

10.3.4 RELACIONES ENTRE IMPEDANCIAS

A través de la Ec. 10.4 se puede apreciar que la corriente que toma un paralelo de transformadores, se distribuye entre ellos en forma semejante a como ocurre en un paralelo de impedancias. Así, para un emparellamiento de dos transformadores, por ejemplo, la corriente de mayor intensidad circulará por el transformador de menor impedancia en el paralelo. Debido a lo anterior, es conveniente que el transformador de mayor capacidad posea la menor impedancia en el paralelo de transformadores.

La impedancia de los transformadores deben guardar una relación con respecto a sus potencias nominales, para lograr la máxima capacidad del emparellamiento. Se deducirá esta relación para el caso de dos transformadores en paralelo, aunque el análisis puede extenderse a un número mayor de transformadores.

De la Ec. 10.4 se tiene que:

$$I_1' z_1' = I_1'' z_1''$$

$$\Rightarrow I_1'' = \frac{z_1'}{z_1''} I_1' \quad 10.9$$

De la Ec. 10.9 se puede obtener una relación entre potencias aparentes entregadas por cada transformador, multiplicando ambos miembros por aV_2 (ver Fig. 2): Así:

$$I_1'' aV_2 = \frac{z_1'}{z_1''} aV_2 I_1'$$

$$\Rightarrow S'' = \frac{z_1'}{z_1''} S' \quad 10.10$$

La Ec. 10.10 indica la forma en que están relacionadas las potencias aparentes que cada transformador entrega en un momento dado. Para que la capacidad del paralelo sea igual a la suma de las capacidades correspondientes a cada transformador (máximo aprovechamiento), la relación entre las impedancias de los transformadores debe ser tal, que los transformadores entreguen sus correspondientes potencias nominales al mismo tiempo. Por lo tanto, la relación entre las impedancias debe ser, según la Ec. 10.10.

$$\frac{z_1''}{z_1'} = \frac{S_n'}{S_n''} \quad 10.11$$

en donde z_1' y z_1'' deben poseer el mismo argumento, como se verá en el artículo 10.3.5.

La potencia aparente que el paralelo de transformadores entrega en un instante cualquiera, se puede expresar como:

$$S_T = S' + S'' + S''' + \dots \quad 10.12$$

en donde las primas indican el número del transformador.

Supóngase que se tiene un sistema de transformadores en paralelo, cuyas potencias nominales en orden creciente sean: S_n' , S_n'' , S_n''' ; ...; y cuyas corrientes nominales en el primario sean respectivamente: I_{1n}' , I_{1n}'' , I_{1n}''' , ... La potencia aparente que el sistema entregará cuando el transformador de menor capacidad (el de potencia nominal S_n') se encuentre saturado en su capacidad (se encuentre entregando su potencia nominal), será:

$$S_T = S_n' + S'' + S''' \quad 10.13$$

Solo se conoce que $S' = S_n'$, desconociéndose la potencia que los demás transformadores entregan en ese momento. La relación entre la potencia entregada por dos transformadores, la expresa la Ec. 10.10, de la siguiente manera:

$$S'' = \frac{z_1'}{z_1''} S' = \frac{z_1'}{z_1''} S_n' \quad 10.14$$

$$S''' = \frac{z_1'}{z_1'''} S' = \frac{z_1'}{z_1'''} S_n' \quad 10.15$$

Del circuito equivalente de la Fig. 2, se tiene que la potencia que entrega el transformador 1 es:

$$S_n' = I_{1n}' aV_2 \quad 10.16$$

Sustituyendo la Ec. 10.16 en 10.14 y 10.15:

$$S'' = \frac{z_1'}{z_1''} I_{in}' a V_2 \quad 10.17$$

$$S''' = \frac{z_1'}{z_1'''} I_{in}' a V_2 \quad 10.18$$

y multiplicando a 10.17 por I_{in}'' / I_{in}' y a 10.18 por I_{in}''' / I_{in}' se tendrá:

$$S'' = \frac{(z_1' I_{in}')}{(z_1'' I_{in}'')} S_n''$$

y

$$S''' = \frac{(z_1' I_{in}')}{(z_1''' I_{in}''')} S_n'''$$

que al sustituirse en la Ec. 10.12, dan:

$$S_{Tmax} = S_n' + \frac{(z_1' I_{in}')}{(z_1'' I_{in}'')} S_n'' + \frac{(z_1' I_{in}')}{(z_1''' I_{in}''')} S_n''' + \dots \quad 10.19$$

El valor S_{Tmax} de la Ec. 10.19 es la máxima carga que se puede suministrar por los transformadores sin sobrecargar el transformador cuya capacidad en KVA sea la menor.

