

기술보고

해양플랜트 전력계통 시스템의 고조파 개선

김덕기 (현대중공업)

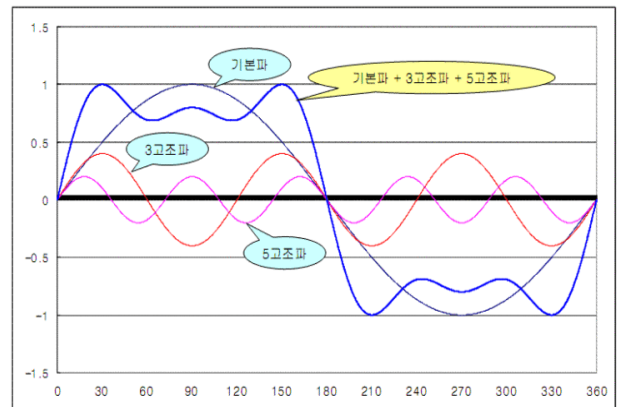


그림 1. 고조파 전류 파형

1. 서론

육상 및 해양플랜트 전력계통 시스템과 같이 여러 분야에 전력전자 응용기술의 비약적인 발전과 함께 인버터 등 전력 변환장치가 크게 확산되고 있고, 개인용 컴퓨터와 냉장고, 세탁기를 비롯한 가전제품 또한 비선형 부하로 이루어져 있다.

최근 해양플랜트 전력시스템에서도 전력 변환 기술을 이용하고 있기 때문에 이와 같은 환경적 조건에서 발생된 고조파 전류는 전력계통운영상 많은 문제점을 일으킬 가능성이 높아 지고 있다. 예를 들면, 전압의 왜형 증가와 변압기, 전동기의 과열 및 소손, 제어장비의 오동작, Topside 생산설비의 정지, 불필요한 에너지 낭비 등을 들 수 있다.

이러한 에너지 손실 및 계통상이 문제점을 개선하기 위해서, 해양플랜트 전력계통 시스템설계에 관심을 기울이고 있다.

2. 고조파의 발생원인

2.1 고조파의 정의

고조파(Harmonic Distortion)란 주기적 복합파의 각 성분 중 기본파 이외의 것이며, 기본주파수(60 or 50 Hz)의 정수 배를 갖고 있는 주파수로 노이즈(Noise)와는 구분되며 50차 수 이하를 고조파라 하며 그 이상은 고주파로 분류하고 있다.

2.2 고조파의 발생원인

일반적으로 고조파 발생원인은 다음과 같은 사항을 고려할 수 있다.

- (1) 변환장치에 의한 고조파:
변환장치(정류기, 인버터, VWF등)내의 Power Electronics에 의한 고조파는 2차 부하측의 DC, AC 변환시 구형파가 전원으로 유입되어 발생한다.
- (2) 아크에 의한 고조파
3상 단락 혹은 2상 단락, 아크 끊김과 같은 극단적인 변동의 ARC로 사용이 반복될 때 발생, 제3고조파가 현저하며 변압기 델타 결선해도 흡수가 안 된다.
- (3) 회전에 의한 고조파
회전기내의 슬롯(Slot)에 의한 슬롯 하모닉스로서, 고차수 고조파로 발생량이 미소하여 문제 시 안 된다.
- (4) 변압기에 의한 고조파
변압기의 자화특성 (히스테리시스 현상)으로 변환전류의 위상차로 인한 여자 전류내 고조파가 함유된다. 특히 제 3고조파가 주성분이다.
- (5) 과도현상

전압의 순시동요, 계통서지, 개폐기의 개폐 등 일시적인 현상이다.

(6) 전력용 콘덴서와 전원측 유도성 리액턴스의 공진
고조파의 직접발생원인은 아니나 전원측 유도성 리액턴스와 콘덴서의 용량성 리액턴스가 직, 병렬 공진 시 전력용 콘덴서로 유입된 고조파의 확대현상을 초래한다.

(7) 송전선로의 코로나
코로나 방전은 전위경도 30kv/cm 초과시 교류전압의 반파마다 전압의 최대치 부근에서 발생하여 고조파 전압, 전류 발생된다.

3. 고조파의 영향

(1) 유도장해
코로나에 의한 고조파 전류 중 제3고조파 성분은 중성점 전류로서 나타나고 중성점 직접접지방식에서는 부근의 통신선에 유도장해 발생한다.

