

EXAMEN. 16 DE OCTUBRE DE 2014

CURSO 2014/2015

Problema (10 puntos).

A un transformador trifásico Dyn11 de potencia nominal trifásica 400 kVA y tensiones de línea 24.000/400V, 50Hz se le ha realizado un ensayo de vacío y otro de cortocircuito.

Del ensayo de vacío, realizado en el devanado de baja tensión (B.T.), se obtienen los siguientes datos: $I_0=2\%$ de la nominal, $P_0=1.170W$.

Del ensayo de cortocircuito, realizado en el devanado de alta tensión (A.T.), se obtienen los siguientes datos: $P_{cc}=5.800W$ y $\epsilon_{cc}=4\%$.

- Dibujar el circuito equivalente monofásico aproximado del transformador reducido al primario. Indica el grupo de conexión, el índice horario y expresa este último en grados **(0,5)**
- Obtener de la corriente de vacío, I_0 , si el ensayo de vacío se realizara desde el primario **(1)**
- Obtener el valor de R_{Fe} referida al primario a partir de los datos del ensayo de vacío. **(1)**
- Obtener el valor de X_{μ} referida al primario a partir de los datos del ensayo de vacío. **(0,75)**
- Obtener las pérdidas en el hierro P_{Fe} . **(0,25)**
- Obtener el valor de R_{cc} referida al primario a partir de los datos del ensayo de cortocircuito. **(1 punto)**
- Obtener el valor de X_{cc} referida al primario a partir de los datos del ensayo de cortocircuito. **(0,75 puntos)**
- Sobre el circuito monofásico equivalente, si estando el transformador en funcionamiento normal (tensiones y corrientes nominales), ocurriese un cortocircuito accidental entre fase y neutro en el secundario. ¿Cuál sería la corriente de cortocircuito en el secundario? **(0,75)**
- Calcula el índice de carga óptimo. **(0,5 puntos)**
- Calcula la potencia de máximo rendimiento. **(0,5 puntos)**
- Sobre el circuito monofásico equivalente, caída de tensión en el transformador cuando suministra potencia de máximo rendimiento con factor de potencia unidad. ¿cuál es el valor de la regulación ϵ ? **(1 puntos)**
- Sobre el circuito monofásico equivalente, en el secundario de ese transformador (lado B.T.) se ha colocado una carga puramente resistiva de 4Ω , conectada a través de un conductor de impedancia $0,1+j0,2\Omega$. Calcular la caída de tensión en el transformador cuando alimenta a dicha carga. **(1 punto)**
- Si se desea ampliar la potencia de la instalación hasta los 600kVA, indica, ayudándote de la tabla adjunta, cómo modificarías la instalación. **(1 punto)**

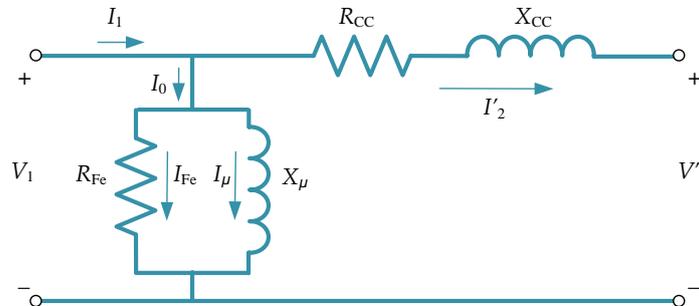
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS SERIE 24kV (SEGÚN NORMAS UNE 20.101 y CEI 76)													
Potencia kVA	50	75	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000
Grupo de conexión	Yyn 0	Yyn 0	Yyn 0	Dyn 11									
P_0 (kW)	0,24	0,33	0,40	0,48	0,58	0,69	0,82	0,98	1,17	1,38	1,64	1,96	2,15
P_{cc} (kW)	1,39	1,87	2,20	2,53	2,97	3,49	4,10	4,86	5,80	6,89	8,22	10,24	13,3

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

- a) Dibujar el circuito equivalente monofásico aproximado del transformador reducido al primario. Indica el grupo de conexión, el índice horario y expresa este último en grados (0,5 pts.)

