

**EL4001 – Conversión de la Energía y Sistemas Eléctricos**

**Ejercicio 2**

**Pregunta 1**

La Figura 1 ilustra un SEP monofásico, alimentado con un voltaje  $V_0$ . Un transformador  $T_1$  eleva el voltaje, suministrando energía a un consumo resistivo representado por una resistencia  $R$  y a una línea de Alta Tensión de impedancia  $Z_L$ , que lleva energía hasta un transformador  $T_2$ . Este transformador finalmente suministra potencia  $S$  a una planta minera conectada en Baja Tensión. Esta planta minera dispone además de un banco de condensadores de reactancia  $-jX_C$  para mejorar el factor de potencia. Se indican las razones de transformación de  $T_1$  y  $T_2$  (en kV nominales).

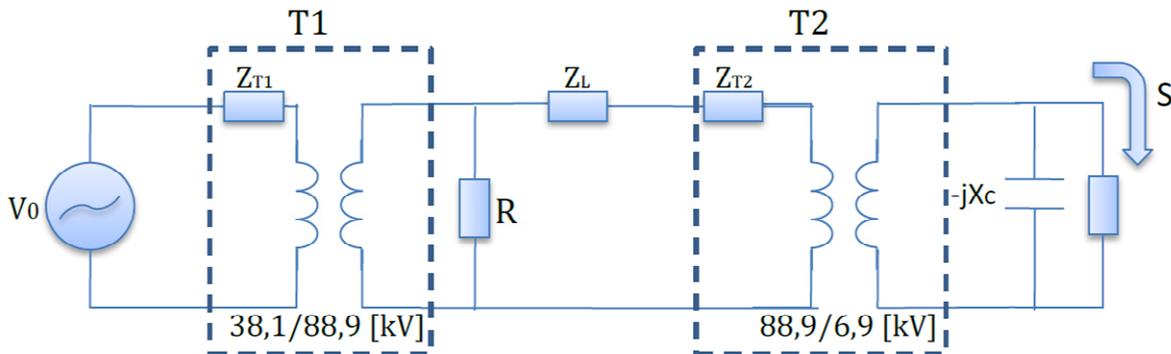


Figura 1: SEP monofásico

Si las impedancias de los equipos son  $Z_{T1}=2,5+j15$  [ $\Omega$ ];  $Z_{T2}=51\angle 75^\circ$  [ $\Omega$ ];  $Z_L=60+j150$  [ $\Omega$ ];  $X_C= 48$  [ $\Omega$ ];  $R= 6,6$  [k $\Omega$ ]; se pide (usando cálculo en p.u.):

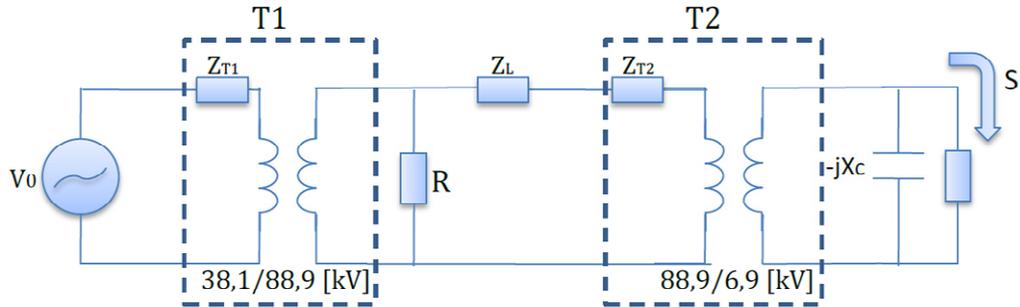
- (1 pto.) Dibuje el diagrama unilineal del SEP con todos los parámetros en por unidad.
- (2,5 ptos.) Si en el condensador se miden 7 kV y el consumo de la planta minera es  $S=2,2$  MVA con factor de potencia 0,8 inductivo, determinar  $V_0$ .
- (2,5 ptos.) En determinado momento se desconecta el consumo de la planta ( $S=0$ ), pero el condensador queda conectado. Asumiendo que  $V_0$  se mantiene respecto al valor calculado en (b), determine.
  - ¿Qué voltaje se medirá en los terminales del condensador? Comente el resultado.
  - ¿Qué corrientes circularían por los enrollados de los transformadores?

**¡ GAMMBATTE KUDASAI ! (Buena suerte en japonés)**

## Pauta Ejercicio 2

### Parte a)

Definimos 3 zonas de tensión: Zona 1 en 38,1 kV, zona 2 en 88,9 kV, y zona 3 en 6,9 kV.