- (2) 기기에의 영향
- 전력용 콘덴서의 과열 또는 고장
 - 전력케이블의 절연열화 또는 고장
 - 변압기의 절연열화 또는 과열
 - 피 전기기기의 과열
 - 개폐장치의 고장
 - PLC 또는 마이크로프로세서 이용기기의 자동화 및 제어기기의 오동작
 - 보호계전기의 오동작 및 부동작
 - 변환장치의 여유각 감소
 - 발전기의 국부적 과열 등 그 피해가 많다.

(3) 계통공진
전력계통의 고조파로 유도성 리액턴스와 용량성 리액턴스의 직, 병렬공진 발생시 변압기 및 콘덴서의 절연파괴, 케이블의 절연파괴 등 발생한다.

4. 고조파 전류 대응책

(1) 용량의 여유도
[그림 1]에서 볼 수 있듯이, 콘덴서 입력형 부하 전류의

파고치가 정현파의 $\sqrt{2}$ 배에 비해 많이 높기 때문에 무정전 전원장치가 담당해야 할 전체 부하 용량보다 큰 용량의 무정전 전원장치를 선택하는 방법이 있다.

(2) 고조파 제거 필터
고조파 때문에 무정전 전원장치의 용량을 여유있게 선정하는 방법은 상대적으로 비경제적이기 때문에 고조파 전류에 많이 포함된 특정 고조파 LC 필터를 이용해 공진시켜 제거함으로써 무정전 전원장치에는 정현파에 가까운 전류가 흐르도록 하는 방법이 있다. 이러한 LC 공진 필터를 이용하여 출력 임피던스를 내리면 고조파 전류가 쉽게 빠져나가 전압강하가 감소되고 파형의 일그러짐도 감소한다[그림 2].

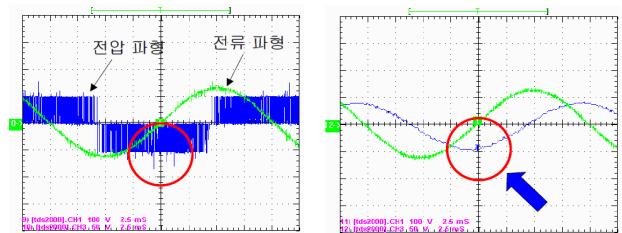


그림 2. LC 정현파 필터 사용 전/후

(3) 전압제어 방식의 개선
고조파 전류를 제거하는 효과적인 방법 중 한 가지는 전압 제어 방식을 개선하는 것이다. 종래의 전압 제어 방식은 전압 면적의 평균치를 제어했기 때문에 파형이 일그러짐을 개선할 수 없었지만, 고조파 PWM방식에서는 반 사이클내의 각 펄스 전압의 폭을 제어하기 때문에 전압의 순시치를 제어 할 수 있다. 따라서 전압 파형을 정현파로 할 수 있기 때문에 제어 루프에 등가 정현파와의 비교 회로를 만들어 전압제어를 하면 고조파 전류에 의한 전압의 일그러짐을 보정할 수 있다. 그림 종래의 전압 제어방식과 고조파 PWM방식에 의해 순시치 제어방식의 파형을 보여주고 있다.

5. 고조파 측정 방법

고조파를 측정함에 있어 어느 개소를 잡느냐하는 것이 매우 중요하다. 반드시 PCC(Point of Common Coupling)에서 측정이 이루어져야만 전력 공급자와 소비자 간의 논란 거리를 제거해 객관적인 평가가 이루어질 것이다. 이것은 흔히

말하는 수전점과는 다른 곳으로 여러 수용가에 전력을 공급하고 있는 공통의 모선을 의미한다. 고조파를 측정할 때는 변압기 2차측 부하 쪽에서 측정하는 것이 바람직한 방법이다. 여기에 변압기의 권선비를 적용해 1차측의 고부하 쪽에서 측정하는 것이 바람직한 방법이다. 여기에 변압기의 권선비를 적용해 1차측의 고조파 전류 크기를 유추할 수 있으며, 이 때 변압기의 결선 방식에 따라 영상분 고조파 전류가 영향을 받기 때문에 이를 고려해야 한다. E또한 정상분과 역상분 고조파는 위상각에 변화를 가져올 수 있음을 유의하여야 한다.

고조파 전압을 측정함에 있어 저압의 경우 직접 선로전압을 측정할 수 있으나 고압의 경우 PT를 사용하게 된다. 통상의 PT는 3kHz까지 양호한 주파수 응답 특성을 지니고 있어 별 문제가 없다. 그러나 고조파 전압을 측정할 경우 원래 기본파에서 정밀하게 튜닝이 되어 있는 CCVTs (Capacitive Coupled Voltage Transformers) 큰 오차를 나타내기 때문에 사용할 수 가 없다.

