

10.3.5 RELACIONES X/R

Para tener los mejores resultados, todos los transformadores deberán tener la misma razón de la reactancia equivalente a la resistencia equivalente. Los efectos de las desigualdades entre estas razones pueden verse examinando la Fig. 7, donde se muestra el diagrama vectorial de dos transformadores que funcionan en paralelo. Las impedancias equivalentes de ambos transformadores son de igual magnitud y por tanto, las corrientes I_1' e I_1'' que por ellos circulan tienen la misma intensidad. No obstante, las corrientes no estarán en fase a menos que sean iguales las razones de la reactancia equivalente a la resistencia equivalente de ambos transformadores. El ángulo entre las corrientes es:

$$\angle I_1' I_1'' = \text{arc. tg.} \frac{X_1'}{R_1'} - \text{arc. tg.} \frac{X_1''}{R_1''}$$

Como las corrientes no están en concordancia de fase, la que circula por cada transformador tiene una intensidad mayor que la mitad de la intensidad de la corriente total, por lo que la potencia aparente de salida del par es inferior a la suma de las potencias aparentes de salida de los transformadores. Así, pues, la capacidad a plena carga de la combinación es menor que la suma de las potencias nominales de las unidades.

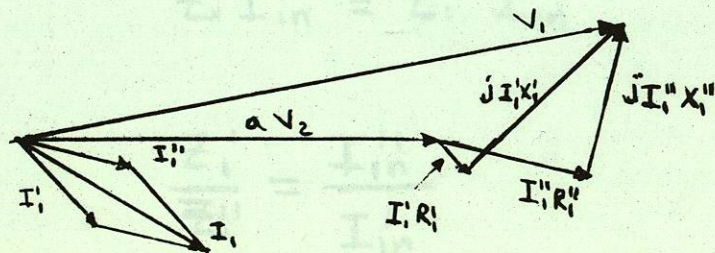


Fig. 7

10.4 EMPARALELAMIENTO DE CONEXIONES TRIFÁSICAS

En sistemas balanceados, para conectar en paralelo dos o más bancos trifásicos de transformadores monofásicos, o dos o más transformadores trifásicos, se toman en cuenta los mismos factores que fueron analizados para los transformadores monofásicos:

a) Igual relación de transformación entre tensiones de línea del primario y secundario. Las tensiones de línea de los secundarios deben estar en fase (sus diagramas de triángulo deben superponerse exactamente), a fin de evitar la circulación de corrientes entre fases de los dos conjuntos trifásicos. Así, de lo estudiado en el Cap. 9, es evidente que una conexión $\Delta - \Delta$ puede ponerse directamente en paralelo con una conexión Y-Y (ver Figs. 10 y 12 del Cap. 9), sin embargo, un banco $\Delta - Y$ o $Y - \Delta$ no puede ponerse directamente en paralelo con un banco Y-Y o $\Delta - \Delta$ debido al desfaseamiento de 30° o 150° entre las tensiones de línea de los primarios y secundarios (Figs. 14 y 16 del Cap. 9). La Fig. 8 ilustra un diagrama para emparejar conexiones Y- Δ con $\Delta - Y$.

