

Soluciones práctico 3 - Electrotécnica 2

Transformador trifásico

Problema 1

- Grupo de conexión Ynd11.
- Potencia consumida por la carga $\bar{S} = P + jQ \cong 207,846 + j120,000$, la potencia entregada por la fuente es la misma ya que el transformador es ideal.

Problema 2

- Grupo de conexión Dyn7.
- La corriente de línea por el secundario vale $I = \frac{800}{6\sqrt{3}} \cong 76,98A$. Las lecturas de los amperímetros son $A_3 \cong 0,7698A$, $A_4 = 0A$ y $A_2 = 0A$.
- La corriente que circula vale $I = \frac{6000/\sqrt{3}}{4} \cong 866A,025A$. La fase de la corriente es de -210° , está viene dada por el desfase de la tensión secundaria (índice horario).
- Las lecturas de los amperímetros son $A_3 \cong 8,660A$, $A_4 \cong 43,301A$ y $A_2 = 0A$ (la corriente por el primario circula por la fase R y T, de acuerdo a los puntos la corriente por A_2 es $0A$).

Problema 3

- En todos los calculos eléctricos se desprecia la rama de vacío. Salvo en el calculo de la eficiencia.
Transformador T_1 : $I_1 / I_{N1} \cong 1,438$, por lo que hay una sobrecarga de un 43,8%.
Transformador T_2 : $I_2 / I_{N2} \cong 1,35$, por lo que hay una sobrecarga de un 35%.
- Se calcula el equivalente de Thévenin desde bornes secundarios:

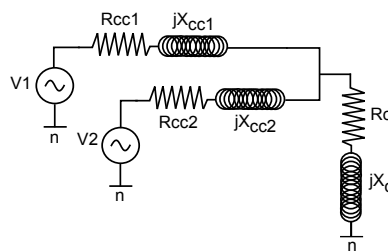


Figura 1: Circuito equivalente desde el secundario.

Donde $Z_{cc1}^- \cong 0,012 + j0,07\Omega$, $Z_{cc2}^- \cong 0,013 + j0,045\Omega$, mientras que $\bar{Z}_C \cong 0,45 + j0,23\Omega$, $V_1 = \frac{6040*0,4}{\sqrt{3}*6,1}$ y $V_2 = \frac{6040*0,38}{\sqrt{3}*6}$ que tomo como referencia de fases.

En vacío no está conectada la carga por lo que existe una corriente de circulación, esta tiene una magnitud de 66,386A que da lugar a una tensión de vacío $U_o \cong 387,912V$.

- $U_C \cong 373,957V$, $I_1 / I_{N1} \cong 0,7705$, por lo que T_1 está a un 77,05% de carga, mientras que $I_2 / I_{N2} \cong 0,7307$ T_2 está a un 73,07%.
- $\eta = \frac{R_C I_C^2}{P_{01} + P_{02} + R_{CC1} I_1^2 + R_{CC2} I_2^2 + R_C I_C^2} \cong 97,317\%$. Notar que hay que ajustar las pérdidas de vacío de ambos transformadores ya que la alimentación no es la misma que en los ensayos.

Problema 4

- a)
 - $T_1) U_p/U_s, S_1, u$ p.u.
 - $T_2) U_p/U_s, S_2, u$ p.u.

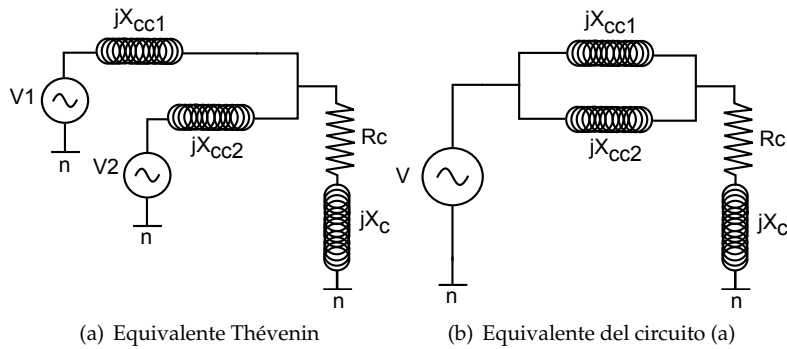


Figura 2: Respuesta Problema 4.

