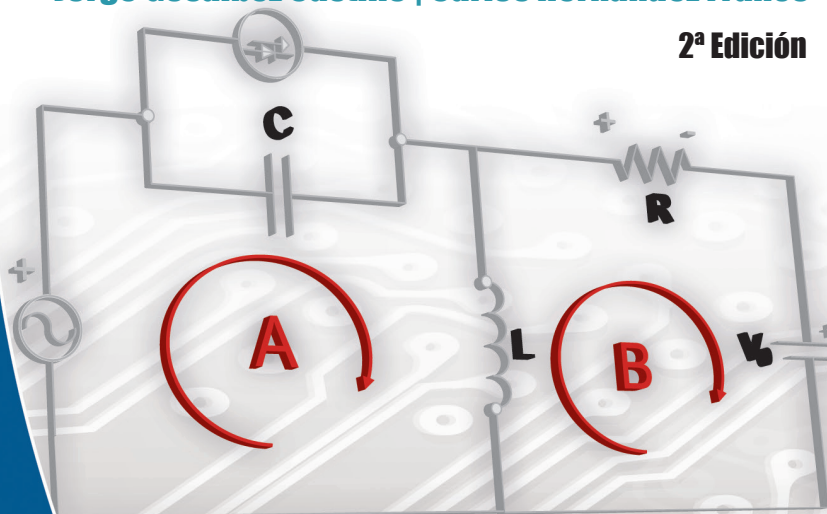


Teoría de circuitos

Teoría y problemas

Ignacio Bosch Roig | Pablo Sanchis Kilders
Jorge Gosálbez Castillo | Carlos Hernández Franco

2ª Edición



Ignacio Bosch Roig
Pablo Sanchis Kilders
Jorge Gosálbez Castillo
Carlos Hernández Franco

Teoría de Circuitos
Teoría y problemas
2ª edición

EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Colección Académica

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita: BOSCH-ROIG, I. [et.al.] (2014) [2ª ed] *Teoría de circuitos. Teoría y problemas* Valencia: Universitat Politècnica de València

Segunda edición 2014

© Ignacio Bosch Roig
Pablo Sanchis Kilders
Jorge Gosálbez Castillo
Carlos Hernández Franco

© de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València

Distribución: Telf.: 963 877 012 / www.lalibreira.upv.es / Ref.: 0425_06_02_01

Imprime: By print percom sl.

ISBN: 978-84-9048-245-2
Impreso bajo demanda

Queda prohibida la reproducción, distribución, comercialización, transformación, y en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de todo o parte de los contenidos de esta obra sin autorización expresa y por escrito de sus autores.

Impreso en España

Resumen

El presente libro trata de ser una guía para el estudio y la autoevaluación de la teoría básica de circuitos eléctricos. Su orientación es principalmente práctica y está dirigida a la resolución de problemas introduciendo previamente los conceptos teóricos necesarios. De esta forma y en líneas generales, el principal objetivo es dotar al lector de las nociones y herramientas necesarias para analizar la respuesta tanto transitoria como permanente de circuitos eléctricos sometidos a excitaciones de tipo continuo y sinusoidal. El libro presenta teoría, cuestiones y problemas, de forma ordenada por capítulos.

En el primer capítulo se desarrollan los conceptos y leyes fundamentales de la teoría de circuitos más básica, con las definiciones de corriente eléctrica y diferencia de potencial, resistencia eléctrica y ley de Ohm, energía y potencia, leyes de Kirchoff, etc... En el segundo capítulo, se amplían algunos de éstos conceptos con la introducción de los diferentes componentes eléctricos pasivos, como el resistor, el condensador o la bobina, y activos, con los generadores de tensión y corriente y las diferentes formas de asociarlos. En el tercer capítulo, se presentan los teoremas fundamentales que permiten una mejora en el análisis de los circuitos, como son el método de mallas y nodos, los equivalentes de Thevenin y Norton, la superposición y el teorema de máxima transferencia de potencia. En el cuarto capítulo se abarca el análisis de los diferentes componentes eléctricos desde el punto de vista del régimen permanente y transitorio, analizando el comportamiento específico de los condensadores y bobinas en su estado transitorio. Finalmente en el quinto capítulo, se analizan los circuitos en el régimen permanente sinusoidal, introduciendo los conceptos de impedancia compleja y potencia cuando los circuitos están funcionando en este tipo de régimen.

