

## EJERCICIO. -3

Tenemos un transformador trifásico conectado en D-Y de 50 kVA, 7.200/208 V, 50 Hz, al cual se le somete a un ensayo en vacío y otro en cortocircuito, obteniéndose los siguientes resultados:

$$\begin{array}{ll} P_o = 500 \text{ W.} & P_{cc} = 600 \text{ W.} \\ I_o = 8 \text{ A.} & I_{cc} = 4,01 \text{ A.} \\ U_o = 208 \text{ V} & U_{cc} = 370 \text{ V.} \end{array}$$

Determinar:

- Las impedancias del circuito equivalente aproximado no lineal referido al devanado de AT.
- Las impedancias del circuito equivalente aproximado no lineal referidas al devanado de BT.
- El porcentaje de regulación de tensión cuando la carga toma la corriente de régimen con  $\cos \phi = 0,8$  inductivo (considerar el circuito equivalente aproximado lineal).
- Los rendimientos a plena carga y a media carga para factores de potencia 0,8 inductivo y 0,6 capacitivo.

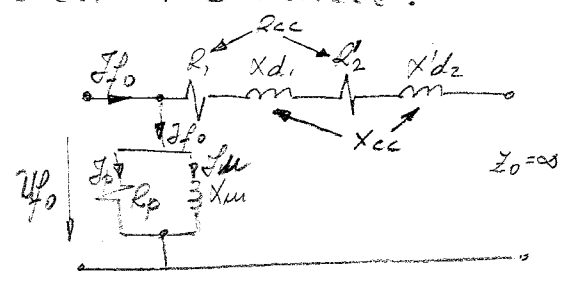
a) A partir del ensayo de vacío, cuyos aparatos de medida se colocan en el lado de BT, observese que la lectura del voltímetro es de 202 V

El lado de BT está conectado en  $\Delta$  Entonces:

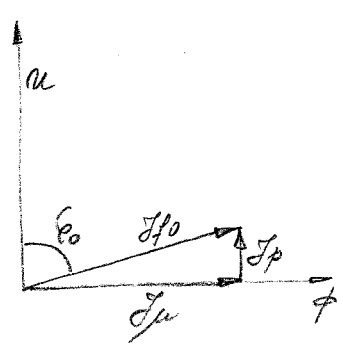
$$U_{f0} = \frac{U_{L0}}{\sqrt{3}} = \frac{202}{\sqrt{3}} = 120 \text{ V}$$

$$P_{f0} = \frac{500}{3} = 166,7 \text{ W}$$

$$I_{f0} = I_{L0} = 8 \text{ A}$$



$$P_{f0} = P_{f0} = R_p I_p^2 = R_p \left( \frac{U_{f0}}{R_p} \right)^2 = \frac{U_{f0}^2}{R_p} \Rightarrow R_p = \frac{U_{f0}^2}{P_{f0}} = \frac{120^2}{166,7} = 86,4 \Omega$$



$$P_0 = \sqrt{3} U_0 I_0 \cos \phi_0$$

$$\Rightarrow \cos \phi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} U_0 I_0} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 208,8} = 0,1437 \quad \phi_0 = 80^\circ$$

$$\Rightarrow \sin \phi_0 = 0,985$$

$$I_\mu = I_{f0} \sin \phi_0 = 8 \times 0,985 = 7,88 \text{ A}$$

$$S_n = \sqrt{3} U_{in} I_{in}$$

$$I_{in} = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_{in}} = \frac{50.000}{\sqrt{3} \cdot 7.200} = 4,01 \text{ A}$$

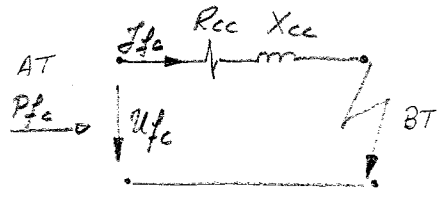
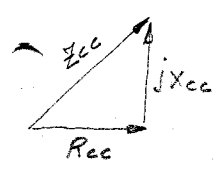
$$X_{m, BT} = \frac{U_{f0}}{I_\mu} = \frac{120}{7,88} = 15,23 \Omega$$

