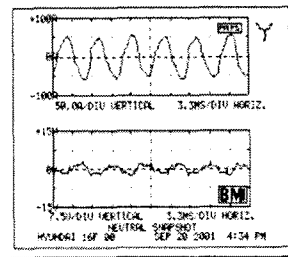


능동형고조파 필터 및 정지형무효전력보상장치

양영철 홍지훈 한원균
시엔에이전기 (주)

1. 서 론

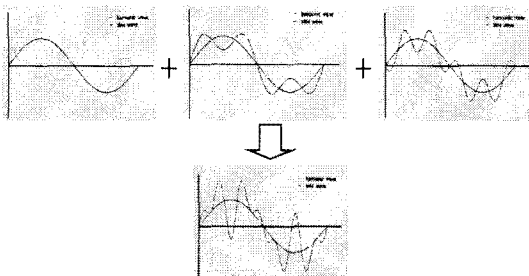
전력변환설비의 급증으로 인해 고조파가 전력계통에 다량으로 유입되어 변압기 및 콘덴서의 과열 및 소손의 발생, 전자유도에 의한 통신장애, 보호계전기의 오동작, 주요 전자장비의 고장 원인이 증가하고 있어 고조파의 제거가 필요시 되고 있다. 고조파의 제거방식으로 R-L-C로 구성된 고전적인 수동필터(Passive Filter)와 전력전자소자를 응용한 능동형필터(Active Filter)가 있다. 능동형필터는 기본주파수의 지상/진상전류를 보상하여 무효전력보상기로서 사용이 가능하며, 기존의 정지형 무효전력보상기(Static Var Generator) 또는 자력식무효전력보상기로 불리어 진다. 이와 관련하여 정지형무효전력보상장치의 전기설비적용에 대하여 검토 하였다.



2. 고조파의 정의 및 관리기준

2.1. 고조파(Harmonic)의 정의

고조파 : 기본 주파수의 정수배가 되는 주파수의 사인(Sine)파
실제 모든 파형은 기본주파수에 고조파가 혼합된 왜형파이다. 전력계통에서는 50배 까지를 고조파로 관리한다.(120Hz ~ 3KHz)

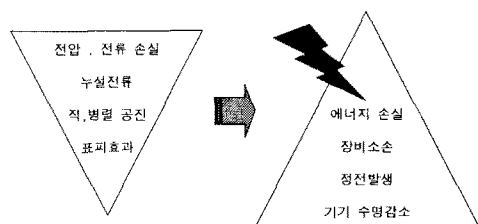


2.2. 고조파(Harmonic)의 발생

- 1) 전력 계통에 비선형(NON-LINEAR)의 부하가 연결 될 때 발생
- 2) 비선형 부하는 비정현파(왜형파) 전류를 발생시킨다.
- 3) 비선형 부하(고조파 발생부하)의 종류
 - 가) 정류기, VVVF(INVERTER)부하, 전기로
 - 나) UPS, 전산장비(COMPUTER,PRINTER...)
 - 다) 에너지 절감 조명장치

2.3. 고조파(Harmonic)의 영향

- 1) 콘덴서, 변압기의 과열 및 소손, 소음발생
- 2) 영상고조파(3n차고조파)로 인한 N상 케이블의 과열 및 소손
- 3) 유도전동기의 회전수 변화 및 철손 동손의 증가
- 4) 전자 유도에 의한 통신 장애의 발생
- 5) 보호계전기, PLC, COMPUTER시스템의 오동작 발생
- 6) 배선용 차단기 및 누전용 차단기의 오동작 발생



2.4. 고조파(Harmonic)의 관리기준

- 1) 고조파는 자체 (빌딩 및 공장)의 전력계통 및 통신선로에 악영향을 주며 동시에 타 빌딩이나 공장으로 유출되어 지역 전체의 전력품질을 저하 시킨다.
- 2) 한전이나 국제규격은 고조파 관리규정을 정하여 사용한다.

