 민감하다. 따라서, 제어 장치는 잘못된 신호를 받을 수 있고, 이 때문에 기능 고장이 유발되거나 또는 부품이 파괴되는 경우도 생길 수 있다.

4. 고조파 측정

4.1 고조파 측정

4.1.1 개요

고조파 전류 및 전압의 측정은 전기 에너지의 신뢰성 있는 배전계통에 있어 필수적이다. 다음은 측정의 중요성을 강조한 몇 가지 이유이다.

- ① 고조파의 값을 모니터링하고 허용치나 규제치를 넘지 않도록 감시
- ② 고조파를 발생하는 장비의 시험
- ③ 장비가 전력회사나 수용가에 악영향을 미치는 상황의 진단과 고장 수리
- ④ 현재의 허용 수준을 준수 및 시간매일, 매달, 계절 따라)에 대한 고조파 전압 및 전류의 동향 추적
- ⑤ 고조파 조류를 포함하는 시뮬레이션 연구의 검증을 위한 측정
- ⑥ 개개의 위상각을 가지는 고조파 전류 및 전압의 측정. 비선형 부하가 연결된 상태 또는 그렇지 않은 상태에 대해서 측정할 수 있고 주어진 위치에서 고조파 운전점 임피던스를 결정하는 데에 도움이 된다.

고조파 측정을 위해 사용되는 기술들은 보통 전력 계통 측정을 위해 사용되는 것들과 차이가 있다. 일반적으로 전압, 전류, 전력을 측정할 때의 주파수 대역폭은 배전계통 주파수 근처의 좁은 주파수의 대역에 주의하여 얻을 수 있다. 실질적으로 더 넓은 대역폭(3kHz까지)들은 계통 고조파의 연구에서 필요하다.

4.1.2 비 정현파 전압 및 전류 분석에 사용되는 기본 장비

- ① Oscilloscope
오실로스코프상의 파형 display는 왜곡의 정도와 종류에 관한 질적인 정보를 제공한다.
- ② Spectrum Analyzers
이 계기들은 주파수 함수와 같은 신호의 전력 분배를 display한다. 주파수들의 어떤 범위가 scan되고, 분석된 신호의 고조파, 내부고조파, 모든 구성요소들이 display된다.
- ③ 고조파 분석기
이 계기들은 주기함수의 진폭(과 복소 단위, 위상각)을 측정하고, 관찰된 신호의 선스펙트럼을 제공한다. 출력은 아날로그나 디지털 계기들을 사용하여 모니터 될 수 있거나 저장될 수 있다.
- ④ 왜형 분석기
이 계기들은 총 고조파 왜곡(THD)을 직접 나타낸다.
- ⑤ 디지털 고조파 측정장치
디지털 분석은 디지털 필터에 의한 방법과 고속 퓨우리에 변환기술에 의한 방법의 2가지 기본 기술로써 수행될 수 있다.

4.1.3 구비요건

정확한 고조파 측정을 위해, 아래의 중요한 요건들이 충

족되어야 한다.

① 정확성

계기는 정상 상태의 고조파 성분을 허용 제한 치와 양립할 수 있는 오차율을 가지고 측정해야 한다. 허용 제한 치의 5%보다 크지 않는 불확실성을 갖는 계기를 사용하는 것이 합리적이다. 예를 들어, 제 11차 고조파가 0.70% 미만이어야 하는 480V, 3상 시스템을 가정한다. 선로와 중성점 사이의 11차 고조파 V_{11} 은 1.94V 미만으로, 계기가 $\pm(0.05)(1.94) = \pm 0.097$ V 미만의 불확실성을 가져야 하는 것을 가리킨다.

② 선택성

계기의 선택성은 다른 주파수를 갖는 고조파 성분들을 분리할 수 있는 능력을 가리킨다. 좋은 선택성을 갖도록 하는 실제적인 방법은 계기가 주파수 $f_h = 60\text{Hz}$ 로 설정되는 동안, 주입된 주파수의 최소 감쇠에 대한 요건을 정의하는 것이다.

③ Averaging or Snapshot

측정된 고조파가 시간에 따라 바뀌면, 빠르게 변동하고 있는 성분을 한 주기에 대해 늘어 놓을 필요가 있다.

4.2 측정 기준

4.2.1 설비의 등급

고조파 전류를 제한하기 위하여 전기 설비들을 다음과 같이 분류한다.