Se trabajará con el monofásico equivalente, por lo tanto el circuito equivalente aproximado reducido al primario es:



El grupo de conexión es Dyn, es decir, triángulo en el lado de A.T. y estrella en el de B.T., con el neutro accesible.

El índice horario es 11, que expresado en grados es $11 \cdot 30^\circ = 330^\circ$.

- b) Obtener de la corriente de vacío, I_0 , si el ensayo de vacío se realizara desde el primario (0,75 pts.)

Método 1.- Directamente, como porcentaje de la corriente nominal. La corriente nominal de línea del primario es:

$$S_N = \sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot I_{1n} = \sqrt{3} \cdot 24.000V \cdot I_{1n} = 400kVA; I_{1n} \approx 9,62A$$

La corriente de vacío de línea desde el primario es el 2%:

$$I_0 = I_{01L} = \frac{2\% \cdot I_{1n}}{100} = \frac{0,02 \cdot 9,62}{100} A \approx 0,192A$$

Método 2.- A través de las relaciones de transformación, a partir de la corriente del secundario. La relación de transformación dada por el cociente del número de espiras, se hace entre devanados, independientemente de su configuración en Y o en D (Δ). En este caso el primario está en D (Δ) y el secundario en Y.

$$\frac{U_{1\Delta}}{U_{2Y}} = \frac{U_{1L}}{U_{2FN}} = \frac{N_1}{N_2};$$

La relación de transformación en función de las tensiones de línea resulta:

$$\frac{U_{1L}}{U_{2L}} = \frac{N_1}{N_2}$$

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

e igualando número de espiras en función de las corrientes y las tensiones:

$$\frac{I_{2L}}{\frac{I_{1L}}{\sqrt{3}}} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1L}}{\frac{U_{2L}}{\sqrt{3}}}; \quad I_{1L} = I_{2L} \frac{U_{2L}}{U_{1L}}$$

La relación de transformación de corriente de línea coincide con la inversa de la relación de transformación de tensiones de línea.

$$I_{01L} = I_{02L} \frac{U_{2L}}{U_{1L}}$$

La corriente nominal de línea del secundario es:

$$S_N = \sqrt{3} \cdot V_{2n} \cdot I_{2n} = \sqrt{3} \cdot 400V \cdot I_{2n} = 400kVA; \quad I_{2n} = \frac{1000}{\sqrt{3}} A \approx 577,35A$$

La corriente de vacío de línea desde el secundario es:

$$I_0 = I_{02L} = \frac{2\% \cdot I_{2n}}{100} = \frac{20}{\sqrt{3}} A \approx 0,02 \cdot 577,35A = 11,54A$$

La corriente de vacío de línea desde el primario es:

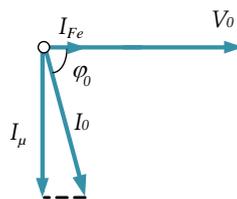
$$I_{01L} = I_{02L} \frac{U_{2L}}{U_{1L}} = \frac{20}{60 \cdot \sqrt{3}} A = \frac{1}{3 \cdot \sqrt{3}} A \approx 11,54A \frac{400V}{24.000V} \approx 0,192A$$

La corriente de vacío de fase desde el primario, por su configuración en D es:

$$I_{01F} = \frac{I_{01L}}{\sqrt{3}} = \frac{1}{3 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{3}} A = \frac{1}{9} A \approx \frac{0,192A}{\sqrt{3}} = 0,1108A$$

c) Obtener el valor de R_{Fe} referida al primario partir de los datos del ensayo de vacío. (1 punto)

Método 1.- El consumo en vacío está relacionado con la pérdidas en el hierro lo que permite obtener la rama paralelo del equivalente monofásico aproximado del transformador.



