

1장 직류기

● 직류발전기의 구조

• 계자 F

①자속을 만드는 부분 (전자석 사용) ②전기자 철심+계자 권선

• 전기자 A

①기전력을 발생시키는 부분

②전기자 철심+계자 권선

③규소 함유량 1 ~ 1.4% -히스테리 시스손 감소

④규소강판 성층 0.35~0.5mm-와류손 감소

• 정류자 C

①교류를 직류로 변환

②브러시와 접촉 압력 0.15~ 0.25 [kg/m^2]

• 브러쉬

①만들어진 전기를 외부로 인출

②탄소질 접촉저항 크다- 저 전류, 저속기

③흑연질 접촉저항 작다- 대전류, 고속기

• 전기자 권선법

환상권 ×

고상권 { 개로권 ×
 폐로권 }

단층권 ×
이층권 {

중권- 내부결선 병렬 저전압, 대전류
파권- 내부결선 직렬 고전압, 소전류

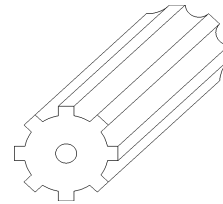
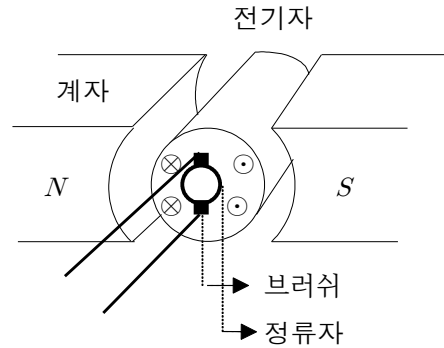
병렬회로수=극수=브러쉬 수

$$a = p = b$$

4극이상 균압접속

병렬회로수=2 $a = b = 2$

불필요

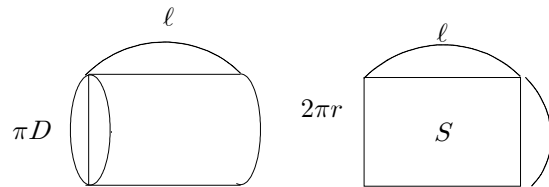


● 직류 발전기 이론

• 유기기전력 $e = B\ell v$

• 주변속도 $v = 2\pi rn = \pi D \frac{N}{60}$ ($\frac{n}{60}$ [rps] $\frac{N}{60}$ [rpm])

• 자속밀도 $B = \frac{\text{자속}}{\text{넓이}} = \frac{P\phi}{2\pi r\ell}$



• 도체 1개에서 발생하는 전압 $e = B\ell v = \frac{P\phi}{2\pi r\ell} \ell \pi D \frac{N}{60} = \frac{P\phi N}{60}$

• 전체전압 $e = \frac{PZ\phi N}{60a} = K\phi N$ (기계상수 $K = \frac{PZ}{60a}$ ← 불변)

(P:극수 Z:도체수 ϕ :자속 N:분당회전수 a:병렬회로수)

※ 전압의 크기를 바꿀 때는 ϕ 를 조정한다 → 계자의 전류를 조정 → 전자석 사용

• 중권 ($a = p$) $E = \frac{PZ\phi N}{60a} = \frac{Z\phi N}{60}$

• 파권 ($a = 2$) $E = \frac{PZ\phi N}{60 \times 2} = \frac{PZ\phi N}{120}$

• 전기자 반작용

전기자에 흐르는 전류가 주 자속을 방해 하는 현상

• 전기자 반작용의 영향

①주 자속 감소

②편자작용-자속이 한쪽으로 편중, 회전방향으로 중성축이동

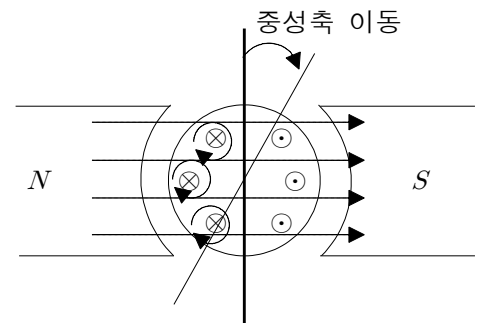
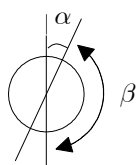
③불꽃 발생

④정류 불량 원인

• 전기자 기자력

감자 기자력 $\frac{ZI_a}{2ap} \frac{2\alpha}{\pi}$

교차 기자력 $\frac{ZI_a}{2ap} \frac{\beta}{\pi}$



• 방지대책

- ①보상권선 설치- 전기자와 직렬로 연결하여 반대방향의 전류를 흘려준다.
- ②보극설치(보조극)
- ③브러쉬 위치를 전기자 중성축으로 이동한다

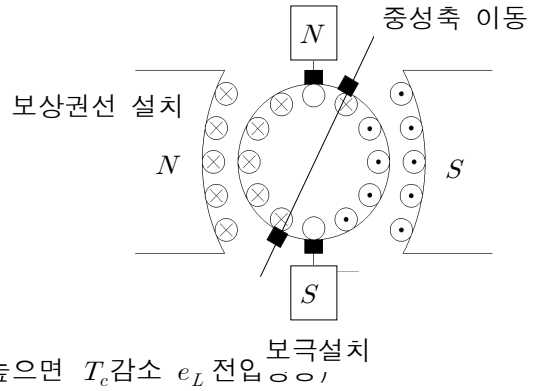
• 정류시간 $T_c = \frac{b-\delta}{v_c} [\text{sec}]$

• 리액턴스 전압- 정류 불량 및 불꽃 발생의 원인

$$e_L = L \frac{di}{dt} = L \frac{2I_c}{T_c}$$

• 양호한 정류 대책 브러쉬 접촉면 전압 강하 > 리액턴스 전압

- ①리액턴스 e_L 를 적게 한다: 단절권 채택
- ②정류주기 T_c 를 길게 한다. → 회전속도를 낮춘다. 회전속도가 높으면 T_c 감소 e_L 전압 증가
- ③저항정류: 접촉저항이 큰 탄소브러쉬 사용
- ④전압 정류: 보극 설치



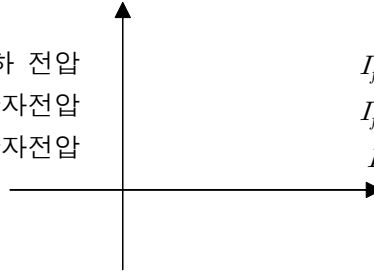
• 정류자 편간 전압 $V_c = \frac{PE}{K}$

• 직류 발전기 종류와 운전

직류발전기는 여자(자속공급)방식에 따라 분류 한다

• 특성 곡선

- | | | |
|------------|---------------|------------|
| ① 무부하 특성곡선 | 유기기전력, 무부하 전압 | I_f 계자전류 |
| ② 부하 특성곡선 | 단자전압 | I_f 계자전류 |
| ③ 외부 특성곡선 | 단자전압 | I 부하전류 |



• 타여자 발전기

$$I_a = I$$

$$V = E - I_a r_a = E - I r_a$$

$$E = V + I_a r_a$$

무 부하 일 때 $I = I_a = 0 \quad V = E$

특징

- ① 잔류자기가 없어도 발전가능
- ② 원동기 회전방향을 반대로 해도 발전 가능

• 직권 발전기

$$I_a = I_f = I$$

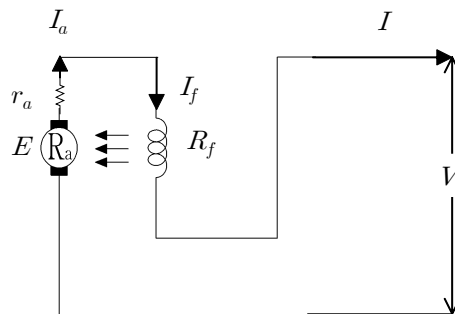
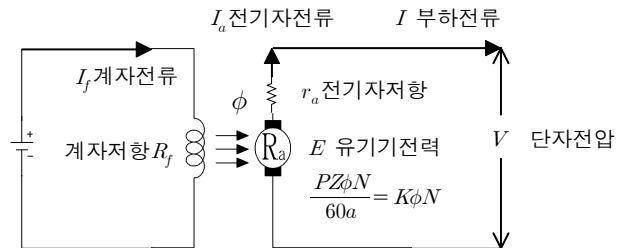
$$V = E - I_a r_a - I_f R_f = E - I(r_a + R_f)$$

무 부하 $I = 0$

$$I = 0 \Rightarrow I_f = 0 \Rightarrow \phi = 0 \Rightarrow E = 0$$

특징

- ① 잔류자기가 존재 해야 발전 가능 ⇒ 자여자공통
- ② 역회전 발전 불가능 ⇒ 잔류자기를 소멸시켜발전 불능
- ③ 무부하 특성 곡선이 없다



• 분권발전기

$$I_a = I_f + I \quad (I_a \doteq I)$$

$$V = E - I_a r_a$$

$$\text{무 부하 } I=0 \quad I_a = I_f$$

특징

- ① 전압하락 $\Rightarrow$ 잔류자기가 존재
- ② 무부하 운전 금지 - I_f 전선 소손
- ④ 잔류자기 없으면 발전 불능

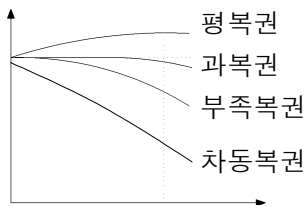
• 복권발전기

가동복권

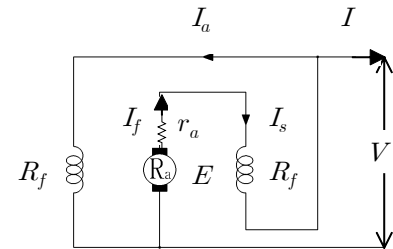
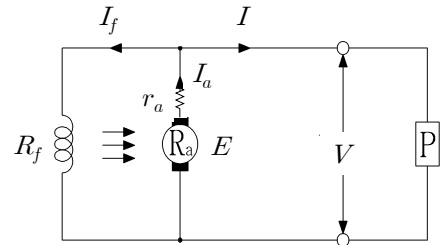
$$\phi = \phi_f + \phi_s \quad E = \frac{PZ\phi N}{60a} = K(\phi_f + \phi_s)N$$

