〈에너지時代의 電氣使用〉

# 電力用 콘덴서의 短點과 그 對策

전력용 콘덴서의 설치에 의한 역률개선은 효과가 크므로 조건만 갖추어지면 적극적으로 설치하는 경향에 있다. 장점과 단점은 등을 맞대고 있으며 전력용 콘덴서도 그 예에서 벗어나지 못하여 많은 효과(특징)에 대하여 콘덴서이기 때문에 숙명적인 단점도 몇가지를 안고 있다.

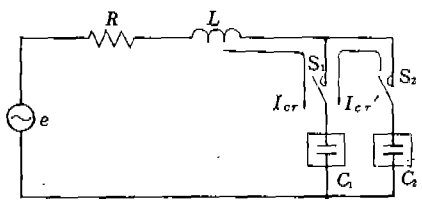
전기사용의 합리화에 있어서는 이 단점을 잘 커버하여 운영해야 되며 그럼으로써 참뜻의 합리화를 달성했다고 할 수 있겠다.

여기서 전력용 콘덴서의 단점과 그 대책을 중심으로 해설한다.

## 1. 電力用 콘덴서의 特異現象 (문제점)

### (1) 突入電流

콘덴서를 전원에 투입할 경우 콘덴서는 외견상의 임피던스가 극히 작은 상태로 되어 있으며 전원에서 큰 돌입전류가 흐른다. 이것은 전원 투입순시의 위상의 전압에 적합한 콘덴서 전하($q=CV$)를 순시에 공급해야 되기 때문이며 이것이 돌입전류가 된다. 돌입전류의 크기는 정격전류의 10수배에서 수10배가 되는데 특히 그림1과 같이 동일모선에 복수의 콘덴서가 접속되어 있으며 일부의 콘덴서가 전원에 투입되어 있는 상태에서 다른 콘덴서를 투입하는 경우에는 전원에서의 돌입전류에 더하여 이미 투입되어 있는 콘덴서로 부터의 평형화 전류가 가해지기 때문에 100배를 초과하는 크기가 되는 수도 있다.




$R$ : 回路抵抗
$L$ : 回路인덕턴스
$I_{cr}$ : 콘덴서 $C_1$에 대한 電源에서의 突入電流
$I_{cr}'$ : 콘덴서 $C_2$에서 $C_1$에의 平衡化電流

〈그림- 1〉

### (2) 突入電流에 의한 障害

콘덴서의 突入電流는 계속시간이 수10(msec)으로 짧은데 고주파 진동성의 대전류이기 때문에 다음과 같이 많은 장해가 발생한다.

(a) 変流器 2次側 回路의 過電圧發生

변류기의 2차측은 유도성 부하(부담)이며 한편 돌입전류는 고주파의 진동전류이기 때문에 고주파에 의한 임피던스가 증대되어 波高値가 크고 波形이 예리한 과전압이 발생한다. 이에 의하여 2차측 부하의 절연파괴, 또는 급속한 열화를 초래한다.

(b) 開閉器 接触子의 조기 손모

(c) 過電流 保護裝置의 不要作動

(d) 電源 또는 母線의 瞬時電圧 降下

대돌입전류와 회로의 임피던스와의 積이 전압강하(임피던스 강하)분이 되어

• FA, OA 등 ME기기의 기억소실, 프로그램의 오작동, 불요작동, 오제어, 폭주 또는 정지

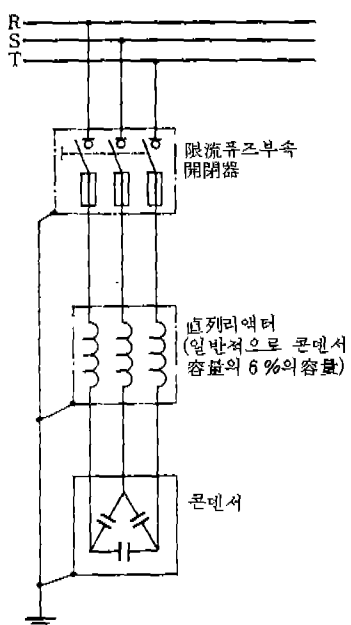
• 전동기 가변속장치 등 전자제어기기의 오작동 불요작동 또는 정지
등이 발생하여 생산설비 등에 상당한 악영향을 미칠 우려가 있다.

### (3) 突入電流의 輕減(抑制) 對策

突入電流를 경감하기 위해서는 **그림 2**와 같이 콘덴서에 직렬로 리액터가 접속된다. 이것을 직렬 리액터라 한다.

