

電工機械總整理

第一節 直流電機基本構造

結構	功能	備註
直流機殼採用疊片式矽鋼片	減少過流損	矽含量 5%以下
極掌面積大於極心	減低空氣隙的磁通密度	
分激場繞導線細	匝數多電阻大,電流小	與電樞繞組並聯
串激場繞導線粗	匝數少電阻小,電流大 Rf(分)>>Ra>>Rfs(串) 中間極→改善換向 補償繞組→抵銷電樞反應	與電樞繞組串聯
斜形槽	減少噪音	約距一個槽距寬
換向器與電刷	內部交流電 AC 外部直流電 DC	

第二節 基本公式

發電機	電動機	備註
$E=N \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$ $e=BLV \sin \theta$ $E= \frac{PZ}{60a} \phi n$	$F=BLI \sin \theta$ $F= \frac{PZ}{2 \pi a} \phi I_a$ $T= \frac{P_m}{W_m} = \frac{60 * P_m}{2 \pi * n} = 9.55 \frac{P_m}{n} \quad (\text{nt-m})$	$\Delta \phi = BA(wb)$ $W_m = 2 \pi S$

第三節 線圈連接方式

	疊繞	波繞
適用電機	低電壓、大電流	大電壓、低電流
電流路徑數	a=m(重入數)*p(極數)	a=2m(重入數)
電刷數	p(極數)	2 只或 p 只
均壓線	p>2 時需均壓線	不需均壓線
換向片距	±m	(C±m) / (P/2)
公式	$Y_s=S(\text{槽數}) / P(\text{極數})$ $Y_b= C_s * Y_{s+1}$ $Y_f= Y_b \pm C_s * m$	$N= S * C_s / 2$ $Y_{av}=(Z \pm 2 * m) / P$ $Y_{av} \text{ 奇數 } Y_b= Y_f=Y_{av}$ $Y_{av} \text{ 偶數 } Y_b= Y_{av}+1$ $Y_f=Y_b-2 * m$
蛙腿繞=單式跌繞+複分波繞(不需均壓線) 路徑數為 a=2P		

註：C(換向片數)=N(線圈數)= S(槽數)*Cs(每槽元件數)/2

第三節 電刷的種類及特性

種類	特性	用途
碳質	接觸電阻高、摩擦係數大	高壓、小容量、低速
石墨	接觸電阻低小、摩擦係數小	中低壓、高速、大容量
電氣石墨	接觸電阻適中、摩擦係數小	一般直流機
金屬石墨	接觸電阻小、摩擦係數小	低壓、大電流

第四節 電樞反應及換向

壹、電樞反應：負載電流產生電樞磁場對主磁場之干擾

	發電機	電動機
前極尖	減少	增加
後極尖	增加	減少
效應	去磁及交磁	去磁及交磁
磁中性面	順向移位	逆向移位
電刷	順向移位	逆向移位
效果	應電勢下降($E=K\phi n$)	轉矩下降($T=K\phi I$) 轉速上升($n=E/K\phi$)

貳、換向

	低速換向	過速換向
定義	換向初期($\Delta i/\Delta t$)較小 換向末期($\Delta i/\Delta t$)較大	換向初期($\Delta i/\Delta t$)較大 換向末期($\Delta i/\Delta t$)較小
發電機	電刷超過新中性面(之後) 移位不足 負載增加	電刷不到新中性面(之前) 移位過度 負載減少
電動機	移位過度 負載減少	移位不足 負載增加
結果	後端((跟)部分過熱	前端(趾)部分過熱

電抗電壓 $E=(L+\Sigma M)*(2I_c/T_c)$

參、改善換向之方法

1. 延長換向期間

2. 減少電感量
3. 提高電刷接觸電阻
4. 設置補償繞組
5. 移電刷法
6. 增設中間極(發電機依轉動方向 $N_s S_n$)

肆、去磁安匝與交磁安匝

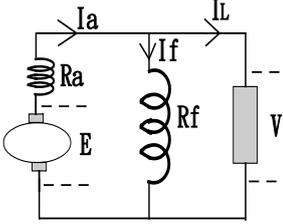
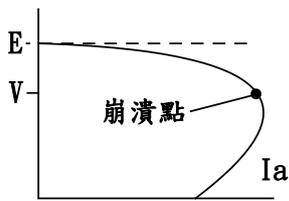
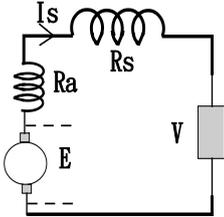
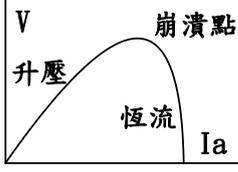
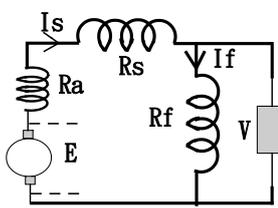
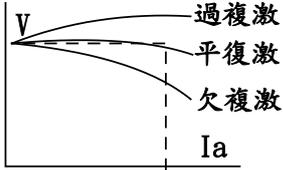
去磁安匝： $F(\text{去磁}) = (Z / 360^\circ) * 2\alpha * (1/2) * (I_a / a) = N * I$
 (每一機械角內之導體數 $Z / 360^\circ$ ，每極去磁安匝之角度為 2α)
 交磁安匝： $F(\text{交磁}) = (Z/2) * (I_a/a) - F(\text{去磁})$