차동복권

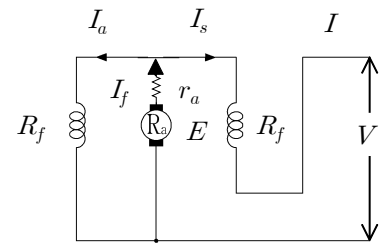
$$\phi = \phi_f - \phi_s \quad E = K(\phi_f - \phi_s)N$$



복권 $\rightarrow$ 분권-직권 계자 단락
복권 $\rightarrow$ 직권-분권 계자 개방



외 분권



내 분권

• 수하특성

전압이 일정 $\rightarrow$ 전류가 일정 $\rightarrow$ 출력이 일정

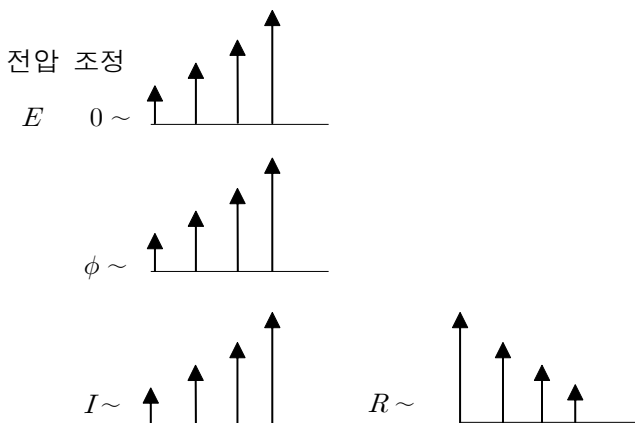
• 전압변동률

$$\varepsilon = \frac{\text{무부하전압} - \text{정격전압}}{\text{정격전압}} = \frac{V_0 - V_n}{V_n}$$

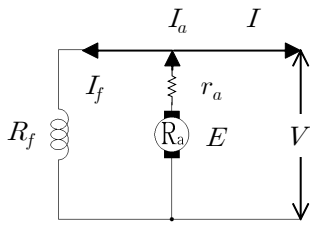
• 직류발전기의 병렬운전

병렬운전 조건

- ① 극성이 같을 것
- ② 단자 전압이 같을 것 $\rightarrow$ 전압이 다르면 순환전류가 발생
- ③ 외부특성이 수하특성 일 것
- ④ 직권계자가 있으면 균압선을 설치한다



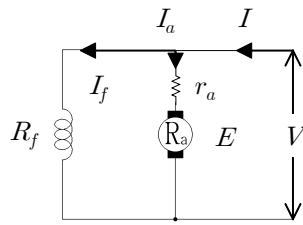
직류 발전기와 전동기의 차이



$$I_a = I + I_f$$

$$E = V + I_a r_a$$

E -유기기전력



$$I_a = I - I_f$$

$$E = V - I_a r_a$$

E -역기전력

• 토크(회전력)

$$P = \tau \omega \quad \omega = 2\pi f = 2\pi n \quad (\text{초당 반복 횟수 } f = n \text{ 초당 회전수})$$

$$\tau = \frac{P}{\omega} = \frac{E I_a}{2\pi n} = \frac{PZ\phi N}{2\pi \frac{60}{60}} I_a = \frac{PZ\phi}{2\pi a} I_a = K\phi I_a [N \cdot m] \quad (\text{기계상수 } K = \frac{PZ}{2\pi a})$$

$$\tau = \frac{P}{2\pi n} = \frac{P}{2\pi \frac{N}{60}} = \frac{60}{2\pi} \frac{P}{N} = 9.55 \frac{P}{N} [N \cdot m]$$

$$\tau = 9.55 \frac{P}{N} \times \frac{1}{9.8} = 0.975 \frac{P}{N} [kg \cdot m]$$

$$(\tau \propto \phi \quad \tau \propto I_a \quad \tau \propto P \quad \tau \propto \frac{1}{N})$$

(P 극수 Z 도체수 ϕ 극당자속 I_a 전기자 전류 a 병렬회로수)

• 회전속도

$$E = \frac{PZ\phi N}{60a} = K\phi N \quad \text{에서} \quad N = \frac{E}{K\phi} = K \frac{E}{\phi} = K \frac{V - I_a r_a}{\phi}$$

$$(N \propto E \quad N \propto \frac{1}{\phi} \rightarrow T \propto \frac{1}{N}, N \propto \frac{1}{T})$$

$$\bullet \text{ 속도변동률} = \frac{\text{무부하속도} - \text{정격속도}}{\text{정격속도}} = \frac{N_0 - N}{N} \times 100$$

◎ 직류전동기의 종류 및 특성

• 타여자 전동기

$$\textcircled{1} \text{ 토크특성 } \tau = K\phi I_a [N/m] \quad \tau \propto I, \quad \tau \propto \frac{1}{N}$$

$\textcircled{2}$ 공급 전원의 방향을 반대로 하면 역회전 가능

$\textcircled{3}$ 속도를 광범위하게 조정할수 있다

$\textcircled{4}$ 압연기나, E/V, 일그너방식 또는 레오나드방식의 제어 장치를 사용하는 주 전동기

• 분권전동기- 정출력, 가변속도

$$N = K \frac{V - I_a r_a}{\phi} \quad \text{에서} \quad \text{속도를 조정 하려면 } N \rightarrow \phi \rightarrow I_f \rightarrow R_f$$

R_f 크면 $\rightarrow I_f$ 작고 $\rightarrow \phi$ 작아지므로 속도 N 은 상승한다

R_f 작으면 $\rightarrow I_f$ 크고 $\rightarrow \phi$ 작아져 속도 N 은 감속한다

• 직류전동기

$$\tau = K\phi I \quad N = K \frac{E}{\phi}$$

부하전류 I 가 2배가 되면 토크는 τ^2 배가 된다

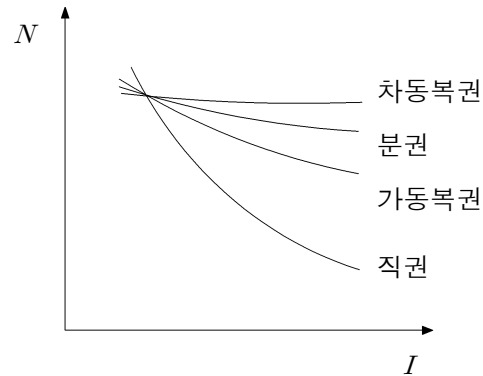
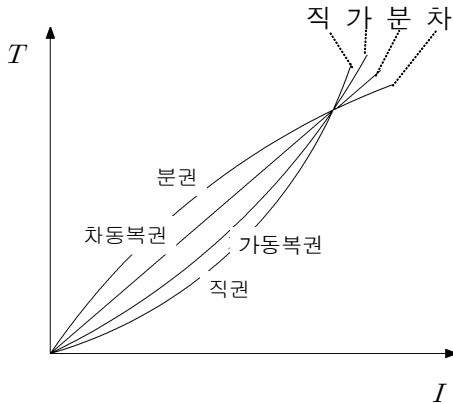
$$\tau \propto I^2 \quad \tau \propto \frac{1}{N^2}$$

무부하 운전시 $I = 0 \quad I_f = 0 \quad \phi = 0$

속도가 무한대가 되어 ($N = \infty$) 위험 속도가 된다-벨트 운전 금지 톱니바퀴 운전

기동토크가 큰 곳-전차, 크레인, 권상기

• 토크 특성 곡선



◎ 직류전동기의 운전

• 기동조건

① 기동토크는 크게한다→계자 저항기를 최소

② 기동 전류는 작게한다→기동 저항기를 최대

• 속도제어

$$N = \frac{V - I_a r_a}{\phi}$$

① 계자제어-정속도 정 출력제어 속도제어 범위가 좁다

② 저항제어-비경제적이어서 사용하지 않는다

③ 전압 제어- 완벽하나 비싸다

- ↳ 워드레오너드
- ↳ 일그너→플라이 휠 효과
- ↳ 직병렬제어→직류 직권 전동기
- ↳ 첵퍼제어→직류를 직접제어

※ 플라이 휠 효과- 부하의 변동이 심할 때 광범위하고 안정되게 속도를 제어

• 역회전

전기자와 계자중에서 한 개의 극성만 반대로 한다

타 여자만 가능

• 제동

① 발전제동-전동기를 발전기로 가동 하여 제동

② 회생제동-전력을 전원으로 반환하여 제동

③ 역전제동-전기자의 결선을 바꾸어 역 방향의 토크를 발생하여 급정지시 사용

◎ 직류기의 효율 및 특수전동기

• 효율

$$\text{실측효율} \quad \text{효율 } \eta = \frac{\text{출력}}{\text{입력}}$$

$$\text{발전기 규약효율} \quad \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{손실}}$$

$$\text{전동기 규약효율} \quad \frac{\text{입력} - \text{손실}}{\text{입력}}$$

손실

손실 P_l $\left\{ \begin{array}{l} \text{고정 손 (무부하 손)} - \left\{ \begin{array}{l} \text{철 손 } P_i - \left\{ \begin{array}{l} \text{히스테리시스 손 (멤돌이 손)} \\ \text{와류 손} \end{array} \right. \\ \text{기계 손 } P_m - \left\{ \begin{array}{l} \text{풍 손} \\ \text{베어링 마찰 손} \end{array} \right. \\ \text{가변 손 (부하 손)} - \left\{ \begin{array}{l} \text{동 손 } P_c \\ \text{표유부하 손 } P_s \end{array} \right. \end{array} \right.$

