



申論題

一、下圖所示之電力系統，系統中各元件之額定表示如下：

$G_1 : 90 \text{ MVA } 20 \text{ kV } X = 9\%$

$T_1 : 80 \text{ MVA } 20/200 \text{ kV } X = 16\%$

$T_2 : 80 \text{ MVA } 200/20 \text{ kV } X = 20\%$

$G_2 : 90 \text{ MVA } 18 \text{ kV } X = 9\%$

輸電線： $200 \text{ kV } X = 120\Omega$

負載： $200 \text{ kV } S = 48 \text{ MW} + j64 \text{ Mvar}$

若選擇發電機 G_1 側之基準 (base) 為 $100 \text{ MVA} \cdot 20 \text{ kV}$

(一) 試求所有元件阻抗之標麼值 (per unit value)。

(二) 繪出系統之標麼阻抗圖 (per unit impedance diagram)。

擬答：

(一) 1. 發電機 G_1

$$X_{s1} = 0.09 \times \left(\frac{100}{90}\right) \times \left(\frac{20}{20}\right)^2 = 0.1 \text{ (p.u)}$$

2. 變壓器 T_1

$$X_{T1} = 0.16 \times \left(\frac{100}{80}\right) \times \left(\frac{20}{20}\right)^2 = 0.2 \text{ (p.u)}$$

3. 變壓器 T_2

$$X_{T2} = 0.2 \times \left(\frac{100}{80}\right) \times \left(\frac{200}{200}\right)^2 = 0.25 \text{ (p.u)}$$

4. 輸電線

$$Z_b = \frac{V_b^2}{S} = \frac{200^2}{100} = 400 \text{ } (\Omega)$$

$$X_l = \frac{Z_L}{Z_b} = \frac{120}{400} = 0.3 \text{ (p.u)}$$

5. 負載

假設為 Y 接負載

$$Z_Y^* = \frac{V_l^2}{S} = \frac{200^2}{48 + j64} = 300 - j400$$

$$\Rightarrow Z_Y = 300 + j400$$

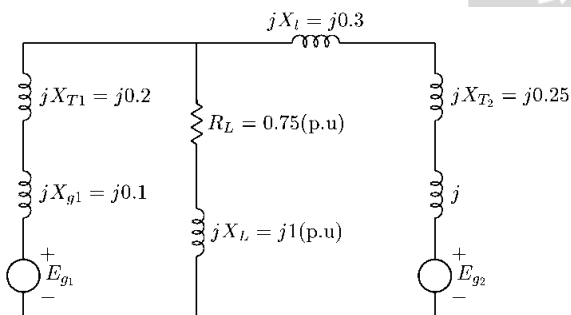
$$Z_b = \frac{V_b^2}{S} = \frac{200^2}{100} = 400 \text{ } (\Omega)$$

$$X_{Y(p.u)} = \frac{300 + j400}{400} = 0.75 + j1 \text{ (p.u)}$$

6. 發電機 2

$$X_{s2} = 0.09 \times \left(\frac{100}{90}\right) \times \left(\frac{18}{20}\right)^2 = 0.81 \text{ (p.u)}$$

(二)



二、某電力系統共有三匯流排，單位均以標麼值表示，其匯流排阻抗矩陣 (bus impedance matrix) 為

$$Z_{bus} = \begin{bmatrix} 0.0450 & 0.0075 & 0.0300 \\ 0.0075 & 0.06375 & 0.0300 \\ 0.0300 & 0.0300 & 0.2100 \end{bmatrix}$$

行列號碼即為對應之匯流排號碼。若系統無載，且其發電機之電壓均為額定電壓 $1.0 \angle 0^\circ \text{ pu}$ 。假設現在匯流排3 發生平衡三相故障，且其故障阻抗 $Z_f = j0.19 \text{ pu}$ ，計算故障電流及故障期間匯流排2 之電壓。