- Class A : 평형 3상 설비와 Class A, B, C를 제외한 모든 설비
- Class B : 이동용 설비
- Class C : 감광 장치(dimming device)를 포함하고 있는 조명설비
- Class D : "special wave shape"로 입력전류를 가지는 장비

4.2.2 일반적인 요건

여기서 명기된 요건과 제한치는 50Hz나 60Hz에서 작동하는 220/380V, 230/400V와 240/415V 시스템에 연결된 설비의 전원 입력 단자에 적용될 수 있다. 그 밖의 경우에 대한 요건과 제한치는 아직 고려되지 않았다.

① 제어방법

다음의 제어 방법은 정상적인 작동상태에서는 사용되지 않는다.

- ▶ IEV 161-07-11에 의한 비대칭 제어 단, 이 제어방법이 불안정한 조건을 검출하기 위한 유일한 해결책인 경우는 제외한다.
- ▶ 주 공급의 반파 정류. 단, 이 제어방법이 불안정 조건들을 검출하기 위한 유일한 해결책이거나, 제어유효전력 입력이 100W이하인 경우 또는 헤어 드라이어와 같이 이동이 가능하고, two-core flexible cord에 적합하며, 몇 분의 짧은 시간에 사용될 수 있는 controlled appliance는 제외한다.

입력 전류에서 낮은 차수($n \leq 40$)의 고조파를 발생시키는 경향이 있는 대칭 제어 방식은, 완전한 정현파 입력 전력이 200W이하이거나 표 3의 제한치를 초과하지 않는다면, heating element에 공급되는 전력을 제어하는 데에 사용될 수 있다. 대칭적인 제어 방법으로 짧은 시간에 사용되는 가정용 기기는 class A로 시험될 수 있다. 비록 비대칭 제어와 반파 정류가 위의 주어진 조건하에서 허용될지라도, 그 장비는 이 규범의 고조파 요건을 준수해야 한다.

② 고조파 전류 측정

고조파 전류 제한치는 모든 형태의 진력 연결과 부하의 유형에 대한 전류에 적용된다. 19차 이상의 고조파에 대해서는 그 스펙트럼을 개괄적으로 검사하는데, 스펙트럼 포락선이 차수가 증가함에 따라 단조롭게 감소하는 형태를 보이면 측정은 19차수 이하의 고조파에 대해서만 한다. 시험조건에서 측정된 입력 전류의 0.6%보다 작거나 또는 5mA보다 작은 고조파 전류는 무시한다. 고조파 전류의 제한치가 기본적인 전류나 입력 유효전력의 함수로서 주어질 때, 그 전류와 입력 전력은 같은 조건에서 측정되어야 한다.

4.2.3 고조파 전류 제한치

다음의 제한치는 전문적인 용도를 갖는 고출력(1kW 초과)설비에 대한 제한치가 고려되고 있다는 조건하에서 적용된다.

① Class A 설비에 대한 제한치

Class A 설비의 경우, 입력전류의 고조파는 표 2에서 주어진 절대값들을 초과해서는 안 된다.

② Class B 설비에 대한 제한치

Class B 설비의 경우, 입력전류의 고조파는 표 2에서 주어진 최대 허용치의 1.5배를 초과해서는 안 된다.

③ Class C 설비에 대한 제한치

▶ 조명 설비

i) 입력 유효전력 > 25W

고조파 전류는 표 3에서 주어진 제한치를 초과해서는 안 된다.

ii) 입력 유효전력 ≤ 25W

다음의 2가지 요건 중 하나를 따른다.

▶ 감광장치 (Dimming devices)

독립형 또는 내장형 감광장치나 램프, luminaire에 대해서, 다음의 조건들이 적용된다.

i) 독립형 감광장치

독립형 dimming device의 고조파 전류가 표 2에서 주어진 값을 초과해서는 안 된다. 위상제어가 사용되는 곳에서 점호각이 145° 를 초과해서는 안되고 감광장치는 조건에 따라 시험되어야 한다.

ii) 내장형 감광장치 (Built-in dimming devices)

백열 램프 luminaire의 경우, 내장형 dimming device의 고조파 전류 값이 표 2에서 주어진 값을 초과해서는 안된다. 위상제어가 사용되는 곳에서 점호각이 145° 를 초과해서는 안되고 감광장치는

조건에 따라 시험되어야 한다.

방전 램프 luminaire의 경우, 표 3에서 주어진 백분율 제한 치로부터 유도된 최대 부하조건에 대해서 고조파 전류 값을 초과해서는 안된다. 어떤 감광 위치에서도 고조파 전류는 최대 부하조건과 관련된 전류 값을 초과해서는 안된다.

