

9.4 CONEXIONES TRIFÁSICAS

Casi toda la energía eléctrica se genera y transmite a través de sistemas trifásicos, ya que de esta forma la potencia total transmitida es constante con respecto al tiempo (para sistemas balanceados) y se requiere además una porción menor de cobre para las líneas de transmisión. Como a menudo es necesario elevar y disminuir la tensión varias veces entre el generador y las cargas, se utilizan transformadores a fin de lograrlo con la mayor eficiencia. Las transformaciones pueden realizarse mediante bancos de transformadores monofásicos, adecuadamente conectados, o mediante transformadores trifásicos en los que se enlazan entre sí los circuitos magnéticos de las tres fases. Las cargas monofásicas se conectan a los secundarios de los transformadores trifásicos tratando de conjuntarlas en cargas trifásicas balanceadas. Existen algunas discrepancias de comportamiento entre un transformador trifásico y un banco de tres transformadores monofásicos; se hará una mención de éstas oportunamente.

Las conexiones trifásicas más utilizadas son las siguientes:

- a) Conexión Y - Y
- b) " Δ - Δ
- c) " Y - Δ
- d) " Δ - Y
- e) " en V o " delta abierta".
- f) " en T.

A continuación se expondrá cada una de éstas conexiones, tomando en cuenta las siguientes consideraciones: se desprecian los efectos de la corriente de excitación y de la impedancia equivalente sobre las relaciones de fase de las tensiones entre primario y secundario (es decir, los voltajes de primario y secundario están en fase, de acuerdo a las convenciones de polaridad ya mencionadas). Se supone una relación de polaridad sustractiva en los arrollamientos (H1 enfrente de X1, y así subsecuentemente). Las terminales de alta tensión de la conexión trifásica se indicarán con letras mayúsculas (A, B, C, N) y las terminales de baja

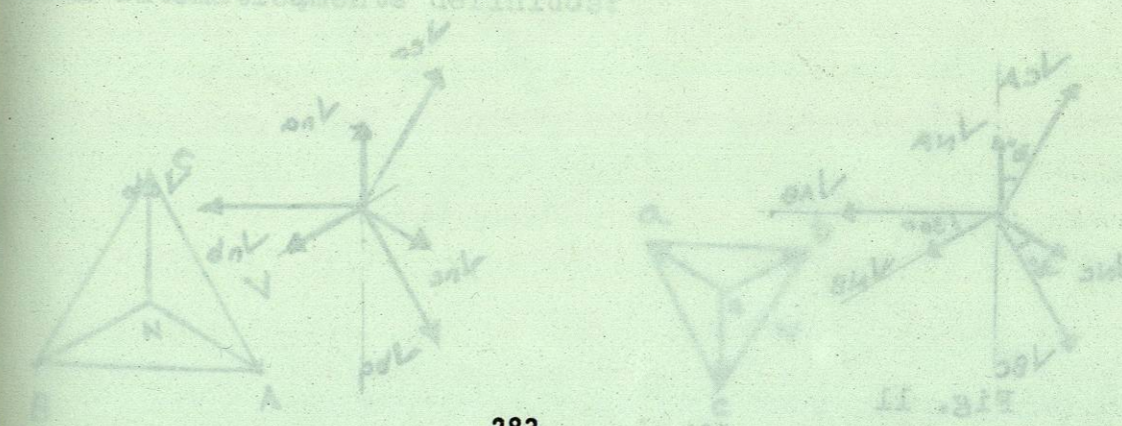
tensión se indicarán con minúsculas (a, b, c, n); así, H1 y X1 tienen la misma polaridad instantánea, pero A y a no necesariamente la tienen. Se supone aplicado al sistema de transformación un sistema de voltajes trifásico balanceado, en el lado de alta tensión. Ambos diagramas fasoriales (del lado de baja y del lado de alta) se dibujan a diferente escala, de tal manera que resultan de las mismas dimensiones en las figuras. Los voltajes de línea se expresan en forma funicular (diagrama de triángulo).

