

Un transformador de 60 MVA alimenta mediante una línea larga dos transformadores, uno de 30 MVA y otro de 25 MVA.

Los datos de los transformadores son los siguientes:

TRANSFORMADOR DE 60 MVA: 132/45 kV, grupo de conexión Yyd, impedancia de cortocircuito porcentual 11%. Pérdidas en el cobre a plena carga 248 kW. Pérdidas en el hierro 45 kW

TRANSFORMADOR DE 30 MVA: 45/15 kV, conexión Yd, impedancia de cortocircuito porcentual 10%. Pérdidas en el cobre a plena carga 105 kW

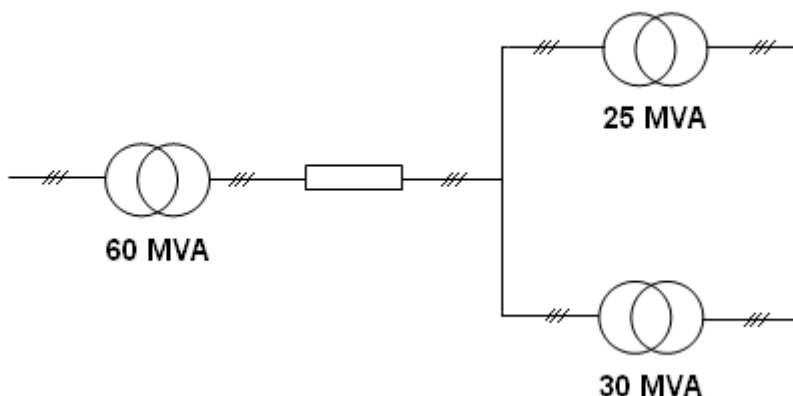
TRANSFORMADOR DE 25 MVA: 45/15 kV, conexión Dy, impedancia de cortocircuito porcentual 9%. Pérdidas en el cobre a plena carga 92 kW

Línea: Impedancia de la línea: $0,5 \Omega/\text{km}$. Longitud 4 km. Se considera inductiva pura

En un momento determinado el transformador de 30 MVA funciona al 60% de carga con factor de potencia 0,85 inductivo y el transformador de 25 MVA funciona al 45% de carga con un factor de potencia 0,9 inductivo¹. La tensión en la red de 132 kV oscila a lo largo del día, y en el instante de tiempo considerado la tensión de dicha red es 140 kV.

Se pide:

- 1) Calcular la tensión en bornas del transformador de 25 MVA
- 2) Factor de potencia que presenta el transformador de 60 MVA a la red de alimentación
- 3) En el supuesto caso de que el transformador de 30 MVA esté en vacío y que la red de 132 kV² tenga una potencia de cortocircuito de 7.200 MVA calcular la corriente de cortocircuito en caso de un cortocircuito en bornas del transformador de 25 MVA
- 4) Rendimiento del transformador de 60 MVA.



¹ Aunque no es estrictamente cierto, admítase que el factor de potencia indicado es respecto de la tensión de alimentación a la red de 132 kV (esto es 140 kV)

² La red de tensión nominal 132 kV, si bien en el instante de tiempo considerado la tensión vale 140 kV

**SOLUCIÓN:****Trafo T1: 60 MVA**

$$Z_{ccY} = \frac{\varepsilon_{cc} U_L^2}{100 S_N} = \frac{11 \cdot 132^2}{100 \cdot 60} = 31,94 \Omega$$

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{60 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 10^3} = 262,43 \text{ A}$$

$$R_{ccY} = \frac{P_{cc}}{3 I_N^2} = 1,2 \Omega$$

$$X_{ccY} = \sqrt{Z_{ccY}^2 - R_{ccY}^2} = 31,92 \Omega$$

Trafo T2: 30 MVA

$$Z_{ccY} = \frac{\varepsilon_{cc} U_L^2}{100 S_N} = \frac{10 \cdot 45^2}{100 \cdot 30} = 6,75 \Omega$$

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{30 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 45 \cdot 10^3} = 384,9 \text{ A}$$

$$R_{ccY} = \frac{P_{cc}}{3 I_N^2} = 0,236 \Omega$$

$$X_{ccY} = \sqrt{Z_{ccY}^2 - R_{ccY}^2} = 6,75 \Omega$$

Pasamos la impedancia al lado de 132 kV

$$R'_{ccY} = R_{ccY} r_t^2 = 0,236 \left(\frac{132}{45} \right)^2 = 2,03 \Omega$$

$$X'_{ccY} = X_{ccY} r_t^2 = 58,08 \Omega$$

Trafo T3: 25 MVA

$$Z_{ccY} = \frac{\varepsilon_{cc} U_L^2}{100 S_N} = \frac{9 \cdot 45^2}{100 \cdot 25} = 7,29 \Omega$$

