



Circuitos trifásicos

Problemas resueltos

M^a Pilar Molina Palomares
Paula Bastida Molina
Bernardo Álvarez Valenzuela



Editorial
Universitat Politècnica
de València

M^a Pilar Molina Palomares
Paula Bastida Molina
Bernardo Álvarez Valenzuela

Circuitos trifásicos

Problemas resueltos

Colección *Académica*

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita: Molina Palomares, M^a P.; Bastida Molina, P.; Álvarez Valenzuela, B. (2021). *Circuitos trifásicos. Problemas resueltos*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València

© M^a Pilar Molina Palomares
Paula Bastida Molina
Bernardo Álvarez Valenzuela

© 2021, Editorial Universitat Politècnica de València
Venta: www.lalibreria.upv.es / Ref.: 0366_04_01_01

Imprime: Byprint Percom, S. L.

ISBN: 978-84-9048-962-8
Impreso bajo demanda

Si el lector detecta algún error en el libro o bien quiere contactar con los autores, puede enviar un correo a edicion@editorial.upv.es

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo edicion@editorial.upv.es

Impreso en España

Prólogo

El presente libro supone una continuación del aprendizaje basado en problemas de asignaturas relacionadas con la tecnología eléctrica de distintos grados de ingeniería. La estructura de los temas, en los que se presentan problemas relacionados entre sí y ordenados gradualmente en nivel de dificultad, es la misma que la propuesta en los tomos anteriores “Circuitos Eléctricos. Problemas resueltos” y “Cuadripolos y Acoplamientos Magnéticos. Problemas Resueltos”. Nuevamente, parte de los problemas de la presente obra han figurado en los ejercicios de evaluación (exámenes) de distintas asignaturas de ingeniería. Además, algunos de sus apartados hacen referencia al contenido de los nombrados tomos anteriores.

El estudio de este libro requiere de una base por parte del estudiante en los fundamentos estudiados en física y en los principios del análisis de circuitos eléctricos, ya que la presente disciplina se caracteriza por el conocimiento de temas anteriores para la adquisición de los posteriores. Aun así, las explicaciones presentadas en el libro permiten que no sea necesario un repaso previo de estos fundamentos, sino que sirven también como asentamiento de los mismos.

En este libro se aborda el estudio de los circuitos eléctricos trifásicos. La producción y el transporte de energía eléctrica se efectúan en forma de corriente alterna trifásica. Igualmente ocurre con el consumo, pues los receptores de media y gran potencia son también trifásicos.

De nuevo, para cada tema se definen los nuevos conceptos introducidos y se proponen una serie de problemas que incluyen el enunciado y el desarrollo completo de la resolución del problema explicado ampliamente. Cuando el estudiante accede a esta resolución completa, puede comprobar el nivel de asimilación de conceptos y detectar los puntos donde necesita mayor práctica.

Índice

Prólogo.....	I
Circuitos trifásicos	1
Problemas resueltos	22
Bibliografía	99

Circuitos trifásicos

1. Conceptos generales

En esta sección se describen los principales conceptos de los circuitos eléctricos trifásicos.

Circuito trifásico

Un circuito trifásico es un sistema eléctrico completo, en el que el generador produce tres tensiones desfasadas entre sí un cierto ángulo que alimentan a la carga a través de tres o cuatro conductores.

GENERADOR ➡ LÍNEA ➡ RECEPTOR

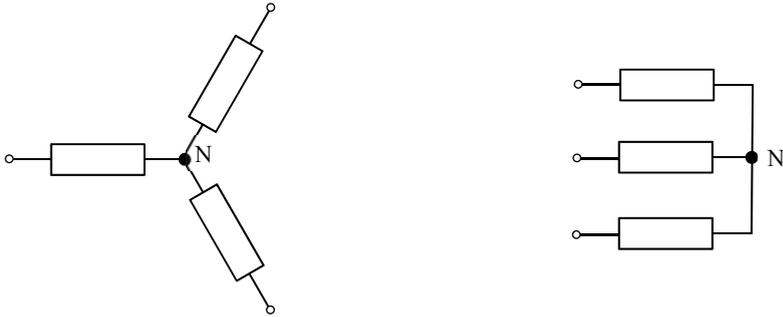
Fase y secuencia de fase

Se denomina **fase** a cualquier dipolo que genere, utilice o transmita energía eléctrica en un circuito trifásico.

Se denomina **secuencia de fase** al orden en que las tensiones en cada una de las fases alcanzan un determinado valor.

Conexión en estrella y en triángulo

Tres elementos están conectados en estrella cuando todos tienen un terminal común. A este punto se le llama neutro N.

