

110 年公務人員高等考試三級考試試題

類 科：電力工程
科 目：電力系統

陳銘老師解題

一、功率因數為落後 0.707 的三相負自線電壓 440V 汲取 250kW 功率，與此負載併聯的是三相電容器組，其汲取 60kVA 功率。試求總電流及合併的功率因數。(20 分)

1. 《考題難易》：★
2. 《解題關鍵》：補償電容器將造成虛功下降與三相公式之熟悉即可求出
3. 《命中特區》：電力系統第 1 章 1-1 第 7 個重點

【擬答】：

(一)三相負載(滯後)：

$$P_{3\phi L} = 250kW; Q_{3\phi L} = 250k \times \tan(\cos^{-1}0.707) = 250kVAR$$

(二)三相電容器組(領先)：

$$Q_{3\phi C} = 60kVAR$$

(三)總實功與總虛功率分別為

$$P_{3\phi T} = 250kW; Q_{3\phi T} = 250k - 60k = 190kVAR$$

(四)合併的功率因數與總電流分別為

$$S_{3\phi} = \sqrt{250^2 + 190^2}k = 314kVA$$

$$pF = \frac{P_{3\phi}}{S_{3\phi}} = \frac{250k}{314k} = 0.7962$$

$$314k = \sqrt{3} \times 440 \times I_L \Rightarrow I_L = 412A$$

二、針對圖 1 的二個匯流排系統， $P_{T2} + jQ_{T2} = 1.2 + j0.5$ ，所有的數值皆為標么(pu)值。試執行兩次的高斯賽得電力潮流疊代(Gauss-Seidel Power Flow Iteration)，求解匯流排 2 的電壓大小及相角。假設匯流排 1 為鬆弛匯流排(Slack Bus)，且匯流排 2 的初始電壓為 $1.0 \angle 0^\circ$ 。(20 分)

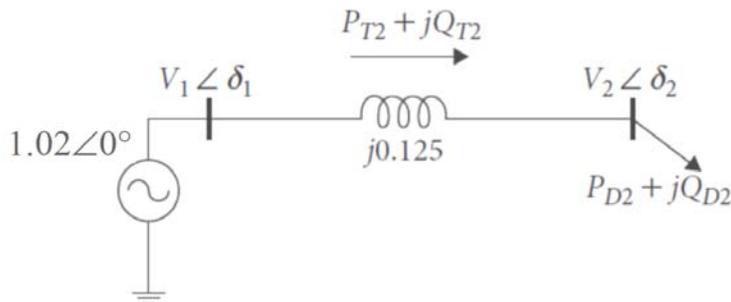


圖 1

1. 《考題難易》：★★
2. 《解題關鍵》：利用 G-S 疊代法 2 次即可求出
3. 《命中特區》：電力系統第 3 章電力潮流分析 3-2 第 5 個重點

【擬答】

(一)利用節點分析法式子如下：

$$I_1 = -j8(V_1 - V_2) = -j8V_1 + j8V_2$$

$$I_2 = -j8(V_2 - V_1) = j8V_1 - j8V_2$$

$$\Rightarrow Y_{bus} = \begin{bmatrix} -j8 & j8 \\ j8 & -j8 \end{bmatrix}$$

(二)根據下列式子：

$$V_i = \frac{1}{y_{ii}} \left[\frac{S_i^*}{V_i^*} - \sum_{k=1; k \neq i}^n y_{ik} V_k \right]; i = 2, 3, \dots, n$$

其中 $S_2 = -1.2 - j0.5$

故

$$V_2^{v+1} = \frac{1}{y_{22}} \left[\frac{P_2 - jQ_2}{V_2^{v*}} - y_{21} V_1^v \right]$$

$$\Rightarrow V_2^{v+1} = \frac{1}{-j8} \left[\frac{-1.2 - j0.5}{(V_2^v)^*} - j8 \times 1.02 \angle 0^\circ \right]$$

$$\Rightarrow V_2^{v+1} = -j \frac{1}{8} \times \frac{1.2 + j0.5}{(V_2^v)^*} + 1.02 \angle 0^\circ$$

(三)第一次迭代如下：

$$V_2^{(1)} = -j \frac{1}{8} \times \frac{1.2 + j0.5}{1.0 \angle 0^\circ} + 1.02 \angle 0^\circ = 1.0825 - j0.15 = 1.0928 \angle -7.89^\circ$$