La suma de las tensiones de línea de un sistema polifásico (más de dos fases) siempre es igual a cero, por lo que al colocar sus fasores en un diagrama funicular (uno tras otro) se forma un polígono cerrado, que se supone girando en el espacio a una frecuencia angular igual a la de la onda sinusoidal. Para un sistema trifásico de tensiones de línea, el polígono es un triángulo equilátero y las literales que se asignan a cada esquina determinan la secuencia. Para una referencia más amplia sobre el manejo de un diagrama de triángulo, y en general del Análisis Fasorial, se recomienda la consulta de: Kerchner, R.M. y Corcoran, G. F., CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA, Ed. CECOSA, México, 1980.

9.4.1 CONEXION Y - Y

La Fig. 10 ilustra la disposición de conexiones y los diagramas fasoriales de tensiones del primario y secundario. A fin de enlazar la representación utilizada con un curso previo de Circuitos de Corriente Alterna, se expresa la Fig. 10 en la notación alternativa de la Fig. 11.

Los devanados de un transformador están conectados en estrella cuando se unen tres terminales de igual polaridad formando un punto neutro.



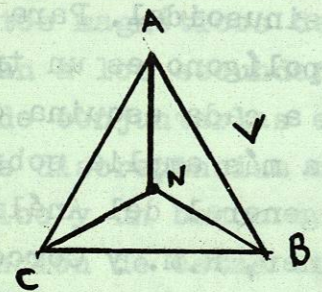
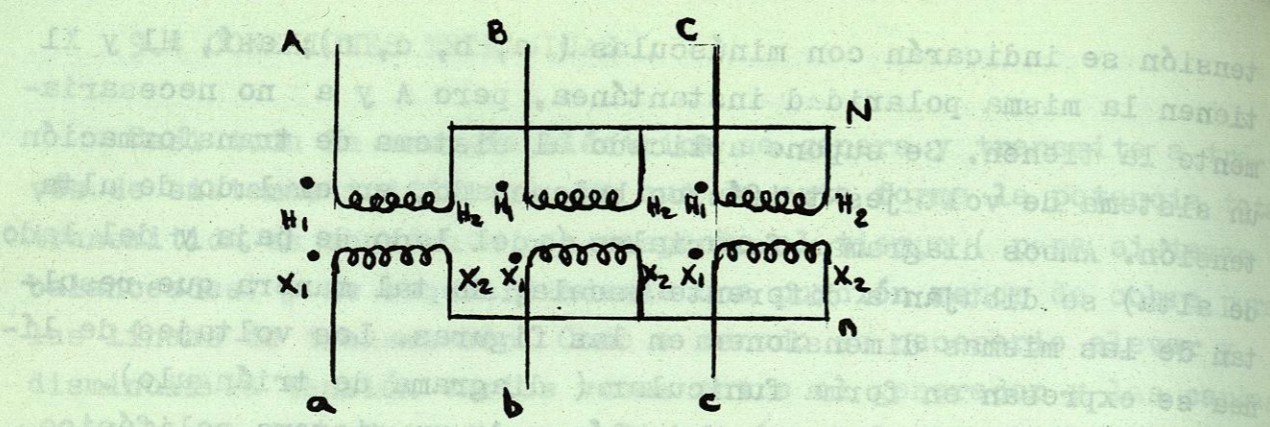