직렬 리액터의 리액턴스의 크기는 돌입전류를 경제적으로 경감시킬 수가 있고 또한 타에 악영향을 가져오지 않는 것으로 통상은 고압, 저압 모두 콘덴서 리액턴스의 6%로 하고 있다. 이 6%라는 수치의 근거는 특히 돌입전류의 경감을 최대의 목적으로 하여 설정된 것이 아니고 고조파에 의하여 발생하는 악영향의 경감을 주목적으로 하여 설정된 것이다. 저압 콘덴서는 돌입전류의 경감만을 목적으로 하는 이른바 한류 리액터(리액턴스의 크기는 콘덴서리액턴스의 6% 이하에서 1% 전후의 것이 많다)를 설치하는 수도 있다.

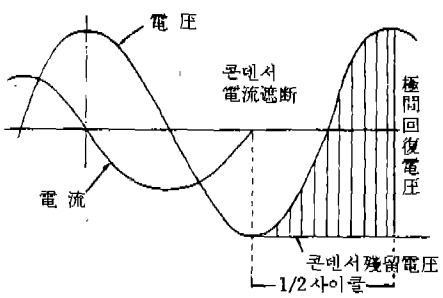
이와 같은 직렬 리액터의 설치에 의하여 돌입전류는 콘덴서 정격전류의 5~6배 이하로 억제되어 (병렬콘덴서가 시설되어 있는 경우에도 거의 같은 정도), (2)의 (a)~(d)와 같은 악영향은 대폭적으로 경감되어 거의 문제가 없어진다.




〈그림-2〉

### (4) 콘덴서 電源 開放時의 異常電圧發生(再點弧現象)

콘덴서의 전원 개방시에는 콘덴서측에 전원전압에 상당하는 크기의 잔류전하가 축적된다. 콘덴서의 전류를 개폐기에 의하여 차단한 후 1/2사이클의 시점에서 개폐기의 극간에는 **그림 3**과 같이 콘덴서 잔류전하에 의한 전압과 전원전압과의 差電圧(회복전압이라고 하며 전원전압의 거의 2배의 크기에 달한다)이 가해지며 이에 의하여 개폐기의 극간이 다시 아크에 의하여 연결된다. 이른바 재점호현상이 발생하는 수가 있다. 재점호현상이 발생하면 콘덴서에는 정상전압의 약 3배에 가까운 서지性의 과전압이 가해지는 동시에 정상전류의 10수배에서 100배 이상의 재점호전류가 흐르는 수가 있다




〈그림-3〉 콘덴서電源開閉器 開放時의 開閉器 極間에 나타나는 回復電圧

### (5) 再點弧現象에 의한 惡影響

재점호현상은 서지性 과도전압의 발생, 돌입전류 이상의 가혹한 재점호전류가 발생하여 이에 의하여 돌입전류에 의한 장해와 같은 장해가 발생하는 동시에 콘덴서 자체가 과전압에 노출되어 절연물의 열화를 촉진시킬 위험성이 있다.

### (6) 再點弧現象에 의한 악영향의 輕減策 또는 防止策

콘덴서에 직렬로 (3)과 같은 리액터를 설치함으로써 가령 재점호현상이 발생한 경우에도 재점호전류는 정격전류의 약 9배, 진동주파수는 기본주파수의 약 4배 정도가 된다. 그러나 과전압은 의연히 발

생하므로 직렬 리액터는 근본적인 대책은 아니다. 근본적인 대책으로서는 재점호현상이 발생하지 않는 성능이 우수한 개폐기를 설치해야 된다.

콘덴서用 개폐기로서는 차단속도가 높고 소호력이 강력하고 접촉자의 재질이 양호한 것이 사용된다. 구체적으로는 고압용으로서는 진공차단기, 진공전자접촉기, 진공부하개폐기, 가스 개폐기 등이 저압용으로서는 배선용 차단기, 콘덴서用 전자접촉기가 사용된다.

