經濟部所屬事業機構 105 年新進職員甄試試題

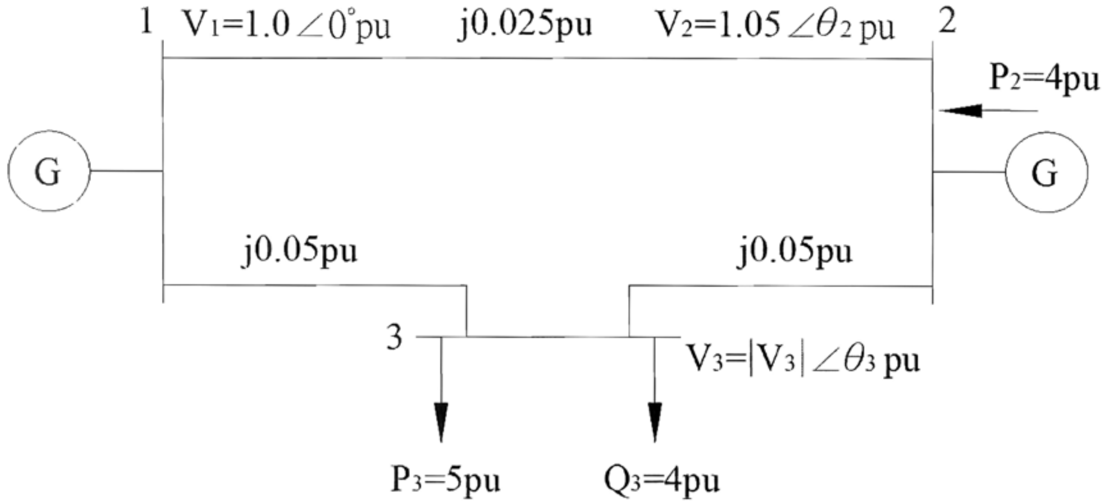
類別:電機(甲)
節次:第三節
科目:電力系統/電機機械

一、【圖 1】為一簡單的三匯流排電力系統，發電機連接於匯流排 1 及 2，匯流排 1 之電壓為 $V_1 = 1.0\angle 0° pu$，匯流排 2 之電壓為 $V_2 = 1.05\angle \vartheta_2 pu$ 且發電機提供之有效功率為 $P_2 = 4pu$，匯流排 3 之電壓為 $V_3 = |V_3|\angle \vartheta_3 pu$ 且負載所消耗的有效功率為 $P_3 = 5pu$，無效功率為 $Q_3 = 4pu$，匯流排 1 及 2 問之線路電抗為 0.025pu，匯流排 1 及 3 問之線路電抗為 0.05pu，匯流排 2 及 3 問之線路電抗為 0.05pu。請使用牛頓-拉弗森法(Newton-Raphson)，以初始估計值 $V_2^{(0)} = 1.05\angle 0° pu$，$V_3^{(0)} = 1\angle 0° pu$ 執行一次疊代，試求:
(計算至小數點後第 6 位，以下四捨五入)（各小題 5 分，共 15 分）

㈠第一次疊代後 $\vartheta_2^{(1)}$ 為多少弳(radian)?

㈡第一次疊代後 $\vartheta_3^{(1)}$ 為多少弳(radian)

㈢第一次疊代後 $|V_3^{(1)}|$ 為多少 pu?



【圖 1】

【擬答】:
㈠建立 Y_{bus} :

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} -j60 & j40 & j20 \\ j40 & -j60 & j20 \\ j20 & j20 & -j40 \end{bmatrix}$$

