

문 1-4) 피뢰기(Lightning Arrester)가 가져야 할 특성을 설명하시오.

해설)

## I. 개요

1. 피뢰기란 뇌 또는 개폐서지 등의 이상전압으로부터 기기를 보호하는 장치

2. 피뢰기 기능(동작책무)

(1) 이상전압 침입 시 신속방전, 보호레벨 이하로 억제(기기절연보호)

(2) 이상전압 처리 후 원상태로 자동회복(속류차단기능)

## II. 피뢰기가 가져야 할 특성

1. 충격방전 개시전압이 낮을 것

2. 상용주파 방전 개시전압이 높을 것(충격비가 작을 것)

3. 방전내량이 크고 제한전압이 낮을 것

4. 이상전압 내습 시 신속방전 할 것

5. 속류차단 능력이 충분할 것 (방전후 절연회복 능력이 우수할 것)

6. 내구성이 좋고 경제적인 것

(경년 변화가 없고 반복동작에도 특성이 변하지 않을 것.)

문 1-5) 한국전력의 전력품질 3대 지표에 대해서 설명하시오.

(1) 전압 (2) 주파수 (3) 정전시간

해설)

## I. 개요

전기품질 은 정전시간, 전압 변동율, 주파수 변동율 및 고조파로 인한 파형의 왜형을 등으로 결정된다.

## II. 전력품질의 3대지표

### 1. 전압

- (1) 전압이 정격전압보다 저하되면 유효전력 손실이 증가하고 송전용량이 감소된다
- (2) 전압이 정격전압 이상으로 상승하면 전기기기의 절연이 열화되고, 변압기나 분로 리액터 등 철심을 사용한 기기의 자기포화로 인해서 고조파가 발생한다.
- (3) 전기사업법 시행규칙에 표준전압과 허용오차는 다음과 같이 규정되어 있다

표준전압 허용오차

110V 110V 상하로 6V 이내

220V 220V 상하로 13V 이내

380V 380V 상하로 38V 이내

### 2. 주파수

- (1) 주파수가 변동하면 대부분 전동기의 회전속도가 변동해서 공장 등에서 제품의 품질을 유지할 수 없게 되고, 교류를 정류해서 사용하는 전자기기 등에서는 전류(轉流)실패의 원인이 되기도 한다
- (2) 전기사업법 시행규칙에 표준 주파수는 60Hz 로 하고, 허용오차는  $60 \pm 0.2\text{Hz}$  로 하도록 규정되어 있다

### 3. 정전시간

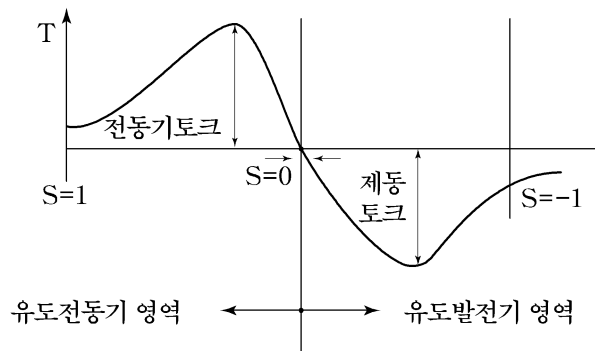
- (1) 전기품질 은 정전시간, 전압 변동율, 주파수 변동율 및 고조파로 인한 파형의 왜형을 등으로 결정되는데 이중에서도 정전이 최악의 상황이다.
- (2) 정전에 대한 품질은 정전 빈도와 정전 지속시간으로 평가되는데, 이를 위한 방법으로 평균정전 빈도지수, 평균정전 지속시간지수 등이 사용된다.

문 1-7) 승강기의 효율향상에 사용되는 회생제동장치의 원리와 설치 제한사항에 대하여 설명하시오.

해설)

### I. 회생제동의 원리

1. 승강기의 하강시나 전동차가 언덕길을 내려 올 때 전동기가 부하에 의해 가속되어 회전하는 경우 발생한 전력을 전원으로 반환하면서 제동하는 방식으로 기계적 제동에 비해 마모, 발열이 없고 전력을 회수할 수 있어 가장 손실이 적고 효율 높은 경제적인 방법임
2. 동기속도 이상의 속도로 회전하면 반대로 도체가 자속을 끊게 되므로 유도 발전기로 동작, 속도 - 토크 특성이 그림과 같이 변화하여 마이너스 토크가 생겨 동기속도에 근접하는 방향으로 제동을 일으킴



3. 적용 : 권상기, 기중기, 승강기, 전동차 등

### II. 설치제한사항

1. 회생제동은 동기속도 이상의 회전속도에서 가능하기 때문에 속도가 낮을 때는 적용할 수 없다. 그러나 인버터를 사용해서 전원 주파수보다 낮은 주파수의 전압을 전동기에 인가하면 회전속도가 저속인 경우에도 회생제동이 가능하다.
2. 회생제동으로 발전된 전력을 전원으로 반송할 수 없거나, 주위의 다른 부하에서 사용할 수 없는 경우에는 회생제동을 할 수가 없으므로 그 전력을 저항에서 소비하는 발전제동을 해야 한다.

