

발전기 회전력 → 전기
전동기 전기 → 회전력

1장. 직류기 

2장. 동기기 $\begin{cases} \text{동기 발전기} \\ \text{동기 전동기} \end{cases}$

$\begin{cases} \text{부하} \text{有} \\ \text{부하} \text{無} \end{cases}$

속도조절x
정속도전동기 (압축기, 분쇄기, 송풍기 등)
동기조상기* (무효전력 조절 → 전압 역률 조정)

3장. 변압기

4장. 유도기 = 전동기

5장. 정류기 = 전력변환장치 (AC → DC)

blog.naver.com/thumb-jw

[제1장] 직류기

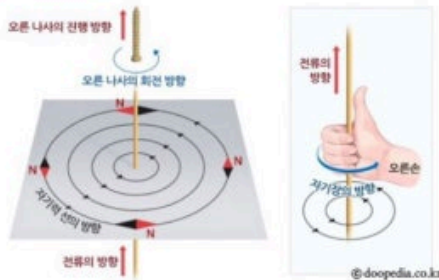
① 직류기의 원리

(1) 암페어의 오른 나사 법칙 : 전류와 자속의 방향성

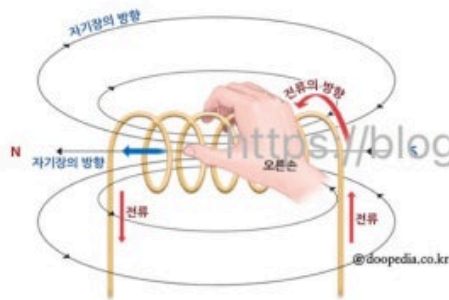
전류가 흐르는 도체 주위에는 자계가 발생하며,
자계의 방향을 오른 나사의 회전방향으로 잡으면 전류의 방향은
그 나사의 진행방향에 된다

$$B = k \times \frac{I}{r}$$

① 직선도선일 때



② 솔레노이드 형태일 때 (전류에 의한 자계)



(2) 패러데이-렌츠의 법칙

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

코일의 감긴 횟수 = N회
렌츠·패러데이

* 패러데이 법칙 : 전자유도에 의해 회로에 발생하는 기전력 (e)은
회로를 통과하는 자기력선속 (ϕ)의 시간변화율에 비례

* 렌츠의 법칙 : 전자유도에 의해 회로에 발생하는 기전력 (e)은
자기장의 변화를 상쇄하는 방향으로 발생함

(3) 플레밍의 오른손 법칙 (발전기에서)



자기장에서 도선이 움직일 때

유도기전력의 방향은 자기장의 방향과
e B
도선이 움직이는 방향으로 결정됨
F

$$e = B l v \sin \theta [V]$$

(4) 플레밍의 왼손 법칙 (전동기에서)



자기장속에 있는 도선에 전류가 흐를 때,

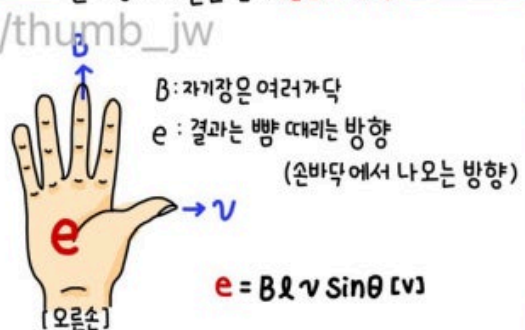
도선이 받는 힘의 방향은 자기장의 방향과
F B
도선에 흐르는 전류의 방향으로 결정됨
I

$$F = B I l \sin \theta [N]$$

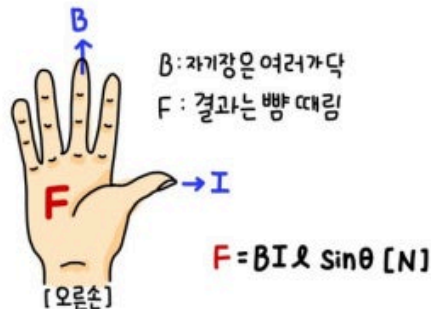
* 둘다 오른손으로 쉽게 외우는 법 *

- 결과가 손바닥 발전기 법칙은 결과가 유기 기전력 e
전동기 법칙은 결과가 힘 F
- 자기력선은 여러가닥이므로 네 손가락이 B

플레밍의 오른손 법칙 (발전기에서)

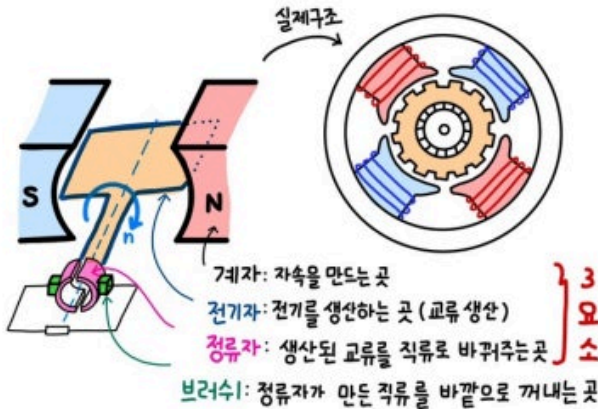


플레밍의 왼손 법칙 (전동기에서)



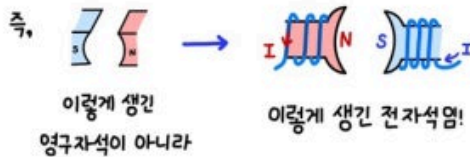
② 직류 발전기의 구조

*** 직류기의 3요소 *** 계자 전기와 정류자



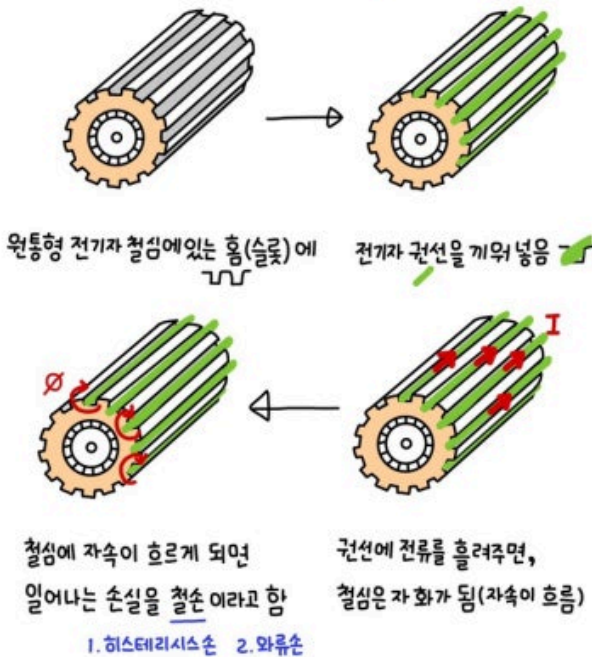
(1) 계자 (Field magnet)

- ① 역할: 자속을 생산
- ② 구조: 계자 철심 + 계자 권선



(2) 전기자 (Armature)

- ① 역할: 자속과 소교하여 기전력 발생
- ② 구조: 전기자 철심 + 전기자 권선



* 철손 *

1. 히스테리시스 손: 철심이 자화하는데 쓰인 에너지

$$P_h = k_f B_m^2$$

2. 와류 손: 철심에서의 와류에 의한 손실

$$P_e = k (t k_f f B_m)^2$$

* k_f : 파형률

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

자속의 시간적 변화가 회전하는 전류를 만든다. 와전류

$$\nabla \times \frac{\mathbf{B}}{\mu} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

k : 도전율 t : 철심의 두께 f : 주파수 B_m : 최대 자속 밀도

③ 철손을 줄이기 위해

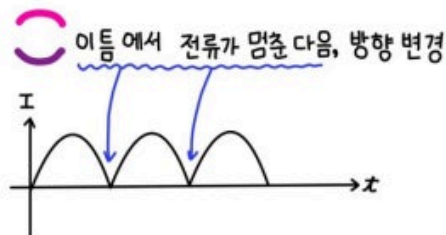
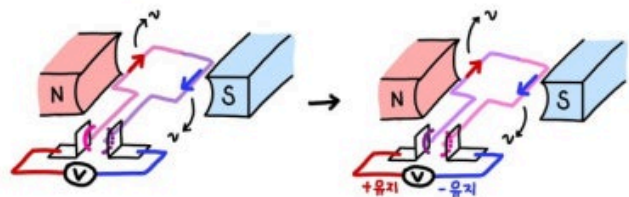
- * 전기자 철심에 규소강판을 성층
- 히스테리시스 손 감소
- 와류 손 감소 (\because 두께가 감소)

- 규소의 비중: 약 4[%]
- 두께: 0.35 ~ 0.5 [mm]



(3) 정류자 (Commutator): 교 → 직

- : 도체가 일정한 방향으로 회전하면,
- N극쪽은 \nearrow S극쪽은 \searrow 의 전류가 흐르는데,
- 정류자 \curvearrowright 가 이 방향을 유지시켜줌.

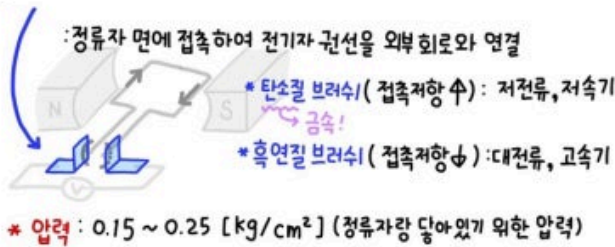


(4) 정류자 편수 구하기 (C) (C)

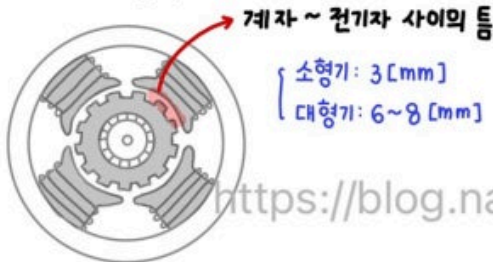


* 2로 나누는 이유: 연결되어 있으므로

(5) 브러시 (Brush)

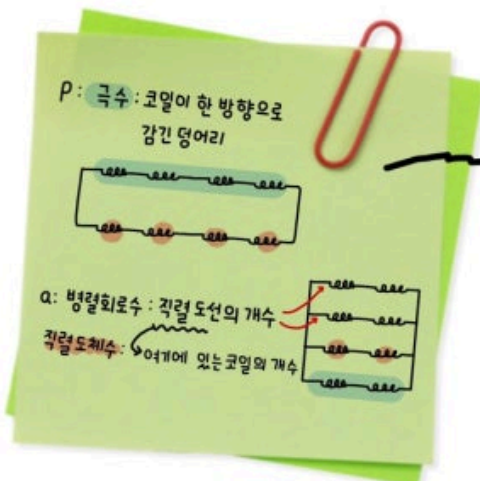


(6) 공극 (Air gap)

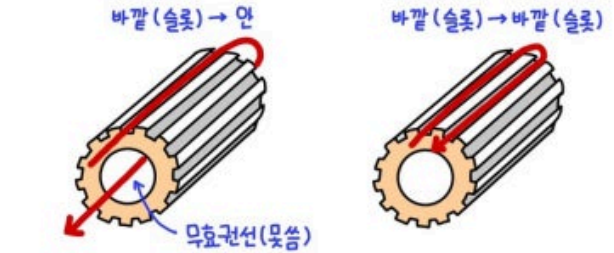


: 공극이 작을수록 계자의 자속이 전기자에 잘 닿아서 유기전력이 큼
 근데 또 너무 가까우면 기계적 결함의 우려가 있음

* 직류기의 3요소 * 계자 전기자 정류자



[3] 전기자 권선법



❌ [환상권]

✅ [고상권]

코일도 한 선밖에 못쓰고,
 제각 및 유지보수도 어려워서 안 씀!



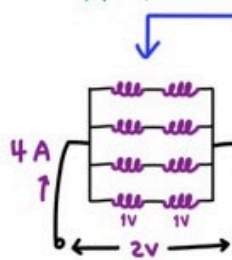
❌ [1층권/단층권]

안 씀!