최대 효율 조건

고정 손 = 가변 손

총 손실

$P_l = P_i + P_c + P_m + P_s$

2장 동기기 (회전 속도가 일정하다, 같은 속도로 회전하는 기기)

7p

동기발전기-발전소, 비상발전기에 사용(주파수가 일정)

동기 전동기-동기 조상기등에 사용(속도 조절이 어렵다)

● 동기 발전기의 원리 및 구조

• 동기 발전기 원리

회전계자형-전기자는 고정, 계자가 회전

• 동기속도

$$f = \frac{p}{2}n \quad n = \frac{N}{60}$$

$$f = \frac{PN}{120} [Hz]$$

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

$$P = \frac{120}{N_s} f [\text{극수}]$$

$N_s = \frac{120}{P} f [rpm]$ 에서 극수에 따라 회전 속도가 결정 된다

$N_s \downarrow$ -수력발전(수차)

$N_s \uparrow$ -회력발전(터빈)

• 동기 발전기의 구조

①전기자(고정자)-두께 0.35~0.5mm 규소강판 성층-맴돌이 전류 방지

②계자(회전자)-회전 계자형 사용

③여자기-계자 권선에 전류(직류)를 공급

직류여자기, 정류자 여자법, 브러쉬 레스 여자기

④냉각장치-수소 냉각 방식

수소밀도 공기의 7%, 풍손 $\frac{1}{10}$ 감소, 효율 0.75 ~ 1% 비열 공기의 14배

• 동기 발전기의 종류

계자의 형태(회전자) ①돌극형-극수를 많이 할수 있다, 동기속도가 느리다(수차형), 공극이 불균형

②비돌극형-극이적다,속도가 빠르다(터빈), 공극이 균일

● 동기 발전기 이론

• 동기발전기의 유기기전력

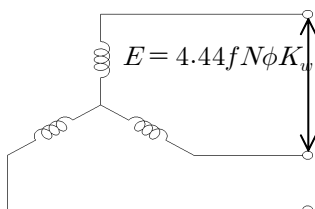
$$E = 4.44fN\phi K_w \quad E = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} = 4.44$$

$$= 4.44 \frac{N_s P}{120} N\phi K_w [V]$$

N :권선 수 K_w :권선계수

교류기기-동기기, 변압기 유도기의 $E = 4.44fN\phi K_w$ 같다

• 동기 발전기의 출력



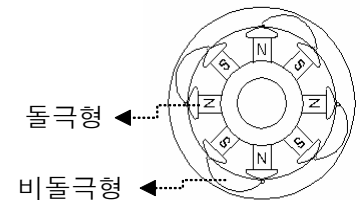
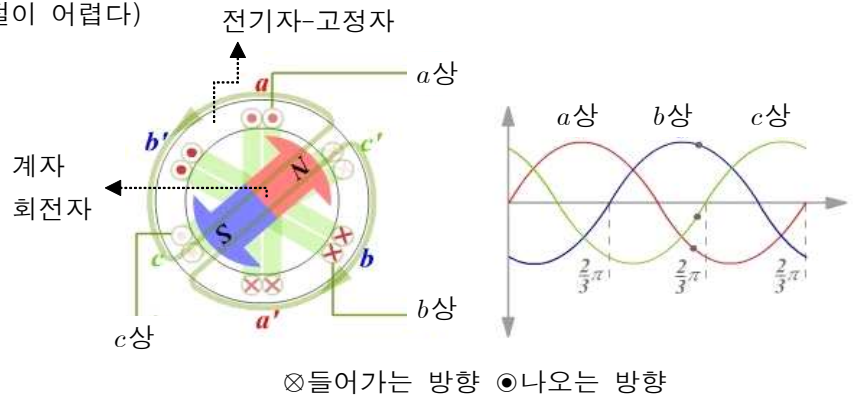
$$\text{단자전압} = \text{선간전압} = E = \sqrt{3} \times 4.44fN\phi K_w$$

$$\text{단상 } P = \frac{EV}{x_s} \sin \delta \quad \text{3상 } P = \frac{3EV}{x_s} \sin \delta$$

E :송전전압 V :수전전압 δ :송, 수전 전압 간 위상차

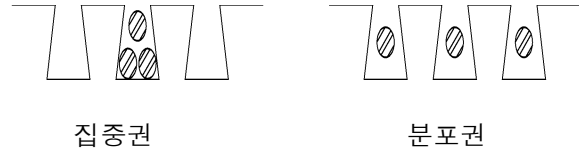
비돌극형은 $\delta = 90^\circ$ 에서 최대출력-이론적 실제 $\delta = 85^\circ$ 최대 출력

돌극형은 60° 에서 최대출력



• 전기자 권선법

파권 ×
중권 { 집중권 ×
 분포권
 전절권 × -극 간격=코일간격
 단절권 -극 간격>코일간격



분포권

분포권 계수 $K_d = \frac{\text{분포권 전압}}{\text{집중권 전압}} = \frac{\sin \frac{\pi}{2m}}{q \sin \frac{\pi}{2mq}}$ (q : 매극 매상단 슬롯수 = $\frac{\text{총슬롯수}}{\text{극수} \times \text{상수}}$ m : 상수 주로 3상을 사용 하므로 3)

특징

- ①기전력의 크기가 감소한다 ③누설 인덕턴스가 감소
- ②고조파를 제거 파형을 개선 ④열발산이 좋다

단절권

단절권 계수 $K_p = \frac{\text{단절권}}{\text{전절권}} = \sin \frac{\beta\pi}{2}$ ($\beta = \frac{\text{코일간격}}{\text{극간격}}$)

특징

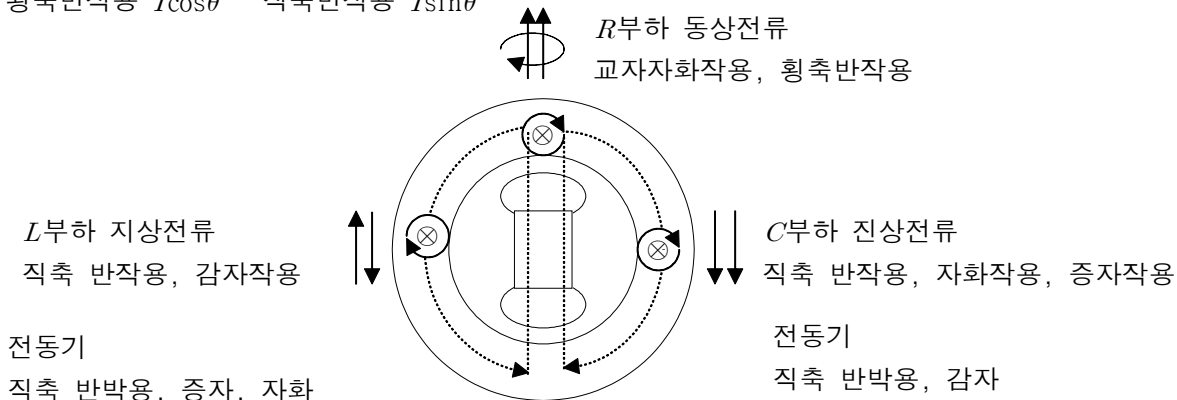
- ①기전력의 크기 감소 ②고조파제거 파형개선 ③동량이 감소 되어 경제적

• 권선계수 $E = 4.44fN\phi K_w$ $K_w = K_d K_p$

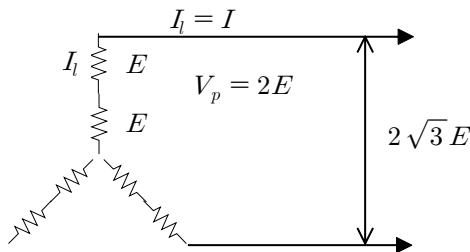
• 전기자 반작용

전기자의 권선에 흐르는 전류가 주 자속을 방해하는 현상

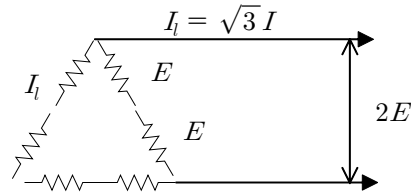
횡축반작용 $I \cos \theta$ 직축반작용 $I \sin \theta$



• 상간접속



$P = \sqrt{3} E_l I_l = \sqrt{3} \times 2 \sqrt{3} EI = 6EI$



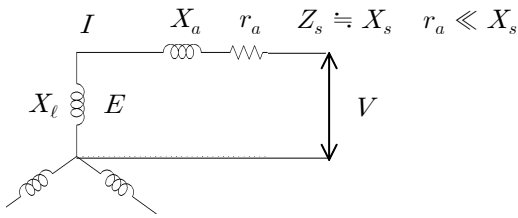
$P = \sqrt{3} E_l I_l = \sqrt{3} \times 2E \sqrt{3} I = 6EI$

