

EL4001 – Conversión de la Energía y Sistemas de Eléctricos

Pauta Ejercicio 2

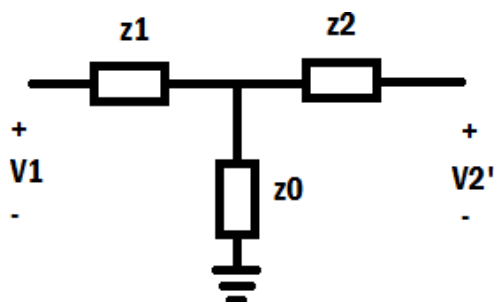
Problema 1: Ayudante, Alejandro Abarzúa

Se tiene para el equivalente exacto que:

$$Z_1 = 1378 + j1721$$

$$Z_2 = 1602 + j1897$$

$$Z_0 = 5M//j782k = 119385 + j763328$$



a) Prueba CC.

Se tiene como condición de esta prueba que se aplique corriente nominal en AT, la cual se calcula a partir de los datos entregados. Asumiremos ángulo 0° en la corriente.

$$I_{1nom} = \frac{1000[V\!A]}{7970[V]} = 0,1255[A]$$

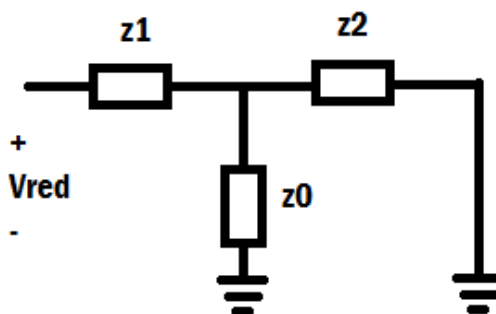
$$Z_{eq} = Z_1 + Z_2 // Z_1 = 2972,4590 + j3615,4588$$

$$V_{red} = I_{1nom} \cdot Z_{eq} = 587,2644 \angle 50,5746^\circ$$

$$\therefore I_{cc} = 0,1255[A]$$

$$V_{red} = 587,2644[V]$$

$$P_{cc} = \text{Real}\{I_{cc}^* \cdot V_{red}\} = 46,7950[W]$$



Equivalente aproximado:	Valor real	¿Similares?
$R_1 + R'_2 = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2} = 2972,4590[Ohm_{AT}]$	2980[Ohm _{AT}]	Si
$X_1 + X'_2 = \frac{\sqrt{(V_{red} \cdot I_{cc})^2 - P_{cc}^2}}{I_{cc}^2} = 3615,4575[Ohm_{AT}]$	3618[Ohm _{AT}]	Si

b) Prueba CA.

Se tiene como condición de esta prueba que se aplique voltaje nominal por el lado de baja, BT. Referimos todos los parámetros a BT.

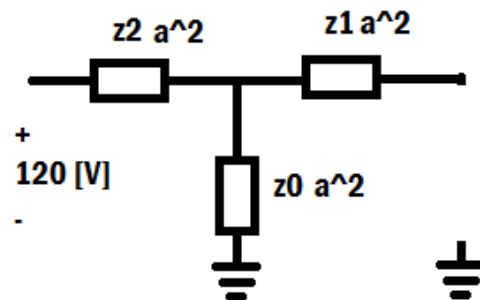
$$a^2 = \left(\frac{120}{7970} \right)^2$$

$$I_0 = \frac{120}{a^2(Z_2 + Z_0)} = 0.6833 \angle -81.02^\circ [A]$$

$$\therefore V_0 = 120 [V]$$

$$I_0 = 0.6833 [A]$$

$$P_0 = \text{Real}\{I_0^* \cdot V_0\} = 12.8042 [W]$$



Equivalente aproximado:	Valor real	¿Similares?
$R_{FE} = \frac{V_0^2}{P_0} = 1124.6310 [Ohm_{BT}] = 4.9609 [MOhm_{AT}]$	5 [MOhm _{AT}]	Si
$X_M = \frac{V_0^2}{\sqrt{(V_0 \cdot I_0)^2 - P_0^2}} = 177.7995 [Ohm_{BT}] = 784.3045 [kOhm_{AT}]$	782 [kOhm _{AT}]	Si

c) Regulación

i) Voltímetro ideal

Se analiza en Circuito abierto. Como por Z_2 no circula corriente, basta realizar un divisor de voltaje:

$$V_2 = \frac{Z_0}{Z_0 + Z_1} * 7970 = 7950.3042 \angle 0.081^\circ [V]$$

La regulación queda como:

$$Reg = \frac{7970 - 7950.3042}{7950.3042} = 0.2477\%$$

ii) Carga de 600 [VA] f.p. = 0,9 inductivo

La potencia aparente es:

$$S = 600 \cdot 0.9 + j600 \cdot \sin(\cos^{-1}(0.9)) = 540 + j261.5339 \text{ [VA]} = P + jQ$$

Como se desprecia la rama shunt:

$$Z_1 + Z_2 = R + jX = 2980 + j3618$$

Denotemos por V_1 la tensión en el primario (ángulo 0°) y V_2 la tensión en el secundario ($V_{2R} + jV_{2i}$).

