

# 전기(산업)기사 전기기기 요점정리

## 직류발전기

### 1 직류기 구조

1. 전기자(회전자) : 자속을 끊어 기전력을 유기하는 부분
  - 철심 : 규소강판(히스테리시스손감소) 성층철심(와류손감소)
2. 탄소 브러시 : 접촉저항이 크다 전류가 작은 소형기

### 2 전기자 권선법

#### 1. 고상권, 페로권, 이층권

	중권 (병렬권)	파권 (직렬권)
병렬회로수(a)	극수(p)	2
브러시 수(b)	극수(p)	2 또는 극수(p)
용도	저전압 대전류	고전압 소전류
균압환	4극 이상	불필요

### 3 직류발전기 유기기전력

1. 회전자 주변 속도  $v = \pi D n = \pi D \frac{N}{60} [\text{m/s}]$
2. 전체 유기기전력(피준)

$$E = \frac{pZ\phi N}{60a} = K\phi N [\text{V}]$$

a : 병렬회로수 / p : 극수 /  $\phi$ [Wb]: 자속수

N[rpm] : 분당 회전수 / Z : 총도체수 K : 기계정수

#### 3. 전기각

$$\text{전기각} = \text{기계(기하)각} \times \frac{p}{2}$$

### 4 전기자 반작용

#### 2. 영향

- ① 감자 작용 : 주 자속 감소
  - 발전기 : 자속  $\phi$  감소  $\rightarrow$  기전력 E 감소  $\rightarrow$  단자전압 V 감소
- ② 편자 작용(교차자화작용) : 전기적 중성축 이동
  - 발전기 : 회전 방향
- ③ 섬락 발생 : 부하의 급변으로 정류자 편간 섬락 발생

#### 3. 감자기자력, 교차기자력

$$AT_d(\text{극당감자기자력}) = \frac{2\alpha}{\pi} \cdot \frac{I_a}{a} \cdot \frac{Z}{2} \cdot \frac{1}{p} [\text{AT/P}]$$

#### 4. 방지대책

- ① 보상권선 설치 : 전기자와 직렬로 반대방향의 전류
- ② 보극 설치

## 5 정류작용

### 1. 정류곡선

- ① 직선정류 : 이상적인 정류
- ② 정현정류 : 양호한 정류
- ③ 과정류 : 정류 초기 불꽃 발생
- ④ 부족정류 : 정류 말기 불꽃 발생

### 2. 정류대책

- ① 리액턴스 전압(양호한 정류 방해)을 작게 한다

$$e_L = L \frac{2I_c}{T_c} [\text{V}]$$

· 인덕턴스를 작게 한다

· 정류주기가 길게 한다 :  $T_c = \frac{b-\delta}{\pi D n}$

· 회전속도가 빨라지면 리액턴스 전압 커진다

· 브러시 접촉저항 크게 한다 : 탄소 브러시를 설치한다

- ② 보극설치 : 전압 정류 역할을 한다

### 3. 정류자 편간전압

$$e_a = \frac{E \cdot a}{K} [\text{V}]$$

E:유기기전력, a:병렬회로수, K:정류자편수

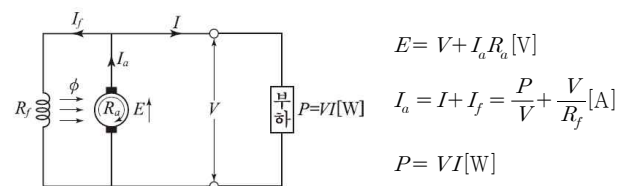
## 6 직류발전기 종류

1. 타여자 발전기 : 전압강하가 적고 계자전압은 전기자 전압과 관계없이 설계된다

- ① 발전시에 잔류자기 필요 없다
- ② 무부하 단자전압은 유기기전력과 같다 ( $V = E$ )
- ③ 회전의 방향을 반대로 할 경우 극성이 반대가 된다

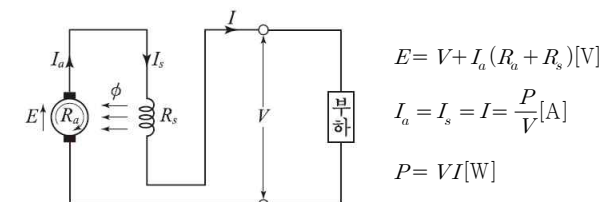
### 2. 자여자 발전기

- ① 분권 발전기



- 단자가 단락이 되면 대전류가 흘렀다가 소전류로 바뀌게 된다
- 계자권선이 단선되면 계자에 고압유기 되어 절연이 파괴된다
- 전압의 변동이 타여자 발전기보다 비하여 크다
- 자여자발전기의 특징 잔류자기 필요
- 반대로 회전시 잔류자기 소멸하여 발전 불가
- 계자저항은 임계저항보다 작을 것

- ② 직권 발전기 : 무부하시 발전이 불가능



- ③ 복권 발전기

- 복권 발전기를 분권 또는 직권발전기로 사용

- 분권 : 직권 계자를 단락
- 직권 : 분권 계자를 개방
- 차동복권 발전기 :  $\phi_f - \phi_s$
- 수하특성 (정전류 특성 : 일정한 전류 공급)
- 직류 용접기

## 7 직류발전기 특성

### 1. 직류발전기 특성곡선

구분	형축	종축
무부하 포화 특성곡선	$I_f$	$E$
부하 특성곡선	$I_f$	$V$
외부 특성곡선	$I$	$V$

### 2. 전압변동률

$$\varepsilon = \frac{\text{무부하전압} - \text{정격전압}}{\text{정격전압}} \times 100 = \frac{V_0 - V_n}{V_n} \times 100[\%]$$

