

Mantenimiento Electrónico

CIRCUITOS
ELECTRÓNICOS
ANALÓGICOS

CIRCUITOS ELECTRÓNICOS ANALÓGICOS

Magnitudes eléctricas y componentes electrónicos analógicos

Tema I: Magnitudes eléctricas básicas y leyes fundamentales

Tema II: Análisis de circuitos

Tema III: Capacidad e Inductancias. Comportamiento en c.c.

Tema IV: Corriente alterna. Análisis de circuitos en c.a.

Tema V: Componentes electrónicos pasivos

Tema VI: Componentes electrónicos activos

Tema VII: Técnicas de medida y visualización de señales eléctricas analógicas

Tema II: Análisis de circuitos

Asociación de resistencias:

Serie. Divisor de tensión

Paralelo. Divisor de corriente

Mixto

Generadores eléctricos

Características

Acoplamiento

Leyes de Kirchhoff

Análisis de circuitos

Método de las Mallas

Método de los Nudos

Método de Superposición

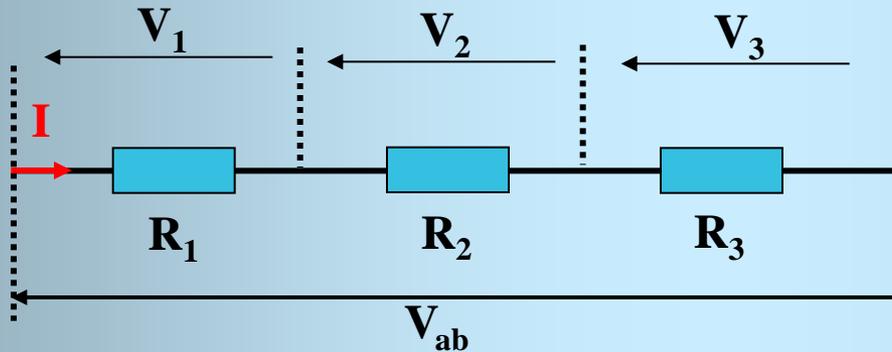
Ecuaciones de Kennelly

Teorema de Thevenin

Teorema de Norton

Asociación de Resistencias

Montaje Serie



$$I_t = I_1 = I_2 = I_3$$

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3$$

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

Características:

Circula la misma corriente en todo el circuito

La suma de las tensiones parciales es igual a la tensión total

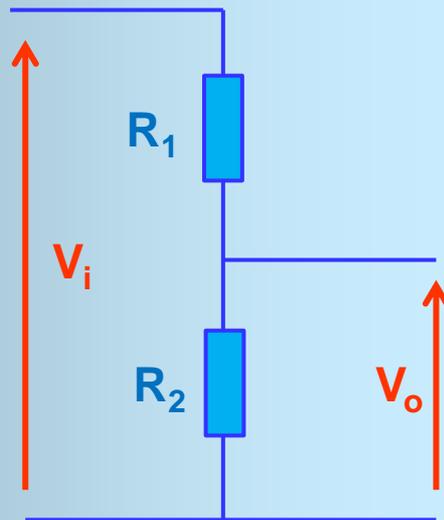
La resistencia total es igual a la suma de las resistencias parciales

La potencia total es igual a la suma de las potencias parciales

Asociación de Resistencias

Divisor de tensión

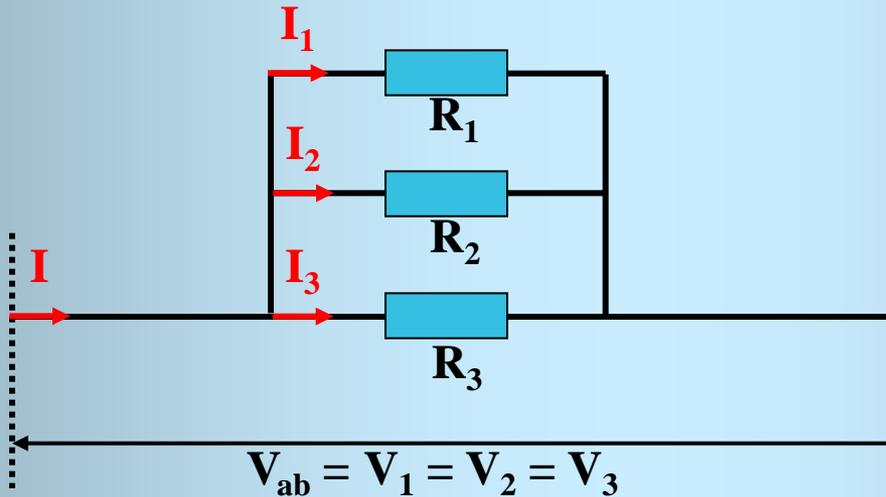
Es ésta una de las aplicaciones más generalizadas de los resistores. El circuito es el que se muestra en la figura y podemos ver como la tensión de entrada queda dividida a la salida por un factor determinado por los valores de los resistores.



$$V_o = V_i \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Asociación de Resistencias

Montaje Paralelo



$$I_t = I_1 + I_2 + I_3$$

$$V_t = V_1 = V_2 = V_3$$

$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Características:

En todos los resistores existe la misma tensión

La suma de intensidades parciales es igual a la intensidad total

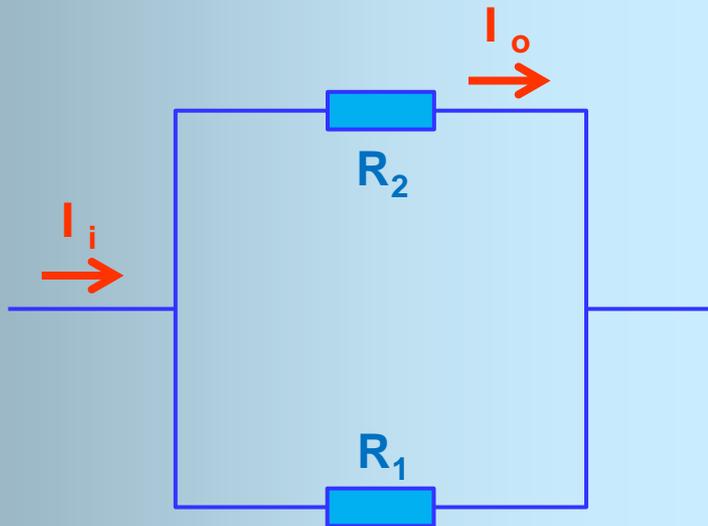
La resistencia total es menor que la resistencia más pequeña

La potencia total es igual a la suma de las potencias parciales

Asociación de Resistencias

Divisor de corriente

En este caso se dispone un resistor en paralelo con otro con el fin de desviar por él parte de la corriente, así pues, la corriente de entrada se repartirá en forma inversamente proporcional al valor de los resistores.



$$I_o = I_i \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Asociación de Resistencias

Circuitos mixtos

Para el cálculo de los circuitos mixtos el método consiste en ir simplificando progresivamente el circuito inicial hasta conseguir otro circuito equivalente lo suficientemente sencillo para facilitar los cálculos. Entonces se calcula:

1. la intensidad total absorbida por el conjunto
2. las tensiones parciales correspondientes a las distintas partes del conjunto
3. las intensidades de corrientes parciales que recorren las diferentes ramas derivadas que existan
4. las potencias total y parciales

Generadores

Clasificación de las máquinas eléctricas

Teniendo en cuenta la transformación de energía que efectúan, las máquinas y aparatos eléctricos se clasifican en tres grandes grupos:

Generadores

Receptores y

Convertidores y Transformadores.

