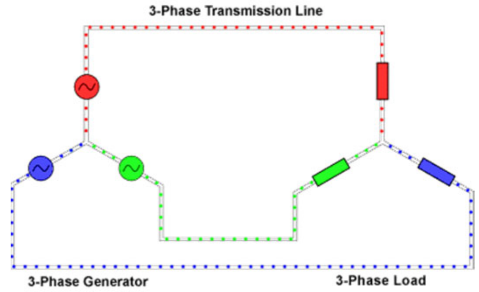
ELECTROTECNIA

Bloque: Teoría de Circuitos

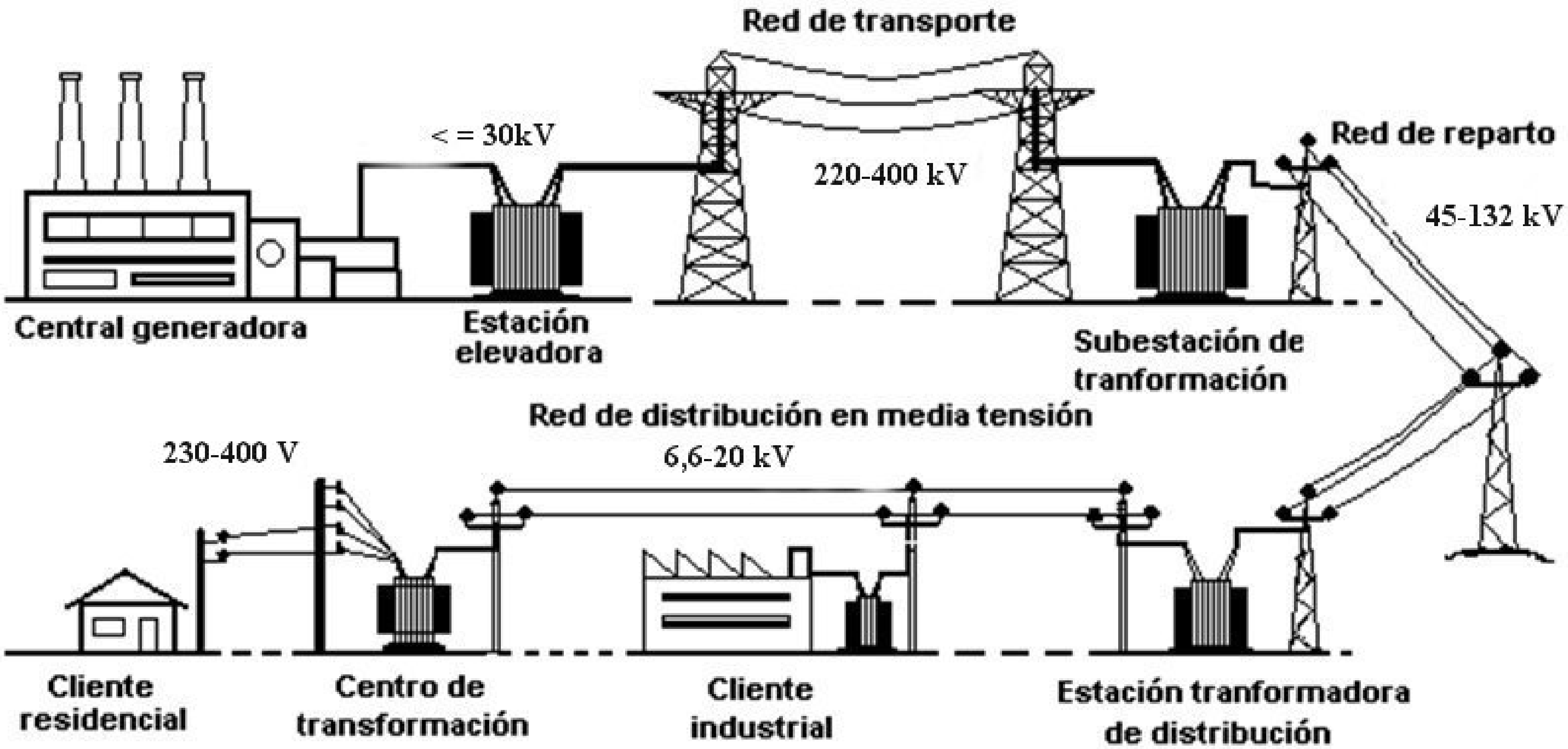
TEMA 9. SISTEMAS TRIFÁSICOS

Tema 9: Sistemas trifásicos



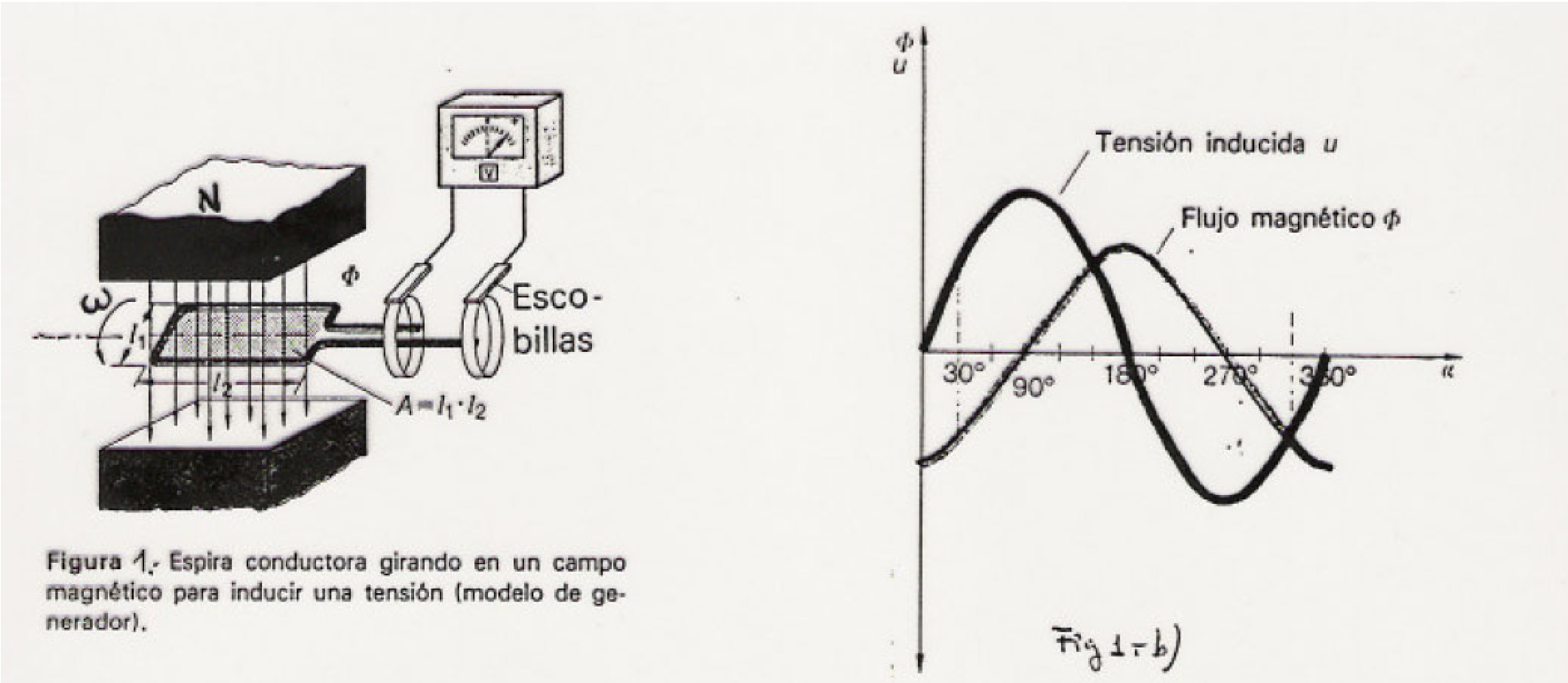
- **INDICE**
- Introducción
- Circuitos trifásicos equilibrados
- Magnitudes de línea y de fase
- Solución de circuitos trifásicos equilibrados
- Conversión estrella-triángulo

Introducción



Esquema simplificado del sistema eléctrico de potencia en España

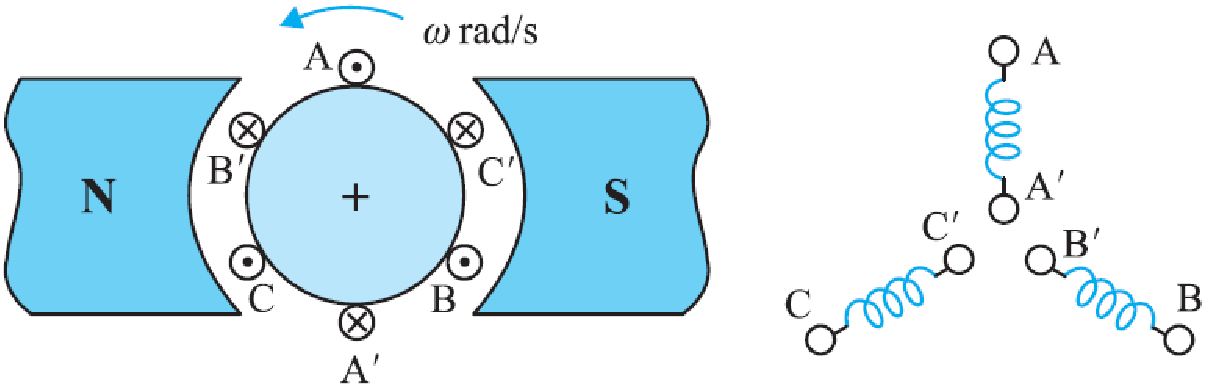
Introducción



Generador Monofásico con inductor fijo e inducido móvil.

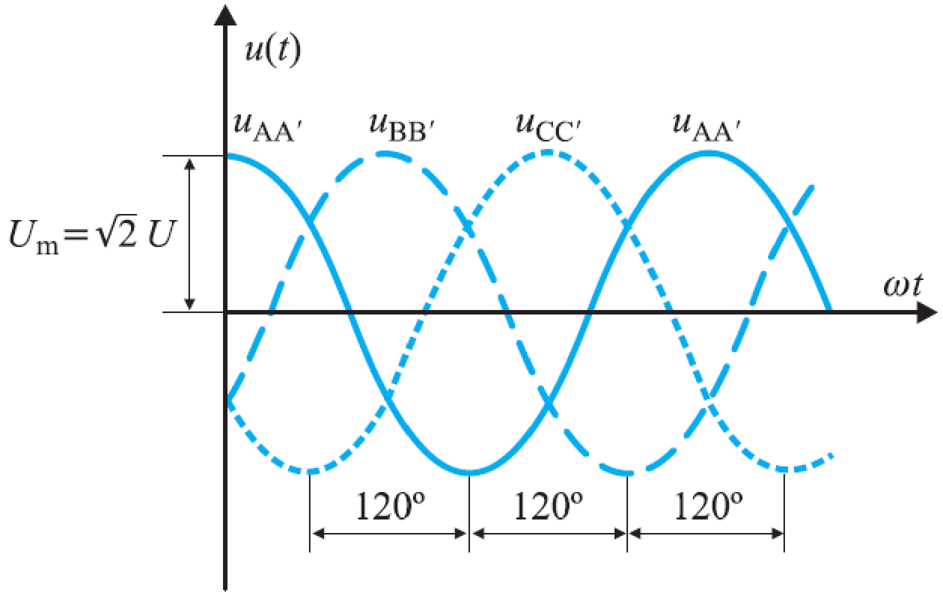
Introducción

Generador Trifásico con inductor fijo e inducido móvil.

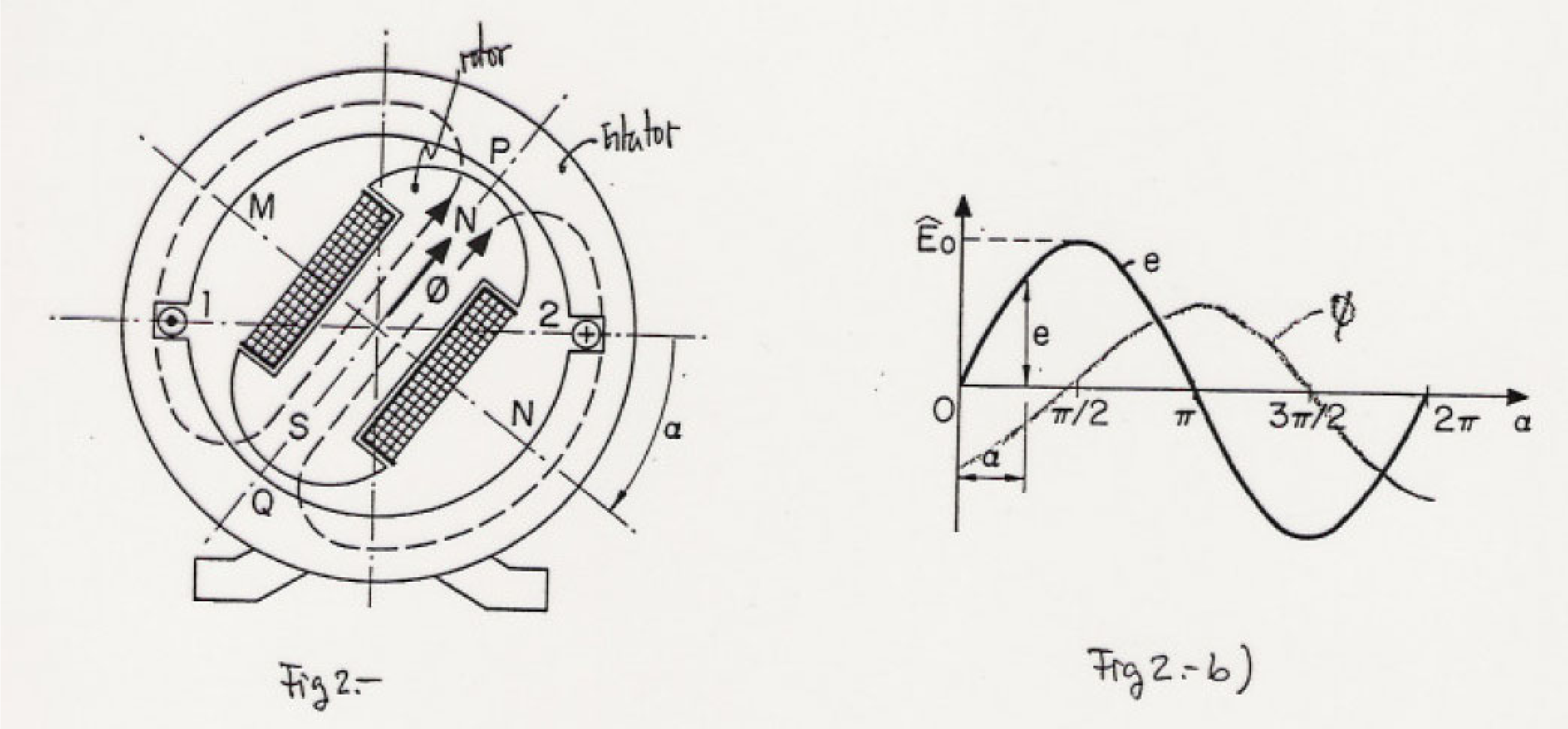


a) Generador trifásico

b) Bobinas equivalentes



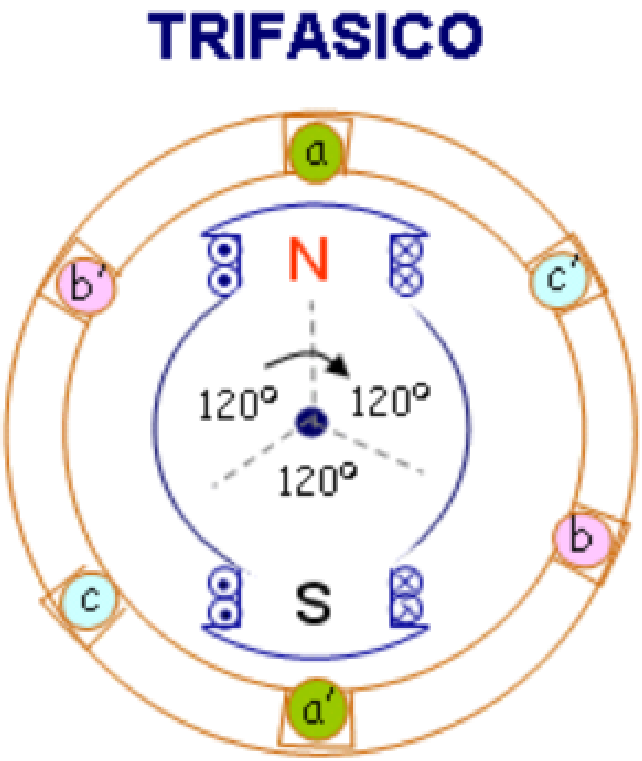
Introducción



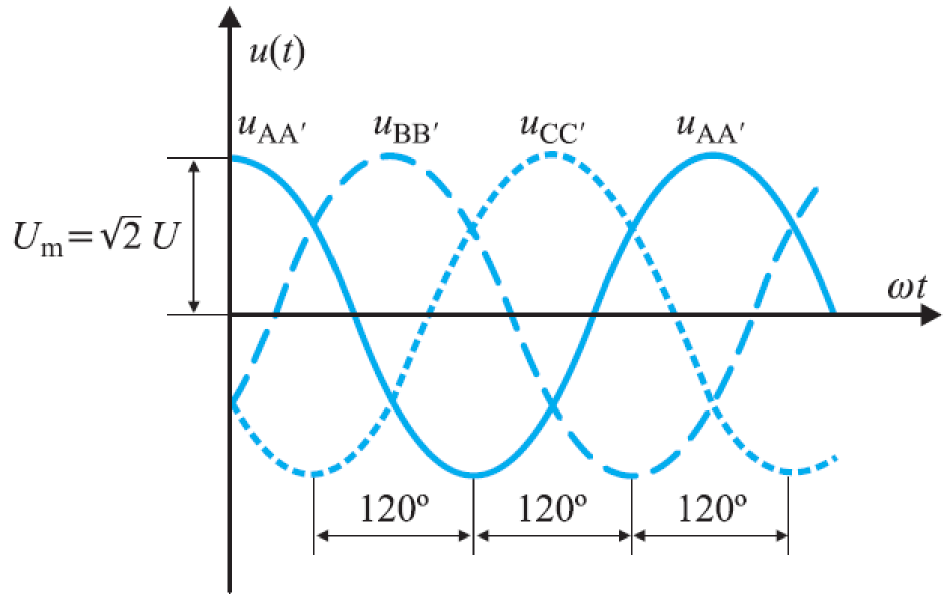
Generador Monofásico con inductor móvil e inducido fijo.