Fig. 10

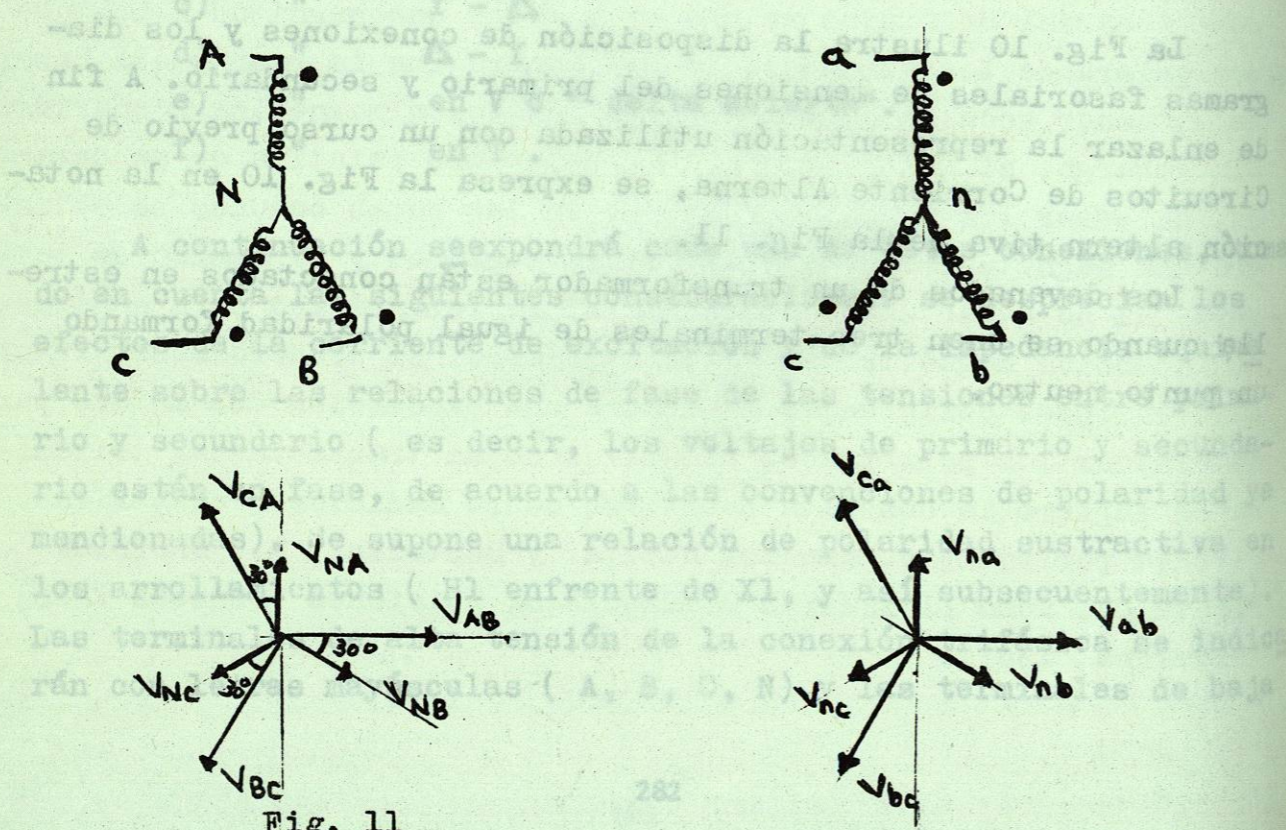
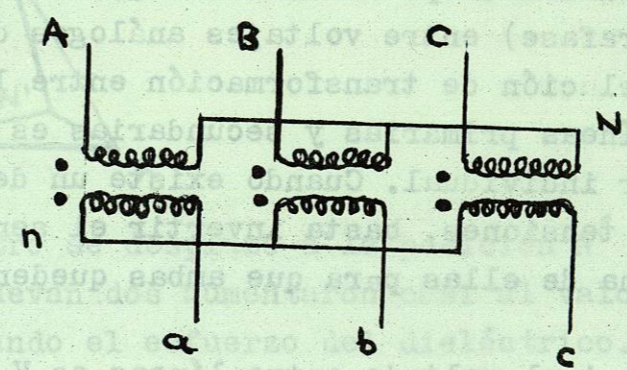