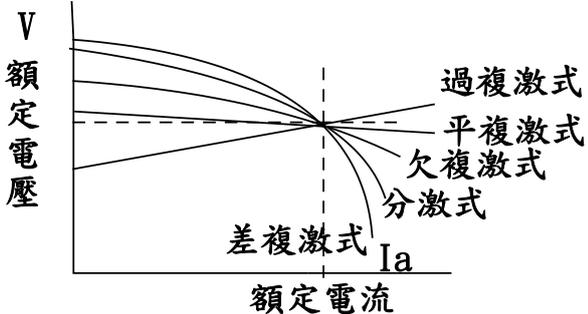
伍、減少電樞反應之方法

方式	功能	備註
採用高磁阻極尖左右疊成	增加磁阻	
楞德爾磁極法	主磁極上刻空心長槽增加磁阻	
補償繞阻法(湯姆生-雷恩) 置於主磁極極面上，與電樞串聯	抵銷電樞磁動勢 $F_a = (Z/2) * 0.7 * (1/P) * (I_a/a)$ [0.7=極面弧度/極距] $F_c = (Z_c/2) * I_a = F_a$ $Z_c = 0.7 * [Z/(P * a)]$	
中間極		
移動電刷		

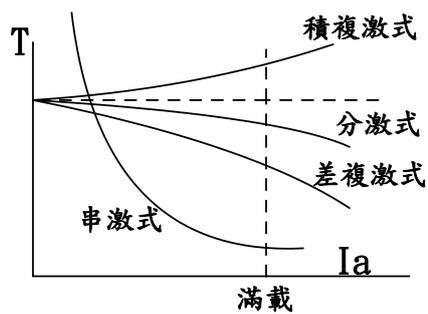
第五節、各種直流發電機之特性曲線

種類	電路圖	曲線
他激式 $E = V + I_a * R_a + V_b$ V_b 電刷壓降		

分激式 $I_L = I_a + I_f$ $E = V + I_a R_a + V_b$		
串激式 $E = V + I_s (R_a + R_s)$		
複激式 $E = V + I_s (R_a + R_s)$ $I_L = I_s + I_f$		

發電機外部特性曲線 分激式 $E = K n \phi$, $V = E - I_a R_a$ 串激式 $E = K n \phi$ 積複激式 $E = K n (\phi_f + \phi_s)$ 差複激式 $E = K n (\phi_f - \phi_s)$	
---	--

第六節、直流電動機特性曲線

轉速曲線 分激式 $n = (V - I_a R_a) / K \phi$ 串激式 $n = V / K \phi$ 積複激式 $n = V / K (\phi_f + \phi_s)$ 差複激式 $n = V / K (\phi_f - \phi_s)$	
--	--

壹、分激式與串激式之比較

	分激式	串激式
發電機與電動機轉向	相同	相反
電源互換	轉向改變	轉向不變
使用交流電	不轉動	轉向不變
轉子飛脫	場電阻斷線	無載時(不可使用皮帶)

貳、直流電動機之應用

	特性	用途
分激式	定速、調速	車床
串激式	變速	吊車、起重機、果汁機
積複激式	定速、調速間	電梯

參、直流電動機速率控制

公式	控制法	特性
$n = \frac{E}{K\phi}$	場電阻控制法	$R_f \uparrow, I_f \downarrow, \phi \downarrow, n \uparrow$ 轉矩隨速度上升而下降又稱定馬力控制 簡單、方便、有效
	電樞電阻控制法 $E = V - I_a * R_n$	$R_n \uparrow, E \downarrow, n \downarrow$ 轉矩不隨速度上升而下降又稱定轉矩控制
	電壓控制法 $E = V - I_a * R_n$	$V \downarrow, E \downarrow, n \downarrow$ 可得寬廣速度控制，但價格昂貴

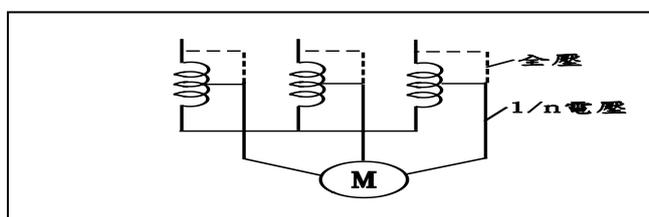
第七節 電機三大並聯運用之條件

1.直流發電機條件:	2.變壓器條件:	3.同步發電機之條件:
(1) 電壓定額須相同 (2) 端子極性需相同 (3) V-IL 曲線有下垂特性	(1) 端子極性必須正確 (2) 電壓定額及匝數必須相同 (3) 電阻與漏電抗比相同 (阻抗角相等) (4) 容量與阻抗成正比	(1) 電壓大小相同 (2) 電壓相位相同 (3) 頻率相同 (4) 相序相同 (5) 電勢波形相同 (6) 適當下垂之速率負載特性 (7) 若相位相同,電壓大小不同則產生無效環流 I_c

$I_1+I_2=I_L$ $V=E_1-I_1R_1=E_2-I_2R_2$ $P_1+P_2=P_L$ 過複激並聯時應有均 壓線	$S_1+S_2=S_L$	二明一滅 大小→看暗 相位→看 OR 閘 頻率→看輪流 相序→看皆
	不可並聯 1. $\Delta-\Delta$ 對 $\Delta-Y$ 2. $\Delta-\Delta$ 對 $Y-\Delta$ 3. $Y-Y$ 對 $\Delta-Y$ 4. $Y-Y$ 對 $Y-\Delta$	

