

E.E.S.T N°8

MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y APLICACIONES II

CURSO 5º AÑO

### **CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE ALIMENTACIÓN**

Los sistemas trifásicos se utilizan con frecuencia en la generación, transporte y distribución de energía eléctrica. La ventaja de los sistemas trifásicos en la ingeniería se debe a las siguientes propiedades:

1. Para transportar una determinada energía, a una cierta tensión, el sistema trifásico es más económico que el sistema monofásico, a igualdad de potencia a transmitir e igualdad en las pérdidas en el cobre de la línea, ya que se obtiene un ahorro en el peso de cobre de un 25%.
2. La potencia instantánea de un sistema trifásico es constante, independientemente del tiempo, por ello los motores trifásicos tienen un par absolutamente uniforme, lo que evita vibraciones y esfuerzos en el rotor.
3. Los motores trifásicos pueden arrancar por sí mismos, sin embargo los motores monofásicos necesitan dispositivos especiales para conseguir su arranque.

Observe usted que de las 3 ventajas mencionadas, dos involucran a los motores trifásicos que ya analizaremos más adelante con profundidad. Por otra parte, las instalaciones domésticas o de pequeña entidad son monofásicas, pero esto no supone más que una derivación del sistema trifásico.

Un sistema trifásico está formado por tres ondas de tensión desfasadas  $120^\circ$  entre sí, existe mucho más para decir acerca de la generación, pero no aplica al presente curso.

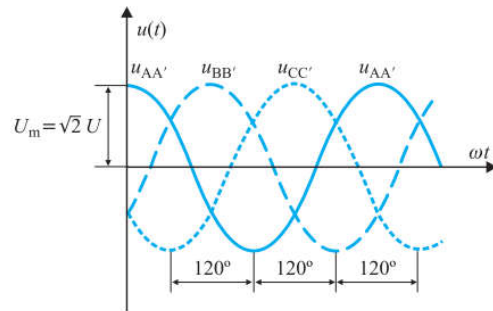


FIGURA 1-TENSIONES TRIFÁSICAS EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

Un sistema monofásico, es bien conocido por usted, se representa de la siguiente manera:



FIGURA 2-CIRCUITO MONOFÁSICO

El mismo está compuesto por una fuente, los conductores y una carga. Usted comúnmente conoce a la impedancia, como resistencia. Es importante que se familiarice con algunos términos, más generales, la resistencia eléctrica es uno de las componentes de la impedancia. Un sistema trifásico puede ser representado por tres fuentes independientes, de la siguiente manera:

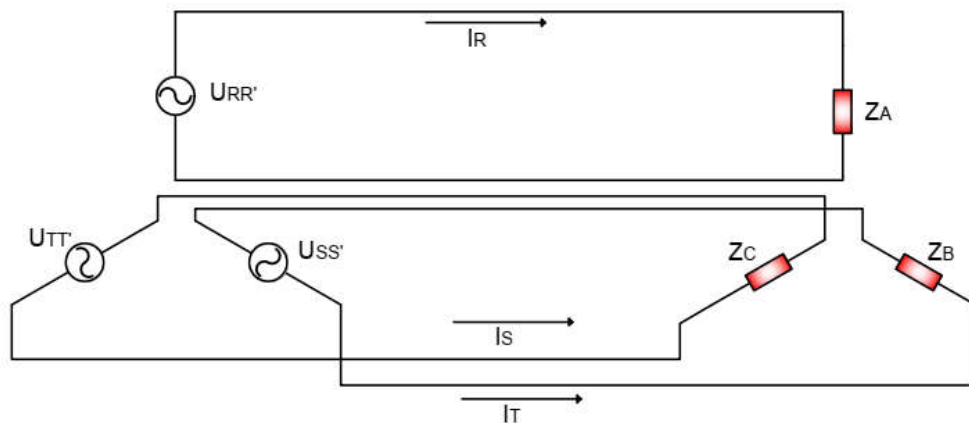


FIGURA 3- SISTEMA SEIS HILOS

En este circuito se tienen tres mallas independientes, por lo tanto las corrientes serán:

$$\dot{I}_R = \frac{\dot{U}_{RR'}}{\dot{Z}_A} ; \dot{I}_S = \frac{\dot{U}_{SS'}}{\dot{Z}_B} ; \dot{I}_T = \frac{\dot{U}_{TT'}}{\dot{Z}_C}$$

Si las tensiones y las impedancias son todas iguales, entonces las corrientes serán todas iguales en valores absolutos y desfasados en el mismo ángulo  $\varphi$  respecto a las tensiones correspondientes y por lo tanto separadas  $120^\circ$  entre sí. Por lo que los valores fasoriales de las corrientes suministradas por los generadores satisfacen la relación:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$$

Se dice entonces que las tres impedancias de carga constituyen un **sistema equilibrado**.

