Profesor de Cátedra: Jorge Romo
Profesor Auxiliar: Eduardo Zamora
ezamora@ing.uchile.cl

EL42C –Conversión Electromecánica de la Energía

Pauta Control 2

Pregunta 3

Corregida por: Gabriel Soublette C.

a)

Primero que todo, recordando que $Z_b = \frac{V_{fn}^2}{S_{1\phi}} = \frac{V_{ff}^2}{S_{3\phi}}\,[\Omega]$ e $I_B = \frac{S_{1\phi}}{V_{fn}} = \frac{S_{3\phi}}{V_{ff}\cdot\sqrt{3}}[A]$, definamos tanto la impedancia como la corriente base de cada zona:

Zona 1	Zona 2	Zona 3
$V_{b_{ff}} = 110[kV]$	$V_{b_{ff}} = 33[kV]$	$V_{b_{ff}} = 13{,}2[kV]$
$S_{b_{3\phi}} = 3[MVA]$	$S_{b_{3\phi}} = 3[MVA]$	$S_{b_{3\phi}} = 3[MVA]$
$\Rightarrow \begin{cases} Z_b = \dfrac{(110kV)^2}{3MVA} = 4033{,}33[\Omega] \\ I_b = \dfrac{3MVA/\sqrt{3}}{110kV} = 15{,}7459[A] \end{cases}$	$\Rightarrow \begin{cases} Z_b = \dfrac{(33kV)^2}{3MVA} = 363[\Omega] \\ I_b = \dfrac{3MVA/\sqrt{3}}{33kV} = 52{,}4864[A] \end{cases}$	$\Rightarrow \begin{cases} Z_b = \dfrac{(13{,}2kV)^2}{3MVA} = 58{,}08[\Omega] \\ I_b = \dfrac{3MVA/\sqrt{3}}{13{,}2kV} = 131{,}216[A] \end{cases}$

Como ya tenemos las impedancias bases de cada zona, pasamos los valores de impedancias a tanto por uno[1]:

- Zona 2:

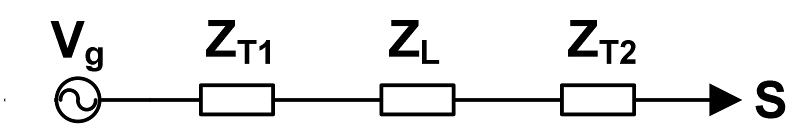
$$Z_{T1} = \frac{10{,}7 + j86{,}4[\Omega]}{3 \cdot 363[\Omega]} = 0{,}0098 + j0{,}0793[\mathrm{p.u.}] = 0.0799\angle 82{,}94°[\mathrm{p.u.}]$$

$$Z_L = \frac{7{,}3 + j18{,}2[\Omega]}{363[\Omega]} = 0{,}0201 + j0{,}0501[\mathrm{p.u.}] = 0{,}0540\angle 68{,}14°[\mathrm{p.u.}]$$

- Zona 3:

$$Z_{T2} = \frac{1{,}71 + j9{,}33[\Omega]}{3 \cdot 58{,}08[\Omega]} = 0{,}0098 + j0.0535[\mathrm{p.u.}] = 0{,}0544\angle 79{,}61°[\mathrm{p.u.}]$$

El circuito en tanto por uno es el siguiente:



[1] Notar que el lado de BT, donde están referidas las impedancias de ambos transformadores, están en Δ, por lo tanto es necesario dividir en 3 estas impedancias para referirlas en Y

Es conocido el voltaje en la barra de 13,2[kV], que corresponde a la misma barra del consumo de la planta, por lo que:

$$V_S = 0{,}94\angle 0º[p.u.]$$

$$S = \frac{(2{,}4 + j1{,}8)[MVA]}{3[MVA]} = (0{,}8 + j0{,}6)[p.u.] = 1\angle 36{,}87º[p.u.]$$

Del circuito equivalente tanto por uno:

$$V_G = (Z_{T1} + Z_L + Z_{T2}) \cdot I_L + V_S$$

Con:

$$I_L = \left(\frac{S}{V_G}\right)^* = \left(\frac{1\angle 36{,}87º}{0{,}94\angle 0º}\right)^* = (0{,}8511 - j0{,}6383)[p.u.] = 1{,}0638\angle - 36{,}87º[p.u.]$$