고조파 전류 측정 시 주의할 점은 고조파 전류의 제한치를 %로 표시하는데, 이는 반드시 최대 부하 전류를 기준으로 나타내야 한다. 실제 고조파 전류량으로 표기하되 기본파 전류의 몇 %인가를 기준으로 표기해서는 안 된다. 왜냐하면 기본파 전류는 부하 상태에 따라 항상 변화하기 때문에 실제 고조파 전류량으로 변환해 표기해야 한다. 예를 들어 경부하시에는 매우 높은 ITHD를 나타내는데 실제 고조파 전류 값은 허용치 이내로서 안정적일 경우가 더 많다.

결론적으로 ITDD(Total Demand Distortion)를 사용해 표기하는 것이 바람직하다. 또한 한 해양플랜트 전력계통 내에서 여러 개소의 부하를 측정할 경우에는 위상각을 포함하여 측정하는 것이 옳다. 왜냐하면 다수의 부하로부터 발생된 고조파가 한 점에 모이게 되면 위상각에 따라 서로 상쇄될 수 있는 조건이 되므로 계통해석에 유용한 자료로 활용할 수 있다. CT의 주파수 응답 특성은 최고 3kHz까지의 감쇄계수가 3dB 이하인 것을 선택해야 한다. CT의 특성에 측정상에 미치는 영향은 고조파 전류의 크기보다는 전류 위상각에 더 큰 영향을 주게 되어 주의를 요한다.

측정주기는 매우 안정적인 연속부하인 경우 하루 정도면 고조파의 특성을 파악하는 데 적당하나 해양플랜트와 같은 개소에서는 최소한 일주일 정도 측정하는 것이 일반적이다. 특히 배전반 내 전기 아크 부하와 같이 매일 변화하는 부하에 대해서는 충분히 측정 기간을 늘릴 필요가 있다.

계통의 조건 또한 중요 변수로서 다음 사항을 고려해야 한다.

- 소내의 역률 개선용 콘덴서에 의한 영향고조파 필터의 분리 시 계통에 미치는 영향
- 전력 공급 회사측의 전압 조정용 콘덴서에 의한 영향
- 두 개 이상의 전력 공급원을 확보하고 있을 때 이에 의한 영향
- 서로 다른 부하 조건의 조합에 의한 영향
- 인근의 수용가로부터 발생하는 고조파 영향

고조파 결과를 표현하는 방법으로는 스냅샷(Snapshot)과 타임 트렌드(Time Trend), 확률 히스토그램, 주기와 크기를 나타내는 Magnitude/Duration Plot 등이 있다.

6. 전력시스템 계통도

해양플랜트 전력계통 중 발전기에서 생성된 11kV (or 6.6kV)의 High Voltage(or Medium Voltage)를 컨버터(Converter)에 적절한 전압을 공급하게 된다. 1차 전압을 인버터(Inverter)에 있는 소자에서 적용 가능한 전압으로 낮추어 주고 또한 2차단에 이중권선을 감아 두 권선간에 위상각 차이를 이용하여 펄스(Pulse)수를 높이고 이로 인해 고조파(Harmonic Distortion)을 낮추는 효과를 얻기 위한 것이다.

6pulse의 경우는 단지 step-down용으로 사용되나 12pulse의 경우에는 phase shift용으로도 사용되므로 transformer는 Ddy (30° electrically shifted) 형태의 three winding type이 된다. 6pulse의 경우 line voltage가 Drive unit의 input voltage와 같으면 transformer는 필요 없게 된다[그림 3].

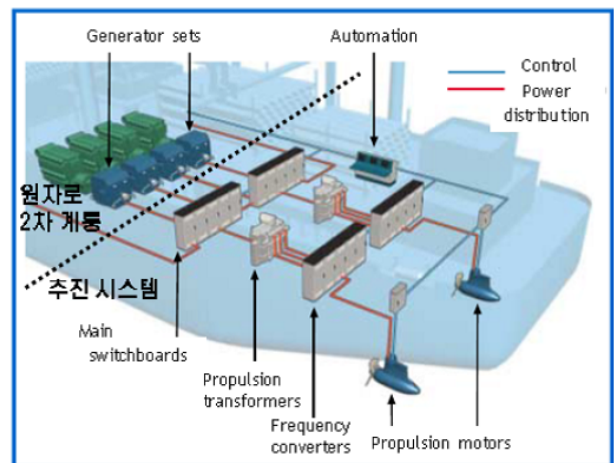


그림 3. 해양플랜트 전력계통 시스템

인버터에는 교류를 직류로 변환하는 컨버터가 접속되어 있고 이러한 컨버터는 고조파(Harmonics)을 일으킨다.