접속 종류별 전압, 전류, 전력

종류	선간전압	선전류	피상전력
Y형	$2\sqrt{3}E$	I	$6EI$
△형	$2E$	$\sqrt{3}I$	$6EI$
지그재그 Y형	$3E$	I	$5.19EI$
2중 Y형	$\sqrt{3}E$	$2I$	$6EI$
2중 △형	E	$2\sqrt{3}I$	$6EI$
지그재그 △형	$\sqrt{3}E$	$\sqrt{3}I$	$5.19EI$

◎ 동기발전의 특성

• 동기 발전기의 등가 회로



X_l : 전기자 누설리액턴스

X_a : 전기자 반작용리액턴스

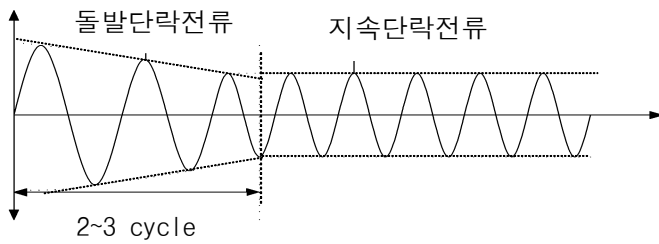
r_a : 전기자 저항

동기 리액턴스 $X_s = X_a + X_l$

동기 임피던스 $Z_s = r_a + j(X_l + X_a)$ $X_s \gg r_a \therefore Z_s \approx X_s$

유기기전력 $V = E - IZ_s = E - IX_s$

• 단락곡선

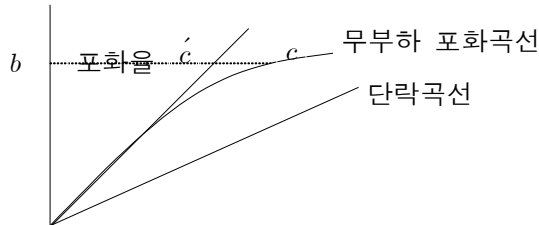


• 돌발 단락 전류 누설 리액턴스가 제한

$$I_s = \frac{E}{X_l}$$

• 영구 단락전류 동기 리액턴스가 제한

$$I_s = \frac{E}{X_l + X_a} = \frac{E}{X_s}$$



• 단락비

$$K_s = \frac{\text{무부하시 전격전압 발생 계자 전류}}{\text{단락시 정격전류 발생 계자전류}} = \frac{I_s}{I_n} = \frac{100}{\%Z} =$$

• 단락비가 큰기계 특징

①크기가 커서 가격이 비싸다 ②공극이 크다 ③철손이 커서 효율이 나쁘다

◎ 동기 발전기의 운전

$$v = \sqrt{2} V_m \sin(2\pi ft + \theta)$$

크기 파형 주파수 위상

• 동기발전기의 병렬 운전 조건

①기전력의 크기 같을 것	무효순환 전류가 흐름
②기전력의 주파수 같을 것	유효순환 전류, 동기화 전류 흐름
③기전력의 위상	유효순환 전류, 동기화 전류 흐름
④기전력의 파형이 같을 것	고조파 무효순환 전류 흐름
⑤상회전이 같을 것	

• 난조방지

계자의 자극면에 제동권선 설치

관성모멘트 크게(플라이 휠 효과)

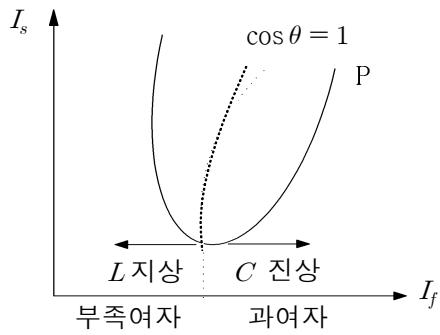
고조파 제거-단절권 분포권

조속의기의 성능을 예민하지 않도록 할 것

● 동기 전동기

• V곡선

10p



• 동기 전동기 기동법-기동 토크가 없다

①자기 기동법

계자를 열어 기동하면 계자회로 고전압 유기 회로 소손

계자 회로를 단락시켜 기동

기동시 기동 보상기 사용 전 전압의 30~50%로 기동

②유도 전동기법

유도전동기는 극수가 2극 적은 전동기 사용

• 동기 전동기

V곡선, 무부하 운전

• 전기자 반작용

R 횡축 교차 자화

L 직축 증자 자화

C 직축 감자

• 특수 전동기

리니어 전동기-직선 운동

반작용 전동기-여자가 없어도 된다

3장 변압기

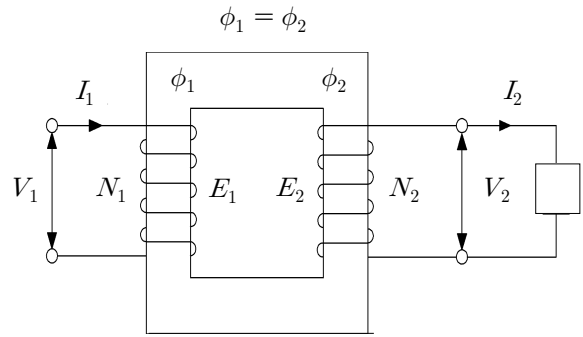
- 변압기의 원리 및 구조- 페러데이 렌츠의 전자유도 법칙
승압기-전압 상승 강압기-전압 하강

$$e = N \frac{d\phi}{dt}$$

$$= N \frac{d}{dt} \phi_m \sin \omega t$$

$$= \omega N \phi_m \cos \omega t$$

$$= 2\pi f N \phi_m \cos \omega t$$



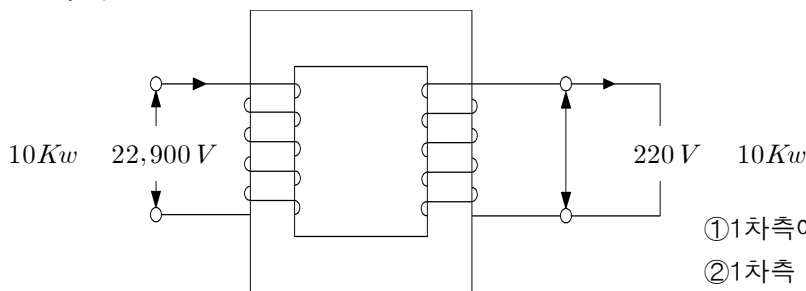
$$1차측 전압 E_1 = 2\pi f_1 N_1 \phi_1 \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_1 N_1 \phi_1 = 4.44 f_1 N_1 \phi_1$$

$$\text{최대값 } \phi = \phi_m \sin \omega t \quad \text{실효값} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$2차측 전압 E_2 = 2\pi f_2 N_2 \phi_2 \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_2 N_2 \phi_2 = 4.44 f_2 N_2 \phi_2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad \frac{N_1}{N_2} = n = a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

- 권수비



- ① 1차측에 권선이 22,900개 2차측에 220개 감겨져 있다
- ② 1차측 입력 전력이 10KW이면 2차 출력측 전압도 10KW이다 $P_1 = P_2$ 전력은 변하지 않는다

$$P = P_1$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} = \sqrt{\frac{X_1}{X_2}} = \sqrt{\frac{2\pi f L_1}{2\pi f L_2}} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

- 유입식 변압기

- 철심



- 부식

단일형, 콤파운드형, 유입, 콘덴서

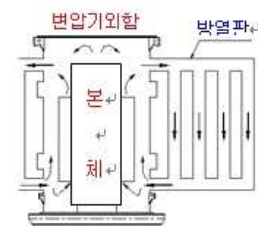
- 절연물의 허용온도

종류	Y종	A종	E종	B종	F종	H종	C종
온도	90	105	120	130	155	180	180이상
압기방법	+15	+15	+10	+25	+25		

- 변압기유 구비조건

- ① 절연내력이 클 것-12[KV/mm] 이상
- ② 비열이 높을 것
- ③ 인화점이 높을 것
- ④ 응고점이 낮을 것
- ⑤ 점도가 낮을 것

- 외함



15KVA 까지 표면이 평활 주철제
20KVA 이상 표면에 주름 강판

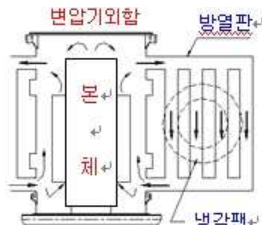
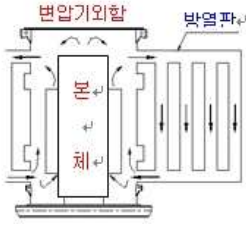
• 변압기 유의 열화

- ① 열화-변압기 호흡 작용에 의한 고온의 절연유가 외부 공기와 접촉에 의해 발생
- ② 열화의 영향-절연내력 저하, 냉각 효과 감소, 침식작용
- ③ 방지시설-브리더, 질소사용, 콘서베이터

