



전력품질의 이해 및 전력장애에 따른 보호기술 ⑤

(주)태경전기산업 김병상 대표이사
TEL : (02)516-1237
<http://www.tkelec.co.kr>



목 차

- I. 전력품질(Power Quality)의 이해
- II. 전력장애(Disturbance)의 분류
- III. 전력장애(Disturbance)의 원인
- IV. 전력 장애에 따른 보호기술
 - 1. 전압 변동에 따른 보호기술
 - 2. 고조파 왜곡에 따른 보호기술
 - 3. 써지 보호 기술
 - 4. Sag보호 기술
 - 5. 노이즈 보호 기술
 - 6. 전력품질 monitoring기술

2. 고조파 왜곡에 따른 보호기술

시설용량이 사용용량에 비하여 충분한데도 불구하고 전력계통이 과부하에서나 발생될 수 있는 트러블이 발생된다면 우선적으로 고조파에 의한 영향을 의심할 수 있다. 이는, 비선형 부하가 갖는 특징 때문이다.

비선형 부하는 전원측에서 공급하는 전압과 전류를 그대로 사용하는 것이 아니라 선택적으로 필요한 부위만 잘라쓰기 때문에 비록 적은 kW만을 요구할 지라도 더욱 많은 피상전력이 필요하게 된다. 또한, 잘라쓰고 남은 전력은 전원측으로 유출되어 흐르면서 또 다른 형태의 에너지로서 작용한다.

아이러니컬 하게도 에너지 절감을 위해 채택한 비선형 시스템에서 더욱 큰 전원설비, 발전기 설비를 요구하게 되는 이유가 되기도 한다.

우리가 사용하는 전기 시설이 비록 대부분 고조파 발생원이라고 하더라도 전원 설비 용량이 이를 충분히 수용할 수 있는 용량이라면 고조파에 의한 Trouble현상은 거의 없을 것이다.

고조파가 있는 전력계통에서 고조파를 저감시키기 위한 기술적인 결정은 IEEE의 기술 권고를 따르게 된다.

고조파처리에 대한 기술기준은 주로 전력계통의 전압 왜곡율(V_{THD})정도를 기준으로 한다.

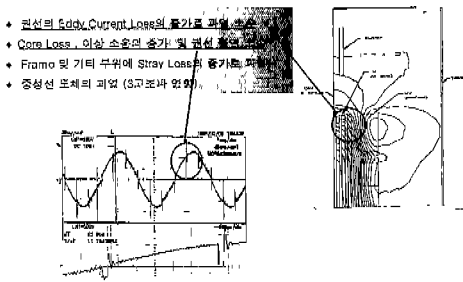
경험적으로 일반적인 부하는 전압 왜곡율(V_{THD})10%이내라면 사용상 지장이 없다 그러나, 민감한 부하등은 Trouble 없이 사용할 수 있도록 전압 왜곡율을 5%이내로 유지할 것을 권고한다.

전력계통의 전압왜곡율이 낮은 수준(V_{THD} : 5% 이내) 이라면 고조파 피해는 매우 적을것이다.

전압 왜곡율을 낮추는 조건은 우선적으로 시설 용량을 크게 하는 것이다. 그러나 이는 효율성, 경제성 측면에서 비합리적이다 고조파 왜곡에 따른 적절한 보호 대책을 살펴보자

2.1 K-rate변압기

변압기는 전원 설비의 가장 중심에 있으며 특성상 고조파에 의한 영향을 가장 직접적으로 받게 된다



K-rate 변압기는 고조파가 함유된 부하를 고려하여 제작된 변압기이다.

IEEE/ANSI C57.110에서 변압기의 과열을 방지하기 위하여 사용중인 부하전류에서 각 찻수별 고조파 전류 함유량에 따라 증가되는 손실을 F_{HL} (Harmonic Loss Factor)로 규정하였다

F_{HL} 를 기초로 UL1592에서 K-factor(F_{HL})를 등급화하여 고조파 부하에서 추가적인 손실없이 사용할 수 있는 변압기 제작 및 시험 기준을 마련하였다.