第二次迭代如下：

$$V_2^{(2)} = -j \frac{1}{8} \times \frac{1.2 + j0.5}{(1.0928 \angle -7.89^\circ)^*} + 1.02 \angle 0^\circ = \frac{0.1625 \angle -67.38^\circ}{1.0928 \angle 7.89^\circ} + 1.02 \angle 0^\circ$$

$$V_2^{(2)} = 0.1487 \angle -75.27^\circ + 1.02 \angle 0^\circ = 1.0578 - j0.1438 = 1.0675 \angle -7.74^\circ$$

志光 學儒 保成

公職工科+國營事業

1+1 更有力 準備公職的同時，可報考國營事業考試，善用重疊考科，一次準備就能多次上榜！

上榜路徑大公開！一年內超過**8**次上榜機會！

初等考 1月 ● 最容易上手的公職考試	關務特考 4月 ● 考科少於同職等考試	鐵路特考 6月 (110年因疫情延至9月) ● 佐級錄取率最高	高普考 7月 (110年因疫情延至10月) ● 主流考試，缺額眾多	調查局特考 8月 (110年因疫情延至10月) ● 三等月薪76,000起
地方特考 12月 ● 考科同高普考	自來水評價人員 不定期 ● 只考選擇題	台電考試 不定期 ● 考科少、好準備	中油僱員 不定期 ● 只考2科，多為選擇題	國營事業職員級 不定期 ● 國營退休潮，缺額多，工科類科競爭者少

錄取率高 109年 工科錄取率 最高達**19.42%**

電力工程	電子工程	機械工程	資訊工程
高考 19.42% 普考 17.33%	高考 9.04% 普考 9.39%	高考 18.27% 普考 13.70%	高考 12.92% 普考 10.47%

三、一部 300MVA、20kV 的三相發電機，其次暫態電抗為 20%。此發電機經由 64 公里且二端皆有變壓器的輸電線路供電給數台同步電動機，如圖 2 所示的單線圖。所有電動機的額定皆為 13.2kV，而且以二台等效電動機來表示。電動機 M_1 的中性點經由電抗接地，而第二台電動機 M_2 的中性點並未接地。電動機 M_1 與 M_2 的額定輸入分別為 200MVA 與 100MVA。二台電動機之次暫態電抗 $X_d''=20\%$ ，三相變壓器 T_1 的額定為 350MVA，20kV/230kV，其漏磁電抗為 10%；變壓器 T_2 由三個單相變壓器所組成，每一個額定為 127kV/13.2kV，100MVA，漏磁電抗為 10%，輸電線路的串聯電抗為 $0.5\Omega/km$ 。假設發電機及電動機的零序電抗為 0.05 標么，發電機及電動機 M_1 的中性點都有 0.4Ω 的限流電抗器。輸電線路的零序電抗為 $1.5\Omega/km$ ，試繪出此系統的零序網路，以標么表示。選擇發電機的額定為此系統的基準值。(20 分)

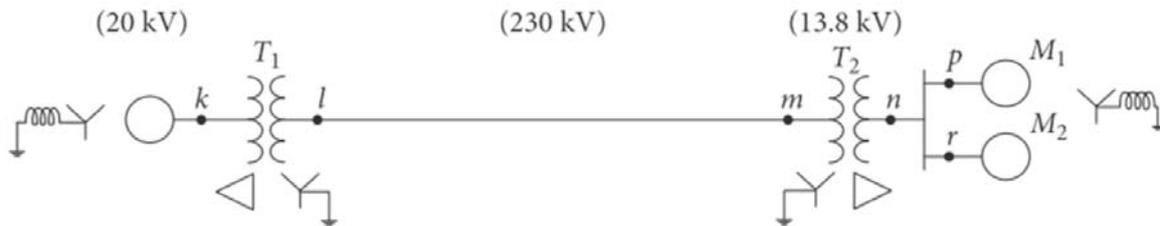
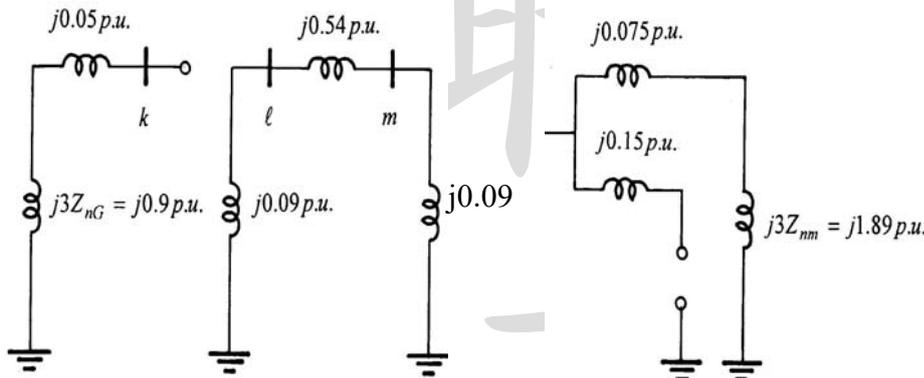