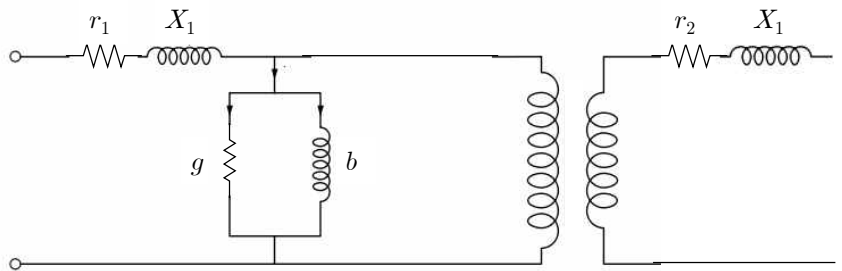
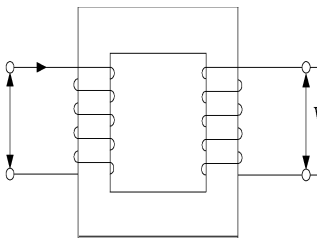
• 냉각방식

유입 자냉식 ONAN

유입 풍냉식

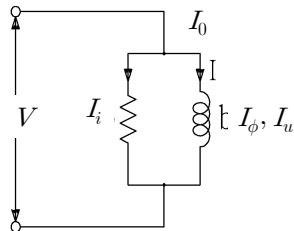
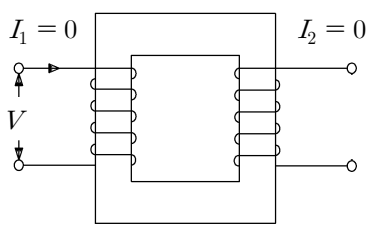


◎ 변압기 이론 및 특성



◎ 무부하 시험

등가회로



- I_0 무부하 전류
- I_i 철손전류(열 발생)-R
- I_ϕ, I_u 자화 전류(자속만 발생)-L

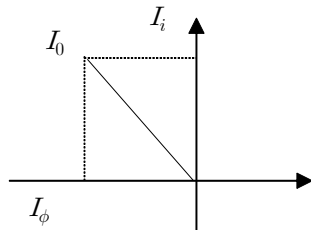
2차측을 개방 시키면 $I=0$ 일 때 미세하게 철에 흐르는 무부하 전류를 측정하여 손실을 구할 수 있다

• 여자전류와 위상 관계

$$\text{무부하전류 } I_0 = \sqrt{I_i^2 + I_\phi^2}$$

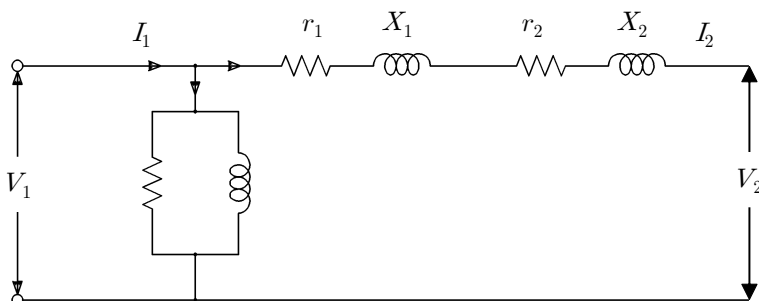
$$\text{자화전류 } I_\phi = \sqrt{I_0^2 - I_i^2}$$

$$\text{철손 } P_i = \frac{P_i}{V_1}$$



- 무부하시험 여자 어드미턴스와, 철손을 구할 수 있는 시험
- 부하시험 및 단락시험 임피던스와 동손 측정
- 권선 저항측정 1,2차 저항 측정

• 변압기의 임피던스 환산



2차를 1차로 환산

$$V_2 = a V_1 \quad I_2 = \frac{1}{a} I_1 \quad Z_2 = a^2 Z_1$$

1차를 2차로 환산

$$V_1 = \frac{1}{a} V_2 \quad I_1 = a I_2 \quad Z_1 = \frac{1}{a^2} Z_2$$

• 전압 변동률

13p

$$\text{전압변동률} = \frac{\text{무부하전압} - \text{전격전압}}{\text{전격전압}} \epsilon = \frac{V_0 - V_n}{V_n}$$

$$\epsilon = \frac{V_0 - V_n}{V_n} = \frac{E - V_{2n}}{V_{2n}} = \frac{IZ}{V_{2n}} = \frac{I_r + I_X}{V_{2n}}$$

$$\epsilon = \frac{I_r}{V_n} \cos\theta + \frac{I_X}{V_n} \sin\theta \quad (q = \frac{I_r}{V_n}, p = \frac{I_X}{V_n})$$

$p \cos\theta + q \sin\theta$ - 지상부하 $p \cos\theta - q \sin\theta$ - 진상부하

$$p = \frac{IR}{V_m} \times 100(\%) \text{저항강하} \quad q = \frac{IX}{V_m} \times 100(\%) \text{리액턴스강하}$$

$$\%Z = \frac{IZ}{V_{2n}} \times 100 = \sqrt{p^2 + q^2} \quad \text{최대변압 변동률}$$

$$\text{역률} \cos = \frac{R}{Z} \quad \frac{P}{\%Z} = \frac{P}{\sqrt{p^2 + q^2}}$$

• 임피던스 전압-임피던스에 걸리는 전압

• 임피던스 와트-철손

◎ 변압기 손실 및 효율

$$\bullet \text{ 손실 } P \begin{cases} \text{고정손(무부하손)} - \text{철손 } P_i \begin{cases} \text{히스테리시스손 } P_h \\ \text{와류손(맴돌이 전류손)} \end{cases} \\ \text{가변손(부하손)} \begin{cases} \text{동손 } P_c \\ \text{표유부하손} \end{cases} \end{cases}$$

◎ 무부하손-철손

• 히스테리시스손-에너지를 흡수 방출 하면서 잃게 되는 손실 기기의 온도 상승 효과

$$P_h = KfB^{1.6 \sim 2.0} \quad (B: \text{자속밀도 } K: \text{재료상수})$$

※ 전압이 일정 할 때

$$E = 4.44fN\phi = 4.44fNBs \quad (\phi = Bs)$$

$$f = \frac{E}{4.44NBs} \quad \text{주파수와 자속 밀도는 반비례 관계이다}$$

$$P_h = KfB^2 \text{에서 자속밀도와 주파수는 } f \propto \frac{1}{4}B \text{ 관계이므로}$$

주파수가 증가 할수록 자속밀도가 제곱에 반비례하여 감소하기 때문에 그 만큼 자속 밀도가 히스테리시스손을 감소시켜 주파수가 증가면 히스테리시스손은 감소한다 따라서 철손은 감소한다

• 와류손-맴돌이 전류

$$P_e = (tfB)^2 \quad (t: \text{두께})$$

※ 전압이 일정 할때

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

주파수가 증가한 만큼 자속밀도 감소하여 와류손에는 영향이 없다

• 부하손=동손

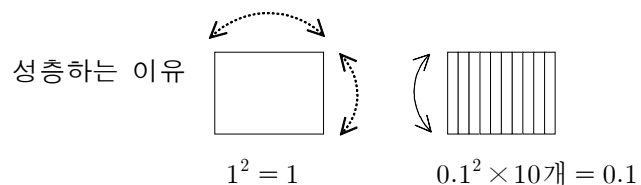
$$P_c = I^2 r$$

일반적인 경우 철손=동손 비율 1:2

◎ 변압기 효율

$$\text{실측 효율} = \frac{\text{출력}}{\text{입력}}$$

$$\text{규약효율} = \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{손실}} = \text{입력} \frac{\text{입력} - \text{손실}}{\text{입력}}$$



• 변압기 효율

$$\eta = \frac{\text{출력}}{\text{입력}} = \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{손실}} = \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{철손} + \text{동손}}$$

철손과 동손은 단위가 유효전력이고 출력은 피상전력이므로 단위를 같게 하기 위하여

출력 $VI\cos\theta$ 를 곱해준다

$$\eta = \frac{VI\cos\theta}{VI\cos\theta + P_1 + P_c}$$

$$\bullet \frac{1}{m} \text{ 부하} \Rightarrow \text{전류가 } \frac{1}{m}$$

$$\eta_{\frac{1}{m}} = \frac{\frac{1}{m} VI\cos\theta}{\frac{1}{m} VI\cos\theta + P_1 + \left(\frac{1}{m}\right)^2 P_c} \quad (\text{철손은 전류와 무관})$$

• 전일 효율(24시간) n 시간

$$\eta_d = \frac{nP}{nP + 24\text{시간 철손} + n\text{동손}} \quad \text{무부하시에도 1차측에는 24시간 전력이 공급되므로 철손은 24시간 발생한다}$$

• 최대효율조건

$$P_i = \left(\frac{1}{m}\right)^2 P_c \quad \left(\frac{1}{m}\right)^2 = \frac{P_i}{P_c} \quad \frac{1}{m} = \sqrt{\frac{P_i}{P_c}}$$

$$\eta_{\max} = \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{철손} + \text{동손}} \quad \text{최대 효율 조건 철손=동손} \quad \text{철손은 고정이므로 동손을 철손에 맞춰서 2철손}$$

$$\eta_{\max} = \frac{\text{출력}}{\text{출력} + 2\text{철손}}$$

일정시간 운전시 최대효율 조건

$$24P_i = nP_c$$

운전 시간이 짧을 경우 최대효율을 얻기 위해 무부하 손인 철손을 작게 부하손 동손을 크게 하여 운전

◎ 변압기 결선 및 운전

• Y-Y 결선

- ① 1.2차 위상차가 없다
- ② 중성점 접지-변압기 보호
- ③ 상전압이 선간전압의 $\sqrt{3}$ 배-절연이 용이
- ④ 3고조파 전류 발생하여 통신선 유도장해 발생