$R_{cc}$  y  $X_{cc}$  se calcularan a partir del ensayo en cortocircuito. Como se puede observar por los datos del ejercicio, ( $U_{cc} = 370 \text{ V}$ ), se ha cortocircuitado el lado de BT y se han colocado los aparatos de medida en el lado de AT, el cual está conectado en triángulo. Entonces:

$$P_{fc} = \frac{P_c}{3} = \frac{600}{3} = 200 \text{ W}$$

$$I_{fc} = \frac{I_c}{\sqrt{3}} = \frac{4,01}{\sqrt{3}} = 2,32 \text{ A}$$

$$U_{fc} = U_c = 370 \text{ V}$$

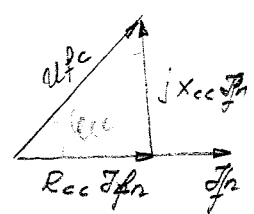


$$P_{fc} = R_{cc} \cdot I_{fc}^2 \Rightarrow$$

$$R_{cc} = \frac{P_{fc}}{I_{fc}^2} = \frac{200}{2,32^2} = \underline{\underline{37,31 \Omega}}$$

$$|Z_{cc}| = \frac{U_{fc}}{I_{fc}} = \frac{370}{2,32} = 159,8 \Omega \Rightarrow X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = \sqrt{159,8^2 - 37,2^2} = \underline{\underline{155,4 \Omega}}$$

COMPROBACION POR OTRO PROCEDIMIENTO.



$$P_c = \sqrt{3} U_c I_c \cos \theta_{cc} \Rightarrow \cos \theta_{cc} = \frac{P_c}{\sqrt{3} U_c I_c} = \frac{600}{\sqrt{3} \cdot 370 \cdot 4,01} = 0,2335$$

$$\theta_{cc} = 76,5^\circ \Rightarrow \sin \theta_{cc} = 0,9724$$

$$R_{cc} I_{fn} = U_{fc} \cdot \cos \theta_{cc} \Rightarrow R_{cc} = \frac{U_{fc} \cdot \cos \theta_{cc}}{I_{fn}} = \frac{370 \cdot 0,2335}{2,31} = \underline{\underline{37,31 \Omega}}$$

$$X_{cc} I_{fn} = U_{fc} \cdot \sin \theta_{cc} \Rightarrow X_{cc} = \frac{U_{fc} \cdot \sin \theta_{cc}}{I_{fn}} = \frac{370 \cdot 0,9724}{2,31} = \underline{\underline{155,40 \Omega}}$$

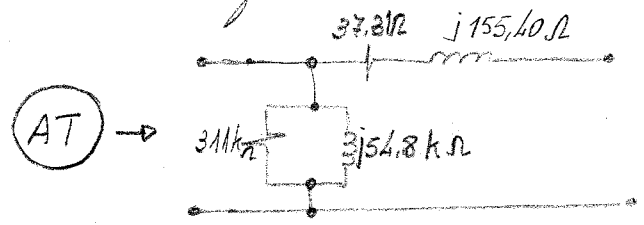
$R_p$  y  $X_m$ . los hemos de referir al lado de AT.

$$\Gamma_t = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{AT}}{U_{BT}} = \frac{7.200}{\frac{208}{\sqrt{3}}} \approx 60$$

$$R_{pAT} = \Gamma_t^2 R_{pBT} = 60^2 \cdot 86,4 = 311 \text{ k}\Omega \quad (311.040 \Omega)$$

$$X_{mAT} = \Gamma_t^2 X_{mBT} = 60^2 \cdot 15,23 = 54,8 \text{ k}\Omega \quad (54.828 \Omega)$$

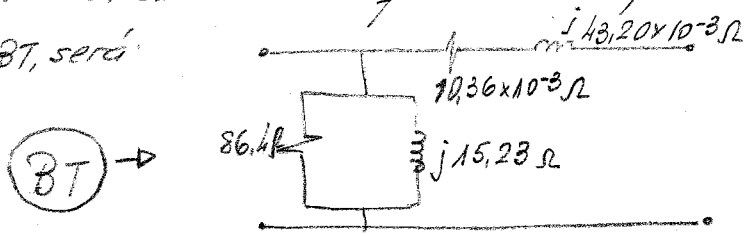
Por tanto, el circuito equivalente aproximado referido al lado de AT, es el siguiente:



b) La impedancia de cortocircuito referida al lado de BT, será:

$$Z_{ccBT} = \frac{1}{60^2} (37,31 + j155,40) = 0,01036 + j0,0432 \Omega$$

y, por lo tanto, el circuito equivalente aproximado referido al lado de BT, será:



En valores por unidad (p.u.)