예를들어, K-factor 7변압기는 고조파에 의한 Eddy loss가 7배 증가되어도 정현파 부하시의 온도상승과 소음이 유지되도록 제작된 변압기를 뜻한다.

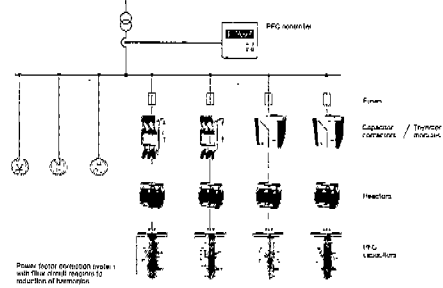
2.2 Detuned Harmonic Filter

가장 일반적인 고조파 저감 Solution으로 주로 5,7차수의 고조파 저감과 무효전력 저감을 위해 사용한다.

Detuned Harmonic Filter를 사용함으로써 고조파에 의한 트러블은 대부분 제거할 수 있다.

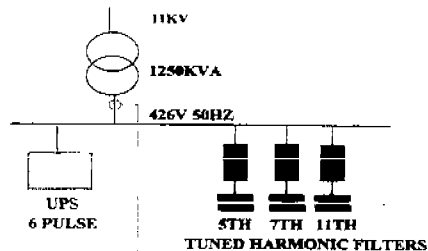
고조파 오염 정도에 따라 Detuning Factor를 결정하는 방법과 재료 선정의 방법은 전월호에서 참조할 수 있다.

가변되는 부하에서는 Automatic PFC System을 구성하여 사용하고 스포트용접등 순간적으로 급변하는 부하의 제어를 위해 싸이리스터를 이용한 RTPFC (Real Time Power Factor Control)System을 추가하여 채택할 수 있다.



2.3 Tuned Harmonic Filter

- 대용량 특정부하의 고조파 저감을 위한 Solution으로 특정차수(5차, 7차, 11차, 13차, 17차..)의 고조파를 선택하여 Tuning한다.
- 전력계통의 임피던스 변화나 부하의 가변시에는 제약이 따르게 된다.



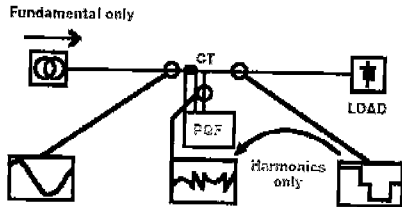
2.4 Active Harmonic Filter

Active Harmonic Filter의 가장 큰 장점은 부하의 변동과 고조파의 어떠한 변화에도 매우 능동적으로 대처할 수 있는 것이다.



Active Filter의 작동원리는 발생하는 고조파 파형의 반대위상의 고조파를 생성시켜 상쇄시키는 것이다.

따라서, AHF를 사용하는 경우 매우 높은 고조파 개선 효과를 얻을수 있다.



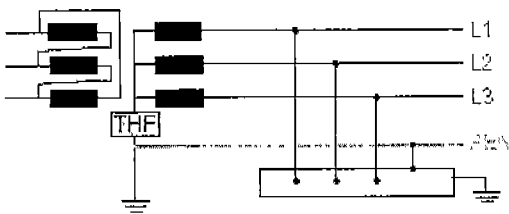
2.5 Third harmonic Blocking Filter

Third Harmonic Blocking filter는 3상4선식 배전선로에서 주로 발생하는 영상고조파의 제거 목적으로 개발되었다.

THF의 작동 원리는 영상분 임피던스를 크게 하여 영상 고조파를 흐르지 못하게 하는 원리이다.

일반적인 고조파 필터는 필수록 부하 가까이 설치하여 부하에서 발생하는 고조파를 흡수 제거하여 전원설비의 고조파 영향을 감소시키는데, THF의 Blocking원리는 중성선에 영상전류를 흐르지 못하게 함으로써 중성선뿐 아니라, 부하측 모든선로의 영상고조파를 제거하는 역할을 한다.

