

103 年公務人員特種考試外交領事人員及外交行政人員、國際經濟商務人員、民航人員及原住民族考試試題

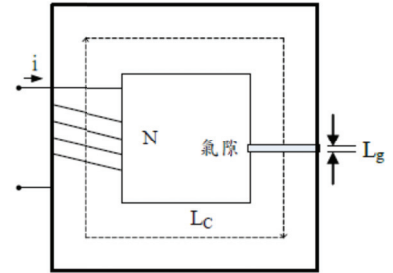
考試別：原住民族特考

等 別：三等考試

類科組：電力工程

科 目：電機機械

一、某一型號鐵芯所構成之線圈如右圖所示，其中鐵芯幾何平均磁路長度 $L_C=50\text{cm}$ ，截面積 $A=25\text{cm}^2$ ，氣隙磁路長 $L_g=0.1\text{cm}$ ；鐵芯相對導磁係數 (relative permeability) $\mu_r=5000$ ，氣隙之導磁係數 (permeability) $\mu_0=4\pi\times 10^{-7}\text{H/m}$ ，邊緣效應 (fringing effect) 使氣隙等效截面積 A_g 較鐵芯截面積 A 多 10%。忽略線圈之磁漏 (Leakage) 及磁飽和效應：



(一)請計算出鐵心及氣隙之個別磁阻 (10 分)

(二)欲使鐵芯線圈電感量最接近 50mH ，則所需之線圈匝數 N (取整數) 為何? (5 分)

(三)激磁電流時間函數 $i(t)=500\sin(377t)\text{mA}$ 時，請導出線圈端

電壓時間函數 $v(t)$ 。(5 分)

解：

$$(一) \text{鐵心磁阻 } \mathfrak{R}_C = \frac{L_C}{\mu A} = \frac{0.5}{5000 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 0.0025} = 31831 \text{ A}\cdot\text{T}/\text{Wb}$$

$$\text{鐵心磁阻 } \mathfrak{R}_g = \frac{L_g}{\mu_0 A_g} = \frac{0.001}{4\pi \times 10^{-7} \times 0.0025 \times (1+10\%)} = 289373 \text{ A}\cdot\text{T}/\text{Wb}$$

$$(二) L = \frac{N^2}{\mathfrak{R}_g + \mathfrak{R}_C}, \quad 50 \times 10^{-3} = \frac{N^2}{289373 + 31831}, \quad N \approx 126.73 \approx 127 \text{ 匝}$$

$$(三) v(t) = L \frac{di(t)}{dt} = 50 \times 10^{-3} \frac{d[500\sin(377t)]}{dt} = 9425 \cos(377t) \text{ V}$$

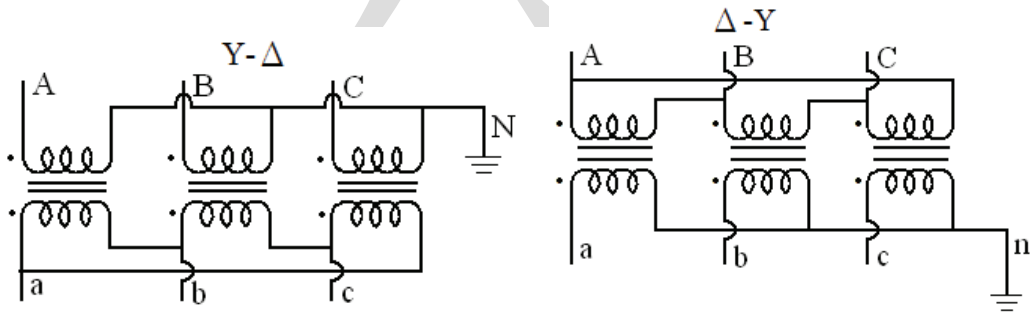
公職王歷屆試題 (103 年原住民考試)

