

las corrientes de línea del secundario son:

$$I_{ba} = 178 \angle 88.2 + 30 = \angle 118.2^\circ$$

$$I_{cb} = 178 \angle -31.8 + 30 = \angle -1.8^\circ$$

$$I_{ac} = 178 \angle -151.8 + 30 = \angle -121.8^\circ$$

Por lo tanto, las corrientes de línea del primario, que están en fase con las de fase del secundario, son:

$$a = \frac{11000/\sqrt{3}}{1100} = 5.77$$

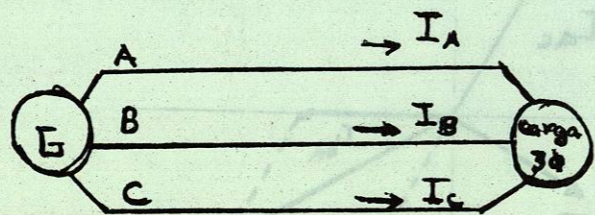
$$I_L = \frac{I_{f \text{ sec.}}}{a} = \frac{178}{5.77} = 30.8 \text{ A.}$$

$$\Rightarrow I_A = 30.8 \angle 118.2^\circ$$

$$I_B = 30.8 \angle -1.8^\circ$$

$$I_C = 30.8 \angle -121.8^\circ$$

Para comprobar los resultados obtenidos, se hará el análisis considerando a todo el banco como una carga con respecto a la línea de transmisión.



$$S = \sqrt{3} V_L I_L = \sqrt{3} (11000) (30.8) = 587 \text{ KVA}$$

$$f.p. = \cos \angle \begin{matrix} V_{AN} \\ I_A \end{matrix}$$

Del diagrama de triángulo del primario:

$$V_{AN} = \frac{V_{AB}}{\sqrt{3}} \angle -30^\circ = \frac{11000 \angle 180^\circ}{\sqrt{3}} (\angle -30^\circ)$$

$$= 6351 \angle 150^\circ$$

$$\angle \begin{matrix} V_{AN} \\ I_A \end{matrix} = 150 - 118.2 = 31.8^\circ$$

$$f.p. = \cos 31.8^\circ = 0.85 (-)$$

Por lo tanto, las relaciones obtenidas son correctas.

Se deja al lector como ejercicio el bosquejar los diagramas fasoriales polares del primario y secundario, en base a los resultados obtenidos.

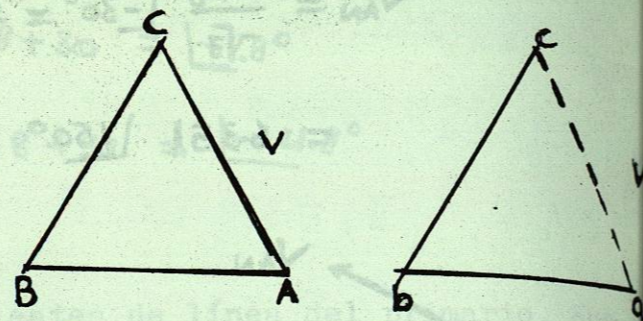
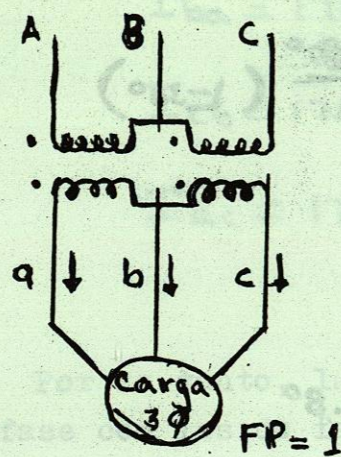
Nótese que la solución de este problema radica en gran parte en un dominio completo del análisis fasorial. La teoría del transformador sólo se utiliza para definir los sentidos positivos entre tensiones y corrientes del primario, con respecto al secundario.