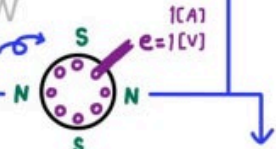


✅ [이층권]

총도체수: $Z = 8$
 극수: $p = 4$



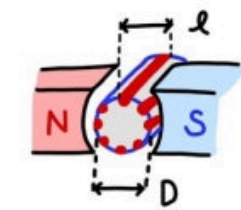
[중권: 병렬권]
 Lap winding



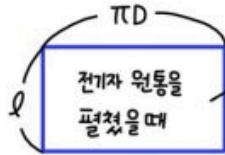
[파권: 직렬권]
 Wave winding

$a = p = 4$	a 병렬회로수	$a = 2$
저전압, 대전류	전압, 전류특성	고전압, 소전류
$Z/a = 2$	직렬도체수	$Z/a = 4$
$E = e \times \frac{Z}{a} = 2V$	전체 유기 기전력	$E = e \times \frac{Z}{a} = 4V$

4 직류발전기의 이론



l : 도체의 길이 [m]
 P : 극수
 D : 전기자 직경 [m]
 ϕ : 극당 자속수 [wb]
 총 자속수 : $P\phi$ [wb]
 ω : 총도체수



면적 $A = \pi D l$ [m²]

(1) 도체 1개당유기전력

$$e = \frac{P\phi N}{60}$$

* 유도 *

$e = B l v \sin \theta$ [v] 에

$\left\{ \begin{array}{l} * v [\text{m/s}] = \pi D n \quad n [\text{rps}], N [\text{rpm}] \\ * \text{자속밀도 } B : \text{단위면적당 자속수} \\ B = \frac{P\phi}{\pi D l} [\text{wb/m}^2] \end{array} \right\}$ 를 대입

$$e = \frac{P\phi}{\pi D l} \times l \times \pi D n = \frac{P\phi}{\pi D l} \times l \times \pi D \frac{N}{60} = \frac{P\phi N}{60}$$

(2) 전체 도선의유기전력

$$E = k\phi N$$

$$E = \frac{Z}{a} \times e = \frac{P\phi N}{60a} \quad \text{피자판 목심에}$$

ω : 총도체수 a : 병렬회로수

$$k = \frac{PZ}{60a} \quad \text{기계상수}$$

* 유기전력 E는

자속과 회전수에 비례!

$$E = k\phi N$$



(3) 전기자반작용 (Armature reaction) ☹



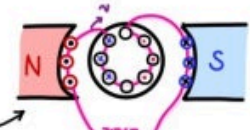
전기자 도체에 흐르는 전류 I_a 가
 기자력 ϕ 을 발생시켜서
 * 주자속 ϕ 을 감소, 편중시키는 현상
 * 주자속 : 계자에서 나오는 자속

① 영향

- 중성축이 이동함 (발전기는 회전방향, 전동기는 회전 반대방향으로)
- 주자속이 감소하여 유기기전력이 감소함
- 정류가 잘 안됨 (중성축이 이동 해서)
- 불꽃 발생우려가 있음 (중성축이 이동 하여 브러시 위치가 땡사리(?) 나서)

② 방지대책

- 브러시의 전기적 중성축을 이동한다.
- 보상권선을 설치한다 (효과 BEST)
 how? 전기자 권선과 직렬로, 극성은 반대로
- 보극(보조극)을 설치한다.



[발전기]



ϕ' : 전기자 전류에 의한 자속

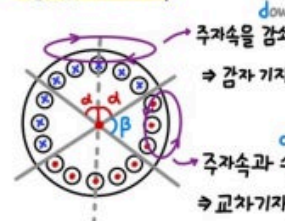


주자속 증가 부분
 주자속 감소 부분



전기자 중성축이 편중되고, 주자속이 감소함
 발전기는 회전방향으로
 전동기는 회전 반대방향으로
 그래서 이 브러시를 옮겨야해!

③ 전기자 기자력



주자속을 감소시키는 기자력
 \Rightarrow 감자 기자력 $A_{Td} = \frac{\omega I_a}{2ap} \times \frac{2d}{\pi} [AT/극]$
 주자속과 수직으로 교차함
 \Rightarrow 교차기자력 $A_{Tc} = \frac{\omega I_a}{2ap} \times \frac{\beta}{\pi} [AT/극]$

기자력 $F = NI$ 에서 코일수 $N = \frac{\omega}{2}$

* 감자기자력 [AT/극]

$$A_{Td} = \frac{\omega}{2} \times \frac{2d}{\pi} \times \frac{I_a}{a} \times \frac{1}{p}$$

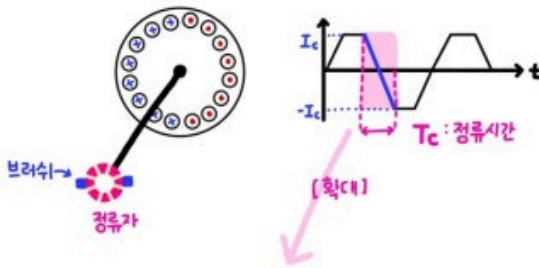
각도 비율

* 교차기자력 [AT/극]

$$A_{Tc} = \frac{\omega}{2} \times \frac{\beta}{\pi} \times \frac{I_a}{a} \times \frac{1}{p}$$

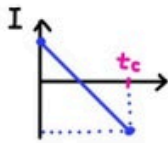
ω : 총도체수, a : 병렬회로수, I_a : 총전류

(4) 정류작용 (AC → DC)

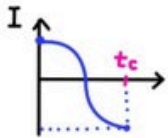


① 정류곡선

1. 직선정류 ideal

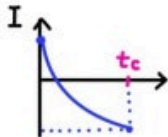


2. 정현정류



보극을 적당히 설치한 경우,
양호한 정류곡선

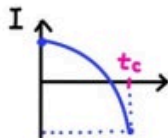
3. 과정류



• 보극을 많이 설치한 경우
• 초기 전류 변화량이 너무 높음
→ 과전압으로 인한
브러쉬 전단에 불꽃 우려!

$$\uparrow V = L \cdot \frac{di}{dt} \uparrow$$

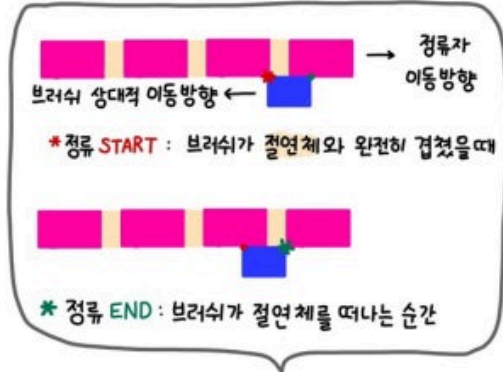
4. 부족정류



• 보극을 적게 설치한 경우
• 후기 전류 변화량이 너무 높음
→ 과전압으로 인한
브러쉬 말단에 불꽃 우려!

② 정류시간

• 정류자를 펼친 모습



걸린 시간 = T_c , 이동거리 = $b - \delta$, 속도 = 전기자의 회전속도 v

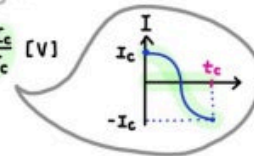
$$\therefore \text{정류 시간 } T_c = \frac{b - \delta}{v} \quad \delta: \text{절연폭} \quad b: \text{브러쉬 폭}$$

③ 리액턴스 전압

정류를 하는 동안 코일(L)으로 이루어진 정류자에

시간에 따라 전류가 변하므로 ($\frac{di}{dt}$) 리액턴스 전압 e_L 이 발생

$$e_L = L \cdot \frac{di}{dt} = L \cdot \frac{2I_c}{T_c} [V]$$



④ 양호한 정류 대책

[전압정류]

* 리액턴스 전압을 적게한다 → 분포권, 단결권

1. 인덕턴스 (L) 가 작을 것
2. 정류주기 T_c 를 길게한다 → 회전속도를 낮춘다.

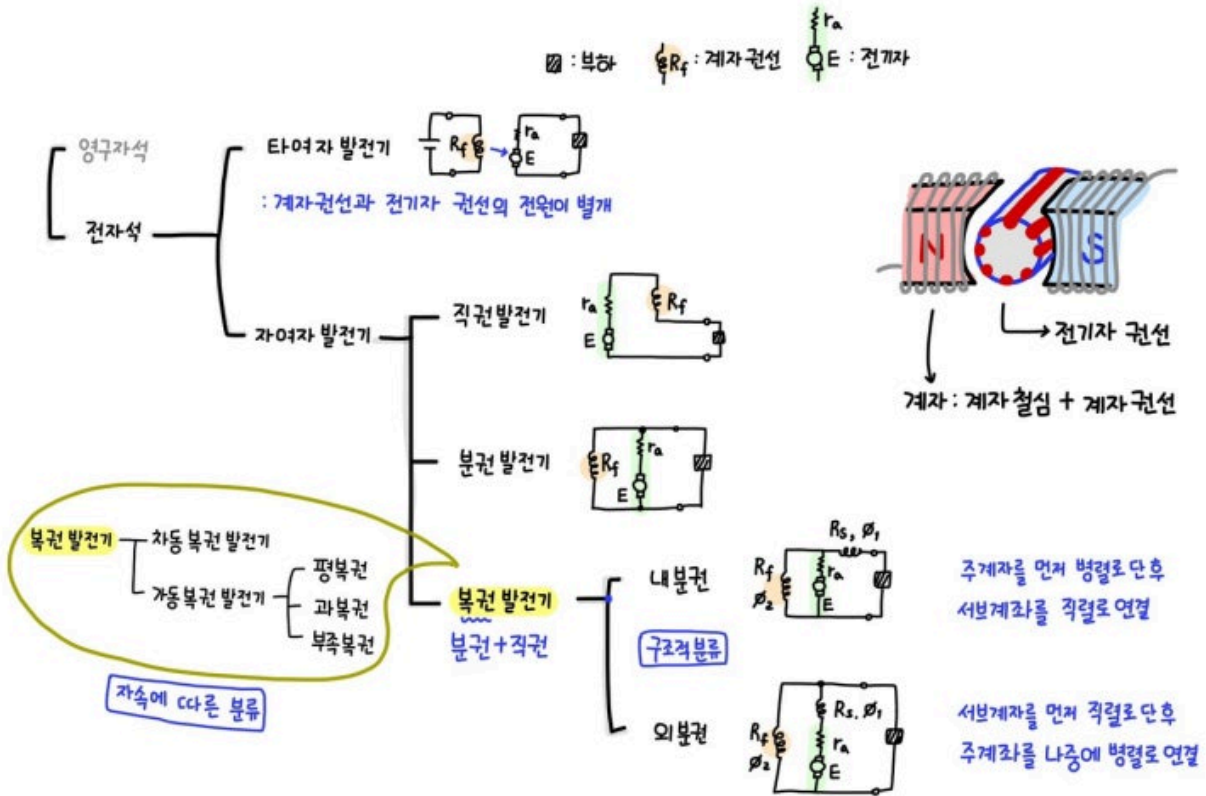
* 보극을 적당하게 설치할 것

[저항정류]

* 접촉저항이 큰 탄소질브러쉬를 사용할 것

* 전기자 반작용에는 보상권선, 전압정류에는 보극 *

5 직류발전기의 종류



* 기호 정리 *

I_a : 전기자 전류

I_f : 분권 계자 전류

I_s : 직권 계자 전류

I_a : 부하 전류

V : 단자전압

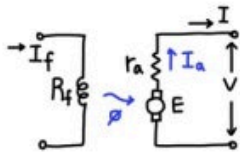
r_a : 전기자 저항

R_f : 분권 계자 저항

R_s : 직권 계자 저항

E : 유기 기전력

(1) 타여자 발전기



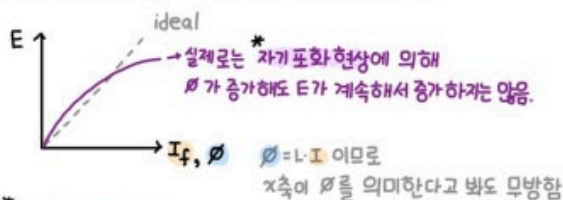
- $I_a = I$ 브러쉬 전압강하인데, 보통 생략함!
- $E = V + I_a r_a + e_b \rightarrow \therefore \text{출력 } V = E - I_a r_a$
- 무부하 일때

$$I = I_a = 0, I_f \neq 0 \therefore E = V_0 = \frac{P \cdot \phi \cdot N}{60 a}$$

- * 특징 ① 잔류자기가 없어도 발전 가능 (자여자 발전가능)
- ② 운동기 회전 방향과 반대로 해도 발전 가능 (역회전 가능)
 \Rightarrow why? 자속의 전원이 분리되어 있으므로.
- ③ 정전압을 공급한다.

* 용도 : 시험용, 고전압 발전기, 직류 전동기 전원, 교류 발전기 여자전원

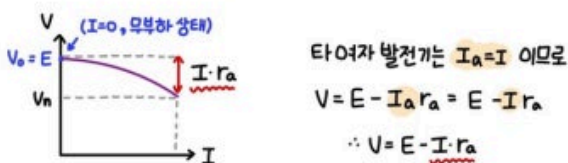
① 무부하 특성곡선 (계자전류 I_f - 유기기전력 E)



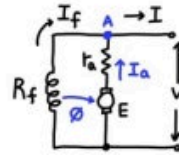
* Q. 자기포화현상이란?

