

# ANÁLISIS Y FUNCIONAMIENTO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

3º de Grado  
en Ingeniería en  
Tecnología Industrial

Curso 2016-17  
**Convocatoria ORDINARIA**

Primer Parcial

19 de mayo de 2017

## EJERCICIOS

**XI.-** Un transformador monofásico de 13,2 kV/240 V, 60 Hz y 50 kVA es ensayado en cortocircuito con los siguientes resultados

### Ensayo de cortocircuito

Tensión: 264 V (60 Hz)  
Intensidad: 50 % de la nominal  
Consumo: 165 W

El transformador se conecta por AT a 13,2 kV (60 Hz). Cuando trabaja a plena carga se producen unas pérdidas internas de 970,4 W. Calcular:

**101.-** Pérdidas en el hierro correspondientes a un ensayo de vacío realizado con alimentación por BT a 240 V (60 Hz).

Del ensayo de cortocircuito:

$$P_J = i^2 \cdot [P_J]_{I_N} \Rightarrow [P_J]_{I_N} = \frac{P_J}{i^2} = \frac{165}{0,5^2} = 660 \text{ W}$$

Del funcionamiento a plena carga:

$$P_{\text{Perd}} = [P_J]_{I_N} + [P_{\text{Fe}}]_{V1=13200\_60\text{Hz}}$$

$$[P_{\text{Fe}}]_{V1=13200\_60\text{Hz}} = P_{\text{Perd}} - [P_J]_{I_N} = 970,4 - 660 = 310,4 \text{ W}$$

Las pérdidas en el hierro con alimentación por BT a 240 V (60 Hz) son iguales las pérdidas en el hierro con alimentación por AT a 13,2 kV (60 Hz).

$$[P_{\text{Fe}}]_{V2=240\_60\text{Hz}} = 310,4 \text{ W}$$

Ahora el transformador pasa a funcionar conectado por AT a una red de 50 Hz. Calcular:

**102.-** Valor que debe tener la tensión aplicada por AT para que la tensión en una carga que consume 30 kW con factor de potencia 0,8 (inductivo) sea de 240 V (50 Hz).

Del ensayo de cortocircuito a 60 Hz se calculan los parámetros referidos a AT:

$$Z_e = \frac{V_{\text{ICC}}}{I_{\text{ICC}}} = \frac{264}{0,5 \cdot 3,7879} = 139,392 \ \Omega \quad \left( \text{ya que } I_{\text{IN}} = \frac{S_N}{V_{\text{IN}}} = \frac{50 \cdot 10^3}{13,2 \cdot 10^3} = 3,7879 \right)$$

$$R_e = \frac{W_{cc}}{I_{1cc}^2} = \frac{165}{(0,53,7879)^2} = 46 \Omega$$

$$X_e = \sqrt{Z_e^2 - R_e^2} = 131,583 \Omega$$

La impedancia equivalente referida a AT y 50 Hz es:

$$\underline{Z}_{e\_50Hz} = R_e + jX_e \cdot \frac{50}{60} = 46 + j131,583 \cdot \frac{50}{60} = 118,91 \angle 67,24^\circ$$

La tensión en la carga referida al primario (AT) es:

$$\underline{V}'_2 = a \cdot \underline{V}_2 = \frac{13200}{240} \cdot 240 \angle 0^\circ = 13200 \angle 0^\circ$$

La intensidad (referida al primario) consumida por la carga es:

$$\underline{I}'_2 = \frac{P_2}{\underline{V}'_2 \cdot \cos \varphi} = \frac{30 \cdot 10^3}{13,2 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 2,841 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad \underline{I}'_2 = 2,841 \angle -36,87^\circ$$

Por tanto:

$$\underline{V}_1 = \underline{V}'_2 + \underline{I}'_2 \cdot \underline{Z}_{e\_50Hz} = 13492,5 \angle 0,725^\circ \quad \Rightarrow \quad \underline{V}_1 = 13,492 \text{ kV}$$

**XII.-** Las placas de características de dos transformadores trifásicos contienen los datos mostrados en la Tabla XII.a.