圖 2

1. 《考題難易》：★★
2. 《解題關鍵》：把握標么值計算與修正技巧，並記得零序網路特性即可畫出
3. 《命中特區》：第 4 章自我演練 6

【擬答】：

系統的零序網路如圖所示



已知輸電線 64km，零序電抗為 $1.5\Omega/km$

$G1: 300MVA, 20kV, Z_0 = 0.05 p.u.$

$M1: 200MVA, 13.8kV, Z_0 = 0.05 p.u.$

$M2: 100MVA, 13.8kV, Z_0 = 0.05 p.u.$

$X_{L1} = X_{L2} = 0.4\Omega$

$T1: 20kV / 230kV, 350MVA, x1 = 0.1 p.u.$

$T2: 220kV / 13.2kV, 300MVA, x2 = 0.1 p.u.$

(一)三相發電機

中性點都有 0.4Ω 的限流電抗器化成標么值為

$$\frac{0.4}{\frac{20^2}{300}} = 0.3 p.u.$$

(二)變壓器 $T1$ ：漏磁電抗為

$$X_{l1} = 0.1 \times \frac{300}{350} = 0.0857 \approx 0.09 p.u.$$

公職王歷屆試題 (110 高考三級)

(三)輸電線路零序電抗為

$$X_{line(0)} = \frac{1.5 \times 64}{\frac{230^2}{300}} = 0.54 p.u.$$

(四)變壓器 T2：漏磁電抗為

$$X_{l2} = 0.1 \times \left(\frac{13.2}{13.8}\right)^2 = 0.0915 \approx 0.09 p.u.$$

(五)電動機 M₁：

$$X_{M1(0)} = 0.05 \times \frac{300}{200} = 0.075 p.u.$$

$$x_n = \frac{0.4}{\frac{13.8^2}{300}} = 0.63 p.u. \Rightarrow 3 \times 0.63 = 1.89 p.u.$$

(六)電動機 M₂：

$$X_{M2(0)} = 0.05 \times \frac{300}{100} = 0.15 p.u.$$

四、當一台發電機經由兩條併聯的輸電線路提供電力至無限匯流排時，開啟其中一條線路可能會造成發電機失去同步。在穩態情況下，負載可以經由剩餘的線路供電。如果在兩條併聯線路連接的情形，故障是發生在一條線路的一端，則可將此線路兩端的斷路器開啟，將故障從系統隔離，並允許電力經由另一條併聯的線路流動。當一個三相接地故障發生在兩條併聯的其中一條線路上的某一點時(發生在併聯的匯流排或在線路的末端除外)，則在併聯匯流排與故障點之間會有一些阻抗存在。因此，當故障仍存在於系統上時，會有一部分電力被傳送。如果在故障發生前，傳輸的實功率為 $P_{max} \sin \delta$ ；在故障期間，可以傳輸的實功率為 $r_1 P_{max} \sin \delta$ 而當故障在 $\delta = \delta_{cr}$ 瞬間由於開關動作而被清除後(即，開啟故障的線路)，可以傳輸的實功率為 $r_2 P_{max} \sin \delta$ 。檢視圖 3 可發現在此情況下， δ_{cr} 為臨界清除角度。利用 A_1 及 A_2 等面積的程序步驟，試求臨界清除角度 δ_{cr} 。(20 分)