Los autores

Índice

Capítulo 1. Teoría de circuitos: conceptos y leyes fundamentales	7
1.1 Desarrollo teórico	7
1.1.1 Introducción	7
1.1.2 Corriente eléctrica y diferencia de potencial	7
1.1.3 Resistencia eléctrica y Ley de Ohm	8
1.1.4 Energía y potencia de una corriente eléctrica	9
1.1.5 Generadores de energía eléctrica	10
1.1.6 Leyes de Kirchhoff	12
1.2 Cuestiones	14
1.3 Problemas resueltos	15
1.4 Problemas propuestos	20
Capítulo 2. Componentes eléctricos básicos	25
2.1 Desarrollo teórico	25
2.1.1 Componentes eléctricos pasivos	25
2.1.2 Componentes eléctricos activos	35
2.2 Cuestiones	41
2.3 Problemas resueltos	44
2.4 Problemas propuestos	49
Capítulo 3. Herramientas fundamentales del análisis de circuitos	59
3.1 Desarrollo teórico	59
3.1.1 Introducción	59
3.1.2 Método de mallas	59
3.1.3 Método de nodos	61
3.1.4 Teorema de la Superposición	62
3.1.5 Impedancia equivalente	63
3.1.6 Teorema de Thevenin	64
3.1.7 Teorema de Norton	64

3.1.8 Teorema de la máxima transferencia de potencia	65
3.2 Cuestiones	67
3.3 Problemas resueltos.....	68
3.4 Problemas propuestos	77
Capítulo 4. Análisis de circuitos en régimen transitorio	95
4.1 Desarrollo teórico	95
4.1.1 Régimen permanente y transitorio	95
4.1.2 Respuesta temporal de los componentes eléctricos pasivos	95
4.1.3 Análisis del comportamiento transitorio del condensador	97
4.1.4 Análisis del comportamiento transitorio de la bobina	100
4.2 Cuestiones	104
4.3 Problemas resueltos.....	105
4.4 Problemas propuestos	113
Capítulo 5. Análisis de circuitos en régimen permanente sinusoidal	123
5.1 Desarrollo teórico	123
5.1.1 Introducción	123
5.1.2 Representación fasorial de una señal sinusoidal	124
5.1.3 Concepto de impedancia compleja	126
5.1.4 Asociación de impedancias complejas.....	129
5.1.5 Análisis de circuitos en régimen sinusoidal permanente	130
5.1.6 Equivalente de Thevenin y Norton en circuitos de alterna	131
5.1.7 Potencia en circuitos de alterna	132
5.1.8 Potencia en impedancias	135
5.2 Cuestiones	141
5.3 Problemas resueltos.....	150
5.4 Problemas propuestos	158

Anexo A. Operaciones con números complejos	183
Definición y representación de un número complejo.....	183
Otras relaciones interesantes:	184
Operaciones con complejos	184
Anexo B. Conceptos básicos de una señal sinusoidal.....	187
Parámetros de una señal sinusoidal.....	187
Otros parámetros de una señal sinusoidal	188

Capítulo 1. Teoría de circuitos: conceptos y leyes fundamentales

En este primer capítulo se presentan los conceptos y leyes fundamentales relacionadas con la teoría de circuitos. Se definirán conceptos tales como corriente eléctrica, diferencia de potencial, potencia, energía, resistencia eléctrica e impedancia. Asimismo, se presentarán la Ley de Ohm y las Leyes de Kirchhoff como herramientas básicas para el análisis de circuitos. Éstos están formados por interruptores, resistencias, condensadores y bobinas, siendo alimentados por fuentes de tensión y corriente que pueden ser dependientes o independientes y tanto de continua o directa (DC – “direct current”) como de alterna (AC – “alternate current”).