Transformador TA		Transformador TB
10 kV / 400 V	Tensiones nominales	6 kV / 240 V
50 Hz	Frecuencia nominal	50 Hz
500 kVA	Potencia nominal	500 kVA
4,8 %	Tensión de cortocircuito	4 %

Tabla XII.a

El esquema de las conexiones en primario y secundario de ambos transformadores es el mostrado en la Figura XII.1

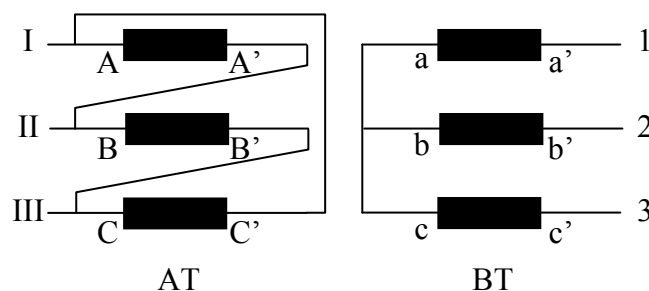


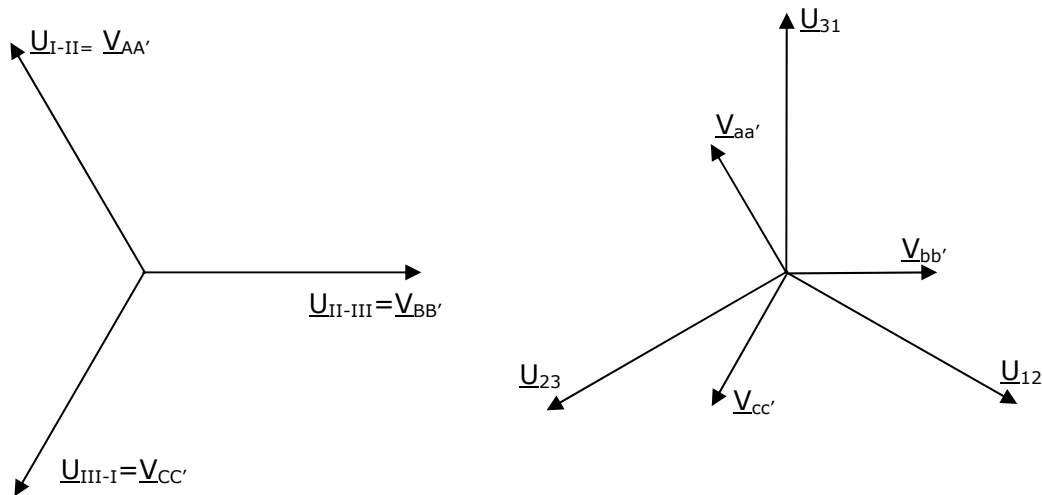
Figura XII.1

A efectos de cálculo se puede considerar que en ambos transformadores la parte resistiva de su impedancia equivalente es despreciable.

Los dos transformadores trabajan en paralelo alimentados desde una red trifásica de 6 kV (50 Hz).

Calcular:

**103.-** Desfase, medido en sentido horario, entre la tensión [ $U_{\text{fase I-fase II}}$ ] del primario y la tensión [ $U_{\text{fase 1-fase 2}}$ ] del secundario.



En la figura se observa que el desfase es:

150°

**104.-** Tensión en la red secundaria cuando entre los dos alimentan una carga que consume 510 kW con factor de potencia 0,85 (inductivo).