이 고조파전류는 전원으로부터 부하단까지의 임피던스에 의하여 전압강하를 일으키고 이 전압강하에 따라 비록 전원 전압파형이 순정현파라 할지라도 부하단의 전압파형은 왜형파가 된다. 이런 전압의 찌그러짐 (Harmonic Distortion)은 각종 계전기 오동작, 정밀 전자기기의 동작불량, 기기손상 및 과열의 원인이 될 수 있다. 이렇게 전기제품의 수명과 성능에 나쁜 영향을 주므로 선박의 전체적인 고조파 왜형율 (Total Harmonic Distortion)을 선급규정에서 요구하는 수준으로 낮추어야 한다. 일반적으로 THD 5%이하를 표준으로 하며 THD를 낮추기 위해 PWM방식의 적용과 함께 24pulse 이상의 방식을 적용한다.

맺음말

일반적으로 육상이나 해양플랜트 상용 전력계통은60Hz(or 50Hz)의 주파수로 운용되고 있으나 실제로 발전기의 계자 자속의 증/감자에 의한 영향, 비선형 부하의 영향 등으로 전압 및 전류 파형은 순 정현파가 아닌 왜형파로 나타나고 있다. 이는 전력 품질 저하 및 고조파에 의한 왜형파에 따라 장애를 받는 기기의 소손 및 오동작과 전력계통에서의 정전 등이 우려될 것이다.

시스템 설계분야에서 전력반도체 응용기술을 바탕으로 한 전력변환 시스템 설계의 중요성이 높아지고 있다. 본 보고서를 통해 고조파의 개념과 개선에 대해 이해의 폭을 넓히는 계기가 되었으면 한다.

참고 문헌

- "전력계통의 고조파 억제기술" / 전기설비진단기술
- 전력전자공학(태영문화사) / 이재학 외 3명



김 덕 기

- 1975년생
- 2009년 한국해양대학교 공학박사
- 현 재 : 현대중공업 FLNG전담팀/과장
현대중공업공과대학 기계전기과/겸임교수
- 관심분야 : LNG-FPSO, LNGC, LPGC
- 연 락 처 : 052-203-8441
- E - mail : sense315@hhi.co.kr

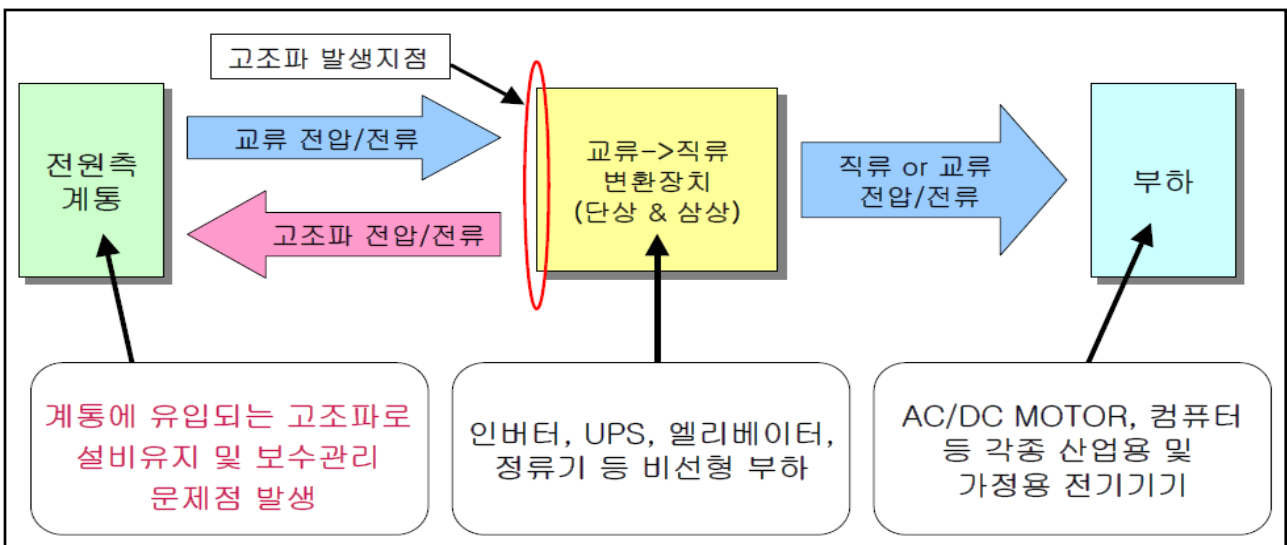


그림 4. 고조파의 흐름 계통도