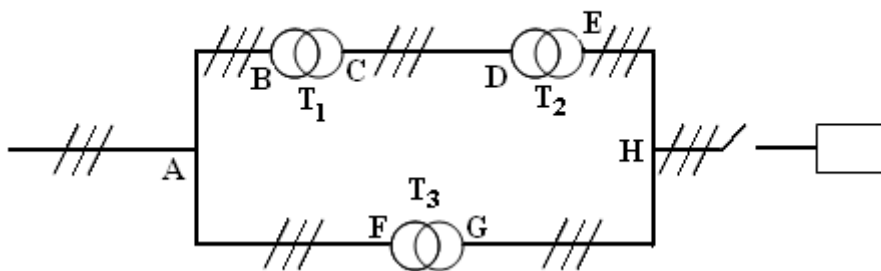


Los datos de la instalación de la figura son los siguientes:

- Línea AB: Se admite totalmente inductiva, de impedancia 15Ω
- Línea AF: Se admite totalmente inductiva, de impedancia 10Ω .
- Línea CD: Se admite totalmente inductiva, de impedancia $0,67 \Omega$.
- Línea EH: Se admite totalmente resistiva, de impedancia $90 \text{ m}\Omega$.
- Línea GH: Se admite totalmente resistiva, de impedancia $190 \text{ m}\Omega$.
- Transformador T1: 132/45 kV. Potencia 30 MVA, tensión de cortocircuito porcentual 11%. Pérdidas en el cobre a plena carga 121 kW
- Transformador T2: 45/15 kV. Potencia 25 MVA. tensión de cortocircuito porcentual 11%. Pérdidas en el cobre a plena carga 103 kW
- Transformador T3: 132/15 kV. Potencia 60 MVA, tensión de cortocircuito porcentual 11%. Pérdidas en el cobre a plena carga 260 kW. Pérdidas en vacío 36 kW.



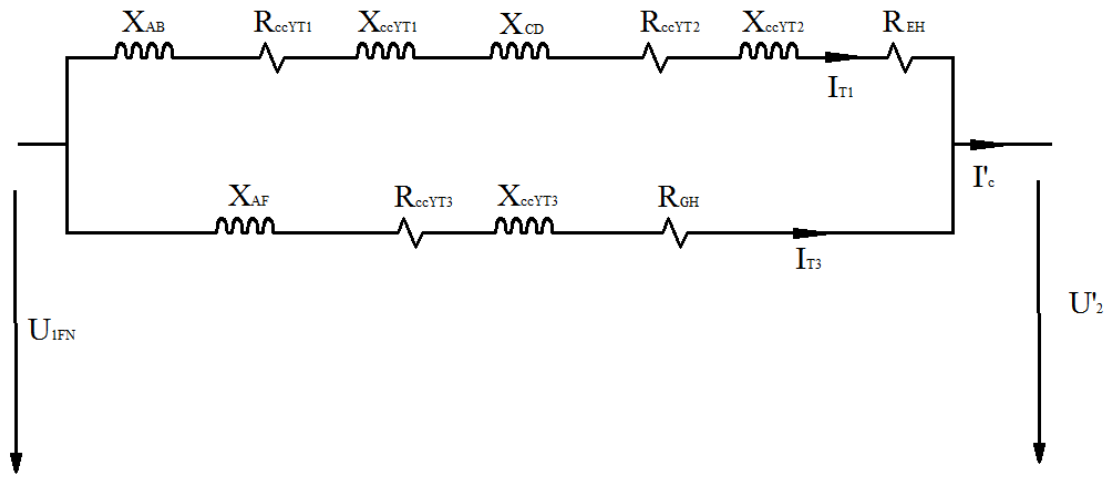
Se pide:

1. Potencia activa que entrega el transformador T3 a la carga si la carga demanda 70 MVA con factor de potencia 0,92 y la tensión en el punto H es 15 kV
2. Rendimiento del transformador T3¹
3. Tensión en el punto A en esas circunstancias
4. A tu juicio ¿es correcto el funcionamiento del conjunto dibujado? ¿Por qué?
5. Suponiendo para este último apartado que el interruptor de la figura esté abierto, calcular la corriente que circularía por el lado de AT de cada uno de los transformadores si se produce un cortocircuito trifásico en el punto C (se admite que la tensión en A no varía).

¹ Para mayor sencillez se pueden despreciar las pérdidas de potencia activa en la línea GH

Solución

En la figura se muestra el circuito equivalente de la instalación.