A partir del ensayo se obtiene:

$$P_0 = 1.170W$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

$$R_{Fe2} = \frac{V_{2nF}}{I_{Fe2}} = \frac{400V}{1,68A} = 137,464\Omega$$

Para pasarlo al primario hay que tener en cuenta la relación de transformación en el devanado de cada fase. El primario está en triángulo, por lo que para sacar su monofásico equivalente, habría que convertirlo a la estrella equivalente, resultando que la relación entre la estrella equivalente del primario y la estrella del secundario es:

$$\frac{U_{1Y}}{U_{2Y}} = \frac{\frac{U_{1L}}{\sqrt{3}}}{\frac{U_{2L}}{\sqrt{3}}} = \frac{U_{1L}}{U_{2L}} = \frac{24.000V}{400V} = r_t = 60$$

Por tanto la R_{Fe} referida al primario resulta:

$$R_{Fe1} = R_{Fe2} \cdot r_t^2 = 137,46\Omega \cdot 60^2 \approx 492.307,7\Omega$$

Método 2.- A partir del ensayo, sabiendo que P_0 es independiente del lado del que se realice el ensayo, se puede obtener referida directamente la primario:

$$P_0 = \sqrt{3} \cdot V_{ln} \cdot I_{01} \cdot \cos \varphi_0; \quad \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_{ln} \cdot I_{01}} = \frac{1.170W}{\sqrt{3} \cdot 24.000V \cdot 0,192A} = 0,146; \quad \varphi_0 = 81,59^\circ$$

La corriente en el monofásico equivalente es igual a la de línea:

$$I_{Fe1} = I_{01} \cdot \cos \varphi_0 = 0,192A \cdot 0,146 = 28,14mA$$

La R_{Fe} se obtiene a partir de la tensión de fase equivalente en el primario:

$$R_{Fe} = \frac{V_{01F}}{I_{Fe}} = \frac{24.000V}{28mA} \approx 492.307,7\Omega$$

También se puede obtener sabiendo que en el primario conectado en D , la corriente que circula es igual a la de línea dividida por $\sqrt{3}$:

$$I_{Fe\Delta} = \frac{I_{01}}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi_0 = \frac{0,192A}{\sqrt{3}} \cdot 0,146 = 16,18mA$$

La R_{Fe} del triángulo se obtiene a partir de la tensión de línea en el primario:

$$R_{Fe\Delta} = \frac{V_{01}}{I_{Fe}} = \frac{24.000V}{16,18mA} \approx 1.476.923,07\Omega$$

y la R_{Fe} de la estrella equivalente, que es la del circuito monofásico equivalente, resulta:

$$R_{FeY} = \frac{R_{Fe\Delta}}{3} = \frac{1.483.312,73\Omega}{3} \approx 492.307,7\Omega$$

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

A partir de las potencias desde el primario

$$P_0 = 3 \cdot \frac{V_F^2}{R_{Fe1}} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{V_L}{\sqrt{3}}\right)^2}{R_{Fe1}} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{24.000}{\sqrt{3}}\right)^2}{R_{Fe1}} = 1.170W ;$$

$$R_{Fe1} = \frac{V_L^2}{P_0} = \frac{24.000^2 V^2}{1.170W} \approx 492.307,7\Omega$$

d) Obtener el valor de X_μ referida al primario a partir de los datos del ensayo de vacío. (0,5 puntos)

Método 1.- Al igual que en el caso anterior, el consumo en vacío está relacionado con la pérdidas en el hierro lo que permite obtener la rama paralelo del monofásico equivalente aproximado del transformador.

La corriente en el monofásico equivalente es igual a la de línea:

$$I_{\mu 2} = I_{02} \cdot \text{sen} \varphi_0 = 11,54A \cdot \text{sen}(81,59^\circ) = 11,41A$$

La X_μ se obtiene a partir de la tensión de fase equivalente en el secundario:

$$X_{\mu 2} = \frac{V_{2nF}}{I_{\mu 2}} = \frac{\frac{400V}{\sqrt{3}}}{11,41A} \approx 20,24\Omega$$

Al igual que en el apartado anterior, para pasarlo al primario hay que tener en cuenta la relación de transformación en el devanado de cada fase. El primario está en triángulo, por lo que para sacar su monofásico equivalente, habría que convertirlo a la estrella equivalente, resultando que la relación entre la estrella equivalente del primario y la estrella del secundario es:

$$\frac{U_{1Y}}{U_{2Y}} = \frac{\frac{U_{1L}}{\sqrt{3}}}{\frac{U_{2L}}{\sqrt{3}}} = \frac{U_{1L}}{U_{2L}} = \frac{24.000V}{400V} = r_t = 60$$