Generador eléctrico

Recibe el nombre de generador eléctrico todo aparato o máquina capaz de producir energía eléctrica a expensas de otra clase de energía. Puede ser: térmica, química, mecánica o luminosa.

Características de un generador

- **fuerza electromotriz**
- **resistencia interna**
- **intensidad de régimen**

Generadores

Consideraciones a tener en cuenta en la utilización del generador eléctrico:

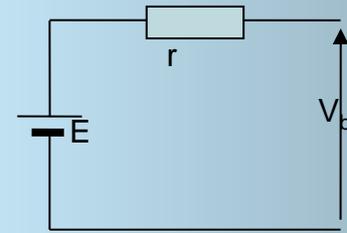
Resistencia total del circuito

Intensidad de corriente

Caída de tensión interior

Tensión en bornes

Potencia útil del generador



Funcionamiento de un generador en vacío

$$V_b = E \quad I = 0$$

Funcionamiento de un generador en cortocircuito

$$V_b = 0 \quad I = E/r$$

Rendimiento eléctrico de un generador

El rendimiento eléctrico de un generador es la relación entre la potencia útil y la total producida por el generador

Generadores

Acoplamiento de generadores. Acoplamiento en serie

Necesidad de este acoplamiento

Condición exigida a los generadores. En un acoplamiento en serie de generadores eléctricos, la intensidad de corriente es la misma para todos. Por tal motivo es condición imprescindible que todos los generadores sean de igual intensidad nominal

F.e.m. del conjunto

Resistencia interna del conjunto

Intensidad de corriente

Caída de tensión interna y tensión en bornes

Potencia útil y rendimiento del conjunto

La potencia útil del conjunto viene dada por el producto de los valores de la tensión útil en bornes y de la intensidad de corriente

El rendimiento del conjunto es igual a la relación existente entre la tensión en bornes y la f.e.m. total producida por el mismo.

Generadores

Acoplamiento de generadores. Acoplamiento en paralelo

Necesidad de este acoplamiento

Condición exigida a los generadores Los generadores acoplados en paralelo pueden ser de distinta intensidad nominal. Para que sea correcto el acoplamiento en paralelo es preciso que se cumplan las dos condiciones siguientes:

Que todos los generadores tengan f.e.m.s iguales

Que también sean iguales sus resistencias internas

Resistencia interna del conjunto

Intensidad de corriente y f.e.m. del conjunto

Caída de tensión interna y tensión en bornes

Potencia útil y rendimiento del conjunto

El cálculo de la potencia útil y rendimiento del conjunto se realizará en la misma forma que en el caso anterior

Generadores

Acoplamiento de generadores. Acoplamiento mixto

Necesidad de este acoplamiento

Condiciones del acoplamiento Este tipo de acoplamiento impone cumplir tanto las condiciones del acoplamiento serie, como las del acoplamiento paralelo.

F.e.m. del conjunto

Resistencia interna del conjunto

Intensidad de corriente suministrada

Receptores

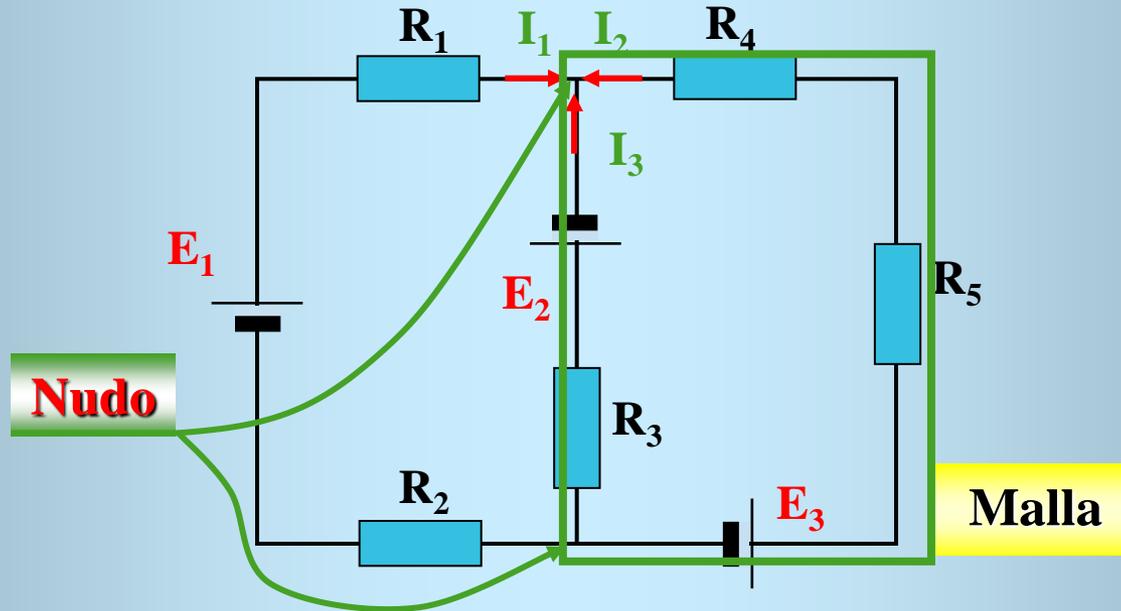
Un **Receptor eléctrico** es un elemento pasivo que recibe la energía y la transforma en otro tipo de energía, como la térmica, la luminosa y la mecánica

Los receptores son de naturaleza:

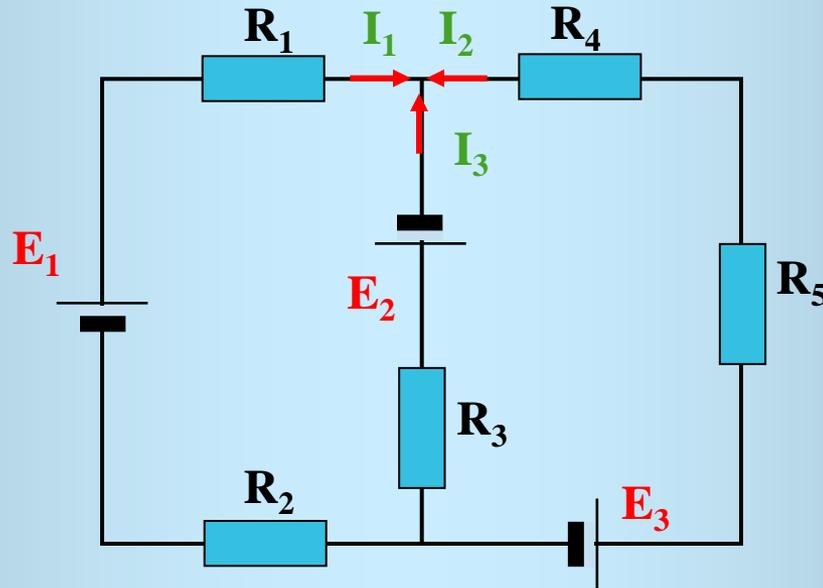
- resistiva,
- inductiva y
- capacitiva

(de momento estudiaremos tan solo los receptores resistivos)