㈡建立功率潮流方程式：

$$P_2(\delta_2)=|V_2||Y_{21}||V_1|\cos(\delta_2-\delta_1-\theta_{21})+|V_2||Y_{22}||V_2|$$
$$\cos(\delta_2-\delta_2-\theta_{22})+|V_2||Y_{23}||V_3|\cos(\delta_2-\delta_3-\theta_{23})$$
$$=42\sin\delta_2+21|V_3|\sin(\delta_2-\delta_3)$$

$$P_3(\delta_3)=|V_3||Y_{31}||V_1|\cos(\delta_3-\delta_1-\theta_{31})+|V_3||Y_{32}||V_2|$$
$$\cos(\delta_3-\delta_2-\theta_{32})+|V_3||Y_{33}||V_3|\cos(\delta_3-\delta_3-\theta_{33})$$
$$=20|V_3|\sin\delta_3+21|V_3|\sin(\delta_3-\delta_2)$$

$$Q_3(|V_3|)=|V_3||Y_{31}||V_1|\sin(\delta_3-\delta_1-\theta_{31})+$$
$$|V_3||Y_{32}||V_2|\sin(\delta_3-\delta_2-\theta_{32})+$$
$$|V_3||Y_{33}||V_3|\sin(\delta_3-\delta_3-\theta_{33})$$
$$=-20|V_3|\cos\delta_3-21|V_3|\cos(\delta_3-\delta_2)+40|V_3|^2$$

㈢建立 Jacobian 式：

$$x=\begin{bmatrix}\delta_2\\ \delta_3\\ |V_3|\end{bmatrix}\qquad J(x)=\begin{bmatrix}\frac{\partial P_2}{\partial\delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial\delta_3} & \frac{\partial P_2}{\partial|V_3|}\\ \frac{\partial P_3}{\partial\delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial\delta_3} & \frac{\partial P_3}{\partial|V_3|}\\ \frac{\partial Q_3}{\partial\delta_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial\delta_3} & \frac{\partial Q_3}{\partial|V_3|}\end{bmatrix}$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial\delta_2}=42\cos\delta_2+21|V_3|\cos(\delta_2-\delta_3)$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial\delta_3}=-21|V_3|\cos(\delta_2-\delta_3)$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial|V_3|}=21\sin(\delta_2-\delta_3)$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial\delta_2}=-21|V_3|\cos(\delta_3-\delta_2)$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial\delta_3}=20|V_3|\cos\delta_3+21|V_3|\cos(\delta_3-\delta_2)$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial|V_3|}=20\sin\delta_3+21\sin(\delta_3-\delta_2)$$

$$\frac{\partial Q_3}{\partial\delta_2}=-21|V_3|\sin(\delta_3-\delta_2)$$

$$\frac{\partial Q_3}{\partial\delta_3}=20|V_3|\sin\delta_3+21|V_3|\sin(\delta_3-\delta_2)$$

$$\frac{\partial Q_3}{\partial|V_3|}=-20\cos\delta_3-21\cos(\delta_3-\delta_2)+80|V_3|$$

㈣建立失配方程式

P2=PG2=4，P3=-PL3=-5，Q3=-QL3=-4

假設初值為δ2(0)=δ3(0)=0，$|V_3|=1.0$

則失配方程式初始值為

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2(0) \\ \Delta P_3(0) \\ \Delta Q_3(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_2 \\ P_3 \\ Q_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} P_2(\delta_2(0)) \\ P_3(\delta_3(0)) \\ Q_3(|V_3|(0)) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ -5 \\ -4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ -5 \\ -3 \end{bmatrix}$$

JacobianForm 初始值與反矩陣為

$$J(0) = \begin{bmatrix} 63 & -21 & 0 \\ -21 & 41 & 0 \\ 0 & 0 & 39 \end{bmatrix}$$

$$[J(0)]^{-1} = \begin{bmatrix} 0.019141 & 0.009804 & 0 \\ 0.009804 & 0.029412 & 0 \\ 0 & 0 & 0.025641 \end{bmatrix}$$

因此第一次疊代之值為

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta_2(0) \\ \Delta\delta_3(0) \\ |\Delta V_3(0)| \end{bmatrix} = [J(0)]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.019141 & 0.009804 & 0 \\ 0.009804 & 0.029412 & 0 \\ 0 & 0 & 0.025641 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 \\ -5 \\ -3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.027544 \\ -0.107844 \\ -0.076923 \end{bmatrix}$$