Por tanto la X_μ referida al primario resulta:

$$X_{\mu 1} = X_{\mu 2} \cdot r_t^2 = 20,24\Omega \cdot 60^2 \approx 72.864,53\Omega$$

Método 2.- Al igual que en el caso anterior, sabiendo que P_0 es independiente del lado del que se realice el ensayo, se puede obtener referida directamente la primario:

$$I_{\mu 1} = I_{01} \cdot \text{sen} \varphi_0 = 0,192A \cdot \text{sen}(81,59^\circ) = 0,190A$$

La X_μ se obtiene a partir de la tensión de fase equivalente en el primario:

$$X_{\mu 1} = \frac{V_{01F}}{I_{\mu 1}} = \frac{\frac{24.000V}{\sqrt{3}}}{0,190A} \approx 72.864,53\Omega$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$X_{\mu\Delta} = \frac{V_{01}}{I_{\mu\Delta}} = \frac{24.000V}{109,65mA} = 218.859,79\Omega$$

y la X_{μ} de la estrella equivalente, que es la del circuito monofásico equivalente, resulta:

$$X_{\mu Y} = \frac{X_{\mu\Delta}}{3} = \frac{218.859,79\Omega}{3} \approx 72.864,53\Omega$$

Método 3.- A partir de las potencias desde el secundario:

$$Q_{\mu} = P_0 \cdot \tan \varphi_0 = 1.170W \cdot \tan(81,59^\circ) = 1.170W \cdot 6,76 = 7.913,66VAr$$

$$Q_{\mu} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{V_L}{\sqrt{3}}\right)^2}{X_{\mu 2}} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{400}{\sqrt{3}}\right)^2}{X_{\mu 2}} = 7.913,66VAr ;$$

$$X_{\mu 2} = \frac{V_L^2}{Q_{\mu}} = \frac{400^2 V^2}{7.913,66VAr} \approx 20,24\Omega$$

A partir de las potencias desde el primario:

$$Q_{\mu} = P_0 \cdot \tan \varphi_0 = 1.170W \cdot \tan(81,59^\circ) = 1.170W \cdot 6,76 = 7.913,66VAr$$

$$Q_{\mu} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{V_L}{\sqrt{3}}\right)^2}{X_{\mu 1}} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{24.000}{\sqrt{3}}\right)^2}{X_{\mu 1}} = 7.913,66VAr ;$$

$$X_{\mu 1} = \frac{V_L^2}{Q_{\mu}} = \frac{24.000V^2}{7.913,66VAr} \approx 72.864,53\Omega$$

e) *Obtener las pérdidas en el hierro P_{Fe} . (0,25 puntos)*

El consumo en vacío está relacionado con la pérdidas en el hierro y se puede asumir que las pérdidas de vacío son las pérdidas en el hierro.

$$P_{Fe} = P_0 = 1.170W$$

f) *Obtener el valor de R_{cc} referida al primario a partir de los datos del ensayo de cortocircuito. (1 punto)*

Las pérdidas del ensayo de cortocircuito están relacionadas con la pérdidas en los devanados (cobre) lo que permite obtener la rama serie del monofásico equivalente aproximado del transformador.

La potencia de vacío P_{cc} es la misma, ya sea reducida la primario o al secundario:

$$P_{cc} = P_{1cc} = P_{2cc} = 5.800W$$

La corriente nominal del primario es:

$$I_1 = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} V_L} = \frac{5.800W}{\sqrt{3} \cdot 24.000V} = 100kVA \cdot I_1 = 0,62A$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

$$P_{cc} = \sqrt{3} \cdot V_{1cc} \cdot I_{1n} \cdot \cos \varphi_{cc} \quad \cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} \cdot V_{1cc} \cdot I_{1n}} = \frac{5.800W}{\sqrt{3} \cdot 960V \cdot 9,62A} = 0,362 \quad \varphi_{cc} = 68,74^\circ$$

