

VIII. CIRCUITOS TRIFÁSICOS

A menudo, se estudian redes o circuitos lineales de corriente directa (DC) con fuentes de valor constantes, los cuales tienen una amplia aplicación en el campo de la electrónica, puesto que la mayoría de los elementos eléctricos que se usan de forma cotidiana funcionan con este tipo de energía. Pero la electricidad que llega a nuestros hogares es producida a partir de una fuente de voltaje de magnitud variable en el tiempo conocidas como generadores eléctricos de corriente alterna (AC), los cuales están constituidos de tres devanados que se encargan de “transformar” un campo magnético en tensión o voltaje.

En muchas ocasiones los sistemas trifásicos son preferibles a los monofásicos por una serie de razones:

- La potencia de un motor trifásico es superior en un 150% a la de uno monofásico.
- Las componentes en un circuito trifásico pueden ser de un menor tamaño, lo cual reduce los costos.
- La potencia de un circuito monofásico cae a cero tres veces por ciclo, sin embargo, un circuito trifásico nunca cae a cero, por lo que le entrega la misma potencia a la carga.

Aunque también cuentan con una serie de desventajas; como el tener que utilizar tres conductores para la distribución de energía, usar tres interruptores por separado para la interrupción de corriente (uno para cada fase), la velocidad de máquinas rotativas es más difícil de regular que las de corriente continua y su manejo es más peligroso que el de los sistemas de corriente continua; su análisis toma una enorme importancia en el ámbito de la ingeniería.

VIII.1 Generador conectado en Y.

Si las tres terminales se conectan juntas, se conoce como generador trifásico conectado en Y. (Figura 1.1)

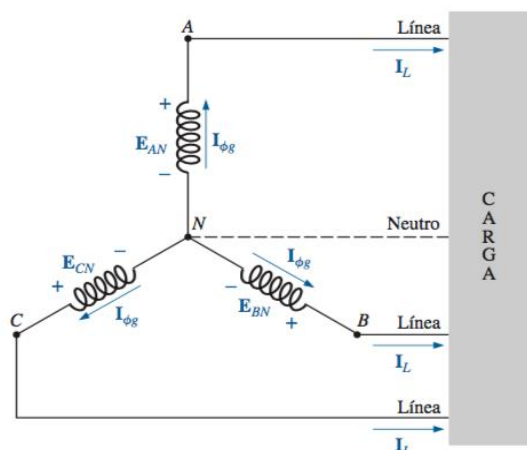


Figura 1.1

El punto en el cual todas las terminales están conectadas se llama punto neutro. Si un conductor no está conectado desde este punto a la carga, el sistema se llama generador de tres hilos, trifásico, conectado en Y. Si el neutro está conectado, el sistema es un generador de cuatro hilos, trifásico, conectado en Y. La función del neutro se analizará en detalle cuando consideremos el circuito de carga. Los tres conductores A, B, y C a la carga se llaman líneas. Para el sistema conectado en Y, la corriente de línea es igual a la corriente de fase para cada fase; esto es:

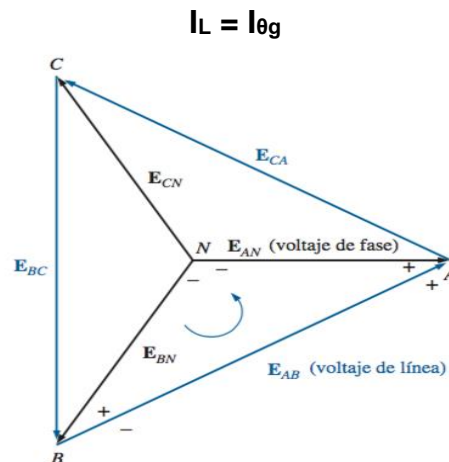


Figura 1.2

Donde θ indica una fase, y g es un parámetro de generador. El voltaje desde una línea a otra se llama voltaje de línea. En el diagrama fasorial (figura 1.2) es el fasor tratado del extremo de una fase al otro en sentido contrario de las manecillas de reloj.

