

# SISTEMAS ELÉCTRICOS

## PROBLEMAS DE TRANSFORMADORES

### TR\_1

Del circuito equivalente de un transformador se conocen todos los parámetros que lo forman. Determinéense todas las magnitudes eléctricas que aparecen en el circuito equivalente exacto y compárense con las que se calculan en el circuito equivalente aproximado.

DATOS:

$$N_1=4000 \quad N_2=200 \quad R_1=0,72\Omega \quad X_1=0,92\Omega \quad R_2=0,0018\Omega \quad X_2=0,0023\Omega \\ g_{c1}=0,324 \cdot 10^{-5} \text{ S} \quad b_{m1}=0,224 \cdot 10^{-4} \text{ S} \quad V_2=380\text{V} \quad I_2=15\text{A} \quad \phi_2=30^\circ \text{ (inductiva)}$$

---

### SOLUCIÓN

Circuito exacto:

$$\bar{E}_1 = 7600,8|_{0,0025^\circ} \text{ V} \quad \bar{E}_2 = 380,04|_{0,0025^\circ} \text{ V} \quad \bar{V}_1 = 7601,78|_{-0,0042^\circ} \text{ V} \\ \bar{I}_1 = 0,867|_{-38,95^\circ} \text{ A} \quad \bar{I}_\phi = 0,172|_{-81,767^\circ} \text{ A}$$

Circuito aproximado:

$$\bar{V}_{AB} = 380,081|_{0,0049^\circ} \text{ V} \quad \bar{V}_1 = 7601,62|_{0,0049^\circ} \text{ V} \quad \bar{I}_1 = 0,867|_{-38,97^\circ} \text{ A} \quad \bar{I}_\phi = 0,172|_{-81,76^\circ} \text{ A}$$

---

### TR\_2

De un transformador monofásico se conocen los siguientes datos:

$$2.4/0.48 \text{ kV} \quad 24 \text{ kVA} \quad n=5$$

$$R_1 = 1\Omega \quad R_2 = 0,04\Omega \quad g_{c2} = 0,0007 \text{ S}$$

$$X_1 = 3\Omega \quad X_2 = 0,14\Omega \quad b_{m2} = 0,0028 \text{ S}$$

1° Calcular  $V_{20}$ ,  $I_{10}$ ,  $P_0$ ,  $I_{1c}$ ,  $V_{1c}$ ,  $P_c$  en ambos ensayos con el circuito exacto.

2° Con los datos obtenidos en el apartado anterior y con el circuito aproximado, encuéntrese el valor de los parámetros dados como datos, y véase cuáles son los errores que se producen.

3° Si se conecta una carga de **20 kVA**,  $\cos\phi=0,8$  y  $V=480\text{V}$ , calcúlense las magnitudes eléctricas con ambos circuitos y los errores cometidos al emplear el circuito aproximado.

---

### SOLUCIÓN

1ª Pregunta

$$\bar{I}_{10} = 0,27697|_{-75,962^\circ} \text{ A} \quad \bar{V}_{20} = 479,8236|_{0,001^\circ} \text{ V} \quad P_0 = 161,24\text{W} \\ \bar{I}_{1c} = 10,0042|_{-7,94 \cdot 10^{-4}} \text{ A} \quad \bar{V}_{1c} = 68,0205|_{72,8928^\circ} \text{ V} \quad P_c = 200,164 \text{ W}$$

2ª Pregunta

$$n = 4,9998$$

$$R = 0,080065 \Omega$$

$$X = 0,26 \Omega$$

$$g_c = 7,003 \cdot 10^{-4} \text{ S}$$

$$b_m = 2,7998 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

### 3ª Pregunta

Circuito exacto:

$$\bar{E}_1 = 2377,729_{|-0,346^\circ} \text{ V}$$

$$\bar{E}_2 = 475,5372_{|-0,346^\circ} \text{ V}$$

$$\bar{V}_2 = 470,7921_{|-0,7775^\circ} \text{ V}$$

$$\bar{I}_1 = 8,3896_{|-38,82^\circ} \text{ A}$$

$$\bar{I}_2 = 40,86764_{|-37,6473^\circ} \text{ A}$$

$$\bar{I}_\varphi = 1,3725_{|-76,3094^\circ} \text{ A}$$

$$P = 15,392 \text{ kW}$$

$$Q = 11,544 \text{ kVAr}$$

Circuito aproximado:

$$\bar{I}_1 = 8,3956_{|-38,823^\circ} \text{ A}$$

$$\bar{I}_2 = 40,882_{|-37,6507^\circ} \text{ A}$$

$$\bar{I}_\varphi = 1,38536_{|-75,963^\circ} \text{ A}$$

$$\bar{V}_2 = 470,9614_{|-0,781^\circ} \text{ V}$$

$$P = 15,403 \text{ kW}$$

$$Q = 11,552 \text{ kVAr}$$

Errores:

$$e_{I_1} = 0,07 \%$$

$$e_{I_2} = 0,035 \%$$

$$e_{I_\varphi} = 0,95 \%$$

$$e_{V_2} = 0,036 \%$$

---

### TR\_3

Un transformador monofásico con  $S_N=3000\text{kVA}$  y  $240/12 \text{ kV}$  ( $V_{20}=12.333\text{V}$ ) proporciona los siguientes resultados para diversos ensayos:

$$r(\alpha=1, \cos\varphi=0,8) = 6,5\%$$

$$r(\alpha=0,9, \cos\varphi=1) = 2,25\% -$$

$$\eta_{\max} \text{ se produce para } \alpha = 0,8$$

$$I_m = 3I_c$$

Calcular:

1°  $\epsilon_r, \epsilon_x$  y  $n$

2°  $R_1, R_2, X_1, X_2$

3°  $P_{CuN}, P_{hN}$

4°  $g_{c2}, b_{m2}$

5° Tensión y corriente en una carga de  $2885 \text{ kVA}$  con  $\cos\varphi=0,8$ .

---

### SOLUCIÓN

#### 1ª Pregunta

$$\epsilon_r = 0,025$$

$$\epsilon_x = 0,075$$

$$n=19,46$$

#### 2ª Pregunta

$$R_1 = 227,215\Omega$$

$$R_2 = 0,6\Omega$$

$$X_1 = 681,645\Omega$$

$$X_2 = 1,8\Omega$$

#### 3ª Pregunta

$$P_{CuN} = 75.000 \text{ W}$$

$$P_{hN} = 48.000 \text{ W}$$

#### 4ª Pregunta

$$g_c = 3,155 \cdot 10^{-4} \text{ S}$$

$$b_m = 9,467 \cdot 10^{-4} \text{ S}$$

### 5ª Pregunta

$$V_2 = 11.553,9 \text{ V}$$

$$I_2 = 249,7 \text{ A}$$

---

### TR\_4

Los datos siguientes corresponden a un transformador con una relación de tensiones de **60/30 kV**:

- $S_N = 1000 \text{ kVA}$
- El  $\eta_{\max}$  con factor de carga **0,75** y factor de potencia **0,8** es del **99,14%**
- El factor de regulación a plena carga y con factor de potencia **0,8** es del **1,2%**
- La susceptancia magnetizante es 4 veces mayor que la conductancia de pérdidas
- $V_{20} = 30138,8 \text{ V}$

Se quiere conectar en paralelo con otro transformador de idéntica relación de tensiones y cuyas características son:

- $S_N = 600 \text{ kVA}$
- Realizando un ensayo de cortocircuito a la tensión reducida de **1220V** se mide una corriente de primario de **10,05A** mientras se consume una potencia de **4545 W**.
- La corriente magnetizante es 4 veces mayor que la corriente de pérdidas.
- La corriente de vacío  $I_\phi$  referida al secundario es el **0,5%** de la corriente nominal.

Se pide:

- 1º Calcule los parámetros de cada transformador referidos al secundario
- 2º Entre ambos transformadores se quiere alimentar una carga inductiva de factor de potencia **0,85** y **1600 kVA** a tensión nominal y desde una red de **60kV**. ¿Cuál es la distribución de potencias?
- 3º ¿Cuál sería la carga máxima que podrían alimentar en paralelo sin que ninguno de los transformadores se sobrecargara?

---

### SOLUCIÓN

#### 1ª Pregunta

##### Parámetros del 1º transformador

$$R = 4,164 \Omega$$

$$X = 12,448 \Omega$$

$$g_c = 2,865 \cdot 10^{-6} \text{ S}$$

$$b_m = 1,146 \cdot 10^{-5} \text{ S}$$

##### Parámetros del 2º transformador

$$R = 11,3625 \Omega$$

$$X = 28,4687 \Omega$$

$$g_c = 8,044 \cdot 10^{-7} \text{ S}$$

$$b_m = 3,2176 \cdot 10^{-6} \text{ S}$$

#### 2ª Pregunta

$$S_1 = 1119,34 \text{ kVA}$$

$$S_2 = 480,658 \text{ kVA}$$

#### 3ª Pregunta

$$S_L = 1428,78 \text{ kVA}$$

---

### TR\_5

Dos transformadores en paralelo suministran potencia a una carga de **100 kW** con  $\cos\phi = 0,8$  cuando la tensión es de **380 V**.