### (7) 콘덴서의 高調波 擴大現象

교류 송배전계통은 60Hz의 상용 주파로 운용되고 있으며 그 파형은 기본적으로 정현파인데 실제로는 전압파형, 전류파형 모두가 정확한 정현파로 되어 있지는 않다. 이와 같은 파형을 비틀림波라고 한다. 비틀림波는 기본파와 기본파의 整數倍의 주파수 성분으로 분해되며 기본파의 정수배의 주파수 성분을 고조파라고 한다. 고조파는

- 변압기 등 철심을 가지고 있는 기기의 자기포화
- 아크爐, 아크 용접기 등의 방전기기
- 사이리스터, 트랜지스터인버터 등의 전자제어기기
- OA, FA기기 및 HA기기

등이 주요 발생원으로 되어 있다. 최근에는 전자제어기기, OA, FA 기기의 광범한 보급에 의하여 고조파 성분의 함유량이 점차로 증대되고 있으며 여러 가지의 장해가 발생하고 있다.

**그림 4**에서 제n차 고조파 성분을 포함한 전원에 콘덴서를 투입한 경우에는 콘덴서에는 제n차 고조파전류 $\dot{I}_n$가 유입된다.

$$\dot{I}_n = \frac{\dot{V}_{sn}}{\dot{Z}_{sn} + \dot{Z}_{cn}}$$

$\dot{V}_{sn}$ : 제 2 차 고조파 전압

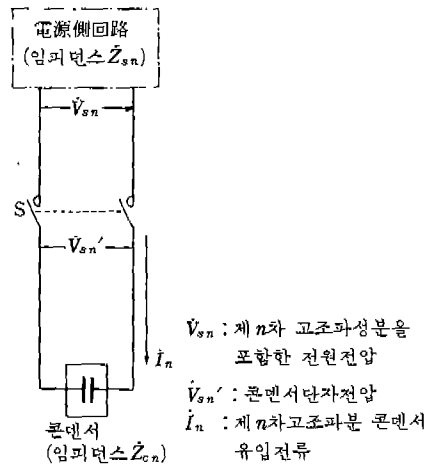
$\dot{Z}_{sn}$ : 전원회로의 제n차 고조파에 대한 임피던스

$\dot{Z}_{cn}$ : 콘덴서의 임피던스

콘덴서의 설치점에서 본 전원측계통의 임피던스 $\dot{Z}_{sn}$가 유도성인 경우에는 콘덴서가 용량성 리액턴스(임피던스)이기 때문에 공진에 가까운 상태가 되며 위의 식과 같이 $\dot{I}_n$가 큰 값이 되며 그 결과 콘덴서 단자전압 $\dot{V}_{sn}$는

$$\dot{V}_{sn} = \dot{I}_n \cdot \dot{Z}_{cn}$$

으로 표시되는 바와 같이 큰 고조파 전압을 발생하




〈그림 - 4〉

게 되며 이 때문에 파형이 더욱 비틀리게 된다. 콘덴서의 어떤 용량 리액턴스에 대해서는 전원계통측 임피던스와의 공진이 발생하여 고조파 전압, 전류가 매우 커지는 수가 있다.

이와 같이 콘덴서는 그 용량성 리액턴스에 기인하여 파형 비틀림을 확대하는 작용을 한다. 콘덴서는 기본파 및 고조파에 대해서는 마이너스의 리액턴스이므로 항상 전원측 또는 부하측의 유도성 리액턴스와의 사이에 공진을 성립시키는 위험성이 있으므로 충분히 주의해야 된다. 또한 콘덴서에 유입되는 전류를 $I_c$[A]라 하면

$$I_c = \omega CV = 2\pi f CV \text{[A]}$$

C : 콘덴서靜電容量[F]

$f$ : 주파수[Hz]

V : 인가전압[V]

의 식으로 표시되며 C, $f$, V의 크기에 비례하여 커진다. 따라서 전원에 고조파분이 포함되면 콘덴서에 유입되는 전류는 기본파 성분에 고조파 성분이 중첩되어 콘덴서로서는 과대전류의 유입(과부하 상태)이 되어 과열, 경우에 따라서는 소손 등 콘덴서 자체가 악영향을 받는 수가 있다. 따라서 콘덴서는 다소의 고조파 전류의 유입을 허용하도록 KS 규격에서 「저압, 고압 콘덴서에서는 정격전류의 130% 이하의 전류에서 연속적으로 사용해도 지장이 없을 것」이라고 규정되어 있다(KSC 4801, 4802)

### (8) 高調波 擴大現象의 輕減策

고조파(波形 비틀림)의 확대는 콘덴서가 그 용량성 리액턴스라는 데 기인하여 발생하는 것이다. 이 현상을 경감 또는 방지하기 위해서는 콘덴서 회로가 각 고조파에 대하여 유도성 임피던스이면 되므로 이에 의하여 회로 자체의 전압파형도 좋아진다.

