i) Las pérdidas de núcleo a determinado voltaje inducido son prácticamente iguales a la potencia activa absorbida por el transformador al aplicar el mismo voltaje en vacío. En el inciso (e) se obtuvo por interpolación:

$$P_{exc} = P_n = 963 \text{ W} \quad *$$

Comprobando:

$$P_n = E_1 I_{exc} \cos \angle_{I_{exc}}^{E_1}$$

$$= 12\,145\,(0.31) \cos (75.18)^\circ$$

$$= 963 \text{ W}$$

j) Del circuito equivalente referido al primario:

$$I_1 = I_{exc} + I_L' = I_{exc} + \frac{I_L}{a}$$

$$= 0.31 \angle{-74.77^\circ} + \frac{41.67}{5} \angle{-36.87^\circ}$$

$$= 8.58 \angle{-38.14^\circ} \text{ A} \quad *$$

$$V_1 = I_1 (R_1 + j X_{L_1}) + E_1$$

$$= 8.58 \angle{-38.14^\circ} (7 + j19) + 12\,145 \angle{0.41^\circ}$$

$$= 12\,290 \angle{0.83^\circ} \text{ V} \quad *$$

$$FP_1 = \cos \theta_1 = \cos \angle_{I_1}^{V_1} = \cos \left(\angle_{V_L}^{V_1} - \angle_{V_L}^{I_1} \right)$$

$$= \cos [0.83 - (-38.14^\circ)]$$

$$= 0.777 \quad (-) \quad *$$

k) La pérdida total del cobre es la suma de las potencias disipadas por R_1 y R_2:

$$P_{cu} = I_1^2 R_1 + I_L^2 R_2$$

$$= (8.58)^2 (7) + (41.67)^2 (0.3)$$

$$= 1\,036 \text{ W} \quad *$$

l)

$$\% \eta = \frac{P_{ent.} - P_{pérd.}}{P_{ent.}} \times 100$$

$$P_{ent.} = V_1 I_1 FP_1 = 12\,290\,(8.58)(0.777)$$

$$= 81\,933 \text{ W}$$

$$P_{pérd.} = P_{cu} + P_n$$

$$= 1\,036 + 963 = 1\,999 \text{ W}$$

$$\Rightarrow \% \eta = \frac{81\,933 - 1\,999}{81\,933} \times 100$$

$$= 97.6 \quad *$$

Comprobando:

$$\% \eta = \frac{P_{sal}}{P_{ent.}} \times 100 = \frac{100\,000\,(0.8)}{81\,933}$$

$$= 97.6$$

m) $$\% \text{ Reg.} = \frac{E_z \text{ vacío} - V_L \text{ carga}}{V_L \text{ carga}} \times 100$$

Aplicando la Ec. 7.4:

$$\% \text{ Reg.} = \frac{\frac{V_1}{a} - V_{LPC}}{V_{LPC}} \times 100$$

$$= \frac{12\,290/5 - 2\,400}{2\,400} \times 100$$

$$= 2.42 \quad *$$

n) Se bosquejará el diagrama fasorial del circuito equivalente con el primario referido al secundario.