二、已知三個同為 100 kVA，10 kV/200 V 的單相變壓器：

- (一)當用於三相系統時，欲得到平衡正序電源，請分別畫出 Y- Δ 及 Δ -Y 兩種不同接線方式之接線圖 (5 分)
- (二)請針對前述問題(一)之不同接線方式，以相量圖說明若其中一相極性錯誤時，對變壓器及輸出電壓的效應 (5 分)
- (三)若在某地方，相電壓 10 kV 之四線 Y 接電源只具有正常三相中的兩相及中性線，且上述三個變壓器中有一個故障不能使用。請利用其中正常的兩個單相變壓器設計適當配線方式，以供應需三相平衡且線電壓為 200 V 之三相平衡負載。(答案需包含畫出正確的接線圖，並計算不使任一變壓器超載之負載最大容量 (10 分))

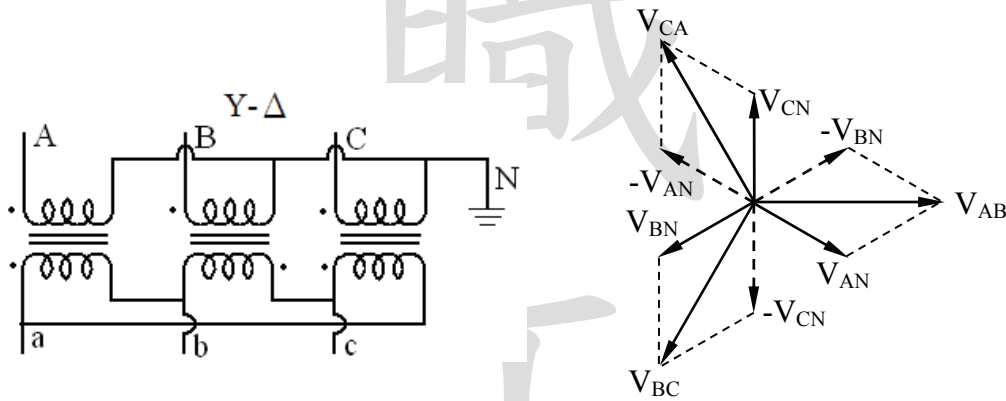
解：

(一)



(二)

1. 設 Y- Δ 接線中二次側 b 相極性錯誤如圖下所示，三相電源正常供電相量圖如下所示：



若一次側線電壓為 $V_{AB} = V_L \sin \omega t$ 、 $V_{BC} = V_L \sin \left(\omega t - \frac{2}{3} \pi \right)$ 、

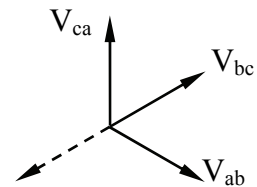
$V_{CA} = V_L \sin \left(\omega t + \frac{2}{3} \pi \right)$ ，則一次側相電壓為

$V_{AN} = V_L \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right)$ 、 $V_{BN} = V_L \sin \left(\omega t - \frac{5}{6} \pi \right)$ 、

$V_{CN} = V_L \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$ ，二次 V_{ab} 感應電壓與一次 V_{AN} 相同，二次 V_{ca} 感應電壓與一次 V_{CN} 相