1.1 Desarrollo teórico

1.1.1 Introducción

La Teoría de Circuitos enlaza con la Física, donde la materia está compuesta por átomos, formados a su vez por el núcleo (con carga +) y los electrones (con carga -). Los electrones más externos al núcleo, denominados electrones de valencia, tienen mayor facilidad para moverse y por tanto, son aquellos que permiten un transporte neto de carga eléctrica, de forma que, desde un punto de vista macroscópico el movimiento de éstos electrones será lo que produzca la corriente eléctrica. Un circuito por tanto será una red de caminos para las cargas eléctricas negativas o electrones, por las que circulará la corriente eléctrica. La teoría de circuitos es por tanto, el estudio de la corriente eléctrica a través de esas redes de caminos y sus componentes (resistencias, condensadores, inductores).

1.1.2 Corriente eléctrica y diferencia de potencial

Los cuerpos sólidos se pueden clasificar en:

- Conductores, con una mayoría de electrones libres, lo que permite una gran circulación de corriente.
- Semiconductores, con algunos electrones libres, lo que posibilita un control de la corriente eléctrica.
- Aislantes, con pocos electrones libres, lo que impide en la práctica el movimiento de éstos y por lo tanto la circulación de la corriente.

Los conductores más usuales son los metales, de forma que si aplicamos un campo eléctrico, \vec{E} , sobre un electrón aparecerá una fuerza sobre él que tenderá a moverse en sentido contrario a la misma.

Este flujo de electrones es lo que se define como **corriente eléctrica** y puede expresarse matemáticamente como:

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \Rightarrow \frac{\text{Culombio}}{\text{segundo}} \equiv \text{Amperio}$$

La **tensión V** o diferencia de potencial (ddp) es una variable que se define entre dos puntos *A* y *B*. Si en un circuito se toma un punto de referencia y se le asigna un potencial cero, al calcular la ddp entre un punto del circuito y el de referencia se obtienen sus potenciales absolutos. A este punto de referencia se le denomina “masa” o “tierra”.

Referente a la nomenclatura, es importante destacar que en lo sucesivo se utilizarán las mayúsculas para indicar que estamos en régimen de continua y las minúsculas, siendo la variable independiente el tiempo (*t*), para régimen de alterna.

1.1.3 Resistencia eléctrica y Ley de Ohm

La Ley de Ohm establece que para muchos materiales, entre ellos casi todos los metales, la densidad de corriente \vec{J} es en cada punto proporcional a la intensidad del campo eléctrico:

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}$$

La constante de proporcionalidad σ recibe el nombre de “conductividad” y es una característica propia de cada material, que varía únicamente con la temperatura de éste. Cuanto mejor conductor sea el material, mayor será, σ , correspondiendo los valores pequeños a los aislantes. La inversa de la conductividad se llama “**resistividad**”:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \Rightarrow \vec{J} = \frac{1}{\rho} \cdot \vec{E}$$

La **Ley de Ohm** nos relaciona la diferencia de potencial entre dos puntos, V_{AB} , como el producto entre la corriente que circula entre dichos puntos, *I*, y la resistencia, *R*:



$$V_{AB} = R \cdot I$$

También podemos definir la resistencia del conductor eléctrico en función de la geometría del mismo de la siguiente forma:

$$\frac{I}{S} = \frac{1}{\rho} \frac{V_{AB}}{L} \Rightarrow V_{AB} = \rho \frac{L}{S} I \Rightarrow R = \rho \frac{L}{S}$$

siendo L la longitud del conductor y S su sección transversal.

1.1.4 Energía y potencia de una corriente eléctrica

Como se sabe de teoría electrostática, la energía potencial que una carga q tiene en un punto de potencial V es $W = q \cdot V$. Así, cuando una diferencial de carga positiva, dq , se desplaza desde un punto A de mayor potencial a otro punto B de menor potencial cede una energía de valor:

$$dW = V_A dq - V_B dq = V_{AB} dq$$

La **potencia**, que se define como la energía por unidad de tiempo y cuya unidad es el watio (W) que este circuito absorbe, será:

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{dq}{dt} V_{AB}$$

De manera general la **potencia** será:

$$P = I \cdot V_{AB}$$

y la energía (que se expresa en julios [J]) quedará como::

$$W = V_{AB} I \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t = \frac{V_{AB}^2}{R} t$$

La potencia podrá ser entregada o absorbida.