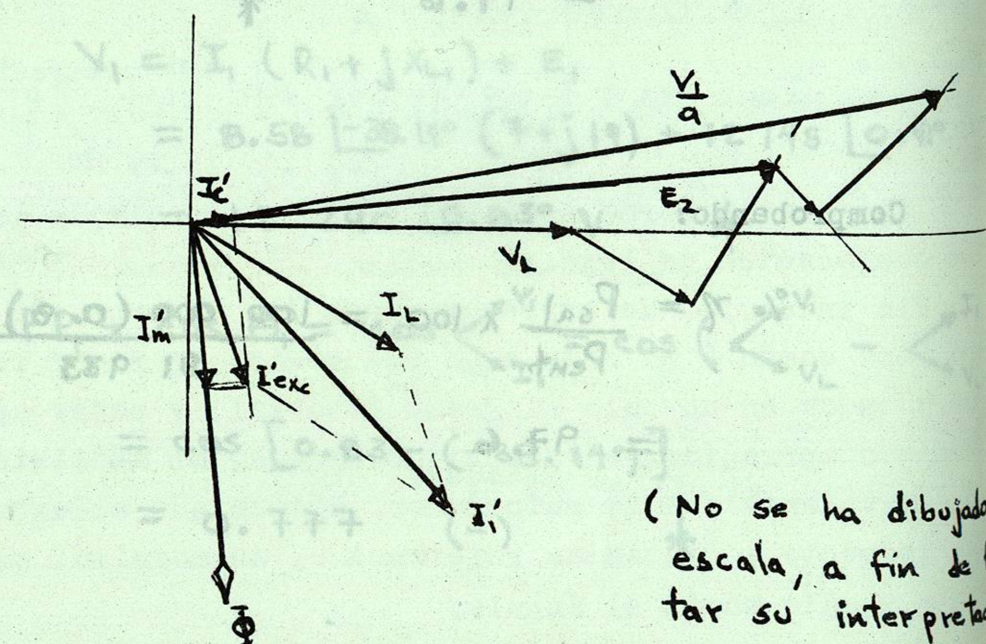
$$V_L = 2\,400 \angle 0^\circ$$

$$I_L = 41.67 \angle -36.87^\circ$$

$$E_z = 2\,429 \angle 0.41^\circ$$

$$\frac{V_1}{a} = 2\,458 \angle 0.83^\circ$$

$$I'_{exc} = 1.55 \angle -74.77^\circ$$



(No se ha dibujado a escala, a fin de fa[cilitar] su interpreta[ción]

EJEMPLO 8

Se tiene un transformador de 15 KVA, 2 400:240 V, 60 Hz. Se desea determinar la impedancia equivalente del transformador con respecto al lado de alta tensión, despreciando el efecto de la rama de excitación. Se midieron las resistencias de los devanados y se hizo una prueba de corto circuito alimentando el lado de alta tensión.

Prueba de corto circuito:

$$V_H = 74.5 \text{ V}$$

$$I_H = 6.25 \text{ A}$$

$$P_H = 237 \text{ W}$$

$$f = 60 \text{ Hz.}$$

$$t = 25^\circ C$$

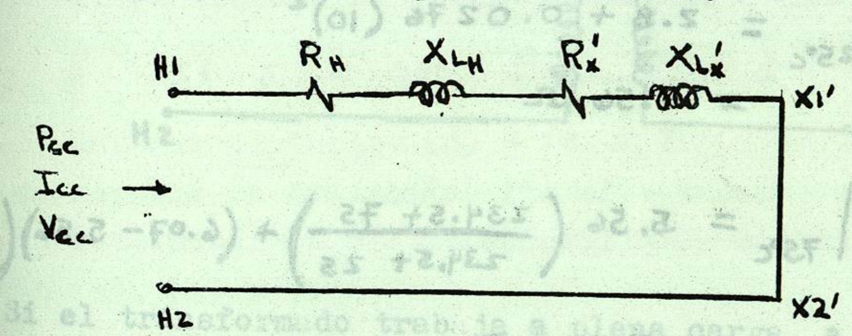
Resistencias medidas con un óhmetro a 25°C:

$$R_H = 2.8\ \Omega$$

$$R_X = 0.0276\ \Omega$$

SOLUCION

De la prueba de corto circuito, trabajando en el lado de alto voltaje, que fue el que se alimentó:



$$R_{eq.} = R_H + R'_X$$

$$X_{Leq} = X_{LH} + X'_{LX}$$

$$a = \frac{2\,400}{240} = 10$$

$$P_{cc} = I_{cc}^2\,(R_H + R_X')$$

$$R_H + R_X' = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2} = \frac{237}{(6.25)^2} = 6.07\ \Omega$$

$$\Rightarrow\ R_{eq.}\Big|_{CA\ 25^\circ C} = 6.07\ \Omega$$

Para corregir el valor de Req a la temperatura normalizada de $75^{o}C$ y por efecto de corrientes de Foucault, se aplica la Ec. 6.18:

$$R_{eq.}\Big|_{CA\ 75^\circ C} = R_{eq.}\Big|_{CD\ 25^\circ C}\left(\frac{234.5+75}{234.5+25}\right) + \left(R_{eq.}\Big|_{CA\ 25^\circ C} - R_{eq.}\Big|_{CD\ 25^\circ C}\right)\left(\frac{234.5+25}{234.5+75}\right)$$