Introducción

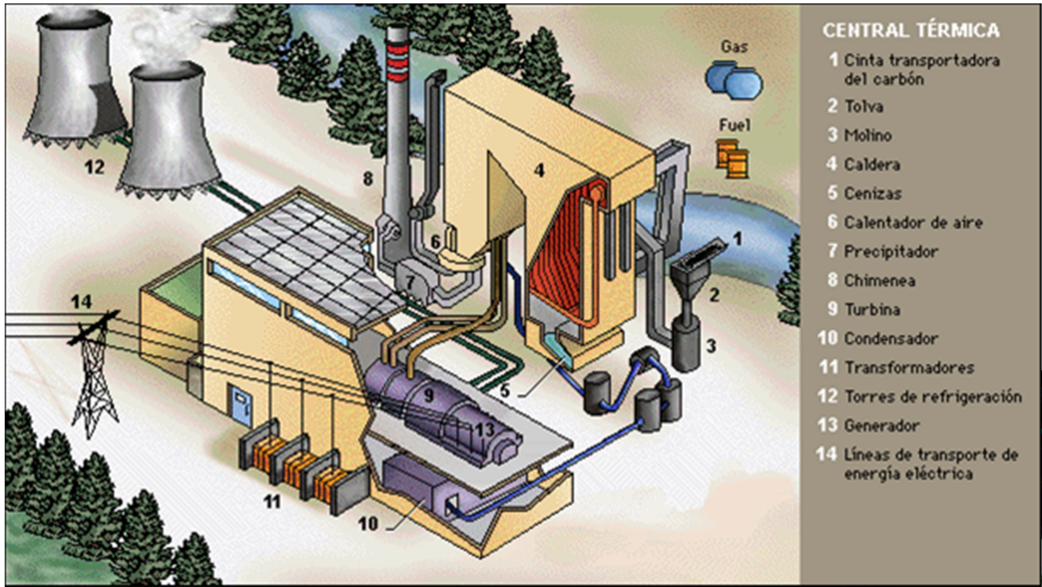
Generador Trifásico con inductor móvil e inducido fijo.



Tres devanados (a-a', b-b', c-c')
desfasados 120°



Introducción



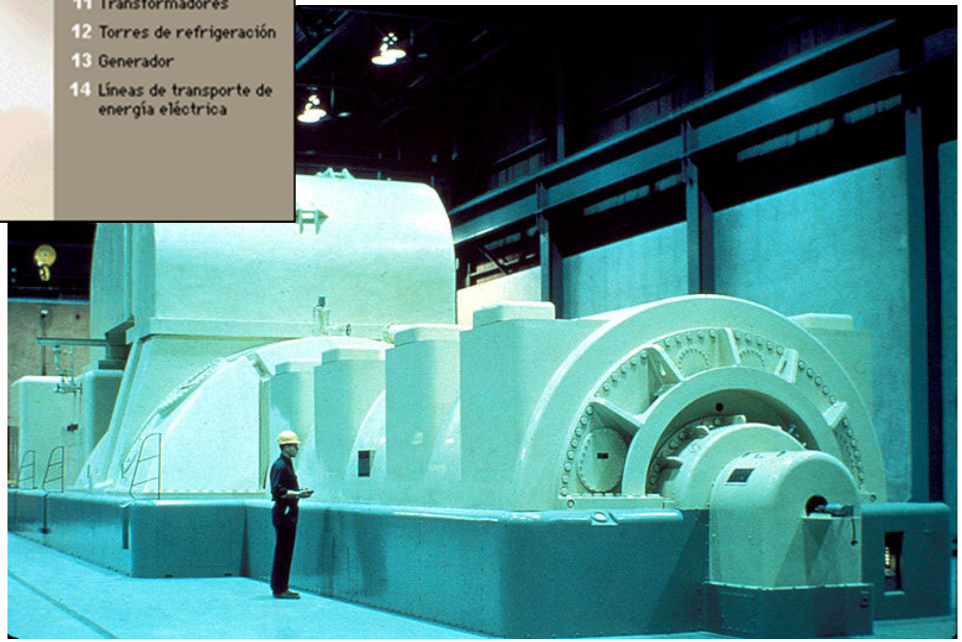
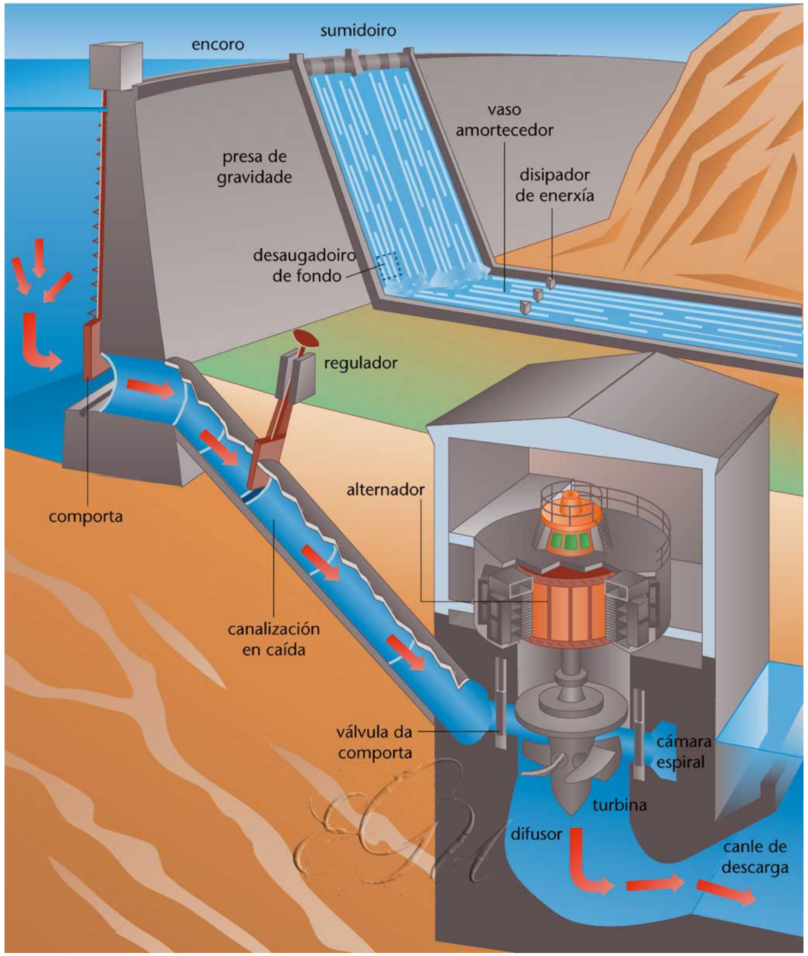
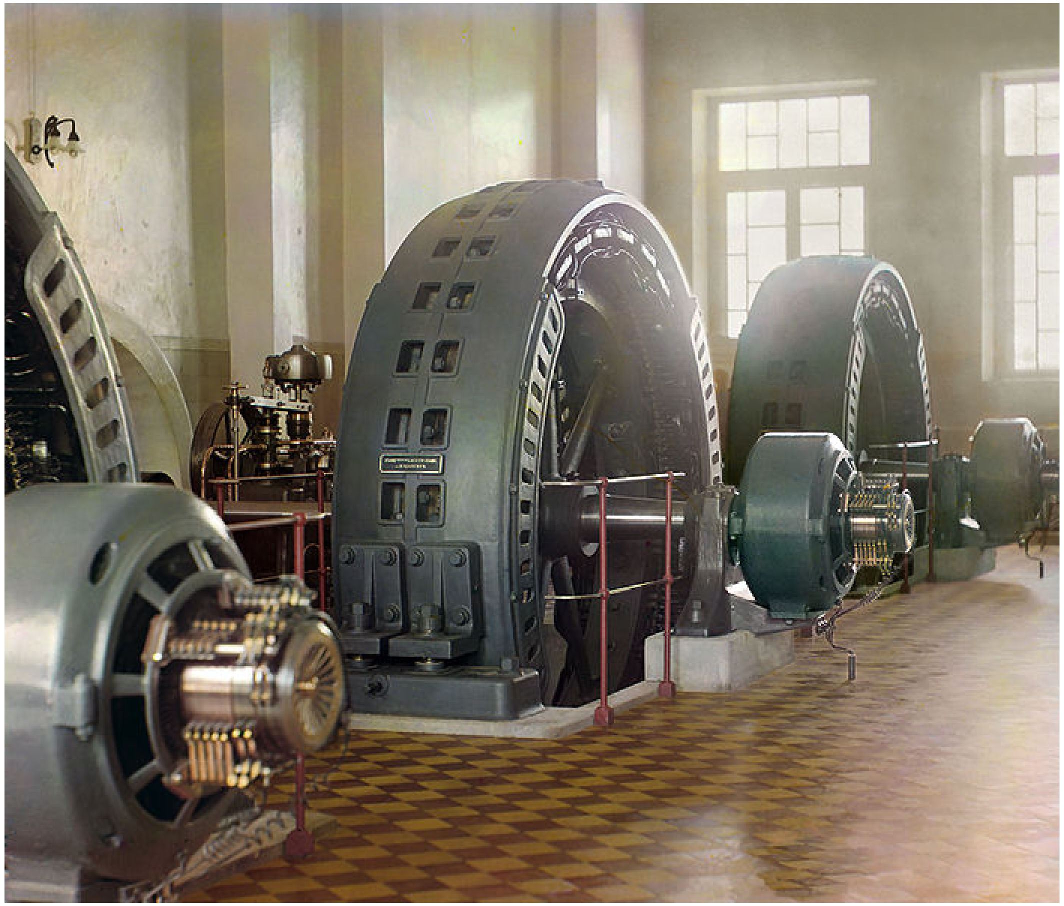


Imagen de un turboalternador en una central térmica para producción de energía eléctrica

Introducción





Alternadores de polos salientes en una central hidroeléctrica para producción de energía eléctrica

Circuitos trifásicos equilibrados

Sistema de Tensiones Inducidas

Dominio Temporal

$$e_1(t) = \sqrt{2} \cdot E \cdot \cos(\omega t)$$

$$e_2(t) = \sqrt{2} \cdot E \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$e_3(t) = \sqrt{2} \cdot E \cdot \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

Dominio frecuencia

$$\vec{E}_1 = E\angle 0$$

$$\vec{E}_2 = E\angle -\frac{2\pi}{3}$$

$$\vec{E}_3 = E\angle +\frac{2\pi}{3}$$

Origen de Fases

Secuencia Directa

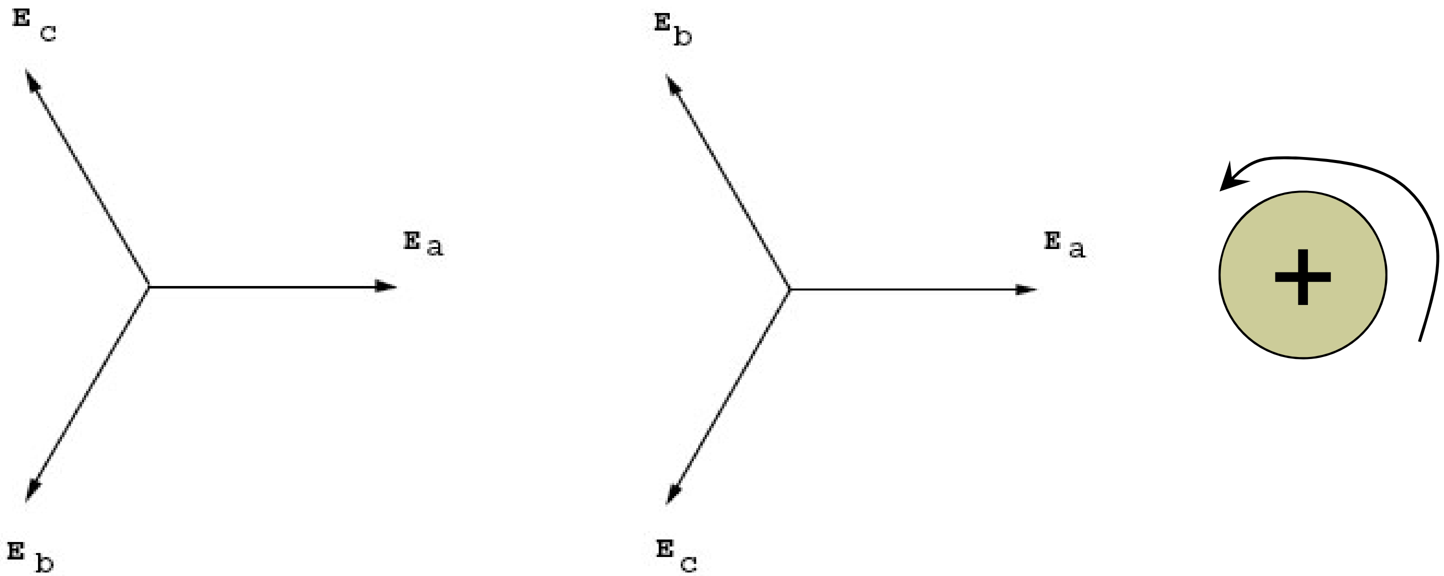
Circuitos trifásicos equilibrados

Secuencia directa

$$e_a(t) = \sqrt{2}\,E\cdot\cos\,\omega t$$
$$e_b(t) = \sqrt{2}\,E\cdot\cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$
$$e_c(t) = \sqrt{2}\,E\cdot\cos(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$

Secuencia inversa

$$e_a(t) = \sqrt{2}\,E\cdot\cos\,\omega t$$
$$e_b t) = \sqrt{2}\,E\cdot\cos(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$
$$e_c(t) = \sqrt{2}\,E\cos\,(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$



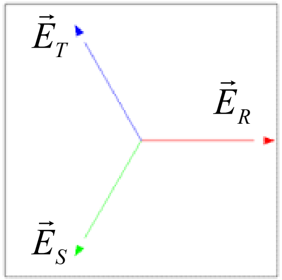
DIAGRAMAS FASORIALES

Circuitos trifásicos equilibrados

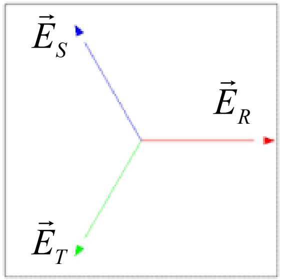
FASE: Cada una de las partes de un circuito donde se genera, transmite o utiliza una de las tensiones del sistema trifásico (R, S , T).

SECUENCIA DE FASES: Fijado un origen de fases (fase 1; R), es el orden en el que se suceden las fases restantes (2, 3; S, T).

