

Una subestación A recibe energía de dos subestaciones B y C como se muestra en la figura.

Las características de los diferentes elementos (todos trifásicos) son:

TRANSFORMADOR T1: Yd11. 45.000/15.000 V. SNT1=30 MVA, Tensión de cortocircuito porcentual 10,5%. Resistencia de cortocircuito porcentual 0,7%.

TRANSFORMADOR T2: Yyd. 132.000/45.000 V. SNT2=75 MVA, Tensión de cortocircuito porcentual 14%. Pérdidas en el cobre a plena carga 375 kW.

TRANSFORMADOR T3: Yyd 132.000/45.000 V. SNT3=50 MVA, Tensión de cortocircuito porcentual 13%. Pérdidas en el cobre a plena carga 300 kW. Pérdidas en el hierro 27 kW.

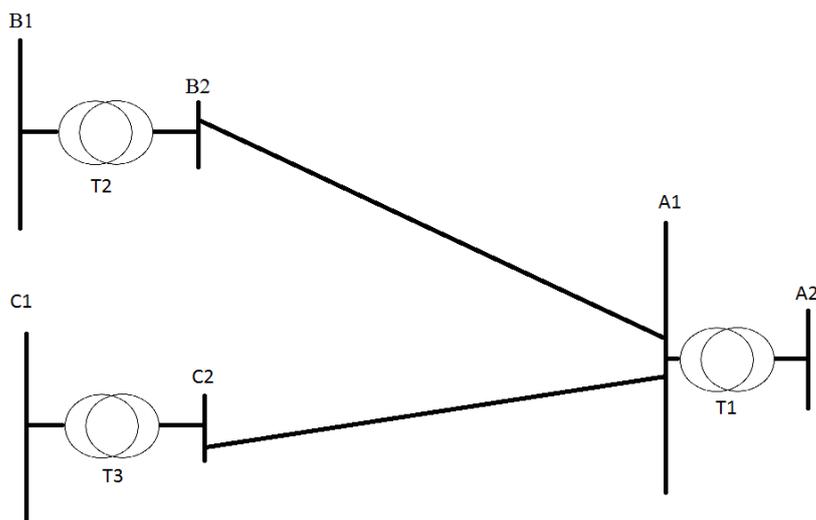
Línea B2A1: Se admite totalmente inductiva. 5 km, 0,16 Ω /km.

Línea C2A1: Se admite totalmente inductiva. 10 km, 0,14 Ω /km.

En un instante determinado la tensión en la barra B1 es 132 kV, mientras que la tensión en la barra C1 es 136 kV. En ese mismo instante el transformador T1 trabaja al 80% de carga con un factor de potencia 0,9 inductivo¹.

Se pide:

- 1) Tensión en la barra A2 en el supuesto caso de que el interruptor que une el transformador T3 con la barra C2 esté abierto.
- 2) Diagrama fasorial COMPLETO del apartado anterior
- 3) Equivalente Thevenin del conjunto de los dos transformadores en paralelo con sus líneas vista desde la barra A1
- 4) Tensión en la barra 2 en el caso en el que todos los interruptores estén cerrados



¹ Por simplicidad se admitirá que el desfase de la corriente lo es respecto de la barra B1

Trafo T1: 30 MVA

$$Z_{cc1Y} = \frac{\varepsilon_{cc} U_L^2}{100 S_N} = \frac{10,5 \cdot 45^2}{100 \cdot 30} = 7,09 \Omega$$

$$R_{cc1Y} = \frac{\varepsilon_{Rcc} U_L^2}{100 S_N} = \frac{0,7 \cdot 45^2}{100 \cdot 30} = 0,47 \Omega$$

$$X_{ccY} = \sqrt{Z_{ccY}^2 - R_{ccY}^2} = 7,074 \Omega$$

Pasamos la impedancia al lado de 132 kV

$$R'_{ccY} = R_{ccY} r_t^2 = 0,47 \left(\frac{132}{45} \right)^2 = 4,07 \Omega$$

$$X'_{ccY} = X_{ccY} r_t^2 = 60,98 \Omega$$

Trafo T2: 75 MVA

$$Z_{cc2Y} = \frac{\varepsilon_{cc} U_L^2}{100 S_N} = \frac{14 \cdot 132^2}{100 \cdot 75} = 32,52 \Omega$$