-1. IEEE STD. 519

■ 고조파 전압 관리 기준

회로전압	각 고조파 성분의 최대	최대 총합 왜형률(THD)	
69 [KV]이하	3.0	5.0	
115 [KV]~161 [KV]	1.5	2.5	
161 [KV] 이상	1.0	1.5	
회로전압	왜형률	기수고조파	우수고조파
415 [V]	5	4	2
6.6 [KV]	4	3	1.75

■ 고조파 전류 관리 기준

SCR=Isc/IL	H<11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<h	TDD
20미만	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 ~ 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 ~ 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 ~ 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
1000 초과	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

SCR :Short Circuit Ratio
 Isc : Short Circuit Current[A] IL: Load Current[A]
 TDD: Total Demand Distortion h: 고조파 차수

-2. 한전 전기공급 약관

■ 고조파 전압왜형의 억제기준

구분	지중선로가 있는 S/S에서 공급		가공선로만 있는 S/S에서 공급	
	전압	전압왜형률(%) 등가방해전류(A)	전압	전압왜형률(%) 등가방해전류(A)
66KV 이하	3	-	3	-
154KV 이하	1.5	3.8	1.5	-

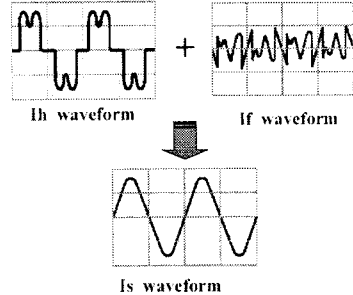
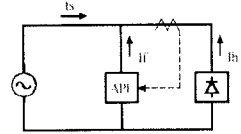
3. 능동형 필터의 원리 및 구성

3.1. 동작원리

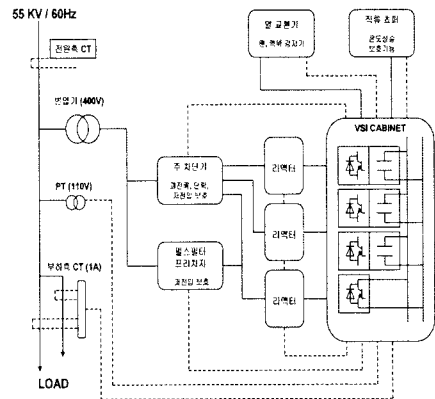
능동형 필터는 발생원인 부하측의 고조파를 분석하여 반대되는 고조파(역고조파)를 발생시켜 합성하여 제거하는 장치로 고속의 DSP(Digital Signal Processor)와 IGBT 등의 전력제어 소자로 구성된다.

$$(I + \sum I_n) + (- \sum I_n) = I$$

(기본파) (고조파) (역고조파)

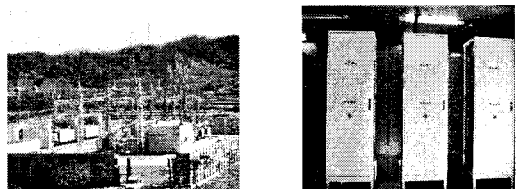


3.2. 능동형 필터의 구성

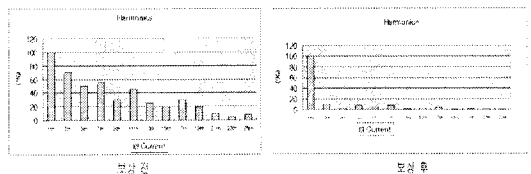


4. 능동필터의 설치 효과

경부고속철도차량에서 발생하는 고조파를 제거하기 위하여 5개 변전소에 능동형필터를 설치하여 고조파전류와 고조파 전압 THD를 측정한 결과 아래 그래프와 같이 고조파전류가 현저하게 감소하였으며 고조파전압THD는 한전기준(1.5%이하)를 만족 하고 있다.



<변전소 설치 사진>



고조파 전

고조파 전

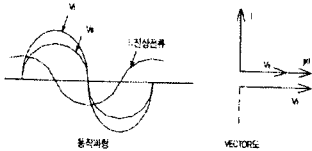
5. 능동형필터의 무효전력 및 전압 보상적용

5.1. 진상 및 지상보상 동작원리

IGBT를 PWM 방식으로 제어하여 능동형 필터로 흐르는 전류를 계통전압의 위상보다 진상/지상으로 조정하여 무효전력을 보상한다.