<u>Secuencia Directa: R-S-T</u>



<u>Secuencia Inversa: R-T-S</u>



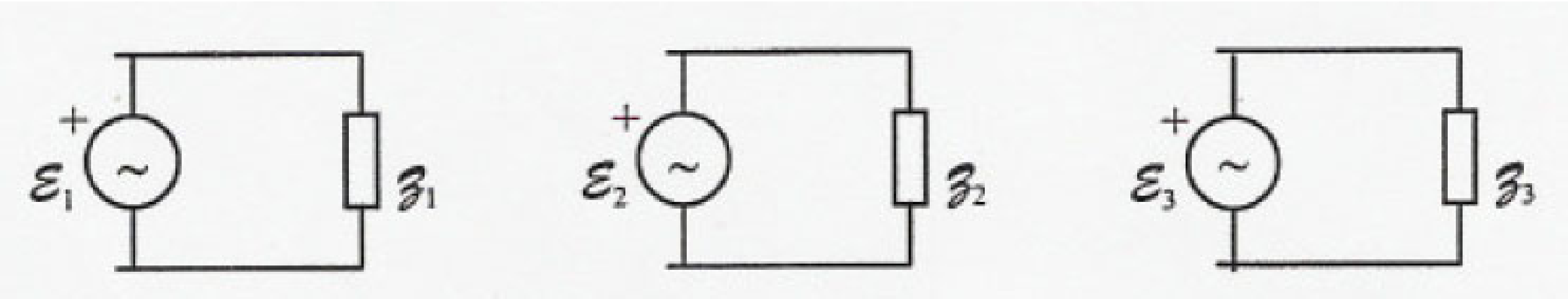
SISTEMA TRIFÁSICO EQUILIBRADO

$$\left|\vec{E}_R\right| = \left|\vec{E}_S\right| = \left|\vec{E}_T\right|$$

$$\vec{E}_R + \vec{E}_S + \vec{E}_T = 0$$

Circuitos trifásicos equilibrados

Conexión Independiente: Se emplea el sistema trifásico para alimentar tres cargas monofásicas individualmente. Requiere de 6 conductores para distribuir la energía



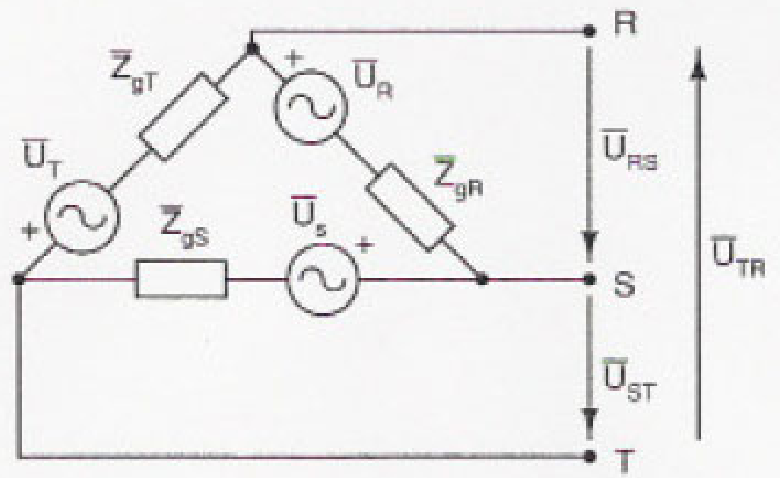
Para reducir el número de conductores, se emplea la conexión:

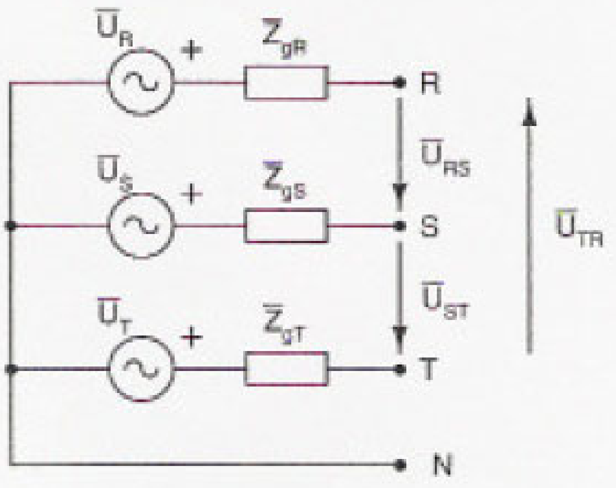
- ESTRELLA
- TRIÁNGULO

Circuitos trifásicos equilibrados

Conexión en TRIÁNGULO

Conexión en ESTRELLA





Punto NEUTRO de la fuente

Condiciones para que la Fuente Trifásica sea EQUILIBRADA

$$\vec{Z}_{gR} = \vec{Z}_{gS} = \vec{Z}_{gT}$$

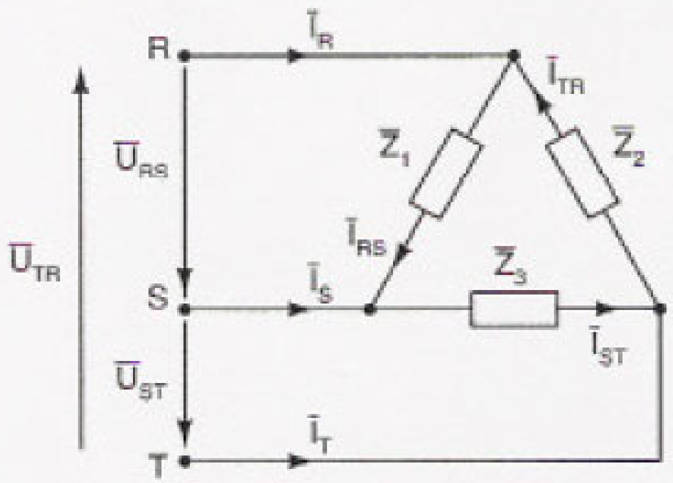
$$\left|\vec{U}_R\right| = \left|\vec{U}_S\right| = \left|\vec{U}_T\right|$$

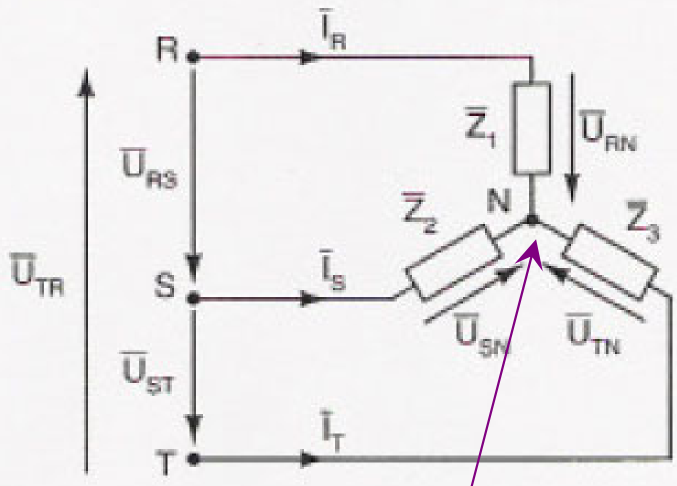
$$\vec{U}_R + \vec{U}_S + \vec{U}_T = 0$$

Circuitos trifásicos equilibrados

Conexión en TRIÁNGULO

Conexión en ESTRELLA



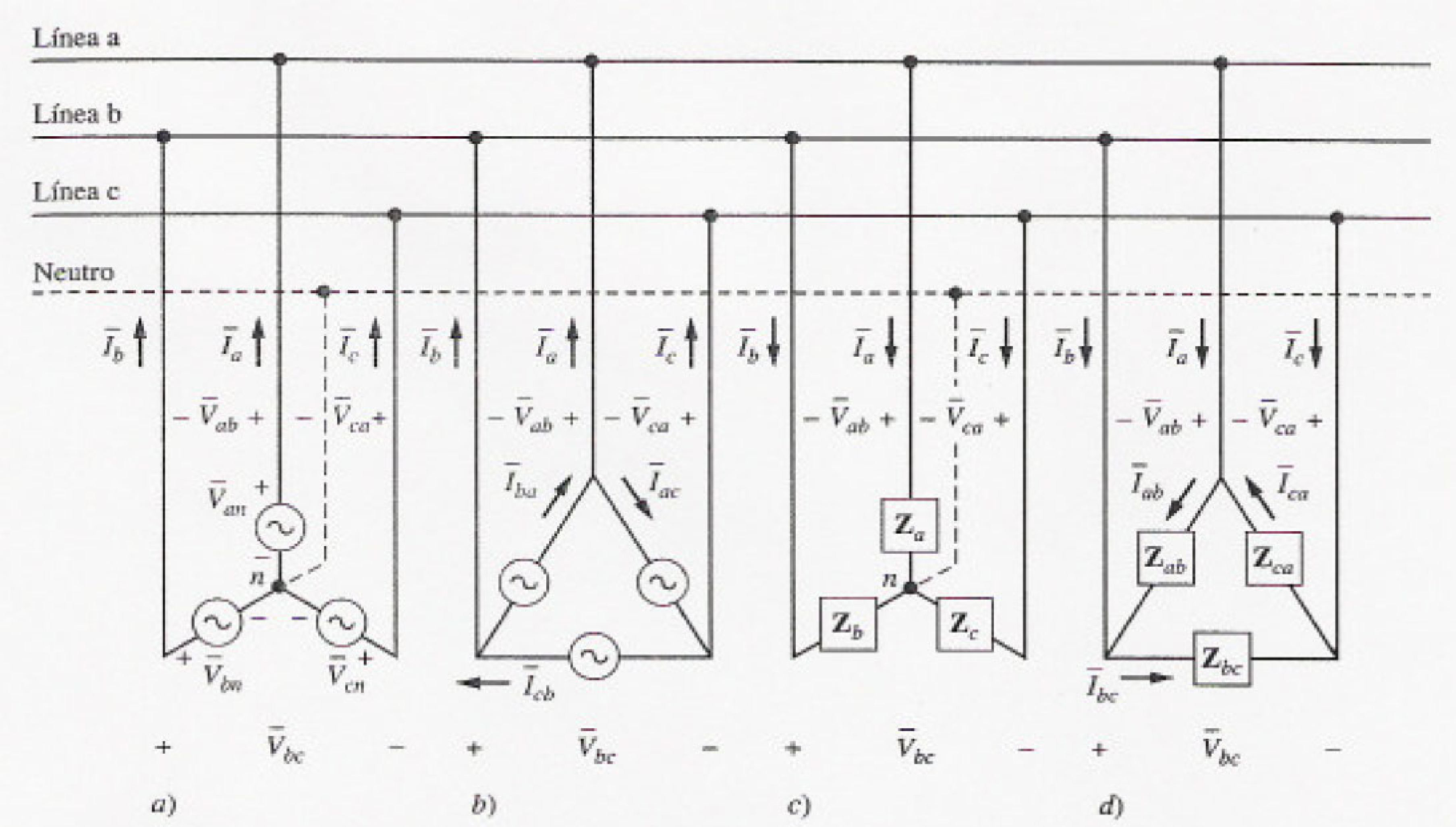


Punto NEUTRO de la carga

Condiciones para que la Carga Trifásica sea EQUILIBRADA

$$\boxed{\vec{Z}_1 = \vec{Z}_2 = \vec{Z}_3}$$

Circuitos trifásicos equilibrados

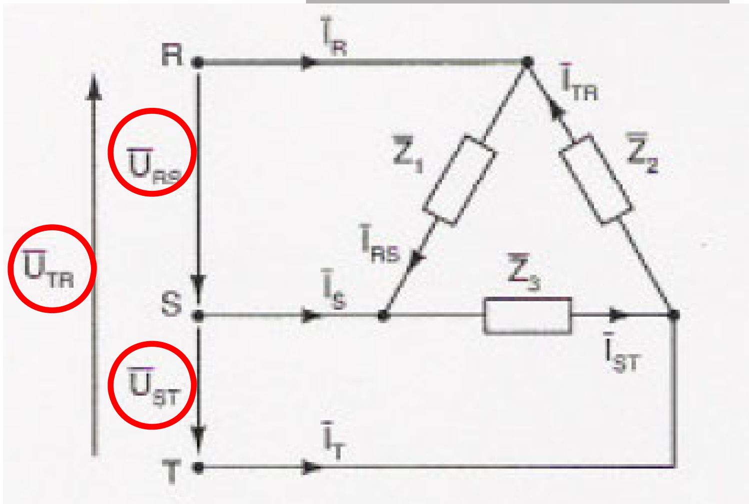


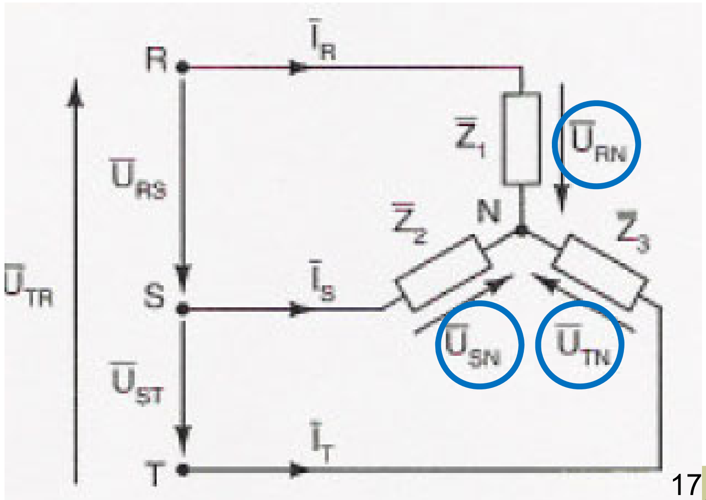
a) Generador trifásico en estrella; b) Generador trifásico en triángulo

c) Carga trifásica en estrella; d) Carga trifásica en triángulo

Magnitudes de fase y de línea

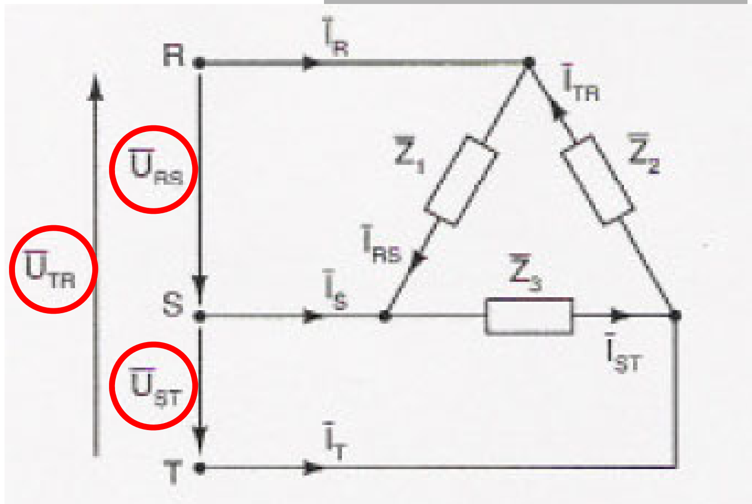
- TENSIÓN SIMPLE o de FASE: Es la diferencia de potencial que existe en cada una de las ramas monofásicas de un sistema trifásico.

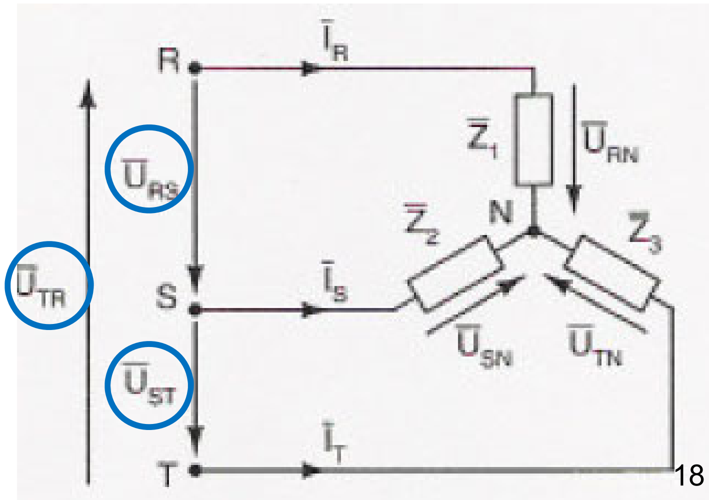




Magnitudes de fase y de línea

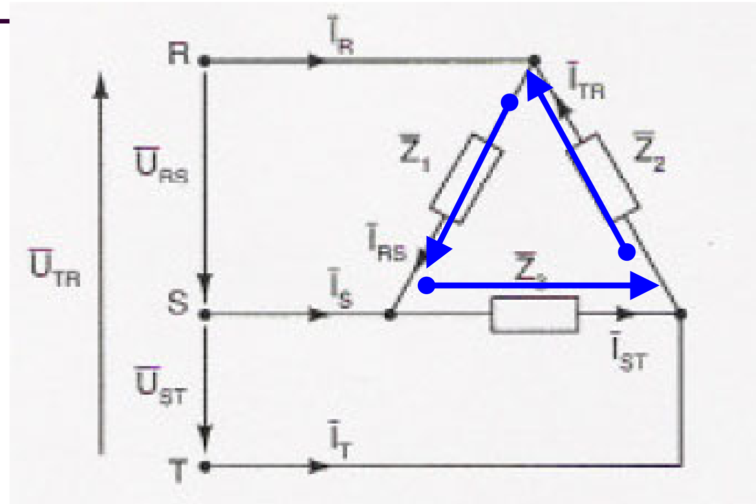
- TENSIÓN DE LÍNEA o COMPUESTA: Es la diferencia de potencial que existe entre dos conductores de línea o entre dos terminales de fase.