## 8 직류발전기 병렬운전

### 1. 발전기의 병렬운전 조건

- ① 극성이 일치할 것
- ② 정격전압이 같을 것
- ③ 외부특성이 수하특성일 것 : 차동복권, 분권
  - 균압선을 설치할 필요가 있는 발전기 : 직권, (과, 평)복권
  - 균압선을 설치하여 안정한 운전을 할 것

### 2. 병렬운전시 부하 분담 : 용량은 임의, 전압은 같아야 한다

- ① 저항이 같을 때 : 기전력이 큰쪽이 부하를 더 많이 분담
- ② 유기기전력이 같을 때 : 전기자 저항에 반비례 하여 분담

$$E_A - I_A R_A = E_B - I_B R_B$$

## 직류전동기

### 1 직류전동기

#### 1. 전동기의 역기전력

$$E = \frac{pZ\phi N}{60a} = K\phi N[V] \quad E = V - I_a R_a [V]$$

### 2 직류전동기 토크

$$T = \frac{pZ\phi I_a}{2\pi a} [N \cdot m] = K\phi I_a [N \cdot m]$$

$$T = \frac{60E I_a}{2\pi N} = \frac{60I_a (V - I_a R_a)}{2\pi N} [N \cdot m]$$

$$T = 0.975 \times \frac{P}{N} [\text{kg} \cdot \text{m}]$$

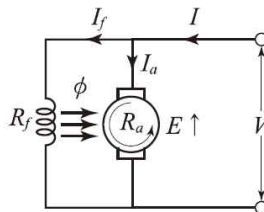
## 3 직류전동기 종류

### 1. 타여자 전동기

- ① 자속이 일정하여 정속도 특성을 가지고 있다
- ② 반대 극성을 인가시 회전방향이 반대가 된다

### 2. 자여자 전동기

- ① 분권 전동기



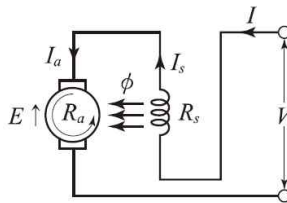
$$I_a = I - I_f \Rightarrow I_a \approx I [A]$$

$$E = V - I_a R_a [V]$$

$$P = VI [W]$$

- 정속도 특성을 가지고 있다 (타여자 전동기와 유사하다)
- 계자 권선이 단선되면 위험한 속도가 된다
- 계자 회로에 퓨즈 또는 개폐기 설치 금지
- 자여자전동기는 반대 극성 인가시 회전 방향이 바뀌지 않는다

- ② 직권 전동기



$$I_a = I_s = I [A]$$

$$E = V - I_a R_a - I_s R_s$$

$$= V - I_a (R_a + R_s) [V]$$

$$P = VI [W]$$

- 가변속도 특성을 가지고 있다
- 사용 예 : 전동차, 기중기, 크레인
- 직권 전동기를 벨트 운전을 금지하는 이유
- 무부하 운전시 위험속도가 된다

$$T = K\phi I_a (\phi \propto I_a) \Rightarrow T \propto I_a^2 \propto \frac{1}{N^2}$$

- ③ 복권 전동기

- 가동복권 발전기를 전동기 사용 시 : 차동복권 전동기

## 4 직류전동기 특성

### 1. 특성곡선 [직,가,분,차]

### 2. 속도변동률

$$\varepsilon = \frac{\text{무부하속도} - \text{정격속도}}{\text{정격속도}} \times 100 = \frac{N_0 - N_n}{N_n} \times 100[\%]$$

- 속도 변동이 심한 전동기 : 직류 직권 전동기

## 5 직류전동기 운전법

### 1. 기동법 (\*전류가 계자로 갈수 있게 한다)

- 계자전류 최대 : 계자 저항기의 저항을 0으로 한다

### 2. 속도제어법 $N = K' \frac{V - I_a R_a}{\phi}$

- ① 전압제어법 : 광범위한 속도제어, 운전효율이 좋은 방법
- 워드레오나드 제어법 : 정토크 가변속도의 용도에 적합

- 일그러 : 부하 변동이 심할 때 플라이 휠을 이용
- 직병렬제어
- ② 계자제어법 : 정출력 가변속도
  - 계자저항기의 저항을 증가하면 회전속도는 증가
- ③ 저항제어법 : 기동저항기 제어

### 3. 제동법

- ① 발전제동 : 운동력을 전기로 변환 열로 소비하는 방법
- ② 회생제동 : 운동력을 전기로 변환시켜 회생제동하는 방법
- ③ 역상제동 : 역회전하여 급제동하는 법

## 6 직류전동기 효율

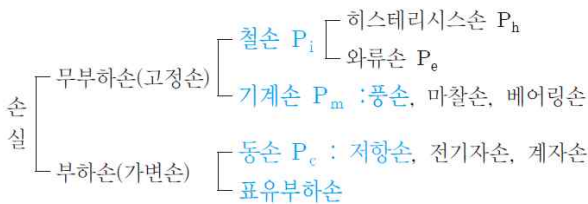
### 1. 효율

- ① 실측효율 =  $\frac{\text{출력}}{\text{입력}}$
- ② 규약효율

$$\text{발전기 효율 } \eta_G = \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{손실}}$$

$$\text{전동기 효율 } \eta_M = \frac{\text{입력} - \text{손실}}{\text{입력}}$$

### 2. 손실



- 효율이 최대가 되는 조건 : 고정손 = 가변손

### 3. 온도상승시험법 : 반환부하법 (종류 : 카프법, 브로델법, 흠킨스법)

## 동기발전기

### 1 동기기

#### 1. 동기속도

$$N_s = \frac{120f}{p} [\text{rpm}]$$

### 2 동기기 구조

#### 1. 계자와 전기자 : 회전계자형

- 계자는 철의 분포가 많아 기계적으로 튼튼함
- 계자는 직류 저전압 소전류로 절연이 용이

분류	고정자	회전자	용도
회전계자형	전기자	계자	동기발전기
유도자형	계자, 전기자	유도자	고주파발전기

종류	속도	용도	냉각	축	극수	단락비
철기계 (돌극기, 우산형)	저속기	수차 발전기	공기	짧고 굵다	많다 (6극 이상)	크다 (0.9~1.2)
동기계 (비돌극기, 원통형)	고속기	터빈 발전기	수소	길고 얇다	적다 (2~4극)	작다 (0.6~0.9)