De las mediciones tomadas con el óhmetro:

$$R_{eq.}\Big|_{CD\ 25^\circ C} = 2.8 + 0.0276\,(10)^2$$

$$= 5.56\ \Omega$$

$$\Rightarrow\ R_{eq.}\Big|_{CA\ 75^\circ C} = 5.56\left(\frac{234.5+75}{234.5+25}\right) + (6.07-5.56)\left(\frac{234.5}{234.5}\right.$$

$$= 7.06\ \Omega$$

Que es la resistencia efectiva que ofrece el transformador a la C.A., vista desde el lado de alta tensión.

$$Z_{eq.}\Big|_{25^\circ C} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} = \frac{74.5}{6.25} = 11.92\ \Omega$$

$$X_{Leq} = \sqrt{\left(Z_{eq}\big|_{25^\circ}\right)^2 - \left(R_{eq.}\big|_{CA\ 25^\circ}\right)^2}$$

$$= \sqrt{(11.92)^2 - (6.07)^2}$$

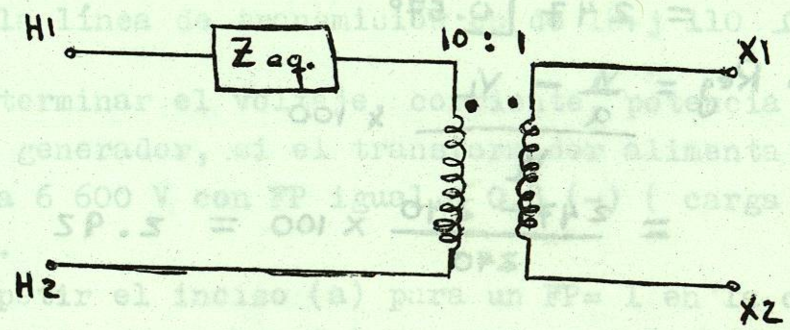
$$= 10.26\ \Omega$$

$$Z_{eq.}\Big|_{75^\circ} = R_{eq.}\Big|_{CA\ 75^\circ} + j\,X_{Leq.}$$

$$= 7.06 + j\,10.26$$

$$= 12.45\ \angle 55.47^\circ\ \Omega \quad *$$

Circuito equivalente:



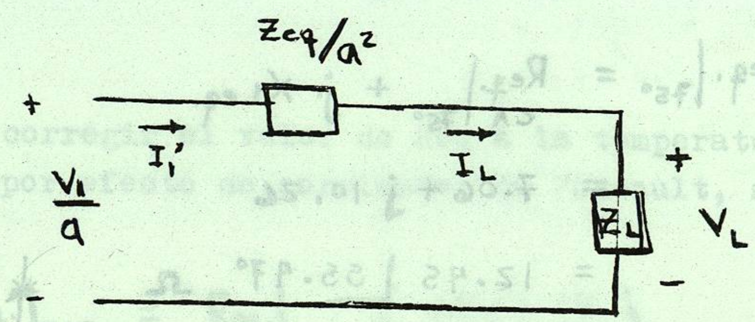
Si el transformado trabaja a plena carga, a voltaje nominal en el secundario y FP= 0.8 en atraso, ¿cuál es la regulación?

$$I_L = \frac{S_L}{V_L} = \frac{15\,000}{240} = 62.5\ A$$

$$\theta_L = \cos^{-1} 0.8 = 36.87° \quad (-)$$

$$I_L = 62.5 \angle -36.87°\ A$$

Circuito equivalente referido al secundario:



$$I_1' = I_L$$

$$\frac{V_1}{a} = I_L \frac{Z_{eq}}{a^2} + V_L$$

$$= \frac{62.5 \angle -36.87\ (12.45 \angle 55.47)}{(10)^2} + 240 \angle 0°$$

$$= 247 \angle 0.57°$$

$$\%\ Reg = \frac{\frac{V_1}{a} - V_L}{V_L} \times 100$$

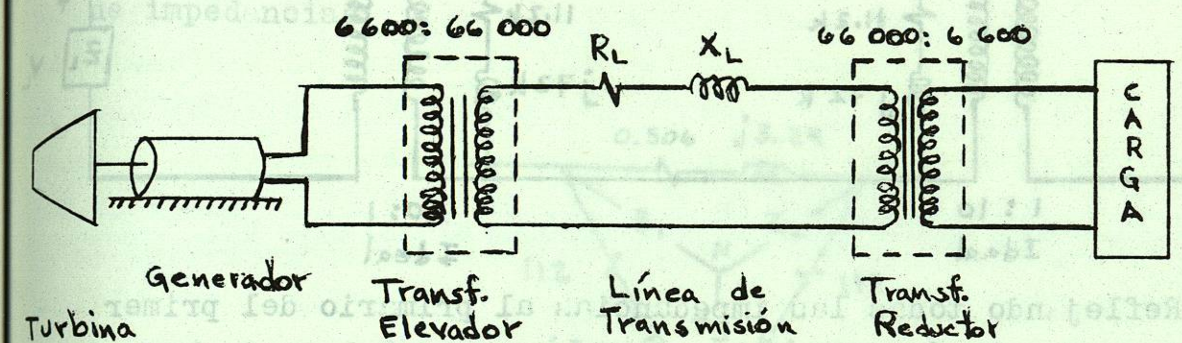
$$= \frac{247 - 240}{240} \times 100 = 2.92$$

¿ Puede determinarse la eficiencia del transformador a partir de este circuito simplificado?

xxx

EJEMPLO 9

El siguiente es un esquema de un sistema de transmisión de energía eléctrica desde una planta generadora hasta una carga situada a una distancia grande.



El sistema es monofásico, los dos transformadores son iguales y tienen los siguientes datos de placa: 1 000 KVA, 60 Hz, 66 000:6 600 V. Los parámetros del circuito equivalente de un transformador son los siguientes: $R_H = 16.3\ \Omega$; $R_X = 0.170\ \Omega$; $X_{LX} = 1.07\ \Omega$; $X_{LH} = 106\ \Omega$; rama de excitación referida al lado de alta tensión: $r_c = 11\,200\ \Omega$; $X_{Lm} = 72\,000\ \Omega$. La impedancia de las líneas que unen al generador y a la carga con el sistema de transmisión se consideran despreciables. La impedancia de la línea de transmisión es de $18 + j\,110\ \Omega$.

a) Determinar el voltaje, corriente, potencia y FP a la salida del generador, si el transformador alimenta una carga de 1 000 KVA a 6 600 V con FP igual a 0.8 (-) (carga inductiva resistiva).

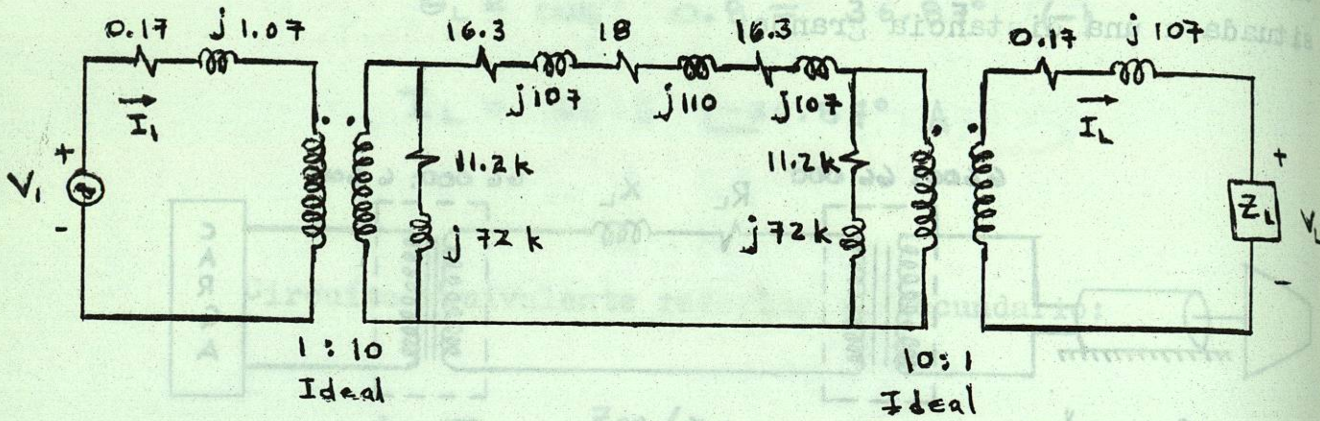
B) Repetir el inciso (a) para un FP= 1 en la carga.

c) Repetir el inciso (a) para FP= 0.8 (+) en la carga.