xxx

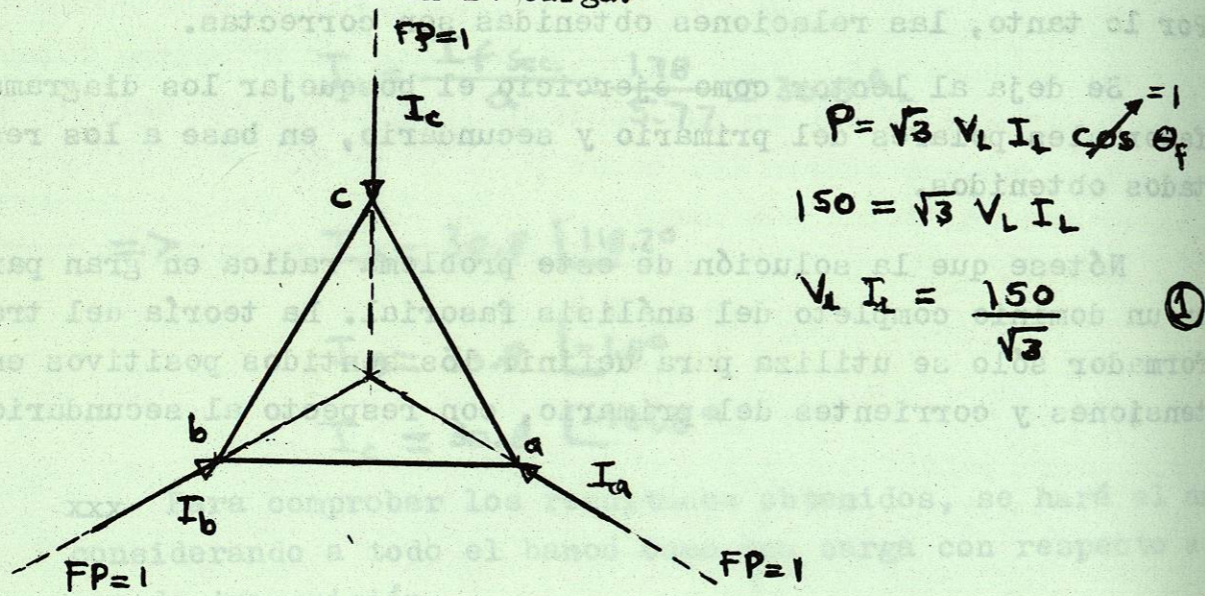
EJEMPLO 9

Un banco de transformadores $\Delta - \Delta$ alimenta una carga equilibrada de 150 KW, FP= 1. Si se quita uno de los transformadores, especifíquese el factor de potencia del funcionamiento y los KW de carga para cada uno de los dos transformadores restantes que funcionan en Δ abierta.

SOLUCION



Condiciones en la carga:



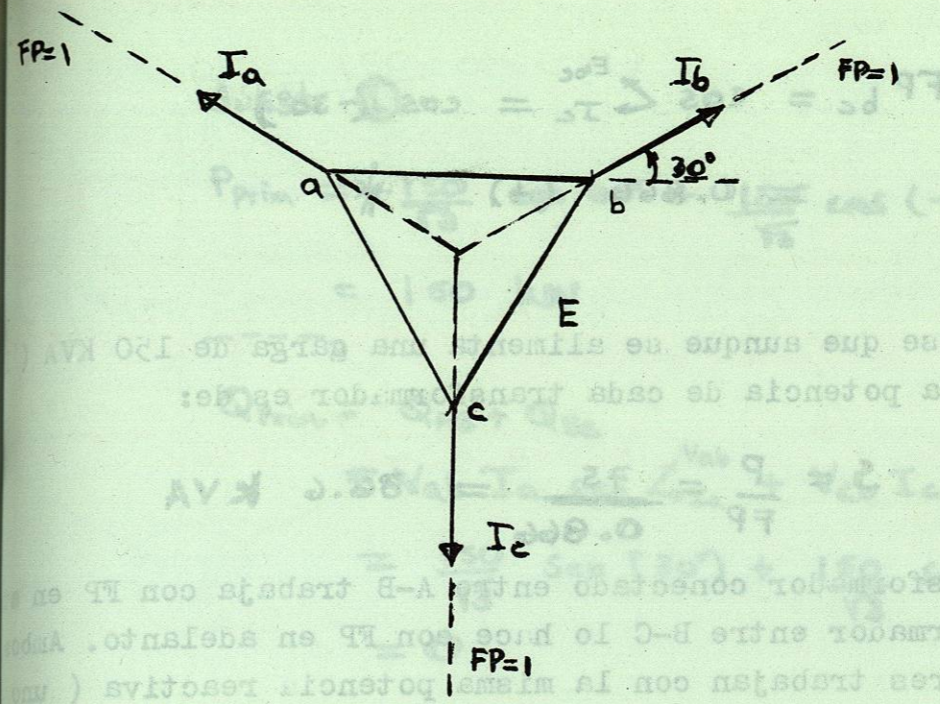
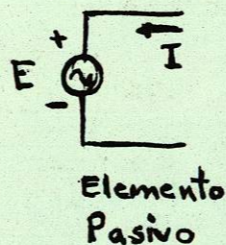
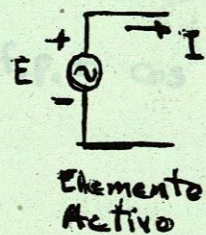
$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta_f = 150$$

$$150 = \sqrt{3} V_L I_L$$

$$V_L I_L = \frac{150}{\sqrt{3}} \quad \text{①}$$

Triángulo de elevaciones de tensión (E) en el secundario (se forma haciendo girar 180° el triángulo de caídas de tensión)
xxx