A. 계자 철심은 자신이 낼 수 있는 최대의 자속세기가 정해져 있음.
 물을 뿜어내는 호스의 크기로 인해, 뿜어낼 수 있는 물의 한계가 있는 것과 같은 이치임!

② 외부 특성곡선 (부하전류 I - 단자전압 V)



(2) 분권 발전기



$$E = k \phi N$$

- $I_a = I + I_f$ (at node A) 근데 I_f 고려하라는 말 없으면, $I_a = I$ 로 봐도 73
- $V = I_f \cdot R_f$ Why? 계자전류는 아주 작아서!
- $V = E - I_a r_a$ $E = V + I_a r_a$
- 무부하 일때 $I = 0, I_a = I_f, E \neq V_0$

* 특징

1. 잔류자기가 없으면 발전이 불가능
2. 전기자 회전 방향을 반대로 하면 잔류자기가 소멸되어 발전 불가능
3. 무부하 운전 금지 Why? 계자권선이 손실

$I_a = I + I_f$ 인데, 무부하 상태에서 $I = 0 [A]$ 가 되버리면 전기자전류가 몽땅 I_f 로 가버림.
 but 계자는 아주 조금의 전류만 있으면 되는데 부하 전류까지 먹어버리면 계자권선이 손실됨!

4. 전압변동률이 적음
5. 운전 중 서서히 단락하면 ($R=0$)
 단락전류가 처음에는 매우 크나 종래에는 소전류가 흐른다.
 Why? 전류 $\uparrow \rightarrow$ 전기자반작용 $\uparrow \rightarrow$ 전압강하 $\uparrow \rightarrow V$ 감소 $\rightarrow \phi$ 감소
6. 운전 중 계자 회로를 갑자기 열면 계자권선에 고압이 유도되어 파괴될 수 있음
 Why? $e = H \cdot \frac{d\phi}{dt}$
7. 계자저항 R_f 가 임계저항보다 작아야 함
8. 정전압을 공급함

' $E = k \phi N$ ' 식에서 전기자가 아무리 회전을 해도 ($N \uparrow$), 계자에서 자속을 안주면 ($\phi = 0$) 절대 유기기전력 안생김 즉, 조금의 ϕ 라도 꼭 존재해야함!

잔류자기!

https://blog.naver.com/thumb_jw

타여자 발전기, 자여자 발전기

EOMJI WORLD

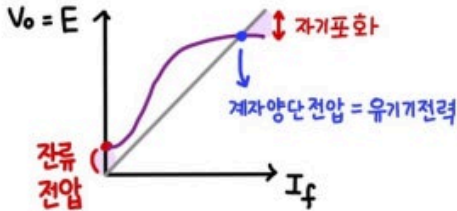
무부하 특성 곡선

외부 특성 곡선

(2) 분권발전기 ☆

① 무부하 특성곡선 (계자전류 I_f - 유기기전력 E)

↳ 원래는 무부하 운전이 불가능, 그래도 특성을 봐보는 거야!



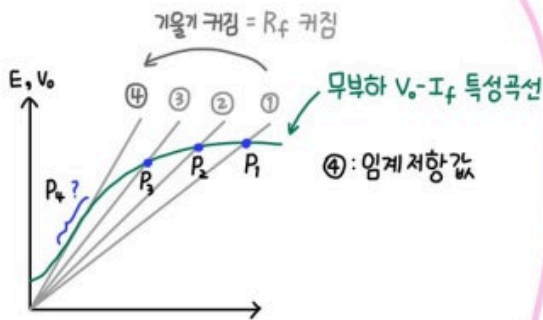
기울기 $= \frac{V}{I_f} = R_f$, 회색직선은 계자저항선을 뜻함

즉, R_f 값에 계자저항선이 비례함.

무부하 특성곡선과 접하는 계자저항선 을 '임계저항선' 이라하는데

이 계자저항선이 임계저항선을 넘어버리면 () 발전이 불가

* 그래서 실제로는 R_f 값을 조절함 →

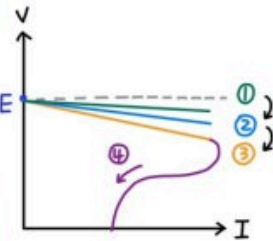
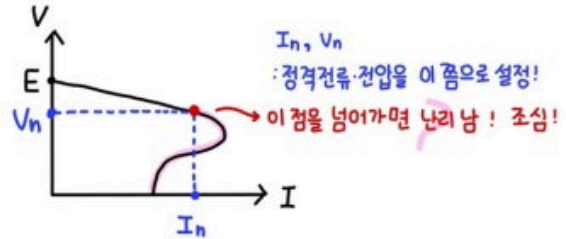


① → ④ 로 갈수록 (계자 저항이 커질수록)

무부하 특성곡선과 만나는 점 • 이 낮아짐

그러다 ④ 임계 저항값에선 점 • 조차 정할수 X → 불안정...

② 외부 특성곡선 (부하전류 I - 단자전압 V)



I가 증가하면

$V = E - I_a R_a$, $I_a = I + I_f$ 에서

① 전기자 저항 강하 $I_a R_a$ 가 증가하여 V 감소

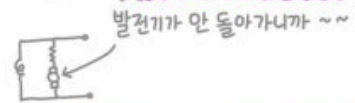
② → I_a 증가하면 전기자 반작용으로 V 더 감소

③ → $V = I_f R_f$ 이므로 I_f 도 감소

→ $\phi = L \cdot I_f$ 이므로 ϕ 감소

→ $E = k \phi N$ 이므로 E 도 감소

④ → 유기기전력이 감소하면 I 자체가 줄어 들 수 밖에 없음

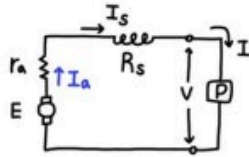


분권발전기의 전압회립 조건

1. 잔류자기가 존재해야함
2. 역회전 운전 불가능
3. 분권 계자저항 값이 임계저항보다 작아야 한다.
why? R_f 가 더 크면 전류가 안가져? 그럼 $I_f = 0$ 이되고 $\phi = 0$
4. 기동방법으로는 R_f 를 기동시 최대로 했다가
점점 줄여나가는 방식으로 기동함

https://blog.naver.com/thumb_jw

(3) 직권발전기



• $I_a = I_s = I$
 • $V = E - I_a r_a - I_s R_s = E - I(r_a + R_s) \quad (\because I_a = I_s = I)$

① 무부하 특성곡선 (계자전류 I_s - 유기기전력 E)

무부하시 $I = 0 \rightarrow I_s = 0$.

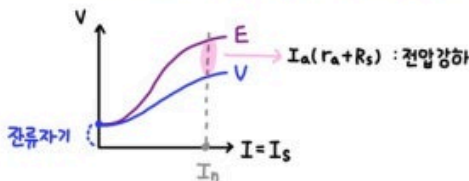
즉, 계자에서 공급되는 자속 ϕ 가 없다는 뜻 : $\phi = 0$

$\therefore E = k \phi N = 0$

[해석]: 무부하시 직권발전기는
 → 유기 기전력이 발생 되지 않는다.
 → 전압획립이 불가능하다.

전류자기는 존재해야함

② 외부특성곡선 (부하전류 I - 단자전압 V)



직권발전기의 전압 획립 조건

1. 전류자기가 존재 해야함
2. 역회전 운전금지
3. 무부하시 전압획립 불가능

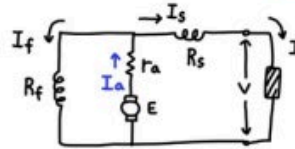
복권발전기
 - 차동 복권발전기
 - 가동복권발전기
 - 평복권
 - 과복권
 - 부족복권

(4) 복권발전기

[구조적분류]

① 내분권

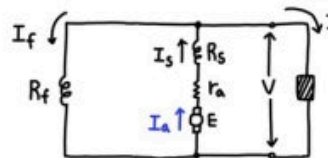
분권먼저!



• $I_a = I_f + I = I_f + I_s \quad (\because I = I_s)$
 • $E = V + I_a r_a + I_s R_s$
 • $V = E - (I_a r_a + I_s R_s)$

② 외분권

직권먼저

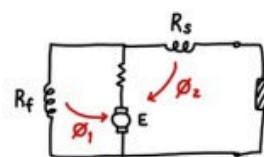


• $I_a = I_s = I_f + I$
 • $E = V + I_a(r_a + R_s)$

[자속방향에 따른 분류]

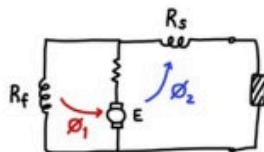
→ 설명은 내분권으로!
 (anything's OK)

① 가동 복권발전기



$\phi_1 + \phi_2$
 ϕ_1 과 ϕ_2 의 방향이 같음

② 차동 복권발전기



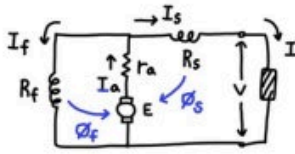
$\phi_1 - \phi_2$
 ϕ_1 과 ϕ_2 의 방향이 같음

https://blog.naver.com/thumb_jw

기 도 부 과 바 저 기 기 도 부 과 바 저 기

EOMJI WORLD

[가동 복권발전기의 분류]



$V = E - I_a r_a - I_s R_s$ 에서,
 $I (= I_s)$ 가 증가하면 V 가 감소하지만

I_s 는 증가하므로 직권계자 자속 ϕ_s 는 증가함 $\rightarrow E$ 가 증가

$$E = k \Phi N = k(\Phi_f + \Phi_s)N$$

$$\text{즉, } V = E - (I_a r_a + I_s R_s)$$

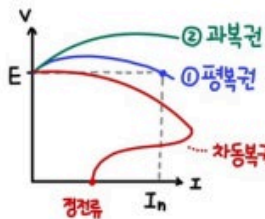
여기도 증가하고 여기도 증가하는데,
 뭐가 더 많이 증가하냐에 따라
 평복권/과복권/부족복권 분류!

- ① 평복권 $\phi_s =$ 전압강하
- ② 과복권 $\phi_s >$ 전압강하
- ③ 부족복권 $\phi_s <$ 전압강하

E : ϕ_s 의 크기, 유기기전력
 $(I_a r_a + I_s R_s)$: 전압강하

[복권발전기의 특징]

1. 외부특성곡선 (부하전류 I - 단자전압 V)



차동복권 $\Rightarrow \phi = \phi_f - \phi_s \Rightarrow E$
 E 가 감소하면 발전기 자체에서
 전류를 덜 만드므로 I 가 감소

2. 이용

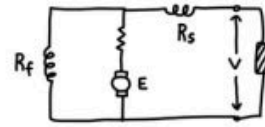
- 과복권 : 전압강하 보상용 (계자의 전원)
- 평복권 : 직류전원 (DC supply), 여자기 전원
- 차동복권 : 일정한 전원이 필요한 용접용발전기

[전압변동률]

$$\varepsilon = \frac{\text{무부하 전압} - \text{정격전압}}{\text{정격전압}} = \frac{V_0 - V}{V} \approx \frac{E - V}{V}$$

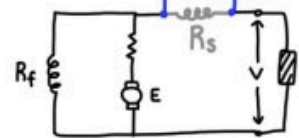
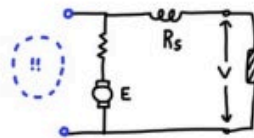
- $\varepsilon > 0$: 타여자, 분권, 차동복권
- $\varepsilon < 0$: 직권, 과복권
- $\varepsilon = 0$: 평복권

[복권발전기의 변신(?)]



직권으로 변환 : 분권계자 개방

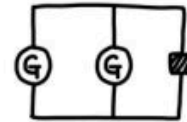
분권으로 변환 : 직권계자 단락



⑥ 직류발전기의 병렬운전

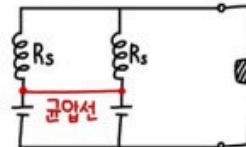
(1) 목적

- ① 1대의 발전기로는 부족할 때
- ② 경부하에서 좋은 효율을 위해
- ③ 예비 발전기 설치시



(2) 조건

- ① 단자 전압이 같을 것 (용량은 임의)
- ② 극성이 같을 것
- ③ 외부특성곡선이 수하특성이면서 같을 것
- ④ 직권계자가 있는 발전기는 병렬운전을 안정적으로 하기 위해 균압선을 설치할 것



- ⑤ 부하분담은 계자전압으로 조정할 것

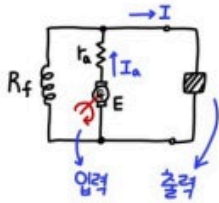
https://blog.naver.com/thumb_jw

지리 바저기이 버려오어

EOMJI WORLD

㉔ 직류전동기의 속도 및 토크

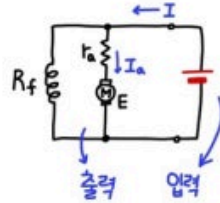
* 발전기와 전동기



발전기

$$\text{유기전력 } E = \frac{P \cdot \phi \cdot N}{60a} = k \phi N$$

- $E = V + I_a r_a$
- $I_a = I + I_f$
- 중요한 건 기전력!