실회로에 발생이 예상되는 고조파의 차수는 제3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23… 등의 奇數次의 것으로 되어 있다. 현재의 3상 교류 배전방식에서는 극히 특수한 케이스를 제외하고는 고조파 성분의 대부분이 제5고조파이며 이에 대하여 대책을 강구하면 된다. 이를 위해 콘덴서 회로에는 콘덴서회로가 제5고조파에 대하여 유도성이 되는 크기의 인덕턴스의 직렬 리액터가 접속된다.

제5고조파에 대하여 동조하는 직렬 리액터의 인덕턴스를 L, 콘덴서의 캐퍼시턴스를 C라 하면 다음과 같은 식이 성립된다.

$$5\omega L = \frac{1}{5\omega C}$$

$$\omega L = \frac{1}{5^2} \times \frac{1}{\omega C} = 0.04 \times \frac{1}{\omega C}$$

$$\therefore \quad X_L = 0.04 X_c$$

$X_c$ : 콘덴서의 기본파에서의 리액턴스

$X_L$ : 직렬 리액터의 리액턴스

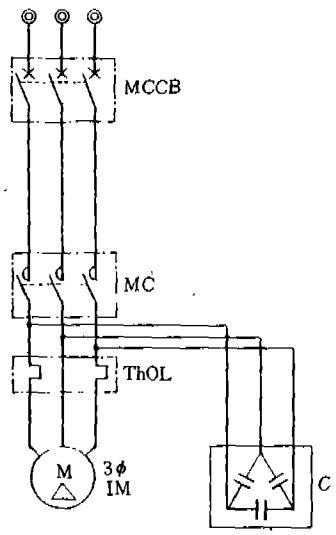
즉 직렬 리액터의 인덕턴스를 콘덴서 캐퍼시턴스의 4%로 하면 되고 이것이 波形 개선을 주목적으로 하는 교류 필터의 기본원리이다. 실제로는 경제성, 주파수의 변동 등을 고려하여 직렬 리액터의 인덕턴스(용량)는 콘덴서캐퍼시턴스(용량)의 6%로 설정되어 있다. 제5고조파로서 6%의 직렬 리액터가 들어 있으면 제7고조파 이상의 것에 대해서도 당연히 유도성이 되므로 문제가 없다.

이상이 직렬 리액터의 용량을 6%로 하는 근거이다.

지금까지의 해설에서 이해가 되었겠지만 6% 용량의 직렬 리액터를 설치하는 것으로

- 고조파 확대현상의 방지
- 돌입전류의 경감(억제)
- 재점호 발생시의 이상전류의 경감(억제)등 일석이조의 효과를 얻을 수 있으므로 전압, 고압을 불문하고 적용을 기하도록 한다.

### (9) 誘導電動機의 自己勵磁現象과 그 防止對策




〈그림-5〉

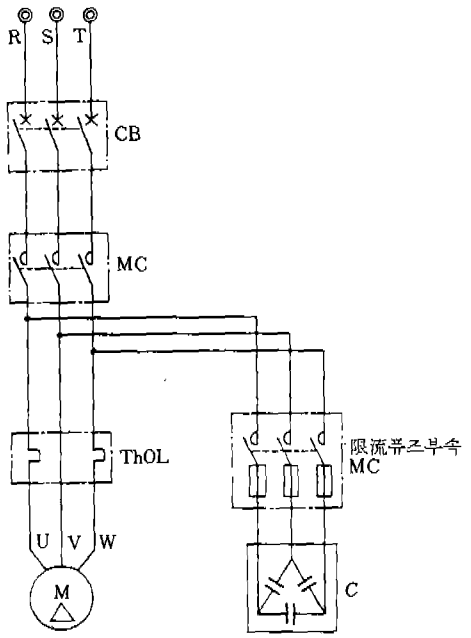
유도전동기 회로의 역률개선을 목적으로 하여 콘덴서를 설치하는 경우가 많은데 유도전동기에서 소비하는 무효전력은 별로 변동하지 않기 때문에 **그림5**와 같이 전동기에 콘덴서를 직결하는 수가 많다. 이와 같은 경우 개폐기, MC를 개방한 후에도 MC의 부하측의 전압이 즉시 제로가 되지는 않으며 이상 상승되거나 장시간 감쇠되지 않는 수가 있다. 이것을 자기여자현상이라고 하며 전동기가 전원에서 개방된 후에도 회전을 계속할 경우에 지금까지 전원에서 공급되고 있던 여자전류는 전원개방 후에는 콘덴서에서 공급되게 되며 전동기가 유도발전기로서 작용하는데 기인하는 것이다. 이에 의하여 전동기와 콘덴서 쌍방의 절연성능에 악영향을 미치게 된다. 이 현상은 콘덴서의 용량이 전동기의 여자용량보다도 큰 경우에 현저하며 전동기가 정격출력 운전으로 회로의 역률이 100%로 되는 용량의 콘덴서를 접속한 경우 전압은 140% 정도까지 상승한다. 이 현상을 방지하기 위해서는