Fig. 11

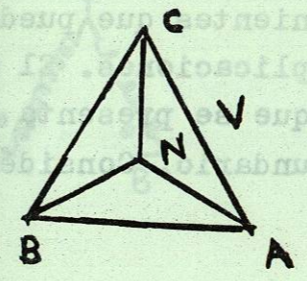
EJEMPLO 4

Para el siguiente sistema trifásico conectando en Y-Y definir: a) relación de fase entre V_{AB} y V_{ab} ;

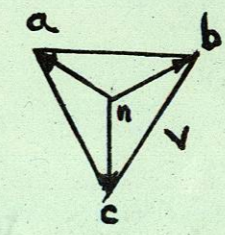
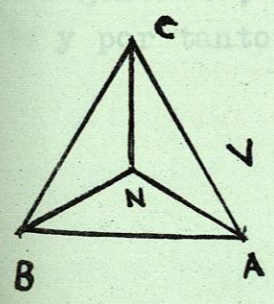


SOLUCION

Diagrama funicular:



De acuerdo a las marcas de polaridad, V_{AN} está en fase con v_{na} , y así sucesivamente, por lo tanto, dado un sentido instantáneo a los vectores V_{AN} , V_{BN} y V_{CN} , los vectores v_{an} , v_{bn} y v_{cn} quedan automáticamente definidos:



De donde, al estar desfasados 180° ambos triángulos, V_{AB} está 180° fuera de fase con respecto a V_{ab} .

xxx

De lo anteriormente expuesto se concluye que en un sistema trifásico Y-Y pueden obtenerse desplazamientos angulares de 0 o 180° (en fase o en contrafase) entre voltajes análogos del primario o secundario. La relación de transformación entre las tensiones o corrientes de líneas primarias y secundarias es la misma que para el transformador individual. Cuando existe un desfase de 180° entre dos tensiones, basta invertir el sentido en que es tomada positiva una de ellas para que ambas queden en fase, y viceversa.

En la conexión Y-Y, si el voltaje entre líneas es V , el voltaje en cada devanado será el voltaje de fase, igual a $V/\sqrt{3}$. De aquí que, para la transformación trifásica a muy altas tensiones se prefiera este arreglo, pues requiere de menos espiras por devanado, un menor aislamiento y conductor de sección mayor que en una conexión Δ (lo cual hace al devanado más resistente a los esfuerzos mecánicos de corto circuito).

El sistema Y-Y presenta algunos inconvenientes que pueden ser bastante perjudiciales en determinadas aplicaciones. El más notable es la propiedad de NEUTRO FLOTANTE, que se presenta cuando se aplica una carga no equilibrada al secundario. Considérese el siguiente arreglo:

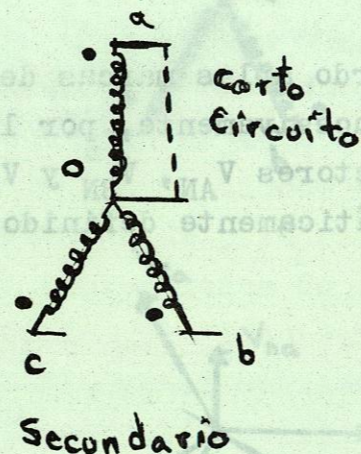
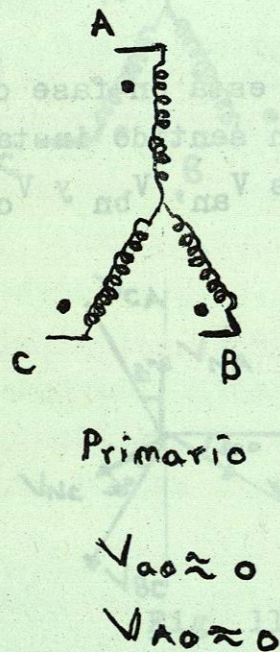
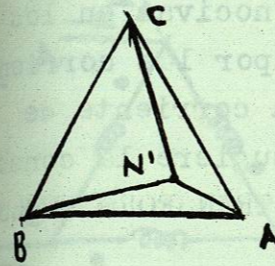
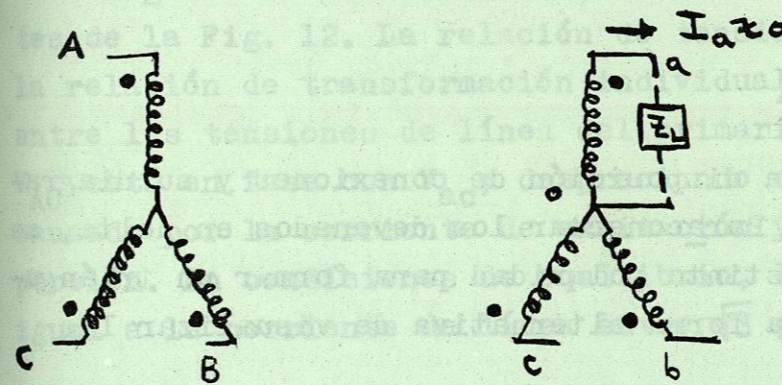