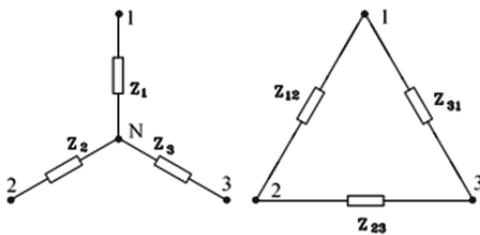


Tres elementos están conectados en triángulo cuando el terminal final de uno coincide con el principio del otro y así sucesivamente (no pueden tener neutro).



Conversión estrella-triángulo

Es posible realizar la conversión estrella ↔ triángulo en un circuito trifásico mediante las siguientes expresiones:



$$\vec{Z}_{12} = \vec{Z}_1 \cdot \vec{Z}_2 \cdot \sum \frac{1}{\vec{Z}_i} = \vec{Z}_1 + \vec{Z}_2 + \frac{\vec{Z}_1 \cdot \vec{Z}_2}{\vec{Z}_3}$$

$$\vec{Z}_{23} = \vec{Z}_2 \cdot \vec{Z}_3 \cdot \sum \frac{1}{\vec{Z}_i} = \vec{Z}_2 + \vec{Z}_3 + \frac{\vec{Z}_2 \cdot \vec{Z}_3}{\vec{Z}_1}$$

$$\vec{Z}_{31} = \vec{Z}_3 \cdot \vec{Z}_1 \cdot \sum \frac{1}{\vec{Z}_i} = \vec{Z}_3 + \vec{Z}_1 + \frac{\vec{Z}_3 \cdot \vec{Z}_1}{\vec{Z}_2}$$

$$EQUILIBRADO \vec{Z}_{\Delta} = 3 \cdot \vec{Z}_Y$$

Conversión triángulo-estrella

$$\vec{Z}_1 = \frac{\vec{Z}_{12} \cdot \vec{Z}_{31}}{\sum \vec{Z}_i} ; \vec{Z}_2 = \frac{\vec{Z}_{23} \cdot \vec{Z}_{12}}{\sum \vec{Z}_i} ; \vec{Z}_3 = \frac{\vec{Z}_{31} \cdot \vec{Z}_{23}}{\sum \vec{Z}_i} ; EQUILIBRADO \vec{Z}_Y = \frac{\vec{Z}_{\Delta}}{3}$$

Tipos de líneas eléctricas

Las líneas eléctricas pueden ser de varios tipos:

- **De tres conductores (R, S, T)**
- **De cuatro conductores (R, S, T, N):** aparece en las configuraciones en estrella, estando conectado el cuarto conductor al punto común o centro de estrella y recibiendo el nombre de “NEUTRO”.
- **Ideales:** conductores sin impedancia interna.
- **Reales:** conductores con impedancia interna.

Tipos de receptores

Los receptores pueden ser de varios tipos:

- **Activos:** receptores que consumen energía transformándola en otro tipo de energía.
- **Pasivos:** receptores que únicamente consumen o almacenan energía.
- **Conectados en estrella**
- **Conectados en triángulo**
- **Equilibrados:** tres receptores cuyas impedancias son iguales en módulo y ángulo.
- **Desequilibrados:** tres receptores cuyas impedancias presentan alguna diferencia en módulo o en ángulo.

Tipos de generadores

Los generadores pueden ser de varios tipos:

- **Ideales:** no tienen impedancia interna.
- **Reales:** si tienen impedancia interna.
- **Conectados en estrella.**
- **Conectados en triángulo.**
- **Equilibrados:** tres generadores cuyas fuerzas electromotrices (f.e.m.s) son iguales en módulo y desfasadas 120 grados entre sí.
- **Desequilibrados:** tres generadores cuyas f.e.m.s no son iguales o NO están desfasadas 120 grados entre sí.

- **De secuencia directa:** la secuencia de fases del generador será:
 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow \dots$, o lo que más comúnmente se utiliza:
 $R \rightarrow S \rightarrow T \rightarrow R \rightarrow S \rightarrow T \rightarrow \dots$
- **De secuencia inversa:** la secuencia de fases del generador será:
 $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow \dots$, o lo que más comúnmente se utiliza:
 $R \rightarrow T \rightarrow S \rightarrow R \rightarrow T \rightarrow S \rightarrow \dots$

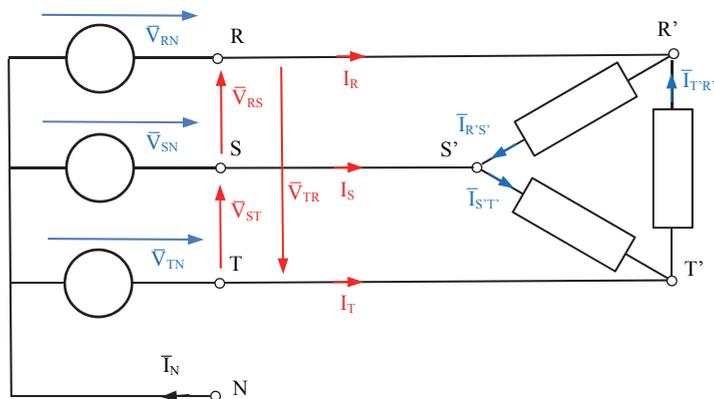
Tensiones y corrientes en un circuito trifásico