문 1-8) 초전도 케이블에 사용되는 1종 초전도체와 2종 초전도체의 특징을 비교설명하시오

## I. 개요

1. 초전도체란 어느 임계조건(자장, 온도, 전류밀도)하에서 저항이 제로가 되는 물질
2. 초전도체 현상
  - (1) 자기장보존 - 초전도 링의 영구전류에 기인
  - (2) 3가지 임계영역 내 존재 - 영역이탈시 Quench현상 발생
  - (3) Meissner's Effect - 표면의 차폐전류에 의한 반자성 특성
  - (4) Josephson's Effect - 초전도체와 두 절연 박막사이의 터널링 현상

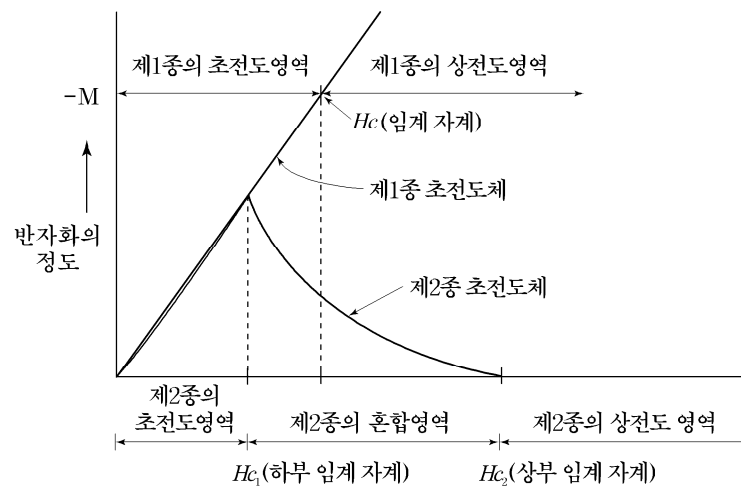
## II. 초전도체의 종류 및 특성

### 1. 제 1종 초전도체

- (1) 임계자장이 하나(임계자장 내에는 외부자장 침투불가)
- (2)  $H_C$  초과시 갑자기 Quenching
- (3) 순수(단일) 금속(낮은 임계온도) : 수은( $4.2^\circ\text{K}$ ), 납( $7.2^\circ\text{K}$ ) 등

### 2. 제 2종 초전도체

- (1) 임계자장이 둘 존재
  - ①  $H_{C1}$  초과시 서서히 Quenching
  - ②  $H_{C1}$ 보다 작은 범위  $\rightarrow$  외부자장 침투 불가(마이스너 효과 성립) : 초전도 상태 유지
  - ③  $H_{C2}$ 보다 높은 범위  $\rightarrow$  상전도로 전이(마이스너 효과 성립 不) : 상전도로 전이
  - ④ 두 임계자장 사이  $\rightarrow$  초전도와 상전도 상태 혼재, 자장 침투하나 Vortex(상전도 부분)에 의해 초전도 상태 유지(무저항이나 완전 반자성은 아님)



(2) 2종 초전도체 종류

① 저온 초전도체

금속화합물(낮은 임계온도(40K 이하), 액체헬륨 냉각)

:  $Nb-Ti$ (9.5K),  $Nb_3Sn$ (18.3K),  $MgB_2$ (39K)

② 고온 초전도체

세라믹스 화합물(높은 임계온도(35K~최근 133K), 액체질소 냉각)

:  $La-Ba-Cu-O$ (35K),  $YBa_2Cu_3O_7$ (92K),  $HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$ (133K)

## 문1-10) 루미네스스(Luminescence)개념과 종류를 설명하시오.

해설)

### 1. Luminescence의 개념

(1) 개념

- ① 온도방사 이외의 발광, 냉광이라고도 함 → 반드시 어떤 자극이 필요
- ② 발광계속시간에 따라
  - ㉠ 인광 : 자극이 제거된 후에도 일정기간 발광
  - ㉡ 형광 : 자극이 지속되는 동안에만 발광

### 2. 루미네스스의 종류

- ① 전기 루미네스스
  - ㉠ 기체, 금속증기 내의 방전에 따른 발광 현상
  - ㉡ 네온관, 수은등
- ② 전계 루미네스스
  - ㉠ 전계에 의해서 고체가 발광하는 것
  - ㉡ 발광 다이오드(LED), EL램프
- ③ 방사 루미네스스
  - ㉠ 광선, 자외선, X선 등의 방사를 받아 그 파장보다 긴 파장의 발광을 하는 현상 (Stokes'law)
  - ㉡ 기체 or 액체 → 형광, 고체 → 인광을 발산
  - ㉢ 형광등, 야광도료
- ④ 열 루미네스스
  - ㉠ 물체를 가열할 때 같은 온도의 흑체보다 대단히 강한 방사를 하는 것(산화아연 → 심한 청색 발산)
  - ㉡ Gas mantle
- ⑤ 음극선 루미네스스
  - ㉠ 음극선이 어떤 물체에 충돌할 때 발광하는 현상
  - ㉡ 오실로스코프, 브라운관
- ⑥ 초(Pyro) 루미네스스
  - ㉠ 금속증기가 발광하는 현상
  - ㉡ 염색 반응에 의한 화학분석, 스펙트럼 분석, 발염 아크 등
- ⑦ 화학 루미네스스
  - ㉠ 황, 인이 산화할 때 발광하는 것
  - ㉡ 화학반응에 의해 직접 생기는 발광
  - ㉢ 생물 루미네스스  
개똥벌레, 발광어류, 야광충(반딧불) 등의 발광
- ⑨ 기타 : 마찰, 결정, 고주파, 마이크로파, 방사선 루미네스스 등

문2-4) 표피효과는 케이블에 영향을 준다. 표피효과와 표피두께는 주파수와 재질의 특성에 의하여 어떻게 결정되는지 설명하시오.