④ Class D 설비에 대한 제한치

Class D 설비의 경우 고조파 전류의 제한치는 정격 부하 조건에 대해 정의된다. 입력전류의 고조파는 표 4에서 유도될 수 있는 값을 초과해서는 안 된다. 표 4에서 주어진 제한치는 75W이상의 입력 유효전력을 가지는 모든 경우에 대해 유효하다. 75W이하의 입력 유효전력을 갖는 설비에 대해 적용되는 제한치는 없다.

표 2. Class A 설비에 대한 제한치

고조파 차수 n	최대 허용 고조파 전류 A
홀수차수 고조파	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
15 ≤ n ≤ 39	0.15 15/n
짝수차수 고조파	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
8 ≤ n ≤ 40	0.23 $\frac{8}{n}$

표 3. Class C 설비에 대한 제한치

고조파 차수 n	기본 주파수에서 입력전류의 %로 나타낸 최대 허용 고조파 전류 %
2	2
3	30 · λ _n
5	10
7	7
9	5
11 ≤ n ≤ 39 (홀수 고조파 경우만)	3

* λ: 회로의 역률

표 4. Class D 설비에 대한 제한치

고조파 차수 n	W당 최대 허용 고조파 전류 mA/W	최대 허용 고조파전류 A
3	3.4	2.30
5	1.9	1.14
7	1.0	0.77
9	0.5	0.40
11	0.35	0.33
13 ≤ n ≤ 39 (홀수차수 고조파)	$\frac{3.85}{n}$	표 7 참고

5. 결 론

전력품질은 전력공급의 연속성과 전압의 여러 가지 특성의 관점에서 전력의 속성을 정의하는 여러 가지 파라미터의 집합을 뜻한다. 전력회사의 측면에서는 공급신뢰도에 관계되고 수용가의 측면에서는 전기설비에 공급되는 전력의 상태로 말할 수 있다. 현재 우리나라의 전력품질관리는 전기사업법에 근거하여 전력회사측에서는 정전시간 및 정전회수, 30분 평균 전압유지율, 주파수 유지율에 대한 목표 관리치를 부여함으로써 적정하게 유지되고 있다. 그리고 최근 정보·통신·제어기술의 발달에 따라 정보통신기기, 정밀 제어 기기, 사무자동화 기기, 전산 기기, 자동생산라인 등에 마이크로프로세서 및 전력용 반도체소자가 많이 도입되고 있고 고효율 속도제어용 모터와 역률 보상용 콘덴서의 사용, 그리고 경제발전과 산업활성화 등으로 인한 고정밀 단일대형부하의 증가, 도시중심으로의 변화에 따른 대규모 아파트단지의 등장, 단상 220V 가전제품의 대량화 등이 기존에는 그다지 문제가 되지 않았던 주파수 변동, 역률의 변동, 전압·전류의 고조파성분, 순간전압변동, 고주파의 영향, 플리커 등과 같은 사항들이 전력품질을 크게 위협하고 있으며, 이는 곧 산업현장에서 막대한 경제적 손실을 초래하게 된다. 이러한 상황 하에서 현재 산업현장에서 이구 동성으로 문제를 야기 시키고 있다고 하는 고조파에 대해 국내의 자료를 수집하고 분석하여 고조파의 발생원인, 미치는 영향 및 측정 방법 등을 제시함으로써 관련 분야에서의 대응책 마련에 조금이나마 도움이 되었으면 하는 취지이며, 본 고역시 순수한 자료분석을 통하여 제시하였으나 더욱더 현실감이 있으려면 실제 산업현장에서 예상되는 지역에 정확한 측정시스템 설치와 장기간의 데이터 취득을 통해 결과를 제시하는 것이 문제 해결에 더욱 도움이 크리라 기대됩니다.

참 고 문 헌

- [1] "일본 분산형전원 계통연계 기술지침", 한국전력공사, 1998.
- [2] E. S. Kim et al., "Voltage Regulation Methods Based on Artificial Neural Networks for Distribution Systems Interconnected with Dispersed Storage and Generation Systems", International Conference of ISAP'97, pp312-316, 1997.7.
- [3] E. S. Kim et al., "Load modeling and voltage regulation of the distribution system with dispersed generation systems", ICEE '98.Proceedings, Vol.II, pp217-220,1998.7.
- [4] E. W. Gunther et al., "A survey of distribution system power quality-preliminary result", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.10, No.1, pp.322-329, 1995.1.
- [5] P. B Steciuk et al., "Voltage Sag Analysis Peaks Customer Service", IEEE Computer Application in Power, 1996.10.