最後之值為

$$\begin{bmatrix} \delta_2(1) \\ \delta_3(1) \\ |V_3(1)| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta\delta_2(0) \\ \Delta\delta_3(0) \\ |\Delta V_3(0)| \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_2(0) \\ \delta_3(0) \\ |V_3(0)| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.027544 \\ -0.107844 \\ -0.076923 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.027544 \\ -0.107844 \\ 0.923077 \end{bmatrix}$$

二、【圖 2】為一單電源供電系統，此系統有 1～5 共 5 個匯流排與 A～D 共 4 段輸電線路，每段輸電線路均裝設相同型式之測距電驛 1 具作為線路保護，測距電驛 A～D 之設定規則如【表 1】所示，CTR(CurrentTransformerRatio)均為 400，PTR(PotentialTransformerRatio)均為 1400，各段輸電線路之阻抗值與長度如【表 2】所示。試求:

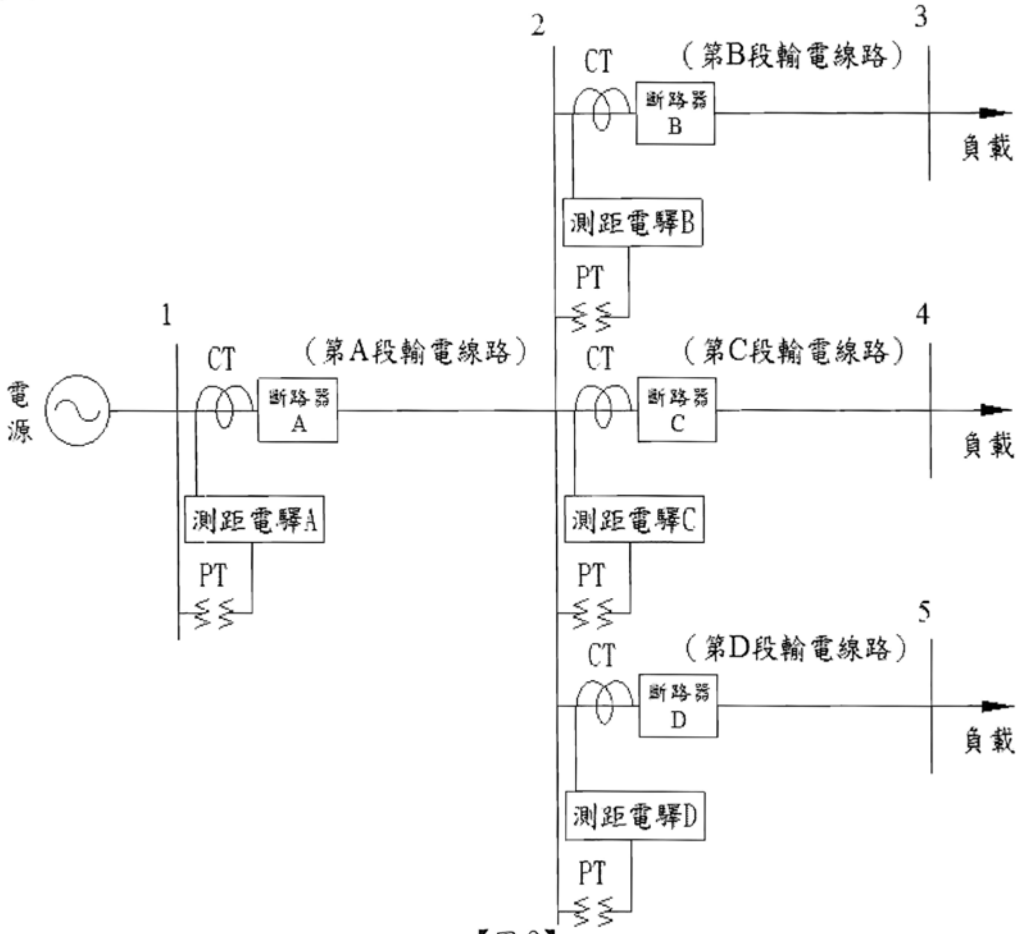
(計算至小數點後第 2 位，以下四捨五入)(各小題 5 分，共 20 分)

㈠測距電驛 D 之第一區間阻抗值為多少歐姆?