Los valores de las impedancias son

Trafo T1

$$Z_{ccYT1} = \frac{\varepsilon_{cc} U_L^2}{100 S_N} = \frac{11 \cdot 132^2}{100 \cdot 30} = 63,89 \Omega$$

$$I_{1NT1} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{30 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 10^3} = 131,22 \text{ A}$$

$$R_{ccYT1} = \frac{P_{cc}}{3 I_N^2} = \frac{121\,000}{3 \cdot 131,22^2} = 2,34 \Omega$$

$$X_{ccYT1} = \sqrt{Z_{ccYT1}^2 - R_{ccYT1}^2} = 63,85 \Omega$$

Trafo T2

$$Z_{cc45YT2} = \frac{\varepsilon_{cc} U_L^2}{100 S_N} = \frac{11 \cdot 45^2}{100 \cdot 25} = 8,91 \Omega$$

$$I_{1NT2} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 45 \cdot 10^3} = 320,75 \text{ A}$$

$$R_{cc45YT2} = \frac{P_{cc}}{3 I_N^2} = \frac{103\,000}{3 \cdot 320,75^2} = 0,33 \Omega$$

$$X_{cc45YT2} = \sqrt{Z_{ccYT2}^2 - R_{ccYT2}^2} = 8,90 \Omega$$

Pasamos la impedancia al lado de 132 kV

$$R'_{ccYT2} = R_{ccYT2} r_t^2 = 0,33 \left(\frac{132}{45} \right)^2 = 2,87 \, \Omega$$

$$X'_{ccYT2} = X_{ccYT2} r_t^2 = 8,9 \left(\frac{132}{45} \right)^2 = 76,61 \, \Omega$$

Trafo T3

$$Z_{ccYT3} = \frac{\varepsilon_{cc} U_L^2}{100 S_N} = \frac{11 \cdot 132^2}{100 \cdot 60} = 31,94 \, \Omega$$

$$I_{1NT3} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{60 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 10^3} = 262,43 \, A$$

$$R_{ccYT3} = \frac{P_{cc}}{3 I_N^2} = \frac{260 \, 000}{3 \cdot 262,43^2} = 1,26 \, \Omega$$

$$X_{ccYT3} = \sqrt{Z_{ccYT3}^2 - R_{ccYT3}^2} = 31,92 \, \Omega$$

También hay que pasar las líneas CD, EH y GH al lado de 132 kV

$$X'_{CD} = X_{CD} = 0,67 \left(\frac{132}{45} \right)^2 = 5,77 \, \Omega$$

$$R'_{EH} = R_{EH} = 0,090 \left(\frac{132}{45} \right)^2 \left(\frac{45}{15} \right)^2 = 6,97 \, \Omega$$

$$R'_{GH} = R_{GH} = 0,190 \left(\frac{132}{45} \right)^2 \left(\frac{45}{15} \right)^2 = 14,71 \, \Omega$$

La impedancia de la rama superior es

$$\bar{Z}_{sup} = jX_{AB} + R_{ccYT1} + jX_{ccYT1} + jX'_{CD} + R'_{ccYT2} + jX'_{ccYT2} + R_{EH}$$

$$\bar{Z}_{sup} = j15 + 2,34 + j63,85 + j5,77 + 2,87 + j76,61 + 6,97$$

$$\bar{Z}_{sup} = 12,18 + j161,22 \, \Omega$$

La impedancia de la rama inferior es

$$\bar{Z}_{inf} = jX_{AF} + R_{ccYT3} + jX_{ccYT3} + R_{GH} = j10 + 1,26 + j31,92 + 14,71$$

$$\bar{Z}_{inf} = 15,97 + j41,92 \, \Omega$$

El reparto de la corriente de carga entre los transformadores se obtiene aplicando un divisor de intensidad

$$\bar{I}_{T1} = \bar{I}'_C \frac{\bar{Z}_{\text{inf}}}{\bar{Z}_{\text{sup}} + \bar{Z}_{\text{inf}}}$$

Obteniendo el conjugado de la ecuación anterior y multiplicando ambos lados de la igualdad por la tensión en el punto H, se tiene la potencia que proviene por cada la rama superior.

$$\bar{S}_{\text{sup}} = \bar{S}_C \frac{\bar{Z}_{\text{inf}}^*}{\bar{Z}_{\text{sup}}^* + \bar{Z}_{\text{inf}}^*}$$

De igual forma

$$\bar{S}_{\text{inf}} = \bar{S}_C \frac{\bar{Z}_{\text{sup}}^*}{\bar{Z}_{\text{sup}}^* + \bar{Z}_{\text{inf}}^*}$$

Sustituyendo valores

$$\bar{S}_{\text{sup}} = 70 \angle 23,1^\circ \frac{44,86 \angle -69,1^\circ}{28,15 - j203,14} = 70 \angle 23,1^\circ \frac{44,86 \angle -69,1^\circ}{205,08 \angle -82,1^\circ} = 15,312 \text{ MVA} \angle 36,1^\circ$$

$$\bar{S}_{\text{sup}} = 12,372 \text{ MW} + 9,022 \text{ MVA}r$$

De igual forma

$$\bar{S}_{\text{inf}} = \bar{S}_C \frac{\bar{Z}_{\text{sup}}^*}{\bar{Z}_{\text{sup}}^* + \bar{Z}_{\text{inf}}^*}$$

$$\bar{S}_{\text{inf}} = 70 \angle 23,1^\circ \frac{161,68 \angle -85,7^\circ}{205,08 \angle -82,1^\circ} = 55,186 \text{ MVA} \angle 19,5^\circ = 52,021 \text{ MW} + j18,421 \text{ MVA}r$$

La potencia activa que entrega el transformador T3 a la carga es 52,021 MW.