Si las impedancias de carga son diferentes en módulo y/o fase, las tres corrientes serán desiguales por lo que la suma será diferente de cero, se dice entonces que el receptor representa un **sistema desequilibrado**. Los sistemas equilibrados reúnen grandes ventajas, ya que lo que sucede en una fase, se repite en las otras dos con un desfase de  $120^\circ$ .

### CONEXIÓN EN ESTRELLA EQUILIBRADA

Para reducir el número de conductores que unen al generador con el receptor (carga), se puede utilizar un único conductor de retorno en lugar de los tres señalados, conectando a él los terminales finales de todas las fases del generador y de los receptores. A continuación se muestra el conexionado correspondiente:

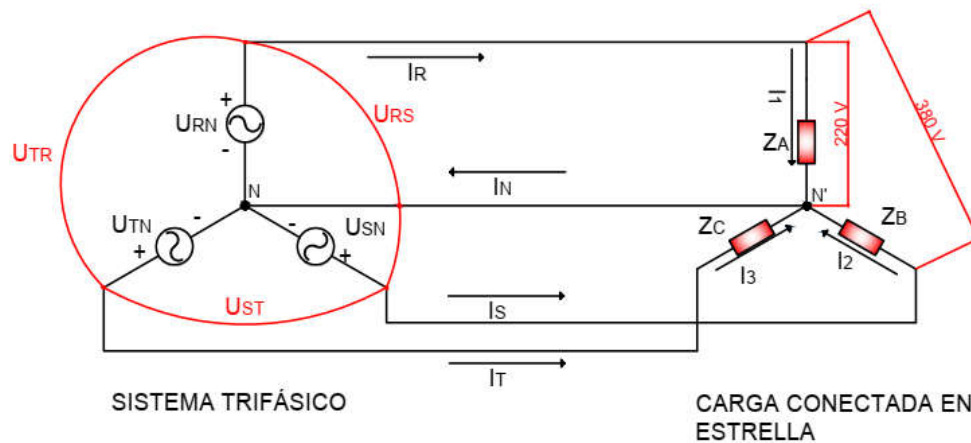


FIGURA 4 -CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA

Se dice entonces que tanto el generador como el receptor están conectados en estrella **Y**, es decir se constituye una red trifásica estrella-estrella (**Y-Y**), de cuatro conductores. Los tres conductores externos se denominan **conductores de fase** y el de retorno se llama **conductor neutro**.

Se denominan **tensiones simples** o **tensiones de fase** ( $U_F$ ), las tres tensiones  $U_{RN}$ ,  $U_{SN}$  y  $U_{TN}$ , de módulo  $U_F$  medidas entre cada conductor de fase y el punto neutro de la fuente. Sus expresiones fasoriales para un sistema simétrico directo, tomado la fase R como referencia, serán:

$$\dot{U}_{RN} = U_F e^{j0^\circ} = U_F \angle 0^\circ = U_F$$

$$\dot{U}_{SN} = U_F e^{-j120^\circ} = U_F \angle -120^\circ = U_F \left( -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

$$\dot{U}_{TN} = U_F e^{j120^\circ} = U_F \angle 120^\circ = U_F \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

Generalmente el punto neutro del generador se toma como potencial de referencia y suele estar conectado a tierra por lo que  $\dot{U}_N = 0$ .

Se denominan **tensiones compuestas** o **tensiones de línea** ( $U_L$ ), las tensiones medidas entre dos conductores de fase:  $\dot{U}_{RS}$ ,  $\dot{U}_{ST}$  y  $\dot{U}_{TR}$ . Las tensiones compuestas se pueden expresar respecto a las tensiones simples dando lugar a las siguientes relaciones:

$$\dot{U}_{RS} = \dot{U}_{RN} - \dot{U}_{SN} ; \dot{U}_{ST} = \dot{U}_{SN} - \dot{U}_{TN} ; \dot{U}_{TR} = \dot{U}_{TN} - \dot{U}_{RN}$$