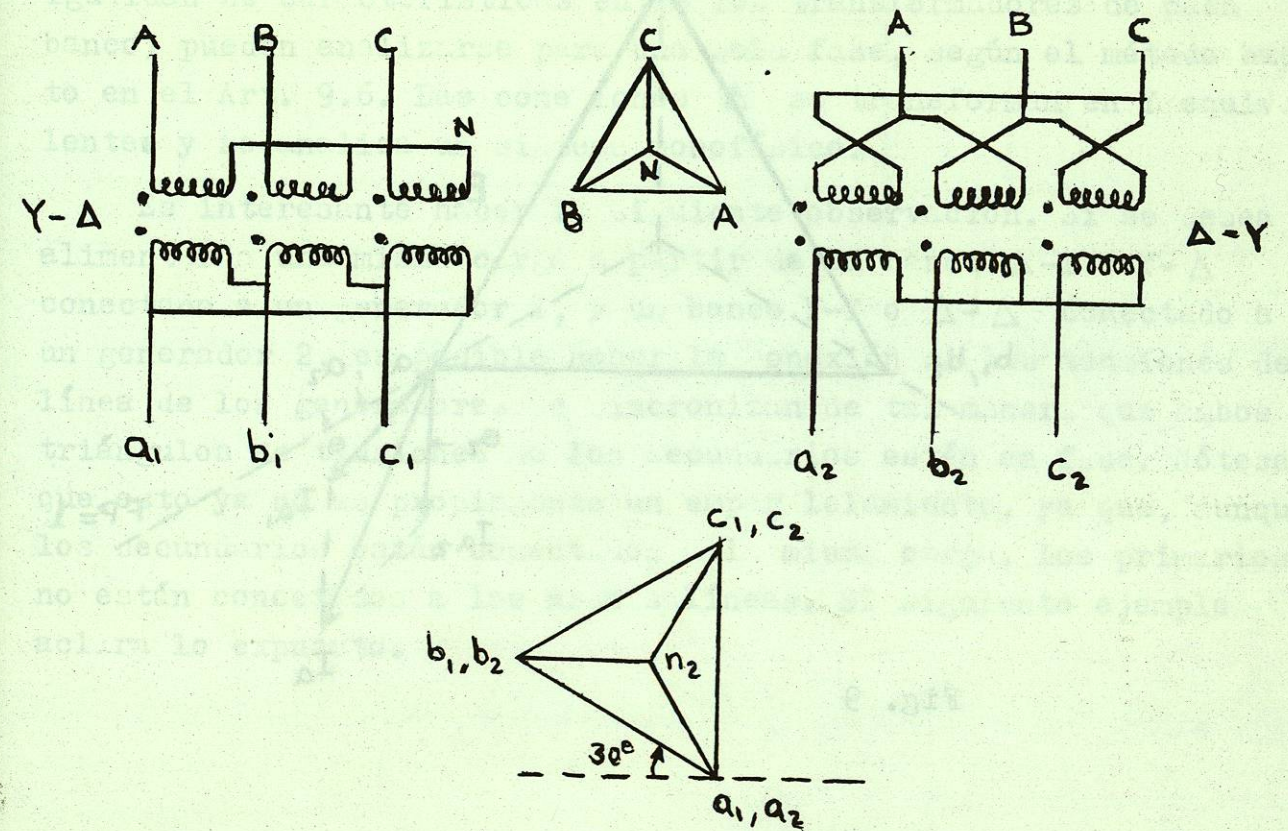


Fig. 8

b) Impedancias equivalentes inversamente proporcionales a sus capacidades. Como ya se explicó, esta condición garantiza que cada transformador proporcione a la carga una fracción de la potencia total proporcional a su capacidad, de tal forma que se pueda extraer del sistema toda la capacidad instalada en KVA (factor de servicio unitario) sin que ningún transformador se sobrecargue.

c) Igual relación R_e/X_e . Si los transformadores no guardan la misma relación R/X entre sus impedancias equivalentes, aunque sean éstas de la misma magnitud, las corrientes de línea de los secundarios se desfazarán ligeramente, ya que ambas sufren distintas desviaciones de fase debido a sus impedancias equivalentes. Al no estar en fase las corrientes de línea de las dos conexiones en paralelo, su suma fasorial será de una magnitud menor a su suma algebraica, no pudiendo entonces el sistema entregar el total de su capacidad a la carga. El siguiente diagrama de triángulo lo ilustra:

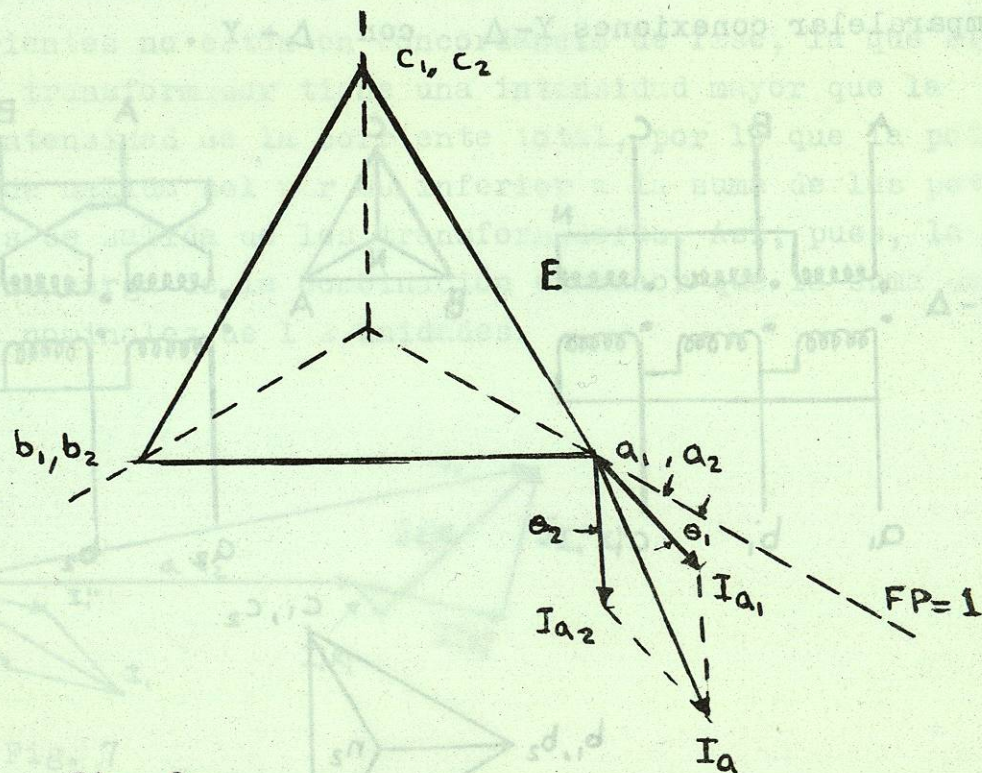


Fig. 9

La corriente I_{a1} se desvía un ángulo θ_1 con respecto a la línea de $FP=1$, la corriente I_{a2} se desvía un ángulo θ_2 . De la Fig. 9 se observa claramente que $I_a = I_{a1} + I_{a2}$ fasorialmente, y que I_a es igual a $I_{a1} + I_{a2}$ en magnitud sólo cuando θ_1 sea igual a θ_2 .

En la práctica, la diferencia de relaciones R/X no suele ser de un efecto tan sensible como el de la Fig. 9, por lo que suele ser éste el factor de menor importancia entre los ya mencionados.

d) Iguales tensiones nominales de primario y secundario. Como este inciso es obvio, no se anexa discusión alguna. Salvo el observar que el voltaje nominal de cada transformador difiere si la conexión está en Y o Δ ,

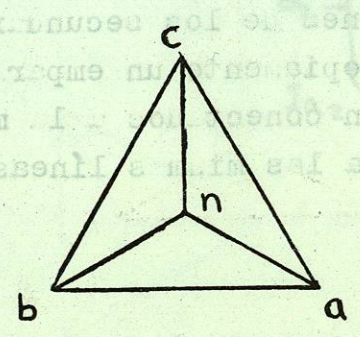
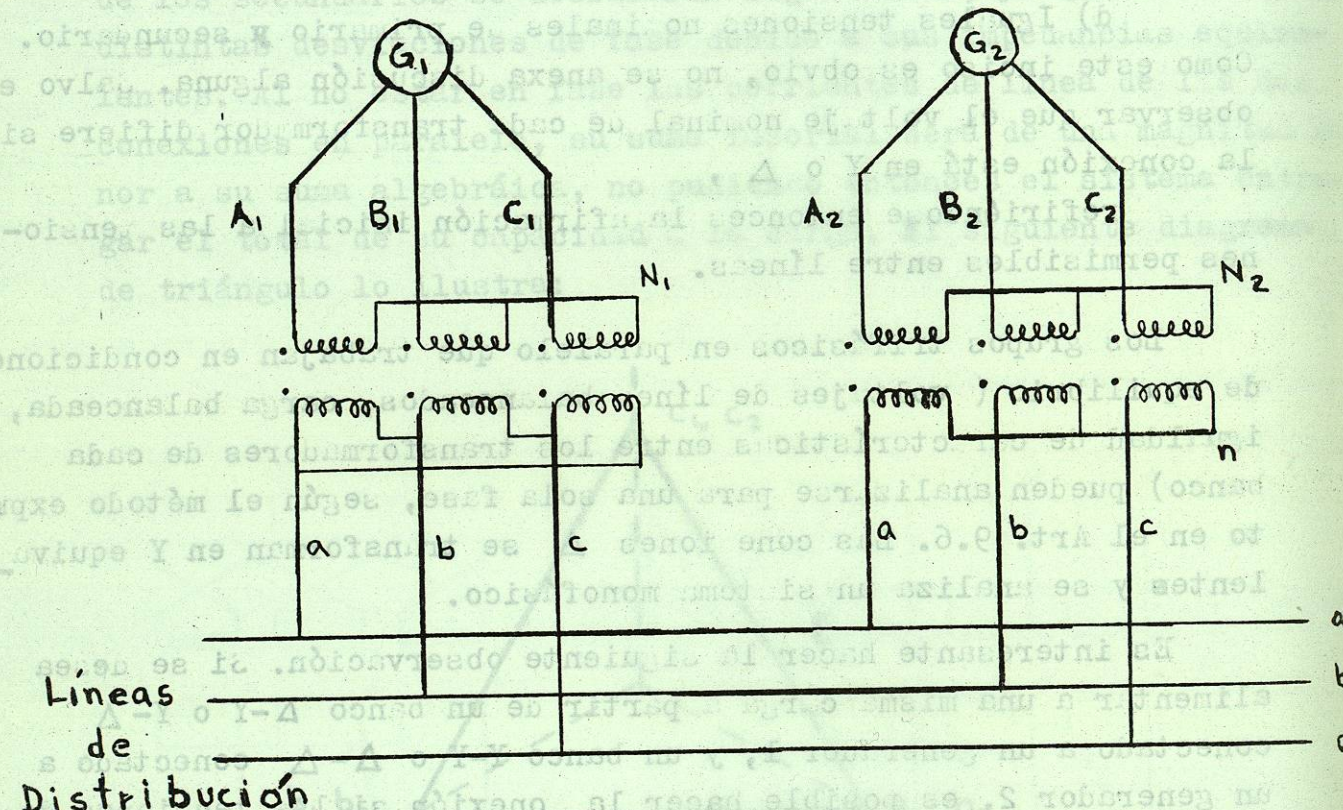
refiriéndose entonces la afirmación inicial a las tensiones permisibles entre líneas.