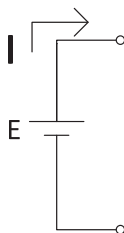
- Cuando la potencia es **absorbida** por el elemento entre los puntos A y B , se le asignará signo positivo. $P = V_{AB} \cdot I$ ya que se entiende que la corriente va del punto A al punto B donde hay una diferencia de potencial V_{AB} positiva.
Por ejemplo en el caso de un resistor, la potencia siempre será positiva y se le entregará para que la disipe en forma de calor (conocido como efecto Joule).
- Cuando la potencia es **entregada**, será negativa. $P = -V_{AB} \cdot I$, lo que ocurrirá en general en elementos generadores de tensión o corriente, si actúan como generadores ya que es posible que actúen de manera contraria, como se verá más adelante.

Por tanto, en un circuito tenemos elementos que absorben potencia o energía (resistencias fundamentalmente) y otros que pueden entregar o absorber (los generadores), estableciéndose el **teorema de la conservación de la energía**, que se define como:

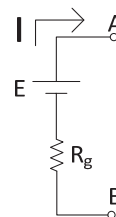
$$\underbrace{\sum P_{entregadas}}_{\text{Signo negativo}} + \underbrace{\sum P_{consumidas}}_{\text{Signo positivo}} = 0$$

1.1.5 Generadores de energía eléctrica

Si deseamos mantener constante V_{AB} será necesario el suministro de energía de forma constante. Para ello necesitamos un generador de energía eléctrica. Esta energía proviene de: pilas (química), dinamos (mecánica), centrales térmicas (calor), saltos de agua (potencial mecánica), luminosa o solar (paneles fotovoltaicos), etc. La representación gráfica de un generador es tal y como se muestra en la figura siguiente:

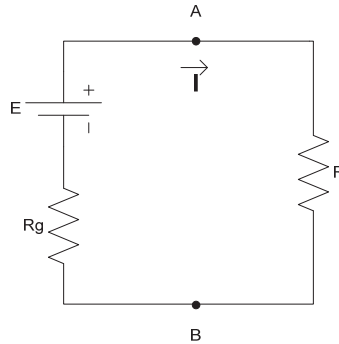


Generador ideal



Generador real
(presenta una resistencia interna R_g)

Un generador real presenta una resistencia interna, R_g , distinta de cero. Esto provoca que parte de la energía eléctrica que produce se pierda en el propio generador disipándose en forma de calor.



Debido a la resistencia interna R_g del generador, no toda la potencia generada (potencia total del generador ideal o P_T) es entregada a la carga R que se le conecta al mismo (potencia útil o P_U). Esto es, habrá una potencia disipada interna (P_{di}) que estará en relación directa con la cantidad de corriente que circula entre los terminales del generador.

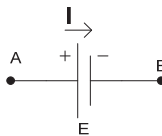
Se define el rendimiento η de un generador como sigue:

$$P_t = -E \cdot I \Rightarrow P_{di} = R_g I^2 \Rightarrow P_u = P_t + P_{di} = -E \cdot I + R_g I^2$$

$$\eta(\%) = \frac{P_u}{P_t} \times 100 = \frac{E - R_g I}{E} \times 100$$

Si R_g disminuye, entonces se mejorará la eficiencia del generador.

Por otro lado, si el circuito tiene varios generadores, en alguno de ellos la corriente puede circular en sentido contrario a como él tiende a crearla. En esta situación las cargas al pasar por el generador no reciben energía sino que es el propio generador quién la absorbe (actúan como **cargadores** de baterías).



Por lo que la Potencia $P = V_{AB} \cdot I$ en este caso es positiva.

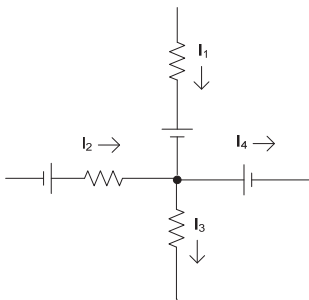
1.1.6 Leyes de Kirchhoff

La resolución de circuitos complejos exige algo más que la utilización del teorema de la conservación de la energía. Las Leyes de Kirchhoff son el soporte sobre el que se formulan las ecuaciones de los circuitos.