Se tiene el equivalente Thévenin de la Figura 2(a) pero como $V_1 = V_2 = \frac{U^* U_s}{\sqrt{3} U_p}$ se obtiene el circuito eléctrico equivalente de la Figura 2(b) con $V = \frac{U^* U_s}{\sqrt{3} U_p}$. Los parámetros son: $X_{cc1} = u \frac{U_s^2}{S_1}$, $X_{cc2} = u \frac{U_s^2}{S_2}$. Por lo que se tiene que:

$$\frac{I_1}{I_{n1}} = \frac{V}{X_{cc1} \frac{S_1}{\sqrt{3} U_s}} = \frac{\sqrt{3} V}{u U_s}$$

Para T_2 es análogo. Por lo que $\frac{I_1}{I_{n1}} = \frac{I_2}{I_{n2}}$. De esto se concluye que si $I_1 = I_{n1}$ despejando se obtiene que $I_2 = I_{n2}$.

- b)
 - Los transformadores se cargan en igual proporción de su potencia nominal, por resultado anterior.
 - Idem anterior, ya que el resultado es independiente de la potencia nominal.

Problema 5

- a) Tanto el ensayo de vacío como el de cortocircuito están hechos desde el secundario. Los ensayos son para cada trafo. monofásico.

Ensayo de c.c: Se desprecia la variación de R_{cc} con la frecuencia, X_{cc} hay que corregirla para 50 Hz.

$$\bar{Z}_{cc} \cong 0,021 + j0,11$$

Impedancia de vacío: hay que corregir la reactancia para 50 Hz.

$$\bar{Z}_o \cong j0,110\Omega.$$

Impedancia del cable del lado primario: Impedancia de carga por fase modelo estrella, hay que pasar al secundario la impedancia del cable que esta referida al primario, para eso se necesita la relación de transformación del transformador trifásico: $6000/\sqrt{3}220 \cong 6000/380$.

$$\bar{Z}_{cable} \cong 0,801 + j2,42m\Omega.$$

Circuito equivalente desde el lado secundario:

Donde $V = 220V$ y $\bar{Z} = 1,444/26^\circ$, calculado mediante ensayos.

- b) $\eta_{cable+tafo} \cong 98,237\%$.
- c) Funcionamiento en régimen desequilibrado. La corriente que toma el transformador por el primario es de $I = 124,764A$ y circula por las fases R y T, por la fase S no circula corriente.

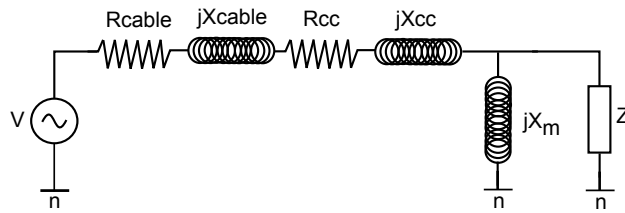


Figura 3: Circuito equivalente desde el secundario.

Problema 6

- a) Esquema del unifilar.

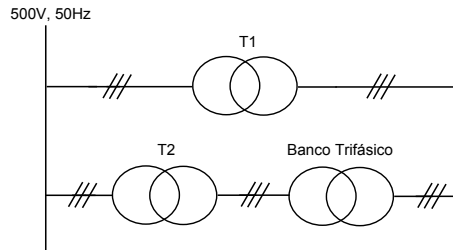


Figura 4: Unifilar

Conecto el banco en Yd , con los puntos y bornes adecuados de manera de lograr un índice de 3, compatible con la puesta en paralelo de grupo $T_2+(T_3, T_4, T_5)$ con T_1 . El esquema de conexión del banco es el siguiente:

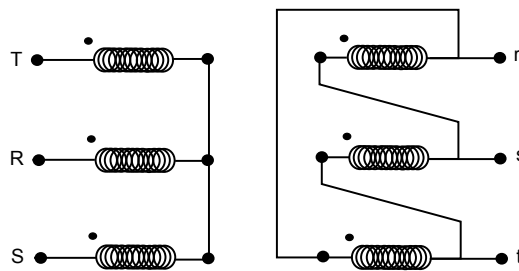


Figura 5: Esquema de conexión del banco.