- 콘덴서의 용량을 전동기의 여자용량보다 극히 적은 것으로 한다. 통상은 〔HP〕로 표시한 전동기 출력의 1/2~1/3로 함으로써 대폭적으로 경감된다.

**그림6**과 같이 콘덴서에 전용의 개폐기를 설치하고 전동기용 개폐기의 개폐에 링크하여 개폐시킨다

- 전동기를 전원에서 개방시킨 후에는 신속히 정지시킨다.

등의 대책을 강구해야 된다.

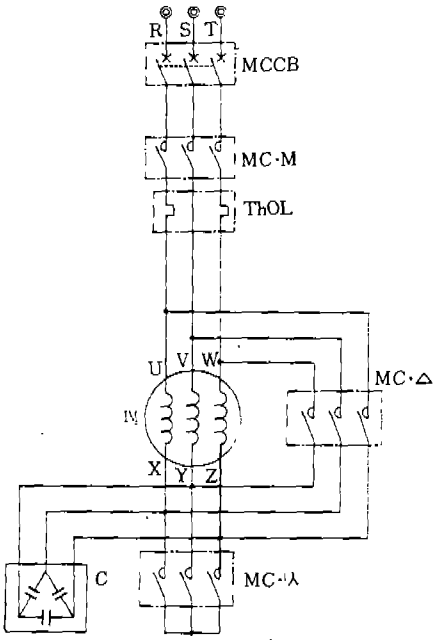



〈그림- 6〉

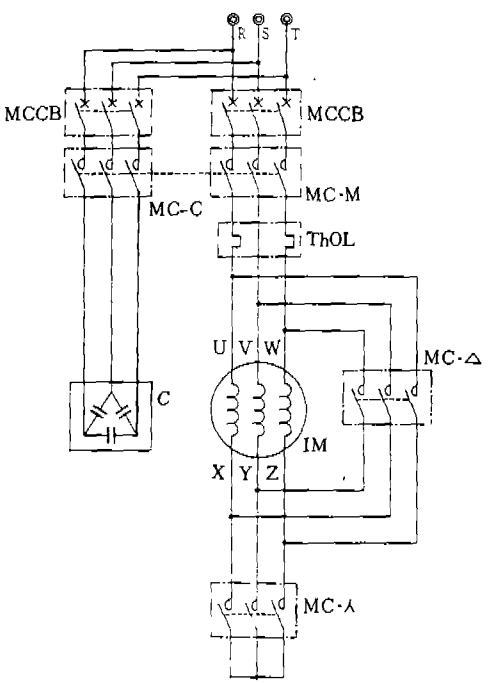
다음에 자기여자현상과는 다소 의미가 다른데 역시 전동기 회로에 콘덴서를 접속하는 경우에 이상전압, 전류가 발생할 위험성이 예상되는 예에 대하여 설명하기로 한다.

**그림7**은 유도전동기의 스타 델터 시동회로에 콘덴서를 설치한 것이다. 유도전동기의 스타 델터 시동이란 그림 7에서 먼저 MC·M, MC·ㅅ가 동시에 투입되어 전동기가 시동하여 충분히 가속된 시점에서 MC·ㅅ가 개방되고 MC·△가 투입되어 운전에 들어간다. 그런데 그림 7에서는 이들 개폐기의 동작 시퀀스의 과정(가령 MC·ㅅ에서 MC·△로 전환하는 경우 등)에서 전동기 권선과 콘덴서가 직렬접속이 되는 수가 있다. 이 때 직렬공진현상을 야기시키는 경우가 있으며 그때 큰 전류가 유입되어 이상전압이 발생한다. 또한 그림 7에서 MCCB, MC·M을 투입상태대로 하는 구성인 경우에도 마찬가지의 위험성이 있다.