擬答：

$$I_f = \frac{V_f}{Z_{23} + Z_f}$$

$$\Rightarrow I_f = \frac{1.0}{j0.21 + j0.19} = -j2.5 \text{ (p.u)}$$

$$V_2 = V_f - I_f \cdot Z_{32}$$

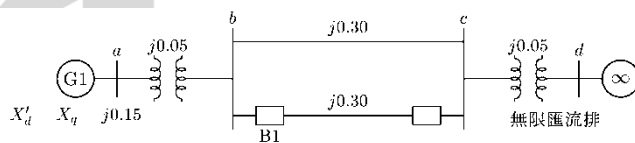
$$\Rightarrow V_2 = 1 + j2.5 \times j0.03$$

$$\Rightarrow V_2 = 0.925 \text{ (V)}$$

三、某電力系統如下圖所示，圖中所表示之阻抗皆為 pu 值，假設無限匯流排 d 的電壓為 $\bar{V}_d = 1.0 \angle 0^\circ \text{ pu}$ ，且無限匯流排所吸收之功率為 $\bar{S} = 1.0 + j0.2 \text{ pu}$

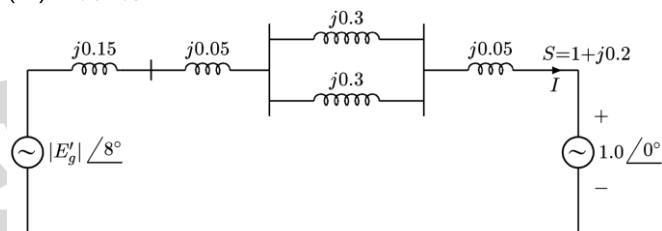
(一) 請計算在正常運轉時，發電機 $G1$ 內部暫態內電勢 E'_q 及功率角 δ ？

(二) 假設斷路器 $B1$ 因故意外跳脫，請計算在匯流排 a 的發電機 $G1$ ，其最大之轉子搖擺角度 (rotor swing angle) δ 為多少度？



擬答：

(一) 正常運轉



$$X = 0.15 + 0.15 + 0.3 // 0.3 + 0.05 = 0.4 \text{ (pu)}$$

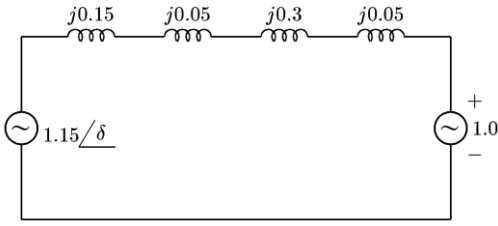
$$S = VI^* \Rightarrow I = \left(\frac{S}{V}\right)^* \Rightarrow I = \left(\frac{1 + j0.2}{1.0}\right)^* = 1 - j0.2$$

$$E'_q = j0.4 \cdot I + 1.0 \angle 0^\circ = j0.4 \times (1 - j0.2) + 1.0 \angle 0^\circ = 1.15 \angle 20.3^\circ$$

功率角方程式

$$P_1 = \frac{E_q \cdot |V_{co}|}{X} \sin \delta = \frac{1.15 \times 1}{0.4} \sin \delta = 2.875 \sin \delta$$

(二) 斷路器 B1 跳脫

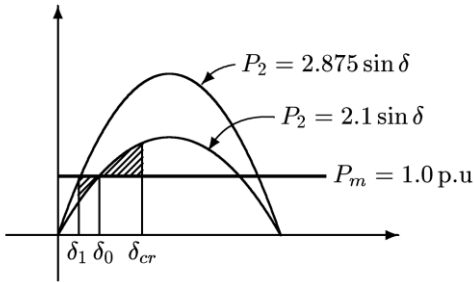


$$X = 0.15 + 0.05 + 0.3 + 0.05 = 0.55 \text{ p.u.}$$

功率角方程式

$$P_2 = \frac{|E_q| |V_{co}|}{X} \sin \delta = \frac{1.15 \times 1}{0.55} \sin \delta = 2.1 \sin \delta$$

(三)