전동기

$$\text{역기전력 } E = \frac{P \cdot \phi \cdot N}{60a} = k \phi N$$

- $E = V - I_a r_a$
- $I_a = I - I_f$
- 중요한 건 토크와 회전속도

(1) 직류전동기

- 전력 → 동력
- 이용
 1. 부하의 위치 제어
 2. 제철소의 압연 용
 3. 기중기, 펌프 등



토크는 속도 N에 반비례!
그래서 처음 가동시 (N=0)
균형이 필요한 거고, 그래서
전동기의 가동전류가
큰 거임!

(2) 역기전력

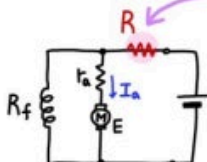
- 방향은 플레밍의 왼손법칙 →
 - 계자가 일정할 때 : 전기가 전류의 방향을 바꾸면 역회전
 - 전기가 전류가 일정할 때 : 계자의 방향을 바꾸면 역회전
- 단자전압 $V = E + I_a r_a$
- ∴ 역기전력 $E = V - I_a r_a$

* 가동시 $E = 0 \rightarrow V = I_a r_a$ (가동시)

이때 가동시 I_a 를 I_s 라고 하면 $I_s = \frac{V}{r_a}$ 이고

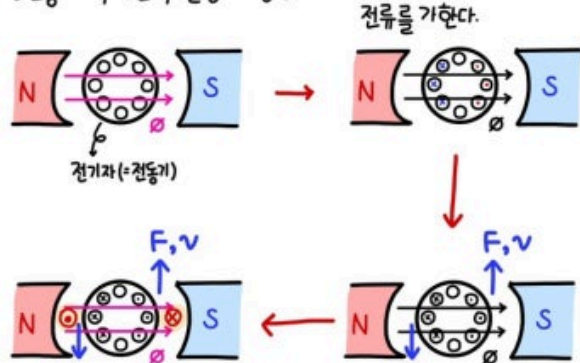
r_a 값은 매우 작으므로 I_s 매우 커짐

가동전류가 너무 크면 위험하므로 가동저항기를 달아줌!



$$\therefore I_s = \frac{V}{r_a + R}$$

[전동기 역기전력 발생 과정]



전동기가 돌아가면
플레밍의 오른손 법칙에 의해
가해진 전류 방향과 다른 역기전력이 발생

(3) 토크 T (=회전력) $[N \cdot m] [kg \cdot m] \propto \frac{1}{N}$

$$\textcircled{1} T = \frac{P}{\omega} = \frac{E \cdot I_a}{2\pi n} = \frac{\frac{P \cdot \phi \cdot N}{60a} \times I_a}{2\pi \times \frac{N}{60}} = \frac{P \cdot \phi \cdot I_a}{2\pi a}$$

P: 전동기의 출력 = ωT (ω : 각속도)

$$\therefore T = \frac{P \cdot \phi \cdot I_a}{2\pi a} [N \cdot m] \quad T \propto \phi, I_a$$

$$\textcircled{2} T = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi \times \frac{N}{60}} = \frac{60P}{2\pi N} [N \cdot m]$$

$$\therefore T = 9.55 \frac{P}{N} [N \cdot m] = 0.975 \frac{P}{N} [kg \cdot m] \quad T \propto \frac{1}{N}$$

$\div 9.8$ $1kg = 9.8[N]$

(4) 회전속도 $N \propto \frac{1}{\phi}$

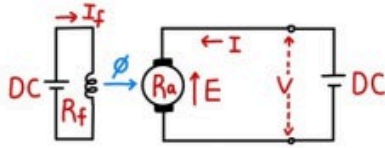
$$E = V - I_a r_a \quad E = k \phi N \text{ 에서}$$

$$N = \frac{E}{k \phi} = k' \frac{V - I_a r_a}{\phi} \quad \frac{1}{k} = k' : \text{상수이므로 아무렇게나 씀}$$

https://blog.naver.com/thumb_jw

8 직류전동기의 종류

(1) 타여자 전동기



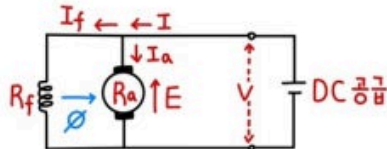
* 역기전력: $E = V - I_a R_a$ [V] ($I_a = I$)

* 토크관계식 $T = k \Phi I_a$ [N·m]

- * 특징
1. 여자전류 조정가능 → 속도를 세밀하고 광범위하게 조절할 수 있음 (정속도 전동기)
 2. 전원의 극성을 반대로 하면 회전 방향이 반대가 됨

* 용도 : 압연기, 엘리베이터 등 세밀한 조정이 필요한 곳

(2) 분권전동기 (→ 계자 / 전기자 병렬) ✨ 정속도특성 ✨



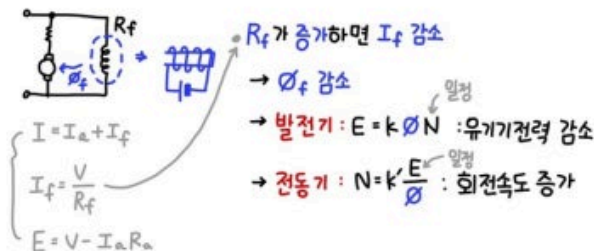
* 역기전력: $E = V - I_a R_a$ [V] ($I_a = I - I_f$)

* 토크관계식 $T \propto I_a \propto \frac{1}{N}$

* 속도특성 $N = k' \frac{V - I_a R_a}{\Phi} \propto \frac{1}{\Phi}$

⚠ 만약 계자 회로가 끊어지면 자속 Φ 가 0이 되어 위험속도가 됨! → 계자 권선에 퓨즈설치 금지

* 속도제어 : R_f 가 증가하면 N 도 증가 $N \propto R_f$



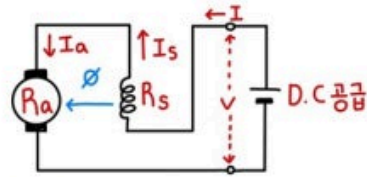
* 특징 1. 부하증가 당 속도 감소 폭이 크지 않음 (정속도 특성)

2. 계자회로 단선 (무여자 운전) 시 위험

→ 계자회로에 퓨즈설치 불가능!

* 용도 : 공작기계, 컨베이어 벨트 등 정속도 운전 필요한 곳

(3) 직권전동기 (계자, 전기자 직렬) ✨ 정출력특성 ✨



* 역기전력 $E = V - I_a (R_a + R_s)$ [V] ($I_a = I = I_s$)

* 속도특성 $N = k' \frac{V - I_a (R_a + R_s)}{\Phi} \propto \frac{1}{\Phi}$

⚠ 만약 직권전동기가 무부하가 되면 ($I = 0$)

$I = I_a = I_s = 0$ 이 되어 $\Phi = 0$ 이 됨

위험속도가 됨! → 무부하 운전, 벨트운전 금지

동력전달을 벨트가 아닌 기어, 체인으로 해야 함!

* 토크 특성 $T \propto I_a^2 \propto \frac{1}{N^2}$

* $T = 0.975 \frac{P}{N} = k \Phi I_a$,

$\Phi \propto I_s = I_a$ (직권에서 $I = I_a$)

∴ $T = k (I_a) I_a = k' I_a^2 \Rightarrow T \propto I_a^2$

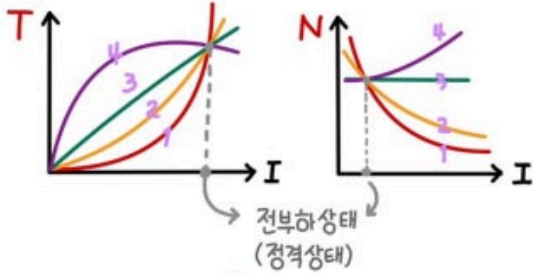
* $N = k' \frac{V - I_a R}{\Phi} \Rightarrow I_a \propto \frac{1}{N} \therefore T \propto I_a^2 \propto \frac{1}{N^2}$

- * 특징
1. 부하변동에 따라 기동토크 및 속도변화가 크다.
 2. 무부하 운전하면 안됨 (→ 가변속도 특성)

* 용도 : 전동차(전철), 권상기, 크레인 등 큰 기동토크가 필요한 곳

분권 전동기	직권 전동기
정속도 특성	정출력 특성
$T \propto I_a \propto \frac{1}{N}$	$T \propto I_a^2 \propto \frac{1}{N^2}$
계자퓨즈금지	무부하운전 금지

(4) 토크 특성곡선과 속도 특성곡선



- | | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 1. 직권 전동기 $T = kI_a^2$ | 1. 직권 전동기 $N \propto \frac{1}{I_a}$ |
| 2. 가동복권 전동기 | 2. 가동복권 전동기 |
| 3. 분권 전동기 $T = k\phi I_a$ | 3. 분권 전동기 (정속도 특성) |
| 4. 차동복권 전동기 | 4. 차동복권 전동기 |

* '직' > '가' > '분' > '차' 의 순서로
정격상태 초과시 토크상승이 크고 속도감소가 크다!

9 직류전동기의 운전

(1) 기동 (2) 속도제어 (3) 역회전 (4) 제동

(1) 기동 : 기동전류는 작고, 기동토크는 커야한다.

① 전전압 기동법

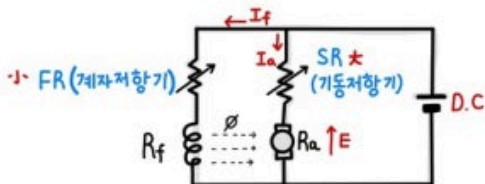
→ full 전압을 가해야 하므로 소형에만 쓰임

- * 소형전동기에 사용
- * 기동전류 $I_s = I_n \times (4 \sim 5)$: 정격전류의 4~5 배

② 저항기동법

→ 저항을 이용하여 기동전류를 줄여서 기동

- * 전기자 권선과 저항을 직렬 연결
- * 기동전류 $I_s = I_n \times (1 \sim 1.5)$: 정격전류의 1~1.5 배



- * 기동저항기 (SR) : 최대 위치에 두어 기동전류를 줄인다
- * 계자저항기 (FR) : 최소 (0) 위치에 두어 계자전류를 크게하여 기동토크를 보상한다

(2) 속도제어

$$N = k \frac{V - I_a R_a}{\phi} \text{ [rpm]} \rightarrow \begin{cases} V: \text{전압제어 (정토크)} \\ \phi: \text{계자제어 (정출력)} \\ R_a: \text{저항제어} \end{cases}$$

① 전압제어 (정토크제어)

$$T = 0.975 \frac{P}{N} \quad \left. \begin{array}{l} T: \text{토크는 일정} \\ P: \text{일정!} \end{array} \right\}$$

* ☺ 광범위한 속도 제어가 가능하고, 효율이 좋다

* ☹ 가격이 비싸다

* 종류

1. 워드레오너드 방식 : 권상기, 엘리베이터, 기중기
(정확한 곳에 정지해야 할 때)

2. 일그너 방식 : 제철, 제관 등

* 워드레오너드의 보조전동기에 '3상유도전동기'를 사용한 방식

* 플라이휠이 설치되어 있다 (→ 관성 ↑)

☺ 장점 ☺
1. 철도 부하 감소
2. 최대 토크 감소
3. 전류 변동 감소
→ 그래서 부하 변동이 심할 때 사용

3. 직·병렬 제어법 전기 철도용 직권기에 저항제어와 함께 사용

* 정격이 동일한 전동기를 직렬 (or 병렬)로 접속하여 속도를 제어

4. 쇼퍼 제어

* 반도체 소자를 사용하여 들어가는 직류전압을 직접 제어

② 계자제어 (정출력제어) $R_f \propto N$

* R_f (계자저항)을 변화시켜 계자자속을 변화시켜 속도 조절

$$T = 0.975 \frac{P}{N} \quad \left. \begin{array}{l} T: \text{출력이 일정} \\ P: \end{array} \right\}$$

* 전력손실 적긴 한데, 속도 제어범위 ↓

* 정출력 제어가 가능해서 정출력 제어라고도 함 ☺

③ 전기자 저항제어 (속도제어)

→ 손실이 커서 잘 사용하지 않는다

(3) 역회전 : 계자, 전기자 중 한개의 극성을 반대로 한다

① 보통은 전기자 방향을 바꾸어 역회전 시킴

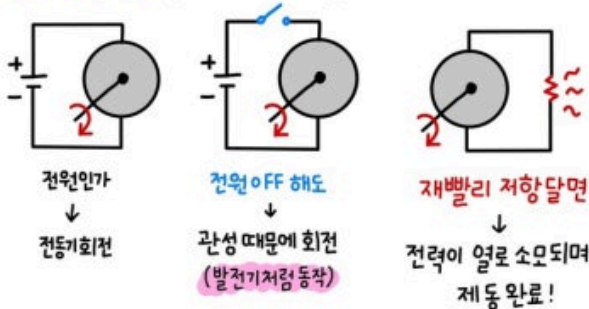
② 전기자 권선의 접속을 바꿀 때, 보극이나 보상권선이 있다면 이것도 함께 바꿔준다.

