

EL4001 – Conversión de la Energía y Sistemas de Eléctricos

Pauta Ejercicio 3

Problema 1: Ayudante, Piero Izquierdo

a) (1.0 puntos)

$$S_{3\phi} = 3 \cdot 8[MVA] = 24[MVA]$$

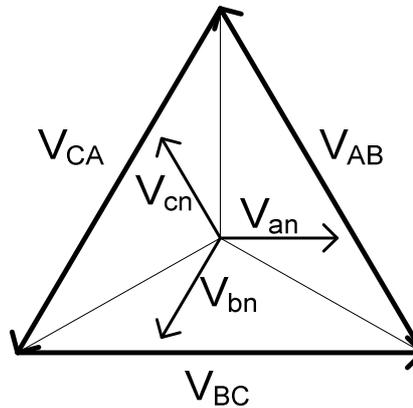
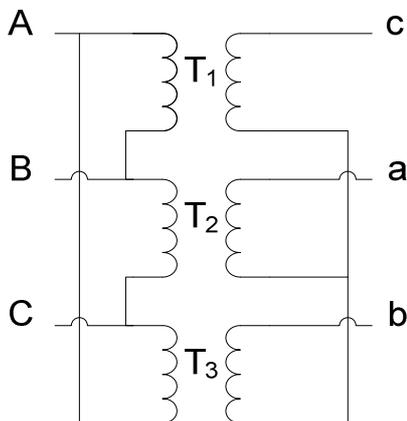
$$V_1 = 154[KV]$$

$$V_2 = \sqrt{3} \cdot 8.66[KV] = 15[KV]$$

$$I_1 = \frac{24[MVA]}{\sqrt{3} \cdot 154[KV]} = 89.98[A]$$

$$I_2 = \frac{24[MVA]}{\sqrt{3} \cdot 15[KV]} = 923.76[A]$$

b) (2.0 puntos)



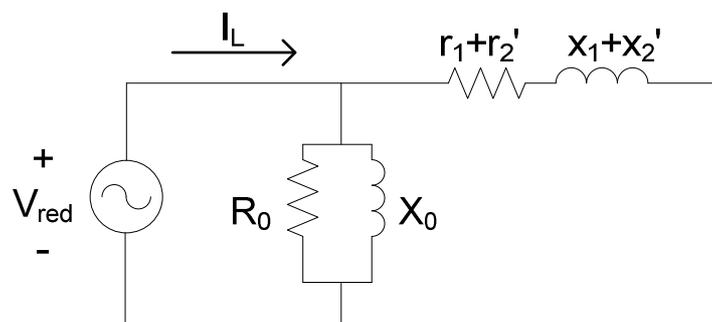
c) (2.0 puntos) Parámetros en [pu]:

$$r_1 + r_2' = \frac{\frac{59}{3} [\Omega_{AT}]}{\frac{(154[KV])^2}{24[MVA]}} = 0.0199$$

$$x_1 + x_2' = \frac{\frac{187}{3} [\Omega_{AT}]}{\frac{(154[KV])^2}{24[MVA]}} = 0.0631$$

$$R_0 = \frac{420 [\Omega_{BT}]}{\frac{(15[KV])^2}{24[MVA]}} = 44.8$$

$$X_0 = \frac{46 [\Omega_{BT}]}{\frac{(15[KV])^2}{24[MVA]}} = 4.9067$$



$$|V_{red}| = |Z_{eq}| \cdot |I_{nom}|$$

$$Z_{eq} = (r_1 + r_2' + j(x_1 + x_2')) // R_0 // jX_0$$

$$Z_{eq} = 0.0195 + j0.0623 = 0.0653 \angle 72.646$$

$$V_{red} = 0.0653 = 10.06 [KV]$$

La corriente por el enrollado primario (tomando el voltaje de alimentación como referencia).

$$I_{prim} = \frac{V_{red}}{Z_{eq}} = \frac{0.0653}{0.0195 + j0.0623} = (1 \angle -72.620) = 89.98 [A]$$

La corriente por el secundario

$$I_{sec} = I_{prim} - \frac{V_{red}}{R_0 // jX_0}$$

$$I_{sec} = (1 \angle -72.620) - \frac{0.0653}{44.8 // j4.9067} = (0.9869 \angle -72.47) = 911.66 [A]$$