## 3 동기기 유기전력

### 1. 유기전력

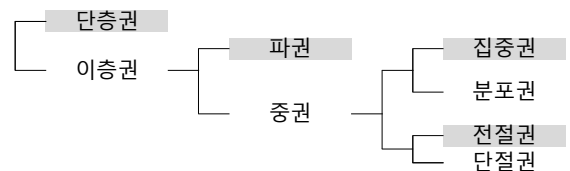
$$E = 4 \times 1.11 (\text{파형률}) f \phi \omega K_w = 4.44 f \phi \omega K_w [V]$$

$$Y \text{결선} : V = \sqrt{3} \times 4.44 f \phi \omega K_w [V]$$

### 2. 고조파 제거방법

- ① 단절권 및 분포권으로 권선한다
- ② Y결선을 채택한다
- ③ 매극 매상의 슬롯수를 크게 한다
- ④ 공극의 길이를 크게 한다

## 4 전기자 권선법



### 1. 단절권 : 코일 간격을 극간격보다 짧게 하는 권선법 이다

- ① 특징
  - 고조파를 제거하여 기전력의 파형을 개선한다
  - 철량, 동량이 절약된다
  - 전절권에 비해 기전력이 감소한다
- ② 단절권 계수 (단절권 : short pitch winding)

$$K_p = \frac{\text{단절권 합성기전력}}{\text{전절권 합성기전력}} = \sin \frac{\beta\pi}{2}$$

$$\beta = \frac{\beta\pi}{\pi} = \frac{\text{코일간격}}{\text{극간격}}$$

### 2. 분포권 : 매극 매상의 도체를 2개 이상의 슬롯에 분포시키는 권선법

- ① 특징
  - 고조파를 감소시켜 기전력의 파형을 개선한다
  - 누설 리액턴스가 감소한다
  - 집중권에 비해 기전력이 감소한다
- ② 분포권 계수 (분포권 : distributed winding)

$$K_d = \frac{\text{분포권 합성기전력}}{\text{집중권 합성기전력}} = \frac{\sin \frac{\pi}{2m}}{q \sin \frac{\pi}{2mq}}$$

## 5 전기자반작용

1. 교차자화작용 :  $I_a$ 와  $E$ 가 동상일 때 (횡축반작용)
2. 감자작용 :  $I_a$ 가  $E$ 보다  $90^\circ$  뒤질 때 (직축반작용)

3. 증자작용(자화작용) :  $I_a$ 가  $E$ 보다  $90^\circ$  앞설 때 (직축반작용)

기기 종류	R (동상)	L (지상)	C (진상)
동기 발전기	교차 자화작용	감자작용	증자작용
동기 전동기	교차 자화작용	증자작용	감자작용

## 6 동기 임피던스

### 1. 동기임피던스

$$Z_s = R_a + jX_s \quad (R_a: \text{전기자 저항}, X_s: \text{동기리액턴스})$$

$$Z_s = X_s = X_l + X_a \quad (X_l: \text{누설리액턴스}, X_a: \text{반작용리액턴스})$$

$$Z_s = \frac{E}{I_s} = \frac{V}{\sqrt{3}I_s} [\Omega]$$

### 2. 단락전류 : 큰 전류에서 점차 작은 전류로 바뀐다 돌발 단락전류 (누설 리액턴스에 의해 제한)

## 7 동기발전기 출력

### 1. 비돌극기 출력( $\delta = 90^\circ$ 에서 최대 출력)

#### ① 단상 출력

$$P_{1\phi} = V \times \frac{E}{x_s} \sin\delta = \frac{EV}{x_s} \sin\delta [W]$$

$E$ :유기기전력  $V$ :단자전압  $x_s$ :동기 리액턴스  $\delta$ :부하각

### 2. 돌극기 출력( $\delta = 60^\circ$ 에서 최대 출력)

$$x_d (\text{직축반작용 리액턴스}) > x_q (\text{횡축반작용리액턴스})$$

## 8 발전기 특성

### 2. 특성곡선

#### ① 무부하 포화곡선

- 포화율 : 공극선과 비교하여 무부하 포화곡선의 포화정도

$$\text{포화율 } \delta = \frac{YZ}{XY}$$

#### ② 3상 단락곡선이 직선이 되는 이유 : 전기자 반작용의 감자작용이 발생하고 단락전류는 직선으로 상승한다

### 3. 단락비

#### ① 단락비

$$K_s = \frac{I_f''}{I_f'} = \frac{I_s}{I_n}$$

#### ② 단락비와 %동기임피던스의 관계

$$K_s = \frac{1}{\%Z_s [\text{p.u.}]} = \frac{100}{\%Z_s [\%]} = \frac{V^2}{PZ_s} = \frac{I_s}{I_n}$$

### 4. %동기 임피던스

$$\%Z_s = \frac{I_n Z_s}{E} \times 100 = \frac{I_n}{I_s} \times 100 = \frac{P_{[kVA]} Z_s}{10 V_{[kV]}^2}$$