Los datos de los dos transformadores son los siguientes:

<b>TR1</b>	<b>60kVA</b>	<b>R=0,05Ω</b>	<b>X=0,15Ω</b>	<b>12/0,4 kV</b>
<b>TR2</b>	<b>75kVA</b>	<b>R=0,06Ω</b>	<b>X=0,20Ω</b>	<b>12/0,4 kV</b>

Se pide:

- 1° Calcular la distribución de potencias de los transformadores mediante el procedimiento simplificado.
- 2° Calcular esa misma distribución mediante un planteamiento más exacto y comparar los resultados obtenidos con los del primer apartado.

---

### SOLUCIÓN

#### 1ª Pregunta

$$S_1 = 71,186 \text{ kVA}$$

$$S_2 = 53,814 \text{ kVA}$$

#### 2ª Pregunta

$$S_1 = 71,180 \text{ kVA}$$

$$S_2 = 53,9 \text{ kVA}$$

---

### TR\_6

Un transformador **monofásico** de **12 kVA** y **2/0,2 kV** ha proporcionado los siguientes resultados al realizarse los ensayos de circuito abierto y cortocircuito a **20°C** y **50 Hz**:

- **Circuito Abierto:**  $V_{10}=2 \text{ kV}$ ;  $V_{20}=209 \text{ V}$ ;  $I_{10}=0,7 \text{ A}$ ;  $P_0=448 \text{ W}$
- **Cortocircuito:**  $I_{2c}=60 \text{ A}$ ;  $I_{1c}=5,8 \text{ A}$ ;  $V_{1c}=146 \text{ V}$ ;  $P_c=459 \text{ W}$

La frecuencia de funcionamiento nominal es  $f_N=50 \text{ Hz}$ . La temperatura ambiente nominal es  $\theta_{aN}=20^\circ\text{C}$  y la temperatura máxima de funcionamiento es  $\theta_{fN}=100^\circ\text{C}$ .

Responda a las siguientes preguntas:

- 1ª Valor de la relación del número de espiras **n**.
- 2ª Valores de **R**, **X**,  $\epsilon_r$ ,  $\epsilon_x$ ,  $\epsilon$ ,  $P_{CuN}$  y  $P_{hN}$  a 50 Hz y temperatura máxima de funcionamiento.
- 3ª Calcule la constante de refrigeración del transformador.
- 4ª Calcule los nuevos valores nominales (corriente y potencia) si la temperatura ambiente de trabajo va a ser de **40°C** y la frecuencia de utilización de **60 Hz**, sabiendo que las pérdidas nominales en el hierro a **40 Hz** son **332.8 W**.
- 5ª A **60 Hz** y con temperatura ambiente de **40°C**, es decir, las condiciones anteriores, calcular la temperatura de los bobinados y la tensión en una carga de

**factor de potencia 0.8 e índice de carga 3/4.** Rendimiento del transformador en dicho supuesto.

NOTA: La relación  $V/f$  se mantiene cte cuando se dan cambios en la frecuencia.

Se considera  $R \neq R(f)$  y  $R_F = 0$ .

**SOLUCIÓN**

**1ª Pregunta**

$$n = 9,95$$

**2ª Pregunta**

$R = 0,1676\Omega$	$\epsilon_r = 0,0502$	$P_{CuN} = 603,36W$	$\epsilon = 0,0802$
$X = 0,2086\Omega$	$\epsilon_x = 0,0626$	$P_{hN} = 447,9W$	

**3ª Pregunta**

$$K = 13,14 \text{ W}^\circ\text{C}$$

**4ª Pregunta**

$$I_{2N} = 35,67 \text{ A}$$

$$S_{2N} = 8,56 \text{ kVA}$$

**5ª Pregunta**

$$\theta_f = 92,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$V_2 = 245,26V$$

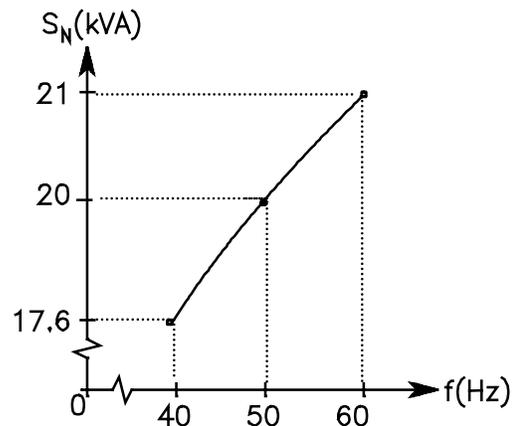
$$\eta = 88,1 \%$$

**TR\_7**

Un transformador **monofásico** a **50 Hz** y con tensiones nominales **2000/200 V** ( $V_{20} = 209 \text{ V}$ ) puede transmitir una potencia de **20 kVA** trabajando a  $\theta_{aN} = 20^\circ\text{C}$  y alcanzando su temperatura máxima de funcionamiento  $\theta_{fN} = 100^\circ\text{C}$  (con corriente nominal).