㈡測距電釋 A 之第二區間阻抗值為多少歐姆?

㈢測距電驛 A 之第三區間阻抗值為多少歐姆?

㈣假設匯流排 2 發生三相短路故障，此故障應由哪一具測距電驛之第幾區間動作清除?



【圖 2】

【表 1】

區間選擇	區間阻抗值 (歐姆)	延時(秒)
第一區間	(本段輸電線路阻抗值)×80%×CTR÷PTR	0.1
第二區間	{(本段輸電線路阻抗值)×100%＋(前向相鄰最短輸電線段之阻抗值)×50%}×CTR÷PTR	0.35
第三區間	{(本段輸電線路阻抗值)×100%＋(前向相鄰最長輸電線段之阻抗值)×100%}×CTR÷PTR	0.5

【表 2】

輸電線路段號	輸電線路阻抗值(歐姆)	輸電線路長度(公里)
第 A 段	8.6	4.3
第 B 段	2.4	1.2
第 C 段	3.2	1.6
第 D 段	4.6	2.3

【擬答】：

由測距電驛測得 A～D 之四段輸電線阻抗值為

$$Z_A = 8.6 \times \frac{400}{1400} = 2.457\Omega$$

$$Z_B = 2.4 \times \frac{400}{1400} = 0.686\Omega$$

$$Z_C = 3.2 \times \frac{400}{1400} = 0.914\Omega$$

$$Z_D = 4.6 \times \frac{400}{1400} = 1.314\Omega$$

㈠測距電驛 D 之第一區間阻抗值為 $1.314 \times 80\% = 1.05\Omega$

㈡測距電驛 A 之第二區間阻抗值為

$$2.457 \times 100\% + 0.686 \times 50\% = 2.457 + 0.343 = 2.80\Omega$$

㈢測距電驛 A 之第三區間阻抗值為

$$2.457\times100\%+1.314\times100\%=3.77\Omega$$

㈣由測距電驛 A 之第二區間動作清除。

三、【圖 3】為一隱極式同步發電機，經由輸電線連接至無限匯流排，發電機之端電壓為 V_t，輸出之有效功率為 $P_t=1.0pu$，無效功率為 $Q_t=0.75pu$，輸電線之電抗為 $0.2pu$，電阻與電容影響忽略不計，輸電線之電流為 Ix 無限匯流排之電壓為 $V_a=1\angle0°pu$。

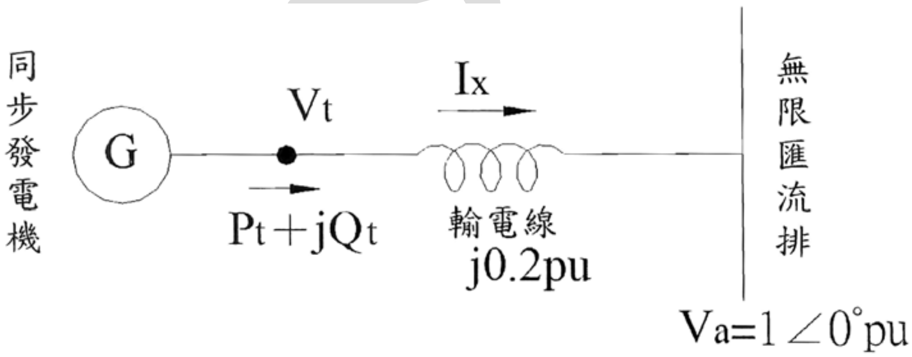
試求:

(計算至小數點後第 3 位，以下四捨五入)(各小題 5 分，共 15 分)

㈠ $|V_t|$ 為多少 pu?