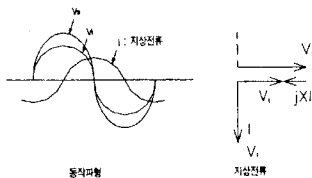
1) 진상동작 (CAPACITOR로 동작)

$V_i > V_s$ 인 경우



2) 지상동작 (REACTOR로 동작)

$V_i < V_s$ 인 경우



5.2. 전압보상 동작원리

선로의 임피던스에 의한 전압강하는 지상 무효전력이 과한 상태이면 수전단 전압이 하강하고 부족한 상태에서 전압이 상승하게 된다. 따라서 능동형필터의 지상/진상무효전력량의 발생량을 수전단 전압에 의하여 자동 제어하게 하면 전압을 일정하게 유지 가능하다.

구분	수요 > 공급 이 된 경우	수요 < 공급 이 된 경우	현상이 나타난 범위
유효전력이 수급 불균형이 된 경우	계통주파수가 지하 된다	계통주파수가 상승한다	연계하는 모든 계통에 같은 주파수 변화가 되어 나타난다
지상무효전력이 수급 불균형이 된 경우	수전단의 전압이 저하 된다	수전단의 전압이 상승한다(페란티)	수급불균형을 일으킨 부분에 국소적으로 나타난다.

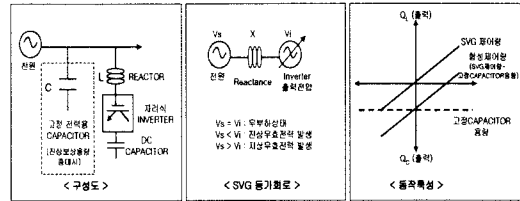
표1.유효전력,무효전력의 수급불균형에 따른 전력계통에 나타나는 현상

5.3. 정지형 무효전력보상장치 비교

1) SVG(Static Var Generator) 방식

1. 구성 및 원리

- IGBT PWM방식이 일반적임(GTO나 ICT등의 전력전자소자도 사용)
- 자력식 Inverter의 출력전압을 조정하여 무효전력을 발생시킨다.



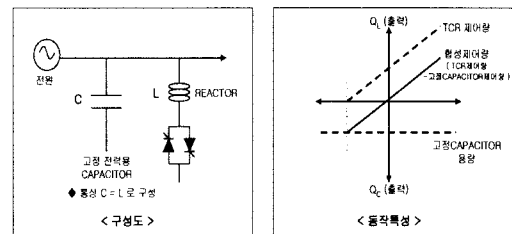
2. 특징

- 실시간 (0.1~4ms)으로 연속적 진상/지상 무효전력 보상이 가능하다.
- 계통 전압 변동에 무관하게 동작
- 별도의 Capacitor가 필요없어 공진현상이 발생하지 않는다.
- 자체 용량 한도 내에서는 고조파 제거가 가능하다.(능동형 필터 기능)

2) TCR (Thyristor Controlled Reactor) 방식

1. 구성 및 원리

- 고정Capacitor와 Thyristor로 제어되는 Reactor로 구성
- Thyristor를 위상제어하여 Reactor의 용량을 연속 가변하여 무효전력량을 조정



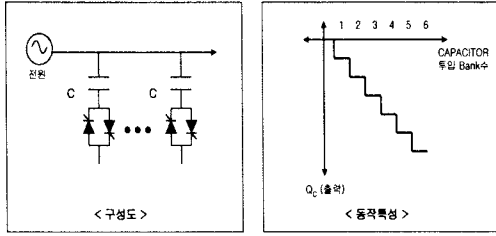
2. 특징

- 연속적으로 무효전력제어가 가능하며 0.02초 (1cycle)의 고속보상이 가능하다.
- 각 상별로 무효전력보상이 가능하다.
- 위상 접호각이 90°이상시 리액터 전류는 기수차 고조파를 포함하여 대책이 필요하다. (통상 고정용Capacitor를 Passive Filter로 구성 보완함)
- 경부하시 및 무부하시 리액터 전류가 최대로 되어 손실이 크다.
- 계통 공진을 고려하여야 한다