Leyes de Kirchhoff



Leyes de Kirchhoff



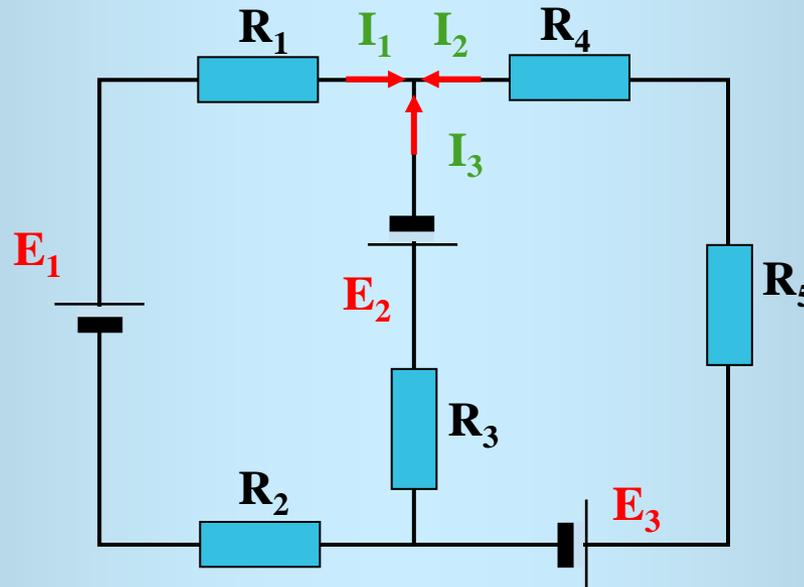
$$\sum I = 0$$

Regla de las mallas: La suma algebraica de las fuerzas electromotrices de los generadores de una malla de cualquier red es igual a la suma algebraica de las caídas de tensión en dicha malla

$$\sum E = \sum R \cdot I$$

Regla de los nudos: La suma algebraica de las intensidades de corriente que concurren en un nudo de la red es cero

Leyes de Kirchhoff



Procedimiento

1° Aplicar la **Ley de los nudos** a tantos como tenga el circuito menos uno (n-1)

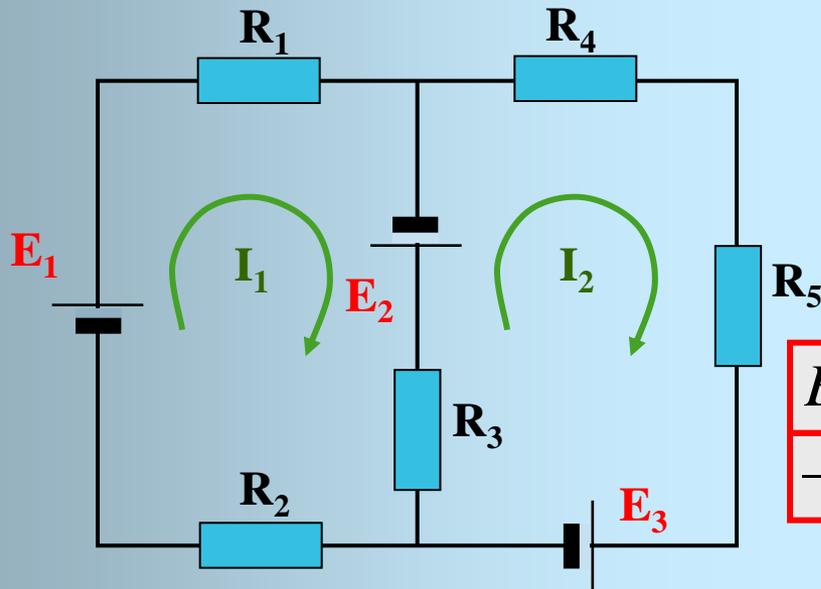
$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

2° Aplicar la **Ley de las mallas**, a tantas mallas como ramas tenga el circuito menos el número de nudos menos uno [r-(n-1)]

$$E_1 + E_2 = (R_1 + R_2) \cdot I_1 - R_3 \cdot I_3$$
$$E_2 + E_3 = -R_3 \cdot I_3 + (R_4 + R_5) \cdot I_2$$

Análisis de circuitos

Método de las Mallas

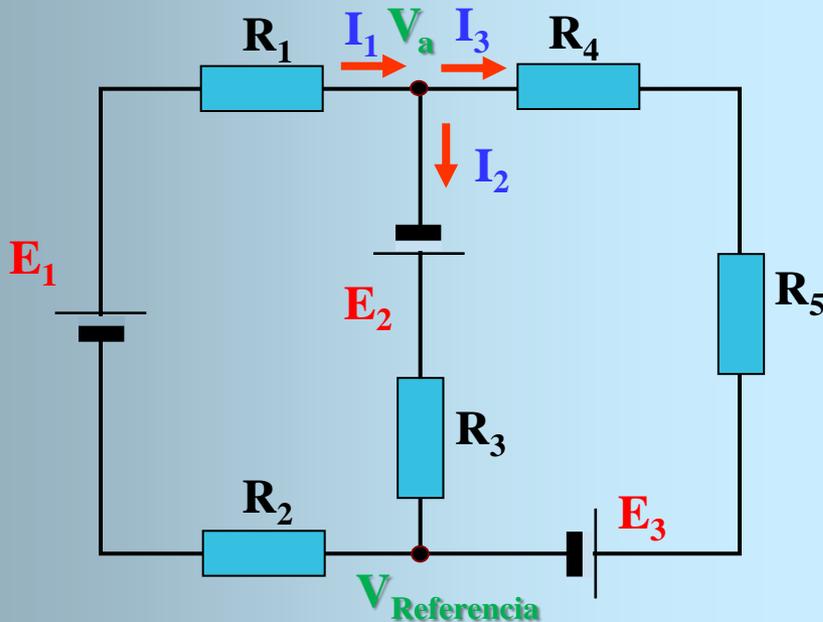


$$\begin{aligned} E_1 + E_2 &= (R_1 + R_2 + R_3) \cdot I_1 - R_3 \cdot I_2 \\ -E_2 - E_3 &= -R_3 \cdot I_1 + (R_3 + R_4 + R_5) \cdot I_2 \end{aligned}$$

- 1ª se establece arbitrariamente el sentido de las corrientes en cada malla
- 2º de cada malla se deduce una ecuación
- 3º el primer miembro será una suma algebraica de f.e.m.
- 4º el segundo será una suma algebraica de productos $R \cdot I$