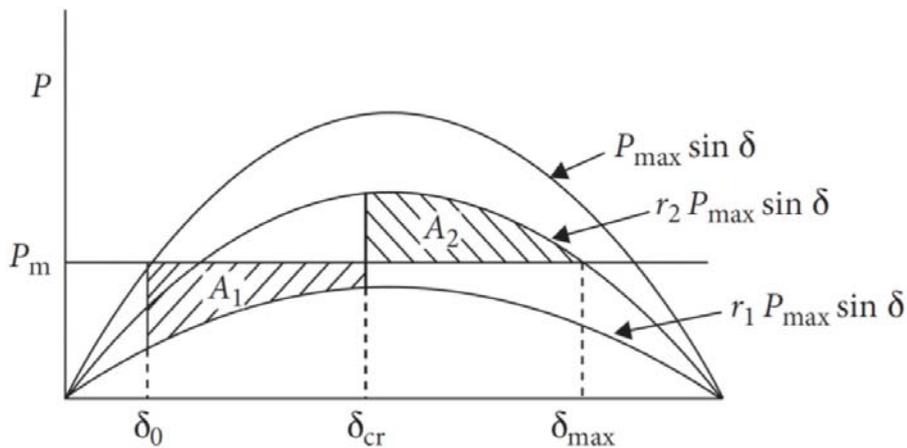
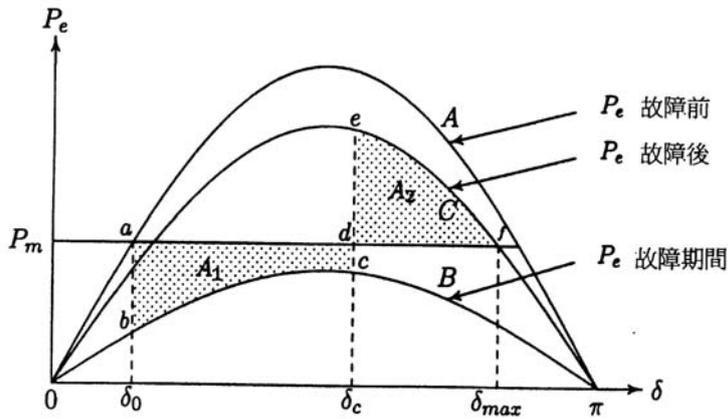


圖 3

1. 《考題難易》：★★
2. 《解題關鍵》：利用等面積法則與注意上下限值即可證出
3. 《命中特區》：電力系統第 5 章範例 15 與圖 5-6 之推導

【擬答】：

若故障發生時電功率不為 0 時，決定臨界清除角的等面積法則如圖所示



圖

$$P_m (\delta_c - \delta_0) - \int_{\delta_0}^{\delta_c} r_1 P_{\max} \sin \delta d\delta = \int_{\delta_c}^{\delta_{\max}} r_2 P_{\max} \sin \delta d\delta - P_m (\delta_{\max} - \delta_c)$$

將上式兩邊同時積分，則

$$\cos \delta_c = \frac{P_m (\delta_{\max} - \delta_0) + r_2 P_{\max} \cos \delta_{\max} - r_1 P_{\max} \cos \delta_0}{r_2 P_{\max} - r_1 P_{\max}}$$

其中

$$P_m = P_{\max} \sin \delta_0 \Rightarrow \delta_0 = \sin^{-1} \frac{P_m}{P_{\max}}$$

$$P_m = r_2 P_{\max} \sin \delta_1 \Rightarrow \delta_1 = \sin^{-1} \frac{P_m}{r_2 P_{\max}} \Rightarrow \delta_{\max} = \pi - \sin^{-1} \frac{P_m}{r_2 P_{\max}}$$

五、考慮一個具有 N 台火力發電機組的電力系統，如圖 4 所示。

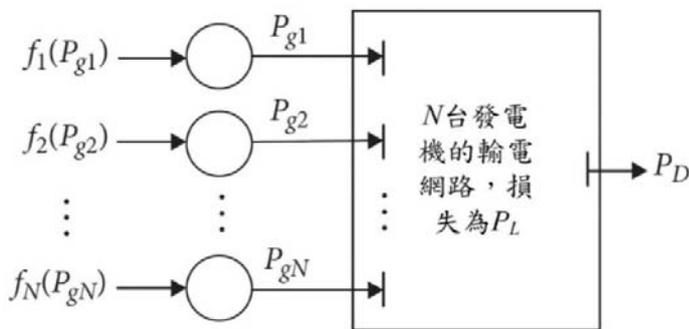


圖 4

針對整個系統，假設所有機組的總燃料成本函數 F(單位：\$/hr)為：

$$F = f_1 + f_2 + \dots + f_N = \sum_{i=1}^N f_i$$

其中個別機組之燃料成本(\$/hr)分別為 f_1, f_2, \dots, f_N 。所有發電機組輸入至電網的功率(MW)總和為：

$$P_{g1} + P_{g2} + \dots + P_{gN} = \sum_{i=1}^N P_{gi}$$

其中 $P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gN}$ 是個別機組注入電網的輸出功率(MW)。系統的總燃料成本 F 是所有電廠輸出的函數，電力平衡方程式為：