$Y-Y-\Delta$ 사용

• $\Delta-\Delta$ 결선

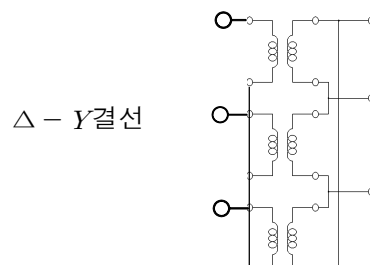
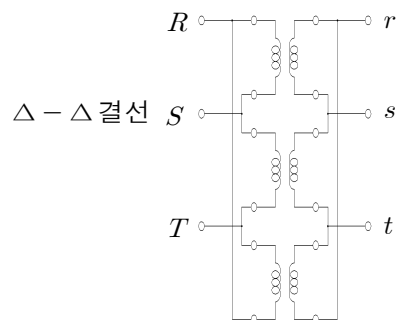
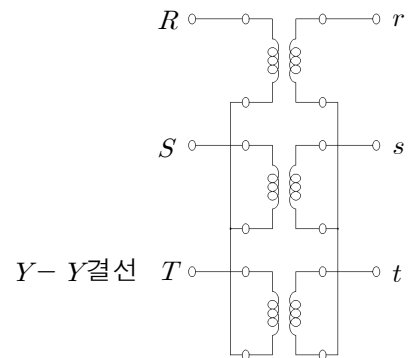
- ① 1.2차 위상차가 없다
- ② 고압에서 절연이 어렵다
- ③ 3고조파 전류 미 발생-파형 외곡이 없다-통신성 장애 미 발생
- ④ 1대 고장신 V 결선으로 계속 사용 가능
- ⑤ 비 접지
- ⑥ 66V 이하 소용량 사용

• $\Delta-Y$ 결선

- ① 승압용으로 사용
- ② 1.2차 위상차 발생 $30^\circ \left(\frac{\pi}{6}\right)$

• $Y-\Delta$ 결선

- ① 강압용으로 사용
- ② 1.2차 위상차 발생 $30^\circ \left(\frac{\pi}{6}\right)$



• V- V결선

변압기 2대로 3상전력 공급

출력비=0.577

이용률=0.866

• 변압기 병렬 운전 조건

①극성이 일치할 것-감극성, 가극성-순환전류 발생, 권선 소손

②1,2차 정격전압과 권수비가 같을 것-순환전류 권선 소손

③ $\frac{x}{r}$ 비가 같을 것 (다르면 변압기 위상차 발생)

④상회전 방향, 위상변위 가 같을 것

④ %Z강화 같을것

⑤부하분담-%Z에 반비례하고 변압기 용량에 비례

$$\frac{I_a}{I_b} = \frac{P_A \times \%Z_b}{P_B \times \%Z}$$

• 변압기의 병렬운전 조합

홀수 조합 불가능 (위상차 때문)

• 상수변화

3상→2상으로

스코트결선(T결선), 메이어 결선, 우드브릿지 결선

3상→6상으로

2차2중 Y, 2차2중 Δ, 대각 결선, 포크결선(수은정류기)

◎ 특수변압기

• 단권 변압기(승압용 변압기)

자기용량: eI

부하용량: $V_h I$

$$\frac{\text{자기용량}}{\text{부하용량}} = \frac{e}{V_h} = \frac{V_h - V_l}{V_h} = \frac{\text{승합전압}}{\text{고압측 전압}}$$

$$\text{자기용량} = \frac{\text{승압}}{\text{고압}} \times \text{부하용량}$$

$$\text{부하용량} = \frac{\text{고압}}{\text{승합}} \times \text{자기용량}$$

$$Y\text{결선} = \frac{V_h - V_l}{V_h}$$

$$V\text{결선} = \frac{2}{\sqrt{3}} \left(\frac{V_h - V_l}{V_l} \right)$$

$$\Delta\text{결선} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{V_h^2 - V_l^2}{V_l V_h} \right)$$

• 단권변압기 특성

①승압용 변압기

②자료가 단축 되어 재료절약

③누설 자속이 적고 전압 변동률이 적다

• 누설변압기

부하증가→ I_2 증가→ I_1 증가→ ϕ 증가→누설자속증가

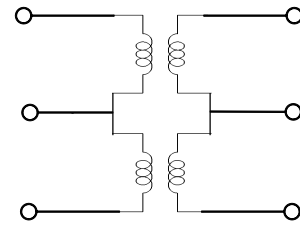
→누설리액턴스 증가→단자전압 V_2 가증가→부하전류 I_2 감소

• 3권선 변압기

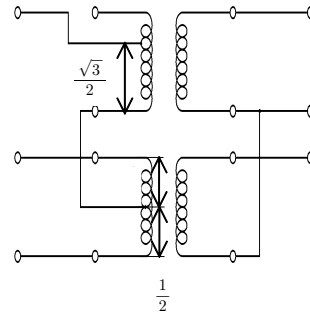
역률개설

소내 전력공급

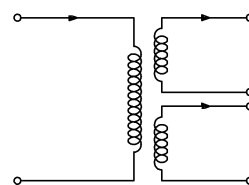
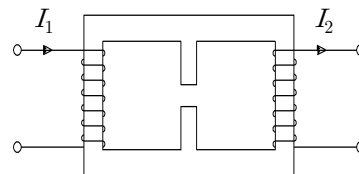
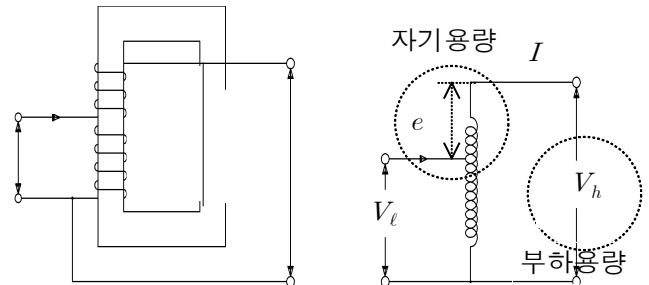
조상설비 및 3고조파 억제



V- V결선



스코트 결선



• 계기용 변압기 변류기

계기용 변압기 2차 전압은 $110[V]$ 가 정격

계기용 변류기 2차 전류는 $5[A]$

CT 점검시 유의 사항

2차측을 개방하면 굉장히 큰 여자전류가 발생하여

자속 ϕ 가 증가→ 2차측에 고전압 유기 절연 파괴

점검시 2차측 전류 단락 시킨다

PT

점검시 2차측 전류 개방 시킨다

◎ 변압기 시험법 및 취급 보수

변압기 개방회로 시험으로 측정할수 있는 항목

①무부하전류 ②히스테리시스손 ③와류손 ④여자 어드미턴스 ⑤철손

• 변압기 단락 시험으로 측정할수 있는 항목

①동손 ②임피던스 와트 ③임피던스 전압

• 등가회로 작성시 필요한 시험(기기공통)

①단락시험 ②무부하시험 ③저항측정

• 온도시험법

반환 부하법-철손과 동손만을 변압기에 공급하여 시험

• 절연내력 시험

①가압시험 ②유도시험 ③충격전압 시험 ④변압기유 ⑤절연파괴 시험

• 건조법

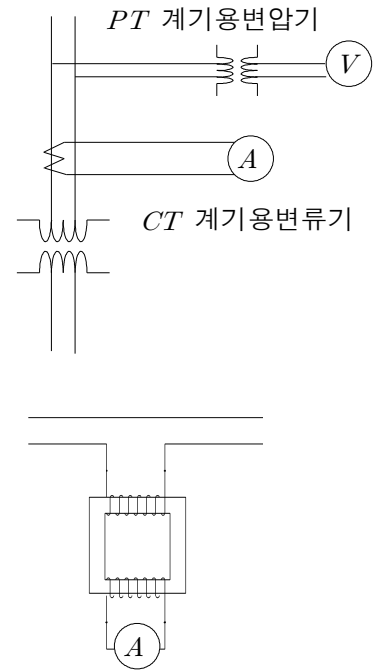
①열풍법 ②진공법 ③단락법

• 변압기 내부 보호계전기 고장 검출용 보호 계전기

①차동 계전기-변압기의 1차측 및 2차측 전류의 차를 검출하여 계전기를 동작

②압력 계전기-일정비율 이상 되었을 때 동작

③부홀쯔 계전기-변압기 내부 고장으로 절연유의 온도 상승시 발생하는 유증기 검출

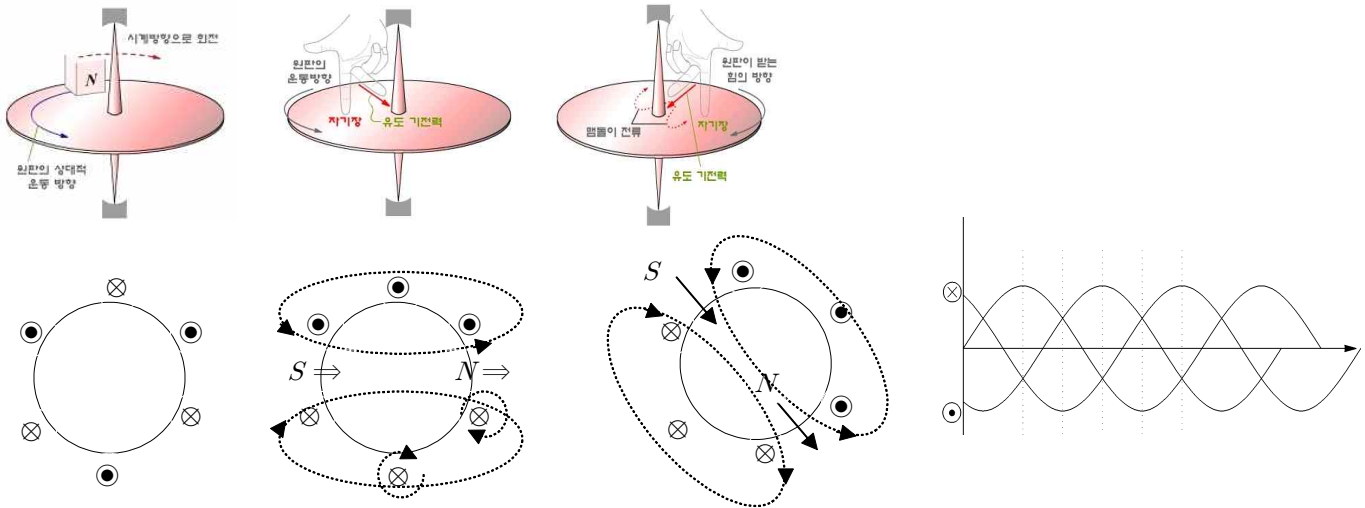


4장 유도기

17p

◎ 유도전동기의 원리 및 구조

- 회전 원리 전자 유도 법칙 이용(아라고 원판)