同，但 b 相變壓器極性錯誤造成二次 V_{bc} 感應電壓與一次 V_{BN} 相反，如右相量圖所示。

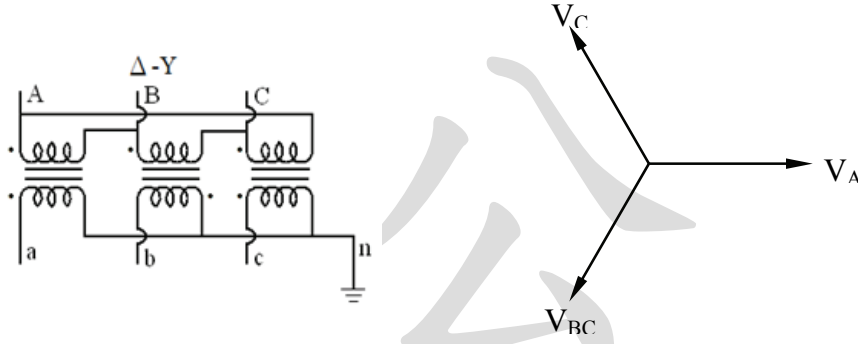
若如上述 Y- Δ 接線中二次側 b 相極性錯誤，二次側感應電壓(如向量圖)為



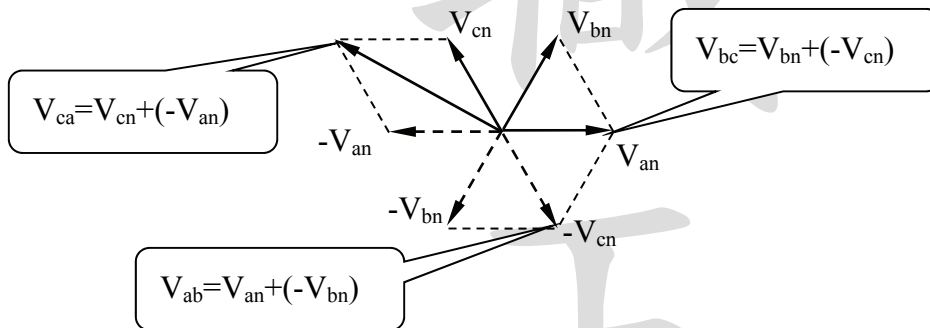
$$V_{ab} = V_l \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right), V_{bc} = V_l \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right), V_{ca} = V_l \sin\left(\omega t = \frac{\pi}{2}\right), \text{二次側會產生 } V_{bc} \text{ 相位錯}$$

誤(正常應為 $\left(-\frac{5}{6}\pi\right)$)

2. 設 Δ -Y 接線中二次側 b 相極性錯誤如圖下所示，三相電源正常供電相量圖如下所示：



若一次側線電壓為 $V_{AB} = V_L \sin \omega t$ 、 $V_{BC} = V_L \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right)$ 、 $V_{CA} = V_L \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right)$ ，二次 V_{an} 感應電壓與一次 V_{AB} 相同，二次 V_{cn} 感應電壓與一次 V_{CA} 相同，但 b 相變壓器極性錯誤造成二次 V_{bn} 感應電壓與一次 V_{BC} 相反，如下相量圖。



二次側線電壓為 $V_{ab} = V_{an} + V_{nb} = V_{an} + (-V_{bn})$ 如相量圖所示；同理 $V_{bc} = V_{bn} + (-V_{cn})$ 、 $V_{ca} = V_{cn} + (-V_{an})$ 亦如相量圖所示。

若如上述 Δ -Y 接線中二次側 b 相極性錯誤，二次側感應相電壓(如向量圖)為 $V_{an} = V_p \sin \omega t$ 、

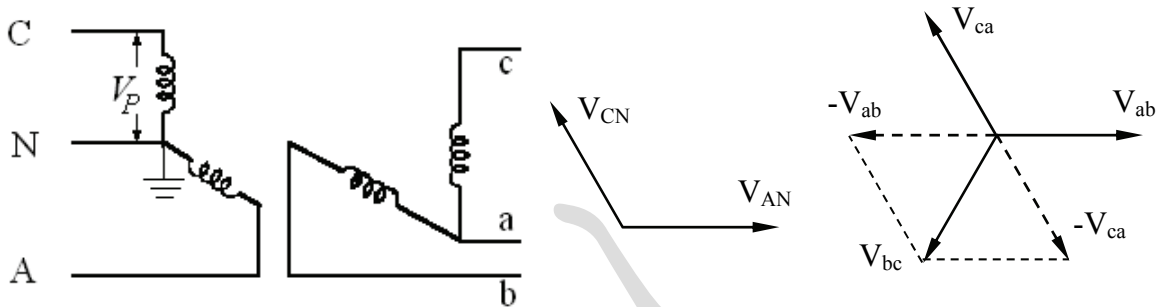
$$V_{bn} = V_p \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right), V_{cn} = V_p \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right), \text{二次側線電壓 } V_{ab} = V_p \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{3}\right),$$

$$V_{bc} = V_p \sin(\omega t), V_{ca} = \sqrt{3}V_p \sin\left(\omega t + \frac{5\pi}{6}\right)。正常供電下二次側應為 V_{ab} = \sqrt{3}V_p \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

$$V_{bc} = \sqrt{3}V_p \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad V_{ca} = \sqrt{3}V_p \sin\left(\omega t + \frac{5\pi}{6}\right)$$

，不只相位錯誤電壓大小亦不正確。

(二)可採用 U-V 接線方式如下圖所示，



V_{ab} 與 V_{AN} 同相， V_{ca} 與 V_{CN} 同相，若電壓 $V_{AN} = V_p \sin \omega t$ 、 $V_{CN} = V_p \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right)$ ，則二次側