題目無提供 P_m ，無法作答

假設 $P_m = 1 \text{ pu}$

$$\delta_1 = \sin^{-1} \frac{1}{2.875} = 20.35^\circ = 0.366 \text{ (rad)}$$

$$\delta_0 = \sin^{-1} \frac{1}{2.1} = 28.43^\circ = 0.496 \text{ (rad)}$$

(四) 利用等面積準則

$$\int_{\delta_1}^{\delta_0} (1 - 2.1 \sin \delta) d\delta = \int_{\delta_0}^{\delta_{cr}} (2.1 \sin \delta - 1) d\delta$$

$$\Rightarrow (\delta_0 - \delta_1) + 2.1(\cos \delta_0 - \cos \delta_1) = 2.1(\cos \delta_0 - \cos \delta_{cr}) - \delta_{cr} - \delta_0$$

$$\delta_2 = 2.324 - 2.1 \cos \delta_2$$

經疊代求：

$$\delta_2 \cong 37^\circ$$

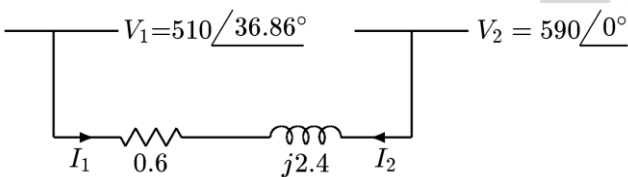
四、兩單相電壓源分別為 $V_1 = 510 \angle 36.86^\circ$ 、 $V_2 = 590 \angle 0^\circ$ (單位為伏特)，其間之相連導線阻抗為 $(0.6 + j2.4) \Omega$ ，計算：

(一) 兩單相電壓源所輸出或吸收之功率值。

(二) 導線之實功與虛功損失。

擬答：

(一)



$$I_1 = \frac{510 \angle 36.86^\circ - 590 \angle 0^\circ}{0.6 + j2.4}$$

$$S_1 = V_1 I_1^*$$

$$\Rightarrow S_1 = 510 \angle 36.86^\circ \cdot \left(\frac{510 \angle 36.86^\circ - 590 \angle 0^\circ}{0.6 + j2.4} \right)^*$$

$$= 72.68 - j10.108 \text{ kVA}$$

V_1 ：供應 72.68 kW，吸收 10.108 kVAR

$$I_2 = \frac{590 \angle 0^\circ - 510 \angle 36.86^\circ}{0.6 + j2.4} = 143.88 \angle -135.22^\circ$$

$$S_2 = V_2 I_2^*$$

$$= 590 \times 143.88 \angle 135.22^\circ$$

$$= -60.26 + j59.793 \text{ kVA}$$

V_2 ：吸收 60.26 kW，提供 59.793 kVAR

(二) 線路損失

$$P = R_o (S_1 + S_2) = 12.42 \text{ kW}$$

$$Q = I_m (S_1 + S_2) = 49.685 \text{ kVAR}$$

五、有一具單相變壓器，其額定為 50 kVA · 2300/230 V · 60 Hz，

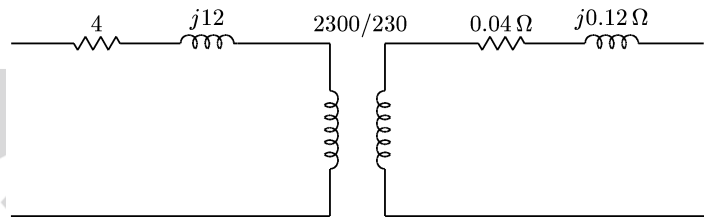
一、二次側線圈之阻抗值為 $R_1 = 4 \Omega$ ， $X_1 = 12 \Omega$ 及

$R_2 = 0.04 \Omega$ ， $X_2 = 0.12 \Omega$ ，若低壓側之供電壓為 230 V

且忽略鐵損，當低壓側供電之負載量為該具變壓器額定容量之

80%，計算其效率。

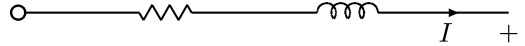
擬答：



$$4 + \left(\frac{2300}{230} \right)^2 \times 0.04 \quad j12 + \left(\frac{2300}{230} \right)^2 \times 0.23$$

$$= 8 \Omega$$

$$= j24$$



\Rightarrow

$$2300 \angle 0^\circ$$

$$S = VI \Rightarrow 50 \times 0.8 \times 10^3 = 2300 \times I$$

$$\therefore I = 17.391 \text{ (A)}$$

$$\cos \theta = 1, \bar{I} = 17.391 \text{ (A)}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{\text{loss}}}$$

$$= \frac{40 \times 10^3 \times 1}{40 \times 10^3 \times 1 + (17.391)^2 \times 8}$$

$$= 94.3\%$$