(BT)

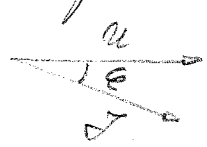
$$Z_{cc8} = \frac{U_B^2}{S_B} = \frac{208^2}{50000} = 0,86528$$

$$Z_{cc_{pu}} = \frac{Z_{cc}}{Z_{cc8}} = \frac{0,01036}{0,86528} = 0,01197 \quad \text{o bien:} \quad \left( R_{cc_{pu}} = \frac{P_c}{S_B} = \frac{600}{50000} = 0,012 \right)$$

$$X_{cc_{pu}} = \frac{X_{cc}}{Z_{cc8}} = \frac{0,0432}{0,86528} = 0,0499$$

$$Z_{cc_{pu}} = 0,01197 + j0,0499 = 0,0513 \angle 76,51^\circ$$

c) Regulación en valores por unidad:

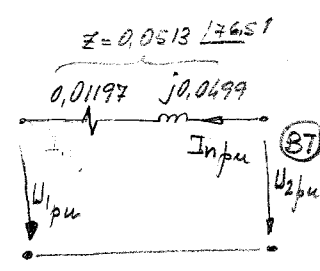


$$\cos \phi = 0,8 \text{ inductivo} \Rightarrow \phi = -36,87^\circ$$

$$I_{1_{pu}} = 1 \angle -36,87^\circ$$

$$U_{2_{pu}} = 1 \angle 0^\circ$$

(AT)



$$U_{1_{pu}} = U_{2_{pu}} + Z_{cc_{pu}} \cdot I_{1_{pu}} = 1 \angle 0^\circ + (0,0513 \angle 76,51^\circ) (1 \angle -36,87^\circ)$$

$$= 1 \angle 0^\circ + 0,0513 \angle 39,64^\circ = 1 + 0,0395 + j0,0327 = 1,0400 \angle 1,80^\circ$$

$$\text{Regulación} = \frac{|U_{1_{pu}}| - |U_{2_{pu}}|}{|U_{2_{pu}}|} = \frac{1,0400 - 1}{1} = 0,04 \quad \text{Regulación \%} = \underline{\underline{4\%}}$$

d)

$$\eta_c = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + c^2 P_c} = \frac{c S_n \cos \phi}{c S_n \cos \phi + P_0 + c^2 P_{cc}}$$

PC (c=1)

$$\eta_{0,8} = \frac{1 \times 50.000 \times 0,8}{1 \times 50.000 \times 0,8 + 500 + 1^2 \cdot 600} = 0,9732; \quad \eta_{0,8} (\%) = \underline{\underline{97,32\%}}$$

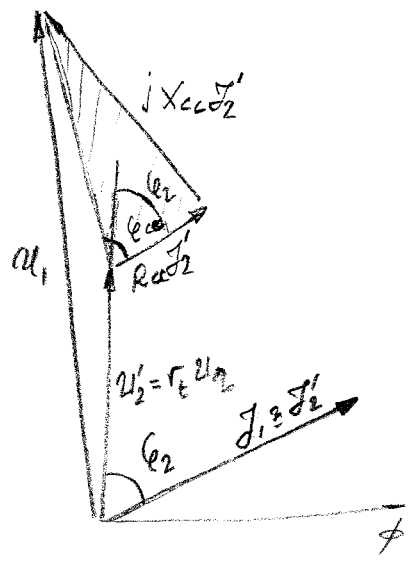
$$\eta_{0,6} = \frac{1 \times 50.000 \times 0,6}{1 \times 50.000 \times 0,6 + 500 + 1^2 \cdot 600} = 0,9646; \quad \eta_{0,6} (\%) = \underline{\underline{96,46\%}}$$

MC (c=0,5)

$$\eta_{0,8} = \frac{0,5 \cdot 50.000 \times 0,8}{0,5 \cdot 50.000 \times 0,8 + 500 + 0,5^2 \cdot 600} = 0,9685; \quad \eta_{0,8} (\%) = \underline{\underline{96,85\%}}$$

$$\eta_{0,6} = \frac{0,5 \cdot 50.000 \times 0,6}{0,5 \cdot 50.000 \times 0,6 + 500 + 0,5^2 \cdot 600} = 0,9585; \quad \eta_{0,6} (\%) = \underline{\underline{95,85\%}}$$

ej) El apartado c se puede resolver aplicando la formula de kapp



$$U_1 = U_2' + R_{cc} I_2' \cos \theta_2 + X_{cc} I_2' \sin \theta_2$$

$$\cos \theta_2 = 0,8 \Rightarrow \sin \theta_2 = 0,6$$

$$7.200 = U_2' + 37,31 \cdot 2,32 \cdot 0,8 + 155,4 \cdot 2,32 \cdot 0,6 \Rightarrow$$

$$U_2' = 6.914 \text{ V}$$

$$\text{Reg.} = \frac{U_1 - U_2'}{U_1} = \frac{7.200 - 6.914}{7.200} \approx 0,04 \Rightarrow 4\%$$

$$S_n = \sqrt{3} U_n I_{in} \rightarrow I_{in} = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_n} = \frac{50.000}{\sqrt{3} \cdot 7.200} = 4,01 \rightarrow I_{inf} = \frac{4,01}{\sqrt{3}} = 2,32 \text{ A}$$