Método 1.- A partir de las tensiones del monofásico equivalente y con los datos de tensión de cortocircuito del enunciado:

$$V_{Rcc} = \frac{V_{1cc}}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi_{cc} = \frac{960V}{\sqrt{3}} \cdot 0,362 = 200,64V$$

$$R_{cc} = \frac{V_{Rcc}}{I_{1n}} = \frac{200,64V}{9,62A} = 20,85\Omega$$

Método 2.- A partir de la impedancia de cortocircuito y con la corriente de ensayo de cortocircuito:

$$Z_{cc} = \frac{V_{1ccF}}{I_{1cc}} = \frac{960V}{9,62A} = 57,61\Omega$$

$$R_{cc} = Z_{cc} \cdot \cos \varphi_{cc} = 57,61 \cdot 0,362 = 20,85\Omega$$

Método 3.- A partir de la potencia de cortocircuito:

$$P_{cc} = 3 \cdot I_{cc}^2 R_{cc}; \quad R_{cc} = \frac{P_{cc}}{3 \cdot I_{cc}^2} = \frac{5.800W}{3 \cdot 9,62^2 A^2} = 20,85\Omega$$

g) Obtener el valor de X_{cc} referida al primario a partir de los datos del ensayo de cortocircuito. (0,5 puntos)

Método 1.- A partir de las tensiones del monofásico equivalente y con los datos de tensión de cortocircuito del enunciado:

$$\varphi_{cc} = 68,74^\circ; \quad \text{sen} \varphi_{cc} = 0,931$$

$$V_{Xcc} = \frac{V_{1cc}}{\sqrt{3}} \cdot \text{sen} \varphi_{cc} = \frac{960V}{\sqrt{3}} \cdot 0,931 = 516,53V$$

$$X_{cc} = \frac{V_{Xcc}}{I_{1cc}} = \frac{516,53V}{9,62A} = 53,69\Omega$$

Método 2.- A partir de la impedancia de cortocircuito calculada anteriormente:

$$X_{cc} = Z_{cc} \cdot \text{sen} \varphi_{cc} = 57,61\Omega \cdot 0,931 \approx 53,69\Omega$$

que equivale a:

$$R_{cc} = Z_{cc} \cdot \cos \varphi_{cc}; \quad Z_{cc} = \frac{R_{cc}}{\cos \varphi_{cc}}$$

$$X_{cc} = R_{cc} \cdot \frac{\text{sen} \varphi_{cc}}{\cos \varphi_{cc}} = R_{cc} \cdot \text{tag} \varphi_{cc} = 20,85\Omega \cdot 2,57 \approx 53,69\Omega$$

Método 3.- A partir de la potencia de cortocircuito:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

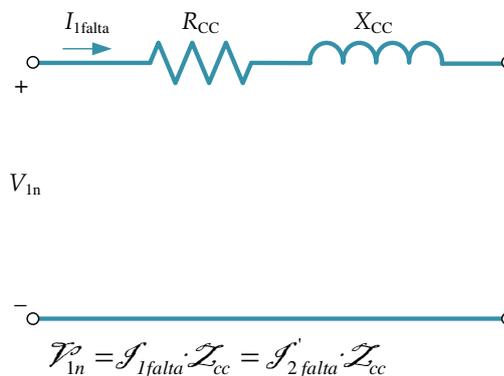
Método 1.- La relación entre corriente nominal y corriente de falta de cortocircuito depende de ε_{cc} :

$$I_{2falta} = \frac{I_{2n} \cdot 100}{\varepsilon_{cc}} = \frac{577,35A}{4\%} \cdot 100 = 14.433,75A$$

Que vista desde el primario resulta:

$$I_{1falta} = \frac{I_{1n} \cdot 100}{\varepsilon_{cc}} = \frac{9,62A}{4\%} \cdot 100 = 240,5A$$