Diagrama funicular:



El neutro se desplazó a la posición N' y los voltajes de los otros devanados aumentaron casi al valor de la tensión de línea, aumentando el esfuerzo del dieléctrico.

Además, si se trata de alimentar una carga trifásica desequilibrada, se presentará el problema siguiente:



El sistema no puede alimentar a la carga monofásica (que es un caso simple de carga trifásica desequilibrada) ya que el devanado correspondiente del primario queda en serie con las elevadas impedancias de excitación de los otros dos devanados.

Si se conecta el neutro de los devanados primarios al neutro del generado, podrá cargarse cada transformador independientemente y por tanto podrá utilizarse la conexión Y-Y para alimentar

cargas monofásicas conectadas entre línea y neutro de los secundarios. El inconveniente de este montaje es que necesita de un cuarto hilo en el primario (conductor del neutro) y que en determinadas circunstancias pueden inducirse tensiones nocivas en los circuitos de comunicaciones próximos, ocasionadas por las corrientes desequilibradas y por los terceros armónicos de la corriente de excitación. Para mayor extensión en este tema se sugiere la consulta de: E.E. Staff del MIT, CIRCUITOS MAGNETICOS Y TRANSFORMADORES, Ed. Reverté, Buenos Aires, 1980.

Es importante aclarar que el transformador trifásico de tipo de Núcleo tiene determinadas características magnéticas, debido al acoplamiento de los flujos, que permiten utilizarlo en conexiones Y-Y sin neutros aterrizados, sin que se presenten los inconvenientes antes mencionados; por supuesto, dentro de cierto margen de tolerancia.

9.4.2 CONEXION $\Delta - \Delta$

La Fig. 12 ilustra la disposición de conexiones y su diagrama fasorial de tensiones. Para conectar los devanados en delta, se unen los terminales de distinta polaridad para formar un triángulo. La Fig. 13 ilustra una forma alternativa de visualizar las conexiones.