Nota.- Las corrientes de línea se dibujan saliendo, ya que es un triángulo de elevaciones de tensión, es decir, se considera el banco de transformadores como elemento activo con respecto a la carga:



$$P_{ab} = E_{ba} I_a \cos \angle E_{ba} I_a = V_L I_L \cos 30^\circ$$

Subst. ①

$$P_{ab} = \frac{150}{\sqrt{3}} \cos 30^\circ = 75 \text{ kW} *$$

$$P_{bc} = E_{bc} I_c \cos \angle E_{bc} I_c = V_L I_L \cos (-30^\circ)$$

Subst. ①

$$P_{bc} = \frac{150}{\sqrt{3}} \cos (-30^\circ) = 75 \text{ kW} *$$

Factores de potencia:

$$FP_{ab} = \cos \angle E_{ba} I_a = \cos 30^\circ = 0.866 (-) *$$

$$FP_{bc} = \cos \angle_{I_c}^{E_{bc}} = \cos (-30^\circ)$$

$$= 0.866 (+) *$$

Obsérvese que aunque se alimenta una carga de 150 KVA (150 KW, FP=1), la potencia de cada transformador es de:

$$S = \frac{P}{FP} = \frac{75}{0.866} = 86.6 \text{ KVA}$$

El transformador conectado entre A-B trabaja con FP en atraso y el transformador entre B-C lo hace con FP en adelanto. Ambos transformadores trabajan con la misma potencia reactiva (uno inductiva y el otro capacitiva) de tal forma que éstas se anulan y sólo se entrega a la carga los 150 KW resultantes.

Con respecto a las líneas de transmisión:

$$V_{AB} = a V_{ab}$$

$$V_{CB} = a V_{cb}$$

a → Relación de Transformación

$$I_{AB} = \frac{I_a}{a}$$

$$I_{CB} = \frac{I_c}{a}$$

$$P_{prim.} = P_{AB} + P_{BC}$$

$$= V_{AB} I_A \cos \angle_{I_A}^{V_{AB}} + V_{CB} I_C \cos \angle_{I_C}^{V_{CB}}$$

$$= V_{ab} I_a \cos \angle_{I_a}^{V_{ab}} + V_{cb} I_c \cos \angle_{I_c}^{V_{cb}}$$

Subst. ①

$$P_{prim.} = \frac{150}{\sqrt{3}} \cos 30^\circ + \frac{150}{\sqrt{3}} \cos (-30^\circ)$$

$$= 150 \text{ KW}$$

$$Q_{prim.} = Q_{AB} + Q_{BC}$$

$$= V_{ab} I_a \sin \angle_{I_a}^{V_{ab}} + V_{cb} I_c \sin \angle_{I_c}^{V_{cb}}$$

$$= \frac{150}{\sqrt{3}} \sin (30^\circ) + \frac{150}{\sqrt{3}} \sin (-30^\circ)$$

$$= 0$$

$$\Rightarrow FP_{prim.} = 1$$

Puede observarse también que el sistema se comporta con respecto a las líneas de transmisión como una carga balanceada, ya que las corrientes I_a, I_b, I_c forman un sistema balanceado y por lo tanto I_A, I_B, I_C también lo serán; si se toman en cuenta las impedancias internas de los transformadores el sistema no se comportará como carga balanceada.

xxx

EJEMPLO 10

Un sistema trifásico, a 1100 V, alimenta a una carga trifásica equilibrada de 1000 KVA a 220 V por medio de transformadores conectados en T. Especificúense las tensiones y corrientes nominales de los transformadores y las relaciones de transformación.