3상 회전 자계

단상 교번 자계

• 3상 유도전동기의 종류

농형 유도 전동기

권선형 유도 전동기

• 슬립 S 회전 손실

$$s = \frac{N_s - N}{N_s} \quad N_s\text{-동기속도 } \left(\frac{120}{P}f\right) \text{ 자계의 회전, 고정된 속도 } N\text{-회전속도}$$

$$\begin{aligned} sN_s &= N_s - N \\ N &= N_s(1 - S) \\ N_s &= \frac{N}{1 - S} \end{aligned}$$

• 슬립의 범위

속도가 가장 빠를 때 $N = N_s \quad s = 0$

속도가 가장 느릴 때 $N = 0 \quad s = 1$

전동기 $0 < S < 1$

발전기 $S < 0$

제동기 $S > 1$

◎ 유도기전력

1차계자 2차계자

$$N = N_s \quad E_1 \quad E_2 = 0$$

$$N = 0 \quad E_1 = E_2$$

• 전동기가 정지 하고 있는 경우 $E_1 = E_2 \quad f_1 = f_2$

$$f_1 = f_2$$

• $N = N_s$ 운전 $E_1 \quad E_2 = 0$

$$f_1 \quad f_2 = 0$$

• 속도 N 운전 $E_2 = sE_1 \quad f_2 = sf_1$

• 유도전동기의 등가회로

1차는 무시하고 2차측 기준

$$\text{정지시 } I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{r_2^2 + x_2^2}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{회전시} &= \frac{sE_2}{\sqrt{r_2^2 + x_2^2}} = \frac{sE_2}{\sqrt{r_2^2 + (sx_2)^2}} \times \frac{1}{s} \\
 &= \frac{E_2}{\sqrt{(\frac{r_2}{s})^2 + x_2^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{(\frac{r_2}{s} + r^2 - r_2)^2 + x_2^2}} \\
 &= \frac{E_2}{\sqrt{(r_2 + \frac{r_2}{s} - r_2)^2 + x_2^2}}
 \end{aligned}$$

$$\bullet \text{ 기계적 출력 } \frac{r_2}{s} - r_2 \times \frac{s}{s} = \frac{r_2}{s} - \frac{s}{s} r_2 = \boxed{\left(\frac{1-s}{s}\right)r_2}$$

● 전력의 변환

$$P_2 = P_c + P_0 + P_m$$

$$\bullet \text{ 기계적 출력 } P_0 = I_2^2 \left(\frac{1-s}{s}\right) r_2$$

$$P_c = I^2 r_2 + I^2 \left(\frac{1-s}{s}\right) = I^2 r_2 \frac{1}{s}$$

$$P_c = I_2^2 r^2 \quad P_2 = I^2 r^2 \frac{1}{s}$$

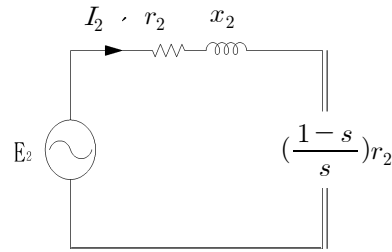
$$P_c = P_2 \times s$$

$$\boxed{P_c = sP_2, \quad P_2 = \frac{P_c}{s}}$$

$$P_2 = P_0 + P_c$$

$$P_0 = P_2 - P_c = P_2 - sP_2 = P_2(1-s)$$

$$\bullet \text{ 효율 } \eta = \frac{\text{출력}}{\text{입력}} = \frac{P_0}{P_2} = \frac{P_2(1-s)}{P_2} = 1-s$$



$$P_2 = \frac{P_0}{1-s} \quad N_s = \frac{N}{1-s}$$

$$\bullet \text{ 유도전동기의 비례식 } P_2 \quad P_0 = P_2(1-s) \quad P_c = sP_2$$

$$P_2 : P_c : P_0 = 1 : s : 1-s$$

• 토크

$$\tau = \frac{P}{w} = \frac{P}{2\pi n} = \frac{P}{2\pi \frac{N}{60}} = \frac{60}{2\pi} \frac{P}{N} [N \cdot m]$$

$$\tau = \frac{60}{2\pi} \frac{P}{N} = 9.55 \frac{P}{N} [N \cdot m] = 0.975 \frac{P}{N} [kg \cdot m]$$

$$\tau = 9.55 \frac{P_0}{N_s} \quad \tau = 9.55 \frac{P_0}{N}$$

$$\tau \propto V^2 \quad s \propto \frac{1}{V^2}$$

$$\tau = \frac{P}{w} \quad P = w\tau \quad \tau = \frac{P}{2\pi n} \quad P = 2\pi n\tau$$

$$\tau \propto \frac{1}{n} \quad \tau \propto P$$

• 기계적 출력과 토와의 관계

$$P_0 = 2\pi n T = 2\pi \frac{2f}{P} (1-d) T = \frac{4\pi}{P} f(1-s) T$$

• 동기 와트

동기속도로 회전할 때 2차입력 P_2 를 토크로 나타낸 값

$$T = \frac{60}{2\pi} \frac{P_2}{N_s} \quad P_2 = \frac{2\pi}{60} N_s T$$

• 최대토크 슬립 $s_t = \frac{r^2}{x_2}$

• 최대출력 $P_m = \frac{V^2}{2(r_1 + r_2 + x_1 + x_2)}$

• 기동시 최대토크와 같은 토크로 기동하기 위한 외부저항

$$R = \frac{1-s_t}{s_t} r_2 = \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2)^2} - r_2 = (x_1 + x_2) - r_2$$

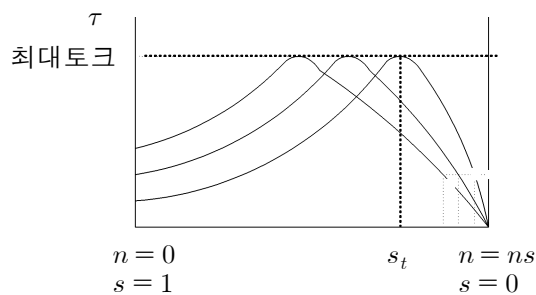
• 주파수 변화에 따른 전동기의 특성 $N = N_s(1-s) = \frac{120}{P} f(1-s)$

• 역률은 주파수에 비례

• 자속은 주파수에 반비례

◎ 3상 유도전동기의 운전

• 비례추이



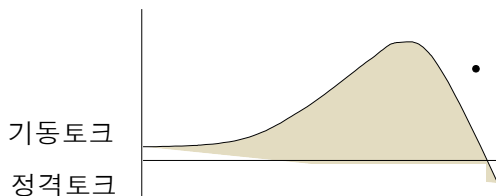
2차측 저항을 조절함으로써 크기를 조절 할수 있다

2차저항 증가 → 슬립증가 → 속도감소 → 토크증가

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

비례추이 할 수 없는 것

출력, 효율, 동손, 동기속도



• 가속토크- 실제토크와 정격 토크의 차이

기동법 { 전전압 권선형-2차 저항법(비례추이)
 Y-Δ
농형 { 리액터
 기동 보상기

• 농형 정동기의 기동법

① 전전압 기동법(직입기동)-5kW이하 직접 전압 인가

② Y-Δ -5~15kW $I_Y = \frac{1}{3} I_\Delta$ 기동은 Y결선 운전 Δ결선

③ 리액터 기동-리액터 설치

④ 기동보상기법-15kW이상 3상 단권 변압기로 기동전압 감소시켜 기동전류를 작게

⑤ 콘도로퍼법 리액터+기동보상기법 혼합

• 권선형 전동기의 기동법-2차 저항기동(비례추이)

◎ 속도제어

• 농형 $N = N_s(1-s) = \frac{120}{P} f(1-s)$

① 극수-속도조절이 단계적

② 주파수(VWF)-인버터 전압조정, 주파수조정 용도-선박 추진용, 인건, 방직 포토모터

③ 1차전압조정 $s \propto \frac{1}{V^2}$

- 권선형

① 2차 저항

② 2차 여자제어-2차 슬립주파수에 전압 직접 인가 크레머방식, 세르비어스 방식

③ 종속 접속 속도 제어법

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

$$\text{직결 가동 } N = \frac{120}{P_1 + P_2} f \quad \text{직렬 차동 } N = \frac{120}{P_1 - P_2} f \quad \text{병렬 } N = \frac{2 \times 120}{P_1 \pm P_2} f$$