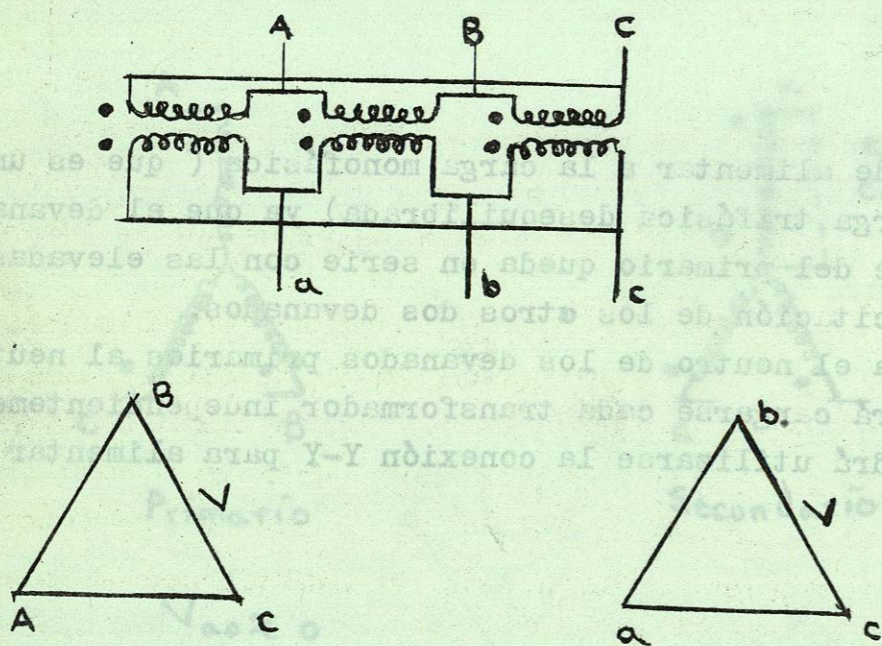


Fig. 12

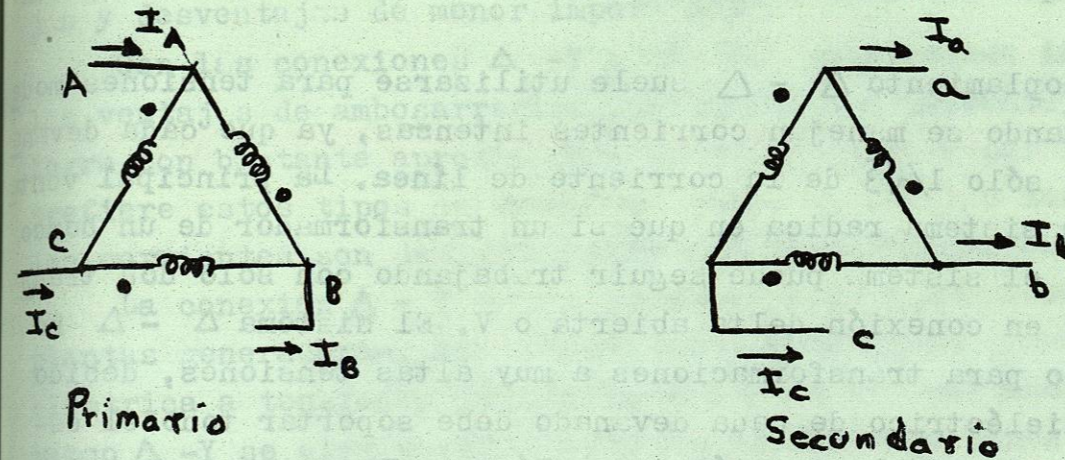


Fig. 13

Algunas de las características de esta conexión son evidentes de la Fig. 12. La relación de tensiones de línea es igual a la relación de transformación individual. No hay desfaseamiento entre las tensiones de línea del primario y secundario, es decir, V_{AC} está en fase con V_{ac} ; despreciando el pequeño desfaseamiento causado por la corriente de excitación y las reactancias de dispersión. En condiciones de equilibrio, la corriente de fase es igual a la corriente de línea entre $\sqrt{3}$; por ejemplo, en magnitud:

$$I_{Ac} = \frac{I_A}{\sqrt{3}}$$

No hay desfaseamiento entre las corrientes de línea de primario y sus correspondientes en el secundario, para los sentidos indicados en la Fig. 13. Se recuerda al lector que en una delta equilibrada, las corrientes de línea se desfasan 30° de las corrientes de fase.

Para que el sistema $\Delta - \Delta$ trabaje a su máxima eficiencia con cargas balanceadas, los devanados de la delta deben tener la misma impedancia interna, de lo contrario, tenderá a sobrecargarse el devanado de menor impedancia, en forma análoga a como se comportan las impedancias en paralelo (la corriente más intensa circula por la impedancia más pequeña). Cuando se hace la conexión