해설)

## 2. 표피효과(Skin Effect)

(1) 정의 : 도체에 교류가 흐를때 교번자속에 의한 기전력에 의해 도체 내부의 전류밀도는 균일하지 않고 전선 바깥으로 갈수록 커지는 경향이 있는데 이를 표피효과라 하며 도체 단면적은 실효적으로 축소되는 결과를 초래함

(2) 원인

① 전류가 일정한 상태에서 전선 단면적 내의 중심부일수록 전류가 만드는 전자속과 쇄교하므로 같은 단면적을 통과하는 자력선 쇄교수가 커져 인덕턴스가 증가하여 전류의 흐름을 방해하기 때문

$$L = \frac{N\Phi}{I} \text{ 에서 } N\Phi(\text{자속쇄교수}) \text{ 가 커지면 } L \text{ 증대} \rightarrow X_L \text{ 증대} \rightarrow I \text{ 감소}$$

② 중심부일수록 위상각이 늦어지게 되어 전류가 도체외부로 몰림

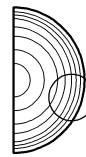
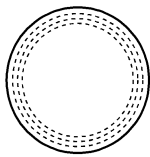
(3) 표피효과계수( $\lambda_s$ )

$$\lambda_s = F(X) = \frac{X^4}{192 + 0.8X^4}, \quad X_5 = \sqrt{\frac{8\pi f \mu_s K_{s1}}{r_o k_1 \times 10^9}}$$

여기서,  $K_{s1}$ (비분할도체 1, 4분할도체 0.44, 6분할도체 0.39)

$r_o k_1$  : 사용온도에서의 직류도체저항

$\mu_s$  : 도체 비투자율



전류밀도는 표면으로 갈수록 커짐

고주파에 의한 전류밀도 분포

(4) 표피효과의 영향

- ① 전선의 유효 단면적 감소
- ② 도체의 저항 증가
- ③ 전선의 전력손실 증가
- ④ 사용가능 주파수대역 제한

(4) 표피효과에 영향을 주는 요소

- ① 침투깊이 : 침투깊이가 작다는 것은 표피효과가 크다는 의미
- ② 주파수, 전선단면적, 도전율, 투자율이 클수록 증가하고 온도에 반비례함

(5) 개선대책

- ① 가공선 - 복도체, 지중선 - 분할도체사용
- ② 중공연선 사용

## 2. 표피두께

① 침투깊이(표피두께)  $\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} = k \frac{1}{\sqrt{f}}$  (mm)

② 이러한 경향은 주파수가 높을수록 더욱 심하여 전류는 거의 표면에 집중됨

③ 즉 표피효과가 클수록 침투깊이가 얇다.

따라서 도체의 단면적은 실효적으로 축소되는 결과를 초래함

문2-5) 접지전극의 설계에서 설계목적에 맞는 효과적인 접지를 위한 단계별 고려사항을 설명하시오.

해설)

## I. 개요

### 1. 접지의 기본

- (1) 정의 { 기기의 노출 도전부와 대지사이를 전기적으로 접속(영전위유지)  
지락전류를 안전하게 방류

(2) 기본식 :  $dV = \frac{dQ}{C} = \frac{d \int Idt}{C}$

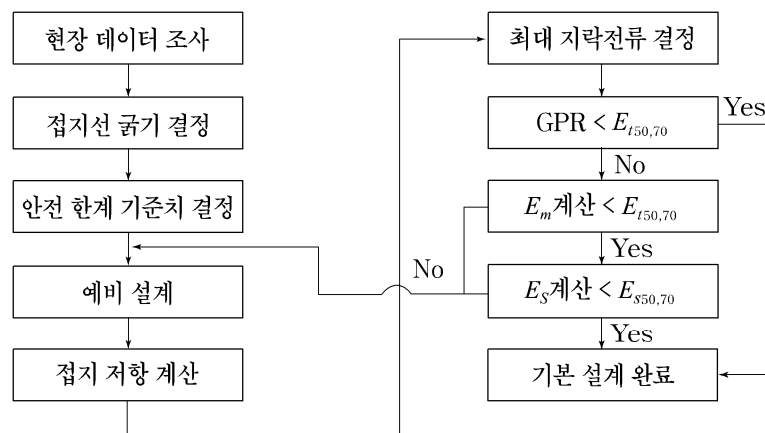
$C_{값}$  { 지구자체 : 매우 크다(약 700 $\mu$ F)  
전로와 대지간 : 매우 작다.

### 2. 접지의 분류

접지의 분류	기기접지	계통접지	피뢰접지	기능접지
용도	인체안전(감전보호)	기기절연, 계전기 동작확보	뇌보호용	전자기기 기준전위 안정화
종류	단독( $E_1, E_2, E_3, E_{s3}$ ) 통합(공통 + 메시 + 등전위 본딩)	TN, TT, IT	LPS, SPM(LPMS)	일점, 다점접지 (ERP, ZSRG)

3. 관련기준 : ANSI/IEEE std · 80-1996, 2000

## II. 접지설계순서



### III. 접지 설계시 고려사항

1. 현장 데이터 조사 : 접지면적, 대지저항률  $\rho(\Omega \cdot m)$ , 토양구조 등

2. 접지선 굵기 결정 :  $A = I_g \times \frac{1}{\sqrt{\frac{T_{cab} \times 10^{-4}}{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r} \times \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}} \text{ [mm}^2\text{]}$

$I_g$  : 고장지락전류(kA) =  $3I_0$

$T_{cab}$  : 열용량(J/m<sup>3</sup>°C)

$$K_0 = \frac{1}{\alpha_0}, \quad \alpha_0 = \frac{T_r}{1 - \alpha_r T_r} \quad \begin{cases} \alpha_0 : 0^\circ\text{C에서의 저항온도계수} \\ \alpha_r : \text{기준온도}(T_r)\text{에서의 저항온도계수} \end{cases}$$