Remplazando:

$$V_G = (0.0799\angle 82{,}94° + 0{,}0540\angle 68{,}14° + 0{,}0544\angle 79{,}61°) \cdot 1{,}0638\angle - 36{,}87º + 0{,}43\angle 0º$$

$$\therefore \boxed{\begin{array}{l} V_G = (1{,}0907 + j0{,}1304)[p.u.] = 1{,}0984\angle 6{,}82[p.u.] \\ V_{G\,ff} = (119{,}9718 + j14{,}3432)[kV] = 120{,}8262\angle 6{,}82[kV] \\ V_{G\,fn} = (69{,}2658 + j8{,}2810)[kV] = 69{,}7590\angle 6{,}82[kV] \end{array}}$$

b)

Si se consideran los desfases debido a la conexión de los transformadores debemos considerar que:

- T1: $Yd11 \quad \Longrightarrow \quad \angle V_{BT} - \angle V_{AT} = -30º$
- T2: $Dd2 \quad \Longrightarrow \quad \angle V_{BT} - \angle V_{AT} = 60º$

Reconociendo que la barra de la fuente corresponde a la barra de AT de T1, la línea está en la barra de BT de T1 y en la de AT de T2 y que el consumo corresponde a la barra BT de T2, es posible determinar que el desfase de los transformadores implica un desfase de -30º entre el ángulo de la barra de la fuente y la barra del consumo.

$$\Longrightarrow \angle V_S - \angle V_G = 30º$$

Considerando el desfase obtenido en la parte a) más el desfase debido a la conexión de los transformadores, considerando $\angle V_S = 0º$, es:

$$\boxed{\angle V_G = -30º + 6{,}82 = -23{,}15º}$$

c)

Para determinar el ahorro debido a reducción en perdidas, primero determinamos las pérdidas que se tienen en un principio:

$$Perdidas = \left(Re(Z_{T1}) + Re(Z_L) + Re(Z_{T2})\right) \cdot |I_L|^2 = (0{,}0098 + 0{,}0201 + 0{,}0098)(1{,}0638)^2$$

$$\therefore Perdidas = 0{,}04499[p.u.]$$

Ahora debemos ver qué efectos trae cada una de las soluciones:

- Línea doble sección transversal[2]:

$$\Rightarrow Re(Z_L)' = \frac{Re(Z_L)}{2}$$

- Condensadores en Y

⟹Varía la corriente por la línea

Sera necesario resolver la siguiente ecuación para encontrar la nueva corriente por la línea:

$$V_G = \left(Z_{T1} + \frac{Re(Z_L)}{2} + jIm(Z_L) + Z_{T2}\right) \cdot I_L + \frac{S}{I_L^*}$$

$$\Rightarrow 1{,}0984\angle 6{,}82º = \left(0.0799\angle 82{,}94° + \left(\frac{0{,}0201}{2} + j0{,}0501\right) + 0{,}0544\angle 79{,}61°\right) \cdot I_L' + \frac{0{,}8 + j0{,}2}{(I_L')^*}$$

Separando pate real e imaginaria para resolver, asumiendo $I_L = x + jy$:

$$\Rightarrow \begin{cases} 1{,}0907 = \dfrac{0{,}8(x + 0{,}25y)}{x^2 + y^2} + 0{,}0297x - 0{,}1829y \\ 0{,}1304 = \dfrac{0{,}2(x + 0{,}4y)}{x^2 + y^2} + 0{,}1829x + 0{,}0297y \end{cases}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$\Rightarrow \begin{cases} x = real(I_L') = 0{,}7745 \\ y = imag(I_L') = -0{,}1979 \end{cases} \quad \Rightarrow \quad I_L' = 0{,}7994\angle -14{,}34°[p.u.]$$

Ahora que se tiene la nueva corriente debido a los cambios realizados, podemos determinar las perdidas y en cuanto se reducen estas:

$$Perdidas = \left(0.0799\angle 82{,}94° + \left(\frac{0{,}0201}{2} + j0{,}0501\right) + 0{,}0544\angle 79{,}61°\right)|0{,}7994|^2 = 0{,}01897$$

$$\Delta perdidas = 0{,}04499 - 0{,}01897 = 0{,}02602$$

Recordando que la base utilizada fue $S_{b_{3\phi}} = 3.000[kVA]$[3], y asumiendo que el consumo minero funciona las 24 horas del día, durante 30 días en un mes, la energía que se ahora es:

$$\Delta Energia = 0{,}02602 \cdot 3.000 \cdot 24 \cdot 30 = 56.203{,}2[kWh]$$

Como el costo del kWh es 0,2US$, el ahorro mensual es:

$$Ahorro = 56.203 \cdot 0{,}2 = 11.240{,}64[US\$]$$

[2] En estricto rigor, la inductancia equivalente por unidad de largo depende del radio del conductor, sin embargo la variación podría ser despreciada dados los otros órdenes de magnitud.
[3] Se considera la base trifásica para considerar las perdidas en las 3 fases