- Definiremos un **nodo** como la unión de tres o más conductores en un circuito eléctrico. Por lo que será cualquier punto del circuito en el que coincidan más de dos corrientes.
- Una **rama** como el conductor que existe entre dos nodos.
- Una **mall**a como el contorno cerrado que se crea desde que se sale de un nodo y se vuelve a él a través de las distintas ramas.

Definiremos el nodo 0 (también conocido como nodo de masa o tierra) que nos sirve como referencia en la determinación de las diferencias de potencial.

La **primera ley de Kirchhoff** establece que en un nodo para cualquier instante, la suma de las **corrientes** que entran, es igual a la suma de las corrientes que salen:

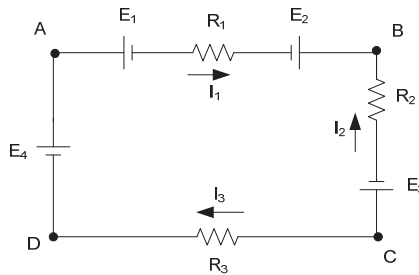


$$\sum I_{\text{entrantes}} = \sum I_{\text{salientes}}$$

En la figura superior y respecto al único nodo que presenta el circuito, quedaría:

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

La segunda ley de Kirchoff hace referencia a las tensiones en un contorno cerrado o malla y establece que en cada instante, la suma algebraica de las diferencias de potencial a través de cada elemento alrededor de un contorno cerrado, ha de ser cero:



En este caso si recorremos en sentido horario la malla cerrada del circuito de la figura empezando por el punto A, quedaría:

$$E_1 + R_1 I_1 - E_2 - R_2 I_2 - E_3 + R_3 I_3 - E_4 = 0$$

Se debe destacar que si el sentido de la malla (sentido horario en el ejemplo anterior) entra por el terminal definido como positivo del componente, el signo en la suma se mantiene positivo. En el circuito de la figura superior correspondería al generador E_1 y a las resistencias R_1 y R_3 , cuyo terminal positivo viene establecido por el sentido de la corriente I_1 e I_3 respectivamente.

Por otro lado, si el sentido de la malla entra por el terminal negativo del componente, se suma con signo negativo. Tal es el caso de los generadores E_2 , E_3 y E_4 y las resistencias R_2 y R_4 , en las cuales el sentido de la corriente es contrario al sentido escogido de la malla.

La resolución de una red (circuito más complejo formado por la unión de circuitos simples en los que la energía se transmite de unos a otros) consiste en determinar las corrientes que circulan por todas las ramas, lo que a su vez nos permitirá conocer las tensiones o diferencia de potencial (ddp) en todos los elementos que la componen.

La aplicación de las leyes de Kirchoff conduce a plantear un sistema de ecuaciones en el que las incógnitas serán precisamente las corrientes de las ramas. La elección de estas ecuaciones deberá hacerse de tal manera que el conjunto de ellas (tantas como corrientes) sea linealmente independientes.

1.2 Cuestiones

Cuestión 1.1

¿Qué ventaja tiene utilizar la corriente eléctrica como parámetro físico para representar la información?

Cuestión 1.2

¿Qué se entiende por corriente eléctrica?

Cuestión 1.3

Defina el concepto de diferencia de potencial

Cuestión 1.4

¿Qué relación existe entre potencia y energía?

Cuestión 1.5

¿A qué se debe la resistencia eléctrica en los sólidos y cuál es su relación con la Ley de Ohm?

Cuestión 1.6

¿Cómo se expresa el principio de conservación de la carga a través de la primera Ley de Kirchhoff?

Cuestión 1.7

¿Cómo se expresa el principio de conservación de la energía a través de la segunda Ley de Kirchhoff?

Cuestión 1.8

¿Qué implicaciones tiene que un generador no sea ideal?

Para seguir leyendo haga click aquí