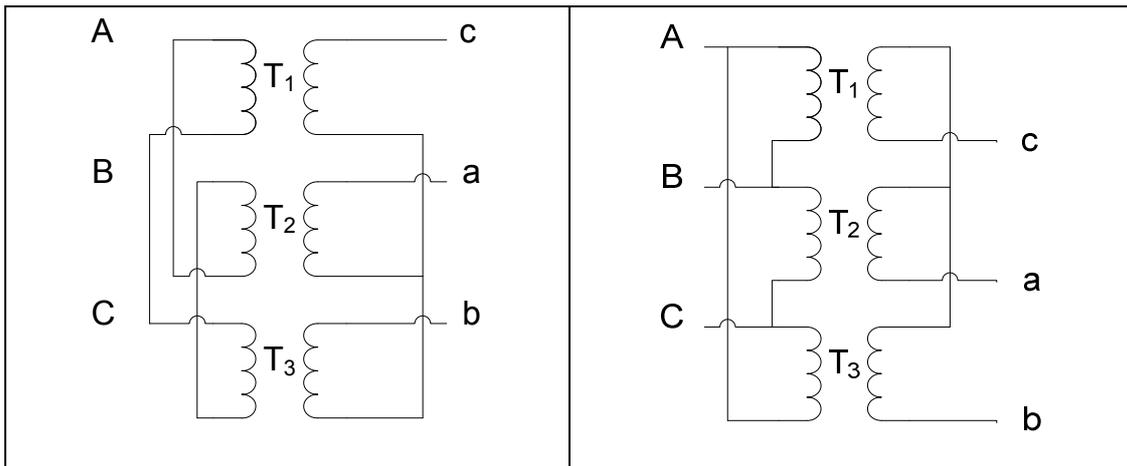
Potencia disipada en el núcleo

$$P_n = \frac{V_{red}^2}{R_0} = \frac{0.0653^2}{44.8} \cdot 24 [MW] = 2.28 [KW]$$

Potencia disipada en enrollados

$$P_e = (r_1 + r_2') \cdot I_{sec}^2 = 0.0199 \cdot (0.9869)^2 \cdot 24 [MW] = 465.17 [KW]$$

d) (1.0 puntos) Para obtener un transformador Dy9, es necesario cambiar la conexión interna de los enrollados del transformador ya que esta conexión tiene una polaridad inversa al transformador Dy3, el cambio puede hacerse tanto en el lado de la delta como en el de la estrella del transformador, el diagrama se muestra continuación:



Problema 2: Ayudante, Enrique Guerrero

a) (1,5 puntos) Se tiene el siguiente sistema:

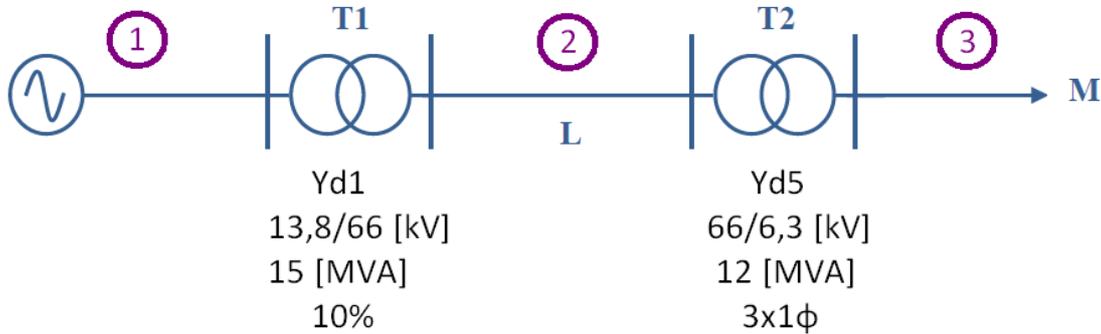


Figura 1: unilineal del SEP a considerar

Se realizará el equivalente en por unidad trifásico (los resultados deben coincidir con el método monofásico).

Para esto se tiene $S_{base} = 15 [MVA]$. La Tabla 1 muestra los resultados. Se utilizó $Z_{base_i} = \frac{V_{base_i}^2}{S_{base}}$.

Tabla 1: impedancias del sistema, en p.u. base 15 [MVA]

Zona 1	Zona 2	Zona 3
$V_{base_1} = 13,8 [kV]$	$V_{base_2} = 66 [kV]$	$V_{base_3} = 6,3 [kV]$
$Z_{base_1} = 12,696 [\Omega]$	$Z_{base_2} = 290,4 [\Omega]$	$Z_{base_3} = 2,646 [\Omega]$
$Z_{T1} = j0,1[p.u]^1$	$Z_L = 0,0650 \angle 57,99^\circ [p.u]$ $= 0,0344 + j0,0551 [p.u]$	$Z_{T2} = 0,0909 \angle 73,07^\circ [p.u]^2$ $= 0,0265 + j0,0869 [p.u]$
-	-	$M = 0,7333 \angle 24,49^\circ [p.u]^3$

b) (1,5 puntos) En p.u. $6 [kV] \rightarrow 0,9524 [pu]$. Con esto, $I = 0,7700 \angle -24,49^\circ [p.u]$ y

$$\dot{V}_{gen} = 0,770 \angle -24,49^\circ \cdot (j0,1 + 0,0650 \angle 57,99^\circ + 0,0909 \angle 73,07^\circ) + 0,9524 [p.u]$$

$$\dot{V}_{gen} = 1,0828 \angle 7,97^\circ [p.u] \rightarrow 14,9430 [kV]$$

Para el transformador Yd5 se tiene, $\angle V_{66[kV]} = \angle V_{6,3[kV]} + 150^\circ$