③ 타여자 전동기는 공급전압의 극성을 바꾸면 됨.

https://blog.naver.com/thumb_jw

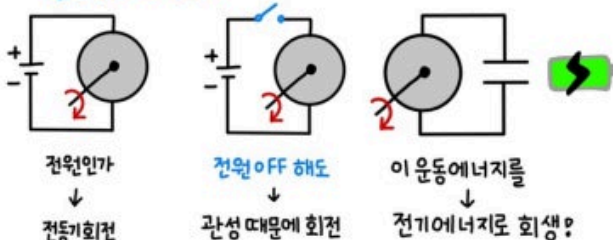
(4) 제동

① 발전제동 (dynamic braking)

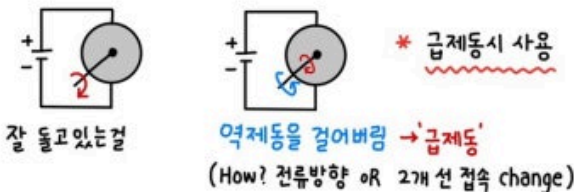


② 회생제동 (regenerative braking)

전기에 쓰이는 거!

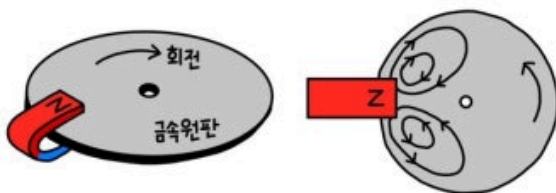


③ 역상제동 (역전제동 또는 plugging)



④ 와전류제동

: 구리의 원판을 자계 내에 회전시켜 와전류에 의해 제동



⑤ 기계제동

: 전자력으로 압력을 가해서 마찰시켜 제동

10 직류기의 손실과 효율

(1) 정격 = 딱 좋은 환경

① 연속 정격

: 지정조건 하에서 연속사용시,

표준규격의 온도 상승 및 기타의 제한에 벗어나지 않는 정격

② 단시간 정격

: 지정 단시간 하에서 단시간 사용시,

표준규격의 온도 상승 및 기타의 제한에 벗어나지 않는 정격

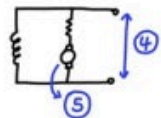
③ 반복 정격

: 지정조건 하에서 회전기 반복 사용시,

표준규격의 온도 상승 및 기타의 제한에 벗어나지 않는 정격

④ 직류 발전기의 정격 출력

: 발전기 단자에서 이용 가능한 전력



⑤ 직류 전동기의 정격 출력

: 전동기 축에서 발생하는 기계적 유효 출력

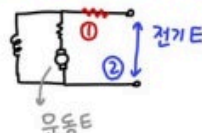
(2) 직류기의 효율

$$① \text{ 실측 효율 } \eta = \frac{\text{출력}}{\text{입력}} \times 100 [\%]$$

② 규약효율 (전기에너지로 계산)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{발전기 } \eta_G = \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{손실}} \\ \text{전동기 } \eta_M = \frac{\text{입력} - \text{손실}}{\text{입력}} \end{array} \right.$$

효율계산에 이용하는 값

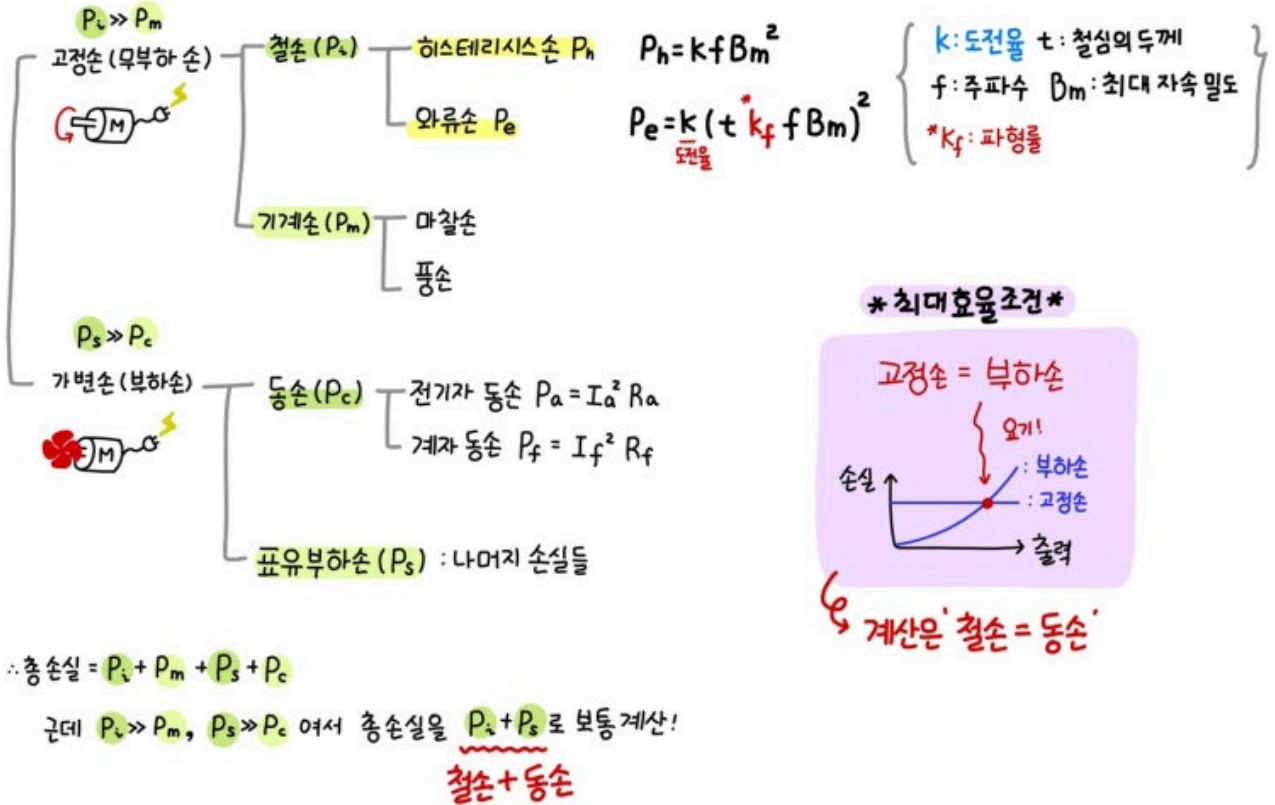


① 손실

② 단자전압 (G에서는 출력, M에서는 입력!)

https://blog.naver.com/thumb_jw

(3) 손실



https://blog.naver.com/thumb_jw

[제2장] 동기기

동기 (同期)

[명사]

③ [물리학]

전기-에너지 따위의 주파수가 일치하거나 일정한 위상(位相)의 차(差)가 되는 것.

① 동기발전기의 원리 및 구조

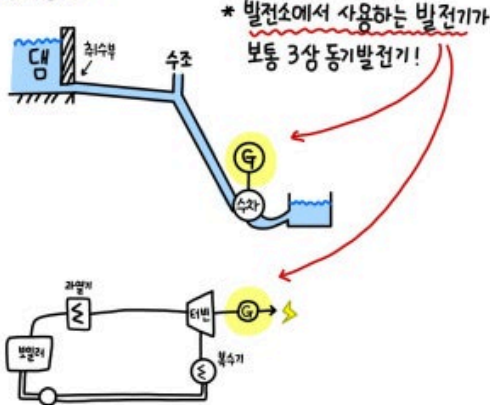
(1) 동기발전기와 동기 전동기

① 동기기 (Synchronous machine)

: 일정한 동기속도(N_s)로 회전하는 전기 기계기구

↳ 주파수와 자속수에 따라 결정됨

② 동기발전기



③ 동기전동기

: 정속도 전동기로서 비교적 회전수가 낮고, 큰 출력이 요구되는 부하에 이용됨.

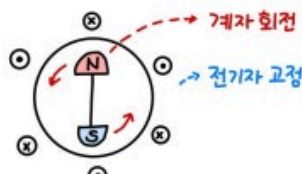
: 전류의 세기, 역률등을 조절할 수 있는 동기 조상기로 사용되며, 최근에는 정밀속도 제어 전동기로 사용

(2) 동기발전기의 원리

* 직류 발전기



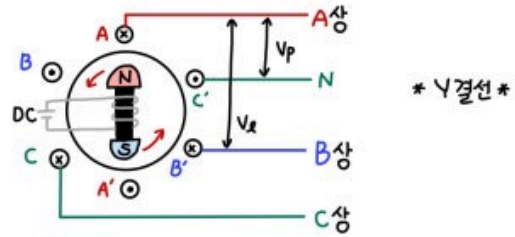
* 동기발전기 (교류 발전기)



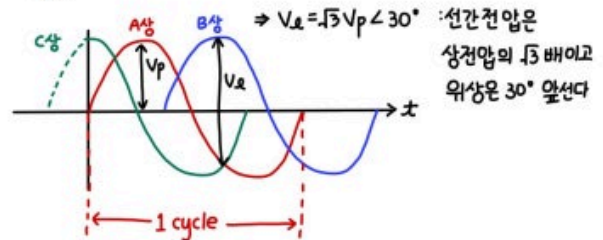
* 동기속도 N_s : 극 수와 주파수에 의해 만들어지는 동기기의 일정한 회전속도

$$N_s = \frac{120f}{P} \text{ [rpm]} \quad \cdot f: \text{주파수} \cdot P: \text{극수}$$

(3) 동기발전기의 구조



이 계자가 한바퀴를 돌면 경현파 한주기가 나옴



$$f = \frac{P}{2} n \quad P: \text{극수}, n: \text{rps}$$

$$N_s = \frac{2f}{P} \text{ [rps]} \quad \therefore N_s = \frac{120f}{P} \text{ [rpm]}$$

① 전기자 (고정자): 유기 기전력을 생산하는 곳

• 전기자 철심: 두께 0.35 ~ 0.5 [mm] (← 직류기와 동일)

철손有: 규소 2~4 [%] (← 직류기는 1~1.4 [%])

↳ FOR 히스테리시스 손 감소

: 성층하여 사용 (FOR 와류손 감소)

• V결선을 하는 이유

$$V_p = V_t / \sqrt{3}$$

교류발전기는 발전소에서 사용. 즉, 사용전압이 고전압!

② 발전기내에 순환전류가 존재하지 않음

순환전류로 인한 손실 경감.

③ 중성점 접지가능

이상전압으로 부터 발전기 보호

② 계자 (회전자): 자속을 발생시키는 곳

- 계자철심: 두께 1.6 ~ 3.2 [mm]의 연강판 성층

- 계자권선 (coil)

[소용량기] 2중면권의 환동선 OR 평각동선 사용

[중, 대 용량기] 나동대를 평권으로 감아 사용

③ 여자기

1. 직류여자기
2. 정류자여자법

동기 발전기의 구조

전기자 계자 여자기

* 왜 동기기에서는 계자를 회전시킬까?

1. 기계적 측면 : 튼튼하고, 구조적으로 간단하다.

- 전기자에 비해 계자는 철의 비중이 더 높아서 튼튼하다
- 전기자는 Y결선이므로 4가닥을 써야 하지만, 계자는 DC를 사용하므로 2가닥이면 충분

2. 전기적 측면 : 전기자는 사용전압이 높기 때문!

- 계자는 약 250[V]의 직류전원
전기자는 11[kV] (동력 고전압을 사용하는) 교류 전압
→ 낮은 전압을 사용하는 계자를 회전하는게 안전
- 전기자 절연시 고정되어 있으므로 절연에 유리

④ 냉각장치 (수소 냉각 방식)

• 장점 ㉠

- 출력이 좋아진다.