$t_c$  : 전류통전시간

$T_a$  : 주위온도

$T_m$  : 최고허용온도

$\rho_r$  : 기준온도에서의 매설도체 저항률

※ IEC :  $A = \frac{I_g \cdot \sqrt{t}}{K} \text{ (mm}^2\text{)}$   
( $K$  : 도체상수)

### 3. 안전한계의 기준치 결정

(1) 허용접촉전압  $E_t = (1000 + 1.5 C_s \rho_s) \times \frac{k_s}{\sqrt{t_c}}$

(2) 허용보폭전압  $E_s = (1000 + 6 C_s \rho_s) \times \frac{k_s}{\sqrt{t_c}}$

$\rho_s$  : 지표면 대지 저항률(자갈층)

$C_s$  :  $k, h_s$ 에 의한 감쇠계수

$k_s$  : 인체 체중관련 계수(50kg : 0.116, 70kg : 0.157)

### 4. 예비설계

초기설계의 접지극 제원 설정(개략적으로 정함)

( $D$  : 메시포설간격,  $n$  : 전극 한 변의 메시 도체수,  $L$  : 메시전장,  $h$  : 전극깊이)

### 5. 접지저항 계산

$$R_g = \rho \left\{ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right\} (\Omega)$$

$L_T$  : 매설도체 총 길이(=  $L_c + L_r$ ),       $A$  : 매설 가능면적(m<sup>2</sup>)

## 6. 최대 지락전류 결정

$$I_G = D_f \cdot S_f \times (3I_0) \quad \begin{cases} I_G : \text{매설도선의 최대 지락전류} \\ D_f : \text{감쇄율}, S_f : \text{분류계수} \end{cases}$$

## 7. GPR과 허용접촉전압 크기 비교 판정

$$GPR = I_G \cdot R_g < E_{t50} \quad \text{이면} \rightarrow \text{기본설계완료}$$

아니면  $\rightarrow$  다음단계 진행

## 8. 메시전압, 보폭전압 계산

$$(1) \text{ 메시전압 } E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i}{L_M} \times I_G$$

$$(2) \text{ 보폭전압 } E_s = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i}{L_s} \times I_G$$

$K_m$  : 지형계수

$K_i$  : 메시도체수 관련계수

$K_s$  : 메시간격, 깊이 관련계수

$L_M, L_s$  : 매설도선 유효길이

## 9. 메시전압, 허용 접촉전압/보폭전압, 허용 보폭전압 비교

$$(1) E_m < E_{N50}, \rightarrow \text{예비설계단계부터 재설계}$$

$$\downarrow \text{Ok}$$
$$(2) E_s < E_{N60}, \rightarrow \text{예비설계단계부터 재설계}$$

$$\downarrow \text{Ok}$$
$$(3) \text{ 기본설계 완료} \rightarrow \text{상세설계 착수}$$

## IV. 시공시 고려사항

### 1. 재설계시 보조적인 접지개선

- (1) 접지저항을 낮게 제한 : 접지봉 깊게 or 추가설치
- (2) 전위경도 개선
  - ① 자갈, 아스팔트, 고무판 등으로 고저항 지면 유지
  - ② 메시간격 좁게 하여 Grid 최외측 급준 전위경도 완화
- (3) 지락전류제한 : 일부를 타회로(가공지선 등)로 분류
- (4) Grid 저항저감 : Grid 면적 확대(부지 제한시 심타공법 실시)

문3-1) 전력계통의 지락사고와 관련하여 다음 사항은 설명하시오.  
 대하여 설명하시오.

- (1) 영상전류와 영상전압을 검출하는 방법을 3선결선도를 그려 설명하시오
- (2) 영상 과전류계전기의 정정치를 결정하기 위한 방법을 설명하시오
- (3) 영상전압을 이용하여 지락사고 선로를 구분하기 위한 방법을 설명하시오

해설)

### I. 개요

비접지계통의 지락사고시 고장전류가 적어 검출이 용이하지 못하므로 대지 정전용량 이용, 보호계전기 동작에 필요한 영상전압과 영상전류를 검출하기 위해 GVT 접지방식이 채용된다.

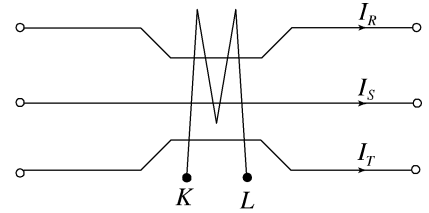
### II. 영상전류 검출방법

#### 1. ZCT에 의한 검출법

- (1) 1차도체를 관통시키고 2차권선을 40~60회 분포해서 감은 것으로 비접지계통의 배전선에 사용됨
- (2) 사고시 ZCT 1차측에 흐르는 지락전류

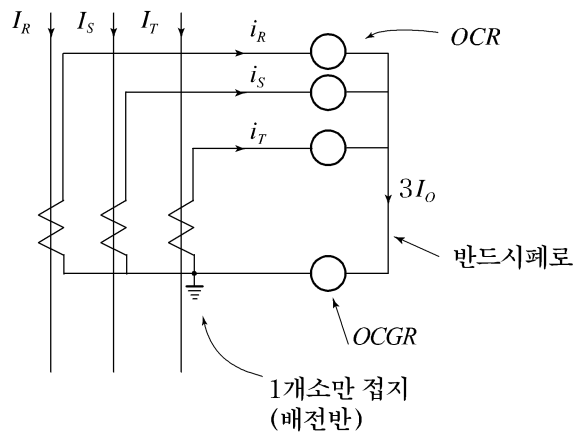
$$\dot{I}_R + \dot{I}_S + \dot{I}_T = 3\dot{I}_0$$