고조파에 의한 ELB, 차단기의 Trip현상, Cable 과열현상 등이 해결된다.



3. 써지보호 기술

일반적인 환경하에서라면 전기를 공급하는 도체의 수명은 반영구적이라고 할 수 있다.

전기 제품의 수명을 결정지우는 것은 도체를 감싸고 있는 절연 물질의 수명이라고 할 수 있다.

절연 물질이 열이나 과전압 등에 의한 스트레스로 열화하여 그 절연 성능이 현저히 저하된다면

그 제품은 수명의 종점에 있는 것이다.

물론, 이를 계속 사용하여 종국에는 큰 사고로 이어지기도 한다.

써지는 순간적인 과전압 현상으로 전기 시설에 높은 스트레스를 인가한다. 이러한 스트레스의 반복은 전기 제품의 수명을 급격히 저하시키고 종종 사고의 원인으로 작용하게 된다.

3.1 고압 측에서의 써지 보호 기술

낙뢰시 혹은 차단기 (특히 VCB) 개폐시 계통의 전기적인 환경에 따라 매우 큰 써지가 발생될 수 있다.

전기 제품이 처음 제작될 때 낙뢰시의 높은 써지 전압을 견디고 수많은 개폐 써지를 견딜 수 있도록 하는 것은 매우 어렵고, 고비용이 들 것이다.

당연히 외부에서 발생된 모든 써지 전압을 견딜 수 있는 제품을 만드는 것 보다 써지를 낮추는 써지 보호 기술을 택할 것이다.

고압측에서의 써지 보호 기술은 피뢰기에 대한 사용 기술이라고 할 수 있다.

3.1.1. 피뢰기의 선정

가. 정격 전압의 선정

Arrester rating	MCOV특성	국내 배전 전압
3kV	2.55kV	(3.3kV-Y)
6kV	5.1kV	3.3kV-△
9kV	7.65kV	6.6kV-△
10kV	8.4kV	-
12kV	10.2kV	-
15kV	12.7kV	-
18kV	15.3kV	22.9kV-Y
21kV	17.0kV	-
24kV	19.5kV	-
27kV	22.0kV	22kV-△
30kV	24.4kV	-
36kV	29.0kV	-

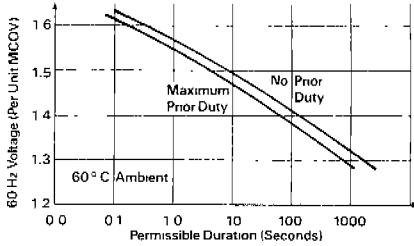
※ Arrester rating : 방전개시전압

※ MCOV특성 :

Maximum Continue Over Voltage로써 연

속해서 사용할 수 있는 최대 전압

※ Temporary Power Frequency Over Voltage 특성(Gapless Type Arrester)



피뢰기의 정격전압을 선정하는 것은 피뢰기의 방전 개시 전압(ANSI/IEEE 기술기준에 따라)을 선정하는 것이다. 따라서, 피뢰기의 MCOV 특성과 TOV특성을 이해하여 선정토록 한다.

예를 들어서 22.9kV System에서 대지간 전압은 13.2kV이다. 이때의 피뢰기 선정은 사용전압보다 높은 MCOV특성 제품(15.3kV이상)을 선정할 수 있다. 사고시 전위상승과 지속시간에 대한 TOV특성을 고려하여 방전정격전압을 결정할 때 18kV정격이 가장 이상적이다.

나. 방전 전류의 결정

- 낙뢰써지 보호용 피뢰기의 공칭 방전 전류는 IEC의 기술 권고에 따라 10KA 이상을 선정하는 것이 바람직하다.
- 개폐써지 보호용은 5KA 이상을 선택한다.
- 매우 중요한 부하 설비나 낙뢰가 심한 산악 지방의 경우에는 높은 방전 허용 특성을 갖는 Heavy Duty 제품을 선정하는 것이 바람직하다.