Para el transformador auxiliar:

$$I_{x \text{ Nom.}} = I_L = 2624 \text{ A} *$$

$$V_{x \text{ Nom.}} = V_{dc} = V_L \cos 30^\circ = 220 (0.866) = 191 \text{ V} *$$

$$V_{H \text{ Nom.}} = V_{oc} = 1100 \cos 30^\circ = 953 \text{ V} *$$

$$q = \frac{V_H}{V_x} = \frac{953}{191} = 5 *$$

$$I_{H \text{ Nom.}} = \frac{I_x}{a} = \frac{2624}{5} = 524.8 \text{ A} *$$

$$S_{\text{Nom.}} = 953 (524.8) = 500 \text{ KVA} *$$

Obsérvese lo siguiente:

$$\text{Factor de Servicio} = \frac{\text{Carga Utilizable}}{\text{Capacidad Instalada}}$$

$$F.S. \text{ conexión "T"} = \frac{1000}{577 + 500} = 0.929$$

Recuérdese que para la conexión Δ abierta:

$$F.S. = \frac{58}{67} = 0.866$$

De lo que se concluye que mediante un diseño adecuado, la conexión T puede aprovechar casi la totalidad (92.9%) de la capacidad de los transformadores, representando esto una ventaja sobre la conexión Δ abierta.

XXX

9.6 TRANSFORMADORES NO IDEALES EN SISTEMAS TRIFÁSICOS

Para el cálculo de circuitos trifásicos tomando en cuenta las impedancias del transformador, se hace uso del circuito equivalente de la Fig. 23, existiendo uno para cada par de devanados acoplados. Las impedancias pueden referirse al primario o secundario, según convenga, mediante las fórmulas de transformación del Art. 5.4.3. En determinados cálculos suele desprejarse la rama de excitación. Obsérvese que la rama de excitación se coloca directamente frente a los terminales de entrada, despreciando el efecto de la resistencia y reactancia de dispersión del primario sobre ésta. La Fig. 24 ilustra los circuitos equivalentes trifásicos.

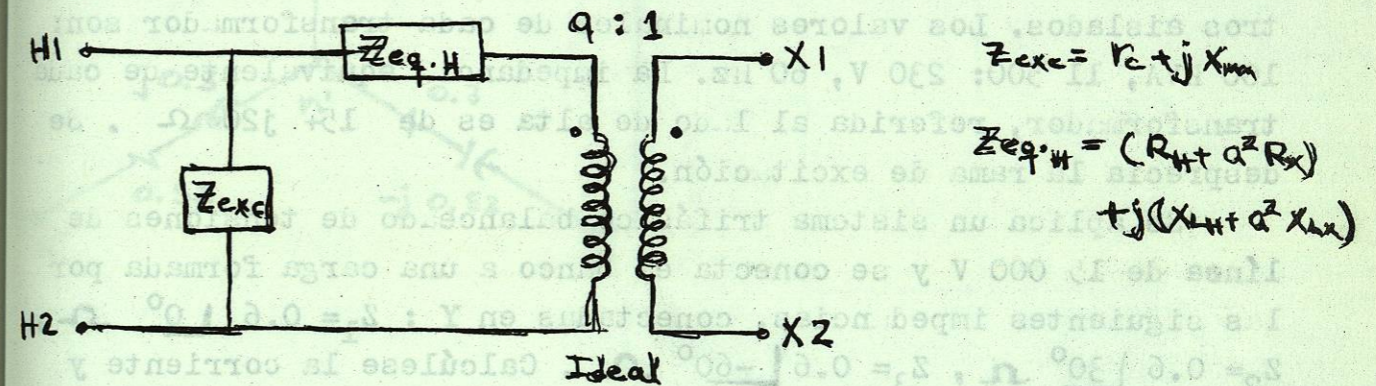


Fig. 23 Circuito equivalente monofásico.

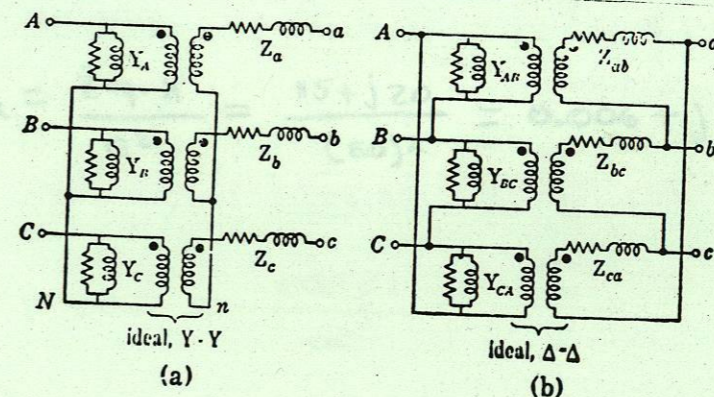


Fig. 24 Circuitos equivalentes trifásicos.