가 흘러 2차측에 검출됨



#### 2. Y결선의 CT 잔류회로 이용법

- (1) 3상 회로의 변류기와 부하측을 각각 Y접속하고 그 중성점을 연결한 잔류회로 이용

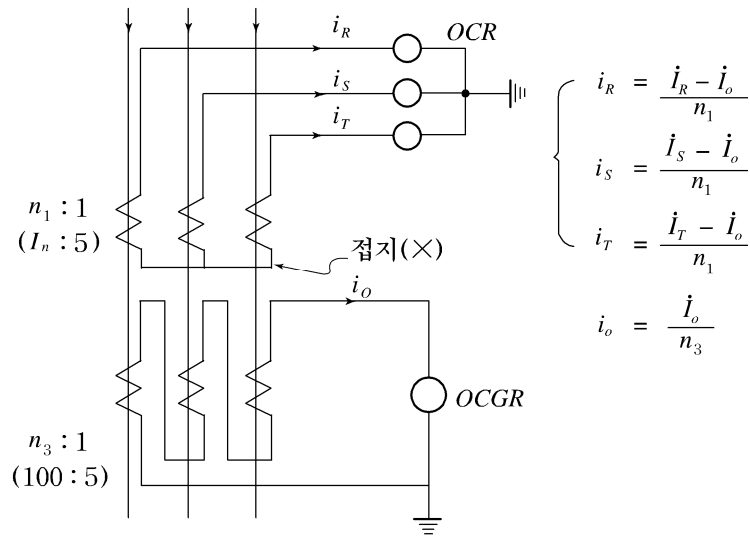


- (2) 지락사고시

$$\bar{i}_R + \bar{i}_S + \bar{i}_T = 3\bar{I}_0 + (1 + a^2 + a)\bar{I}_1 + (1 + a + a^2)\bar{I}_2 = 3\bar{I}_0$$

가 되어 지락계전기에 흐름

### 3. 3권선 CT 이용법(3차 영상분로 접속)



- (1) 2차권선에 과전류계전기 or 계기연결 → 정상, 역상분만 검출  
3차권선에서는 3상 델타결선의 일각을 열어 지락계전기 연결(영상분로접속) → 영상분만 검출
- (2) CT비가 300 : 5A인 경우 2차권선의 잔류회로에는(실제구성은 안함)

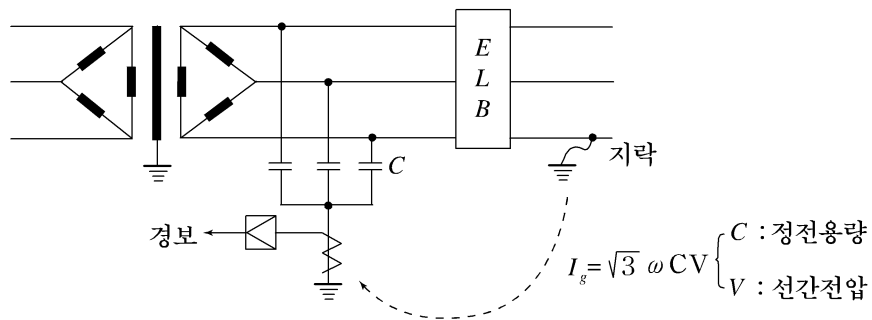
$$i_R + i_S + i_T = \frac{3\dot{I}_o}{n_1} = 3\dot{I}_o \times \frac{5}{300} = \dot{I}_o \times \frac{5}{100}$$

3차권선에는

$$i_o = \frac{\dot{I}_o}{n_3} = \dot{I}_o \times \frac{5}{100}$$

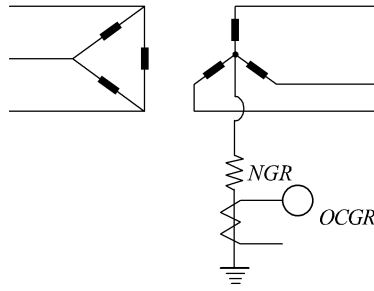
가 되어 2차의 잔류회로 구성시와 같은 영상전류가 얻어지는 효과 이용

### 4. 접지콘덴서 이용법



- (1) 지락전류가 적은 계통에 적용
- (2) ELB 감도전류 고려, 접지콘덴서 용량 선정

## 5. 중성점 CT에 의한 검출법

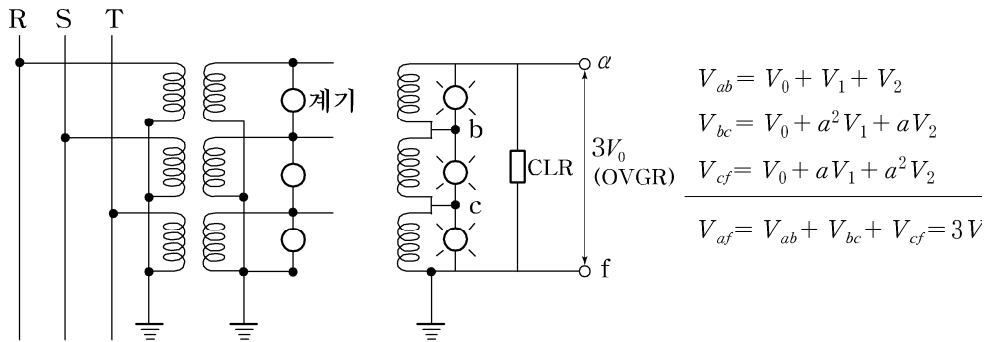


보호대상(변압기) 중성선에 CT를 설치하여 영상전류 검출

## III. 영상전압 검출방법

### 1. GVT 이용방법

(1) Y-Y-△에 의한 법



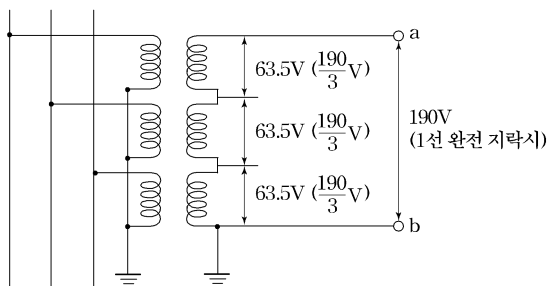
6.6kV 3상 VT 사용 예 : 6600/110/  $\frac{110}{3}$  (or  $\frac{190}{3}$ )