3.1.2. 피뢰기의 시설

내선규정 720절 피뢰기의 시설에서 그 설치 위치에 대한 설명은 아래와 같다.

(설치위치)

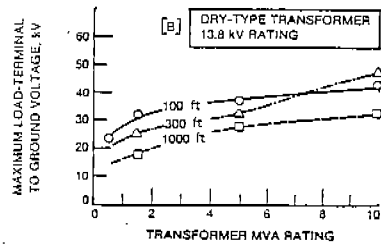
1. 피뢰기의 보호레벨과 피보호기 절연내력간의 협조를 이루기 위하여 필요한 위치선정은 다음 사항을 전제로 검토한다.
 - ① 피보호기의 제 1대상은 전력용 변압기이며, 가능한 한 이에 근접하도록 한다.
 - ② 피뢰기의 접지도선은 가능한 한 짧게 한다.
2. 변압기와 피뢰기의 거리

표7-6 (1회선 수전의 경우 피뢰기와 피보호기의 최대유효 이격거리 참고치)

선로전압(kV)	유효이격거리(m)
154	65
66	45
22	20
22.9	20

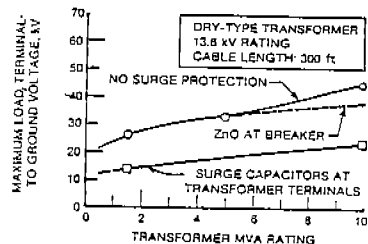
내선 규정의 내용을 좀 더 자세히 이해하기 위해서 Vacuum Circuit Breaker Application And Surge Protection에 관한 논문 자료를 토대로 피뢰기 설치에 대해서 자세히 살펴보자.

가. 무부하 변압기 투입시 써지 전압 현상

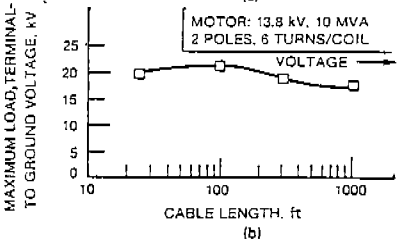
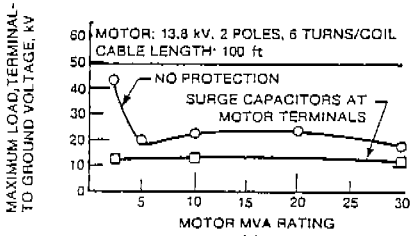


- 변압기와 차단기 사이의 Cable 간격이 짧을 수록 써지 전압이 커진다.
- 변압기 용량이 커질수록 써지 전압이 커진다.
- 10MVA 변압기는 Cable 거리가 300ft(90m)일 때 가장 커지게 된다.

나. 피뢰기 설치 위치에 따른 써지 감소 효과



차단기 2차측에 피뢰기를 설치시 보다 변압기 단자 터미널에 피뢰기를 설치할 경우 써지 전압이 더욱 낮아짐을 알 수 있다.



- 5MVA 이하의 motor에서 써지 전압이 매우 높게 발생된다.
- Arrester를 motor 단자측에 설치할 경우 써지 전압이 현저히 낮아짐을 알 수 있다.

Arrester는 피보호기 터미널에 가장 가까운 곳에 설치하고 접지선은 중간중간 연결하여 건너가지 않도록 하여야 한다. 써지 전류는 보통 수 Mega Hz의 전류로 DC접지 저항이 1Ω이라고 하더라도 써지 방전 때에도 저항이 1Ω을 유지하는 것으로 착각하면 안된다. 이때에는 시설의 정확성 여부에 따라 수백 Ω 이상이 될 수도 있다.

당연히 시설이 정확치 못하다면 내선 규정에 맞게 시설되어도 변압기 혹은 보호대상 기기는 손상 가능성이 높아질 수 있다.