㈡ $|I_x|$ 為多少 pu?

㈢輸電線之電抗所消耗的無效功率為多少 pu?



【圖 3】

【擬答】：

㈠功率表示式如下：

$$P_t=1.0=\frac{|V_t|\times1.0}{0.2}\sin\delta\Rightarrow|V_t|\sin\delta=0.2------------(1)$$

$$Q_t=0.75=\frac{|V_t|^2}{0.2}-\frac{|V_t|\times1.0}{0.2}\cos\delta\Rightarrow|V_t|^2-|V_t|\cos\delta=0.15---(2)$$

利用 $\sin^2\delta+\cos^2\delta=1$，由(1)-(2)式可得

$$\left[\frac{0.2}{|V_t|}\right]^2+\left[\frac{|V_t|^2-0.15}{|V_t|}\right]^2=1\Rightarrow\left[\frac{1}{25|V_t|^2}\right]+\left[\frac{\left(|V_t|^2-0.15\right)^2}{|V_t|^2}\right]=1$$

則 $25|V_t|^2=1+25\times\left(|V_t|^2-0.15\right)^2$，令 $|V_t|^2=x$，因此

$$25x=1+25x^2-7.5x+0.5625\Rightarrow25x^2-32.5x+1.5625=0$$

$$\therefore x^2-1.3x+0.0625=0$$

求解

$$(x-0.65)^2=-0.0625+0.4225=0.36\Rightarrow x-0.65=\pm0.6$$

$$\therefore x=1.25$$

故

$$|V_t|=\sqrt{1.25}=1.118pu$$

㈡$\sin\delta=\dfrac{0.2}{1.118}\Rightarrow\delta=Sin^{-1}\left(\dfrac{0.2}{1.118}\right)=10.305^0$

輸電線的電流 I_x

$$I_x=\frac{1.118\angle 10.305^0-1.0\angle 0^0}{j0.2}=\frac{1.1+j0.2-1.0}{j0.2}=\frac{0.1+j0.2}{j0.2}$$

$$\Rightarrow|I_x|=\frac{\sqrt{0.1^2+0.2^2}}{0.2}=\frac{0.2236}{0.2}=1.118\,pu$$

㈢輸電線之電抗所消耗的無效功率為

$$Q_{loss}=|I_x|^2\times X_{line}=1.118^2\times 0.2=0.250\,pu$$

四、甲、乙兩部相同的 600kVA、480V、60Hz 同步發電機併聯連接供應負載，此兩部發電機之原動機有不同之轉速降特性，已知兩部發電機皆運轉於額定電壓及某一磁場電流，甲發電機送出 400A 的電流(功率因數為 0.9 落後)，而乙發電機送出 200A 白色電流(功率因數為 0.72 落後)，試求:

㈠甲發電機供應多少有效功率(kW)及無效功率(kvar)?(計算至整數位，以下四捨五入)
(每個答案 2 分，共 4 分)

㈡乙發電機供應多少有效功率(kW)及無效功率(kvar)?(計算至整數位，以下四捨五入)
(每個答案 2 分，共 4 分)

㈢整體負載之功率因數為何(須註明超前或落後)?(計算至小數點後第 3 位，以下四捨五入)
(5 分)

【擬答】：

㈠

$$P_{甲}=\sqrt{3}\times 480\times 400\times 0.9=299\ (kw)$$

$$Q_{甲}=\sqrt{3}\times 480\times 400\times\sqrt{1^2-0.9^2}=145\ (k\,\text{var})$$

㈡

$$P_{乙}=\sqrt{3}\times 480\times 200\times 0.72=120\ (kw)$$

$$Q_{乙}=\sqrt{3}\times 480\times 200\times\sqrt{1^2-0.72^2}=115\ (k\,\text{var})$$