Realizando un LVK se tiene:

$$V_1 = V_2 + (Z_1 + Z_2) \cdot \left(\frac{S}{V_2}\right)^* = V_2 + (R + jX) \cdot \left(\frac{P - jQ}{V_2^*}\right) \quad / \cdot V_2^*$$

$$V_1(V_{2R} - jV_{2i}) = V_{2R}^2 + V_{2i}^2 + (R + jX)(P - jQ)$$

Ahora analizando parte real e imaginaria:

$$(1) \text{ Re: } 0 = -V_1 V_{2R} + V_{2R}^2 + V_{2i}^2 + PR + XQ$$

$$(2) \text{ Im: } 0 = V_1 V_{2i} + PX - RQ$$

De (2):

$$V_{2i} = \frac{RQ - PX}{V_1} = -147.3462$$

En (1):

$$V_{2R}^2 - V_1 V_{2R} + (V_{2i}^2 + PR + QX) = 0 \rightarrow V_{2R} = 7632.3394$$

Luego :

$$V_2' = 7632.3394 + j147.3462 = 7633.7616 \angle -1.1060^\circ \text{ [V]}$$

Finalmente la regulación queda:

$$Reg = \frac{7970 - 7633.7616}{7633.7616} = 4.4046\%$$

Problema 2: Ayudante, Enrique Guerrero

a) SEP en p.u.

Se utilizan las fórmulas $Z_{base_j} = \frac{V_{base_j}^2}{S_{base}}$ y $I_{base_j} = \frac{S_{base}}{V_{base_j}}$ para obtener los valores de la TABLA. La potencia base es $S_{base} = 40[MVA]$ en cada una de las zonas de voltaje definidas.

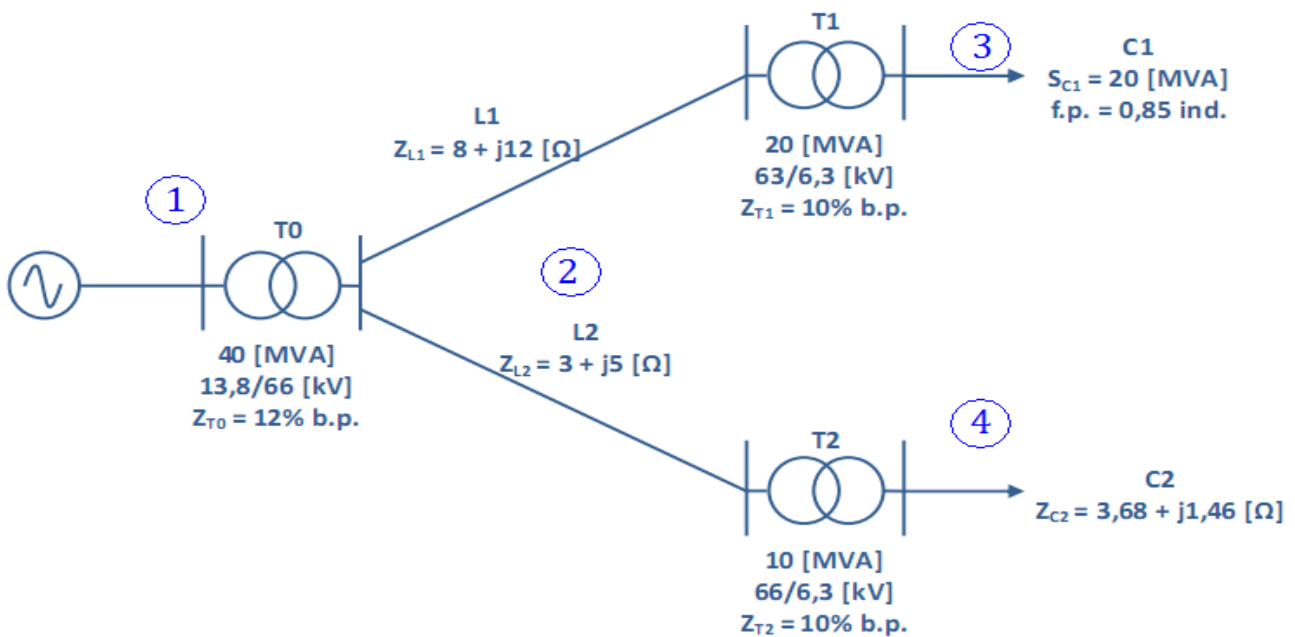


Figura 1: asignación de las zonas del SEP.