- b) El circuito equivalente es el siguiente:

La Figura 6(a) muestra el equivalente Thévenin, con $V_1 = \frac{110}{\sqrt{3}}$, $V_2 \cong \frac{110}{\sqrt{3}}$. Como la alimentación es prácticamente la misma, el esquema monofásico sería equivalente al circuito de la Figura 6(b). Los parámetros de circuito equivalente son:

$$X_{banco} \cong 223,453m\Omega, X_{cc1} \cong 121,00m\Omega \text{ y } X_{cc2} \cong 60,835m\Omega.$$

- c) Viendo caso por caso, se llega a que el transformador que llega primero a su corriente nominal es T_1 , con $I_1 \cong 26,243A$.
- d) A partir del resultado de la parte anterior, como el transformador limitante es T_1 , con T_1 a su corriente nominal el grupo tiene una capacidad de transformación es de $S \cong 7,13kVA$.

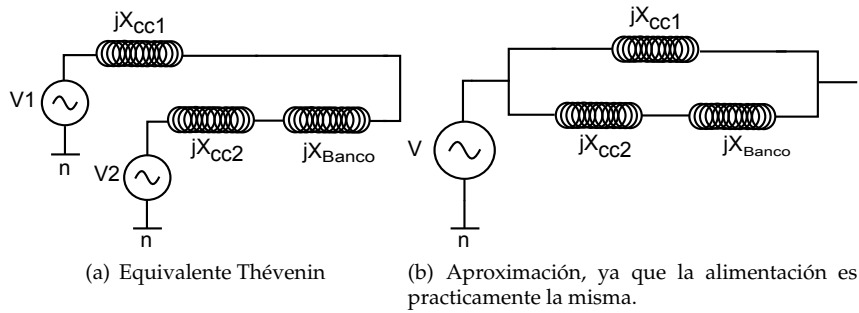


Figura 6: Respuesta Problema 6.

Problema 7

- a) Se sabe que el sistema de fuentes es un sistema directo, es decir:

$$V_1 = 230 \angle 0^\circ, V_2 = 230 \angle -120^\circ, V_3 = 230 \angle +120^\circ$$

El primario está conectado en triángulo (Δ) y por lo tanto la diferencia de potencial en cada uno de sus bobinados estará dada por la tensión de fase. Es decir que el voltaje de cada uno de los bobinados del primario será:

$$U_{12} = V_1 - V_2 = 230\sqrt{3} \angle 30^\circ V$$

$$U_{23} = V_2 - V_3 = 230\sqrt{3} \angle -90^\circ V$$

$$U_{31} = V_3 - V_1 = 230\sqrt{3} \angle 150^\circ V$$

Teniendo en cuenta que la relación de transformación de cada transformador monofásico es $\frac{N_A}{N_B} = 2,5$ se obtienen los voltajes en los bobinados secundarios como $V_B = \frac{V_A}{\frac{N_A}{N_B}}$. Para que estos voltajes estén referidos respecto al borne de tierra se deberá restar 180° en su fase (ya que el *punto* está en el borne de tierra) obteniendo:

$$V_{B1} = \frac{230\sqrt{3}}{2,5} \angle (30^\circ - 180^\circ) V = 159 \angle -150^\circ V$$

$$V_{B2} = \frac{230\sqrt{3}}{2,5} \angle (-90^\circ - 180^\circ) V = 159 \angle 90^\circ V$$

$$V_{B3} = \frac{230\sqrt{3}}{2,5} \angle (150^\circ - 180^\circ) V = 159 \angle -30^\circ V$$

- b) Para deducir el índice horario realizamos el diagrama fasorial de los voltajes de línea como se muestra en la figura 7:

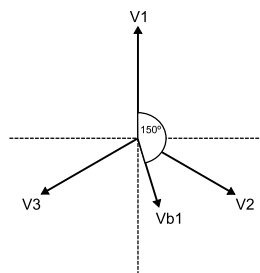


Figura 7: Solución problema 7 parte (b)

El defasaje entre V_1 y V_{B1} es de -150° por lo que resulta un índice horario igual a 05.