회전하면 공기와의 마찰력 발생 = 풍손

따라서 고속기에서는 풍손이 높운데,
발전기 주변을 수소로 채우면 풍손이 줄어들음

why? 1. 수소는 비열이 높아서, 열전도율과
표면 방산율이 높다 → 냉각효과 ↑

2. 수소는 비중이 낮다

- 밀폐구조이므로 소음이 없다

why? 단점 ㉡ 폭발위험

- 방폭설비를 갖추어야 한다
- 설비비가 고가이므로 터빈 발전기나 대형조상기에 채용한다

(4) 동기 발전기의 종류

① 회전자에 의한 분류

1. 회전 계자형 (거의 다이버 00)

- 직류·저압 회로를 사용하므로 동력소요가 적고 안전.
- 인출도선이 2개만 필요
- 고장시 과도 안정도를 높이기 위해 회전자(계자)의 관성을 크게 하기 쉬움.

2. 회전 전기자용 : 극히 소용량에만 사용.

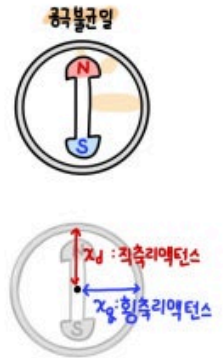
3. 유도자형

- 계자와 전기자를 함께 고정시키고 그 중앙에 '유도자'라고 하는 '권선이 없는 회전자'를 갖춘 것
- 수백~수만 [H_z] 정도의 고주파 발전기로 사용

② 회전자 형태에 의한 분류

1. 돌극형 (철극형)

- 극수가 많다 (∵ N극S극이 분명하므로)
- $N_s = \frac{120f}{P}$: 속도가 느림 (f 일정)
⇒ 저속기 (수차 발전기) 에 이용
- 공극이 불균일
- $X_d \gg X_q$



2. 비돌극형 (원통형)

- 극수가 적다 (∵ N극S극이 불분명하므로)
- $N_s = \frac{120f}{P}$: 속도가 빠름
⇒ 고속기 (터빈 발전기) 에 이용
- 공극이 균일
- X_d, X_q 가 균일



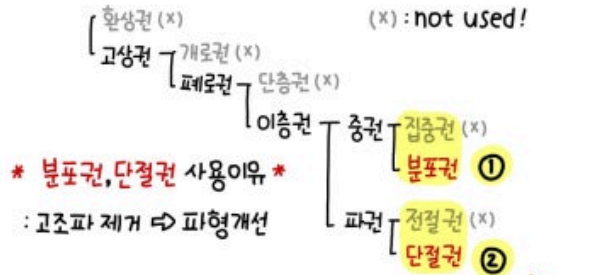
수소 냉각 방식

돌극형 철극형

비돌극형 원통형

② 동기발전기 이론

(1) 전기자 권선법

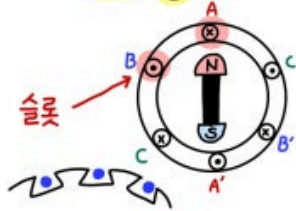


① 집중권과 분포권



[집중권]

- 고조파에 의해서 파형이 열그러짐
- L 값이 높아 누설리액턴스 ↑



[분포권]

- 고조파를 제거 하여 파형이 개선됨 (정현파)
- L 값이 낮아 누설리액턴스 ↓



- 유도 기전력이 높다
 - 유도 기전력이 낮다
- 집중권대분포권의 E가 얼마나 낮은지를 계산하는 식

* 분포권 계수 K_d

$$K_d = \frac{\text{분포권의 합성 기전력}}{\text{집중권의 합성 기전력}} = \frac{\sin \frac{\pi}{2m}}{q \sin \frac{\pi}{2mq}}$$

* m: 상의 수, q: 매극 매상 슬롯수

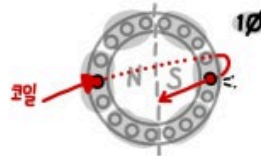
$$q = \frac{\text{총 슬롯수}}{\text{상수} \times \text{극수}}$$

$$\text{총 코일수} = \frac{\text{총 슬롯수} \times \text{층수}}{2}$$

* 분포권의 장점

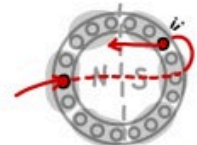
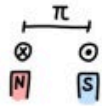
- 리액턴스 감소
- 열 발생이 고르게 분포 되므로 과열을 방지
- 집중권에 비해 유도 기전력이 K_d 배로 감소

② 단절권과 전절권



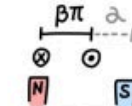
[전절권]

- 코일 간격과 극 간격 동일



[단절권]

- 코일 간격이 극 간격보다 짧음

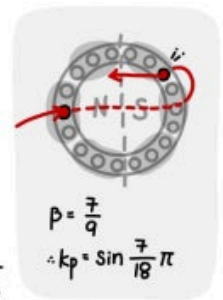


- 기전력이 높지만 고조파 발생
 - 기전력은 낮지만 정현파 출력
- 전절권대단절권의 E가 얼마나 낮은지를 계산하는 식

* 단절권 계수 K_p

$$K_p = \frac{\text{단절권의 합성 기전력}}{\text{전절권의 합성 기전력}} = \sin \frac{\beta\pi}{2}$$

$$\beta: \text{단절비율} = \frac{\text{코일 간격}}{\text{극 간격}} = \frac{\text{코일 간격}}{\text{전 슬롯수/극수}}$$



* 단절권의 장점

- 코일이 짧으므로 동량 및 가격 감소
- 전절권에 비해 유도 기전력이 K_p 배 감소

③ 권선 계수

: 동기기는 '분포권' 이면서 '단절권' 이므로
단절권 계수와 분포권 계수를 함께 고려

$$\Rightarrow K_w = K_d \times K_p \quad (= \text{단절권 계수} \times \text{분포권 계수})$$

④ n차 고조파일 때

$$K_d = \frac{\sin \frac{\pi}{2m}}{q \sin \frac{\pi}{2mq}}, \quad K_p = \sin \frac{\beta\pi}{2}$$

if n차 고조파일 때는 $\pi \rightarrow n\pi$ 로 계산!

$$K_d = \frac{\sin \frac{n\pi}{2m}}{q \sin \frac{n\pi}{2mq}}, \quad K_p = \sin \frac{\beta n\pi}{2}$$

blog.naver.com/thumb_jw

분포권 계수

단절권 계수

권선 계수

(2) 동기발전기의유기전력

★ 원리: 패러데이, 렌츠의 전자기유도 법칙

$$E = -N \frac{d\phi}{dt} \quad \phi = \phi_m \cdot \sin \omega t$$

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

$$= 2\pi f N \phi_m \sin(\omega t - 90^\circ)$$

최대값을 실효값으로 바꾸면

$$E = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f N \phi_m = 4.44 f N \phi_m \text{ [V]}$$

실제 동기기는 분포권 & 단절권 이므로 권선 계수를 고려하면,

$$\therefore E = 4.44 f N \phi_m k_w \text{ [V]} \quad \text{: 상전압}$$

$$V = 4.44 \sqrt{3} f N \phi_m k_w \text{ [V]} \quad \text{: 선간전압}$$

동기기는 Y결선을 사용하므로 V_L 과 V_P 가 다름!

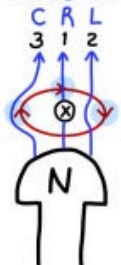
(3) 동기발전기 파형을 정현파로 바꾸는법

- ① 매극 매상 슬롯수(q)를 크게 한다.
- ② 분포권 및 단절권을 채용한다.
- ③ 공극의 길이를 길게 한다.
- ④ 전기자 철심을 사슬꼴로 한다
(Skewed slot, 비스듬)

(4) 동기발전기의 전기자 반작용

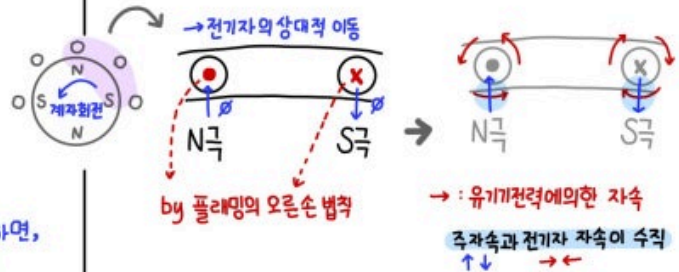
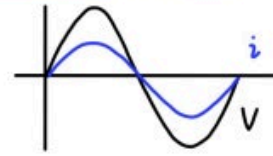
- I_a (전기자 전류) 에 의한 회전자속이 계자 자속에 영향을 미치는 현상
- 직류기는 R에 의해서만 전기자 반작용이 생기지만 (직류니까)
동기기에서는 R, L, C 에 의해서 전기자 반작용이 발생함 (역률 존재)

works like

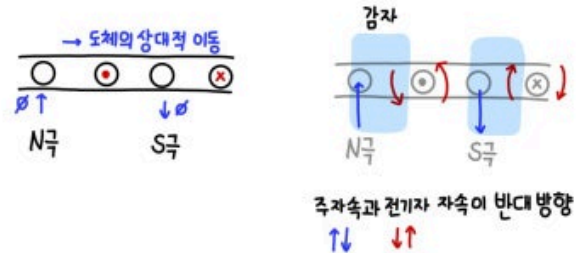
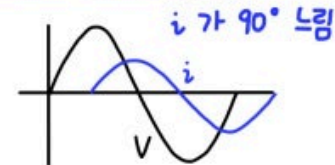


1. 주자속과 전기자 자속이 수직
: R, 교차 자화작용, 횡축 반작용
2. 주자속과 전기자 자속이 반대방향
: L, 감자 작용, 직축 반작용
3. 주자속과 전기자 자속이 같은방향
: C, 증자 작용, 직축 반작용 (자화작용)

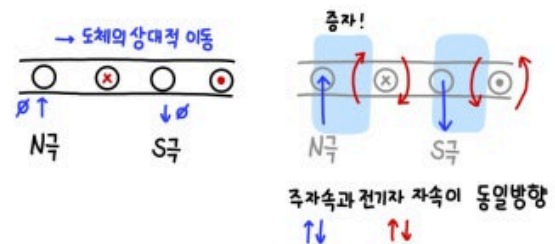
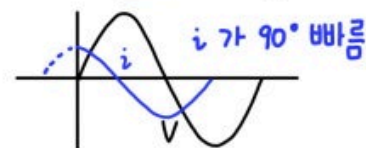
① R 부하 일때 : 교차 자화작용, 횡축 반작용



② L 부하 일때 : 감자 작용, 직축 반작용



③ C 부하 일때 : 증자 작용 (자화작용), 직축 반작용



blog.naver.com/thumb_jw

③ 동기발전기의 특성

(1) 전압변동률

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

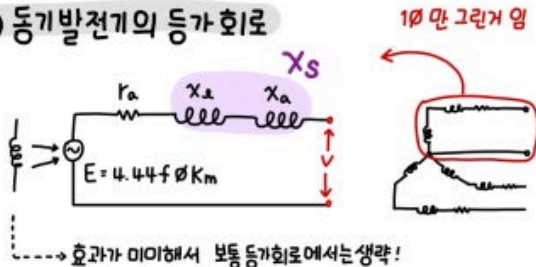
① 유도성부하(자상부하): $V_0 > V_n \therefore \varepsilon_L > 0$

↳ 직류기로 치면 부족 복권!

② 용량성부하(진상부하): $V_0 < V_n \therefore \varepsilon_C < 0$

↳ 직류기로 치면 과복권!