Zona	1	2	3	4
V_{base} [kV]	13,8	66	6,6 ¹	6,3
Z_{base} [Ω]	4,761	108,9	1,089	0,9923
I_{base} [A]	2898,5507	606,0606	6060,6061	6349,2063

¹ La idea del p.u. es reemplazar la razón de transformación de los trafo. Como 63/6,3=10, entonces debe cumplirse que ahora $V_{base}=66/10$ [kV] (pues para matar el trafo T0 fijamos $V_{base}=66$ [kV])

Se realizan entonces los cálculos de impedancia:

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
$Z_{T0} = j0,12^2$	$Z_{L1} = 0,1324\angle 56,31^\circ$ $= 0,0735 + j0,1102$	$Z_{T1} = j0,1822^3$	$Z_{T2} = j0,4$
	$Z_{L2} = 0,0535\angle 59,04^\circ$ $= 0,0275 + j0,0459$	$C_3 = 0,5\angle 31,79^\circ$	$Z_{C2} = 3,9898\angle 21,64^\circ$ $= 3,7086 + j1,4713$

b) Tensión en generador

Voltaje nominal en el consumo correspondiente implica un voltaje de 6,3[kV]. En p.u., esto corresponde a 0,9545.

Como $V_{I1}^* = 0,5\angle 21,79^\circ$, $I_1 = 0,5238\angle -31,79^\circ$, con lo que:

$$V_o = 0,9545 + 0,5238\angle -31,79^\circ \cdot (j0,1822 + 0,1324\angle 56,31^\circ) = 1,0735\angle 5,88^\circ = 1,1068 + j0,1099$$

Con esto, del divisor de tensión,

$$V_1 = V_o \cdot \frac{3,9898\angle 21,64^\circ}{j0,4 + 0,0535\angle 59,04^\circ + 3,9898\angle 21,64^\circ} = 1,0200\angle 0,35^\circ = 1,0199 + j6,2494 \cdot 10^{-3}$$

De donde el consumo de C2 será

$$S_{C2} = \frac{|V_2|^2}{Z_{C2}^*} = \frac{1,02^2}{3,9898\angle -21,64^\circ} = 0,2608\angle 21,64^\circ = 0,2424 + j0,0962$$

² Muy importante (y error común): ponerle j a la impedancia final (¡altera todos los cálculos no hacerlo, y es un error conceptual importante!). Otro punto es que el cálculo resulta muy rápido al darse uno cuenta de que las bases del sistema y del trafo coinciden (voltajes base a ambos lados idénticos y potencia nominal idéntica a la potencia base). ¡No hay que calcular nada!

³ Aquí nótese que las bases del trafo no coinciden con las bases asignadas. Se calcula $Z_{T1} = \underbrace{j0,1 \cdot \frac{6,3^2}{20}}_{Z_{T1}[\Omega]} \cdot \underbrace{\frac{40}{6,6^2}}_{Z_{T1}[pu]_{b.c}}$

La corriente por la rama es:

$$I_2 = \frac{V_2}{j0,4 + 0,0535 \angle 59,04 + 3,9898 \angle 21,64} = 0,2556 \angle -21,28^\circ$$

Y entonces el generador debe estar a

$$V_{gen} = V_o + j0,12(I_1 + I_2) = 1,1285 \angle 9,79^\circ$$

Finalmente, en valores físicos,

$$V_2 = 6,4260[kV]$$

$$V_{gen} = 15,5733[kV]$$

$$S_{C2} = 10,4320[MVA] \angle 21,64^\circ = 9,6967[MW] + j3,8470[MVar]$$

c) Salida de línea L1

Se abre la línea 1. Ahora se tiene:

$$I_2 = 0,2652 \angle -28,60^\circ \Rightarrow$$

$$S_2 = 0,2806 \angle 21,64^\circ \rightarrow 11,224 \angle 21,64^\circ [MVA] = 10,4329[MW] + j4,3191[MVar]$$

$$V_2 = 1,0581 \angle -6,96^\circ \rightarrow 6,6660[kV]$$

Es lógico que tanto el voltaje como la potencia compleja (en magnitud) aumenten. El hecho de que se tenga una consunción de potencia reactiva menor desde el nodo Vo implica un aumento en el voltaje en dicho punto, el cual naturalmente se propaga hacia el consumo. Debido a lo anterior y a que el consumo es de impedancia constante, la potencia aparente naturalmente también aumenta.