Rendimiento del transformador T3

Para este apartado despreciamos la potencia perdida en la línea GH

$$k_{T3} = \frac{S_{T3}}{S_{NT3}} = \frac{52,02}{60} = 0,87$$

$$P_{cuT3} = P_{cc} k_{T3}^2 = 260 \cdot 0,86^2 = 195,45 \text{ kW}$$

$$\eta_{T3} = \frac{P_{T3}}{P_{T3} + P_{cuT3} + P_{FeT3}} 100 = \frac{52,021}{52,021 + 195,45 + 36} 100 = 99,56\%$$

Tensión en el punto A en esas circunstancias

$$I_C = \frac{S_C}{\sqrt{3}U_C} = \frac{70.000}{\sqrt{3}15} = 2.694 \text{ A}$$

Dado que todo el circuito está visto desde el lado de 132, pasamos la intensidad al lado de 132 kV

$$I'_C = I_C \left(\frac{45}{132} \right) \left(\frac{15}{45} \right) = 2.694 \left(\frac{45}{132} \right) \left(\frac{15}{45} \right) = 306,2 \text{ A}$$

La impedancia equivalente de la instalación es

$$\bar{Z}_{eq} = \frac{\bar{Z}_{sup} \bar{Z}_{inf}}{\bar{Z}_{sup} + \bar{Z}_{inf}} = \frac{161,68 \angle 85,7 \cdot 44,86 \angle 69,1}{205,08 \angle 82,1} = 35,37 \angle 72,7 = 10,51 + j33,77 \Omega$$

La tensión en el punto A será

$$\bar{U}_1 = \bar{U}'_C + \bar{Z}_{eq} \bar{I}'_C = \frac{132.000}{\sqrt{3}} + 35,37 \angle 72,7 \cdot 306,2 \angle -23,1 = \frac{132.000}{\sqrt{3}} + 10.831 \angle 49,6$$

$$\bar{U}_1 = 83.223 + j8.251 = 83.631 \angle 5,7$$

La tensión de línea es

$$U_{1L} = \sqrt{3}U_1 = 144.850 \text{ V}$$

Opinión sobre el funcionamiento

Despreciando las pérdidas en la línea EH, el grado de carga del transformador T2 es

$$k_{T2} = \frac{S_{T2}}{S_{NT2}} = \frac{15,31}{25} = 0,61$$

Despreciando la potencia reactiva en la línea CD, la potencia reactiva consumida en la reactancia de cortocircuito del transformador T2 y la potencia activa correspondiente a las pérdidas en el cobre del transformador T2, el grado de carga del transformador T1 es:

$$k_{T1} = \frac{S_{T1}}{S_{NT1}} = \frac{15,31}{30} = 0,51$$

El grado de carga del transformador T3 ya se ha obtenido

$$k_{T3} = \frac{S_{T3}}{S_{NT3}} = \frac{55,19}{60} = 0,92$$

Como se ve, los grados de carga de los tres transformadores son muy diferentes, con lo cual en esta instalación no se podría llegar a suministrar a una carga 90 MVA (el

máximo de potencia, teniendo en cuenta la potencia instalada de los transformadores) sin que ninguno de ellos se sobrecargue.

Corriente de cortocircuito

Al producirse un cortocircuito trifásico en el punto C, se establecen dos caminos en paralelo:

- el primero de ellos desde el punto A hasta el cortocircuito a través de la línea AB y el transformador T1
- el segundo de ellos desde el punto A hasta el cortocircuito a través de la línea AF, el transformador T3, la línea GH, la línea HE, el transformador T2 y la línea DC.

La corriente de cortocircuito de cada uno de esos dos caminos es

$$\bar{I}_{cc1} = \frac{\bar{U}_1}{jX_{AB} + R_{ccYT1} + jX_{ccYT1}} = \frac{\frac{144.850}{\sqrt{3}}}{j15 + 2,34 + j63,85} = 1.060 \text{ A} \angle -88,3^\circ$$

La corriente de cortocircuito por el primario del transformador T1 es 1.060 A

La corriente de cortocircuito por el segundo de los caminos es

$$\bar{I}_{cc2} = \frac{\bar{U}_1}{jX_{AF} + R_{ccYT3} + jX_{ccYT3} + R_{GH} + R_{EH} + R_{ccYT2} + jX_{ccYT2} + jX_{CD}}$$

$$\bar{I}_{cc2} = \frac{\frac{144.850}{\sqrt{3}}}{j10 + 1,26 + j31,92 + 14,71 + 6,97 + 2,87 + j76,61 + j5,77} = 659 \text{ A} \angle -78,3^\circ$$

La corriente de cortocircuito por el primario del transformador T3 es 659 A.

La corriente de cortocircuito por el primario del transformador T2 es

$$I_{ccT2} = I_{cc2} \left(\frac{132}{45} \right)^2 = 659 \left(\frac{132}{45} \right)^2 = 5.668 \text{ A}$$