이 현상은 계속시간이 단시간이라도 반복되면 이윽고 콘덴서의 파손, 전동기권선의 소손 등이 발생한다. 이 현상을 방지하기 위해서는 **그림 8**과 같은 회로구성으로 하여 MC·M와 MC·C가 링고되어 개폐되도록 해야된다. 이같은 사례는 특히 저압 유도전동기의 회로에서 많이 발생하고 있으며 전동기




〈그림- 7〉 3相 籠形誘導電動機의 ㅅ－△始動回路에서의 力率改善用콘덴서의 不良한 設置例




〈그림- 8〉

의 소손, 콘덴서의 파손을 초래하고 있다. 콘덴서는 마이너스의 리액턴스와는 항상 공질이라는 현상

을 고려해야 된다. 콘덴서의 설치에 있어서는 저압이라고 해도 안이하게는 실시할 수 없다는 것을 이 사례는 말해주고 있다.

### (10) 페란치現象에 의한 電圧上昇

콘덴서가 접속된 회로에 전압을 인가하면 전원전압보다 90°위상이 앞선 전류가 흐른다. 일반 부하의 역률은 뒤진 역률이며 흐르는 전류는 전원전압보다 위상이 뒤지게 된다. 이 뒤진 전류에 의하여 회로의 저항 및 유도 리액턴스에 의하여 전압 강하가 발생하여 그 결과 부하단의 전압은 전원전압보다도 저하된다.

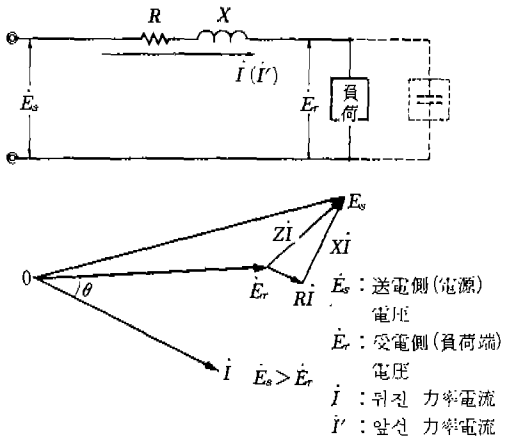
한편 콘덴서에 의한 앞선 전류가 부하전류를 상회하여 회로 전체의 전류가 앞서게 되면 콘덴서 설치점의 전압(부하단전압)이 전원전압보다도 커진다. 이것을 페란치現象(페란치 효과)이라고 한다. 이 관계를 그림9에 들었다. 이 현상이 현저해지는 것은 무부하상태의 회로에 콘덴서만이 접속되어 있는 경우로서 전압 상승이 특히 커진다. 이 때문에 회로에 접속되어 있다.

- 백열전구, 전열기 등의 断芯, 수명단축
- 형광등, 수은등 등의 과열, 소손, 수명단축
- 전자제어기기의 손상

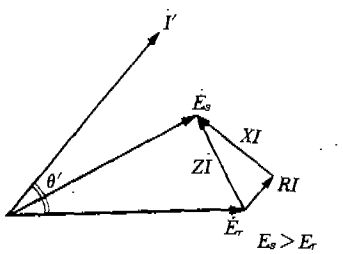
등 권선을 가지고 있는 기기의 대부분이 악영향(과여자에 의한)을 받게 된다.

페란치 현상에 의한 과전압은 자기여자현상에 의한 과전압에 비하여 과전압의 레벨은 작은데 계속시간이 긴만큼 문제가 많다. 특히 배전선의 말단에 큰 용량의 것이 설치되어 있을 경우에는 전압조정기의 整調効果도 미치지 못하는 수가 있다. 이같은 악영향을 방지하기 위해서는

- 과전압계전기 등에 의하여 이상전압을 검출하는 방법




(a) 뒤진電流인 경우의 벡터圖




(b) 앞선電流인 경우의 벡터圖

〈그림 - 9〉 페란치効果의 설명도

- 무효전력계전기, 역률계전기 등에 의하여 앞선 무효전력(역률)을 검출하는 방법

등에 의하여 경부하시의 전력용콘덴서의 개방을 한다는 근본적인 대책의 강구가 필요하다.

이상 콘덴서 고유의 이상현상과 그 대책에 대해서 설명했다. 콘덴서를 설치할 경우에는 단지 안이하게 생각해서는 안되며 이상 해설한 바와 같은 현상을 수반하는 수가 있다는 것을 알고 설치해야 된다. 그럼으로써 만일 이상이 생겼을 때의 대응에도 신속히 또한 확실하게 대처할 수가 있을 것이다.

*