Análisis de circuitos

Método de los Nodos

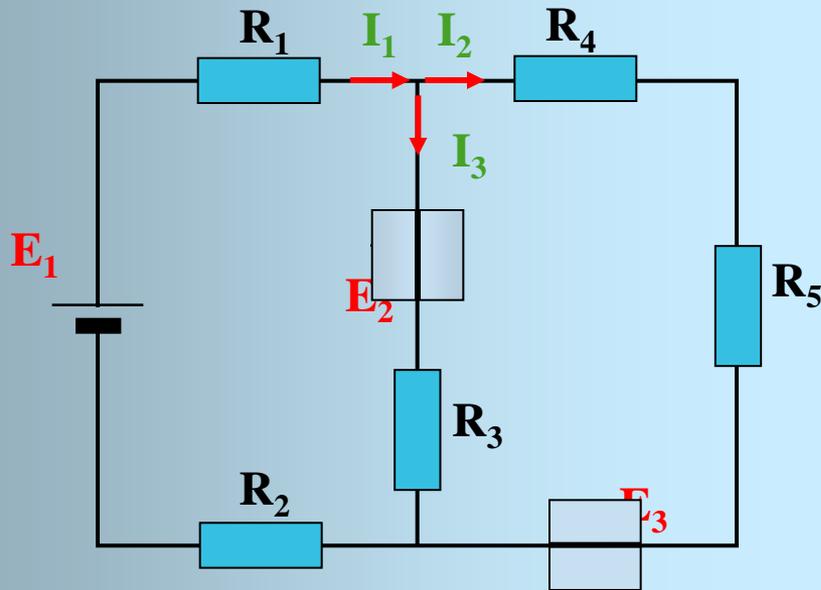


$$\frac{V_a - E_1}{R_1 + R_2} = \frac{V_a + E_2}{R_3} + \frac{V_a - E_3}{R_4 + R_5}$$

- 1ª se establece arbitrariamente un nudo de referencia
- 2º fijamos la tensión de cada nudo como la d.d.p. entre dicho nudo y el de referencia
- 3º el número de ecuaciones necesarias es igual al número de nudos menos uno (n-1)
- 4º a continuación se obtiene una ecuación por nudo y se resuelve el sistema de ecuaciones

Análisis de circuitos

Método de Superposición



$$I_1 = \frac{E_1}{\left(R_1 + R_2 + \frac{R_3 \cdot (R_4 + R_5)}{R_3 + (R_4 + R_5)} \right)}$$

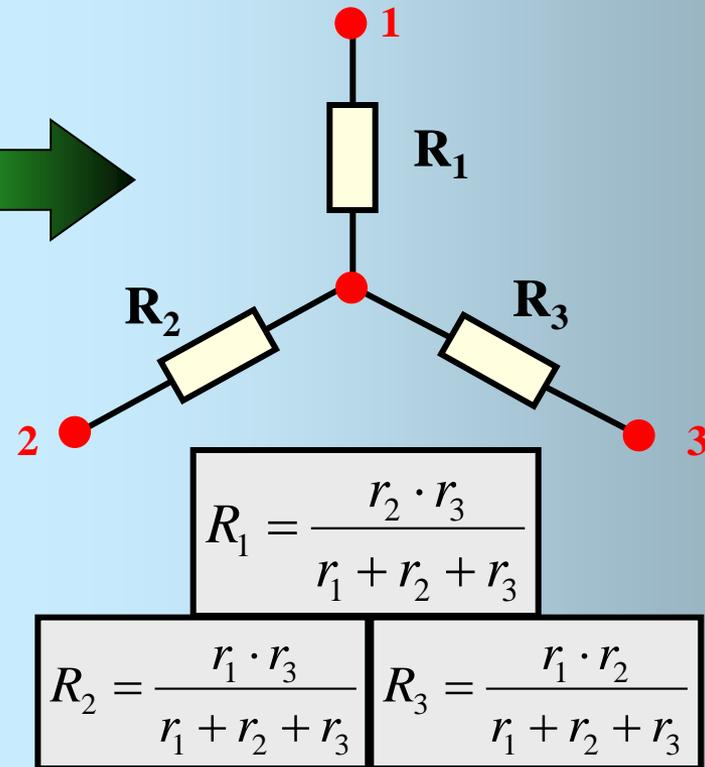
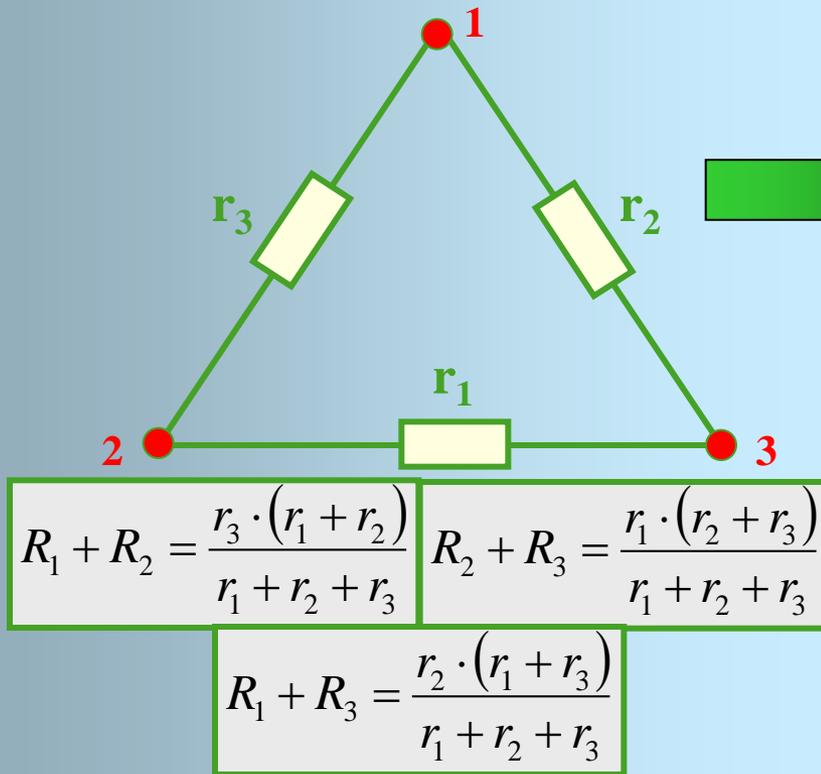
$$I_2 = \frac{I_1 \cdot \frac{R_3 \cdot (R_4 + R_5)}{R_3 + R_4 + R_5}}{R_4 + R_5}$$

$$I_3 = \frac{I_1 \cdot \frac{R_3 \cdot (R_4 + R_5)}{R_3 + R_4 + R_5}}{R_3}$$

la aplicación práctica de este método consiste en analizar tantos circuitos como generadores existan, actuando en cada caso con un solo generador para lo cual se cortocircuitan los restantes, se calculan las intensidades en cada rama para cada caso y posteriormente se suman algebraicamente