Método 2.- El circuito resultante es el equivalente monofásico aproximado del transformador, cortocircuitando su salida y simplificando despreciando la rama paralelo, dado el alto valor de su impedancia respecto de la rama serie. Aplicando Kirchoff a la malla resultante, queda:



$$I_{2falta}' = \frac{V_{1n}'}{Z_{cc}} = \frac{\frac{24.000V}{\sqrt{3}}}{(20,85 + j53,69\Omega)}; \quad I_{2falta}' = \frac{13.856V}{57,59 \angle 68,77^\circ \Omega} = 240,5 \angle -68,77^\circ A$$

Es una corriente fase neutro, y como el secundario está en estrella, la corriente de línea y fase coinciden. Por tanto, la corriente real por el secundario será esta misma afectada por la relación de transformación:

$$I_{2falta} = I_{2falta}' \cdot r_t = 240,5 \angle -68,77^\circ A \cdot 60 = 14.443,75 \angle -68,77^\circ A$$

i) **Calcula el índice de carga óptimo. (0,75 ptos.)**

Aplicando directamente la expresión, se obtiene:

$$C_{\eta_{max}} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{cc}}} = \sqrt{\frac{1.170W}{5.800W}} \approx 0,45$$

j) **Calcula la potencia de máximo rendimiento. (0,75 ptos.)**

Aunque el enunciado no lo pide, el η_{max} se obtiene aplicando directamente la expresión siguiente para el índice de carga óptimo y el η_{max} :

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

k) Sobre el circuito monofásico equivalente, caída de tensión en el transformador cuando suministra potencia de máximo rendimiento con factor de potencia unidad. ¿cuál es el valor de la regulación ε ? (1 punto)

Directamente sabemos que la regulación se puede poner de manera aproximada como:

$$\varepsilon_C = C \cdot \varepsilon_{Rcc} \cdot \cos(\varphi_C) + C \cdot \varepsilon_{Xcc} \cdot \text{sen}(\varphi_C)$$

siendo:

$$\varepsilon_{Rcc} = \frac{R_{cc} \cdot I_{1n}}{V_{1n}} \cdot 100 = \frac{V_{Rcc}}{V_{1n}} \cdot 100 = \frac{200,64V}{\frac{24.000}{\sqrt{3}}V} \cdot 100 = 1,44\%;$$

$$\varepsilon_{Xcc} = \frac{X_{cc} \cdot I_{1n}}{V_{1n}} \cdot 100 = \frac{V_{Xcc}}{V_{1n}} \cdot 100 = \frac{516,53V}{\frac{24.000}{\sqrt{3}}V} \cdot 100 = 3,72\%;$$

En este caso el índice de carga es el máximo rendimiento $C_{max}=0,45$ y como el f.d.p=1, $\varphi_c=0^\circ$, resultando la regulación:

$$\varepsilon_C = 0,45 \cdot 1,44\% \cdot 1 + 0,45 \cdot 3,72\% \cdot 0 = 0,64\%$$

Y como por otro lado:

$$\varepsilon_c = \frac{V_{1n} - V'_2}{V_{1n}} \cdot 100\%$$

La caída de tensión resulta:

$$\varepsilon_c = \frac{V_{1n} - V'_2}{V_{1n}} \cdot 100\% = \frac{\Delta V}{V_{1n}} \cdot 100\%$$

$$\Delta V = \frac{\varepsilon_c \cdot V_{1n}}{100\%} = \frac{0,64\% \cdot 24.000V}{100\% \cdot \sqrt{3}} = 89,61V$$

También podría obtenerse la tensión de fase en el secundario en estas condiciones:

$$\varepsilon_c = \frac{V_{1n} - V'_2}{V_{1n}} \cdot 100\% = \frac{\frac{24.000V}{\sqrt{3}} - V'_2}{\frac{24.000V}{\sqrt{3}}} \cdot 100\% = 0,64\%$$

$$V'_2 = 13.766V; \quad V_{2F} = \frac{V'_2}{r_t} = \frac{13.766V}{60} = 229,44V$$