㈢

$$P_T=P_{甲}+P_{乙}=419\ (kw)$$

$$Q_T=Q_{甲}+Q_{乙}=260\ (k\,\text{var})$$

$$S_T=\sqrt{P_T^2+Q_T^2}=493(kva)$$

$$\cos\theta=\frac{P_T}{S_T}=\frac{419k}{493k}=0.850\ (\text{落後})$$

五、一台 460V、100hp、4 極、△接、60Hz 三相感應電動機，其滿載轉差率為 5%、效率為 92%、功率因數為 0.87 落後，電動機以額定電壓啟動時，啟動轉矩是額定轉矩的 1.9 倍、啟動電流是額定電流的 7.5 倍。若改以一部自耦變壓器來降壓啟動，且自耦變壓器之高壓側電壓為電動機的額定電壓，試求:
(計算至整數位，以下四捨五入)

㈠欲將電動機的啟動轉矩降低至額定轉矩，則自耦變壓器之低壓側電壓須降至多少?(5 分)

㈡承㈠，此時電動機的啟動電流與自耦變壓器的高壓側電流各是多少?(每個答案 5 分，共 10 分)

【擬答】：

㈠

$$\frac{T_S'}{T_S}=(\frac{V_2}{460})^2 \Rightarrow \frac{1T}{1.9T}=(\frac{V_2}{460})^2 \Rightarrow V_2=334V$$

㈡

$$P_i=\frac{P_o}{\eta}=81.086kw$$

$$I_1=\frac{P_i}{\sqrt{3}\times 460\times 0.87}=117A$$

$$\frac{I_{S2}}{I_{S1}}=\frac{334}{460} \Rightarrow \frac{I_{S2}}{7.5\times 117}=\frac{334}{460} \Rightarrow I_{S2}=637A$$

$$\frac{I_{S2}}{I_{S1}}=\frac{V_1}{V_2} \Rightarrow I_{S1}=463A$$

六、一台 25kVA、230V、60Hz、4 極、Y 接三相同步發電機，其同步電抗為每相 1.5 Ω，定子電阻可以忽略，此發電機連接至無限匯流排(電壓固定為 230∠0°V、頻率固定為 60Hz)。試求：(計算至小數點後第 2 位，以下四捨五入)

㈠發電機輸出功率為 25kVA、功率因數為 0.8 落後時，發電機之激磁電壓大小為何?(4 分)

㈡承㈠，若磁場激磁電流不變而發電機運轉於靜態穩定度極限時，發電機之定子電流、功率因數(須註明超前或落後)及最大輸出有效功率(kW)為何?(每個答案 3 分，共 9 分)

㈢承㈠，若原動機輸出之有效功率保持不變而磁場激磁電流增加 20%時，發電機之激磁電壓大小、定子電流及功率因數(須註明超前或落後)為何?(每個答案 3 分，共 9 分)

【擬答】：

㈠

$$I_L=\frac{S}{\sqrt{3}V_L}=62.757A$$

$$I_a=62.757\angle -36.869^o$$

$$E_{f(p)}=\frac{230}{\sqrt{3}}+I_a\times[1.5\angle 90^o]=203.71\angle 21.7^o\ \ (V)$$

$$E_{f(L)}=\sqrt{3}\times E_{f(p)}=352.83\ (V)$$

㈡

$$I_a=62.757\angle -36.87^o$$

$$PF=\cos(36.869^o)=0.8\text{（落後）}$$

$$P_{o(\max)}=3\frac{EV_t}{X_S}\sin 90^o=54.1(kW)$$

㈢

$$E_{f(p)}'=E_{f(p)}\times 1.2=244.45\ (V)$$

$$P_o=\sqrt{3}\times 230\times 62.757\times 0.8=19999.9\ (W)$$

$$P_o=3\frac{EV_t}{X_S}\sin\delta' \Rightarrow \delta'=17.94^o$$

$$I_a'=\frac{244.45\angle 17.94^o-\frac{230}{\sqrt{3}}\angle 0^o}{j1.5}=83.329\angle -52.96^o\ (A)$$

$$P.F.=\cos(52.96^o)=0.6\text{（落後）}$$