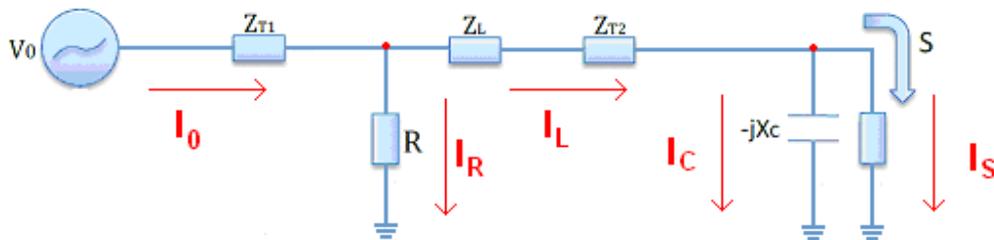


	Zona 1	Zona 2	Zona 3
$S_B$ [MVA]	10	10	10
$V_B$ [kV]	38,1	88,9	6,9
$Z_B$ [ $\Omega$ ]	145,1610	790,3210	4,7610
$I_B$ [A]	262,4672	112,4859	1449,2754

Donde las potencias base y las tensiones base son dadas, y las impedancias base y corrientes base se calculan como:

$$Z_B = \frac{V_B^2}{S_B} \quad I_B = \frac{S_B}{V_B} = \frac{V_B}{Z_B}$$

El unilíneal en p.u. resulta ser:



Ahora calculamos cada uno de los parámetros del problema en p.u.

$$Z_{T1} = \frac{2,5 + j15}{145,161} = 0,0172 + j0,1033 \text{ p.u.}$$

$$R = \frac{6600}{790,321} = 8,3510 \text{ p.u.}$$

$$Z_L + Z_{T2} = \frac{60 + j150 + 51 \angle 75^\circ}{790,321} = 0,0926 + j0,2522 \text{ p.u.}$$

$$-jX_C = \frac{-j48}{4,761} = -j10,0819 \text{ p.u.}$$

**Parte b)**

Pasamos a p.u. la tensión y la potencia en la carga (recordar que si la carga es inductiva “consume” reactivos, i.e.  $Q > 0$ ):

$$V_s = \frac{7 \angle 0^\circ}{6,9} = 1,0145 \angle 0^\circ$$

$$S = \frac{2,2 \angle \cos^{-1} 0,8}{10} = 0,22 \angle 36,87^\circ$$

Con esto estamos en condiciones de resolver el unilineal de la parte a) en p.u.

$$I_s = \left( \frac{S}{V_s} \right)^* = 0,2169 \angle -36,87^\circ$$

$$I_c = \frac{V_s}{-jX_c} = 0,1006 \angle 90^\circ$$

$$I_L = I_s + I_c = 0,1760 \angle -9,66^\circ$$

$$V_R = V_s + I_L \cdot (Z_{T2} + Z_L) = 1,0388 \angle 2,26^\circ$$

$$I_R = \frac{V_R}{R} = 0,1244 \angle 2,26^\circ$$

$$I_0 = I_L + I_R = 0,2988 \angle -4,73^\circ$$

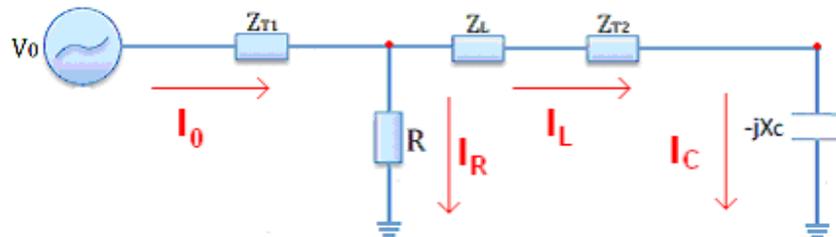
$$V_0 = V_R + I_0 \cdot Z_{T1} = 1,0481 \angle 3,90^\circ$$

Finalmente, multiplicando por la base de tensión en la zona 1:

$$V_0 = 39,9326 \angle 3,9^\circ \text{ [kV]}$$

**Parte c)**

Si se desconecta el consumo, el SEP a resolver en p.u. es el siguiente:



Para determinar la corriente  $I_0$ , notamos que la impedancia equivalente vista por la fuente es:

$$Z_{EQ} = Z_{T1} + (R // (Z_L + Z_{T2} - jX_C)) = 4,8614 - j 3,9792 \text{ p.u.}$$

Luego

$$I_0 = \frac{V_0}{Z_{EQ}} = 0,1668 \angle 43,20^\circ$$

$$V_R = V_0 - I_0 \cdot Z_{T1} = 1,0569 \angle 3,08^\circ$$

$$I_R = \frac{V_R}{R} = 0,1266 \angle 3,08^\circ$$

$$I_L = I_C = I_0 - I_R = 0,1059 \angle 92,56^\circ$$

$$V_C = V_R - I_L \cdot (Z_L + Z_{T2}) = 1,0836 \angle 2,5^\circ$$

Finalmente

$$V_C [\text{kV}] = V_C [\text{p.u.}] * V_{B3} = (1,0836 \angle 2,5^\circ) * 6,9 [\text{kV}] = 7,4768 \angle 2,5^\circ [\text{kV}]$$

El condensador estaba ubicado para corregir factor de potencia, y por lo tanto, para elevar la tensión respecto al consumo sin condensadores (por medio de la inyección de reactivos). Como se desconectó el consumo inductivo, el banco de condensadores tiene el efecto de subir la tensión respecto al valor original.

Respecto a la corriente por los enrollados de los transformadores, basta encontrar cuál corriente p.u. circula por ellos y multiplicarla por la corriente base asociada:

$$\begin{aligned} I_{T1}(\text{primario}) &= I_0 * I_{B1} = 43,7795 [\text{A}] \\ I_{T1}(\text{secundario}) &= I_0 * I_{B2} = 18,7626 [\text{A}] \\ I_{T2}(\text{primario}) &= I_L * I_{B2} = 11,9122 [\text{A}] \\ I_{T2}(\text{secundario}) &= I_L * I_{B3} = 153,4783 [\text{A}] \end{aligned}$$