3) TSC(Thyristor Switched Capacitor)방식

1. 구성 및 원리

- Capacitor Bank를 단단으로 구성하고 Thyristor로 ON/OFF 제어
- 돌입전류를 최소화 하기 위하여 Zero-Crossing



2. 특징

- 계단식으로 무효전력 보상이 가능
- Capacitor Bank를 Passive Filter로 구성이 가능
- 3상 일괄 ON/OFF로 각 상별로 무효전력 보상이 불가
- 계통 공진을 고려한 설계가 필요

표2. 무효전력보상설비 비교

구분	Static Var Compensator (Thyristor Controlled Reactor)	Static Var Compensator (Thyristor Switched Capacitor)	Self Commuted Converter (Static Var Generator)
시스템 외관			
동작 원리	선로에 콘덴서를 고정 투입하고 인덕터 용량을 thyristor로 조정	콘덴서 병렬을 단위로 구성하고 thyristor로 ON/OFF 제어	IGBT PWM 제어방식으로 자체에서 전상 및 지상 무효전력 발생
동작 속도	1~20 msec	4~20 msec	0.1~4 msec
무효 전력 보상	연속 (지상 보상)	계단식 (지상보상)	연속(전상/지상 보상)
경부하시 소비전력	없음	거의 없음	거의 없음
적용 용량	5~100MVA	2MVA 이하	0.1~100MVA
고조파 제거 방식	별도 설비 필요	R-C필터로 일부 흡수 (30~60%)	자체에서 역고조파 발생 상태로 95%이상 제거
비고	자체 고조파 발생 중, DA 용량에 적용	소용량에서 유리	모든 용량에 적용 불리면적은 ICR방식의 50~70%

5.4. 무효전력보상설비의 설치 효과

송풍기 기동 및 엘리베이터 운전시에 발생하는 전압강하를 보상하기 위하여 SVC를 설치하여 역률, 무효전력, 전압변동을 측정하여 결과 표3과 같이 개선됨을 알 수 있다.

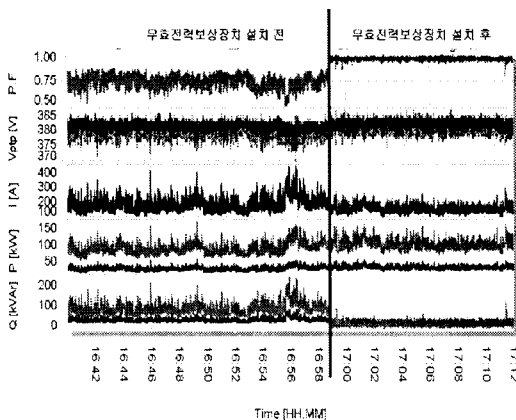


표 3. 설치전/설치후 전력 DATA

구분	설치전	설치후	비고
전압	368V~386V	374V~387V	설치후 6V 정도의 전압강하 현상이 제거됨
전류	평균:250A 최대: 430A	평균:180A 최대: 300A	설치후 최대전류 130A 감소됨
무효전력	평균: 100KVA	평균: 15KVA	
역률	평균: 0.73	평균: 0.99	

6.정지형 무효전력보상설비의 전기설비적용 효과

정지형 무효전력보상설비는 실시간으로 무효전력의 보상이 가능하므로 역률 개선을 통한 에너지 절감 뿐만 아니라 대형전동기 기동 등에 발생하는 전압변동 개선 효과를 갖고 있다.

특히 터널의 전원시스템에서는 터널 길이에 비례하여 배전거리가 수 km에 이르는 경우가 많고 산간벽지에 설치되므로 전원임피던스도 높고 정상운전시에도 전원계통의 전압강하가 문제가 된다. 터널 환기용 대용량 전동기 기동시 발생하는 무효전력이 크므로 전압강하 보상을 정지형무효전력보상설비의 채택 검토가 필요하다.