Los grupos trifásicos en paralelo que trabajan en condiciones de equilibrio (voltajes de línea balanceados, carga balanceada, igualdad de características entre los transformadores de cada banco) pueden analizarse para una sola fase, según el método expuesto en el Art. 9.6. Las conexiones Δ se transforman en Y equivalentes y se analiza un sistema monofásico.

Es interesante hacer la siguiente observación. Si se desea alimentar a una misma carga a partir de un banco Δ - Y o Y - Δ conectado a un generador 1, y un banco Y - Y o Δ - Δ conectado a un generador 2, es posible hacer la conexión si las tensiones de línea de los generadores se sincronizan de tal manera que ambos triángulos de tensiones de los secundarios estén en fase. Nótese que esto ya no es propiamente un emparellamiento, ya que, aunque los secundarios están conectados a la misma carga, los primarios no están conectados a las mismas líneas. El siguiente ejemplo aclara lo expuesto.

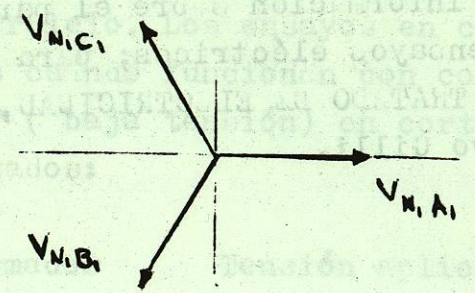
EJEMPLO 1

En un sistema de distribución de energía eléctrica se tiene un generador trifásico que alimenta a un banco de transformadores Y- Δ . En otro lugar se encuentra situado un generador alimentando a un banco Y/Y. Se desea interconectar ambos sistemas para alimentar a una carga (una zona industrial, por ejemplo). Para la nomenclatura indicada en la figura, ¿cuál deberá ser el ángulo de fase entre las tensiones de línea de los generadores, a fin de hacer posible la conexión en paralelo de los secundarios de los dos bancos?



SOLUCION

Diagrama polar de tensiones del primario del banco Y- Δ correspondiente al diagrama del secundario:



Ordenándolo en un diagrama de triángulo:

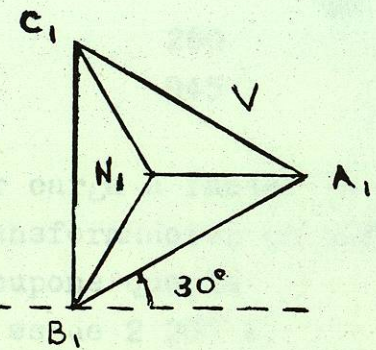
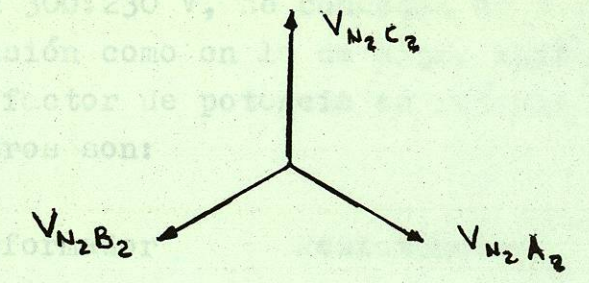
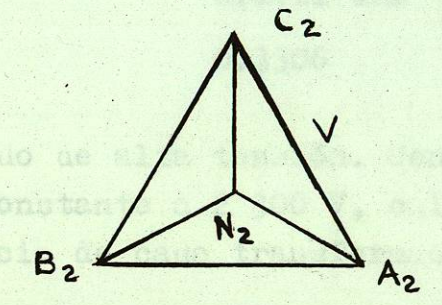


Diagrama polar de tensiones del primario del banco Y-Y correspondiente al diagrama del secundario:



Ordenándolo en un diagrama de triángulo:



CONCLUSION.- Debe existir un desfaseamiento de 30° entre las tensiones de línea de los generadores G1 y G2, de tal manera que las relaciones de fase entre las tensiones de los secundarios