(2) 동기발전기의 등가회로



① X_L : 누설리액턴스 ℓ_{oss}

⇒ 전기자 전류에 의한 자속이 전자기 권선에 쇠교해서 생기는 리액턴스 (지가 만든 자속에 지가 쇠교 당함)

② X_a : 전자기 반작용 리액턴스 \dot{a} mture

⇒ 전자기 반작용에 의해서 생기는 리액턴스

전기자 전류에 의한 회전자속이 계자 자속에 영향을 미치는 현상

③ X_s : 동기리액턴스 \dot{s} ynchronous

$$X_s = X_L + X_a$$

④ 동기 임피던스 Z_s

$$Z_s = r_a + jX_s, \quad r_a \ll X_s \text{ 이므로}$$

$$Z_s \doteq jX_s = \frac{E_n}{I_s} = \frac{V_n}{\sqrt{3} I_s}$$

(E_n : 상권압, V_n : 단자전압, I_s : 3φ 단락전류)

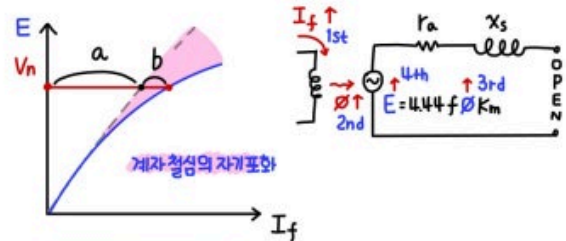
⑤ 전압강하 $V_{\#} = jX_s I_s$

⑥ 유기기전력 $E = V + IZ_s = V + jX_s I$

(3) 동기발전기의 특성곡선

① 무부하 포화곡선 ($E - I_f$): 부하 개방

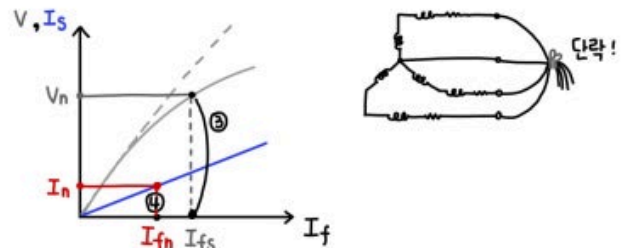
: 발전기를 무부하 상태에서 정격속도로 회전시킬 때, 유기기전력(E)과 계자전류 I_f 의 관계



* 자기포화율 $\sigma = \frac{b}{a}$ { b : 포화된부분, a : 포화안된부분 }

② 3φ 단락곡선 ($I_s - I_f$): 부하 단락

: 발전기 3φ를 단락시키고 정격속도로 회전시킬 때, 단락전류 I_s 와 계자전류 I_f 와의 관계



I_{fn} : 3φ 단락후, 계자전류 I_f 가 정격전류와 같아졌을때 I_f 의 값

I_{fs} : 무부하시 단자전압이 정격전압이 되었을때의 계자전류 I_f 값

$$\text{단락전류 } I_s = \frac{E}{Z_s} = \frac{E}{X_s} = \frac{E \uparrow 1st}{X_L + X_a}$$

* I_s 그래프는 곡선이 아님. 왜? 전자기 반작용(X_a) 때문!

E 에 따라 X_a 값도 변해서 I_a 같은 직선이 되게 되어있음!

$$\text{단락비 } K_s = \frac{\text{③}}{\text{④}} = \frac{I_{fs}}{I_{fn}} = \frac{\text{무부하시 정격전압 때의 } I_f}{\text{단락시 정격전류 일 때의 } I_f}$$

blog.naver.com/thumb-jw

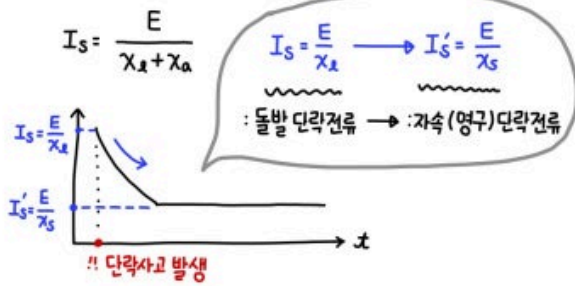
누설 리액턴스 전기자 반작용 리액턴스

동기 리액턴스

동기 임피던스

동기 발전기의 특성 곡선

(4) 단락전류의 특성 : 처음에는 크나, 점차 감소

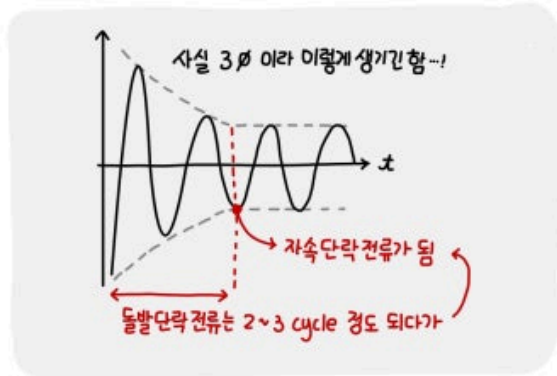


① 돌발 단락전류 $I_s = \frac{E}{X_d}$ * 처음에는 전자기 반작용(X_a)이 없다가

⇒ 돌발 단락전류는 누설리액턴스(X_d)가 제한

② 자속(영구) 단락전류 $I'_s = \frac{E}{X_s} = \frac{E}{X_a + X_d}$ * 나중에 생김!

⇒ 자속(영구) 단락전류는 동기리액턴스(X_s)가 제한



(5) %Z 구하기

$$① \%Z_s = \frac{I_n Z_s}{E} \times 100 = \frac{P_n Z_s}{V^2} \times 100 = \frac{I_n}{I_s} \times 100 = \frac{100}{K_s}$$

$$Z_s [\text{pu}] = \frac{1}{K_s}$$

$$② \%Z = \frac{Z_s I_s}{E_n} \times 100 [\%] \quad * Z_s : 1\phi \text{의 동기 임피던스}$$

$$\%Z = \frac{Z_s P}{10 V_n^2} [\%] \quad * P [\text{kW}], V [\text{kV}]$$

$$(6) \text{단락비 } K = \frac{I_s}{I_n} = \frac{100}{\%Z} \text{ 크다} = \text{철기계의 특징}$$

① 단락비가 크다

$$\%Z = \frac{I_n Z_s}{E} \times 100$$

② 극수가 많고, 공극이 크다 (전기자 반작용의 영향이 작으므로)

③ 동기 임피던스(Z_s)가 작다 $Z_s = R_a + j(X_d + X_a)$

④ 전자기 반작용이 작다

⑤ 중량이 무겁고 가격이 비싸다

⑥ 계자 기자력이 크다

⑦ 전압강하가 작다 ⇒ 전압 변동률이 작다

⑧ 안정도가 좋다

⑨ 효율이 나쁘다 (철손이 증가하므로)

⑩ 선로의 충전용량에 여유가 있다.

⑪ 수차발전기 : 0.9~1.2 > 터빈발전기 : 0.6~0.9

→ 극수가 많은 저속기

(7) 동기발전기의 출력

① 비돌극형 (원통형)

$$\cdot \text{단상 } P = \frac{EV}{X_s} \sin \delta \quad (\text{한상분})$$

$$\cdot \text{3상 } P = 3 \times \frac{EV}{X_s} \sin \delta \quad \times 3$$

* δ : V와 E의 위상차 ($\delta = 90^\circ$ 일때 최대)

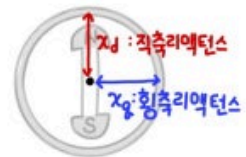
② 돌극형 (철극형)

$$P = \frac{EV}{X_s} \sin \delta + \frac{V^2 (X_d - X_q)}{2 X_d X_q} \times \sin 2\delta$$

* δ : V와 E의 위상차 ($\delta = 60^\circ$ 일때 최대)

* X_q : 횡축 반작용 리액턴스

X_d : 직축 반작용 리액턴스



blog.naver.com/thumb_jw

Ⅳ 동기 발전기의 운전

(1) 동기 발전기의 병렬운전 ^{☆☆} 크위주파!

[preview]

$$v = \sqrt{2} V \sin(2\pi f t + \theta)$$

	①	②	③	④
병렬운전 조건	크기	파형	주파수	위상
조건 불충분 시 발생 현류	무	고·무	유	유

* 병렬운전 조건

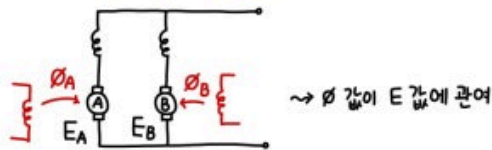
- ① 유기 기전력의 크기가 같을 것
- ② 유기 기전력의 파형이 같을 것
- ③ 유기 기전력의 주파수가 같을 것
- ④ 유기 기전력의 위상이 같을 것
- ⑤ 유기 기전력의 3φ 인 경우, 상회전 방향이 같을 것

* 같은 말은 노상관

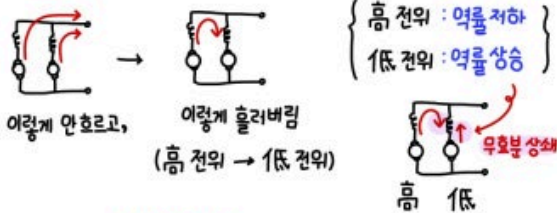
- ① 발전기 용량
- ② 부하전류
- ③ 임피던스

① 기전력의 크기가 다를 경우

* 원인: 계자 자속이 이상해져서! ($\because E = 4.44 f N \phi_m$)



[문제 없이 운전 중, ϕ_A 가 증가하면? $\rightarrow E_A > E_B$]



* 발생현류: I_c 무효순환전류 (무효형류)

* 무효순환 전류의 크기 $I_c = \frac{E_1 - E_2}{2Z_s} [A]$

* 방지대책 : 계자 저항을 조정하여 자속이 이상해지지 않게!

* 계자전류(자속)에 따른 특성 변화

문제 없이 운전 중, 갑자기 ϕ_A 가 증가한 경우

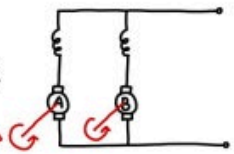
	① E_A	② G_B
자속 ϕ	증가	-
유기 기전력 E	증가	-
무효분전류	자성분(N)수	전성분(C)수
무효 전력	자성분(N)수	전성분(C)수
역률	저하	상승

유효분은 변화 없음
무효전류 및 전력만 싹

② 기전력의 위상이 다를 경우 ^{☆☆}

* 원인: 원동기의 출력이 변화할 경우

발전기 돌리키는 터빈·수차 등



* 발생현류: I_s 동기화 전류 (=유효형류, 유효순환전류)

→ 위상을 같게 해주기 위해

* 위상이 달라지면 수순전력, 동기화력이 발생함

수순전력 P_s : 서로 주고받는 전력 (받고 있는상태)

$$P_s = \frac{E_1^2}{2Z_s} \times \sin \delta [W] \quad \delta: \text{위상차(상차각)}$$

동기화력 P'_s : 위상을 같게 하려고 하는 힘! ('동기화' 시키려는 힘)

$$P'_s = \frac{dP_s}{d\delta} = \frac{E_1^2}{2Z_s} \times \cos \delta [W] \quad \delta: \text{위상차(상차각)}$$

③ 기전력의 주파수가 다를 경우

* 발생현류: I_s 동기화 전류 (=유효형류, 유효순환전류)

→ 주파수를 같게 해주기 위해

* 원인: 발전기의 회전수가 다를 때 ($\because N_s = \frac{120f}{P}$)

* N_s 가 달라져서 난조의 원인이 됨 → 방지: 제동권선

[난조] → 뒷장 설명 more!

* 부하가 갑자기 변하면 속도 재조정을 위한 진동이 발생하게 된다. 일반적으로는 그 진폭이 점점 적어지나, 진동주기가 동기기의 고유진동에 가까워지면 공진작용으로 진동이 계속 증가하는 현상 위 현상이 심해지면 동기 운전을 이탈하게 된다 (동기이탈)

* 발생하는 원인: 조속기(속도조절기)의 감도가 지나치게 예민한 경우

관성 모멘트가 작은 경우

계자에 고조파가 유입된 경우

부하의 변동이 심한 경우

* 난조방지법 : 발전기에 제동권선을 설치한다. (가장 좋은 방법)

관성 모멘트를 크게하기 위해 플라이휠을 설치

조속기를 너무 예민하지 않게 할 것 (적당한 불감도)

단절권, 분포권을 사용하여 고조파를 제거할 것

④ 기전력의 파형이 다를 경우

* 발생 현류: 고조파 무효형류 → 고조파에 의한 동손 증가

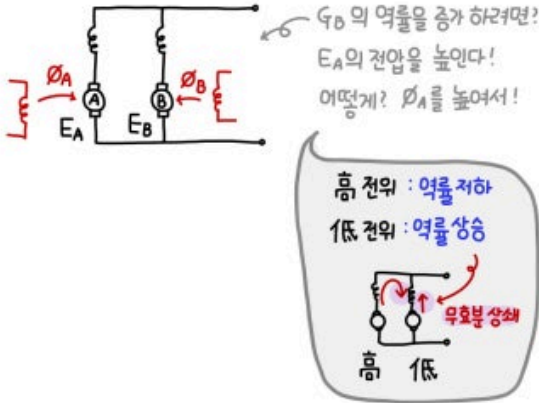
blog.naver.com/thumb_jw

병렬운전 조건

(2) 부하의 분담

$$N_s = \frac{I_{2of}}{P}$$

- ① 유효전력의 분담 : 원동기의 속도특성(즉, 주파수)에 따라 결정
- ② 무효전력의 분담 : 기전력(즉, 자속, 계자전류)의 크기로 결정



(3) 원동기의 병렬운전 조건

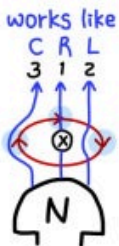
발전기 돌려주는 애!