V_{ab} 與 V_{ca} 電壓可表示成 $V_{ab} = V_l \sin \omega t$ 、 $V_{ca} = V_l \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right)$ ，由上方之接線圖可知

$V_{bc} = V_{ba} + V_{ac}$ ，亦即為 $V_{bc} = (-V_{ab}) + (-V_{ca})$ ，相量相加如右上方之相量圖所示，

$V_{bc} = V_l \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right)$ ，二次側可提供完整的三相電源。

U-V 接線利用率為 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ ，不使任一變壓器超載之負載最大容量 $2 \times 100kVA \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 173.2kVA$

三、壹台直流並激式 (Shunt) 電動機之額定電壓與轉速分別為 100 V 及 1000 rpm，其電樞電路等效電阻 $R_A = 0.025 \Omega$ (含碳刷、補償繞組及中間極繞組電阻，但不包括另外串接之可變電阻 R_S)，激磁電路總電阻 $R_F = 20 \Omega$ (含激磁繞組等效電阻及串接之外加電阻)。已知端電壓固定在 100 V，且無載之下，轉子轉速為 1000 rpm (假設無載時電樞電流 I_A 可忽略 ($I_A = 0 A$))，且在各種運轉狀況下電樞反應效應及碳刷壓降均不計)：

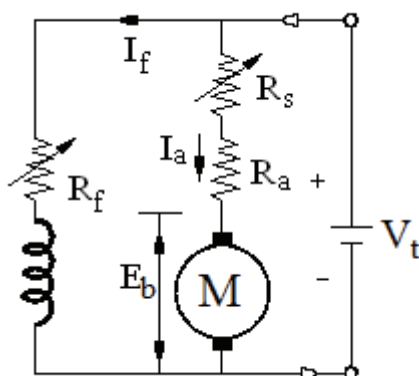
(一)請畫出電動機之等效電路，並計算出輸入電流 I_L 分別為 105 A 及 205 A，且 $R_S = 0 \Omega$ 時之轉速 (以 rpm 為單位)。(10 分)

(二)請分別針對前述問題(一)之不同輸入電流 I_L ，計算出電動機之轉矩。(5 分)

(三)若電動機之激磁及轉矩均不變，請說明如何調降轉速。(5 分)

解：

(一)等效電路如下：



依題意無載轉速 $1000 = n = \frac{E_b}{k\phi} = \frac{100}{k\phi}$ ， $k\phi = 0.1$ ，並激式且忽略電樞反應，即磁通不變

$I_L = 105A$ 時直流並激電動機轉速：

$$n = \frac{E_b}{k\phi} = \frac{V_t - I_A \times (R_s + R_A)}{k\phi} = \frac{100 - 105 \times (0 + 0.025)}{0.1} = 973.75 \text{ rpm}$$

$I_L = 205A$ 時直流並激電動機轉速：

$$n = \frac{E_b}{k\phi} = \frac{V_t - I_A \times (R_s + R_A)}{k\phi} = \frac{100 - 205 \times (0 + 0.025)}{0.1} = 948.75 \text{ rpm}$$

$$(二) T = \frac{P_o}{\omega} = \frac{E_b \times I_a}{\omega}$$

$I_L = 105A$ 時直流並激電動機轉矩：

$$T = \frac{[V_t - I_A \times (R_s + R_A)] \times I_A}{\omega} = \frac{[100 - 105 \times (0 + 0.025)] \times 105}{2\pi \times \frac{973.75}{60}} = 100.27 \text{ N-m}$$

$I_L = 205A$ 時直流並激電動機轉矩：

$$T = \frac{[V_t - I_A \times (R_s + R_A)] \times I_A}{\omega} = \frac{[100 - 205 \times (0 + 0.025)] \times 205}{2\pi \times \frac{948.75}{60}} = 195.76 \text{ N-m}$$