3.1.3. 피뢰기의 점검

피뢰기는 낙뢰 써지 혹은 개폐 써지를 방류하면서 점차 열화하여 그 MCOV특성과 TOV 특성이 변화하게 된다.

이를 점검하는 가장 기초적인 수단은 피뢰기의 낙뢰 횟수를 Counting 하는 시설을 하거나 피뢰기의 누설 전류 변화를 확인하는 것이다.

점검이 없다면 장시간 사용후 피뢰기가 점차 열화하여 그 성능이 저하되는 경우 중요한 전력 기기의 2차적인 피해가 예상될 수 있다.

3.2. 저압측에서의 써지 보호 기술

최근 건축물의 전기 제품은 대부분 Digital 전력 장비로 구축되어 있다.

이러한 첨단 digital 전력 장비는 외부 써지에 매우 취약한 단점을 갖는다.

국내 기술 기준에는 써지에 대한 보호 대책이 없으며, 따라서 특별한 기준도 없다.

그러나, 최근에는 APT단지에서도 낙뢰로 인한 피해가 상당히 확인되고 있으며, 반도체 사용기기의 증가로 그 피해는 더욱 커질 것으로 예측하고 있다.

IEEE 기술보고서에서는 전기 기기를 고장 없이 오래 사용하기 위해서는 Surge Protection Device (TVSS) 설치를 권고하고 있다.

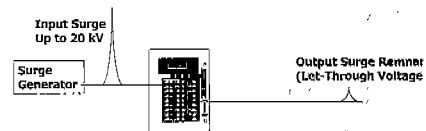
- 국제전기전자학회권고(ANSI/IEEE C-62.1)
- 국제 화재 보험협회의 권고(NEPA 780)
- 미국표준(UL1449)
- IEC, CSA 기준 등

3.2.1 써지 보호 장치의 성능

일반적인 써지 보호장치는 국내의 기술 기준이 취약해서 이름만 TVSS인 제품이 많을 수밖에 없다.

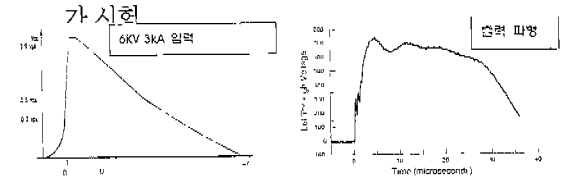
TVSS의 성능에 대한 입증은 Let Through Voltage를 적절히 낮출 수 있는가 하는 것이다.

Let Through Voltage란 각종 이상 써지 전압이 TVSS를 통과한후 나타나는 전압 값이다.



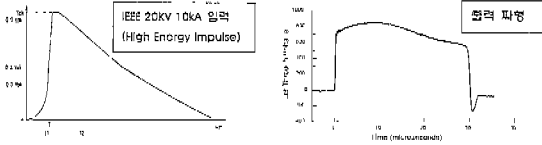
아래 각종 써지 전압 전류의 크기에 따른 입력 파형 인가 시험기준과 출력된 Let Through Voltage와의 상호관계를 살펴보자. (480V이하급 기준)

가. ANSI/IEEE Cat C1, combination Wave인



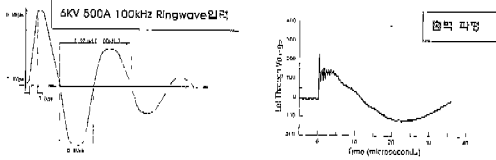
- 6kV 3kA 입력시 Let-Through Voltage : 800V이하

나. ANSI/IEEE Cat C3 Combination Wave 인가 시험



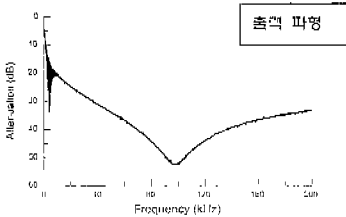
- 20kV 10kA 입력시 Let-Through Voltage : 900V이하