第八節 交直流電動機起動規定

目的	a.增加起動轉距 b.減少啟動電流
啟動電流限制	a.直流機 2 倍以下 b.感應機 3.5 倍以下
直流機	a.直接啟動 1/3 馬力以下 b.在電樞電路串一起動電阻 啟動 DC.G 時,將 R_f 置於最大處 啟動 DC.M 時,將 R_f 置於最小處 啟動差複激 M 時,需將串激繞組短路



第九節 感應電動機之啟動

壹、鼠籠式

直接啟動	Y- Δ 啟動	補償繞組降壓啟動
採 $\Delta-\Delta$ 3HP 以下 I_s 為 5-8 倍	每相電壓 $= (1/\sqrt{3})$ 全電壓 每相電流 $= (1/\sqrt{3})$ 全電壓相電流 啟動電流 $I_Y = (1/3)I_\Delta$ 啟動轉矩 $T_Y = (1/3)T_\Delta$	電動機側 $I_s = (1/n)$ 全電壓電流 電源側 $I_s = (1/n)^2$ 全電壓電流 轉矩 $T_s = (1/n)^2$ 直接啟動

貳、繞線式感應電動機之啟動

在轉部加入電阻

a.增加啟動轉矩 b.限制啟動電流 c.提高啟動功因 d.速度控制

參、單相感應電動機

a.主繞組 匝數多 線徑粗 置於內層 R 小 X 大

b.輔助繞組 匝數少 線徑細 置於外層 R 大 X 小 電流超前

轉速達額定速度之 75% 離心開關切斷輔助繞組

同步電動機利用組尼繞組啟動

肆、三相感應電動機速率控制

公式	控制法	特性
$n = (1-S)(120f / p)$	定部	改變電源電壓→改變 S→範圍不大 改變電源頻率→改變範圍大→價格高 改變磁極→改變接線→增加 p，n 減少
	轉部 $T = (k \phi S E_2) / R_2$	轉部加電阻 $R_2 \uparrow$ ， $T \downarrow$ ， $n \downarrow$ 轉部加電壓 E 與應電勢相同 n 加速 轉部加電壓 E 與應電勢不相同 n 減少
	串並聯運用	同方向運轉 $n = 120f / (p_1 + p_2)$ 同方向運轉 $n = 120f / (p_1 - p_2)$

(註：轉子輸入功率 P_g ，轉子輸出功率 P_o ，轉子銅損 P_c)

$(P_g / N_s = P_o / N_r = P_c / S N_s)$

伍、三相同步電動機速率控制

$N = 120f / P$

速度由頻率及磁極數決定

第十節 損失

類別	損失項目
直流機	1. 銅損 $P_c = I^2 * R$ (電樞電阻 + 磁場電阻) 2. 鐵損 $P_i = P_e + P_h$ $P_e = K_e * f^2 * B_m^2 * t^2$ (當 B_m 固定， P_e 正比於 n)

	$Ph=Kh*f*Bm^{1.6-2}$ (當 Bm 固定, Ph 正比於 n) 3. 機械損=摩擦損、風阻力損...等, 轉速越快機械損越大 4. 雜散損失=無法直接測得 (大型機械大約 1%) 5.
交流機	1. 銅損 $Pc=I^2*R$ (交流等效電阻) 2. 鐵損 $Pi=Pe+Ph$ $Pe=Ke*f^2*Bm^2*t^2$ (當 Bm 固定, Pe 正比於 n) $Ph=Kh*f*Bm^{1.6-2}$ (當 Bm 固定, Ph 正比於 n) 3. 機械損=摩擦損、風阻力損...等, 轉速越快機械損越大 4. 雜散損失=無法直接測得 (大型機械大約 1%)
變壓器	1. 銅損 $Pc=I^2*R$ (一、二次側等效電阻) 2. 鐵損 $Pi=Pe+Ph$ $Pe=Ke*f^2*Bm^2*t^2 = Ke*V^2$ $Ph=Kh*f*Bm^{1.6-2} = Kh*V^2/f$ 3. 最大效率: 銅損=鐵損 銅損 = m^2 *滿載銅損=鐵損 (m 倍滿載)

第十一節 交流電機之實驗

壹、開路及短路試驗

		變壓器	三相感應電動機
開路試驗	目的	$G0, B0, Y0$ $I0$ (激磁), Ie (鐵損), I_m (磁化)	$G0, B0, Y0$ $I0, \cos\theta0$
	方法	低壓側加額定電壓, 高壓側開路	定子加入額定電壓
	各表之值	V 低壓側電源電壓 $V2$ A 低壓側 $I0, P \rightarrow Pn$	
	轉子		旋轉
短路試驗	目的	$Re1, X.e1, Ze1, Pc$	反轉銅損
	方法	高壓側加額定電流, 低壓側短路	定子加入額定電流
	各表之值	V 高壓側額定電壓之 3~10% A 高壓側額定電流 $I1, P \rightarrow$ 滿載 Pc	V 額定電壓之 5~8%

轉子	堵住 S=1
----	--------

貳、變壓器

a.開路公式	b.短路公式
1.無載功因 $\cos\theta_0 = P_{oc}/V_{oc}I_{oc}$ 2. $I_c = I_0 \cos\theta(A)$ 3. $I_m = I_0 \sin\theta(A)$	1. $Z_{e1} = V_{sc}/I_{sc}$, $Z_{e2} = Z_{e1}/a^2$ 2. $R_{e1} = P_{sc}/I_{sc}^2$, $R_{e2} = R_{e1}/a^2$ 3. $X_{e1} = \sqrt{Z_{e1}^2 - R_{e1}^2}$, $X_{e2} = X_{e1}/a^2$