(三) $T = k\phi I_A$ 由前式知，電動機之激磁及轉矩均不變，表示電樞電流不變，又因：

$$n = \frac{E_b}{k\phi} = \frac{V_t - I_A \times (R_s + R_A)}{k\phi}$$

，前式中電動機之激磁及轉矩均不變下，增加 R_s 可調降轉速。

四、設三相鼠籠式感應電動機之定子繞組銅損與電動機鐵損均可忽略，而其他定子側單相等效電路參數包括： V_1 為定子相電壓、 X_1 為定子繞組電抗、 X_m 為激磁電抗、 X_2 及 R_2 為轉子堵轉時之繞組電抗及電阻；此外， ω_s 及 s 分別代表同步轉速 (synchronous speed) 及轉差率 (slip)：

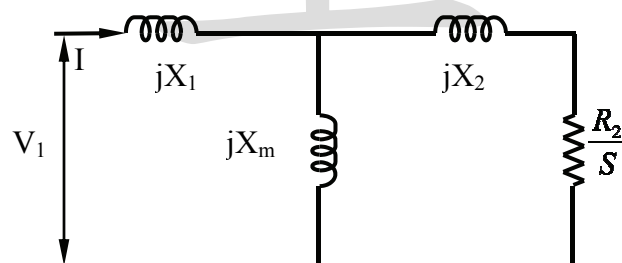
(一) 請畫出定子側之單相等效電路。(5 分)

(二) 導出轉差率 s 為變數之轉矩表示式。(10 分)

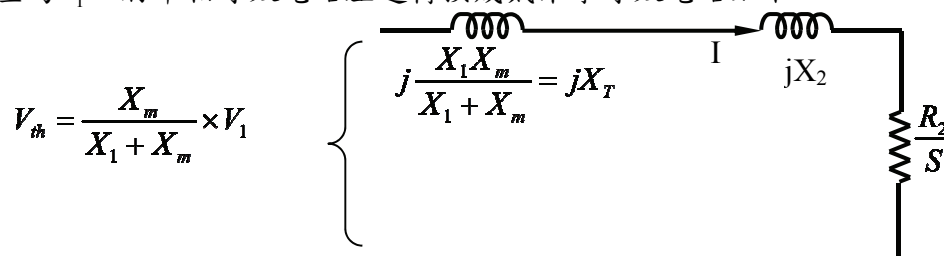
(三) 導出感應電動機產生最大轉矩時之轉差率 s_m 與 R_2 的關係。(5 分)

解：

(一)



(二) 相電壓為 V_1 ，將單相等效電路左邊轉換成戴維寧等效電路如下：



$$\text{每相轉矩為 } T = \frac{P_g}{\omega_s} = \frac{1}{\omega_s} \times I^2 \times \frac{R_2}{S}$$

$$\text{令 } V_{th} = \frac{X_m}{X_1 + X_m} \times V_1, \quad jX_T = j \frac{X_1 X_m}{X_1 + X_m}$$

$$T = \frac{1}{\omega_s} \times \frac{V_{th}^2}{(X_T + X_2)^2 + \left(\frac{R_2}{S}\right)^2} \times \frac{R_2}{S} = \frac{V_{th}^2}{\omega_s} \times \frac{SR_2}{S^2 \times (X_T + X_2)^2 + R_2^2}$$

(四)將轉矩對轉差率作微分後，可得最大扭力(轉矩) T_{max} 時之轉差率 S

$$\frac{dT}{dS} = \frac{V_{th}^2}{\omega_s} \times \frac{R_2 \times [S^2 \times (X_T + X_2)^2 + R_2^2] - 2S(X_T + X_2)^2 \times SR_2}{[S^2 \times (X_T + X_2)^2 + R_2^2]^2} = 0$$