다. ANSI/IEEE Cat B3 Ringwave 인가시험



- 6kV 500A Ringwave 입력시 Let-Through Voltage : 200V

라. R&B Test Filter Attenuation



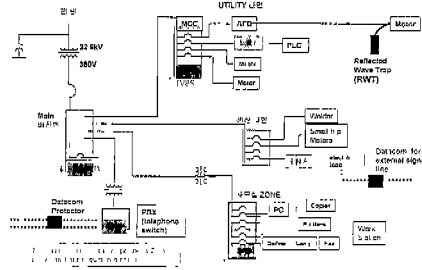
MIL-STD 200A @ 100kHz Noise 입력시 Noise 감쇄 : 40dB이상

마. Multiple Surge Withstand Capability 시험 (ANSI/IEEE C3 WAVE 20kV, 10kA)

- 80kA/phase 제품 : 1,500회 인가 시험
- 160kA/phase 제품 : 10,000회 인가시험

써지보호장치의 선정은 최소한 상기의 “5가지” 시험 기준을 통과한 제품으로 선정하는 것이 바람직하다.

3.2.2 일반적인 써지보호 Diagram

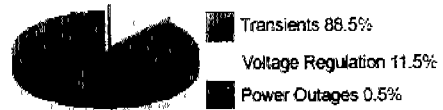


- ※ SPD(Surge Protection Device) : 써지보호장치 (일반적으로 TVSS로 불림)
- ※ SNF(Surge & Noise Filter) : 써지보호내장된 광대역 노이즈 필터
- ※ RWT(Reflected Wave Trap) : 인버터 후단의 모타보호용 노이즈 필터

3.2.3 써지 보호장치후 효과

최근 IBM System에서 25개 도시에있는 200 Computer Site에서 조사된 근거를 대상으로 살펴보기로 한다.

가. 전력품질 이상현상 분포



- PQ-meter에 기록된 Disturbance의 88.5%가 Transient현상으로 기록됨

나. 써지보호 시설후 MTBF(Mean Time Between Failure)증가

Source: Reliability Analysis Center - Rome, New York

Equipment	Actual Field MTBF (Hours and Years)	Increase in MTBF After install of TVSS
Battery, Nickel Cadmium	87,800 Hrs., 10 Yrs.	3,985,824 Hrs., 455 Yrs.
Circuit Breakers, Single Sided	37,600 Hrs., 10 Yrs.	4,229,000 Hrs., 483 Yrs.
Circuit Breakers, General	106,920 Hrs., 12 Yrs.	1,337,850 Hrs., 153 Yrs.
Circuit Breakers, Power Switch	106,120 Hrs., 12 Yrs.	347,167 Hrs., 40 Yrs.
Electric Motors, Fractional HP	78,840 Hrs., 9 Yrs.	887,455 Hrs., 76 Yrs.
Electric Motors, Full HP	61,320 Hrs., 7 Yrs.	226,351 Hrs., 26 Yrs.
Electric Motors, 4 Yrs.	35,040 Hrs., 4 Yrs.	138,000 Hrs., 16 Yrs.
Fan, Axial	175,200 Hrs., 20 Yrs.	530,000 Hrs., 62 Yrs.
Fan, General	131,400 Hrs., 15 Yrs.	357,041 Hrs., 41 Yrs.
Lamp, Incandescent	8,760 Hrs., 1 Yr.	26,280 Hrs., 3 Yrs.
Lamp, Fluorescent	21,900 Hrs., 2.5 Yrs.	201,714 Hrs., 23 Yrs.
Regulator, Thermostat	140,160 Hrs., 16 Yrs.	205,831 Hrs., 24 Yrs.
Switch, Toggle	262,800 Hrs., 30 Yrs.	3,673,428 Hrs., 419 Yrs.

- TVSS설치후 MTBF의 증가는 경이로운 수준이다.

효과적인 써지제거로서 사용 수명이 3배 이상에서 수십배 증가되는 효과가 있는 것으로 조사되었다.

다음호에 계속됩니다