參、三相感應電動機 3φ IM

開路公式	短路公式
無載功因 $\cos\theta_0 = P/\sqrt{3}VI_0$	$\cos\theta = P/\sqrt{3}V I_s$

第十二節 二瓦特量三相功率

$PT_{3\phi} = W_1 + W_2 (w)$ $QT_{3\phi} = \sqrt{3}(W_1 - W_2) (VAR)$ $ST_{3\phi} = \sqrt{P^2_{T3\phi} + Q^2_{T3\phi}} (VA)$ $\cos\theta = \frac{W_1 + W_2}{2\sqrt{W_1^2 + W_2^2 - W_1 \cdot W_2}}$	$W_1 = W_2 \rightarrow \cos\theta = 1$ $W_1 = -W_2 \rightarrow \cos\theta = 0$ $W_1 = 0, W_2 \neq 0$ $W_1 = 2W_2 \rightarrow \cos\theta = \sqrt{3}/2$
--	--

第十三節 絕緣

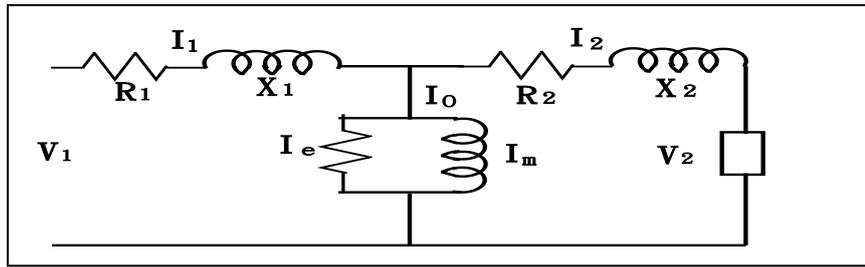
級別	Y	A	E	B	F	H	C
最高容許溫度	90度	105度	120度	130度	155度	180度	180度以上

直流機採用 A 和 B 級

第十四節 變壓器構造

1.矽鋼片條件	a.鐵損小，b.導磁細數大 c.飽和磁通密度高，d.機械強度大，e.含矽量 4%
2.儲油器	a.改善絕原油劣化
3.外型	a.內鐵式高壓小電流，b.外鐵式低壓大電流
4.理想 Tr	a. $\eta = 100\%$ ，b. $E = 4.44fN\phi$ ($\phi = BmA$) c. 能量守恆 $S = E_1 I_1 = E_2 I_2$ d. $a = N_1/N_2 = E_1/E_2 = I_2/I_1 = \sqrt{Z_1/Z_2}$

壹、等效圖



換算至一次側時

$$R_{01} = R_1 + a^2 R_2 \quad X_{01} = X_1 + a^2 X_2$$

$$Z_{01} = \sqrt{(R_{01})^2 + (X_{01})^2}$$

$$I_e = I_o \cos \theta$$

$$I_m = I_o \sin \theta$$

$$I_1 = \frac{V_1}{\sqrt{(R_{01} + a^2 R_L)^2 + (X_{01} + a^2 X_L)^2}}$$

貳、標么值

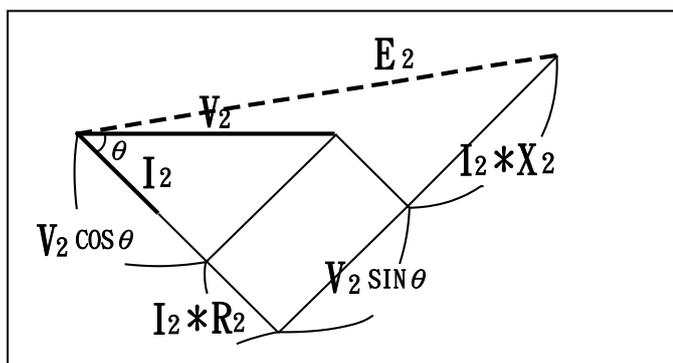
阻抗標么值 Z_{pu}

$$S_{base} = V_{base} * I_{base} \quad Z_{base} = V_{base} / I_{base} \quad (\text{base 基本值})$$

$$\frac{Z_{PU \text{ new}}}{Z_{PU \text{ old}}} = \frac{S_{BASE \text{ new}}}{S_{BASE \text{ old}}} * \frac{V_{BASE \text{ old}}}{V_{BASE \text{ new}}}$$

標么值與額定容量成正比與額定電壓成平方反比

參、電壓調整率



$$E_2 = \sqrt{(V_2 \cos \theta + I_2 * R_2)^2 + (V_2 \sin \theta + I_2 * X_2)^2}$$

$$VR\% = (E_2 - V_2) / V_2$$

肆、Tr 之測試

(1) 溫升試驗

又稱背向試驗

高壓側瓦特表

= > Pn

低壓側瓦特表

= > Pc

(2) 絕緣電阻測

試

需使用高阻計

L - > 線路(先實施)

E - > 接地(後實施)