- ① 1차(Y결선) : 중성점 접지
- ② 2차(Y결선) : 상전압 검출 → 전압계, 단락계전기 연결
- ③ 3차(Open Delta 결선) : 영상전압 검출 → Lamp, CLR, OVGR 연결

㉠ 건전시 :  $\frac{110}{3}$  or  $\frac{190}{3}$  V

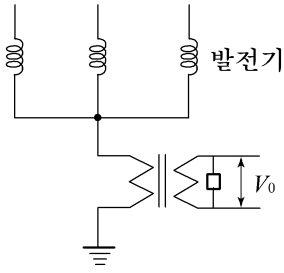
㉡ 1선지락시 : 110 or 190V(지락상 LAMP 꺼지고 건전상 LAMP 밝아짐)

(2) Y-△에 의한 법(단상 PT 3대 이용)

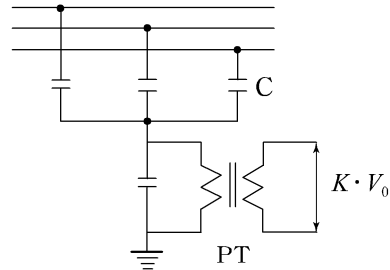
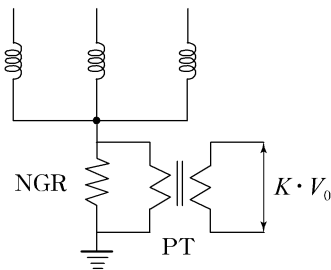


## 2. 중성점 접지장치를 이용한 방법

### (1) 중성점 접지 변압기 이용



### (2) 보조 PT이용 { ① 중성점 접지저항 + PT ② 결합콘덴서 + PT

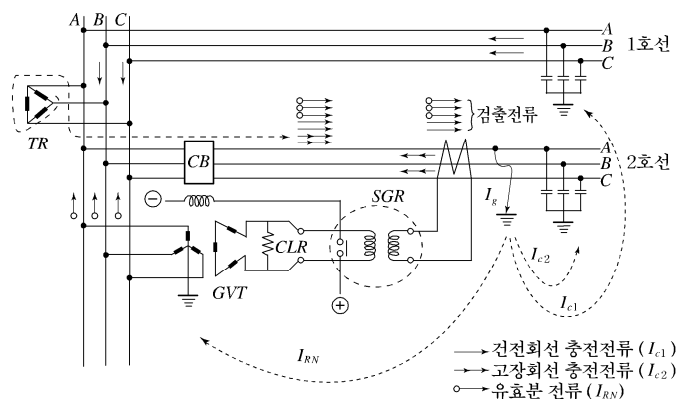


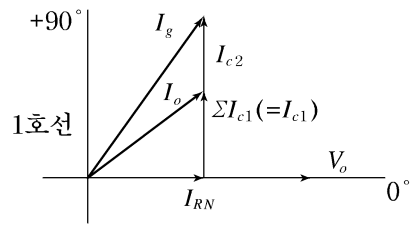
## IV. 영상과전류 계전기의 설정

- ① 한시요소는 최대 계약전력 수전시 부하전류의 30%정도에서 정정함
- ② 순시요소는 최소치에 정정함

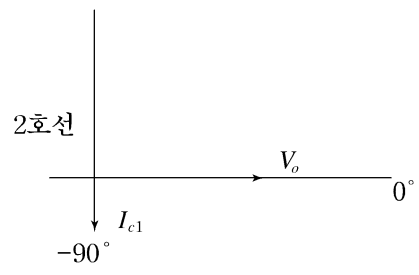
## V. 영상전압을 이용한 지락사고선로 구분방법

1. 지락고장시 SGR을 이용,GVT 2차에 발생하는 영상전압과 ZCT 2차측 영상전류의 위상관계에 의해 Torque를 발생, 고장회선을 선택차단 함
2. 영상전압과 영상전류의 유효분에 의한 동작과 무효분에 의한 동작방법이 있음
3. 지락전류의 흐름 및 판별기준





고장회선



건전회선

ZCT통과 영상전류

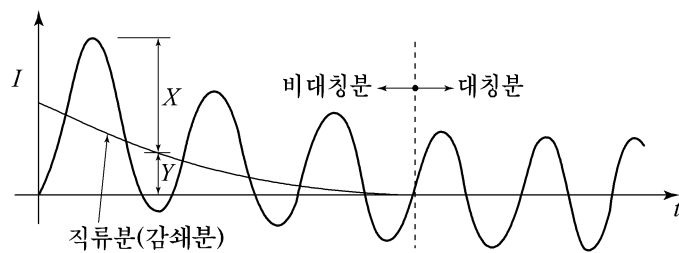
문 3-3) 수변전설비 설계에서 단락전류가 증가할때의 문제점과 억제대책을 설명하시오

해설)

I. 개요

수변전 설비 계획시 예상보다 실제 단락용량이 상회할 경우 기기교체에 따른 비용이나 공사여건 등이 여의치 않을 경우가 있어 이에 대한 단락전류의 경감대책이 필요하다.