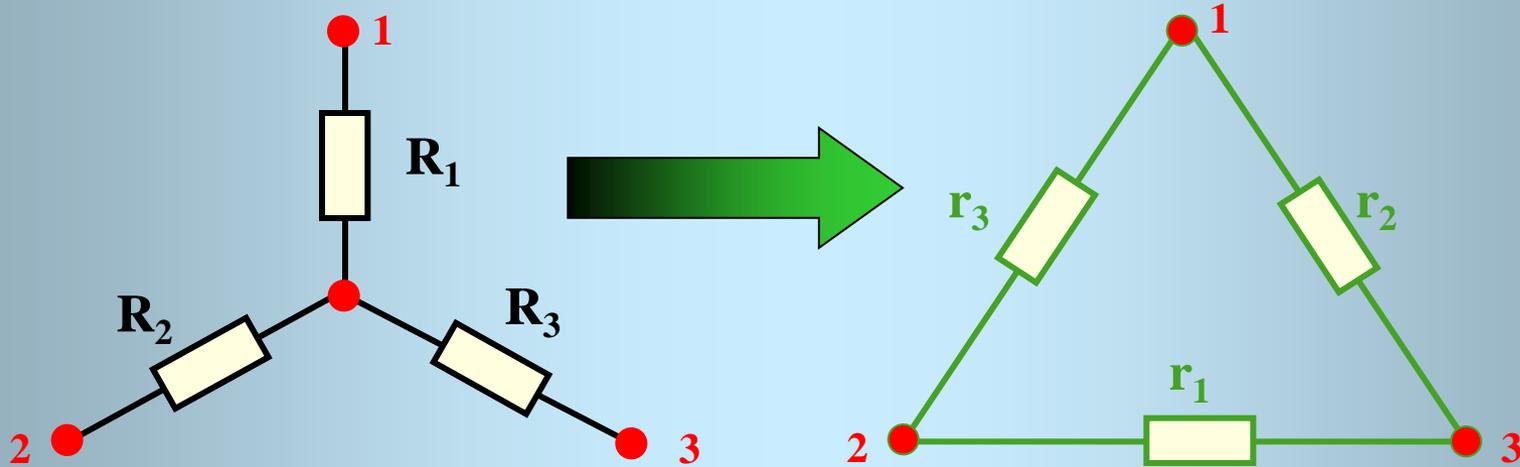
Ecuaciones de Kennelly

Transformación triángulo-estrella



Ecuaciones de Kennelly

Transformación estrella-triángulo



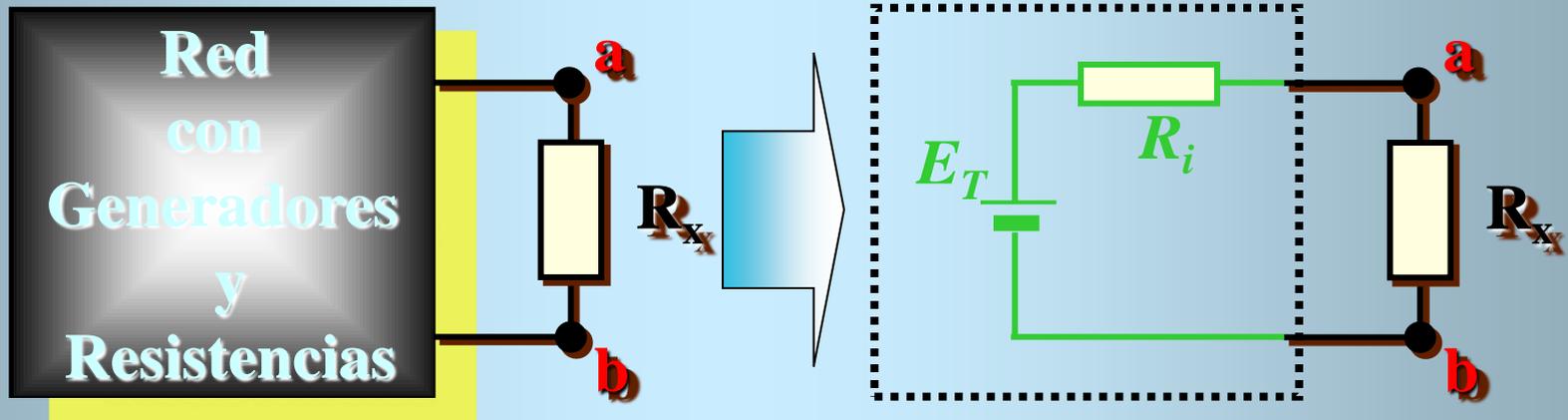
$$R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 = \frac{r_1 \cdot r_2 \cdot r_3}{r_1 + r_2 + r_3}$$

$$r_1 = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}{R_1} \quad r_2 = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}{R_2}$$

$$r_3 = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}{R_3}$$

Teoremas

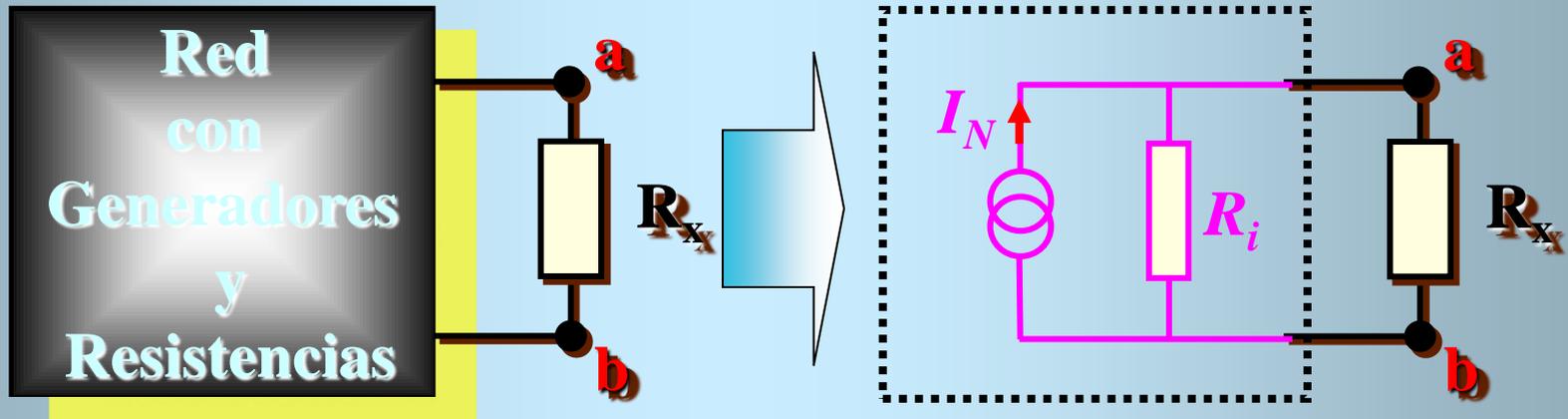
Teorema de Thevenin



Teorema de Thevenin: la corriente que circula por una resistencia cualquiera de una red, conectada entre dos terminales **a** y **b**, es la misma que si dicha resistencia estuviera conectada a un solo generador de tensión cuya *f.e.m.* fuera la *d.d.p.* medida entre **a** y **b** en circuito abierto y cuya resistencia interna fuera la medida entre **a** y **b** (sin la resistencia) cortocircuitando los generadores de tensión y abriendo los de intensidad de la red.