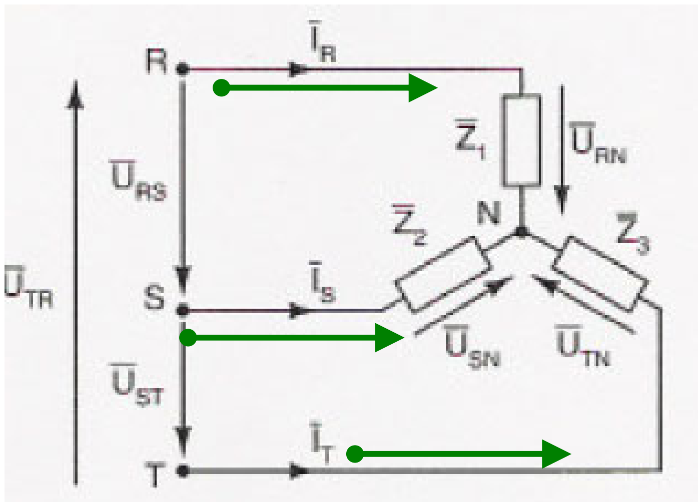




Magnitudes de fase y de línea

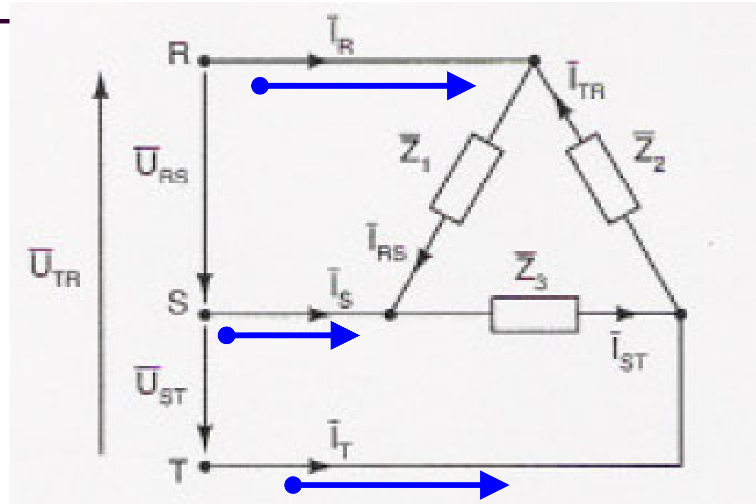
- INTENSIDAD de FASE: Es la que circula por cada una de las ramas monofásicas de un sistema trifásico.

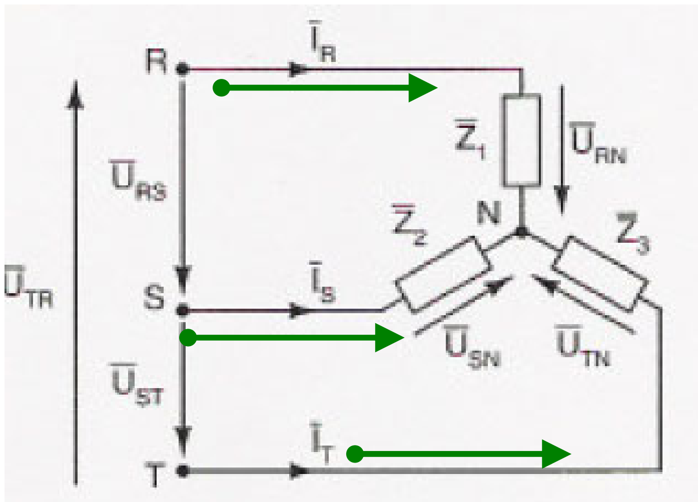




Magnitudes de fase y de línea

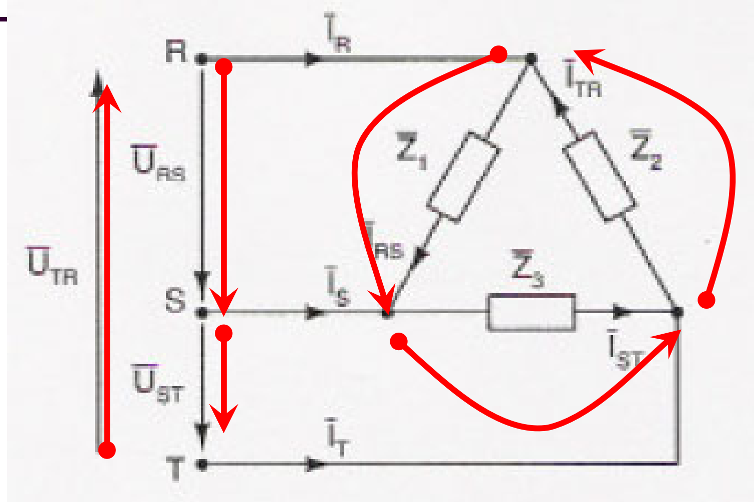
- INTENSIDAD de LÍNEA: Es la que circula por cada uno de los conductores de línea.

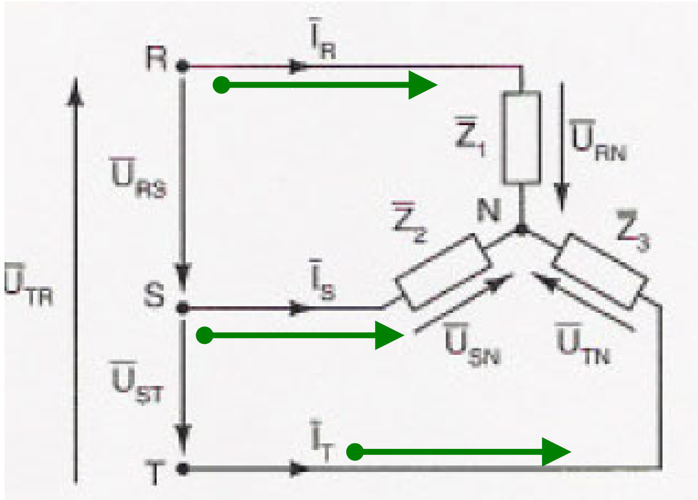




Magnitudes de fase y de línea

- La tensión compuesta y la tensión simple coinciden en un sistema conectado en triángulo.
- La corriente de fase y de línea coinciden en un sistema conectado en estrella.

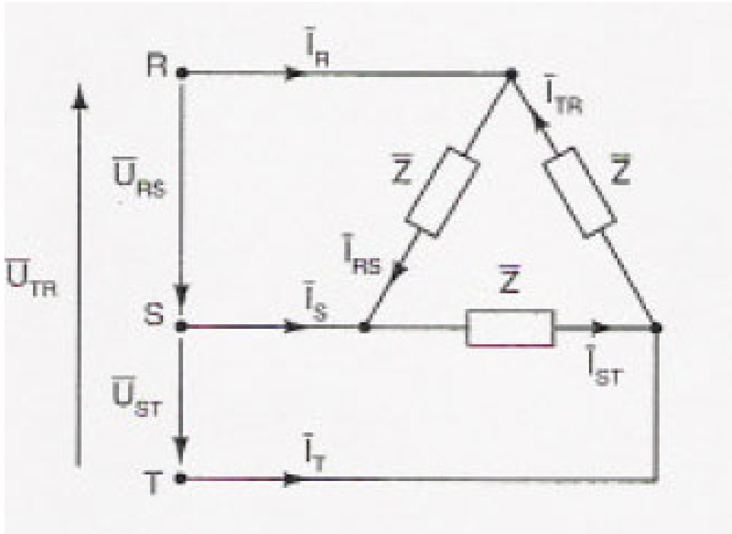




Magnitudes de fase y de línea

CONEXIÓN EN TRIÁNGULO

Las tensiones de fase y de línea coinciden, independientemente de la secuencia de fases del sistema.



$$U_L = E = U_{RS} = U_{ST} = U_{TR}$$

Magnitudes de fase y de línea

CONEXIÓN EN TRIÁNGULO

Corrientes de LÍNEA

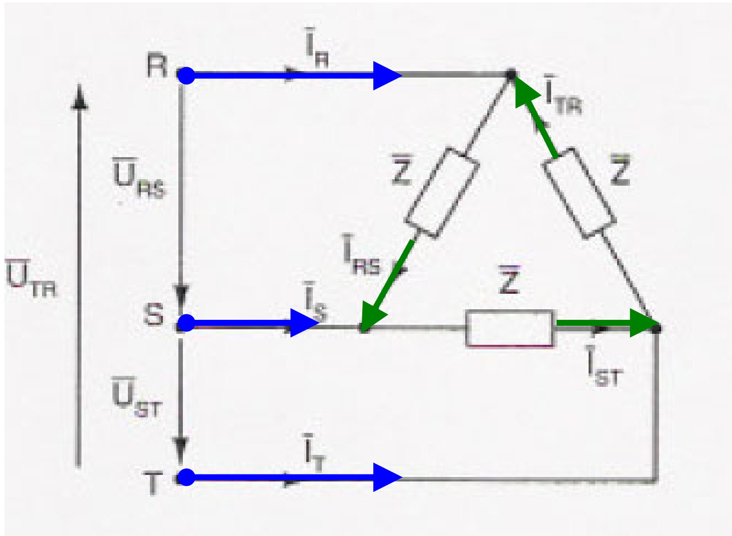
$$\vec{I}_R, \vec{I}_S, \vec{I}_T$$

$$\vec{I}_{RS} = I_F \angle 0$$

Corrientes de FASE

$$\vec{I}_{RS}, \vec{I}_{ST}, \vec{I}_{TR}$$

ORIGEN
DE FASES



Magnitudes de fase y de línea

Corrientes de FASE

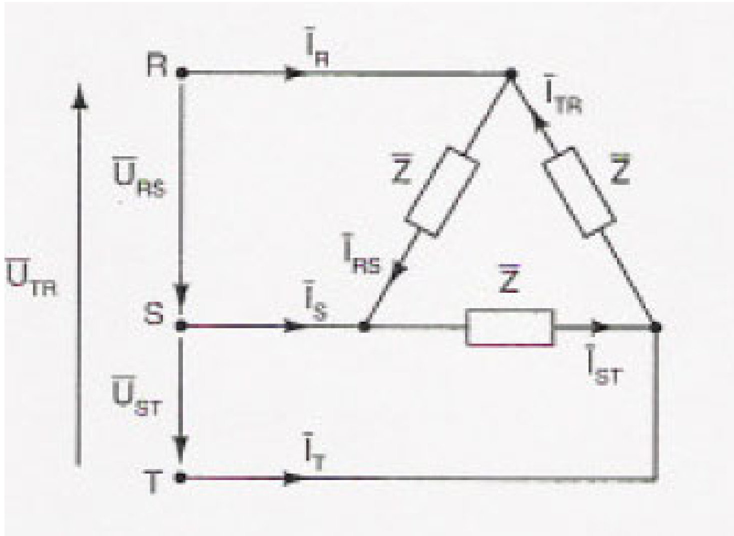
$$\vec{I}_{RS} = I_F \angle 0 \qquad \vec{I}_{RS} = I_F \angle 0$$

$$\vec{I}_{ST} = I_F \angle -120^o \qquad \vec{I}_{ST} = I_F \angle +120^o$$

$$\vec{I}_{TR} = I_F \angle +120^o \qquad \vec{I}_{TR} = I_F \angle -120^o$$

Secuencia DIRECTA

Secuencia INVERSA



Magnitudes de fase y de línea

CONEXIÓN EN TRIÁNGULO

Relación entre las corrientes de línea y las corrientes de fase

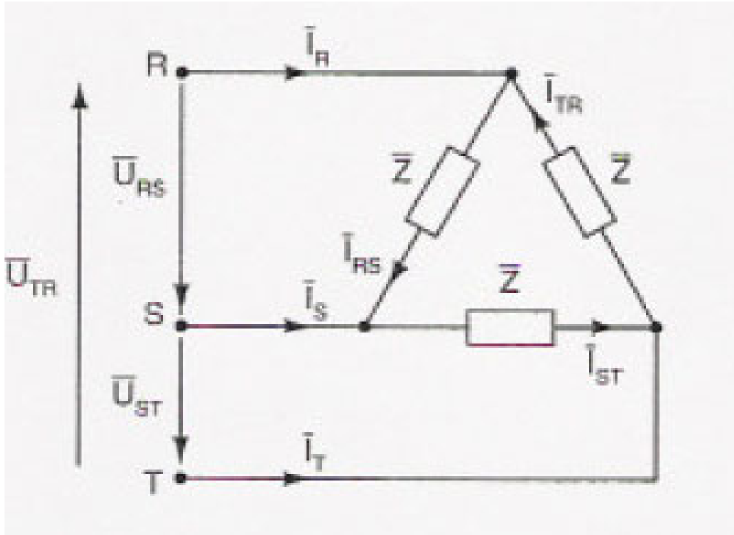
Corrientes de LÍNEA

$$\vec{I}_R = \vec{I}_{RS} - \vec{I}_{TR} = \vec{I}_{RS}\sqrt{3}\angle -30^{\circ}$$

$$\vec{I}_S = \vec{I}_{ST} - \vec{I}_{RS} = \vec{I}_{ST}\sqrt{3}\angle -30^{\circ}$$

$$\vec{I}_T = \vec{I}_{TR} - \vec{I}_{ST} = \vec{I}_{TR}\sqrt{3}\angle -30^{\circ}$$

Secuencia DIRECTA



$$\overrightarrow{I_R} = \overrightarrow{I_{RS}} - \overrightarrow{I_{TR}} = I_{RS}\underline{/0} - I_{RS}\underline{/120} = I_{RS}\cdot\left(1+0{,}5-j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = I_{RS}\cdot\sqrt{3}\underline{/-30}$$

Magnitudes de fase y de línea

CONEXIÓN EN TRIÁNGULO

Relación entre las corrientes de línea y las corrientes de fase

Corrientes de LÍNEA
SECUENCIA DIRECTA

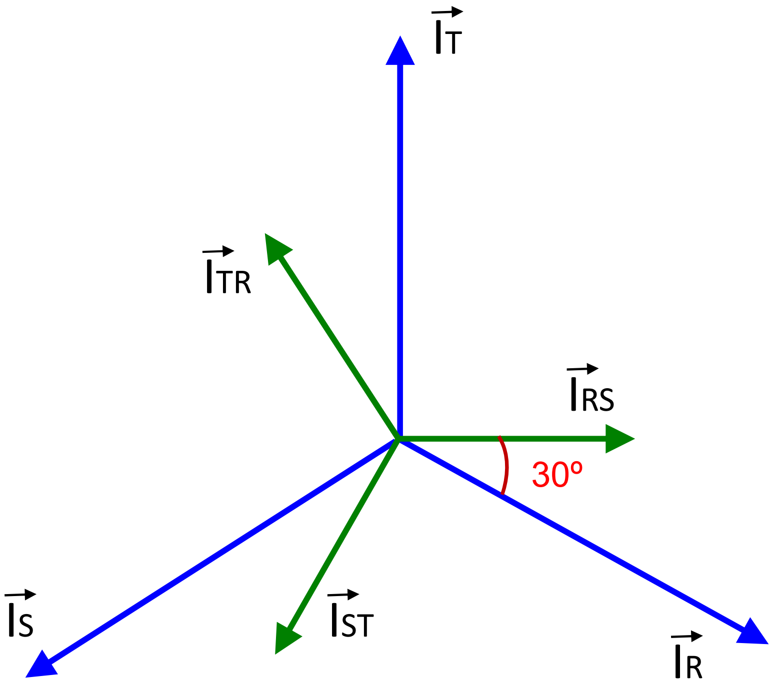
$$\vec{I}_R = \vec{I}_{RS} - \vec{I}_{TR} = \vec{I}_{RS}\sqrt{3}\angle -30^\circ$$

$$\vec{I}_S = \vec{I}_{ST} - \vec{I}_{RS} = \vec{I}_{ST}\sqrt{3}\angle -30^\circ$$

$$\vec{I}_T = \vec{I}_{TR} - \vec{I}_{ST} = \vec{I}_{TR}\sqrt{3}\angle -30^\circ$$