### 5. 단락비 큰 기계(철기계) 특징

장점	단점
안정도가 높다 동기임피던스가 작다 전압강하가 작다 전압변동률이 작다 발전기 출력이 커진다 전기자자속이 줄고 반작용이 줄어든다	단락전류가 크다 철손이 커서 효율이 나쁘다 발전기 구조가 크다

## 9 동기발전기 병렬운전

### 1. 기전력의 크기가 같을 것

- 원인 : 여자전류가 다를 때 기전력의 크기가 달라진다
- 영향 : 무효순환전류(횡류) 발생

### 2. 기전력의 위상이 같을 것

- 원인 : 원동기 출력의 변화로 기전력 위상 변화한다
- 영향 : 동기화 전류(유효순환전류)로 동기화력이 발생

### 3. 기전력의 주파수가 같을 것 : 제동권선 설치(난조 방지대책)

### 4. 기전력의 파형이 같을 것 : 고조파 전류가 과열의 원인

### 5. 상회전 방향이 같을 것 : 동기검정기로 상회전 일치 확인

## 동기전동기

### 1 동기전동기 특징

#### 1. 동기속도

$$N_s = \frac{120f}{p}$$

#### 2. 토크

$$T = 0.975 \frac{P_o}{N_s} [\text{kg} \cdot \text{m}] \quad T \propto V$$

#### 3. 동기와트 : 동기속도에서 출력, 곧 토크와 같은 개념

#### 4. 동기전동기 특성

장점	단점
역률을 조정할 수 있다	속도조정이 곤란하다 기동장치가 필요하다 직류 여자장치가 필요하다 난조발생이 빈번하다

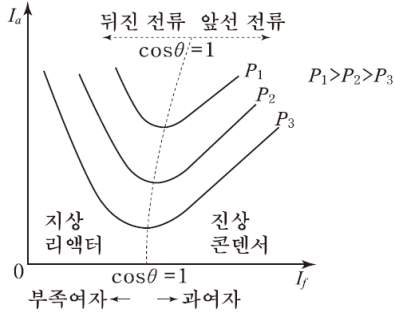
#### 5. 동기전동기 기동법

##### ① 자기동법 : 동기전동기는 기동토크가 0

- 회전자 자극면에 제동권선을 설치한다
- 계자 권선을 단락 : 개방시 고압이 유기되는 것을 방지

##### ② 전동기 기동법 : 2극 작은 유도전동기 기동(계산문제)

## 2 위상특성곡선



1. 위상특성곡선(V곡선) : 단자 전압과 출력은 일정
  - ① 여자전류가 증가 : 역률은 앞서고, 전기자전류 증가
  - ② 여자전류가 감소 : 역률은 뒤지고, 전기자전류 증가
  - ③ 전기자전류가 최소 : 역률이 1로 운전
  - ④ 출력이 증가 : 곡선이 상향
  - ⑤ 계자전류 변화 : 역률, 부하각, 전기자전류
2. 동기조상기
  - ① 부족여자 : 리액터
  - ② 과여자 : 콘덴서

## 3 난조 및 안정도

1. 동기기 난조 방지책
  - 제동권선 (회전자 자극면에 설치)
  - 관성모멘트 증가 (플라이휠 효과 증가)
  - 조속기의 민감도를 낮춤
  - 고조파 제거 (단절권, 분포권 설치)
2. 안정도 향상 방법
  - ① 단락비를 크게
  - ② 정상 리액턴스를 작게, 영상 및 역상 임피던스를 크게
  - ③ 관성모멘트를 크게(난조 대책)
  - ④ 조속기를 신속하게 동작
  - ⑤ 속응 여자 방식을 사용

# 변압기

## 2 변압기 구조

1. 철심 : 규소강판 (si:4%) 성층철심 (0.35~0.5mm)
  - 투자율이 크고 히스테리시스손 계수가 작을 것
3. 절연유 : 절연작용, 냉각작용
  - ① 절연내력이 클 것
  - ② 비열이 커서 냉각효과가 크고, 점도가 작을 것
  - ③ 인화점이 높고, 응고점은 낮을 것
5. 냉각방식

표시기호	냉각방식	표시기호	냉각방식
AN	건식자냉식	ONAN	유입자냉식
AF	건식풍냉식	OFAF	송유풍냉식

## 3 절연유 열화 작용

1. 변압기 열화 원인 : 수분이나 불순물이 침투하여 발생
2. 변압기 열화 영향 : 절연 내력 감소, 침식작용, 냉각작용 감소
3. 변압기 열화 방지책
  - ① 밀폐식
  - ② 브리더 설치 (흡습제 봉입)
  - ③ 콘서베이터 설치 (질소봉입)

## 4 변압기 유기기전력과 여자전류

### 1. 유기기전력

$$E = 4.44f\phi_m N = 4.44fBAN$$

### 2. 권수비

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} = \sqrt{\frac{X_1}{X_2}}$$

### 3. 변압기 여자전류

- ① 여자전류 : 파형은 3고조파가 섞인 왜형파
- ② 철손전류 ( $I_i$ ) : 철손을 발생시키는 성분의 전류

$$I_i = \frac{P_i}{V_1} [A]$$

- ③ 자화전류 ( $I_\phi$ ) : 자속만을 발생시키는 성분의 전류

$$I_\phi = \sqrt{I_0^2 - I_i^2} = \sqrt{I_0^2 - \left(\frac{P_i}{V_1}\right)^2} [A]$$

### 4. 변압기 누설 리액턴스

$$L \propto N^2$$

## 5 변압기 등가회로

### 1. 등가회로 작도전 시험

- ① 무부하시험 : 철손, 여자전류, 여자 어드미턴스
- ② 단락시험 : 동손, 임피던스, 임피던스 전압, 임피던스 와트
- ③ 권선저항 측정시험