Teoremas

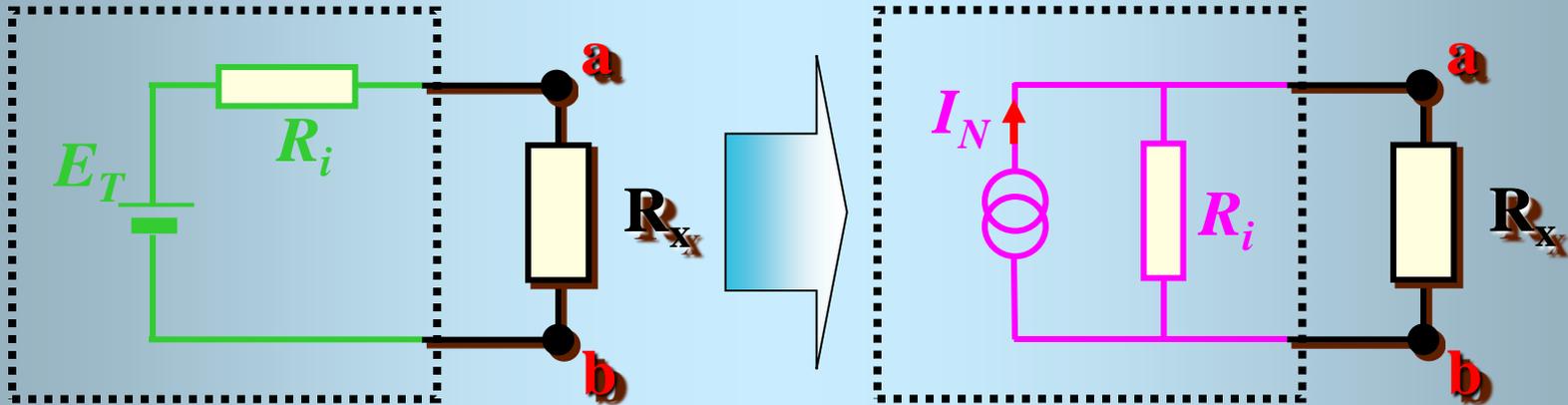
Teorema de Norton



Teorema de Norton: la corriente que circula por una resistencia cualquiera de una red, conectada entre dos terminales **a** y **b**, es la misma que si dicha resistencia estuviera conectada a un solo generador de corriente cuya *intensidad* fuera la medida entre **a** y **b** en cortocircuito y cuya resistencia interna fuera la medida entre **a** y **b** (sin la resistencia) cortocircuitando los generadores de tensión de la red y abriendo los generadores de corriente y colocada en paralelo con el generador.

Teoremas

Paso de Thevenin a Norton

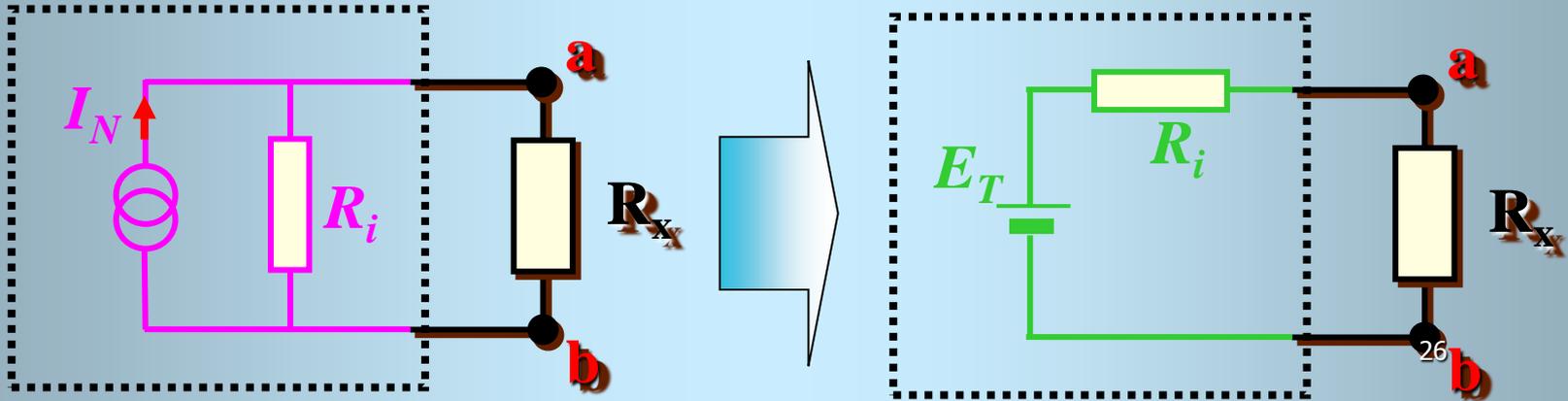


Se puede transformar el generador de tensión de Thevenin en un generador de corriente disponiendo la resistencia serie de Thevenin en paralelo.

El valor del generador de Norton será $I_N = E_T / R_i$

Teoremas

Paso de Norton a Thevenin



Se puede transformar el generador de corriente de Norton en un generador de tensión disponiendo la resistencia paralelo de Norton en serie.

El valor del generador de Thevenin $E_T = I_N \cdot R_i$



Fin Tema.2

CEA- aAlfaro

Análisis de circuitos

Resistencias-Serie

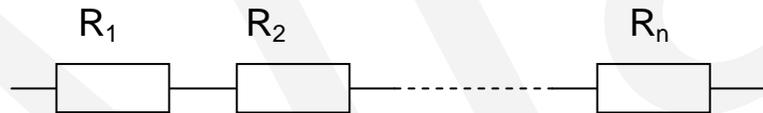
Resistencias Serie

Se dice que un conjunto de resistencias están conectadas en serie cuando el extremo de una se une al extremo de otra y el extremo libre de esta otra a otra, y así sucesivamente formando una cadena quedando libres el primer extremo de la primera y el segundo de la última

Resistencia total equivalente de un conjunto de resistencias conectadas en serie

Se denomina resistencia total o equivalente de un conjunto de resistencias en serie a aquella resistencia que se comportaría en la misma forma eléctricamente, que todo el conjunto.

Por tanto, la resistencia total serie será igual a la suma de los valores de todas las resistencias conectadas en serie



$$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Un caso particular se da cuando todas las resistencias parciales tienen el mismo valor, en cuyo caso

$$R_T = n \cdot R$$

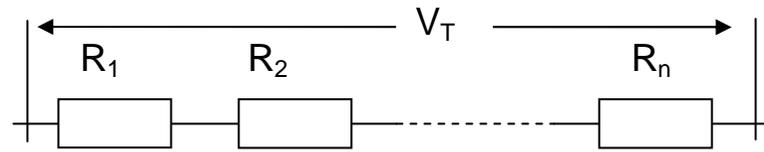
Siendo:

n = n^o de resistencias en serie

R = valor de una de ellas

Intensidad total

La intensidad de corriente que circula en este tipo de montaje será igual a la tensión aplicada al conjunto partido por el valor de la resistencia total



$$I_T = \frac{V_T}{R_T}$$

Una característica de este montaje es que la corriente que atraviesa cada resistencia parcial es la misma e igual al valor de la intensidad total.