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

Intensidad de línea retrasa 30º
respecto a la de fase



Magnitudes de fase y de línea

CONEXIÓN EN TRIÁNGULO

Relación entre las corrientes de línea y las corrientes de fase

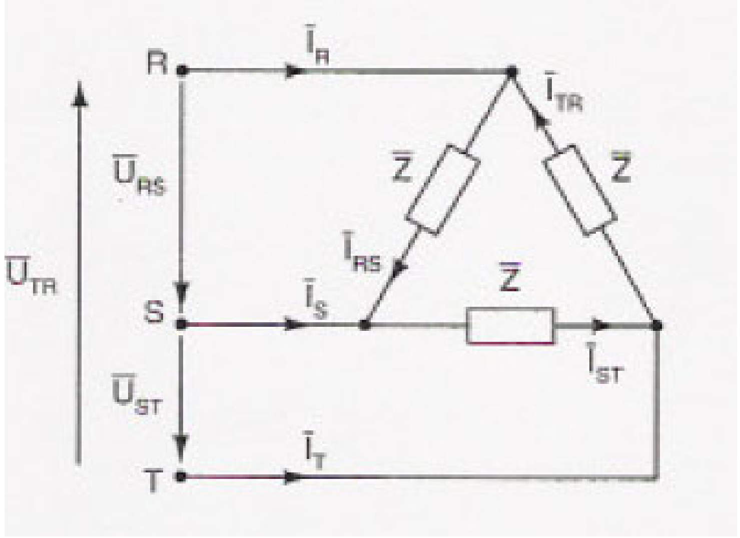
Corrientes de LÍNEA

$$\vec{I}_R = \vec{I}_{RS} - \vec{I}_{TR} = \vec{I}_{RS}\sqrt{3}\angle +30^{o}$$

$$\vec{I}_S = \vec{I}_{ST} - \vec{I}_{RS} = \vec{I}_{ST}\sqrt{3}\angle +30^{o}$$

$$\vec{I}_T = \vec{I}_{TR} - \vec{I}_{ST} = \vec{I}_{TR}\sqrt{3}\angle +30^{o}$$

Secuencia INVERSA



Magnitudes de fase y de línea

CONEXIÓN EN TRIÁNGULO

Corrientes de LÍNEA
SECUENCIA INVERSA

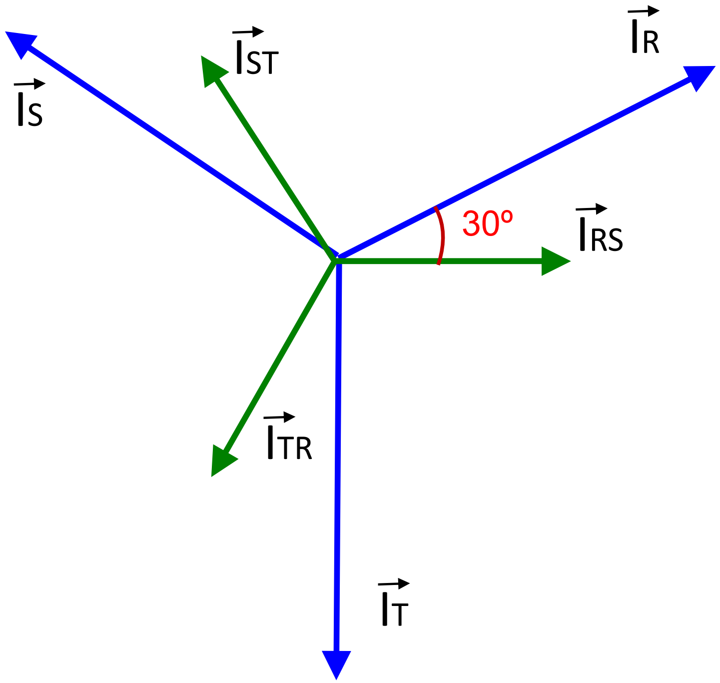
$$\vec{I}_R = \vec{I}_{RS} - \vec{I}_{TR} = \vec{I}_{RS}\sqrt{3}\angle +30^{o}$$

$$\vec{I}_S = \vec{I}_{ST} - \vec{I}_{RS} = \vec{I}_{ST}\sqrt{3}\angle +30^{o}$$

$$\vec{I}_T = \vec{I}_{TR} - \vec{I}_{ST} = \vec{I}_{TR}\sqrt{3}\angle +30^{o}$$

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

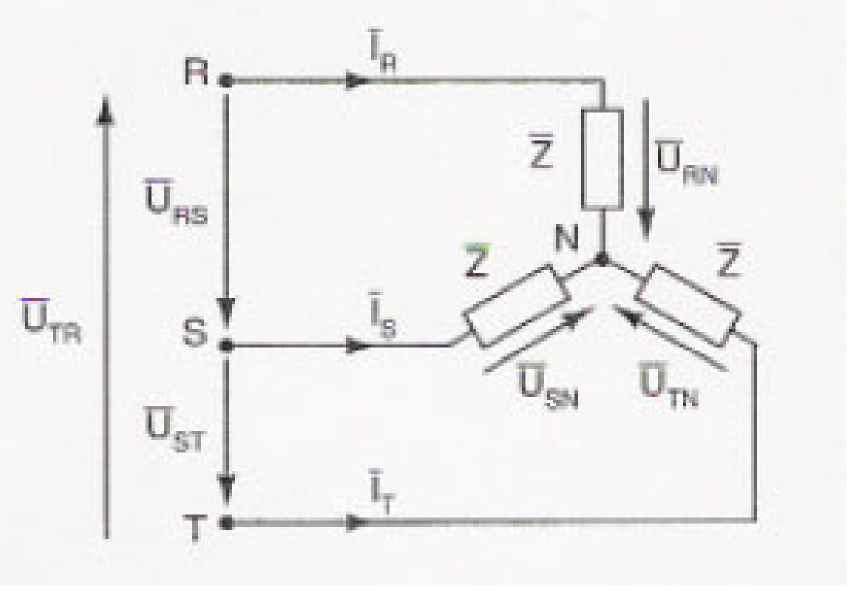
Intensidad de línea adelanta 30º respecto a la de fase



Magnitudes de fase y de línea

CONEXIÓN EN ESTRELLA

Las corrientes de fase y de línea coinciden, independientemente de la secuencia de fases del sistema.



$$I_L = I_F = I_R = I_S = I_T$$

Magnitudes de fase y de línea

CONEXIÓN EN ESTRELLA

Tensiones de LÍNEA

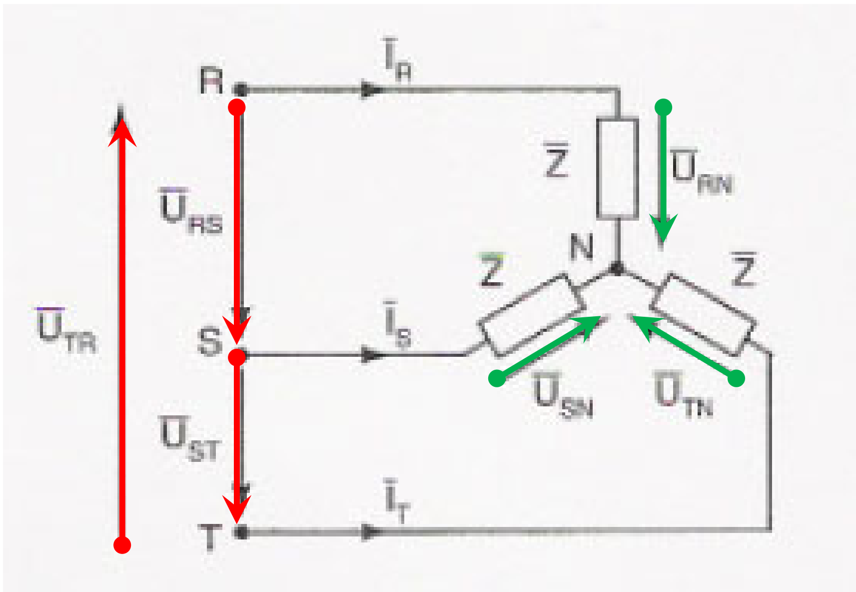
$$\vec{U}_{RS}, \vec{U}_{ST}, \vec{U}_{TR}$$

Tensiones de FASE

$$\vec{U}_{RN}, \vec{U}_{SN}, \vec{U}_{TN}$$

$$\vec{U}_{RN} = E\angle 0^{o}$$

ORIGEN DE FASES

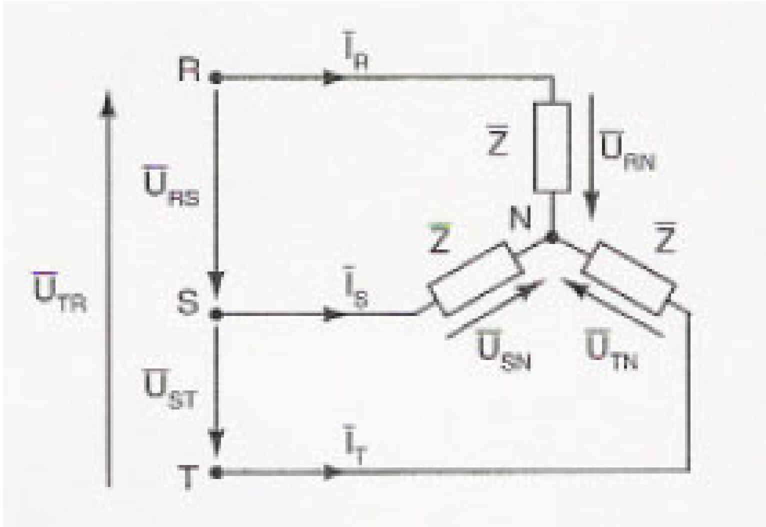


Magnitudes de fase y de línea

CONEXIÓN EN ESTRELLA

TENSIONES de FASE

Secuencia DIRECTA	Secuencia INVERSA
$\vec{U}_{RN} = E\angle 0^o$	$\vec{U}_{RN} = E\angle 0^o$
$\vec{U}_{SN} = E\angle -120^o$	$\vec{U}_{SN} = E\angle +120^o$
$\vec{U}_{TN} = E\angle +120^o$	$\vec{U}_{TN} = E\angle -120^o$



Secuencia DIRECTA

Secuencia INVERSA

Magnitudes de fase y de línea

CONEXIÓN EN ESTRELLA

TENSIONES DE LÍNEA

$$\vec{U}_{RS} = \vec{U}_{RN} - \vec{U}_{SN} = E\angle 0^{o} - E\angle -120^{o} = \vec{U}_{RN}\sqrt{3}\angle +30^{o}$$

$$\vec{U}_{ST} = \vec{U}_{SN} - \vec{U}_{TN} = E\angle -120^{o} - E\angle +120^{o} = \vec{U}_{SN}\sqrt{3}\angle +30^{o}$$

$$\vec{U}_{TR} = \vec{U}_{TN} - \vec{U}_{RN} = E\angle -120^{o} - E\angle 0^{o} = \vec{U}_{TN}\sqrt{3}\angle +30^{o}$$

Secuencia DIRECTA

Magnitudes de fase y de línea

CONEXIÓN EN ESTRELLA

Tensiones de LÍNEA

$$\vec{U}_{RS} = \vec{U}_{RN} - \vec{U}_{SN} = E\angle 0^{o} - E\angle 120^{o} = \vec{U}_{RN}\sqrt{3}\angle -30^{o}$$

$$\vec{U}_{ST} = \vec{U}_{SN} - \vec{U}_{TN} = E\angle 120^{o} - E\angle -120^{o} = \vec{U}_{SN}\sqrt{3}\angle -30^{o}$$

$$\vec{U}_{TR} = \vec{U}_{TN} - \vec{U}_{RN} = E\angle -120^{o} - E\angle 0^{o} = \vec{U}_{TN}\sqrt{3}\angle -30^{o}$$

Secuencia INVERSA

Magnitudes de fase y de línea

CONEXIÓN EN ESTRELLA

Tensiones de LÍNEA
SECUENCIA DIRECTA

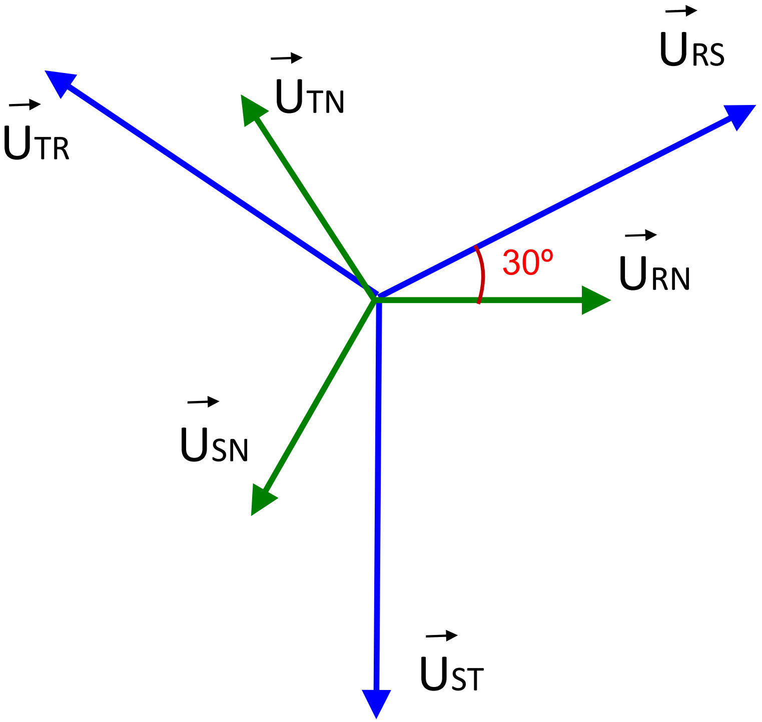
$$\vec{U}_{RS} = \vec{U}_{RN}\sqrt{3}\angle +30^{o}$$

$$\vec{U}_{ST} = \vec{U}_{SN}\sqrt{3}\angle +30^{o}$$

$$\vec{U}_{TR} = \vec{U}_{TN}\sqrt{3}\angle +30^{o}$$

$$\boxed{U_L = \sqrt{3}E}$$

Tensión de línea adelanta 30º
respecto a la de fase



Magnitudes de fase y de línea

CONEXIÓN EN ESTRELLA

Tensiones de LÍNEA
SECUENCIA INVERSA

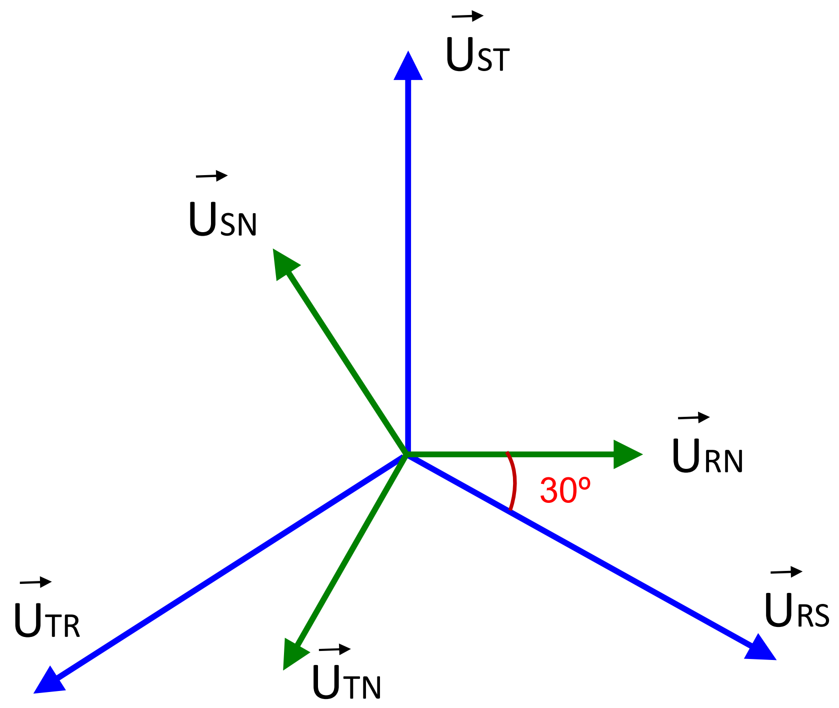
$$\vec{U}_{RS} = \vec{U}_{RN}\sqrt{3}\angle -30^{\circ}$$

$$\vec{U}_{ST} = \vec{U}_{SN}\sqrt{3}\angle -30^{\circ}$$

$$\vec{U}_{TR} = \vec{U}_{TN}\sqrt{3}\angle -30^{\circ}$$

$$\boxed{U_L = \sqrt{3}E}$$

Tensión de línea retrasa 30º respecto a la de fase



Ejemplo 1.- Un sistema trifásico, a la secuencia ABC, con una tensión de línea de 100 V eficaces, tiene conectada una carga en triángulo equilibrada con impedancias por fase 20 /45º. Obtener las intensidades por cada conductor de línea y dibujar el diagrama fasorial de tensiones e intensidades. V_{BC}=100 /0º

Solución

Intensidades por las fases del triángulo: $I_{AB} = \frac{V_{AB}}{Z} = \frac{100\angle 120}{20\angle 45} = 5\angle 75$

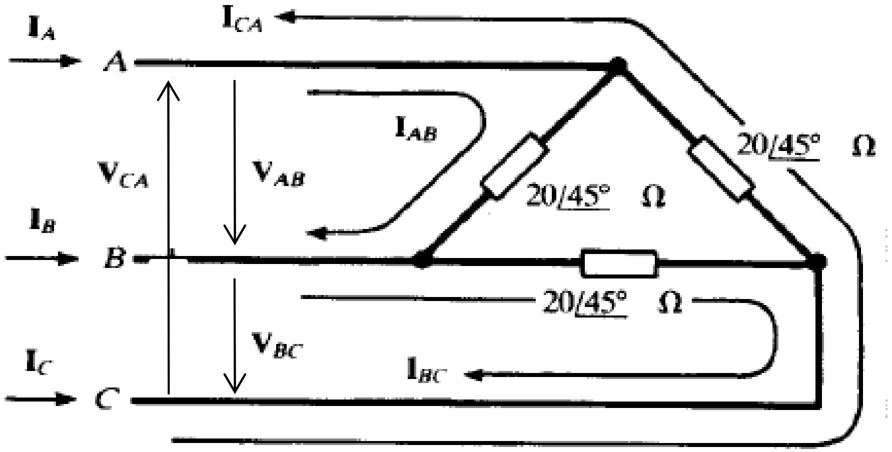
Similarmente, $I_{BC} = 5\angle -45$ $\quad I_{CA} = 5\angle -165$