- 역회전 -3선중 2개의 위치를 반대로

- 제동-역전제동, 발전제동, 희생제동, 역상제동

- 기타 유도기기

- 기동방식

① 반발기동형

② 콘덴서 기동형

③ 분상기동형-상이 분리

④ 셔이딩 코일형-역저지 할수 없다 녹은기, 전축

- 단상 유도 전압 전동기

$$\text{전압 조정 범위 } V_2 = V_1 + E_2 \cos \theta$$

교번자계

입출력 동위상

단락전선-전압강하 경감

$$\text{출력 } P = \sqrt{3} E_2 I_2 \times 10^{-3} [KVA] \quad \text{또는} \quad \sqrt{3} E_2 I_2 [VA]$$

- 3상 유도조정기

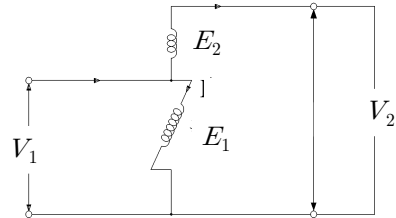
$$V_2 = \sqrt{3} (V_1 + E_2 \cos \theta)$$

회전 자계

입 출력 사이에 위상차

단락전선 없다

$$P = \sqrt{3} E_2 I_2$$

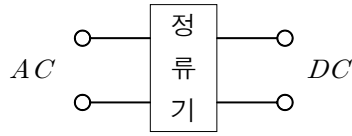


5장 정류기 AC→DC

21p

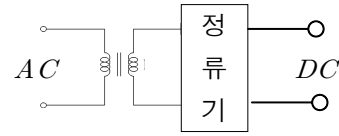
• 회전 변류기 직류전압 조정 방법

- ① 직렬리액터
- ② 유도전압조정기
- ③ 동기 송압기
- ④ 부하시 전압 조정



입력에서 전압 조정

정류기 원리



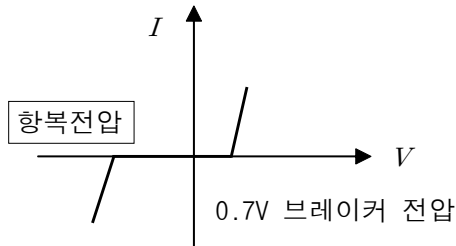
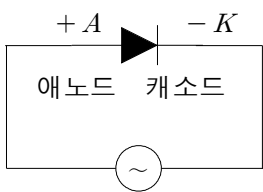
• 수은 조정기

역호-극성이 바뀌는 현상

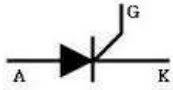
영호의 발생 원인-①과전압 과전류 ②내부 잔존 가스의 압력 상승 ③불순물

◎ 반도체 소자

• PN 접합 다이오드



• SCR



게이트에 펄스가 입력 되어야 도통 된다

• SCR 특성

- ① 역저지 3단자 사이리스터
- ② 아크발생이 없다-과전압에 약하다
- ③ 과 전류가 흐르고 있을 때 양극 전압 강화가 적음
- ④ 도통할 때까지 시간이 짧다
- ⑤ 역률각 이하에서 제어 불능

• SCR turn on 조건

- ① A와K간 브레이크 오버전압 이상을 인가 한다
- ② 게이트에 래칭전류 이상의 전류 인가

• SCR turn off 조건

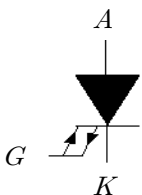
- ① 애노드의 극성을 -로 한다
- ② SCR에 흐르는 전류를 유지전류 이하로 한다

turn on시간-게이트 전류를 가하여 도통완료까지의 시간

래칭전류-SCR을 turn on 시키기 위하여 게이트에 흘려야 할 최소 전류

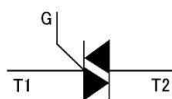
유지전류-SCR이 on상태를 유지하기 위한 최소 전류

• GTO



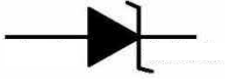
역저지 3단자

• TRIAC



양방향 3단자 사이리스터

- 제너 다이오드



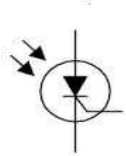
정전압 회로

- SSS 사이닥 양방향 대칭형 스위치



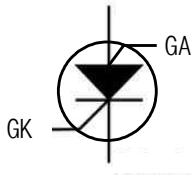
교류제어용

- LASCR 감광 역저지 3단자 사이리스터



광스위치, 릴레이, 카운터 회로

- SCS 역저지 4단자 사이리스터



광에 의한 스위치제어

- DIAC 4층 다이오드



트리거 펄스 발생 소자

- ◎ 다이오드 정류회로

- 단상 반파 정류 회로

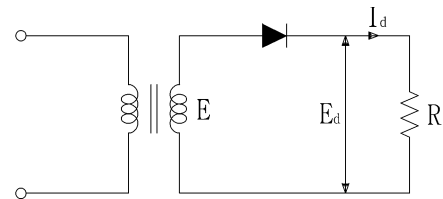
$$\text{출력 } E_d = \frac{\sqrt{2}}{\pi} E = 0.45E$$

$$\text{최대전압 (첨두전압) } VIP = \pi E_d (\text{출력}) \quad \text{또는} \quad \sqrt{2} E (\text{입력})$$

$$\text{정류효율 } \eta = 40.6\%$$

$$\text{주파수 } f_{\text{출력}} = f_{\text{입력}}$$

$$\text{맥동률} = \frac{\text{교류분}}{\text{직류분}} = 121\%$$



- 단상전파 정류 회로

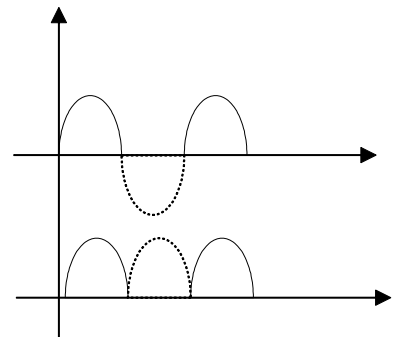
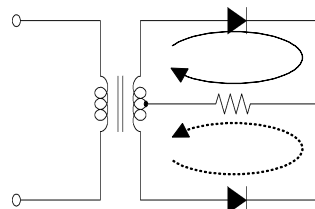
$$E_d = \frac{\sqrt{2}}{\pi} E = 0.9E$$

$$VIP = \pi E_d$$

$$\eta = 81.2\%$$

$$f_{\text{출력}} = 2f_{\text{입력}}$$

$$\text{맥동률} = 48\%$$



- 브릿지 정류 회로 다이오드 4개

$$VIP = \frac{1}{2} \pi E_d$$

- 3상반파 정류회로

$$E_d = 1.17 E$$

$$f_{\text{출력}} = 3f_{\text{입력}}$$

$$\text{맥동률} = 17\%$$

- 3상전파 정류회로

$$E_d = 1.35 E$$

$$f_{\text{출력}} = 6f_{\text{입력}}$$

$$\text{맥동률} = 4\%$$

- ◎ 사이리터 정류회로

- 단상반파 정류회로

$$\text{R부하 } E_d = \frac{\sqrt{2}}{\pi} E \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right)$$

$$\text{L부하 } E_d = \frac{\sqrt{2}}{\pi} E \cos \alpha = 0.45 E \cos \alpha$$

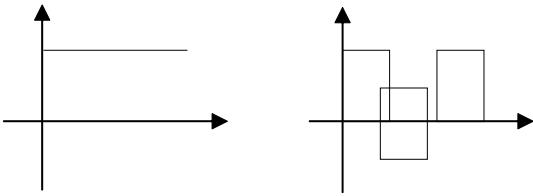
- 단상전파 정류회로

$$\text{R부하 } E_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} E \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} E (1 + \cos \alpha) = 0.452 (1 + \cos \alpha)$$

$$\text{L부하 } E_d = 0.9 E \cos \alpha$$

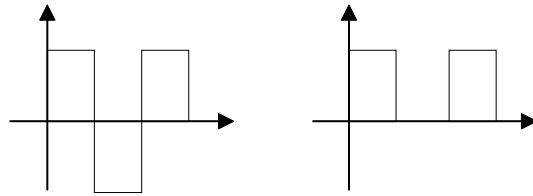
- 전력변환

DC → AC



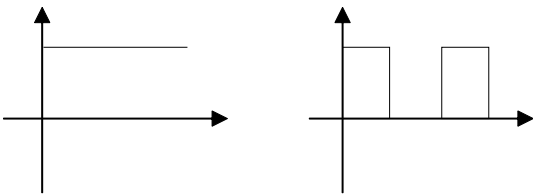
인버터

AC → DC



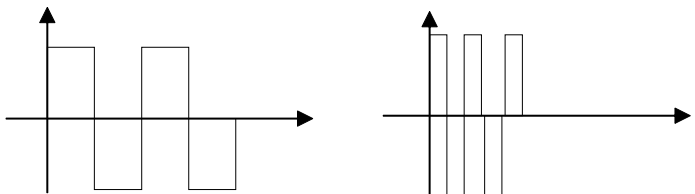
정류기, 컨버터

DC → DC



초퍼

AC → AC



사이클로 컨버터-주파수 변환기

- ◎ 교류정류자기

- 단상 직권 정류자 전동기

전기자 및 계자권선의 리액턴스 강하 때문에 역률에 따라서 출력이 매우 저하 권수를 작게하여 인덕턴스 감소 속도가 증가할수록 역률 개선