Tensiones parciales

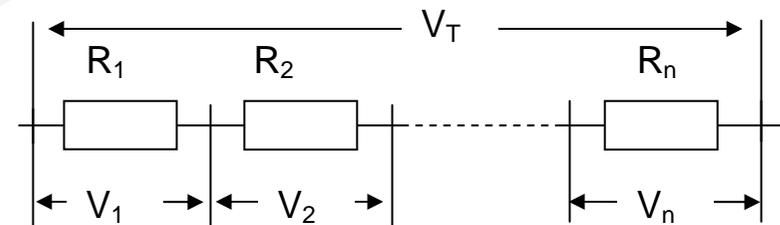
En todo circuito serie la suma de todas las caídas de tensión correspondientes a cada resistencia será igual a la tensión total aplicada, siendo la caída de tensión en cada resistencia igual al producto de dicha resistencia por la intensidad que la atraviesa.

$$V_1 = R_1 \cdot I$$

$$V_2 = R_2 \cdot I \quad V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

.....

$$V_n = R_n \cdot I$$



Potencias total y parciales

La potencia total es igual al producto de la tensión total aplicada por la corriente que recorre el circuito. Las potencias parciales son las correspondientes a cada resistencia y su valor se determina multiplicando el valor de la resistencia por la intensidad que la atraviesa al cuadrado, o bien, la caída de tensión en cada resistencia por la intensidad que la atraviesa.

En cualquier caso, la potencia total será siempre igual a la suma de las potencias parciales.

$$P_T = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

Resumen

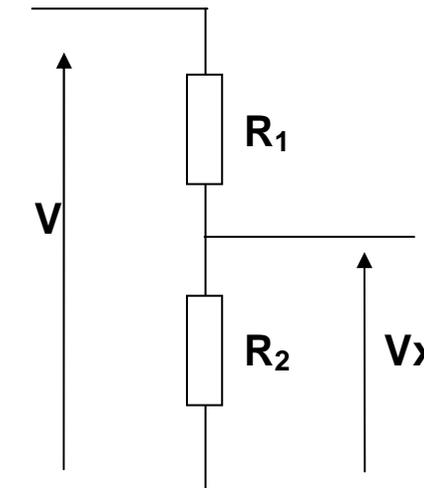
Como resumen de todo lo expuesto diremos:

1. la resistencia total es igual a la suma de las resistencias parciales
2. la intensidad que atraviesa a todas las resistencias es en todos los casos la misma
3. la suma de las caídas de tensión en todas y cada una de las resistencias es siempre igual a la tensión total aplicada.

Divisor de tensión

Para un circuito en serie, la tensión que existe en cualquier resistor (o alguna combinación de resistores en serie) es igual al valor de ese resistor (o a la suma de dos o más resistores en serie) multiplicado por la diferencia de potencial de todo el circuito en serie y dividido entre la resistencia total del circuito.

$$V_x = \frac{R_2 \cdot V}{R_1 + R_2}$$



Resistencias-Paralelo

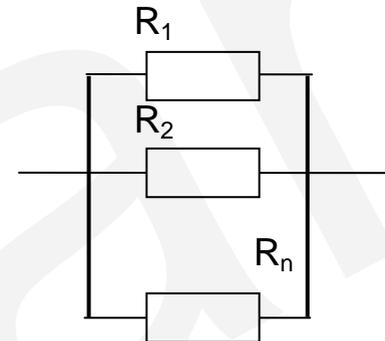
Resistencias Paralelo

Se dice que un conjunto de resistencias están conectadas en paralelo o derivación cuando todos los extremos de la izquierda, de todas las resistencias, quedan unidos entre sí, así como todos los extremos de la derecha

Resistencia total o equivalente

La resistencia total, equivalente o combinada en un montaje paralelo es igual al inverso de la suma de los inversos de las resistencias que constituyen el circuito

$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$



Casos particulares

1. Cuando el montaje paralelo está constituido por solo dos resistencias la ecuación general se simplifica siendo en este caso la resistencia equivalente igual al producto partido por la suma de ambas resistencias

$$R_t = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

2. Cuando el circuito paralelo está constituido por un número **n** de resistencias todas del mismo valor, la resistencia total o equivalente será igual al valor de una dividida por el número total de ellas

$$R_t = \frac{R}{n}$$

Intensidad total e intensidades parciales

La intensidad total del circuito la obtendremos al dividir la tensión aplicada por la resistencia total o equivalente

$$I_T = \frac{V_T}{R_T}$$

Las intensidades parciales o intensidad a través de cada resistencia se obtiene dividiendo la tensión aplicada por el valor de dicha resistencia

La intensidad total es igual a la suma de las intensidades parciales

Potencia total y potencias parciales

El procedimiento de cálculo tanto de la potencia total como de las potencias parciales es idéntico al visto en el circuito serie

$$P_T = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

Resumen

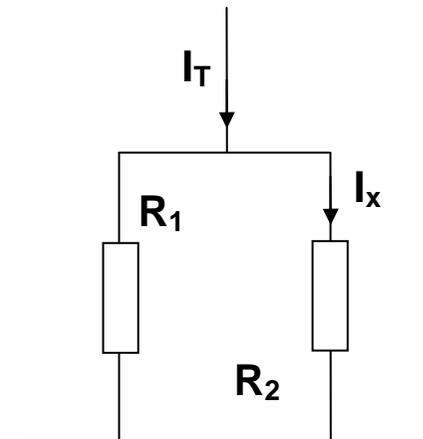
Los puntos más importantes a considerar en este montaje son:

1. la resistencia total o equivalente es igual al inverso de la suma de los inversos de las resistencias que configuran el circuito. Hay dos casos especiales:
 - a. si el circuito está constituido por tan solo dos resistencias la resistencia total será igual al producto partido por la suma de los valores de dichas resistencias
 - b. si todas las resistencias tienen el mismo valor, la resistencia total será igual al valor de una de ellas dividida por el número de resistencias que conforman el circuito
2. la tensión aplicada a cada resistencia es igual en todos los casos e igual a su vez a la tensión total aplicada, es decir, tensión total y tensiones parciales son iguales
3. la suma de las intensidades parciales será siempre igual a la intensidad total

Divisor de corriente.

Para dos derivaciones paralelas, la corriente que pasa por cualquier derivación es igual al producto del otro resistor en paralelo por la corriente de entrada dividido entre la suma de los dos resistores en paralelo

$$I_X = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_T$$



Circuitos mixtos

Para el cálculo de los circuitos mixtos el método consiste en ir simplificando progresivamente el circuito inicial hasta conseguir otro circuito equivalente lo suficientemente sencillo para facilitar los cálculos. Entonces se calcula:

1. la intensidad total absorbida por el conjunto
2. las tensiones parciales correspondientes a las distintas partes del conjunto
3. las intensidades de corrientes parciales que recorren las diferentes ramas derivadas que existan
4. las potencias total y parciales

Generadores eléctricos

Clasificación de las máquinas eléctricas

Teniendo en cuenta la transformación de energía que efectúan, las máquinas y aparatos eléctricos se clasifican en tres grandes grupos:

1. generadores : que transforman en energía eléctrica otra forma cualquiera de energía
2. receptores : transforman la energía eléctrica en otra forma cualquiera de energía
3. convertidores y transformadores: que conservan la energía eléctrica pero modifican su clase o características, a fin de hacerla más adecuada para su utilización.