$$P_L + P_D - \sum_{i=1}^N P_{gi} = 0$$

其中 P_D 為系統總負載需求，而 P_L 為該系統的輸電損失且為各發電機輸出功率的二次函數。針對固定的系統負載需求 P_D ，以電力平衡限制為條件。

- (一) 試利用拉格朗日乘數法(The Method of Lagrange Multipliers)得在 F 有極小值(最低總燃料成本)時的系統遞增燃料成本函數 λ (\$/MWh)。(10 分)
- (二) 若圖 4 之電力系統由兩座($N=2$)火力發電廠供電，全部以經濟調度運轉。發電廠 1 的遞增燃料成本為 \$11/MWh，發電廠 2 的遞增燃料成本為 \$13/MWh。那一座電廠有較高的懲罰因數(Penalty Factor)及其值為何?如果每小時增加 1MW 的總負載供電燃料成本為 \$14，試求電廠 2 的懲罰因數。(10 分)

1. 《考題難易》：★★
2. 《解題關鍵》：把握 $IC_1 \times L_1 = IC_2 \times L_2 = \lambda$ 即可計算出來
3. 《命中特區》：電力系統第 6 章經濟調度第二種題型與說明

【擬答】：

(一) 因輸電損失視電廠輸出電力而定，故 dP_L 可表為

$$dP_L = \sum_{i=1}^N \frac{\partial P_L}{\partial P_{gi}} dP_{gi}$$

代入上式可得

$$\sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_{gi}}\right) dP_{gi} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^N \left[\frac{dF}{dP_{gi}} - \lambda \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_{gi}}\right) \right] dP_{gi} = 0$$

故

$$\left[\frac{dF}{dP_{gi}} - \lambda \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_{gi}}\right) \right] = 0 \Rightarrow \lambda = \frac{\frac{dF}{dP_{gi}}}{1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_{gi}}} \Rightarrow L = \frac{1}{1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_{gi}}}$$

其中

L 稱為罰點因素(penalty factor)

且

$$\frac{dF}{dP_{gi}} \times L_i = \lambda$$

(二) $IC_1 \times L_1 = IC_2 \times L_2 \Rightarrow 11 \times L_1 = 13 \times L_2 \Rightarrow L_1 > L_2$

發電廠 1 有較高的懲罰因數

$$11 \times L_1 = 14 \Rightarrow L_1 = \frac{14}{11}$$

$$13 \times L_2 = 14 \Rightarrow L_2 = \frac{14}{13}$$

志光 學儒 保成

工科人專屬學習規劃

精心安排完整豐富的上榜課程

工科考試所需要的資源，我們通通幫你準備好了

**法科
架構班**

學校沒教的，我們教給你！
名師精解法科知識，
結合實務例子，助你建構
法科概念。

**扎實
正規班**

完整堂數規劃，循序漸進學
習，讓您深度修習工科各專
業學科知識。

**作文
實戰班**

作文再也不是理工人的痛！
透過專業老師的輔導，快速
強化您的寫作架構、邏輯概
念。

**主題
題庫班**

主題式教學，搭配各類試題
演練，進行考點分析及破題
要點訓練，讓您短時間各科
實力倍增。

**全國全真
模擬考**



檢視應考實力、訓練臨場反
應、掌握最新考題趨勢，全
程比照考試時程，模擬考場
實戰氛圍，讓您能以平常心
應考！

**精華
總複習**

考前重點總複習，精準掌握
重要考點，讓您考前實力突
飛猛進。

**考前提要
關懷講座**

名師考前最終提點，穩定你
累積許久的實力，讓你的觀
念更加清晰。

**工科
全科班**

公職+國營完善循環課程規
劃，All in One課程一次到
位，奠定穩固基礎、強化上
榜實力。



109普考 電子工程
曾○維
一年考取

我是工科人，我工頂啦！

由於考試的題目非常靈活，參加題庫班，除了勤做考古題外，大量實作解說，很快速地強化我的考前記憶，每做一道題目馬上能判斷是在哪一章節，然後再進行解題。

■完整課程資訊詳洽全國志光·學儒·保成門市■

職王