Aplicando la ley de voltaje de Kirchhoff alrededor del lazo indicado en la figura (1.2) Obtenemos:

$$E_{AB} - E_{AN} + E_{BN} = 0$$

O bien:

$$E_{AB} = E_{AN} - E_{BN} = E_{AN} + E_{NB}$$

El diagrama fasorial se traza de nuevo para determinar el voltaje de línea (E_{AB}) (figura 1.3). Como cada voltaje de fase se invierte (E_{AB}), biseca las otras dos $\alpha = 60$. El ángulo β es de 30 . Las líneas trazadas entre los vértices opuestos de un rombo también se bisecan entre sí en ángulo rectos.

La longitud x es

$$x = E_{AB} \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} E_{AB}$$

$$E_{AB} = 2x = (2) \frac{\sqrt{3}}{2} E_{AN} = \sqrt{3} E_{AN}$$

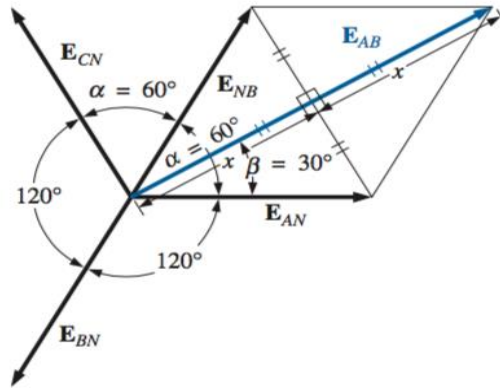


Figura 1.3

Secuencia de fases generador conectado en Y.

La secuencia de fases puede determinarse por el orden en que los valores que presentan los voltajes de fase pasan por un punto fijo en el diagrama fasorial si los fasores giran en un sentido contrario al de las manecillas del reloj. La secuencia de fases es muy importante en la distribución de potencia trifásica. La secuencia de fase también puede describirse en función de los voltajes de línea.

VIII.2 Generador conectado en Δ.

La figura (1.4) muestra el sistema generador de corriente alterna conectado en delta de tres hilos, trifásico. En este sistema, los voltajes de línea y de fase son equivalentes e iguales al voltaje inducido a través de cada bobina del generador.

$$E_{AB} = E_{AN} \text{ y } e_{AN} = \sqrt{2} E_{AN} \text{ Sen } \omega t$$

$$E_{BC} = E_{BN} \text{ y } e_{BN} = \sqrt{2} E_{BN} \text{ Sen } (\omega t - 120^\circ)$$

$$E_{CA} = E_{CN} \text{ y } e_{CN} = \sqrt{2} E_{CN} \text{ Sen } (\omega t + 120^\circ)$$

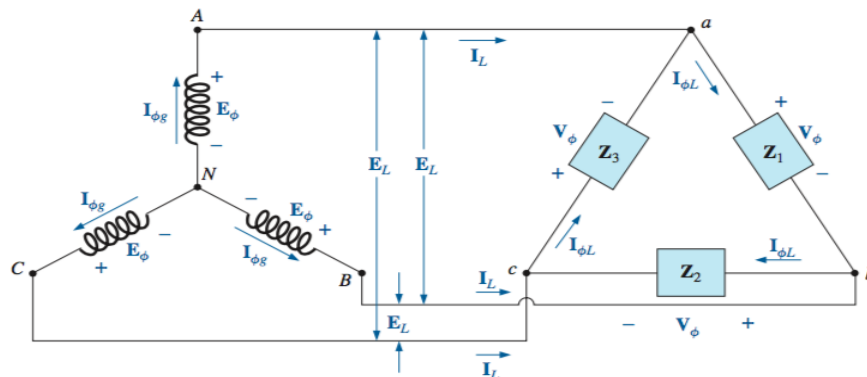


Figura 1.4

Secuencia de fases ABC
O bien

$$E_L = E_{\theta g}$$

Observe que solo hay un voltaje (magnitud) disponible en lugar de los dos que dispone el sistema conectado en Y. La corriente de línea para el sistema conectado en delta no es igual a la corriente de fase.

La relación entre las dos se determina aplicando la ley de la corriente de Kirchhoff. El diagrama fasorial se muestra en la figura 1.6 para una carga balanceada.

Secuencia de fases (generador conectado en delta).

Aun cuando los voltajes de línea y de fase de un sistema conectado en delta son los mismos es una práctica normal para describir la secuencia de fases en función de los voltajes de línea. El método que se sigue es el mismo que se describió para los voltajes de línea del generador conectado en Y.