G - > 保護

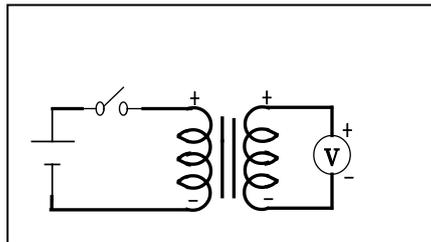
伍、極性試驗

a. DC 法

S 閉合瞬間

伏特計往正向偏轉 - > 減極性

伏特計往負向偏轉 - > 加極性



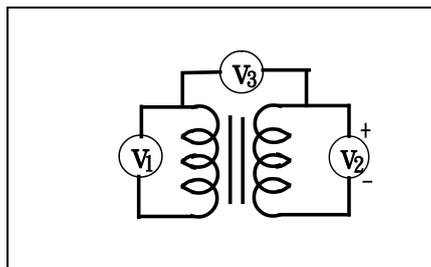
b. AC 法

$V_3 = V_1 - V_2$ - > 減極性

$V_3 = V_1 + V_2$ - > 加極性

c. 比較法

一次側看接線，二次側跑回路



陸、Tr 之三相連接

Y 聯結	△ 聯結
$V_L = \sqrt{3} V_p$	$V_L = V_p$
$I_L = I_p$	$I_L = \sqrt{3} I_p$
V_L lead V_p 30°	I_L Lag I_p 30°
產生諧波干擾	可免去諧波之害

i. Y 接 -> "-" 接地，拉出 "+" 為該相

ii. △ 接 -> 依序將 "-" 接 "+"，拉出 "+" 為該相

(4) 三相口訣

1+1=1	110√3=190	3.3K√3=57K
1-1=√3	120√3=208	6.6K√3=11.4K
1+1-1=2	220√3=380	√3/3=0.577
1+1+1=0		√3/2=0.866
		Sin75°=0.966

(5)公式

單相視在功率 $S1 \phi = VP1IP1 = VP2IP2 (VA)$,

單相有效功率 $P1 \phi = S1 \phi \cos \theta (W)$

三相視在功率 $S3 \phi = \sqrt{3}VL1I1 = \sqrt{3}VL2IL2 \Rightarrow 3VPI = 3S1 \phi (VA)$

三相有效功率 $P3 \phi = 3P1 \phi = 3VPI \cos \theta (W)$

各種接法

Y-Y	$\Delta - \Delta$	$\Delta - Y$ 發電廠	Y- Δ 二次變電所
$\frac{VL1}{VL2} = \frac{\sqrt{3}VP1}{\sqrt{3}VP2} = a$	$\frac{VL1}{VL2} = \frac{VP1}{VP2} = a$	$\frac{VL1}{VL2} = \frac{VP1}{\sqrt{3}VP2} = \frac{a}{\sqrt{3}}$	$\frac{VL1}{VL2} = \frac{\sqrt{3}VP1}{VP2} = \sqrt{3}a$
$\frac{IL1}{IL2} = \frac{IP1}{IP2} = \frac{1}{a}$	$\frac{IL1}{IL2} = \frac{\sqrt{3}IP1}{\sqrt{3}IP2} = \frac{1}{a}$	$\frac{IL1}{IL2} = \frac{\sqrt{3}IP1}{IP2} = \frac{\sqrt{3}}{a}$	$\frac{IL1}{IL2} = \frac{IP1}{\sqrt{3}IP2} = \frac{1}{\sqrt{3}a}$
$\theta = 0^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = -30^\circ$	$\theta = +30^\circ$

V-V	T-T
$VL = VP, IL = IP$	$V_{主} = VP = VL, V_{支} = (\sqrt{3}/2)VL$
利用率 = 輸出容量 / 設備容量 $= \sqrt{3}S1 \phi / 2S1 \phi$ $= 0.866$	相同容量 = 輸出容量 / 設備容量 $= \sqrt{3}S1 \phi / 2S1 \phi = 0.866$ 1大1小容量 = 輸出容量 / 設備容量 $= \sqrt{3}S1 \phi / (S1 \phi + 2/\sqrt{3}S1 \phi)$ $= 0.928$
$\sqrt{3}SV - V = S \Delta - \Delta$	

捌、特殊變壓器

(a)自耦變壓器

$SA = (1+a)$ $a = (\text{共用}/\text{非共用})$

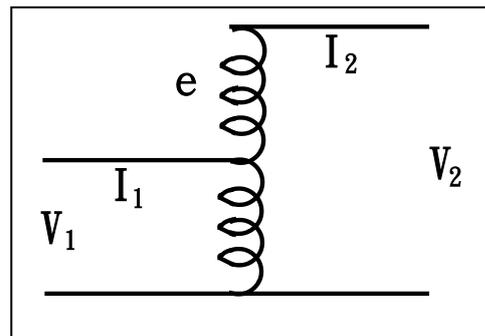
自有容量 = 感應傳送的伏安功率
 $= e * I2$

傳導容量 = 全部容量 - 自有容量

特點：1. 電壓調整率小，效率低

2. 需高度絕緣

3. 電壓比小 1.05~1.25 到 1

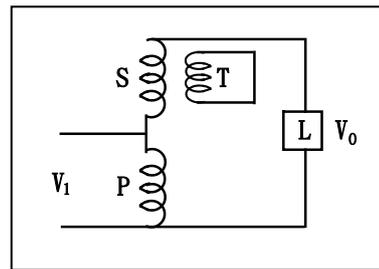


(b) 儀表變壓器

	PT 比壓器(降壓 Tr)	CT 比流器(升壓 Tr)
二次側	額定電壓 110V	額定電流 5A
	不可短路	不可開路
	一定要接地	一定要接地
	使用 2.0mm ² 紅線	使用 2.0mm ² 黑線