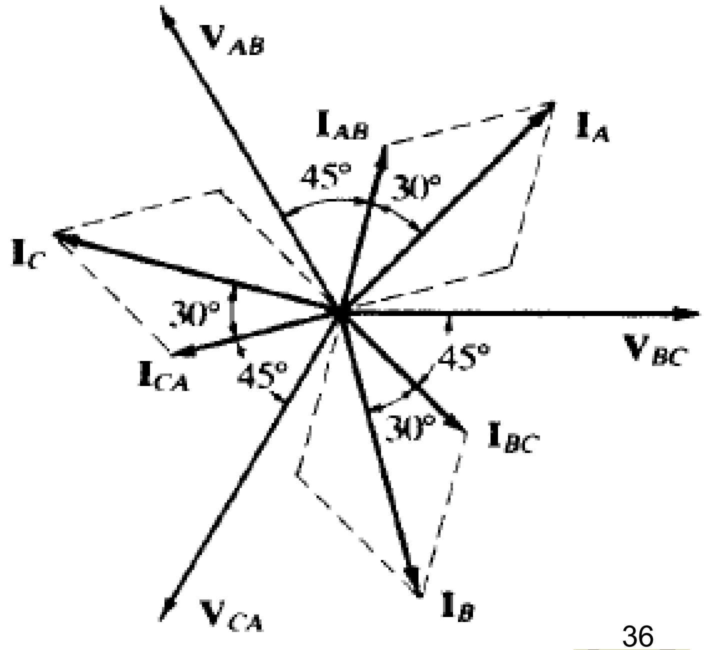
Aplicando la 1ª L.K., se resolverán las intensidades que circulan por los conductores de línea:

$I_A = I_{AB} - I_{CA=}8{,}65\angle 45$ *O bien:* $I_A = I_{AB} \cdot \sqrt{3}\angle -30$

$I_B = 8{,}65\angle -75$

$I_C = 8{,}65\angle 165$





Ejemplo 2.- Un sistema trifásico, a 3 hilos, a la secuencia CBA , con una tensión de línea de 150 V eficaces, tiene conectada una carga en estrella equilibrada con impedancias por fase 5 /-30º. Obtener las intensidades por cada conductor de línea y dibujar el diagrama fasorial de tensiones e intensidades. **VBC=150 /0º**

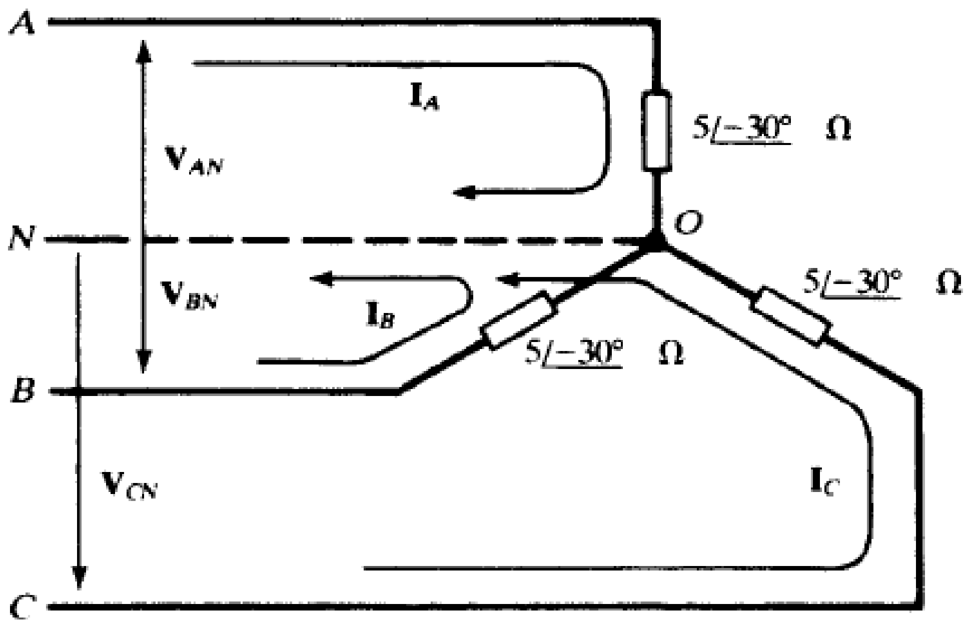
Solución:

Secuencia CBA = Secuencia ACB = Secuencia Inversa

$$\vec{U}_{AB} = U_{AB}\angle\alpha \qquad \vec{U}_{AN} = U_{AN}\angle\theta \qquad \vec{U}_{AB} = \vec{U}_{AN}\sqrt{3}\angle-30^{\circ}$$

$$\vec{U}_{BC} = \vec{U}_{AB}1\angle120^{\circ} \qquad \vec{U}_{BN} = \vec{U}_{AN}1\angle120^{\circ} \qquad \vec{U}_{BC} = \vec{U}_{BN}\sqrt{3}\angle-30^{\circ}$$

$$\vec{U}_{CA} = \vec{U}_{AB}1\angle-120^{\circ} \qquad \vec{U}_{CN} = \vec{U}_{AN}1\angle-120^{\circ} \qquad \vec{U}_{CA} = \vec{U}_{CN}\sqrt{3}\angle-30^{\circ}$$



$$\vec{U}_{AB} = 150\angle-120^{\circ}$$

$$\vec{U}_{BC} = 150\angle0^{\circ}$$

$$\vec{U}_{CA} = 150\angle120^{\circ}$$

$$\vec{U}_{AN} = \frac{150}{\sqrt{3}}\angle-90^{\circ}$$

$$\vec{U}_{BN} = \frac{150}{\sqrt{3}}\angle30^{\circ}$$

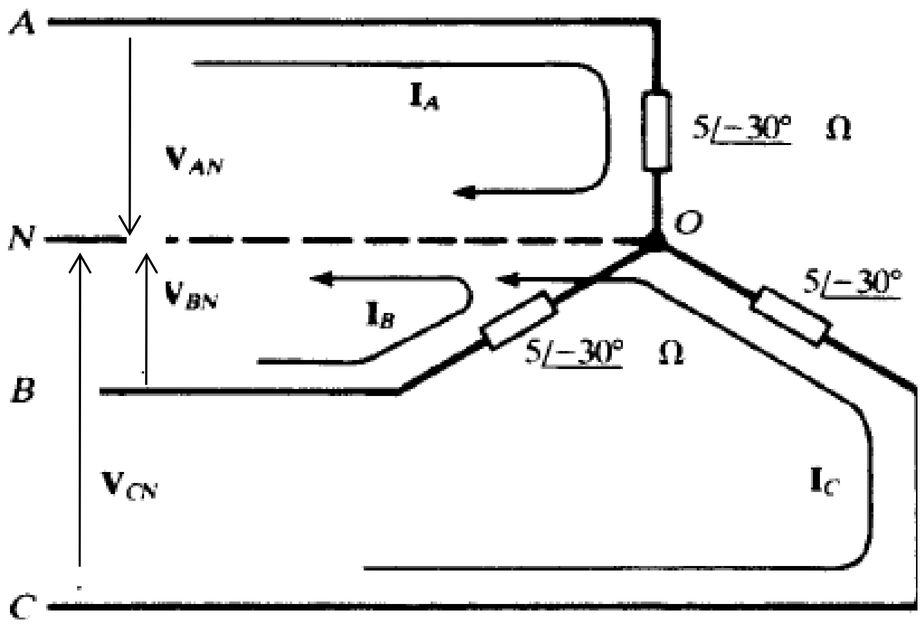
$$\vec{U}_{CN} = \frac{150}{\sqrt{3}}\angle150^{\circ}$$

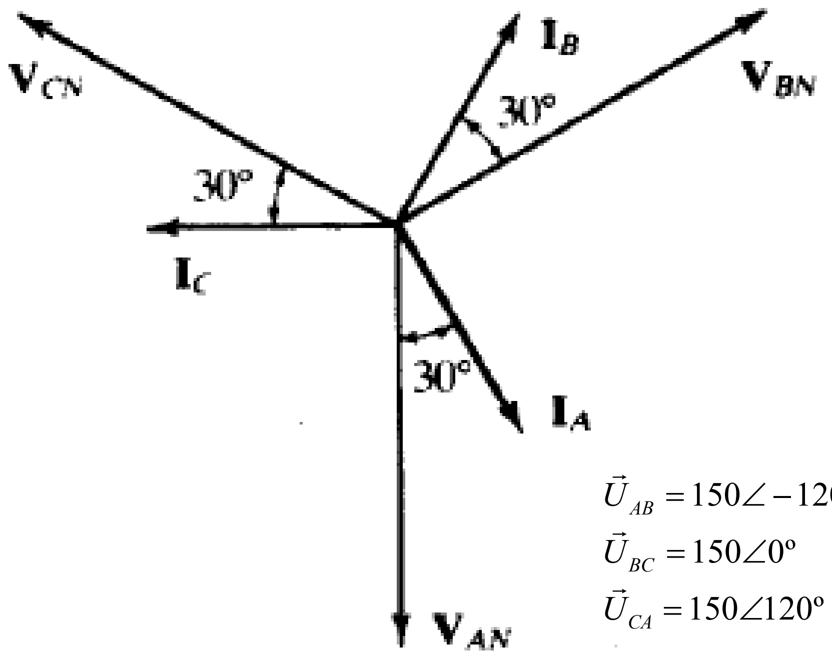
Ejemplo 2.- Un sistema trifásico, a 3 hilos, a la secuencia CBA, con una tensión de línea de 150 V eficaces, tiene conectada una carga en estrella equilibrada con impedancias por fase 5 /-30º. Obtener las intensidades por cada conductor de línea y dibujar el diagrama fasorial de tensiones e intensidades. **V_{BC}=150 /0º**

Solución:

$$\vec{U}_{AN} = \frac{150}{\sqrt{3}} \angle -90^\circ \qquad \vec{U}_{BN} = \frac{150}{\sqrt{3}} \angle 30^\circ \qquad \vec{U}_{CN} = \frac{150}{\sqrt{3}} \angle 150^\circ$$

$$I_A = \frac{V_{AN}}{Z} = \frac{150/\sqrt{3}\angle -90}{5\angle -30} = 17{,}32\angle -60$$ *Similarmente,* $I_B = 17{,}32\angle 60$ $\quad I_C = 17{,}32\angle 180$





$$\vec{U}_{AB} = 150\angle -120^\circ$$
$$\vec{U}_{BC} = 150\angle 0^\circ$$
$$\vec{U}_{CA} = 150\angle 120^\circ$$

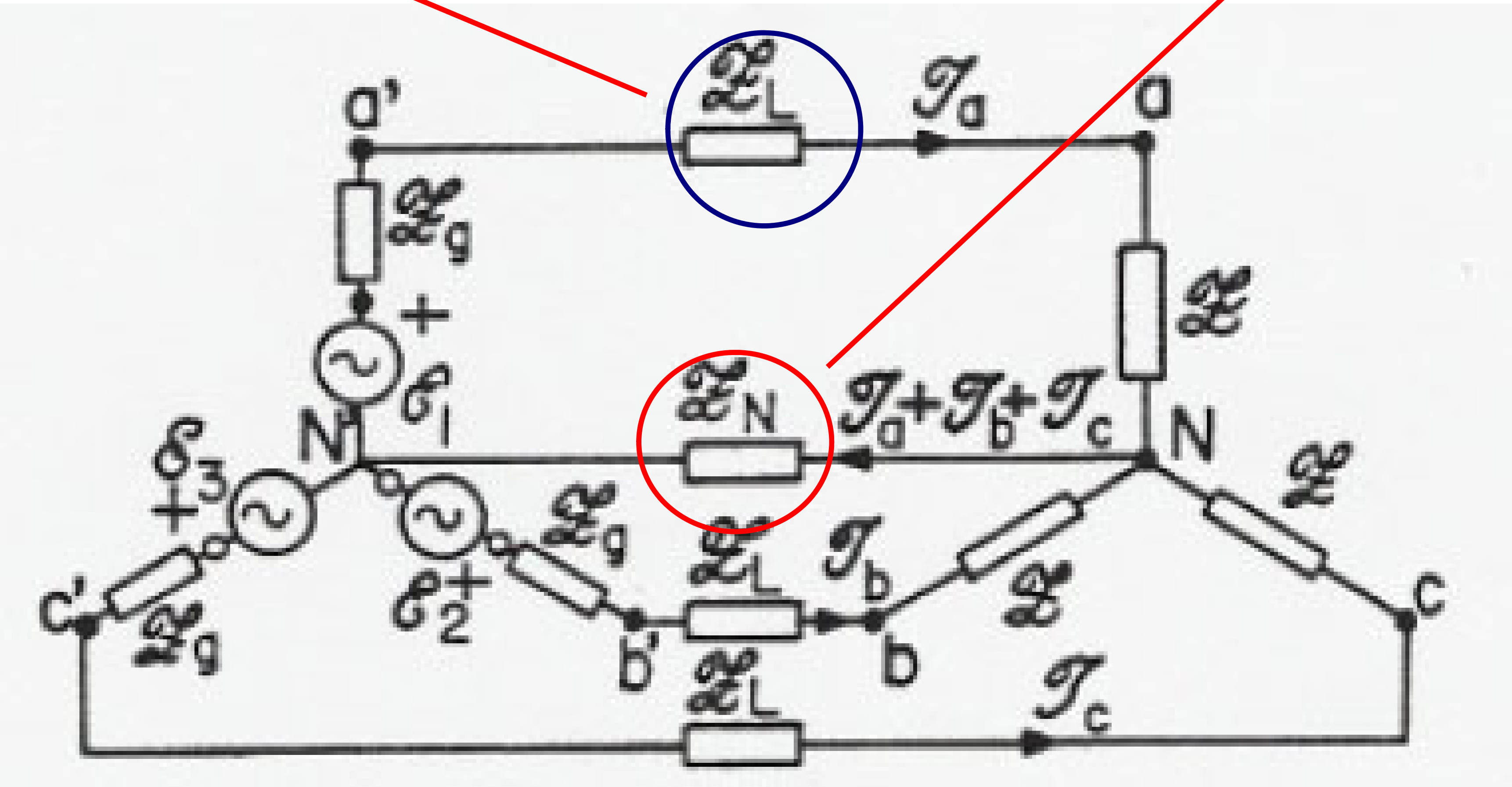
Solución de circuitos trifásicos equilibrados. Circuito monofásico equivalente

Impedancia de la línea

CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA

SISTEMA EQUILIBRADO CON NEUTRO

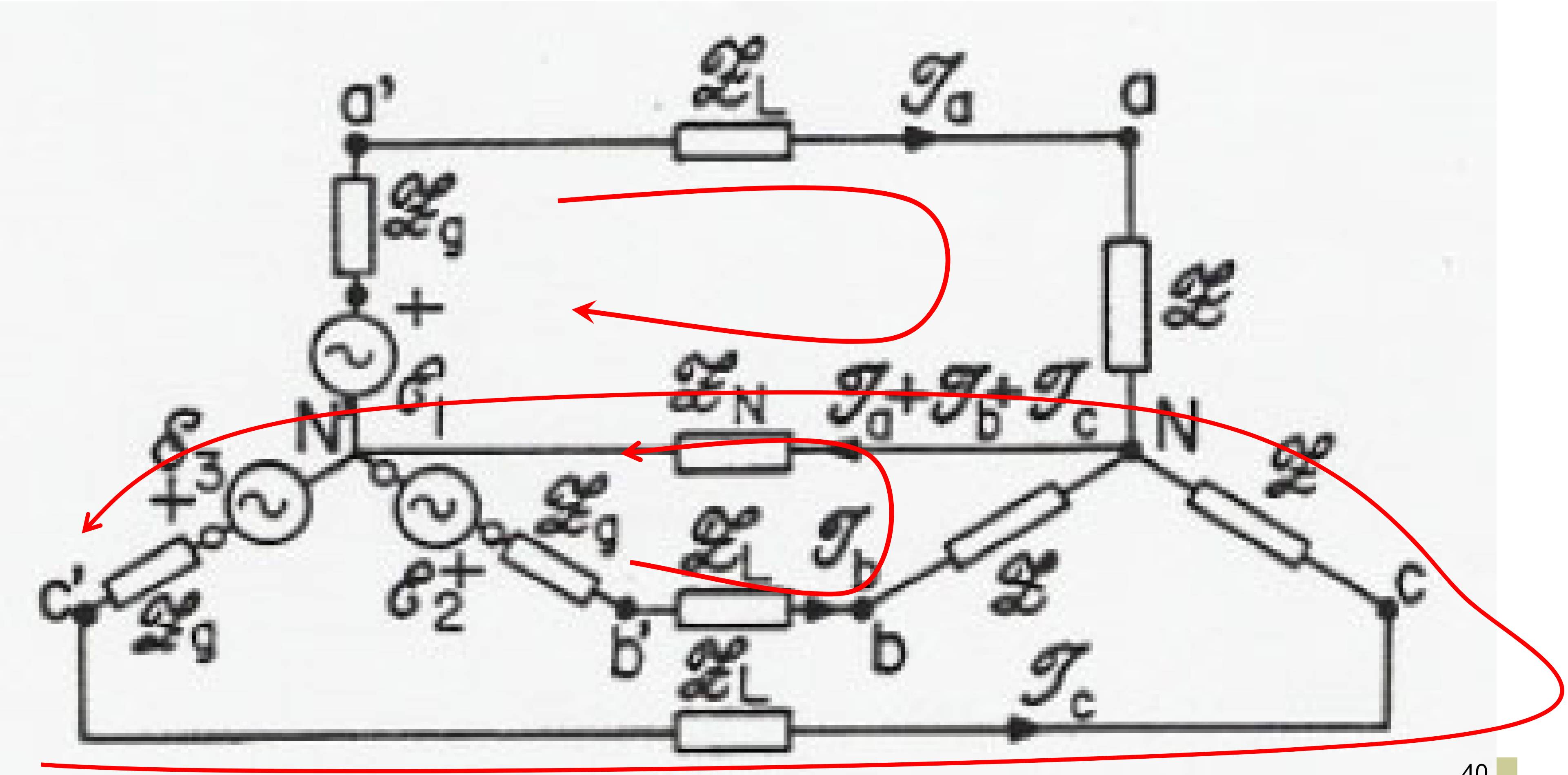
Impedancia del hilo neutro



Solución de circuitos trifásicos equilibrados. Circuito monofásico equivalente

CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA

SISTEMA EQUILIBRADO CON NEUTRO



Solución de circuitos trifásicos equilibrados. Circuito monofásico equivalente

CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA

SISTEMA EQUILIBRADO CON HILO NEUTRO

$$\vec{E}_1 = \left(\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z}\right)\vec{I}_a + \vec{Z}_N\left(\vec{I}_a + \vec{I}_c + \vec{I}_b\right)$$

$$\vec{E}_2 = \left(\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z}\right)\vec{I}_b + \vec{Z}_N\left(\vec{I}_a + \vec{I}_c + \vec{I}_b\right)$$

$$\vec{E}_3 = \left(\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z}\right)\vec{I}_c + \vec{Z}_N\left(\vec{I}_a + \vec{I}_c + \vec{I}_b\right)$$

$$\Downarrow$$

$$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = \left(\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z}\right)\left(\vec{I}_a + \vec{I}_c + \vec{I}_b\right) + 3 \cdot \vec{Z}_N\left(\vec{I}_a + \vec{I}_c + \vec{I}_b\right)$$

$$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = \left(\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z} + 3 \cdot \vec{Z}_N\right)\left(\vec{I}_a + \vec{I}_c + \vec{I}_b\right)$$