II. 단락전류 발생형태



1. 대칭분 교류 실효치  $I_s = \frac{X}{\sqrt{2}}$
2. 비대칭분 실효치  $I_{as} = \sqrt{\left(\frac{X}{\sqrt{2}}\right)^2 + Y^2}$

III. 단락전류와 차단용량 관계식

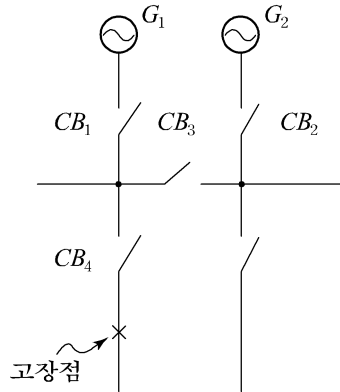
1. 단락전류 :  $I_s = \frac{100}{\%Z} \times I_n = \frac{100}{\%Z} \times \frac{P_n}{\sqrt{3}V}$
2. 차단용량  $P_s = \sqrt{3} V_n \cdot I_s$

IV. 단락전류 증대에 따른 문제점

1. 차단기의 차단용량 증대
2. 고장지점의 손상 증대
3. 직렬기기의 열적, 기계적 강도 증대
4. 통신선 유도장해 증가(지락)

## V. 단락전류 억제대책

### 1. 계통분리



(1) X점 사고시  $CB_3$  차단, 계통분리후  $CB_4$ 를 차단하는 방법  
 사고시 계통분리  $\rightarrow$  %Z 증가  $\rightarrow$  단락전류감소

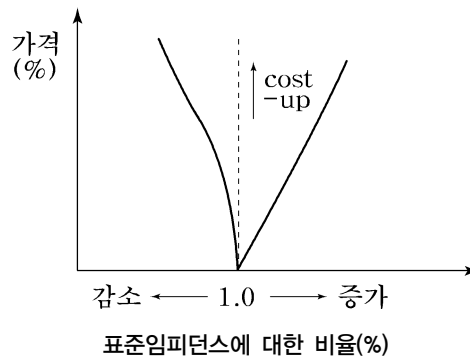
(2) 장점

- ① 설비비 저렴
- ② 모선차단기 단락용량 경감

(3) 단점

- ① 계통분리 끝날 때까지 과대전류로 직렬기기 손상우려
- ② 차단후  $CB_3$  재투입 필요, 계전기 동작협조, 인터록 복잡

### 2. 변압기 임피던스 Control



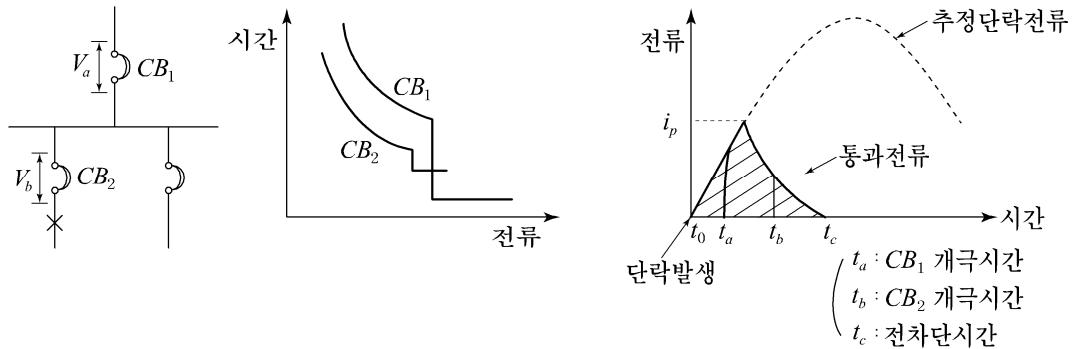
- (1) 변압기 임피던스를 증가시켜 단락전류를 억제하는 방법
- (2) 변압기 가격 고려하여 적용(비표준의 경우 가격상승)
- (3) 변압기 특별 주문제작 필요
- (4) 너무 크면 전압 변동률 커짐

### 3. 한류 리액터 설치

- (1) 차단기를 그대로 사용하면서 큰 단락용량에 대응
- (2) 설치면적, 운전손실, 전압변동 증가
- (3) 저압 분기회로에 적용
- (4) 주로 건식 불포화 리액터스나 공심형 채택

### 4. Cascade 보호방식

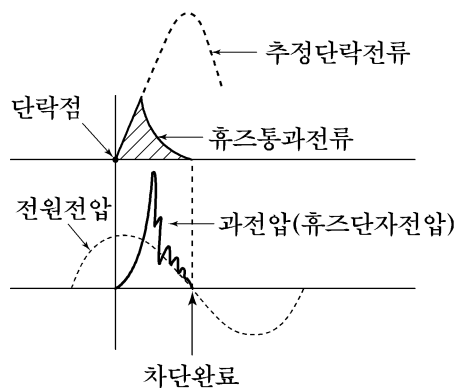
- (1) 분기회로 차단기 ( $CB_2$ ) 설치점에서 회로의 단락용량이 분기회로 차단용량을 초과 할 때 주 회로 차단기 ( $CB_1$ )에 의해 후비 보호를 행하는 방식



- (2) 기기 용량 증설시 경제적 대응
- (3) Maker가 권장하는 조합 이외는 사용삼가(종합적 실증 데이터 필요)