(c) 感應電壓調整器

一次繞組 P	轉部	導線細，匝數多 並聯電源
二次繞組 S	定部	導線粗，匝數少 串聯負載
短路線圈 T	轉部	與 P 垂直 90 度 無法成為抗流線圈



$$V_0 = (1 + 1/a \cdot \cos \theta) V_1 \quad (a = p/s)$$

$\theta = 0$	$V_0 = (1 + 1/a) V_1$
$\theta = 90$	$V_0 = V_1$
$\theta = 180$	$V_0 = (1 - 1/a) V_1$

第十五節 三相感應電動機

壹、三相感應電動機構造

轉子	鼠籠式	繞線式
優點	構造簡單堅牢	啟動轉矩 T_s 大， 恆速，轉差率小
缺點	無法加 R_x ， $T_s \downarrow$ $I_s \uparrow$	構造複雜，成本高

貳、轉差率 S

(1) $S = (N_s - N_r) / N_s \times 100\%$

a. 啟動(靜止，堵住) $N_r = 0, S = 1$

b. 同步 $N_r = N_s, S = 0$

c. 反同步 $N_r = -N_s, S = 2$

d. 超同步 $N_r = 2N_s, S = -1$

鼠籠式 $S = 3 \sim 5\%$

繞線式 $S = 1 \sim 10\%$

※S 跟負載成正比

(2)、公式(運轉時)

a. 轉子轉速 $N_r = (1-S)N_s$ b. 轉子頻率 $f_r = S f$ c. 轉子電壓 $E_{2r} = S E_2$

d. 轉子電流 $I_2 = (S * E_2) / (\sqrt{R^2 + SX^2})$

e. 轉子 $\cos\theta = R/Z$

(3)、解題步驟

1. 求轉子電壓 E_2

a. $E_1 = V P_1$ b. 靜止時 $E_2 = E_1 / \text{匝數比}$ c. 轉動時 $S = (N_s - N_r) / N_s$,

$E_{2r} = S E_2$

1. 求轉子電流 I_2

a. $Z = (\sqrt{R^2 + SX^2})$ b. $I_2 = (S * E_2) / (\sqrt{R^2 + SX^2})$

二、轉矩

(1) 電動機轉子輸出功率 $P_2 = T * \omega = T * 2\pi N_r$, $T = 9.55 * P_2 / N_r (NT-m) = 0.973 * P_2 / N_r (Kg-m)$

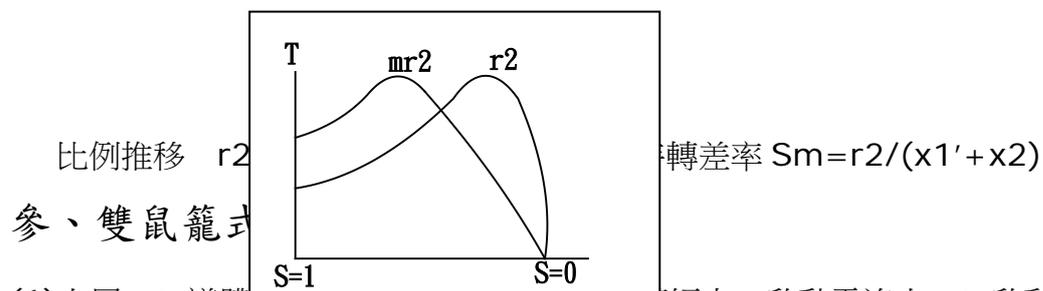
(2) 轉子每相轉矩 $T = K \phi I_2 \cos\theta$ ($I_2 = (S * E_2) / (\sqrt{R^2 + SX^2})$), ($\cos\theta = R / (\sqrt{R^2 + SX^2})$)

$$T = P_2 / WS = (q * I_2 * R_2 / S)$$

$$T = K \frac{q V_1^2 * R_2' / S}{(R_2 + R_2' / S)^2 + (X_1 + X_2')^2}$$

(3) $S=1$ 時 T 與電壓平方成正比，與 R_2 成正比

(4) 定電壓下 T 與 R_2/S 成正比，繞線型外加電阻時 S 將改變但轉矩不變



參、雙鼠籠式

(1) 上層 -> 導體細，電阻大，電感小，啟動轉矩大，啟動電流小 -> 啟動時流過大部分電流

(2) 下層 -> 導體粗，電阻小，電感大 -> 運轉時流過大部分電流

(3) 規格

CNS	IEC	NEMA	VDE
= 台灣(中國)	= 國際	= 美國	= 德國

肆、制動

- a.再生制動==使 $N_r > N_s$ 產生反轉矩並回收電力於電源
- b.發電制動(動力)(直流)==當 I.M 切離 A.C 時，在轉子上加 D.C，使旋轉磁場變為固定
- c.逆轉制動==將電源線任意換兩條，使之產生反轉矩，為了防止逆轉—>插入柱塞電驛
- d.單相制動==將一相切離，使之成為單相運轉

伍、試驗

繞組電阻測定	負載實驗
Y 形接線 $R_y = e/i = 2r$ Δ 形接線 $R_\Delta = e/i = 2r/3$	a.方法—>動力計 b.目的—>測量 T 及 Pm $T = F_x r (\text{kg-m}) = 9.8 F_x r (\text{Nt-m})$ $P_m = 1.026 \times F_x r \times N_r$