Solución de circuitos trifásicos equilibrados. Circuito monofásico equivalente

CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA

SISTEMA EQUILIBRADO CON HILO NEUTRO

$$\vec{E}_1+\vec{E}_2+\vec{E}_3=E\angle 0^{o}+E\angle -120^{o}+E\angle 120^{o}$$

$$\vec{E}_1+\vec{E}_2+\vec{E}_3=E\left(1\angle 0^{o}+1\angle -120^{o}+1\angle 120^{o}\right)$$

$$\vec{E}_1+\vec{E}_2+\vec{E}_3=0$$

$$\boxed{\vec{U}_{NN'}=\vec{Z}_N\left(\vec{I}_a+\vec{I}_c+\vec{I}_b\right)=0 \quad \forall\ \vec{Z}_N}$$

$$0=\left(\vec{Z}_g+\vec{Z}_L+\vec{Z}+3\cdot\vec{Z}_N\right)\left(\vec{I}_a+\vec{I}_c+\vec{I}_b\right)$$

$$\boxed{0=\vec{I}_a+\vec{I}_c+\vec{I}_b}$$

Solución de circuitos trifásicos equilibrados. Circuito monofásico equivalente

CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA

SISTEMA EQUILIBRADO SIN HILO NEUTRO

$$\vec{E}_1 = \left(\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z}\right)\vec{I}_a + \vec{U}_{NN'}$$

$$\vec{E}_2 = \left(\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z}\right)\vec{I}_b + \vec{U}_{NN'}$$

$$\vec{E}_3 = \left(\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z}\right)\vec{I}_c + \vec{U}_{NN'}$$

$$\Downarrow$$

$$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = \left(\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z}\right)\left(\vec{I}_a + \vec{I}_c + \vec{I}_b\right) + 3 \cdot \vec{U}_{NN'}$$

Solución de circuitos trifásicos equilibrados. Circuito monofásico equivalente

CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA

SISTEMA EQUILIBRADO SIN HILO NEUTRO

$$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = 0$$

$$\vec{I}_a + \vec{I}_b + \vec{I}_c = 0$$

$$\boxed{\vec{U}_{NN'} = 0}$$

Los puntos neutros de la carga y del generador en un sistema equilibrado están al **MISMO POTENCIAL**, exista o no el hilo neutro.

Esto nos permite poner en cortocircuito los neutros N y N' sin que se altere el régimen de intensidades.

Solución de circuitos trifásicos equilibrados. Circuito monofásico equivalente

CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA - SISTEMA EQUILIBRADO

$$\vec{E}_1 = \left(\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z}\right)\vec{I}_a$$

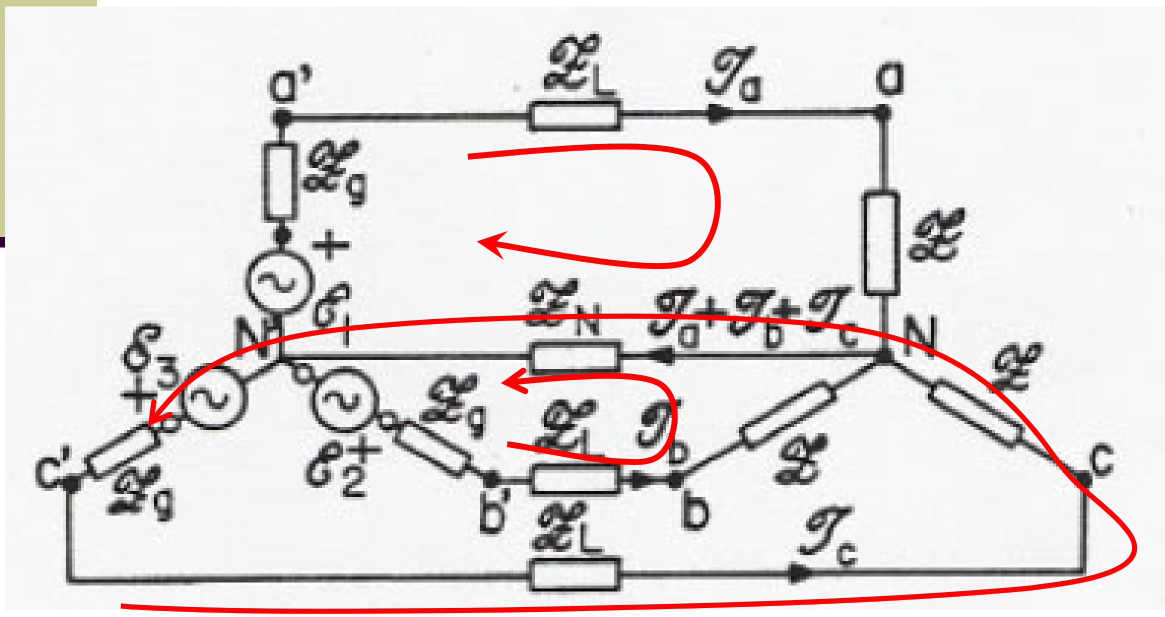
$$\vec{E}_2 = \left(\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z}\right)\vec{I}_b$$

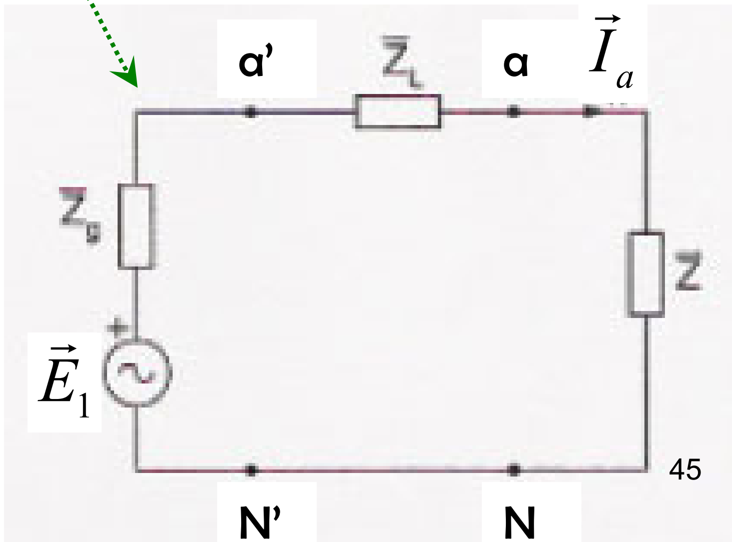
$$\vec{E}_3 = \left(\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z}\right)\vec{I}_c$$

$$\vec{I}_a = \frac{\vec{E}_1}{\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z}}; \vec{I}_b = \frac{\vec{E}_2}{\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z}}; \vec{I}_c = \frac{\vec{E}_3}{\vec{Z}_g + \vec{Z}_L + \vec{Z}}$$

$$\vec{I}_b = \vec{I}_a \left(1\angle -120^{\circ}\right)$$

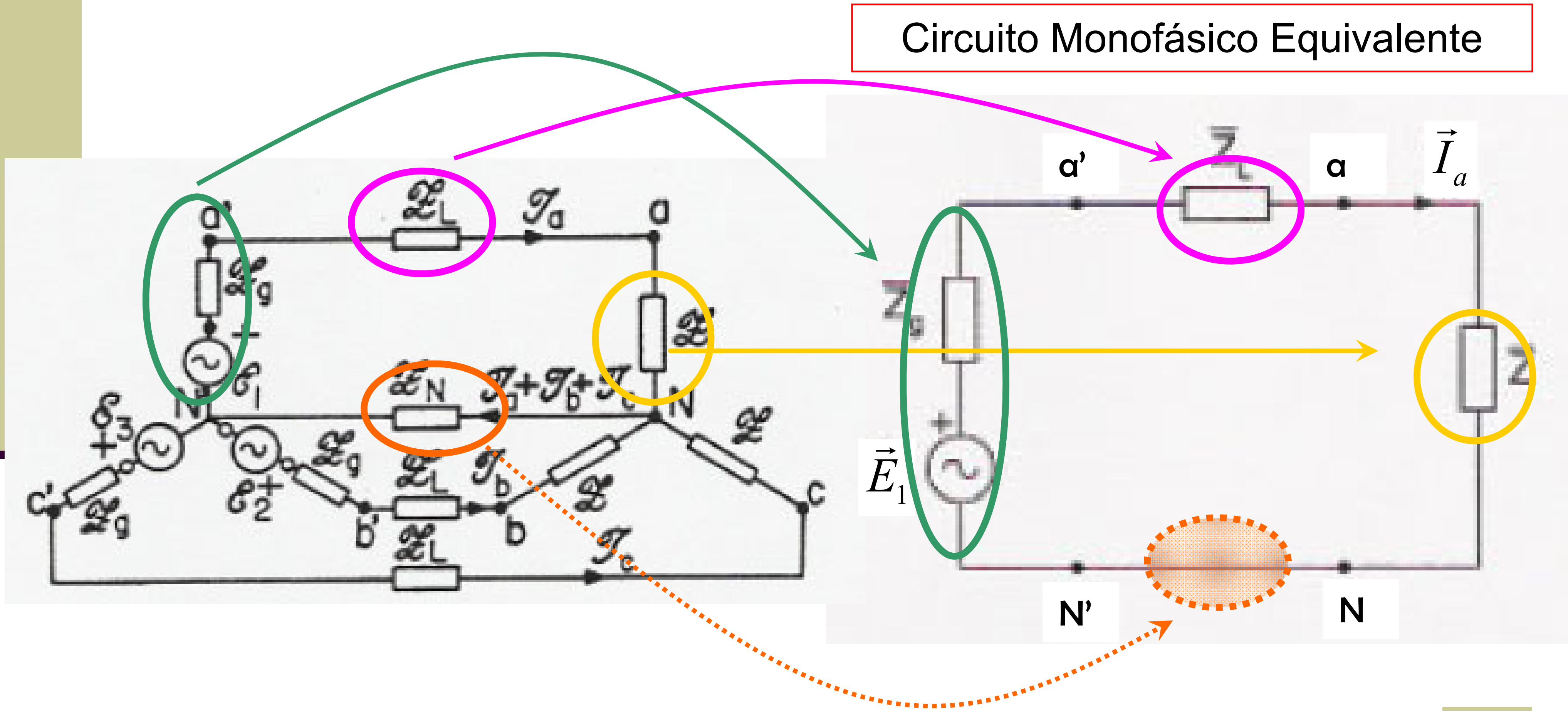
$$\vec{I}_c = \vec{I}_a \left(1\angle +120^{\circ}\right)$$





Solución de circuitos trifásicos equilibrados. Circuito monofásico equivalente

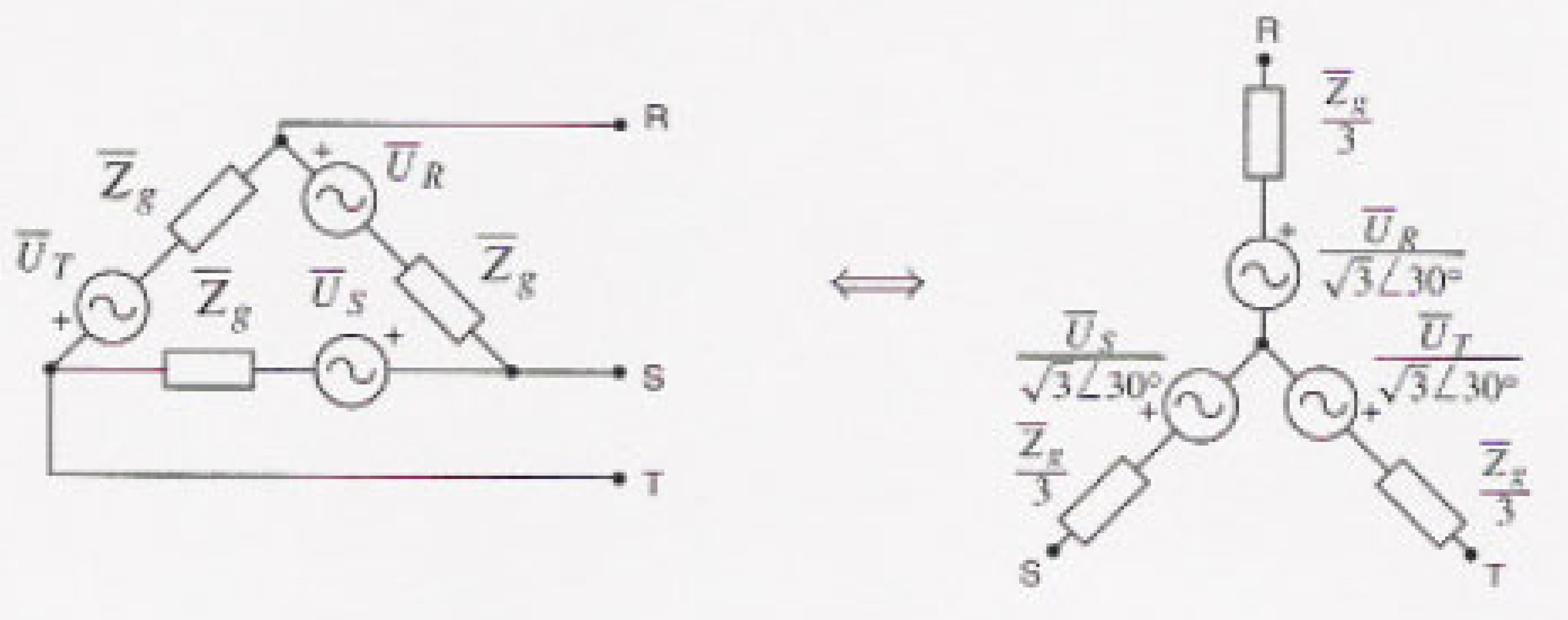
CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA - SISTEMA EQUILIBRADO