VIII.3 Generador conectado en Y con una carga conectada en Y.

Las cargas conectadas a fuentes trifásicas son de dos tipos: Y y Δ . Si una carga conectada en Y se conecta a un generador conectado en Y se presenta como Y-Y. La configuración física de dicho sistema es la siguiente (figura 1.5)

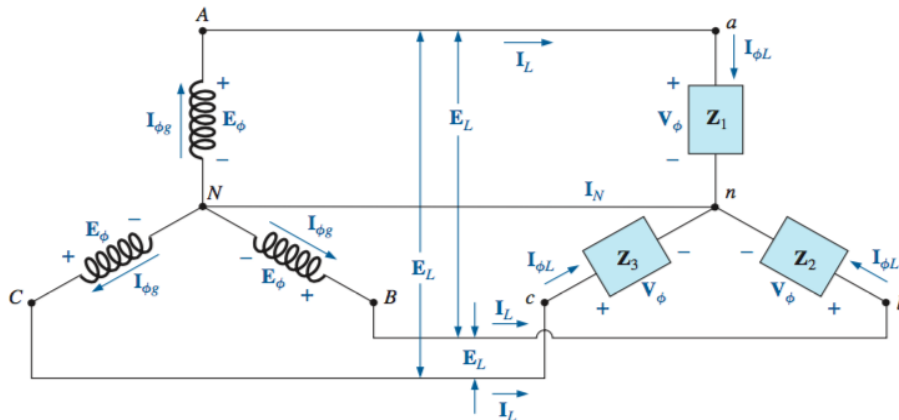


Figura 1.5

Si la carga esta balanceada puede quitarse la conexión neutra sin afectar el circuito de manera alguna es decir si:

$$Z_1 = Z_2 = Z_3$$

Entonces I_N será cero. Para tener una carga balanceada, el ángulo de fase debe ser el mismo para cada impedancia, condición que no era necesaria para corriente directa en los sistemas balanceados.

Sistema conectado en Y-Y de cuatro hilos.

La corriente que pasa a través de cada fase del generador es la misma que su corriente de línea correspondiente que a su vez está conectada en Y es igual a la corriente de la carga a la cual está conectada.

$$I_{\theta g} = I_L = I_{\theta L}$$

Para una carga balanceada o des balanceada, puesto que el generador y la carga tienen un punto neutro en común.

$$V_{\theta} = E_{\theta}$$

Además, como $I_{\theta L} = V_{\theta}/Z_{\theta}$ la magnitud de la corriente en cada fase es igual a la carga balanceada y desigual para una carga des balanceada.

Para la caída de voltaje a través de un elemento de carga el primer subíndice se refiere a aquella terminal a través de la cual entra la corriente al elemento de carga y el segundo se refiere a la terminal por donde sale la corriente. En términos más simples el primer subíndice es, por definición, positivo con respecto al segundo para una caída de voltaje.

VIII.4 Sistema Y-Δ.

No hay conexión neutral para el sistema Y-Δ de la figura (1.6). Cualquier variación en la impedancia de una fase que produzca un sistema desbalanceado, simplemente modifica las corrientes de línea y de fase del sistema.

Para una carga balanceada:

$$Z_1=Z_2=Z_3$$

El voltaje que pasa a través de cada fase de la carga es igual al voltaje de línea del generador para una carga balanceada o des balanceada.