- ① 균일한 각속도를 가질 것
- ② 적당한 속도 변동률을
- ③ 조속기가 적당한 불감도를 가질 것

* 회전속도를 일정한 값으로 유지하기 위해 사용된 제어장치

(4) 자기여자 현상 : 스스로 주자속을 증가시켜 유기기전력이 상승

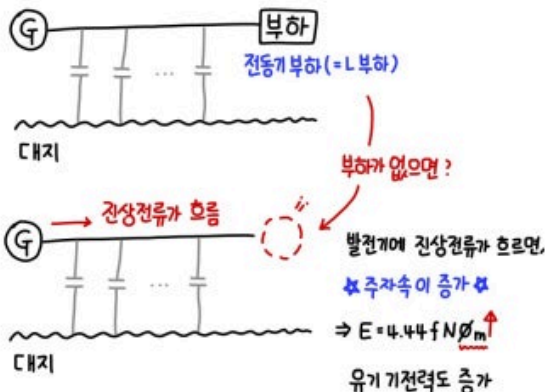
① 동기발전기의 전기자 반작용



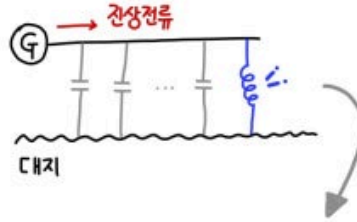
- 1. R, 교차 자화작용
- 2. L, 감자 작용
- 3. C, 증자 작용

애가 '자기여자 현상에 관여를 함!'

② 원리

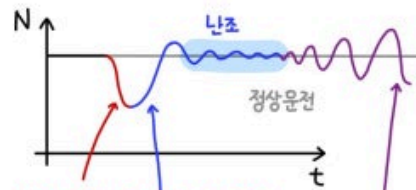


③ 방지대책 : L 을 달면 됨! (공진시켜버림)



- 1. 분로 리액터를 설치한다.
- 2. 수전단에 동기 조상기를 접속하고, 부족여자로 하여 송전선에서 지상전류를 취한다
- 3. 발전기나 변압기를 병렬운전 한다
- 4. 단락비를 크게 한다.

(5) 난조 : 동기속도 주변에서 진동하는 현상



부하의 급격한 증가로 인해 속도 감소

조속기가 원래 상태로 속도를 급격히 올리다가 난조 발생

그러다가 동기기와 공진해버리면 탈조!

* 부하가 갑자기 변하면 속도 재조정을 위한 진동이 발생하게 된다. 일반적으로는 그 진폭이 점점 적어지나, 진동주기가 동기기의 고유진동에 가까워지면 공진작용으로 진동이 계속 증가하는 현상 위 현상이 심해지면 동기 운전을 이탈하게 된다 (동기이탈)

* 발생하는 원인 : 조속기(속도조절기)의 감도가 지나치게 예민한 경우

현재의 운동을 계속시키려는 힘의 값 관성 모멘트가 작은 경우 : 즉, 힘이 약하단 뜻!
계자에 고조파가 유기된 경우
부하의 변동이 심한 경우

* 난조방지법 : 발전기에 제동권선을 설치한다. (가장 좋은 방법)

관성 모멘트를 크게하기 위해 플라이휠을 설치
조속기를 너무 예민하지 않게 할 것 (적당한 불감도)
단절전, 분포권을 사용하여 고조파를 제거할 것

blog.naver.com/thumb-jw

(6) **안정도** : 얼마나 안정적으로 전력공급하니? - ?

↳ 전력은 보내만큼 전압변동 없이 잘 받으면 안정적인거임.

⇒ 전압강하 작다는 뜻

⇒ 임피던스도 작다는 뜻

① 정태 안정도(Steady state stability)

정상부하 상태에 대한 안정도

이때대의 극한 전력 → 정태 안정 극한 전력

② 동태 안정도(Dynamic stability)

AVR(자동전압조정기) 설치 하의 안정도

③ 과도안정도(Transient stability)

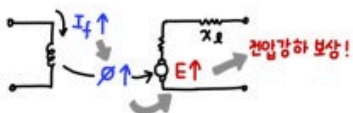
사건가 남을 대의 양정도

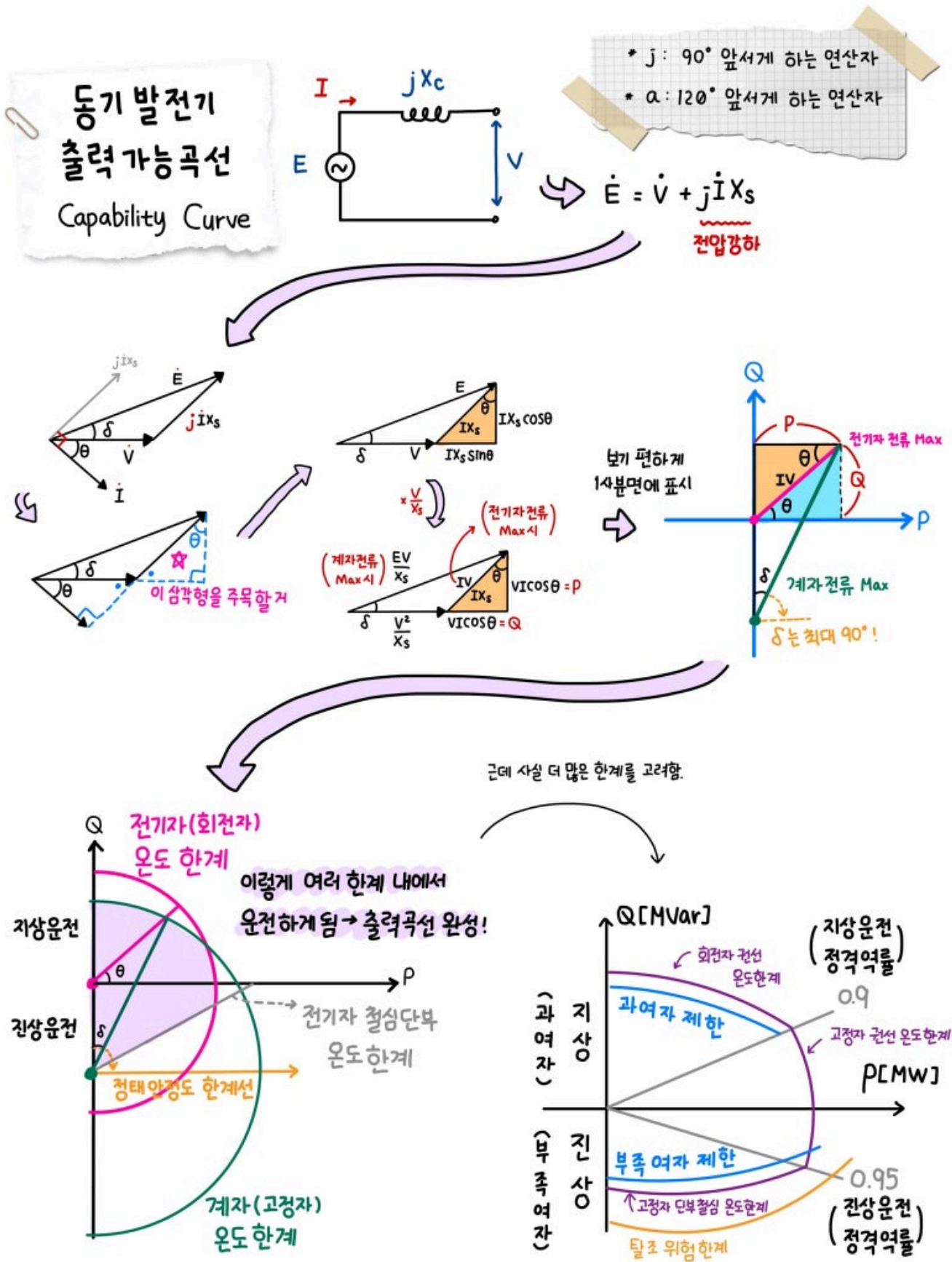
이때대의 극한 전력 → 고도 안정극한전력

* 안정도 향상 대책

1. 단락비가 큰 기기 채용
2. 동기 임피던스를 작게한다.
3. 관성모멘트가 큰 기기를 채용한다
(회전자의 fly wheel 효과를 크게!)
4. 조속기의 신속한 동작
5. 속을 여자 방식을 채용한다

전압강하를 보상하기 위해 계자전류를 조절해서 자속을 늘리는 것



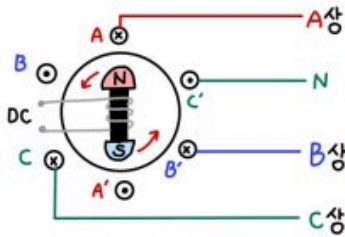


blog.naver.com/thumb_jw

⑤ 동기 전동기의 이론 및 특성

(1) 동기 전동기의 원리

동기: '일정한 속도'가 핵심 → 동기전동기: 정속도 전동기



- 1st. 고정자 3φ 권선에 3φ 교류전류를 흘려주면
- 2nd. 고정자에는 회전 자기장이 발생하며,
- 3rd. 이 회전 속도가 동기속도에 도달하게될때
- 4th. 회전자에 동일한 방향의 기동 토크를 가해 주면
- 5th. 회전자가 동기속도로 운전하게 된다.

(2) 동기전동기의 특성

1) 장점 ☺

- ① 속도가 일정 (동기니까 ^^)
- ② 역률 조정가능 (심지어 역률을 1로 할수도 있어!! 역률이 가장 좋은 모터!)
↳ 계자전류로 조정
- ③ 효율이 좋음 (역률 높일수 있으니까)
- ④ 공극이 크고 기계적으로 튼튼함
- ⑤ 토크가 전압에 정비례 하므로 공급전압에 대한 토크의 변화가 유도전동기에 비해 적음

2) 단점 ☹

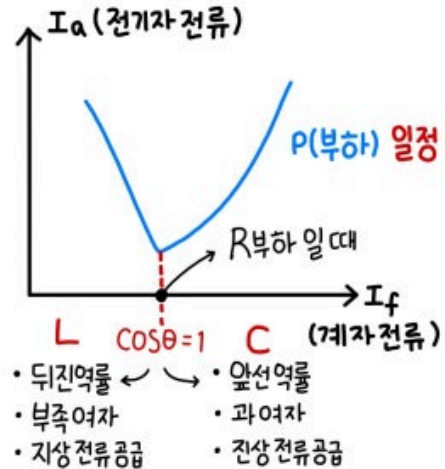
- ① 기동토크가 작아서 기동이 어려움
회전자가 무거워서 큰 기동토크가 필요한데, 전기자가 주는 회전자계가 너무 작다는 뜻
- ② 속도제어가 어려움 (정속도이므로)
- ③ 계자전원이 필요하므로 고가이다
- ④ 난조가 일어나기 쉽다.

3) 용도

- ① 시멘트공장의 분쇄기, 각종압축기 등 (튼튼하니까 잘 뽑혀!)
- ② 동기 조상기 (역률 조정이 가능하므로)
- ③ 전기시계, 모실로스코프 (속도, 주파수 일정하므로)

(3) V특성곡선 (=위상특성곡선)

: 부하가 일정할 때, 계자전류의 증감에 따른 전기자 전류의 크기



(4) 동기전동기의 전기자 반작용

- I_a (전기자 전류)에 의한 회전자속이 계자 자속에 영향을 미치는 현상
주자속
- 동기전동기는 동기 발전기와 전류 방향이 반대!
⇒ 감자작용, 증자작용 특성이 반대임!

[전동기] by 플레밍의 왼손 법칙

- ① R 부하 (동상전류)
교차 자화작용 (회축 반작용)
- ② L 부하 (지상전류: 전류가 90° 느릴 때)
* 증자작용 (직축 반작용)
- ③ C 부하 (진상전류: 전류가 90° 빠를 때)
* 감자작용 (직축 반작용)

[비교]

[발전기] by 플레밍의 오른손 법칙

- ① R 부하 (동상전류)
교차 자화작용 (회축 반작용)
- ② L 부하 (지상전류: 전류가 90° 느릴 때)
* 감자작용 (직축 반작용)
- ③ C 부하 (진상전류: 전류가 90° 빠를 때)
* 증자작용 (직축 반작용)

blog.naver.com /thumb_jw

도기 저도기

EOMJI WORLD

(5) 동기조상기

- 전력계통의 전압조정과 역률을 개선하기 위하여 송전계통에 접속하는 무부하의 동기 전동기 (V특성곡선의 무부하 그래프 특성을 이용)
- 동기 전동기를 무부하 운전을 하게 되면 무효전력 (①진상 ②자상)을 공급