- c) Al conectar una resistencia $R = 8\Omega$ desde el borne S_2 hacia tierra circulará una corriente a través de la misma dada por:

$$I_R = \frac{V_{B2}}{R} = \frac{159\angle 90^\circ V}{8\Omega} = 19,87\angle 90^\circ A$$

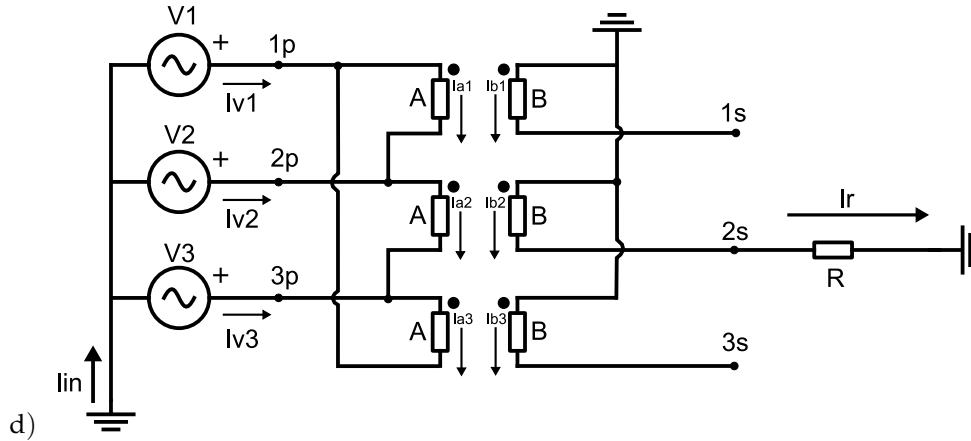


Figura 8: Solución problema 7 parte (d)

Consideremos el sistema definido en la Figura 8. Los bornes S_1 y S_3 están en circuito abierto y por lo tanto no circulará corriente por los bobinados secundarios B_1 y B_3 . La corriente que circula por el bobinado B_2 ya fué calculada en la parte anterior siendo ésta I_R , por lo tanto:

$$I_{B1} = 0, I_{B2} = I_R, I_{B3} = 0$$

En los bobinados primarios se tiene entonces las siguientes corrientes:

$$I_{A1} = 0$$

$$I_{A2} = \frac{-I_R}{\frac{N_A}{N_B}} = \frac{-19,87\angle 90^\circ A}{2,5} = 7,95\angle -90^\circ A$$

$$I_{A3} = 0$$

Las corrientes consideradas en sentido saliente por el positivo de las fuentes serán:

$$I_{V1} = 0$$

$$I_{V2} = I_{A2} = 7,95\angle -90^\circ A$$

$$I_{V3} = -I_{A2} = 7,95\angle 90^\circ A$$

- e)

$$I_{IN} = I_{V1} + I_{V2} + I_{V3} = 0$$

Problema 8

- a) Los valores de los parámetros del circuito equivalente a nivel de BT son: $V = 220/\sqrt{3}$, $X_{cc1} \cong 3,87m\Omega$, $X_{cc2} \cong 1,94m\Omega$, $X_{cc3} \cong 2,904m\Omega$, $\bar{Z}_1 = 24,255m\Omega\angle 36,9^\circ$, $\bar{Z}_2 = 47,610m\Omega\angle 36,9^\circ$.
- b) $z_{cc2} = 8\%$. Como la relación de transformación es la misma (la de T_1 y T_2), al tener la misma impedancia en p.u., entonces la carga se reparte proporcionalmente en los transformadores.
- c) Los cargos de los transformadores son:

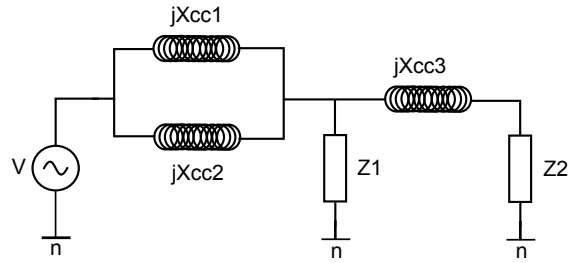


Figura 9: Esquema estrella equivalente a nivel de 0,22kV.

$$\frac{I_3}{I_{n3}} \cong 0,968, \text{ por lo que trabaja a un } 96,8\% \text{ de su carga.}$$

$$\frac{I_2}{I_{n2}} \cong 0,955, \text{ por lo que trabaja a un } 95,5\% \text{ de su carga.}$$

$$\frac{I_1}{I_{n1}} \cong 0,955, \text{ por lo que trabaja a un } 95,5\% \text{ de su carga.}$$

d) T_4) 30/0,22kV, 1MVA, Yy0(podría ser Dd0), 8,66%.