Las tensiones y corrientes en un circuito trifásico pueden ser de varios tipos:

- **Tensión simple o tensión de fase:** tensión que hay entre una fase activa R, S o T, y el neutro N.
- **Tensión compuesta o tensión de línea:** diferencia de potencial entre dos fases activas cualesquiera.
- **Corriente simple:** corriente que circula por una fase del generador o el receptor sólo cuando está conectado en triángulo.
- **Corriente compuesta o corriente de línea:** corriente que circula por una fase de la línea.

Ejemplo

A continuación, se muestra un ejemplo que ilustra las tensiones y corrientes en un circuito trifásico.



\bar{V}_{RN} , \bar{V}_{SN} y \bar{V}_{TN} (o también V_R , V_S y V_T): tensiones simples o, en este caso, también de fase en el generador.

$\bar{I}_{R'S'}$, $\bar{I}_{S'T'}$ e $\bar{I}_{T'R'}$: corrientes simples o, en este caso, también de fase en el receptor.

\bar{V}_{RS} , \bar{V}_{ST} y \bar{V}_{TR} : tensiones compuestas o de línea o, en este caso, también tensiones de fase en el receptor.

\bar{I}_R , \bar{I}_S e \bar{I}_T : corrientes compuestas o de línea o, en este caso, también corrientes de fase en el generador.

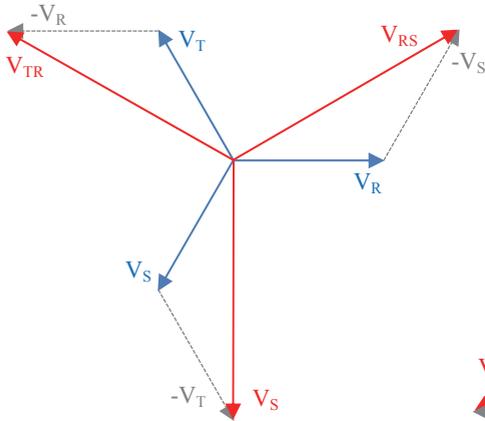
\bar{I}_N : corriente en el neutro, en este caso nula. Se puede considerar como corriente de línea pero tiene sentido contrario.

2. Circuitos trifásicos con generadores equilibrados

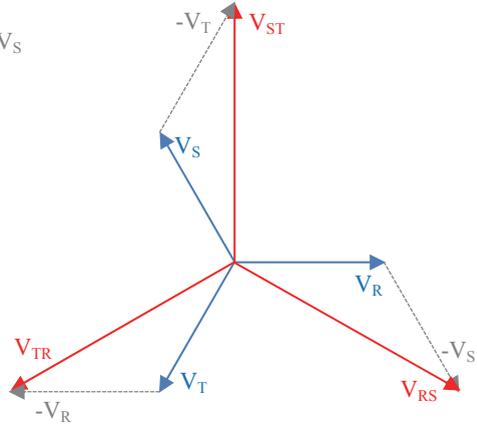
Los circuitos trifásicos con generadores equilibrados son aquellos que constan de tres generadores cuyas f.e.m.s son iguales en módulo y desfasadas 120 grados entre sí. Su representación vectorial matemática y gráfica, tanto para secuencia directa como inversa, se muestra a continuación.

$$\vec{V}_R = V_{\underline{\alpha}} \rightarrow \begin{cases} S. Directa \begin{cases} \vec{V}_S = V_{\underline{\alpha-120^\circ}} \\ \vec{V}_T = V_{\underline{\alpha-240^\circ}} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \vec{V}_{RS} = \sqrt{3} \cdot V_{\underline{\alpha+30^\circ}} \\ \vec{V}_{ST} = \sqrt{3} \cdot V_{\underline{\alpha-90^\circ}} \\ \vec{V}_{TR} = \sqrt{3} \cdot V_{\underline{\alpha-210^\circ}} \end{cases} \\ S. Inversa \begin{cases} \vec{V}_S = V_{\underline{\alpha+120^\circ}} \\ \vec{V}_T = V_{\underline{\alpha+240^\circ}} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \vec{V}_{RS} = \sqrt{3} \cdot V_{\underline{\alpha-30^\circ}} \\ \vec{V}_{ST} = \sqrt{3} \cdot V_{\underline{\alpha+90^\circ}} \\ \vec{V}_{TR} = \sqrt{3} \cdot V_{\underline{\alpha+210^\circ}} \end{cases} \end{cases}$$