$$V_{\theta} = E_L$$

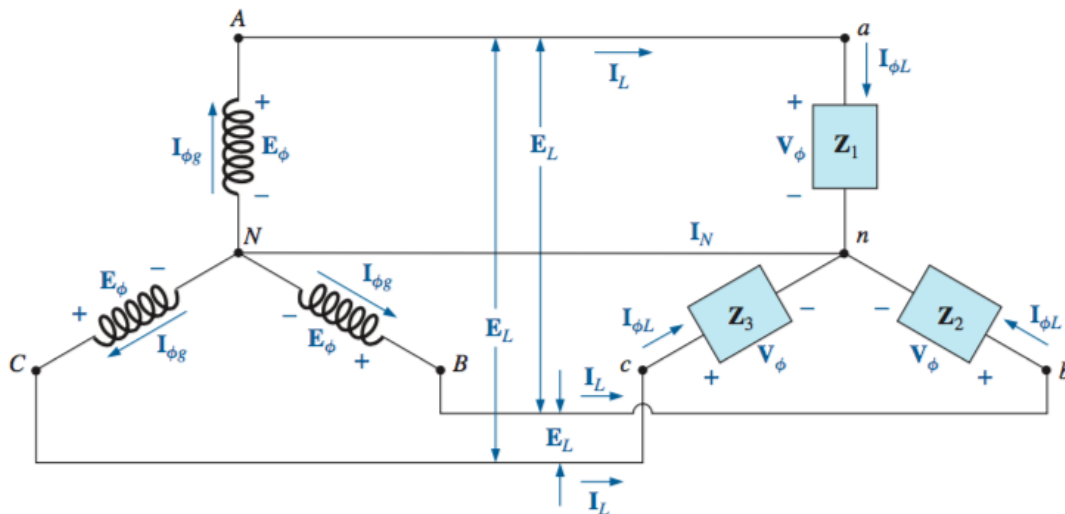


Figura 1.6

VIII.5 Conexiones en sistemas trifásicos de corriente alterna.

La mayor parte de la generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica se efectúa por medio de sistemas polifásicos¹; por razones económicas y operativas los sistemas trifásicos son los más difundidos. Los devanados de fase de los generadores y consumidores de corriente trifásica (motores, Transformadores, etc.) se conectan según el esquema en estrella [Y] o en triángulo (delta) [Δ].

VIII.6 Conexión en Y (Estrella).

Una conexión en estrella es una conexión trifásica donde existe un punto de conexión común, tal como se muestra en la (figura 1.7).

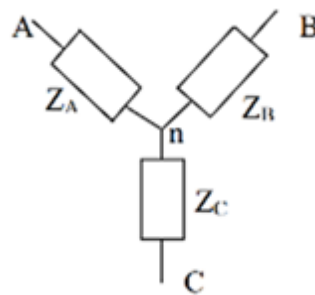


Figura 1.7

VIII.7 Conexión en Δ (Delta).

Una conexión en triángulo o delta, es una conexión trifásica donde no existe un punto común, a continuación, se ilustra una conexión de este tipo (figura 1.8).

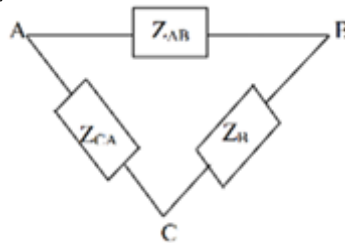


Figura 1.8

VIII.8 Configuración de las conexiones básicas en los sistemas trifásicos.

Los arrollamientos de cada fase del alternador poseen principios (A, B, C) y finales (A', B', C'). En la conexión en estrella (Y), todos los finales (o todos los principios) se reúnen en un punto común, que se denomina punto neutro (figura 1.9).

En la conexión en triángulo (Δ), el fin de la primera fase del generador se conecta al comienzo de la segunda y así sucesivamente, conectando todos los arrollamientos en serie, y constituyendo un cierre cíclico.

Las uniones de cada par de arrollamientos son los bornes accesibles del sistema trifásico resultante (figura 1.10). La suma vectorial de las f. e. m en un triángulo cerrado es cero, y por lo tanto, mientras no haya carga conectada a los bornes A, B y C no circulará la corriente por los arrollamientos del generador.

Sistema polifásico: es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por dos o más tensiones iguales con diferencia de fase constante.

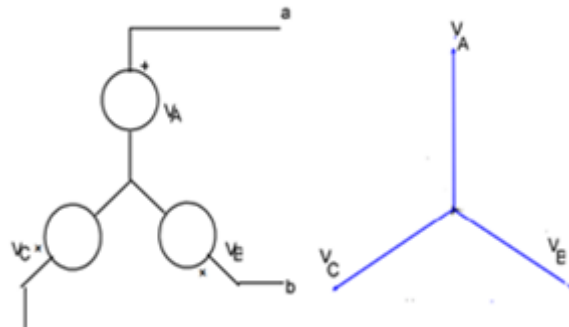


Figura 1.9

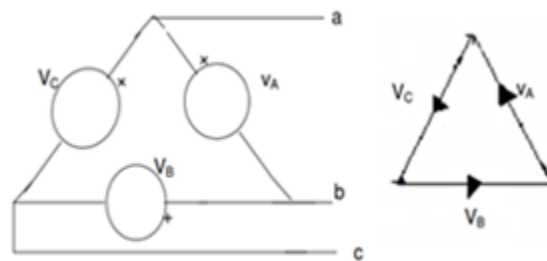


Figura 1.10

VIII.9 Características conexión estrella.