### 2. 환산한 등가회로

- ① 1차에서 2차로 환산한 등가 임피던스

$$Z_{21} = Z_1 + a^2 Z_2$$

## 6 백분율 전압강하

### 1. 백분율 전압강하

#### ① %저항 강하

$$\%R = \frac{I_{1n} R_{21}}{V_{1n}} \times 100 = \frac{I_{1n}^2 R_{21}}{V_{1n} I_{1n}} \times 100[\%] = \frac{\text{임피던스와트}[W]}{\text{정격출력}[VA]} \times 100[\%]$$

#### ② %리액턴스 강하

$$\%X = \frac{I_{1n} X_{21}}{V_{1n}} \times 100[\%]$$

#### ③ %임피던스 강하

$$\%Z = \frac{I_{1n} Z_{21}}{V_{1n}} \times 100 = \frac{PZ}{V^2} \times 100 = \frac{V_s}{V_{1n}} \times 100 = \sqrt{\%R^2 + \%X^2}$$

### 2. 단락전류

$$I_s = \frac{100}{\%Z} \times I_n$$

$$I_{1s} = \frac{V_{1s}}{Z_{21}} = \frac{V_{1s}}{Z_1 + a^2 Z_2} = \frac{V_{1s} (= E_1)}{\sqrt{(r_1 + a^2 r_2)^2 + (x_1 + a^2 x_2)^2}}$$

### 3. 임피던스전압과 임피던스와트

- ① 임피던스전압 : 임피던스와 1차 정격전류의 곱 (변압기내 전압강하)
- ② 임피던스와트(동손) : 임피던스 전압을 걸 때 발생하는 와트

### 4. 전압변동률

#### ① 전압변동률

$$\varepsilon = \frac{V_{20} - V_{2n}}{V_{2n}} \times 100 = p \cos \theta \pm q \sin \theta \begin{cases} + : \text{지상(뒤전)} \\ - : \text{진상(앞전)} \end{cases}$$

#### ② 1차 단자 전압

$$V_1 = aV_{20} = a(1 + \varepsilon)V_{2n}$$

#### ③ 전압변동률이 최대일 때

$$V_1 = aV_{20} = a(1 + \varepsilon)V_{2n} \varepsilon_m = \%Z = \sqrt{p^2 + q^2}$$

## 7 변압기 극성

감극성 : 대한민국 표준  
 $V_3 = V_1 - V_2$

가극성  
 $V_3 = V_1 + V_2$

## 8 변압기 손실과 효율

### 1. 변압기의 효율

#### ① 전부하 효율

$$\eta = \frac{P_a \cos \theta}{P_a \cos \theta + P_i + P_c} \times 100[\%]$$

#### ② $\frac{1}{m}$ 부하시 효율

$$\eta_{\frac{1}{m}} = \frac{\frac{1}{m} P_a \cos \theta}{\frac{1}{m} P_a \cos \theta + P_i + \left(\frac{1}{m}\right)^2 P_c} \times 100[\%]$$

#### ③ 최대효율 조건 : 최대효율조건은 철손과 동손이 같을 때

$$\frac{1}{m} = \sqrt{\frac{P_i}{P_c}}$$

### 2. 변압기의 손실

#### ① 무부하손

- 히스테리시스손 (주파수와 반비례)

$$P_h = k_h f B_m^{1.6 \sim 2}$$

- 와류손 (주파수와 무관, 전압의 제곱에 비례)

$$P_e = k_e (f B t)^2$$

#### ③ 주파수 증가에 따른 특성

- 철손 감소(효율증가)
- 여자전류감소
- 리액턴스 증가 (전압강하 증가)

## 9 변압기 3상 결선

### 1. $\Delta - \Delta$ 결선 : 60kV이하의 배전용 변압기에 사용한다

- ① 제 3고조파 제거하여 기전력의 왜곡을 일으키지 않음
- ② V결선 가능 하여 1대 고장시 나머지 2대로 송전가능

### 2. Y-Y 결선 : 송배전 계통에서 거의 사용하지 않는다

- ① 1,2차 모두 중성점을 접지 가능하여 이상전압 방지 용이
- ② 상전압이 선간전압의  $1/\sqrt{3}$  배가 되어 고전압 절연이 용이
- ③ 변압기 1대 고장시 V결선이 불가능

### ④ 제 3고조파가 포함된 왜형파가 중성선에 흘러 통신선에 유도 장애

### 3. $\Delta - Y$ , $Y - \Delta$ 결선 : $\Delta - Y$ 은 승압형, $Y - \Delta$ 은 강압형

- ① 1차와 2차 선간전압 사이에  $30^\circ$ 의 위상차 발생

### 4. V결선

- ① V결선의 3상 출력  $P_V = \sqrt{3} P_{1\phi}$
- ② 이용률

$$\frac{\sqrt{3} \times 1\text{대의 용량}}{2\text{대의 용량}} = \frac{\sqrt{3} P_1}{2 P_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866 = 86.6[\%]$$

#### ③ 출력비

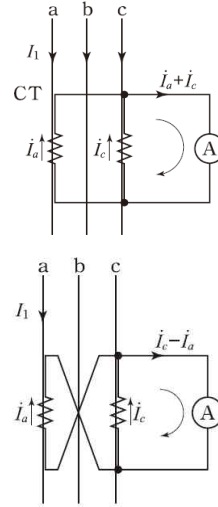
$$\frac{P_V}{P_\Delta} = \frac{\sqrt{3} \times \text{단상용량}}{3 \times \text{단상용량}} = \frac{\sqrt{3} P_1}{3 P_1} = 0.577 = 57.7[\%]$$