Secuencia directa ($\alpha = 0^\circ$)



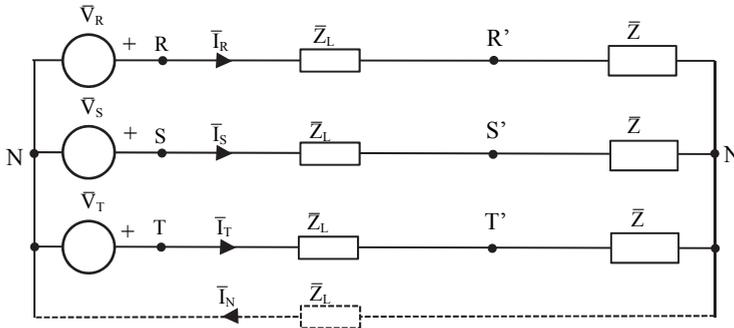
Secuencia inversa ($\alpha = 0^\circ$)



$$\left. \begin{aligned} \vec{V}_R + \vec{V}_S + \vec{V}_T &= 0 \\ \vec{V}_{RS} + \vec{V}_{ST} + \vec{V}_{TR} &= 0 \end{aligned} \right\} \text{Para todo } \alpha, \text{ secuencia directa o inversa}$$

Carga equilibrada en estrella con o sin neutro

El esquema de un circuito con carga equilibrada en estrella se muestra a continuación:

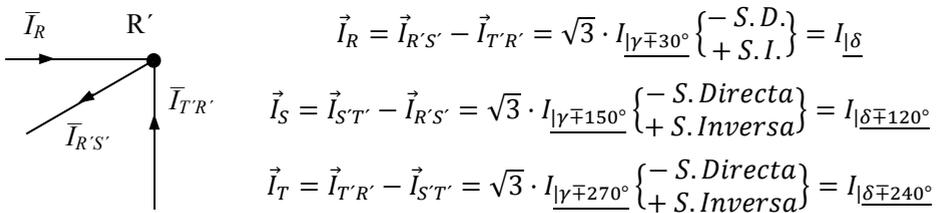
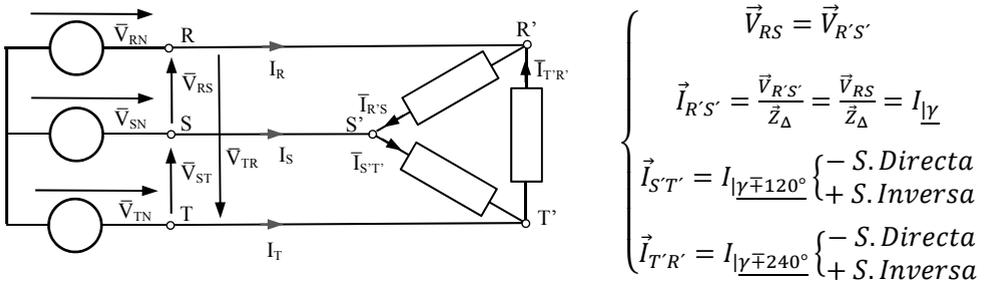


La tensión entre los neutros del generador “N” y de la carga “N” es nula. $\vec{V}_{N'N} = 0$. Llamando \bar{Z} al valor de la impedancia de cada una de las cargas, todas iguales entre sí, y \bar{Z}_L al valor de las impedancias de línea, también todas iguales entre sí, se definen los valores de las corrientes eléctricas del siguiente modo:

$$V_{N'N} = 0 \rightarrow \begin{cases} \vec{I}_R = \frac{\vec{V}_R}{\vec{Z}_L + \vec{Z}} = I_{|\beta} \\ \vec{I}_S = \frac{\vec{V}_S}{\vec{Z}_L + \vec{Z}} = I_{|\beta \mp 120^\circ} \begin{cases} - S. Directa \\ + S. Inversa \end{cases} \\ \vec{I}_T = \frac{\vec{V}_T}{\vec{Z}_L + \vec{Z}} = I_{|\beta \mp 240^\circ} \begin{cases} - S. Directa \\ + S. Inversa \end{cases} \\ \vec{I}_R + \vec{I}_S + \vec{I}_T = 0 \rightarrow I_N = 0 \end{cases}$$

Carga equilibrada en triángulo con líneas ideales

El esquema de un circuito con carga equilibrada en triángulo con líneas ideales se muestra a continuación, así como su representación vectorial gráfica y matemática:



Carga equilibrada en triángulo con líneas reales

El esquema de un circuito con carga equilibrada en triángulo con líneas reales es el mismo que para líneas ideales, sólo que se debe tener en cuenta además la impedancia interna de los conductores. Sus expresiones matemáticas se muestran a continuación:

Para seguir leyendo, inicie el proceso de compra, click aquí