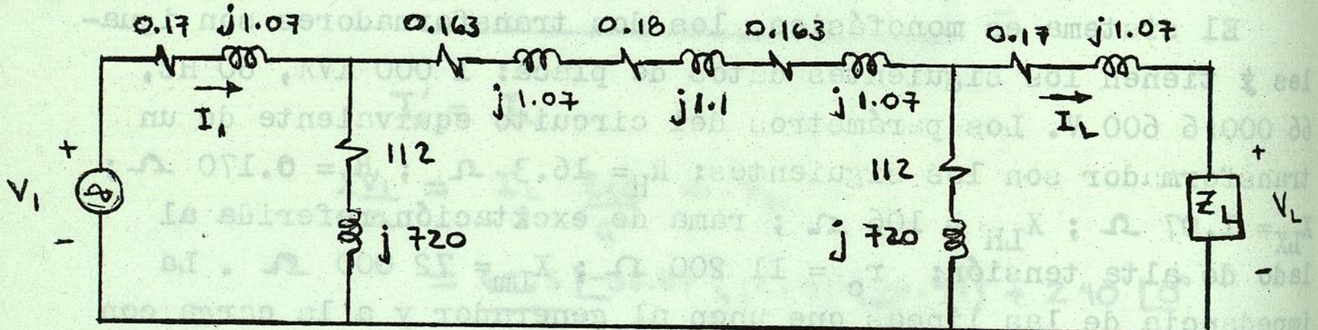
d) Determinar la eficiencia de todo el sistema para los incisos (a), (b) y (c).

SOLUCION

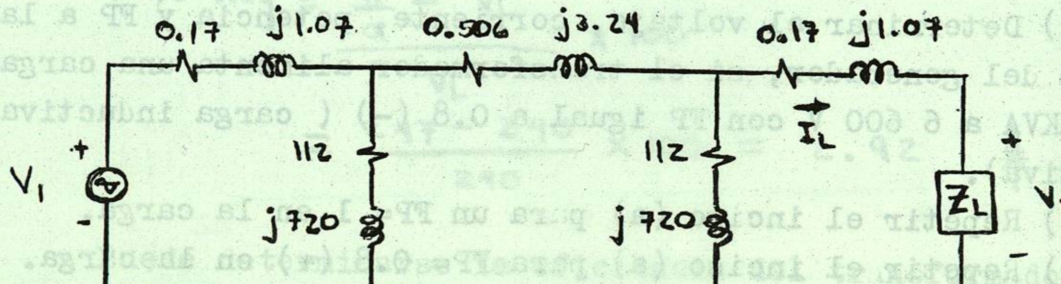
Circuito equivalente:



Reflejando todas las impedancias al primario del primer transformador (nótese que las impedancias del lado de baja del segundo transformador permanecen inalteradas al tener ambos transformadores la misma relación de espiras):

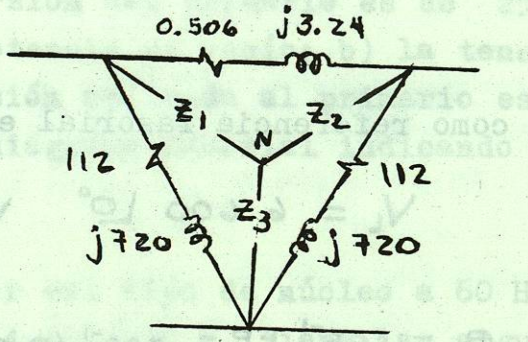


Simplificando:



El problema pertence ahora a un simple análisis de circuitos. Conocidos los datos de la carga pueden determinarse las condiciones de la fuente V_1. Ya que sólo se pide determinar las condiciones de la fuente, con respecto a las condiciones de la carga, resulta práctico simplificar el trayecto entre éstas. Por supuesto, si se desea conocer algún dato intermedio, como por ejemplo la caída de tensión en la línea de transmisión, el circuito a utilizar será más complejo.

Aplicando una transformación $\Delta - Y$ a la combinación central de impedancias:



$$Z_1 = \frac{(0.506 + j3.24)(112 + j720)}{0.506 + j3.24 + 112 + j720 + 112 + j720} = \frac{2389 \angle 162.3^\circ}{1460 \angle 81.16^\circ}$$

$$= 1.636 \angle 81.14^\circ = 0.252 + j1.616 \ \Omega$$

$$Z_2 = Z_1 = 0.252 + j1.616 \ \Omega$$

$$Z_3 = \frac{(112 + j720)(112 + j720)}{1460 \angle 81.16^\circ} = 363.7 \angle 81.16^\circ$$

$$= 55.9 + j359 \ \Omega$$