## 10 변압기 병렬운전

### 1. 병렬운전

- ① 극성이 같을 것(순환전류 발생)
  - ② 정격전압과 권수비가 같을 것(순환전류 발생)
  - ③ %임피던스 강하가 같을 것
  - ④ 저항과 리액턴스 비가 같을 것
  - ⑤ 각 변위가 같을 것
  - ⑥ 상회전이 일치할 것
2. 변압기 병렬운전이 불가능한 결선법 (홀수찾기)
3. 부하분담 : 용량에는 비례, 퍼센트(누설) 임피던스에 반비례

$$\frac{I_A}{I_B} = \frac{P_A}{P_B} \times \frac{\%Z_B}{\%Z_A}$$

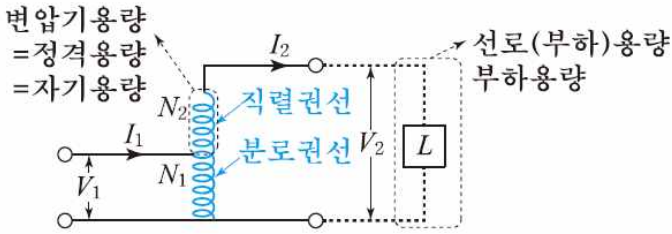


가동결선  
 $I_1 = CT^{비} \times I_2$

차동결선  
 $I_1 = CT^{비} \times I_2 \times \frac{1}{\sqrt{3}}$

## 특수변압기

### 1 단권 변압기와 누설 변압기



#### 1. 단권변압기 장단점 : 소형화 할 수 있다

- ① 단락전류가 크다
- ② 1차와 2차 절연이 어렵다

#### 2. 단권변압기의 부하용량과 자기용량의 비

$$\frac{\text{자기용량}}{\text{부하용량}} = \frac{(V_2 - V_1)I_2}{V_2 I_2} = \frac{V_2 - V_1}{V_2} = \frac{V_H - V_L}{V_H}$$

	1대	2대(V결선)	3대(Y결선)	3대(Δ결선)
자기용량	$\frac{V_H - V_L}{V_H}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{V_H - V_L}{V_H}$	$\frac{V_H - V_L}{V_H}$	$\frac{V_H^2 - V_L^2}{\sqrt{3} V_H \cdot V_L}$
부하용량	$\frac{V_H - V_L}{V_H}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{V_H - V_L}{V_H}$	$\frac{V_H - V_L}{V_H}$	$\frac{V_H^2 - V_L^2}{\sqrt{3} V_H \cdot V_L}$

#### 3. 누설변압기 특성 : 수하특성 (정전류)

- 용접기, 네온용 변압기, 수은등 변압기

## 4 계기용변성기

### 1. 계기용 변압기(PT)

- ① 2차 측 정격 전압 : 110[V]
- ② 2차 개방 이유 : 단락시 단락전류가 발생하여 기기의 손상

### 2. 계기용 변류기(CT)

- ① 2차 측 정격 전압 : 5[A]
- ② 2차 단락 이유 : 2차를 개방시 고압발생 2차 코일이 소손
- ③ CT 1차 전류계산 방식

## 5 상수변환

### 1. 상수 변환 : 3상을 2상으로 변환

우드브리지 결선, 스코트 결선(T결선), 메이어 결선

## 6 변압기 고장 보호 계전기와 각종 시험

### 1. 변압기 고장보호 계전기

- ① 비율차동계전기
  - ② 부흐홀쯔 계전기 : 변압기와 콘서베이터 사이
2. 각종 시험법
- ① 절연 내력 시험
    - 유도시험법 : 권선의 단자 사이 2배 전압을 유도시험
  - ② 온도상승시험법 : 반환부하법

## 유도기

### 1 유도전동기 원리

#### 1. 유도 전동기의 회전원리 : 플레밍의 왼손 법칙

	단상 유도 전동기	3상 유도 전동기
원리	교번자계	회전자계

### 2 유도전동기 종류 및 구조

1. 2중 능형 : 기동토크가 가장 크고, 기동전류가 작다

### 3 유도전동기 슬립

#### 1. 슬립(slip) : 회전자계 속도와 회전자 속도차. 즉 상대속도

$$s = \frac{N_s - N}{N_s} \times 100[\%]$$

\*  $N_s$ : 회전자계 속도/  $N$ : 회전자 속도

#### 2. 유도전동기 속도(회전자 속도)

$$N = (1-s)N_s = (1-s) \frac{120f}{p} [\text{rpm}]$$

3. 유도전동기의 슬립 범위 :  $0 < s < 1$

4. 유도기 역회전시 슬립(역상제동시)

$$s' = 2 - s$$

#### 4 유도전동기 회전자 특성

	$f_2'$	$E_2'$
회전시	$f_2' = sf_1$	$E_2' = sE_2$

#### 5 유도전동기 전력변환

1. 2차 동손( $P_o$ )

$$P_{c2} = sP_2 [\text{W}]$$

2. 2차 출력( $P_o$ )

$$P_o = (1-s)P_2 = P_2 - P_{c2} \\ = P + P_m$$

3. 2차 입력( $P_2$ )

$$P_2 = \frac{P_o}{1-s}$$

4. 2차 효율( $\eta_2$ )

$$\eta_2 = \frac{\text{2차 출력}}{\text{2차 입력}} = \frac{(1-s)P_2}{P_2} = 1-s = \frac{N}{N_s}$$