De la Ec. 10.19 se puede observar que, cuando la caída de tensión a la corriente nominal en cada una de las impedancias equivalentes de los transformadores, sean iguales en magnitud y ángulo

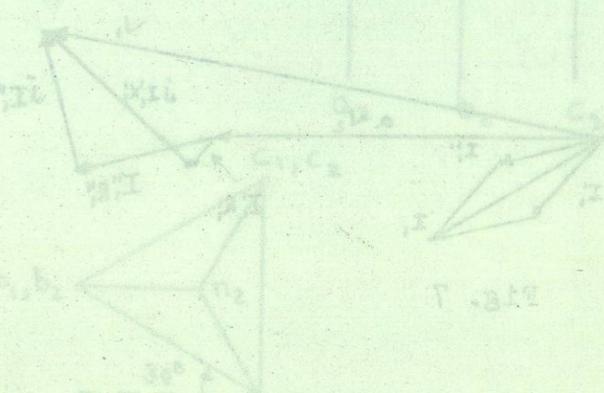
$$z_1' I_{in}' = z_1'' I_{in}''$$

$$\Rightarrow \frac{z_1'}{z_1''} = \frac{I_{in}''}{I_{in}'} \quad 10.20$$

$$z_1' I_{in}' = z_1''' I_{in}''' \quad 10.21$$

$$\Rightarrow \frac{z_1'}{z_1'''} = \frac{I_{in}'''}{I_{in}'}$$

S_{Tmax} , tendrá su valor máximo posible. Es decir, la capacidad del paralelo será directamente la suma de las potencias nominales de los transformadores. A esta conclusión se llegó anteriormente con la Ec. 10.11, ya que las Ecs. 10.20 y 10.21 son iguales (en forma implícita) a la Ec. 10.11.



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.

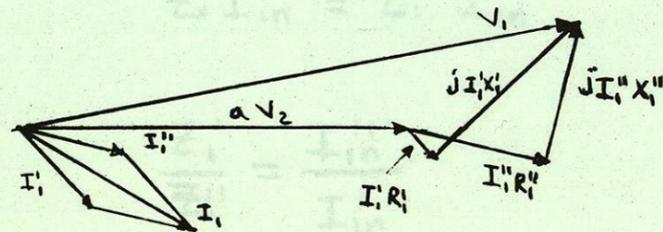


Fig. 7

10.4 EMPARALELAMIENTO DE CONEXIONES TRIFASICAS

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 $\Delta - Y$.

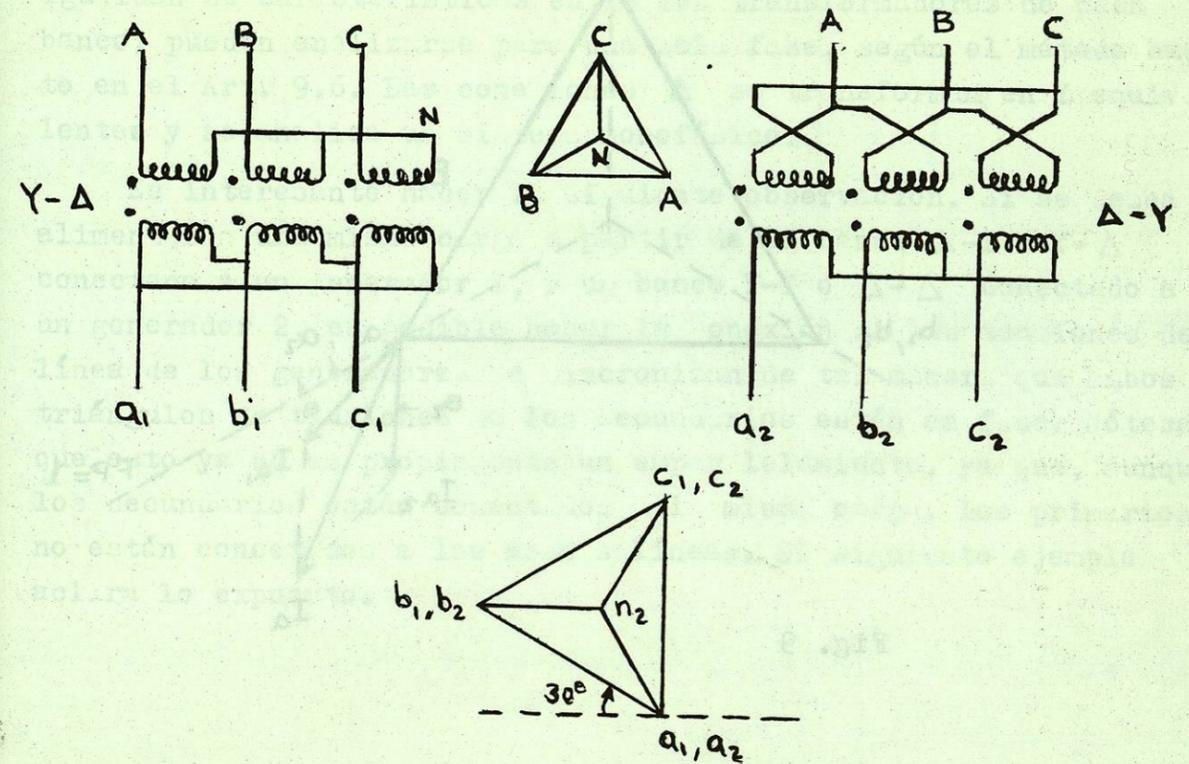


Fig. 8