- En el punto de unión de las tres líneas los, voltajes se anulan, produciendo un potencial de cero voltios; a este punto se le conoce como punto neutro.
- A los voltajes medidos entre dos líneas cualesquiera se les conoce como voltajes de línea.
- A los voltajes medidos entre una línea cualesquiera y el neutro se le conoce como voltajes de fase o voltaje en la carga.
- Cuando se desconecta alguna de las fases, solamente se afecta a la carga que esa línea está alimentando.
- La corriente que demanda la línea, es también la corriente que consume la carga.

VIII.10 Características conexión delta.

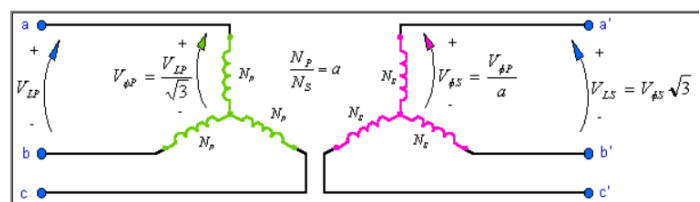
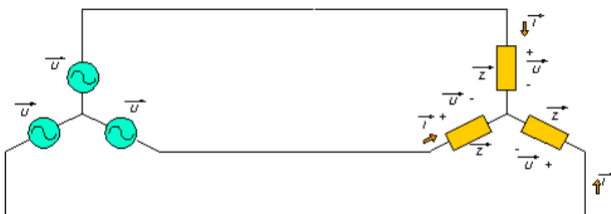
- A los voltajes medidos entre dos líneas cualesquiera se les conoce como voltajes de línea.
- El voltaje de línea es también el voltaje de fase; porque todo el voltaje de línea se aplica a cada carga.
- Cuando se desconecta alguna de las fases se afecta a dos cargas; dos de los voltajes se reducen a la mitad
- La corriente que demanda cada carga es menor a la corriente de línea.
- Las cargas conectadas en delta reciben mayor voltaje que las cargas conectadas en estrella.

Tipos de conexión (Relación Fuente – Carga).

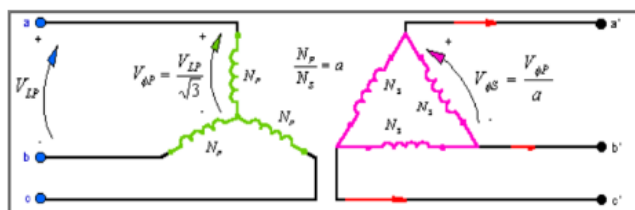
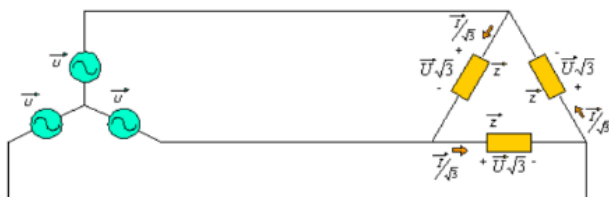
Dado que tanto el generador (fuente) como la carga se pueden conectar indistintamente en estrella o en triángulo, las conexiones posibles serán.

Fuente	Carga
Y	Y
Y	Δ
Δ	Y
Δ	Δ

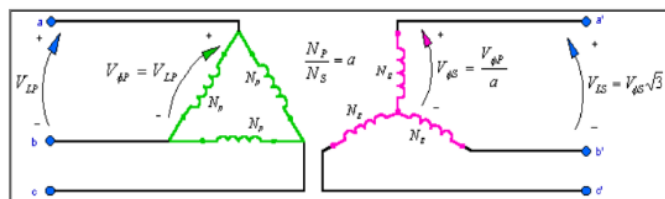
Circuito Trifásico Y – Y.



Circuito Trifásico Y - Δ.



Circuito Trifásico Δ – Y.



Circuito Trifásico Δ – Δ.