Conversión estrella-triángulo

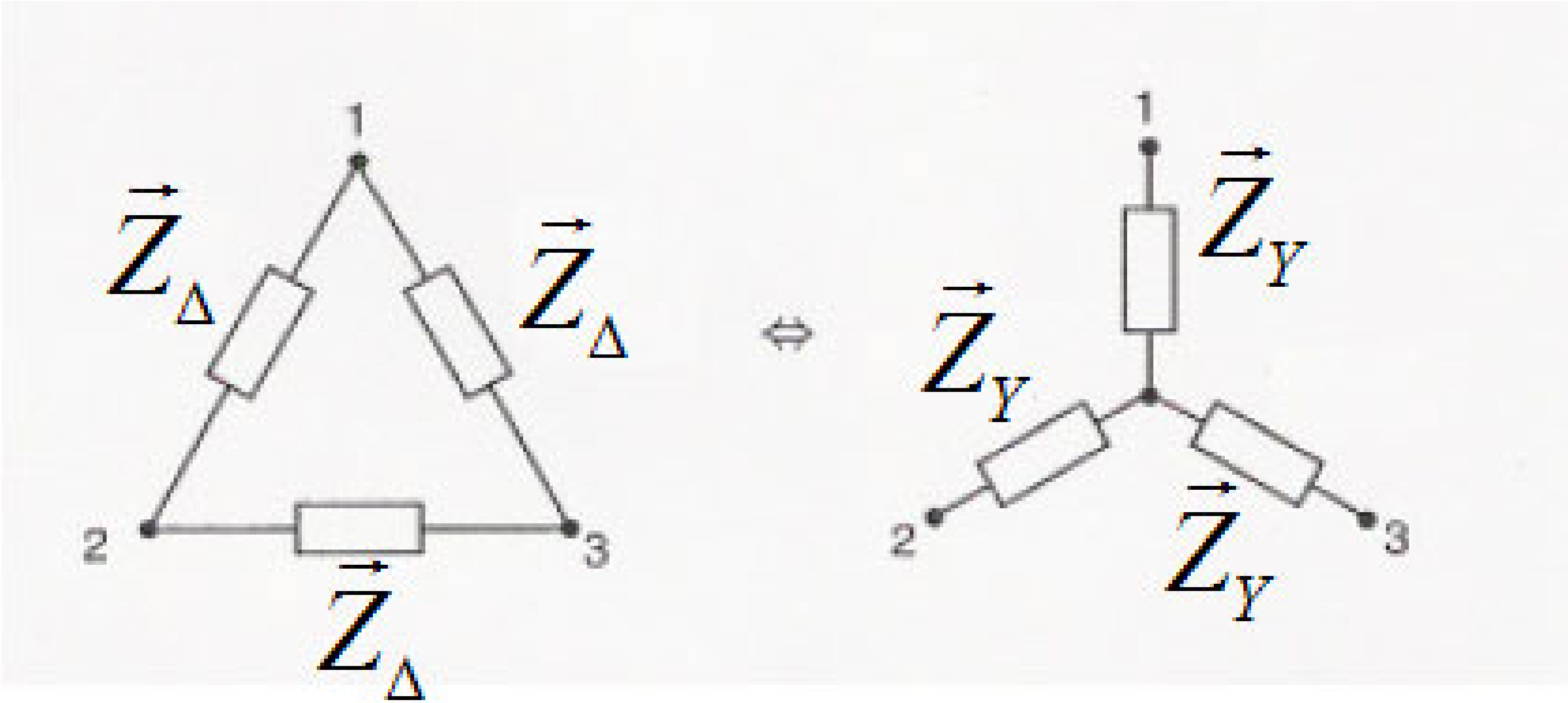
GENERADOR EQUILIBRADO

DE SECUENCIA DIRECTA



Conversión estrella-triángulo

CARGA EQUILIBRADA



$$\vec{Z}_Y = \frac{\vec{Z}_\Delta}{3} \quad ; \quad \vec{Z}_\Delta = 3 \cdot \vec{Z}_Y$$

Ejemplos resolución

Un sistema trifásico CBA a tres hilos, con una tensión de línea de valor eficaz 200 V, tiene conectada una carga equilibrada en triángulo con impedancias $Z_\Delta = 15\llcorner 30^\circ\ \Omega$. Obtener las intensidades de línea y de fase por el método del circuito monofásico equivalente.

POR EL MÉTODO DEL CIRCUITO MONOFÁSICO EQUIVALENTE. Si se coge como V_{AN} la tensión de referencia y considerando secuencia inversa:

$$V_F = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{200}{\sqrt{3}} = 115,5\ V \qquad \vec{V}_{AN} = 115,5\angle 0^\circ \qquad Z_Y = \frac{Z_\Delta}{3} = \frac{15\angle 30}{3} = 5\angle 30\ \Omega$$

$$\vec{I}_A = \frac{115,5\angle 0^\circ}{5\angle 30^\circ} = 23,1\angle -30^\circ\ A$$

$$\vec{I}_A = 23,1\angle -30^\circ \qquad \vec{I}_B = 23,1\angle 90^\circ \qquad \vec{I}_C = 23,1\angle -150^\circ$$

En secuencia inversa: $\vec{I}_L = \vec{I}_F \cdot \sqrt{3}\angle 30$ $\qquad \vec{I}_F = \dfrac{\vec{I}_L}{\sqrt{3}\angle 30}$

$$\vec{I}_{AB} = \frac{\vec{I}_A}{\sqrt{3}\angle 30} = \frac{23,1\angle -30}{\sqrt{3}\angle 30} = 13,3\angle -60^\circ\ A$$

$$\vec{I}_{AB} = 13,3\angle -60^\circ \qquad \vec{I}_{BC} = 13,3\angle 60^\circ \qquad \vec{I}_{CA} = 13,3\angle -180^\circ$$

Ejemplos resolución

POR EL MÉTODO DEL CIRCUITO MONOFÁSICO EQUIVALENTE. Si se coge como V_{AB} la tensión de referencia y considerando secuencia inversa:

$$\vec{V}_{AN} = \frac{\vec{V}_{AB}}{\sqrt{3}\angle -30^{o}} = \frac{200\angle 0^{o}}{\sqrt{3}\angle -30^{o}} = 115,5\angle 30^{o} \qquad Z_{Y} = \frac{Z_{\Delta}}{3} = \frac{15\angle 30}{3} = 5\angle 30\ \Omega$$

$$\vec{I}_{A} = \frac{\vec{V}_{AN}}{Z_{Y}} = \frac{115,5\angle 30^{o}}{5\angle 30^{o}} = 23,1\angle 0^{o}\ A$$

$$\vec{I}_{A} = 23,1\angle 0^{o} \qquad \vec{I}_{B} = 23,1\angle 120^{o} \qquad \vec{I}_{C} = 23,1\angle -120^{o}$$

En secuencia inversa: $\vec{I}_{L} = \vec{I}_{F} \cdot \sqrt{3}\angle 30$ $\qquad \vec{I}_{F} = \dfrac{\vec{I}_{L}}{\sqrt{3}\angle 30}$

$$\vec{I}_{AB} = \frac{\vec{I}_{A}}{\sqrt{3}\angle 30} = \frac{23,1\angle 0}{\sqrt{3}\angle 30} = 13,3\angle -30^{o}\ A$$

$$\vec{I}_{AB} = 13,3\angle -30^{o} \qquad \vec{I}_{BC} = 13,3\angle 90^{o} \qquad \vec{I}_{CA} = 13,3\angle -150^{o}$$

Ejemplos resolución

SIN UTILIZAR EL MÉTODO DEL CIRCUITO MONOFÁSICO EQUIVALENTE. Si se coge como V_{AB} la tensión de referencia y considerando secuencia inversa:

$$\vec{I}_{AB} = \frac{\vec{V}_{AB}}{Z_{\Delta}} = \frac{200\angle 0^{o}}{15\angle 30^{o}} = 13,3\angle -30^{o} \ A$$

$$\vec{I}_{AB} = 13,3\angle -30^{o} \qquad \vec{I}_{BC} = 13,3\angle 90^{o} \qquad \vec{I}_{CA} = 13,3\angle -150^{o}$$

En secuencia inversa: $\vec{I}_{L} = \vec{I}_{F} \cdot \sqrt{3}\angle 30$

$$\vec{I}_{A} = \vec{I}_{AB} \cdot \sqrt{3}\angle 30 = 13,3\angle -30 \cdot \sqrt{3}\angle 30 = 23,1\angle 0^{o}$$

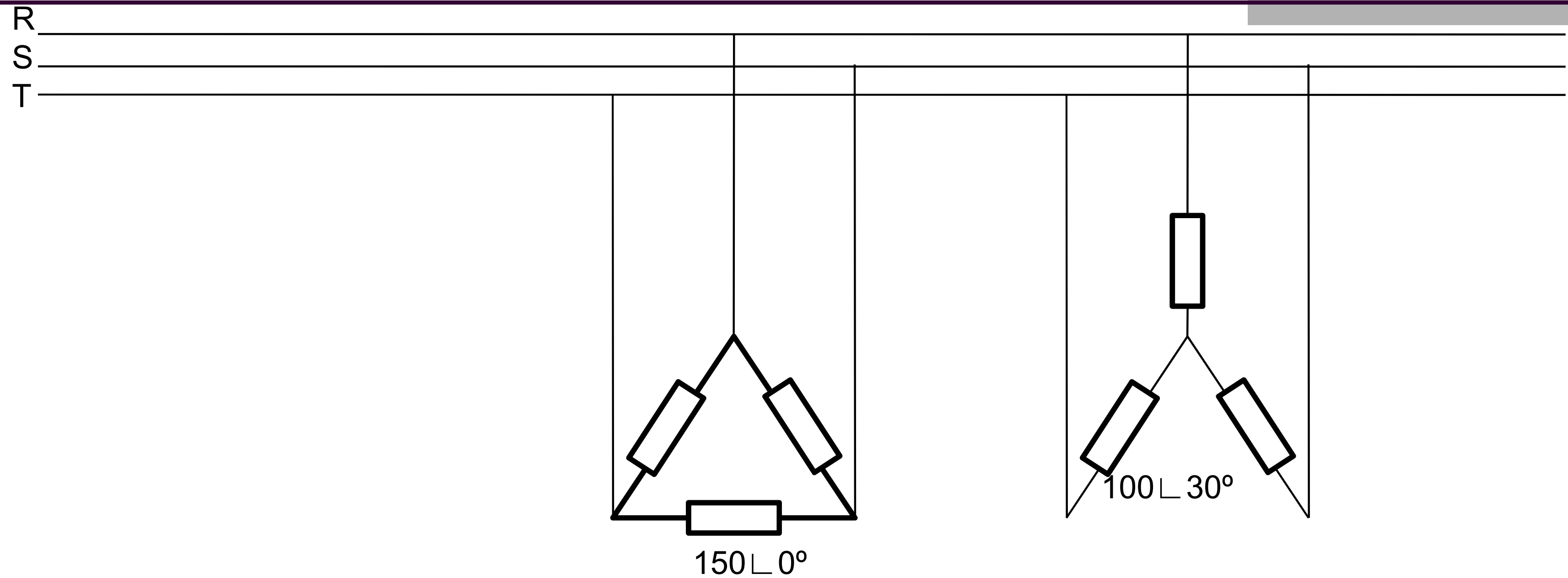
$$\vec{I}_{A} = 23,1\angle 0^{o} \qquad \vec{I}_{B} = 23,1\angle 120^{o} \qquad \vec{I}_{C} = 23,1\angle -120^{o}$$

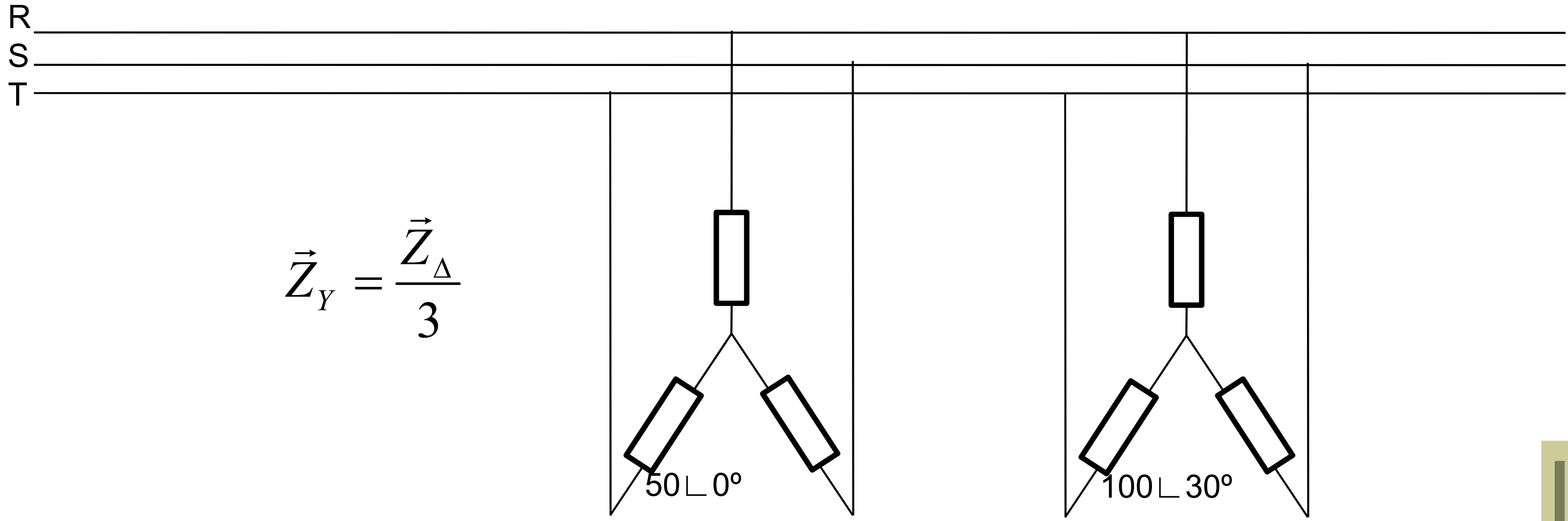
Ejemplos resolución

Un sistema trifásico a tres hilos, secuencia directa, con una tensión de línea de valor eficaz 400 V, alimenta a dos cargas equilibradas, una en triángulo con Z_{Δ}= 150∟0º Ω y la otra en estrella con Z_{Y}= 100∟30º Ω.

- Dibujar el circuito monofásico equivalente.
- Calcular la intensidad de línea total.
- Calcular las intensidades de fase y de línea de cada una de las cargas.

Ejemplos resolución

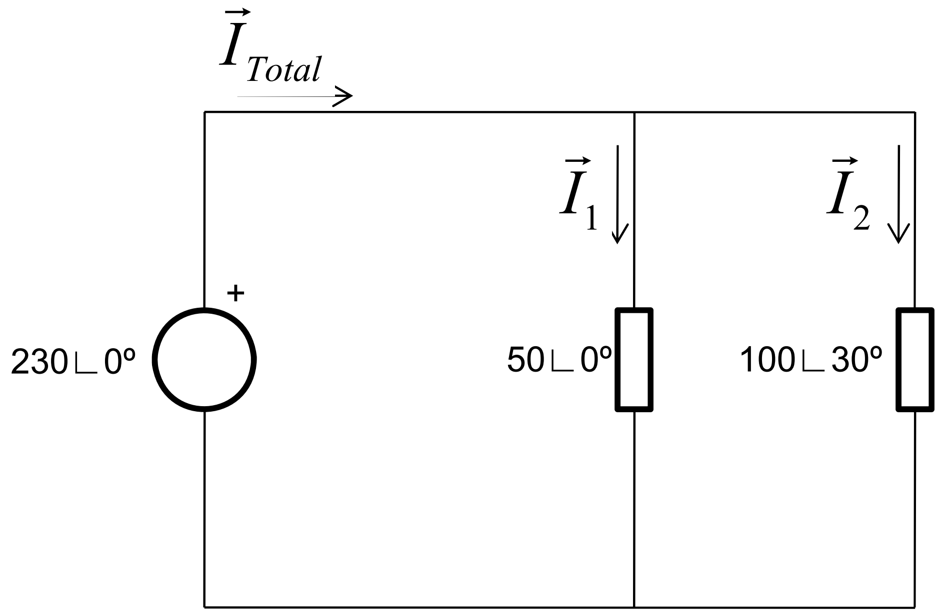




$$\vec{Z}_Y = \frac{\vec{Z}_\Delta}{3}$$

Ejemplos resolución

Circuito equivalente monofásico:



Intensidad total:

$$\vec{I}_1 = \frac{230\angle 0^o}{50\angle 0^o} = 4,6\angle 0^o \ A \qquad \vec{I}_2 = \frac{230\angle 0^o}{100\angle 30^o} = 2,3\angle -30^o \ A$$

$$\vec{I}_{Total} = 4,6\angle 0^o + 2,3\angle -30^o = 4,6 + 1,99 - j1,15 = 6,59 - j1,15 = 6,69\angle -9,9^o$$

Esta intensidad es de fase y de línea ya que las cargas están conectadas en estrella.

Ejemplos resolución

Las intensidades de línea correspondientes a las fases R, S y T son:

$$\vec{I}_R = 6,69\angle -9,9^{o} \qquad \vec{I}_S = 6,69\angle -129,9^{o} \qquad \vec{I}_T = 6,69\angle 110,1^{o}$$

Retomando el circuito inicial, en la carga en estrella, las intensidades de línea coinciden con las intensidades de fase:

$$\vec{I}_{R2} = 2,3\angle -30^{o} \qquad \vec{I}_{S2} = 2,3\angle -150^{o} \qquad \vec{I}_{T2} = 2,3\angle 90^{o}$$

En la carga en triángulo, las intensidades de línea son:

$$\vec{I}_{R1} = 4,6\angle 0^{o} \qquad \vec{I}_{S1} = 4,6\angle -120^{o} \qquad \vec{I}_{T1} = 4,6\angle 120^{o}$$

En la carga en triángulo, las intensidades de fase son:

$$\vec{I}_{RS1} = 2,66\angle 30^{o} \qquad \vec{I}_{ST1} = 2,66\angle -90^{o} \qquad \vec{I}_{TR1} = 2,66\angle 150^{o}$$