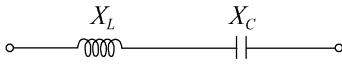
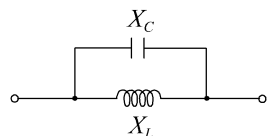
### 5. 한류 Fuse에 의한 Back-up 차단방식

- (1) 전력 퓨즈의 한류특성에 의한 고속차단으로 단락전류를 억제하는 방식
- (2) 차단기에 비해 열적, 기계적 강도 현저히 감소(1/30~1/50)  
→ 직렬기기의 경제적 설계 가능
- (3) 차단시 과전압 발생 및 재투입 불가



### 6. 계통 연계기 설치

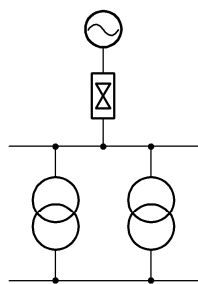
- (1) 일종의 가변 임피던스 소자로 계통에 대해 직렬 삽입
- (2) Thyristor에 의한 고속 Switching으로 회로 변환

구분	상시	사고시
구성 및 원리	 $ X_N  = X_L - X_C$ (저임피던스) 직렬공진 ( $X_L = X_C$ )으로 $X_N \approx 0$	 $ X_s  = \frac{X_L \cdot X_C}{X_L - X_C}$ (고임피던스) 병렬공진으로 $X_s \approx \infty$
주요기능	자유연계기능	한류기능

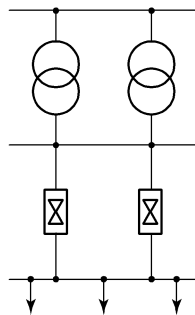
(3) 장점 : 전압변동 없고, 정전 최소화로 계통 신뢰도 향상

(4) 단점 : 고비용

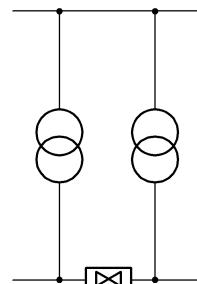
(5) 연계기 설치장소



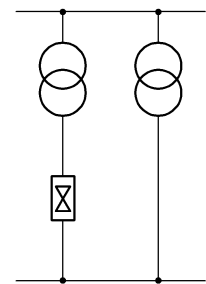
① 전력수전 연계점



② 급전 Feeder에 삽입



③ 모선간 삽입

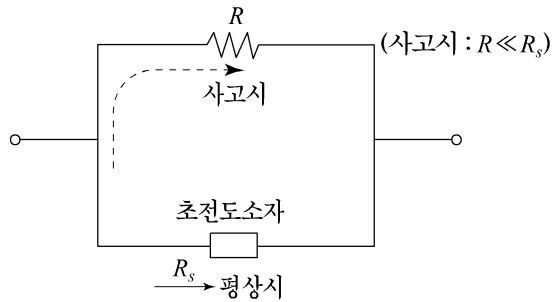


④ 변압기 2차측 삽입

### 7. 초전도 소자에 의한 한류방식

(1) 상시 :  $R_s = 0$

(2) 사고시 : 소자에 전계를 가해 상전도로 이행 →  $R$ 을 통해 by pass → 단락전류억제



### 8. 기타방법

변압기 용량 감소, 배전전압 상승 등

문 4-4) 파동방정식은 매질을 이용하며 일어나는 전자파의 특성을 해석할 수 있다. 맥스웰 방정식을 이용하여 파동방정식을 설명하시오.

해설)

### 1. 파동 방정식

1) 파동의 위치와 시간의 함수를 미분 방정식 형태로 나타낸 것

2)  $y(x,t) = A \sin(kx - \omega t)$ 로부터

• 1차원 파동 방정식  $\rightarrow \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$

• 3차원 파동 방정식  $\rightarrow \nabla^2 \phi - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = 0$  ( $\nabla$  : 벡터 미분 연산자)

### 2. 맥스웰의 전자기 파동방정식

#### 1) 미분형태의 맥스웰 방정식

(1) 전기장에 대한 가우스 법칙 :  $\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$

(2) 자기장에 대한 가우스 법칙 :  $\nabla \cdot B = 0$

(3) 전기장에 대한 페러데이 법칙 :  $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$

(4) 자기장에 대한 암페어 법칙(수정) :  $\nabla \times B = \mu_0 J + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$

#### 2) 자유공간이나 진공상태(전하분포와 전류분포가 없는 곳)에서

즉,  $\rho = 0, J = 0$ 인 경우의 맥스웰 방정식

(1)  $\nabla \cdot E = 0$  \_\_\_\_\_ (1)

(2)  $\nabla \cdot B = 0$  \_\_\_\_\_ (2)

(3)  $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$  \_\_\_\_\_ (3)

(4)  $\nabla \times B = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$  \_\_\_\_\_ (4)

#### 3) 전자기 파동 방정식

윗식의 (3)식과 (4)식으로부터

(1) 전기장  $E$ 에 대한 파동 방정식  $\nabla^2 E - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0$

(2) 자기장  $B$ 에 대한 파동 방정식  $\nabla^2 B - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 B}{\partial t^2} = 0$

파동 방정식  $\nabla^2 \phi - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = 0$ 로부터 파동의 속도  $v$ 를 구하면

$$\therefore v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$$

### 3. 결론

- 맥스웰이 암페어 법칙을 수정해서 연립 방정식을 풀어본 결과 전자기 파동 방정식이 구해짐
- 결국 전기장과 자기장이 파동의 형태로 진행되며 그것의 속도는 빛의 속도임 - 이것이 전자기파임
- 따라서 맥스웰은 빛과 전자기파가 관련이 있을것으로 생각했는데 결론적으로 빛은 전자기파의 일종임이 밝혀짐