#### 6 유도전동기 토크

2. 유도전동기 토크

$$T = 0.975 \frac{P_2}{N_s} [\text{kg}\cdot\text{m}]$$

② 동기와트 : 동기속도에서 회전시 2차입력을 토크로 나타냄

$$T = P_2 (\text{동기와트}) = E_2 I_2 \cos\theta_2 [\text{W}]$$

③ 토크와 전압의 관계

$$T \propto V^2$$

④ 최대토크가 발생하는 슬립

$$s_t = \frac{r_2}{x_2}$$

#### 7 3상 권선형 유도전동기 비례추이

1. 비례추이

- 2차 저항 n배 -> 최대토크의 슬립 값 n배
- 기동전류는 감소
- 2차 회로의 역률이 좋아짐

2. 비례추이 가능한 특성과 불가능한 특성

가능	토크, 1,2차 전류, 1차 입력, 역률
불가능	동기속도, 2차동손, 출력, 2차효율

3. 비례추이시 최대토크 : 최대토크는 변하지 않는다(항상 일정)

4. 비례추이시 슬립

$$\frac{r_2}{s} = \frac{r_2 + R}{s'}$$

5. 최대토크 기동시 외부저항값

$$R = \left(\frac{1}{S_t} - 1\right)r_2 = \left(\frac{1 - S_t}{S_t}\right)r_2$$

#### 8 원선도

2. 원선도 작도전 측정 시험

- 구속 시험(단락시험)
- 무부하 시험
- 저항측정 시험

3. 원선도로 알 수 있는 값 : 1차동손, 2차동손, 1차입력, 철손, 여자전류

4. 원의 지름  $\frac{E}{x}$

5. 역률  $\cos\theta = \frac{OP'}{OP}$

6. 2차 효율  $\eta_2 = \frac{ab}{ac}$

#### 9 유도전동기 운전법

1. 유도전동기 기동법 : 과도한 기동전류 발생

① 농형 유도전동기 (2차 X)

기동법	용량	특징
전전압	직입기동	5kW 미만
	동	정격전압 인가하고, 기동시간 짧음 기동전류가 약 5~7배 정도 상승
감전압	Y-Δ기동	5~15 kW
	동	기동시 전압 : $1/\sqrt{3}$ 배로 감소 기동시 전류 : $1/3$ 배로 감소
	기동보상기법	15kW 이상
	리액터 기동	단권변압기로 전압 일시 강하 리액터 기동후 리액터 단락

② 권선형 유도전동기

기동법	특징
2차 저항기동법	2차 외부저항 증가로 효율 저하
2차 임피던스	2차 외부 저항 대신 리액터 연결
게르게스법	결상 시 $s=0.5$ 에서 가속 되지 않음

2. 유도전동기 이상기동현상

- ① 크로우링현상(농형) : skew slot(사구) 채용 및 공극 균일
- ② 게르게스현상(권선형) : 한상이 결상시 동기속도의 50%(슬립 0.5)이상으로 가속되지 않는 현상

3. 유도전동기 속도제어

$$N = \frac{120f}{p}(1-s) \quad T_{\max} \propto \left(\frac{V_1}{f_1}\right)^2 \quad s \propto \frac{1}{V^2}$$

- ① 농형 유도전동기
  - 주파수 제어법 : 선박추진용, 인건공장 (포트 모터), VVVF, 인버터 제어방식
  - 극수 변환법 : 농형유도전동기에서 주로 사용되는 제어법
  - 전압제어법
- ② 권선형 유도전동기
  - 2차 저항법 : 권선형에서 비례추이 이용
  - 2차 여자법 : 슬립주파수전압을 인가 동기속도 이상 제어
- ③ 종속법 (극수 제어): 전체 극수를 변화시켜 속도를 제어
  - 직렬종속법 :  $N_s = \frac{120f}{p_1 + p_2} [\text{rpm}]$
  - 차동종속법 :  $N_s = \frac{120f}{p_1 - p_2} [\text{rpm}]$
  - 병렬종속법 :  $N_s = \frac{120f}{(p_1 + p_2)/2} [\text{rpm}]$

## 10 단상 유도전동기

1. 단상유도 전동기 (기동토크 순서 : 반기콘분세)

종류	내용
반발	기동토크 가장 큼, 기동시 브러시 필요
기동형	브러시 위치 이동시켜 회전방향을 역회전 전환
반발 유도형	2중 농형 구조
콘덴서	콘덴서 기동형 / 콘덴서 전동기형
기동형	콘덴서를 이용 진상전류로 회전자계
콘덴서전 동기형	역률이 좋고 기동 전류에 비해 기동토크 큼
분상	주권선과 보조권선을 병렬 접속
기동형	보조권선은 높은 저항과 낮은 리액턴스 주권선은 낮은 저항과 높은 리액턴스
세이딩코	구조 간단 기동토크가 가장 작음
일형	역률과 효율이 나쁘고 역회전 불가능

## 11 유도전압조정기

	단상 유도 전압조정기	3상 유도 전압조정기
원리	교번자계 단상 단권 변압기	회전자계 3상 유도 전동기
위상차	없다	있다
단락권선	분로권선과 수직 설치 누설 리액턴스 전압강하 경감	없다
조정용량		
정격용량	$P_s = E_2 I_2 \times 10^{-3} [kVA]$	$P_s = \sqrt{3} E_2 I_2 \times 10^{-3} [kVA]$
자기용량		
부하용량	$P = V_2 I_2 \times 10^{-3} [kVA]$	$P = \sqrt{3} V_2 I_2 \times 10^{-3} [kVA]$
선로용량		
조정범위	$V_1 \pm E_2$	$\sqrt{3} (E_1 \pm E_2)$

## 정류기

### 1 전력변환기기

1. 인버터 : 직류를 교류로 변환하는 장치
2. 정류기(컨버터) : 교류를 직류로 변환하는 장치
3. 쇼퍼 : 직류 변환하는 장치
4. 사이클러 컨버터 : 교류의 주파수를 변환하는 장치