La tensión de cortocircuito y potencia nominal referidas a la tensión de funcionamiento (6 kV, 50 Hz) son:

$$u_{ZA} = u_{ZA\_ref\_10\_kV} \cdot \frac{10}{6} = 4,8 \cdot \frac{10}{6} = 8 \%$$

$$S_{NA} = S_{NA\_ref\_10\_kV} \cdot \frac{6}{10} = 500 \cdot \frac{6}{10} = 300 \text{ kVA}$$

$$u_{ZB} = 4 \%$$

$$S_{NB} = 500 \text{ kVA}$$

El reparto de potencia entre TA y TB es:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{510}{0,85} = 600 \text{ kVA}$$

$$\left. \begin{array}{l} S_A + S_B = S \\ i_A \cdot u_{ZA} = i_B \cdot u_{ZB} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} S_A + S_B = S \\ \frac{S_A}{S_{NA}} \cdot u_{ZA} = \frac{S_B}{S_{NB}} \cdot u_{ZB} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} S_A + S_B = 600 \\ \frac{S_A}{300} \cdot 8 = \frac{S_B}{500} \cdot 4 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} S_A = 138,462 \text{ kVA} \\ S_B = 461,538 \text{ kVA} \end{array} \right.$$

Como la tensión en la carga es única, se puede calcular a través del TA o a través del TB. Si se calcula a través del TA utilizando la expresión de Arnold:

$$u_A = i_A \cdot (u_{RA} \cdot \cos \varphi + u_{XA} \cdot \sin \varphi) + \frac{i_A^2}{200} (u_{XA} \cdot \cos \varphi - u_{RA} \cdot \sin \varphi)^2$$

En este caso:

$$i_A = \frac{S_A}{S_{NA}} = \frac{138,462}{300} = 0,46154$$

$$u_{RA} = 0$$

$$u_{XA} = u_{ZA} = 8 \%$$

$$\cos \varphi = 0,85 \text{ (ind)} \quad \Rightarrow \quad \sin \varphi = +0,5268$$

Con todo ello:

$$u_A = i_A \cdot (u_{XA} \cdot \sin \varphi) + \frac{i_A^2}{200} (u_{XA} \cdot \cos \varphi)^2 = 1,994 \%$$

Por tanto:

$$u_A = \frac{V_1 - V_2'}{V_1} 100 = \frac{U_1 - U_2'}{U_1} 100 \quad \Rightarrow \quad U_2' = U_1 \cdot \left(1 - \frac{u_A}{100}\right) = 6000 \cdot \left(1 - \frac{1,994}{100}\right) = 5880,36 \text{ V}$$

Por tanto, la red en la tensión secundaria es:

$$U_2 = \frac{240}{6000} \cdot U_2' = \frac{240}{6000} \cdot 5880,36 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad \boxed{U_2 = 235,2 \text{ V}}$$

**105.-** Máxima potencia que pueden transmitir entre los dos transformadores sin llegar a sobrecargar ninguno de ellos.

El transformador de menor tensión de cortocircuito es el TB. Por tanto, cuando TB funcione a plena carga se alcanza la máxima carga que pueden transmitir entre TA y TB.

$$i_B = 1 \quad \Rightarrow \quad S_B = S_{NB} = 500 \text{ kVA}$$

$$i_A \cdot u_{ZA} = i_B \cdot u_{ZB} \quad \Rightarrow \quad i_A = \frac{i_B \cdot u_{ZB}}{u_{ZA}} = \frac{1 \cdot 4}{8} = 0,5 \quad \Rightarrow \quad S_A = i_A \cdot S_{NA} = 0,5 \cdot 300 = 150 \text{ kVA}$$

En consecuencia:

$$S_{\text{CARGA MAXIMA}} = S_A + S_{NB} = 150 + 500 \quad \Rightarrow \quad \boxed{S_{\text{CARGA MAXIMA}} = 650 \text{ kVA}}$$

A este mismo resultado se llega también utilizando las expresiones correspondientes a un transformador equivalente (TG,  $u_{ZG}$ ,  $S_{NG}$ ) al conjunto formado por TA y TB.