La gráfica de la figura está realizada para diversas frecuencias (y tensiones) nominales de funcionamiento. Se trabaja con  $V/f = \text{cte}$  de manera que la inducción se mantenga.

Se sabe que la resistencia debida a las pérdidas adicionales es un 5% de la resistencia total a **100°C** y **50 Hz**



Cuando el transformador trabaja a **50 Hz**, la tensión en una carga de **factor de potencia 0.8 e índice de carga unidad** es de **199 V**. Sin embargo, si el transformador trabaja a **40 Hz**, la tensión en una carga de iguales características es de **157,52V**.

Responda a las siguientes preguntas:

- 1ª Tensiones y corrientes nominales para 40, 50 y 60 Hz. Asimismo las correspondientes  $V_{20}$
- 2ª Calcule los valores de  $\epsilon_r$  y  $\epsilon_x$  a la temperatura de funcionamiento nominal y a las tres frecuencias: 40, 50 y 60 Hz. (No considerar cambio de R con f).
- 3ª Calcule los valores de  $R$ ,  $X$ , y las  $P_{CuN}$  a las citadas frecuencias. (Considerar  $R=R(f)$ ).
- 4ª Calcule el valor de las  $P_{hN}$  a 50 Hz y obtenga los valores de las pérdidas por histéresis y parásitas a 40 Hz.
- 5ª Calcule la constante de refrigeración del transformador.
- 6ª Calcule los nuevos valores nominales (corriente y potencia) si la temperatura ambiente asciende a  $40^\circ\text{C}$  y la frecuencia de utilización es de **50 Hz**.

## SOLUCIÓN

### 1ª Pregunta

	$V_{1N}/V_{2N}$	$I_{1N}/I_{2N}$	$V_{20}$
50 Hz	2000/200 V	10/100 A	209 V
40 Hz	1600/160 V	11/110 A	167.2 V
60 Hz	2400/240 V	8.75/87.5 A	250.8 V

### 2ª Pregunta

	40Hz	50Hz	60Hz
$\epsilon_r$	0,0343	0,025	0,01823
$\epsilon_x$	0,055	0,05	0,0437

### 3ª Pregunta

	40Hz	50Hz	60Hz
R	0,0491	0,05	0,0511
X	0,08	0,1	0,12
$P_{CuN}$	594,11W	500W	391,23W

### 4ª Pregunta

$$P_{hN}(50\text{Hz})= 323,97\text{W}$$

$$P_{hhN}(40\text{Hz})= 112,616 \text{ W}$$

$$P_{hpN}(40\text{Hz})= 117,28 \text{ W}$$

### 5ª Pregunta

$$k=10,3 \text{ W}^\circ\text{C}$$

### 6ª Pregunta

$$I_{2N}=76,682 \text{ A} \quad S_N= 15,33 \text{ kVA}$$

Se dispone de dos transformadores de relación de tensiones **20/10 kV** para conectar en paralelo. De ambos se conocen los siguientes datos:

**Transformador 1:** 150 kVA (V<sub>20</sub>=10500 V)

- El factor de regulación a plena carga y factor de potencia 0,6 es del 5%
- Las pérdidas nominales en el cobre son 4500 W

**Transformador 2:** 250 kVA (V<sub>20</sub>=10600 V)

- El rendimiento a 4/5 de carga y factor de potencia 1,0 es del 95%
- El rendimiento **máximo** se produce con índice de carga **0,635**
- La reactancia de cortocircuito tiene un valor de **0,0538**

Calcule los siguientes valores:

- 1° Caídas de tensión por resistencia y reactancia e impedancia de cortocircuito de ambos transformadores
- Se conectan en paralelo para alimentar una carga de **factor de potencia 0,8**.
- 2° Tensión en la máxima carga que pueden alimentar en paralelo sin que en ninguno de ellos se sobrepase la corriente nominal. [NOTA: Use el factor de regulación]
  - 3° Potencias transmitidas por cada transformador realmente.
  - 4° Resuelva el problema mediante el procedimiento aproximado para el cálculo de distribución de potencias y comente las posibles diferencias al obtener de nuevo las potencias transmitidas por cada transformador.

---

## SOLUCIÓN

### 1ª Pregunta

	TR1	TR2
$\epsilon_r$	0,03	0,04036
$\epsilon_x$	0,04	0,0538
$\epsilon$	0,05	0,067

### 2ª Pregunta

$$V_2 = 10020 \text{ V}$$

### 3ª Pregunta

$$S_1 = 150300 \text{ VA}$$

$$S_2 = 225901 \text{ VA}$$

### 4ª Pregunta

$$S_1 = 150000 \text{ VA}$$

$$S_2 = 185873 \text{ VA}$$

$$S_L = 335873 \text{ VA}$$