第十六節 單相交流電動機

壹、分類

- (1)感應 (2)換向
- a.分相式 a.推斥式
- b.電容式 b.串激式
- c.蔽極式

貳、單相感應電動機與 3 相電動機比較

- a.體積大 b.成本高 c.效率和 $\text{Cos}\theta$ 差 d.噪音與振動大

參、單相感應電動機構造

定部裝設行駛繞組，外加 A.C，產生交變磁場，交變磁場分相為兩個大小相等，方向相反的磁場稱雙旋轉磁場。

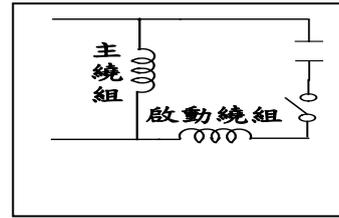
※分相式反轉=>將啟動繞組或行駛繞組兩端反接

※轉矩由大至小排列：推斥>雙值>電容>分相>永久>蔽極

肆、電容式

(1) 電容啟動式

使用交流電解電容 - > 體積小，容量大，耐壓低
 輔助繞組電流 I_a 超前主繞組電流 90° 電機角
 用途 - > 電冰箱壓縮機

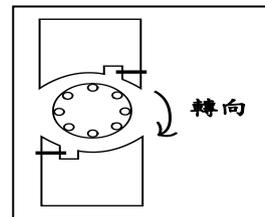


(2) 永久電容式

使用浸油式電容 - > 體積大，容量小，耐壓高
 用途 - > 洗衣機馬達

伍、蔽極式

- 方向由未蔽極向有蔽極處轉動
- 反轉必須把整個磁極反轉過來
- 蔽極線圈 - > 幫助啟動
- 蔽極磁通滯後主磁通
- 構造簡單便宜
- 功因最低，效率最差， T_s 最小，用途 - > 吊扇



陸、交流單相串激

(1) DC - > AC (直流串激電動機加交流電源) 應修改部分

- 定部和轉部鐵心均採用矽鋼片
- 弱磁場減少 R_f ，漏磁電抗電壓影響功率因數
- 裝設補償繞組，減少電樞反應 (電抗電壓影響功率因數)
- 減少電樞繞組，否則換向困難

(2) $\cos\theta$ 隨負載增加而降低

柒、推斥式

構造最簡單， T_s 最大，電刷需短路

- | | | |
|-------------------------------|--------------------|---------------------|
| (1) 刷軸平行極軸 | (2) 刷軸垂直極軸 | (3) 轉向 |
| 磁通 = 0 | 磁通最大 | a. 電刷順極軸移動 - > 順向方向 |
| I_a 最大 | $I_a = 0$ (刷軸短路線圈) | b. 電刷逆極軸移動 - > 逆向方向 |
| $T = K \phi I_a$ (方向相反合力 = 0) | $T = 0$ | |
| $e = BLV \sin 90^\circ$ 最大 | | |

第十七節 三相同步機

壹、結構

- a. 定子繞置互隔 $120^\circ\theta_e$ 三相電樞繞組
- b. 轉子通以低壓直流

貳、交流發電機之種類

	凸極型	圓柱型
適於	低速 800rpm 以下	高速 800rpm 以上
轉子直徑	大	小
轉軸	短	長
直軸磁阻	小於交軸	等於交軸
直軸電抗	大於交軸	等於交軸
用途	水輪 G 引擎 G	汽(渦)輪 G

參、交流發電機之種類及用途

	水輪	汽輪	引擎
轉速	200~800	1500~3600	300~600
轉子	凸極型	圓柱型	凸極型
冷卻	水	氫氣	
用途	水力發電廠	火力、核能	緊急備用

肆、同步電動機

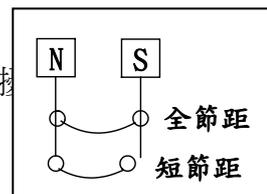
阻尼繞組 → 裝於轉子磁極槽內，藉端環加以短路，形成鼠籠般的繞組，協助啟動

- a. $N_r = N_s$ 不作用
- b. $N_r \neq N_s$ ，防止追逐現象，維持 N_s
- c. 追逐現象: 由於負載急遽變化，造成同步機之負載角(應電勢 E 與端電壓 V 之相角)在同步速率上下作週期性變化

二. 繞線方式

- (1) 理論上 → 全節距、集中繞、但會有諧波干擾
- (2) 實際上 → 短節距、分佈繞
- (3) 短節距之優缺點

優點:



- a. 減少諧波、改善電勢波形、使其更接近正弦波
- b. 節省末端連線，減少 P_c
- c. 減少電感量

缺點: 應電勢較全節距低

(4) 分佈繞

- a. 降低應電勢諧波成份
- b. 效率高
- c. 繞組較易散熱、應電勢較低

三. 感應電勢計算

(1) 理論 $E_p = 4.44N = 2.22Zf\phi$

(2) 實際 $E_p = K_w 4.44fN_p$

(3) K_w (繞組因數) = $K_p \times K_d$

(4) K_p (節距因數) = 短節距感應電勢 / 全節距感應電勢 = $\sin(x/2)$

(5) K_d (分佈因數) = 分佈繞感應電勢 / 集中繞感應電勢
 $= \sin(180/2 * \text{相數}) / q \sin(180/2 * \text{相數} * q)$

q (每相每極槽數) = 槽 / (相數 * 極數)

(6) 諧波

正弦波	三次諧波	五次諧波
$A \angle 0^\circ$	$A \angle 0^\circ * 3 = 0^\circ$	$A \angle 0^\circ * 5 = 0^\circ$
$B \angle -120^\circ$	$B \angle -120^\circ * 3 = 0^\circ$	$B \angle -120^\circ * 5 = 120^\circ$
$C \angle 120^\circ$	$C \angle 120^\circ * 3 = 0^\circ$	$C \angle 120^\circ = -120^\circ$