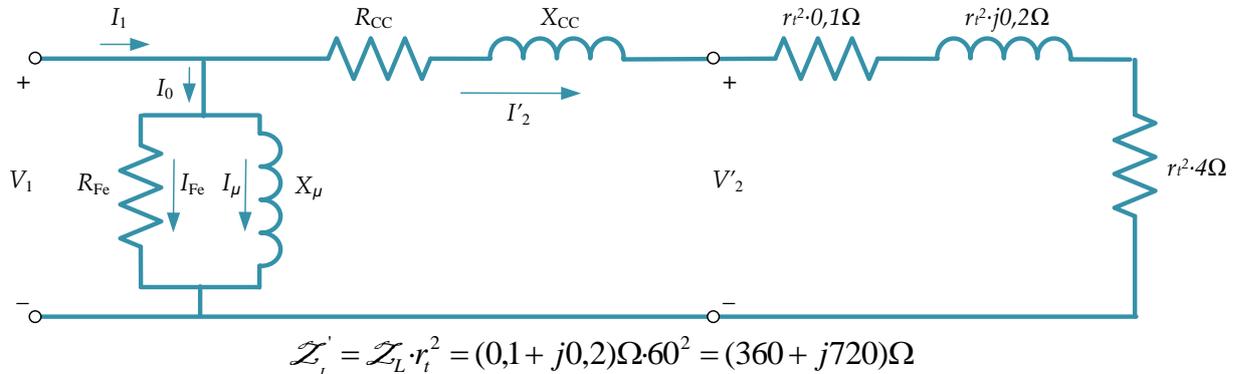
Y la de línea:

$$V_{2L} = V_{2F} \cdot \sqrt{3} = 229,44V \cdot \sqrt{3} = 397,41V$$

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

El circuito resultante es el equivalente aproximado del transformador, con la impedancia de la línea y una carga R . Se puede simplificar despreciando la rama paralelo, dado el alto valor de su impedancia respecto de la rama serie. Lo primero es reducir las cargas del secundario a su equivalente en el primario.



$$Z'_L = Z_L \cdot r_i^2 = (0,1 + j0,2)\Omega \cdot 60^2 = (360 + j720)\Omega$$

$$Z'_R = Z_R \cdot r_i^2 = 4\Omega \cdot 60^2 = 14.400\Omega$$

Aplicando Kirchoff a la malla resultante, queda:

$$\mathcal{V}_1 = \mathcal{I}'_2 \cdot (Z_{cc} + Z'_L + Z'_C)$$

$$\mathcal{I}'_2 = \frac{\mathcal{V}_1}{Z_{cc} + Z'_L + Z'_C} = \frac{\frac{24.000V}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{(20,85 + j53,69\Omega) + (360 + j720\Omega) + 14.400\Omega} = \frac{\frac{24.000V}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{(14.780,85 + j773,69)\Omega}$$

$$\mathcal{I}'_2 = \frac{\frac{24.000V}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{14.801,08 \angle 3^\circ \Omega} = 0,93 \angle -3^\circ A$$

Y por tanto se obtiene la caída de tensión en el transformador:

$$\mathcal{I}'_2 \cdot Z_{cc} = (0,93A \angle -3^\circ) \cdot (20,85 + j53,69)\Omega = (0,93 \angle -3^\circ)A \cdot (57,61 \angle 69,02^\circ)\Omega$$

$$\mathcal{V}_1 - \mathcal{V}'_2 = \mathcal{I}'_2 \cdot Z_{cc} = 53,93 \angle 66,02^\circ V$$

Aunque el enunciado del problema no lo pide, la caída de tensión en la carga es:

$$\mathcal{V}'_C = \mathcal{I}'_2 \cdot Z'_C = 0,93 \angle -3^\circ A \cdot 14.400\Omega = 13.392 \angle -3^\circ V$$

y por tanto la caída de tensión real de fase en la carga se obtiene a partir de la relación de transformación r :

$$r_i = \frac{V_1}{V_2} = \frac{24.000V}{400} = 60$$

$$V_C = \frac{V'_C}{r_i} = \frac{13.392V}{60} = 223,2V$$

$$\mathcal{V}_C = V_C \angle -3^\circ = 223,2 \angle -3^\circ V$$

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**