Operando se concluye que el módulo de las tensiones de línea es  $\sqrt{3}$  veces el módulo de  $U_F$  de las tensiones simples, es decir:

$$U_L = \sqrt{3} U_F$$

Las corrientes  $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$  que se muestran, circulan por cada fase de la carga y se denominan **corrientes de fase** ( $I_F$ ). Aplicando la ley de Ohm en alterna se puede obtener sus valores, por ejemplo para  $I_1$ , será:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{RN}}{\dot{Z}_R}$$

Se denominan **corrientes de línea** ( $I_L$ ) a las corrientes externas  $\dot{I}_R, \dot{I}_S, \dot{I}_T$ , de esta manera en módulo, para cargas en estrella equilibrada se cumple que:

$$I_L = I_F = \frac{U_F}{Z}$$

Si aplicamos el primer lema de Kirchhoff veremos que la corriente que circula por el conductor neutro, para un sistema equilibrado, será  $\dot{I}_N = 0$ , no habrá corriente de retorno. Es evidente que si no hay presencia de corriente, tampoco existirá tensión entre los centros de estrella de la carga y del generador, por lo cual la existencia del cable neutro no es necesaria, y de esta manera se obtiene un sistema estrella-estrella a tres hilos.

**Un motor asincrónico presenta la misma impedancia por fase por lo que su conexión es Y-Y a tres hilos.**

### CONEXIÓN EN TRIÁNGULO EQUILIBRADO

Si conectamos tres impedancias de carga  $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dot{Z}_3$  directamente entre los conductores de una línea trifásica sin conductor de neutro que sale de los terminales de un generador trifásico, se obtiene la conexión de receptores en **triángulo**.

En este montaje no se necesita distinguir entre tensiones de fase y de línea, ya que la tensión entre el principio y fin de cada fase del receptor representa al mismo tiempo la tensión de línea. Es decir se cumple:

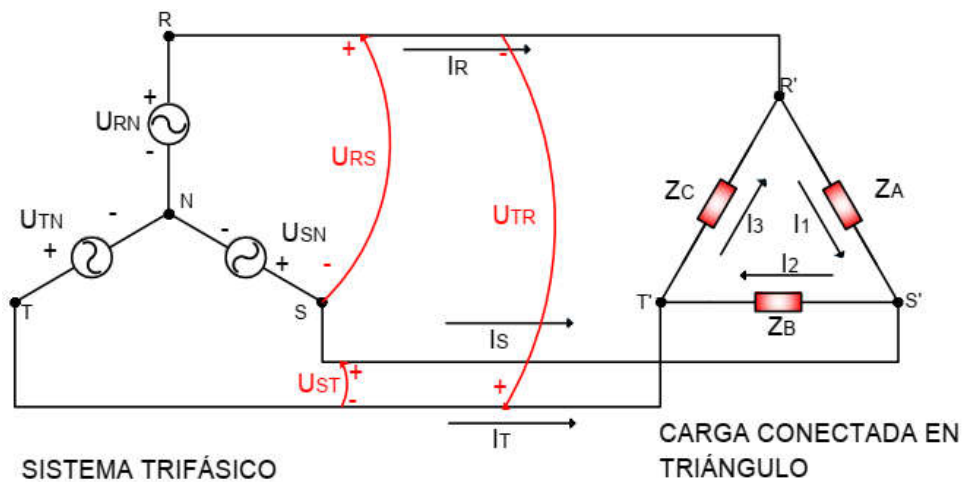


FIGURA 5- CONEXIONADO EN TRIÁNGULO

$$U_L = U_{F\Delta}(\text{En módulo})$$

En el caso de las corrientes de fase  $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$ , suponiendo que las cargas sean iguales en módulo y estén en fase, las corrientes se pueden calcular como:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{RS}}{\dot{Z}};$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{ST}}{\dot{Z}};$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{TR}}{\dot{Z}}$$

Por las líneas de unión generador-receptor circulan corrientes de línea  $\dot{I}_R, \dot{I}_S, \dot{I}_T$ , que se consideran positivas en el sentido generador-carga. Los valores se pueden calcular aplicando el primer lema de Kirchhoff a los nodos R', S' y T' de la carga, resultando:

$$\dot{I}_R = \dot{I}_1 - \dot{I}_3 \quad ; \quad \dot{I}_S = \dot{I}_2 - \dot{I}_1 \quad ; \quad \dot{I}_T = \dot{I}_3 - \dot{I}_2$$

A partir de lo anterior se puede concluir:

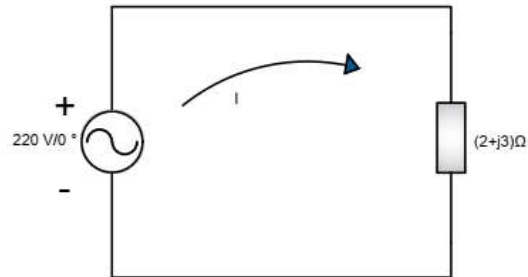
$$I_L = \sqrt{3}I_F$$

## GUÍA DE EJERCICIOS N°1: CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE ALIMENTACION

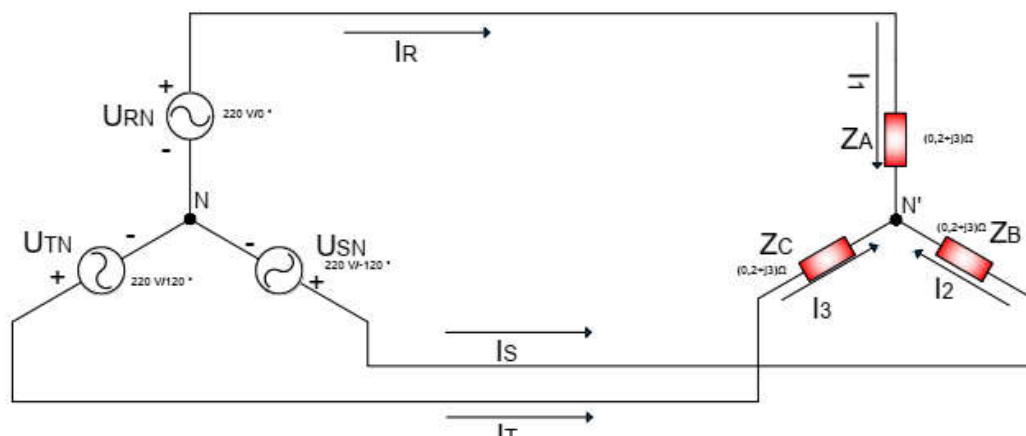
MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y APLICACIONES II

CURSO 5º AÑO

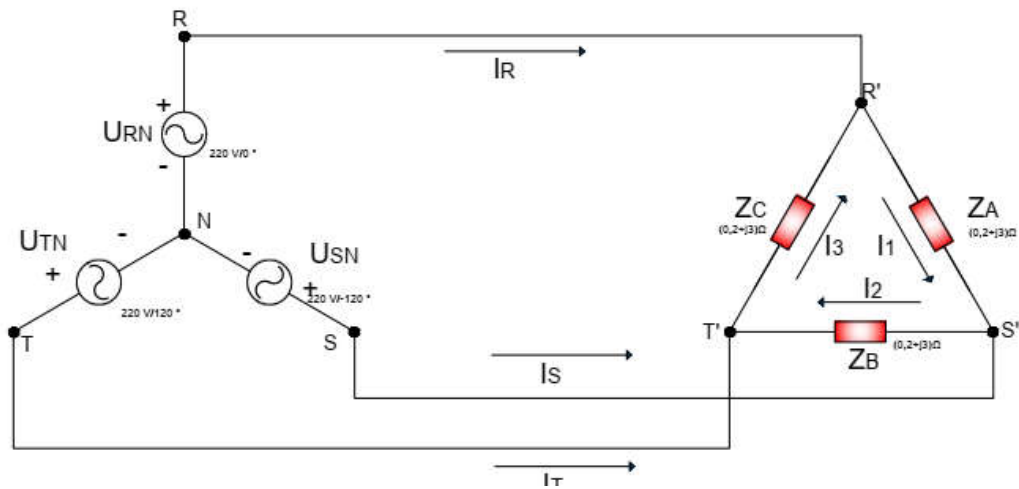
1. Se tiene un circuito monofásico con las siguientes características. Calcular la corriente que circula por él.



2. Para el siguiente circuito conectado en estrella equilibrado tres hilos, se pide calcular en módulo y ángulo:
  - a. Las tensiones de línea.
  - b. Las tensiones de fase.
  - c. Las corrientes de línea.
  - d. Las corrientes de fase.
  - e. La corriente de neutro.



3. Para el siguiente circuito conectado en triángulo equilibrado, se pide calcular en módulo y ángulo:
- Las tensiones de línea o compuestas.
  - Las tensiones de fase.
  - Las corrientes de línea.
  - Las corrientes de fase.



- Demuestre que en un sistema equilibrado estrella-estrella 4 hilos la corriente de neutro es nula.
- Demuestre la siguiente afirmación que aparece en el texto

$$U_L = \sqrt{3}U_F$$