### 2 수은정류기와 회전변류기

1. 수은정류기 역호방지법
  - 과열 과냉 피할 것(급히 냉각 x)
  - 과부하 피할것
  - 진공도 높일것
2. 회전변류기 전압 변화
  - 직렬리액턴스에 의한 방법
  - 유도전압조정기에 의한 방법
  - 부하시 전압 조정 변압기에 의한 방법
  - 동기 승압기에 의한 방법

### 3 다이오드

1. 다이오드 : 2층(PN) 구조의 단방향성의 2단자 구조
2. 다이오드 보호방법
  - ① 과전압 보호 : 다이오드를 직렬 연결 (전압 분배)
  - ② 과전류 보호 : 다이오드를 병렬 연결 (전류 분배)

### 4 사이리스터(SCR)

1. 사이리스터 특징
  - SCR은 단방향(역저지) 3단자 소자
  - 게이트에 의해 스위칭 작용을 통해 위상제어
  - 적은 신호로 대전력 제어 가능하며, 교류전력 제어 가능

- 과전압에 약하고 전압강하는 1[V]정도로 작다

## 2. 사이리스터 ON/OFF 조건

- ① TURN On 조건 : SCR에서 게이트 전류가 흐르면 순방향의 저지상태에서 온(On)상태로 된다. 게이트 전류를 가하여 도통 완료까지의 시간을 턴온(Turn On)시간이라 하고 이 시간이 길면 스위칭시의 전력손실이 많고 소자가 파괴된다.
  - 래칭 전류 : SCR이 Turn On 시키기 위한 최소전류
  - 유지전류 : Turn On 상태를 유지하기 위한 최소전류
- ② Turn Off 조건 : 애노드에 역전압을 인가, 유지전류 이하 (게이트 단어 조심)

## 3. SCR 위상 제어

정류종류	직류와 교류
단상반파	$E_d = 0.45E \left( \frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} E \left( \frac{1 + \cos \alpha}{2} \right)$
단상전파	$E_d = 0.9E \left( \frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} E \left( \frac{1 + \cos \alpha}{2} \right)$
3상반파	$E_d = 1.17E \cos \alpha = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} E \cos \alpha$
3상전파	$E_d = 1.35E \cos \alpha = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E \cos \alpha$

## 5 SCR의 종류

명칭	방향	단자	특징
SCR	단방향	3	특징 : 위상제어, 스위칭 소자 구조 : 4층(PNPN)
GTO			제어 : 게이트 신호로 ON, OFF 가능 특징 : 높은 전압용 개발되고 자기소호기능이 좋은 소자
LASCR			특징 : 감광역저지 3단자 사이리스터 사용 : 광스위치, 릴레이, 카운터 회로
SCS			제어 : 2개의 게이트 신호 구조 : 4층(PNPN)
SSS DIAC	양방향	2	구조 : 5층(PNPNP), 교류스위치, 조광장치 특징 : 양방향성 대칭 부성저항 특성
TRIAC	양방향	3	구조 : SCR 2개를 반대방향으로 병렬연결 특징 : 급격한 전압 변동에 취약하여 유도성 부하에 약함

## 6 정류회로

### 1. 정류 회로

정류종류	직류와 교류	최대역전압	맥동 주파수	정류효율	맥동률
단상반파	$E_d = 0.45E = \frac{\sqrt{2}}{\pi} E$	$PIV = \pi E_d$	60 [Hz]	40.5	121 %
단상전파	$E_d = 0.9E$		120 [Hz]	81.1 $\frac{8}{\pi^2} \times 100$	48%
3상반파	$E_d = 1.17E$		180 [Hz]	96.7	17%
3상전파	$E_d = 1.35E$		360 [Hz]	99.8	4%

## 2. 정류 효율

$$\frac{\text{직류출력}(P_{dc})}{\text{교류입력}(P_{ac})} \times 100$$

## 3. 맥동률

$$r(\text{ripple factor}) = \frac{\text{출력내 교류성분}}{\text{출력내 직류성분}}$$

## 7 정류자 전동기

### 1. 속도기전력

$$\text{최대값 } E_m = \frac{pZ\phi_m N}{60a} [V]$$

$$\text{실효값 } E = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{pZ\phi_m N}{60a} [V]$$

### 2. 단상 직권 정류자전동기

성층철심	철손 감소
약계자 강전기자	토크 보상 및 역률 보상
보상권선	전기자반작용 감소, 역률 개선
저항도선	단락전류 제한
회전속도	역률 개선
종류	직권형, 보상직권형, 유도보상직권형
사용 예	소형공구, 영사기, 치과치료용

### 3. 3상 직권 정류자전동기 중간변압기 사용목적

- ① 정류에 알맞은 전압 조정
- ② 실효 권수비 선정 조정
- ③ 중간 변압기 권수 바꿔서 전동기 특성 조정
- ④ 속도 상승 억제

### 4. 3상 분권 정류자 전동기 : 속도 변화가 작음

- 시라게 전동기
- 브러시 이동으로 속도 변화가 편리한 전동기
- 1차 권선을 회전자에 둔 3상 권선형 유도 전동기

## 8 서보모터와 스텝핑 모터

### 1. 서보모터(Servo Motor) : 위치, 자세, 각도 등을 제어량으로 하기 위한 전동기이다

- 직류 서보모터 기동토크가 교류 서보모터보다 크다
- 회전자를 얇고 길게 할 것(관성 모멘트가 작다)
- 속응성이 좋고 시정수가 짧으며 기계적 응답이 좋다

### 3. 스텝핑 모터 : 디지털 신호에 비례하여 일정 각도 회전

- 총회전각은 입력펄스의 수로 결정
- 회전속도는 입력 펄스의 빠르기로 제어
- 위치 제어 할 때 각도 오차가 적고 누적되지 않음
- 정지하고 있을 때 그 위치를 유지해 주는 토크가 큼
- 회전속도는 스텝핑 주파수에 비례