Para el transformador Yd1 se tiene $\angle V_{66[kV]} = \angle V_{13,8[kV]} + 30^\circ$

Con lo cual $\angle V_{13,8[kV]} = \angle V_{6,3[kV]} + 120^\circ$. El ángulo pedido corresponde a $127,97^\circ$.

¹ Trivial: las bases del transformador y el sistema coinciden en voltajes y potencias. No olvidar acá el j (fuente de numerosos errores)

² El valor en el enunciado corresponde a $[\Omega]$ por enrollado. Como la conexión es Δ , primero dividimos por 3 para obtener la impedancia equivalente en Y, para luego dividir por la impedancia base de la zona.

³ Error frecuente: habiendo tomado el equivalente monofásico, hacer $11[MVA]/5[MVA]$. Corrección: ¡Dividir por 3 también el consumo!

c) (2,0 puntos) Ahora $\dot{V}_{gen} = 1,0828 \angle 0^\circ [p.u.]^4$. El consumo industrial es ahora $M = 0,8433 \angle 24,49^\circ [p.u.]$

$$\dot{V}_{gen} = I \cdot (j0,1 + 0,0650 \angle 57,99^\circ + 0,0909 \angle 73,07^\circ) + \dot{V}_M / \dot{V}_M^*$$

$$1,0828 \dot{V}_M^* = 0,2105 \angle 51,38^\circ + |\dot{V}_M|^2 / \dot{V}_M = a + jb$$

$$Re\{\% \} \Rightarrow 1,0828a = 0,1314 + a^2 + b^2$$

$$Im\{\% \} \Rightarrow -1,0828b = 0,1645 \Rightarrow b = -0,1519$$

$$\Rightarrow a = \begin{cases} 0,91637 & \sqrt{5} \\ 0,1691 & X \end{cases}$$

$$\dot{V}_M = 0,9137 - j0,1519 = 0,9262 \angle -9,44^\circ$$

$$\dot{I}_M = 0,9105 \angle -33,93^\circ$$

- La exigencia de voltaje ya no se cumple, dado que el voltaje es 1 [pu].
- Se tiene, para el transformador,

$$I_{NomTrafo} = \frac{12 [MVA]}{\sqrt{3} \cdot 6,3 [kV]} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 6,3 [kV]}{15 [MVA]} = 0,8 [pu]$$

Con lo que $I_{NomTrafo} = 0,84 [pu]$. La restricción de corriente no se cumple. Mediante el uso de condensadores, el voltaje en M aumentará. Por lo mismo, dado que el consumo es constante, la corriente disminuirá, de modo que es factible alcanzar las restricciones impuestas.

d) (1,0 puntos) Ahora el consumo visto por el sistema es de

$$\dot{S}_M = 0,8433 \angle 24,19^\circ - j^{1,8} / 15 = 0,8010 \angle 16,65^\circ$$

Se repite el procedimiento, con las ecuaciones

$$1,0828a = 0,1023 + a^2 + b^2$$

$$-1,0828b = 0,1718 \Rightarrow b = -0,1587$$

$$\Rightarrow a = \begin{cases} 0,9484 & \sqrt{5} \\ 0,1344 & X \end{cases}$$

Y entonces

$$\dot{V}_M = 0,9484 - j0,1587 = 0,9616 \angle -9,5^\circ$$

$$\dot{I}_M = 0,8330 \angle -26,15^\circ$$

Efectivamente las condiciones en este caso se cumplen. El voltaje subió levemente, pero lo necesario para producir la compensación, mientras la corriente decayó de modo de no sobrecargar el transformador. Acá interesa acotar que incluso podría haberse agregado un banco de condensadores de una potencia nominal levemente mayor. El margen de seguridad que en este caso se tiene así lo permite.

⁴ Nótese la arbitrariedad el ángulo en este caso: se adquiere una facilidad de cálculo mucho mayor (después de todo, lo que importa son las diferencias entre los ángulos de los distintos puntos del sistema.

⁵ Se escoge el valor más cercano a la unidad.