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{75 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 10^3} = 328,04 \text{ A}$$

$$R_{cc2Y} = \frac{P_{cc}}{3 I_N^2} = \frac{375000}{3 \cdot 328^2} = 1,162 \Omega$$

$$X_{ccY} = \sqrt{Z_{ccY}^2 - R_{ccY}^2} = 32,5 \Omega$$

Trafo T3: 50 MVA

$$Z_{cc3Y} = \frac{\varepsilon_{cc} U_L^2}{100 S_N} = \frac{13 \cdot 132^2}{100 \cdot 50} = 45,30 \Omega$$

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{50 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 10^3} = 218,69 \text{ A}$$

$$R_{ccY} = \frac{P_{cc}}{3 I_N^2} = \frac{300000}{3 \cdot 218,69^2} = 2,09 \Omega$$

$$X_{ccY} = \sqrt{Z_{ccY}^2 - R_{ccY}^2} = 45,25\Omega$$

Líneas

$$X'_{B2A1} = \left(\frac{132}{45}\right)^2 0,16 \frac{\Omega}{km} 5km = 6,88 \Omega$$

$$X'_{C2A1} = \left(\frac{132}{45}\right)^2 0,14 \frac{\Omega}{km} 10km = 12,05 \Omega$$

Carga transformador T1

$$I_{T1} = k_{T1} I_{NT1} = 0,8 \frac{S_{NT1}}{\sqrt{3}U_{NT1}} = 0,8 \frac{30.000}{\sqrt{3} \cdot 45} = 307,92 A$$

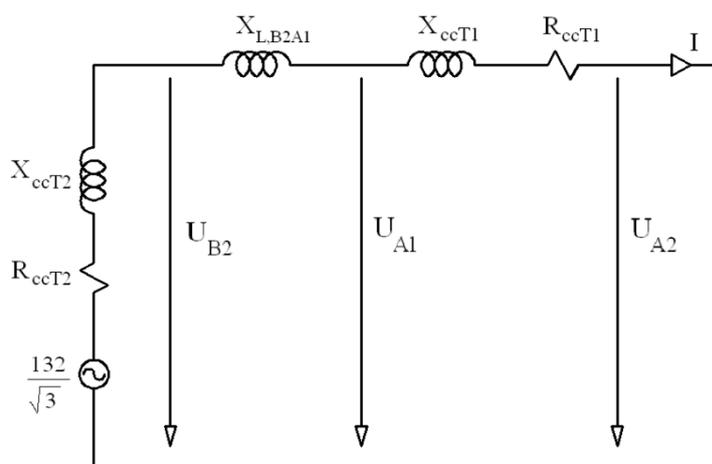
Pasamos la intensidad al lado de 132 kV

$$I'_{T1} = \frac{I_{T1}}{r_t} = 307,92 \frac{45}{132} = 104,97 A$$

En forma compleja, la intensidad será

$$\vec{I}'_{T1} = 104,97 \angle -25,84$$

Apartado 1: El transformador T3 está fuera de servicio



$$\begin{aligned} \vec{U}'_{A2fn} &= \vec{U}_{B1fn} - (\vec{Z}_{ccT2} + \vec{Z}'_{LB2A1} + \vec{Z}'_{ccT1}) \vec{I}'_{T1} = \\ &= \frac{132 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} - (1,162 + j32,5 + j6,88 + 4,07 + j60,98) \cdot 104,97 \angle -25,84 \end{aligned}$$

$$\bar{U}'_{A2fn} = 71.124 - j9.242 = 71.722V \angle -7,40$$

La tensión de línea será

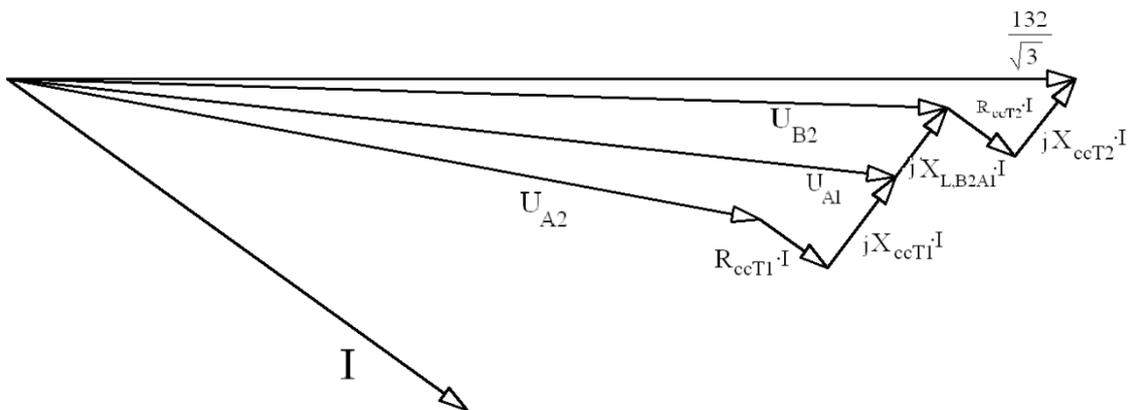
$$\bar{U}'_{A2L} = \sqrt{3}71.722V = 124.226V$$