$$S^2 \times (X_T + X_2)^2 + R_2^2 - 2(X_T + X_2)^2 \times S^2 = 0$$

$$S = \frac{R_2}{X_T + X_2} \quad (\text{其中 } X_T = \frac{X_1 X_m}{X_1 + X_m})$$

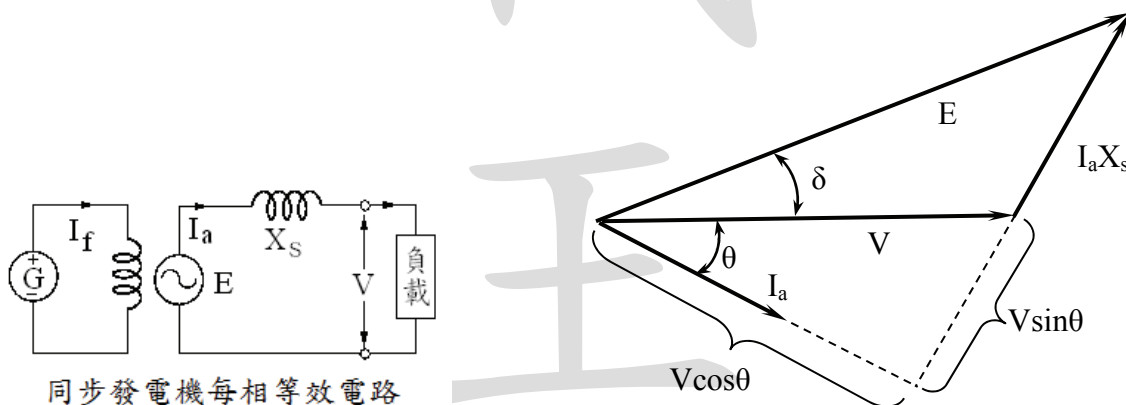
五、壹台 Δ 接、6 極同步發電機之額定端電壓為 220 V、60 Hz，額定容量為 99 kVA。已知其相同步電抗為 0.1Ω ，電樞繞組等效電阻可忽略；且於同步轉速下運轉時之摩擦損及風損總和為 6 kW，鐵損為 4 kW，雜散損失則不計。

(一)調整同步發電機的激磁場電流及原動機轉速，使其供應額定容量給功率因數為 0.7 落後之負載時，端電壓與額定情形相同，請計算此時之電壓調整率及效率；(10 分)

(二)承前述問題(一)，若同步發電機的電樞電流、激電流及轉速均不變，但負載功率因數變為 0.7 超前，請計算此新運轉狀況下之端電壓及電壓調整率。(10 分)

解：

(一)令同步電抗 = X_s 、每相端電壓 = V 、每相感應電勢 = E 、電樞電流 = I_a ，則等效電路及向量圖如下：



$$\text{額定下 } I_a = \frac{99kVA}{\sqrt{3} \times 220} \approx 260 \text{ A}$$

$$\text{又 } \cos \theta = 0.7 \text{ 時 } \sin \theta = 0.714$$

$$E = \sqrt{(V \cos \theta)^2 + (V \sin \theta + I_a X_s)^2} = \sqrt{\left(\frac{220}{\sqrt{3}} \times 0.7\right)^2 + \left(\frac{220}{\sqrt{3}} \times 0.714 + 260 \times 0.1\right)^2}$$

$$E = 146.7 \text{ V}$$

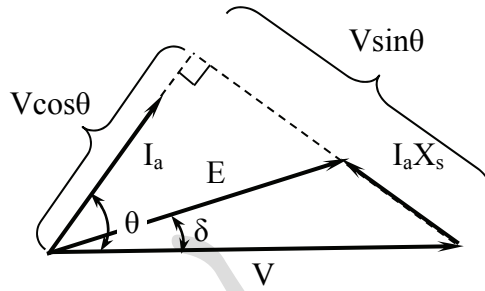
$$\text{電壓調整率 } \varepsilon = \frac{146.7 - \frac{220}{\sqrt{3}}}{\frac{220}{\sqrt{3}}} \times 100\% = 15.5\%$$

公職王歷屆試題 (103 年原住民考試)

$$\text{效率 } \eta = \frac{P_o}{P_o + P_{loss}} \times 100\% = \frac{99kVA \times 0.7}{99kVA \times 0.7 + 6kW + 4kW} \times 100\% = 87.39\%$$

(二)

功率因數超前向量圖如下：



$$E = \sqrt{(V \cos \theta)^2 + (V \sin \theta - I_a X_s)^2} = \sqrt{\left(\frac{220}{\sqrt{3}} \times 0.7\right)^2 + \left(\frac{220}{\sqrt{3}} \times 0.714 - 260 \times 0.1\right)^2} \approx 110 \text{ V}$$

$$\text{電壓調整率 } \varepsilon = \frac{110 - \frac{220}{\sqrt{3}}}{\frac{220}{\sqrt{3}}} \times 100\% = -13.4\%$$

公
職
王