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 45 \cdot 10^3} = 320,75 \text{ A}$$

$$R_{ccY} = \frac{P_{cc}}{3 I_N^2} = 0,298 \Omega$$

$$X_{ccY} = \sqrt{Z_{ccY}^2 - R_{ccY}^2} = 7,28 \Omega$$

Pasamos la impedancia al lado de 132 kV

$$R'_{ccY} = R_{ccY} r_t^2 = 0,298 \left(\frac{132}{45} \right)^2 = 2,56 \Omega$$

$$X'_{ccY} = X_{ccY} r_t^2 = 62,64 \Omega$$

Línea

$$X'_{Línea} = \left(\frac{132}{45} \right)^2 0,5 \frac{\Omega}{km} 4km = 17,21$$

Carga transformadores

$$I_{T2} = k_{T2} I_{NT2} = 0,6 \cdot 384,9 = 230,94A$$

$$I_{T3} = k_{T3} I_{NT3} = 0,45 \cdot 320,75 = 144,34A$$

La intensidad que circula por el transformador T1 (de 60 MVA) es la suma de la que entrega al transformador T2 (de 30 MVA) y la que entrega al transformador T3 (de 25 MVA)

$$\bar{I}_{T1} = \bar{I}_{T2} + \bar{I}_{T3} = 78,73 \angle -31,79 + 49,21 \angle -25,84$$

$$\bar{I}_{T1} = \bar{I}_{T2} + \bar{I}_{T3} = 111,21 + j62,92 = 127,77 \angle -29,50$$

Apartado 2: Factor de potencia

$$\cos \varphi = \cos(29,50) = 0,87 \text{ ind}$$

Apartado 1: Tensión en bornas del trafo T3

La corriente que circula por el transformador T1 es diferente a la que circula por el transformador T3, por eso haremos el apartado en dos partes: Primero obtendremos la tensión en el lado de AT del trafo de 30 MVA y luego la tensión en el lado de BT del mismo trafo.

Tensión en el lado de AT de los trafos T2 y T3

$$\bar{U}_{ATfnT3} = \bar{U}_{1fn} - (\bar{Z}_{ccT1} + \bar{Z}'_{Línea}) \bar{I}_{T1} = \frac{140 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} - (1,2 + j31,92 + j17,21) \cdot 127,77 \angle -29,50$$

$$\bar{U}_{ATfnT3} = 77.792V \angle -3,97$$

Tensión en el lado de BT del trafo T3

$$\bar{U}'_{BTfnT3} = \bar{U}_{ATfnT3} - \bar{Z}_{ccT3} \bar{I}_{T3} = 77792 \angle -3,97 - 62,73 \angle 87,66 \cdot 49,21 \angle -25,84$$

$$\bar{U}'_{BTfnT3} = 76.579V \angle -6,08$$

$$U'_{BTLíneaT3} = 76.579 \cdot \sqrt{3} = 132.638V$$

$$U_{BTLíneaT3} = 132.638 \cdot \left(\frac{15000}{132000} \right) = 15.073 V$$

Apartado 3: Corriente de cortocircuito

En primer lugar se ha de calcular la impedancia de la red, que se admite inductiva pura



$$S_{cc} = \sqrt{3}U_{1NL}I_{cc} = \sqrt{3}U_{1NL}\frac{U_{1Nfn}}{Z_{Red}} = \frac{U_{1NL}^2}{Z_{Red}}$$

Por tanto

$$Z_{Red} = \frac{U_{1NL}^2}{S_{cc}} = \frac{132^2}{7200} = 2,42 \Omega$$

La corriente de cortocircuito pedida es

$$I_{cc} = \frac{U_{1Nfn}}{(\bar{Z}_{Red} + \bar{Z}_{ccT1} + \bar{Z}_L + \bar{Z}_{ccT3})} = \frac{\frac{140000}{\sqrt{3}}}{j2,42 + (1,2 + j31,92) + j17,21 + (2,56 + j62,64)}$$

$$I_{cc} = \frac{\frac{140000}{\sqrt{3}}}{3,76 + j114,19} = \frac{\frac{140000}{\sqrt{3}}}{114,25 \angle 88,1^\circ} = 707,48 \angle -88,1^\circ$$

Apartado 4: Rendimiento del transformador de 60 MVA.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{cu}}$$

Tensión en bornas del secundario del trafo de 60 MVA

$$\bar{U}'_{BTfnT1} = \bar{U}_{1fn} - \bar{Z}_{ccT1}\bar{I}_{T1} = \frac{140 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} - 31,94 \angle 87,85 \cdot 127,77 \angle -29,50$$

$$\bar{U}'_{BTfnT1} = 78.765V \angle -2,53$$

$$P_2 = 3 \cdot 78.765 \cdot 127,77 \cdot \cos(-2,53 + 29,50) = 26.907.918 W$$

De forma más sencilla, hubiéramos podido obtener P_2 de la forma siguiente:

$$P_2 + P_{cu} = \sqrt{3} \cdot 140.000 \cdot 127,77 \cdot \cos(29,50) = 26.965.864 W$$

$$P_2 = 26.965.864 - P_{cu} = 26.965.864 - 3 \cdot 1,2 \cdot 127,77^2$$

$$P_2 = 26.965.864 - 58.771 = 26.907.093 W$$

La diferencia entre los dos cálculos es debida al redondeo de operaciones.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{cu}} = \frac{26907918}{26965864 + 45000} = 99,62 \%$$