四、特性曲線

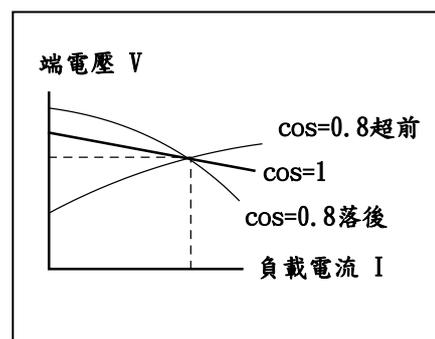
(1) 外部特性曲線

條件：額定轉速及激磁電流不變，

負載電流與端電壓之關係

負載超前電樞反應產生加磁作用，端電壓上升

負載落後電樞反應產生去磁作用，端電壓下降



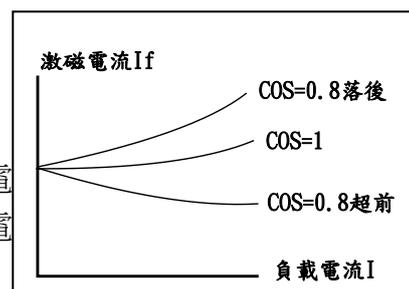
(2) 激磁特性曲線

條件：額定轉速及端電壓不變，

負載電流與激磁電流之關係

負載超前電樞反應產生加磁作用，須減少激磁電

負載落後電樞反應產生去磁作用，須增加激磁電

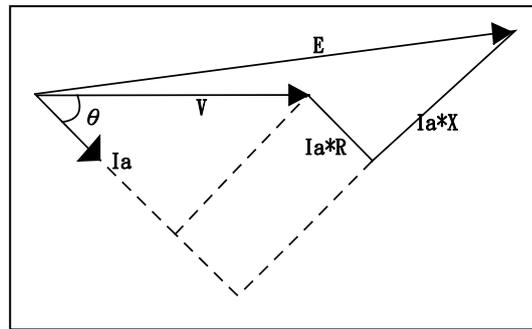


P~18

(3) 同步發電機向量圖

電流落後電壓

$$E = \sqrt{(V \cos \theta + IR)^2 + (V \sin \theta + IX)^2}$$

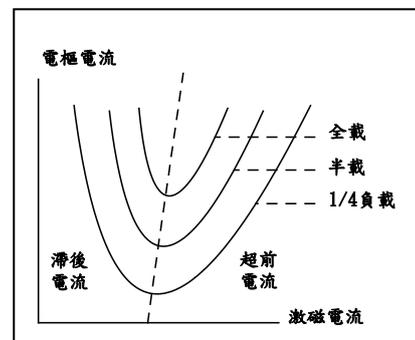


(3) V形特性曲線

輸出固定運轉，激磁電流從欠激加至過激時，

電樞電流逐漸減少後再逐漸增加

激磁電流與電樞電流之曲線



(5) I.M 和 S.M 之比較

	功率因數	空氣隙	啟動	直流激磁
I.M	不可調整	甚短	可自行啟動	不需要
S.M	可調整	較寬	不可自行啟動	需要

(6) SM 的運用

使 SM 於無載及過激磁，其特性為電容，稱同步電容器或同步調相機，安裝於變電所之主 Tr，以改善功率因數 $\cos \theta$ 。

- 減少線路電流
- 減少線路壓降
- 減少線路損失
- 增加系統容量

『公式』

$$(1) PL1 - PL2 = PL1 \left[1 - \left(\frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \right)^2 \right]$$

$$(2) Q_c = P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \text{ (VAR)} \quad C = (Q_c / 2 \pi f) * 10^{-6} \mu f$$

(7) 小型 S.M

1. 可為計數器、計時器

2.磁阻電動機—>1 相凸極式 S.M

3.磁滯電動機—>1 相圓筒式 S.M

第十八節 特殊電機

壹、伺服電動機

(1)特性

a. Ts 大

b.轉子慣性小(響應小)、機械時間常數小、重量輕、電氣時間常數小

c.摩擦小、無制動特性

d.可正逆轉控制

(2)控制方式

a.場控—>高感抗—>小容量

b.樞控—>大容量

貳、步進電動機

(1)特性

a.數位、脈衝馬達

b.數入—脈波轉動—固定角度

c.轉動角度跟輸入脈波數成正比

d.無累積誤差—>開環路

e.具高靜止扭矩

f.可正逆轉控制

(2)驅動方式

一相—>激磁一相繞組，轉一步，振動較大

二相—>激磁二相繞組，轉一步，較穩定

一~二相—>交替磁場一、二相，得半步

(3)公式

1 步之 $\theta_s = 360^\circ / \text{步進數}$

(轉一圈)步進數 = 定子相數 \times 轉子齒數

(4)用途

電腦週邊，印表機，磁碟機

參、線性電動機

(1)公式

a. 同步速率 $V_s = 2P_{th}/T = 2fP_{th} \text{ (m/s)}$ \Rightarrow 一週移動兩個極距 P_{th}

b. $V_r = (1-S)V_s \text{ (m/s)}$

c. $S = (V_s - V_r)/V_s$

(2) 用途

低速 \rightarrow 電動門

高速 \rightarrow 磁浮列車

伍、電磁耦合式電動機

(1) 原理: 利用渦流耦合機產生電磁耦合效應(調整 I_f)

(2) 範圍: 10: 1

(3) 別稱: EC, VS, AS

(4) 構造: 感應電動機, 渦流耦合機和轉速發電機

(5) 用途: 漸為變頻器控速取代