La tensión referida al lado de 15 kV será

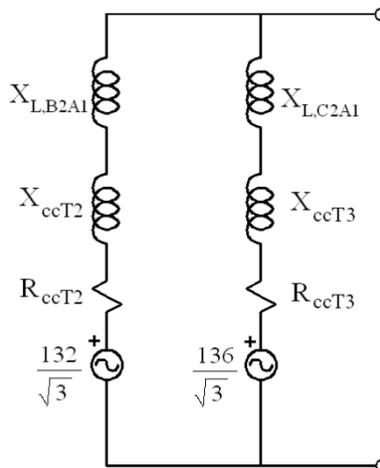
$$\bar{U}_{A2L} = 124.226V \frac{45}{132} \frac{15}{45} = 14.116V$$

La caída de tensión en % será 5,89 que, en general, es considerada excesiva.

Apartado 2: Diagrama fasorial



Apartado 3: Equivalente Thevenin



La impedancia del equivalente Thevenin se obtiene como la impedancia vista desde A1 (mirando desde A1 hacia la izquierda) anulando las fuentes de tensión

$$\begin{aligned}
 Z_{th} &= \frac{(\bar{Z}_{T2} + jX'_{LineaB2A1}) \cdot (\bar{Z}_{T3} + jX'_{LineaC2A1})}{\bar{Z}_{T2} + jX'_{LineaB2A1} + \bar{Z}_{T3} + jX'_{LineaC2A1}} = \frac{(1,16 + j39,38)(2,09 + j57,3)}{1,16 + j39,38 + 2,09 + j57,3} = \\
 &= \frac{39,4 \angle 88,27 \cdot 57,34 \angle 87,91}{96,73 \angle 88,07} = 23,35 \angle 88,15 = 0,75 + j23,34
 \end{aligned}$$

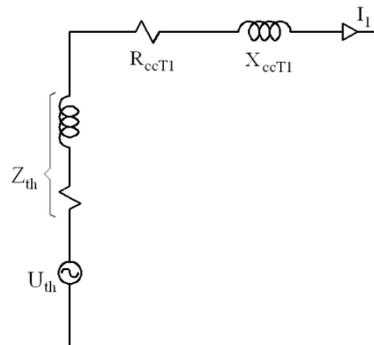
La fuente de tensión del equivalente Thevenin tendrá por valor la tensión que aparece en A1 a circuito abierto

$$I = \frac{\frac{136000}{\sqrt{3}} - \frac{132000}{\sqrt{3}}}{96,73 \angle 88,07} = 23,87 \text{ A} \angle -88,07$$

$$\begin{aligned}
 \bar{U}_{Thfn} &= \frac{136 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} - \bar{I} \cdot (\bar{Z}_{T3} + jX'_{LineaC2A1}) = \\
 &= \frac{136000}{\sqrt{3}} - 23,87 \angle -88,07 \cdot 57,34 \angle 87,91 = 77.150,67 + j3,82 = 77.150,67 \angle 0,0028
 \end{aligned}$$

Algunos estudiantes tienen la fea costumbre de que cuando una cosa es muy pequeña, despreciarla. En ocasiones eso hace imposible que el profesor les dé el 100% de la nota, pues no queda suficientemente claro si el estudiante conoce el cálculo complejo, etc. En este caso, de forma excepcional, despreciaremos el argumento de U_{th}

Apartado 4: Tensión en la barra A2 con los interruptores cerrados



$$\begin{aligned}
 \bar{U}'_{A2} &= \bar{U}_{Th} - (\bar{Z}_{Th1} + Z'_{T1}) \bar{I}'_{T1} = 77.150,67 - (0,75 + j23,34 + 4,07 + j60,98) \cdot 104,97 \angle -25,98 = \\
 &= 72.812,88 - j8091,57 = 73261,1 \angle -6,34
 \end{aligned}$$

La tensión de línea es

$$\bar{U}'_{A2L} = 73.261 \cdot \sqrt{3} = 126,89 \text{ kV}$$

Pasando al lado de 15 kV queda

$$U_{BTLineaT3} = 126,89 \cdot \left(\frac{45000}{132000} \right) \left(\frac{15000}{45000} \right) = 14.419 \text{ V}$$