Generador eléctrico

Recibe el nombre de generador eléctrico todo aparato o máquina capaz de producir energía eléctrica a expensas de otra clase de energía. Pueden ser: térmicos, químicos, mecánicos, etc.

Características de un generador

Todo generador eléctrico está caracterizado por unos valores que le son propios e independientes del circuito exterior al cual está acoplado y al que comunica la energía eléctrica que produce

Estos valores constantes, que reciben el nombre de características del generador, son:

- a) la fuerza electromotriz que es la causa que mantiene en movimiento a los electrones a lo largo del circuito
- b) la resistencia interna o interior que es el valor de la resistencia medida entre los bornes de salida
- c) la intensidad de régimen que es el valor máximo de intensidad de corriente que puede circular por el generador sin que se produzcan efectos perjudiciales que pudieran ponerlo fuera de servicio

Utilización del generador eléctrico

Para poder utilizar la energía eléctrica producida por un generador es necesario conectar a sus bornes un circuito exterior de resistencia R

Resistencia total del circuito

La resistencia total del circuito será igual a la suma de la resistencia interna y la resistencia de carga o aplicación

$$R_T = r + R$$

Intensidad de corriente.

La intensidad de corriente que atraviesa el circuito queda determinada mediante la aplicación de la ley de Ohm

$$I = \frac{E}{r + R}$$

Caída de tensión interior

La caída de tensión interior de un generador es igual al producto del valor de su resistencia interna por el de la intensidad de corriente de carga

$$V_i = r \cdot I$$

Tensión en bornes

La tensión en bornes de un generador es igual al producto del valor de la resistencia del circuito por el de la intensidad de corriente de carga

$$V_b = R \cdot I$$

o también, a la f.e.m. del generador menos la caída de tensión interna

$$V_b = E - V_i = E - r \cdot I$$

Potencia útil del generador

La potencia útil de un generador es el valor de la potencia eléctrica en sus bornes.

La potencia útil de un generador es igual al producto del valor de su tensión en bornes por la intensidad de corriente de la carga

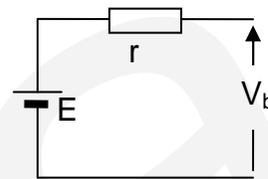
$$P_u = V_b \cdot I$$

Funcionamiento de un generador en vacío

Se dice que un generador funciona en vacío cuando está desconectado de la resistencia exterior.

$$V_b = E$$

$$I = 0$$

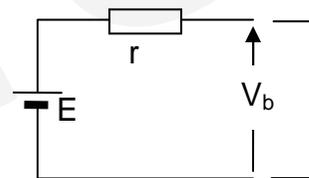


Funcionamiento de un generador en cortocircuito

Se dice que un generador funciona en cortocircuito cuando sus bornes quedan unidos mediante una resistencia de muy pequeño valor, prácticamente nula.

$$V_b = 0$$

$$I_{CC} = E/r$$



La intensidad de corriente en un generador en cortocircuito es igual al cociente que resulta de dividir la f.e.m. por la resistencia interna del generador

Rendimiento eléctrico de un generador

El rendimiento eléctrico de un generador es la relación entre la potencia útil y la total producida por el generador, o lo que es lo mismo al cociente que resulta de dividir la tensión en bornes por la f.e.m.

$$R_e = \frac{V_b}{E}$$

Acoplamiento de generadores

- Acoplamiento en serie

- **Necesidad de este acoplamiento**

Siempre que el circuito exterior de utilización exija una tensión de mayor valor de la que puede proporcionar un solo generador se acoplan varios generadores en serie, de forma que se sumen sus correspondientes f.e.m.s. Para efectuar el acoplamiento en serie de varios generadores eléctricos, se conecta el borne negativo de cada uno de ellos con el borne positivo del siguiente, quedando libres el positivo del primero y el negativo del último

- **Condición exigida a los generadores**

En un acoplamiento en serie de generadores eléctricos, la intensidad de corriente es la misma para todos. Por tal motivo es condición imprescindible que todos los generadores sean de igual intensidad nominal

- **F.e.m. del conjunto**

La f.e.m. total del conjunto de varios generadores en serie es igual a la suma de las f.e.m.s. producidas por todos y cada uno de ellos.

Ordinariamente, los generadores acoplados en serie son de igual f.e.m. por lo que el valor de la f.e.m. total es igual a la de uno por el número de ellos.

- **Resistencia interna del conjunto**

En un acoplamiento de generadores en serie la resistencia interna del conjunto es igual a la suma de las resistencias internas de los distintos generadores.

- **Intensidad de corriente**

Cuando se conecta a los bornes del conjunto o batería constituida por varios generadores en serie un circuito exterior de resistencia R quedará formado un circuito cuya resistencia total será igual a la suma de las resistencias internas del conjunto y la resistencia exterior

$$R_T = r_i + R$$

y por tanto

$$I = \frac{E_T}{R_T}$$

- **Caída de tensión interna y tensión en bornes**

La caída de tensión interna del conjunto de varios generadores acoplados en serie es igual al producto del valor de la resistencia interna total del conjunto por el valor de la intensidad de corriente que suministra

$$V_c = r_T \cdot I$$

Si del valor de la f.e.m. total producida por el conjunto de varios generadores acoplados en serie se deduce el valor de la caída de tensión interna del conjunto, el resto representa la tensión útil en bornes.

$$V_B = E_T - V_c$$

- **Potencia útil y rendimiento del conjunto**

La potencia útil del conjunto viene dada por el producto de los valores de la tensión útil en bornes y de la intensidad de corriente

$$P_u = V_b \cdot I$$

El rendimiento del conjunto es igual a la relación existente entre la tensión en bornes y la f.e.m. total producida por el mismo.

$$\eta = \frac{V_b}{E}$$

- **Acoplamiento en paralelo**

- **Necesidad de este acoplamiento**

Cuando el circuito exterior de utilización demande una corriente mayor que la que puede suministrar uno solo de los generadores se recurre a acoplar varios en paralelo.

En este acoplamiento la tensión resultante en los bornes de la batería, es exactamente igual que la tensión existente en los bornes de cada uno de los generadores que la componen.

- **Condición exigida a los generadores**

Los generadores acoplados en paralelo pueden ser de distinta intensidad nominal.

Para que sea correcto el acoplamiento en paralelo es preciso que se cumplan las dos condiciones siguientes:

- a) Que todos los generadores tengan f.e.m.s iguales
- b) Que también sean iguales sus resistencias internas

- **Resistencia interna del conjunto**

El valor de la resistencia interna combinada del conjunto es igual al de la resistencia de un generador dividida por el número de ellos

- **Intensidad de corriente y f.e.m. del conjunto**

La intensidad de corriente del conjunto es igual a la suma de las intensidades parciales.

La f.e.m. del conjunto, como veíamos anteriormente, ha de ser la misma en todos los generadores y al estar en paralelo será igual a la de uno de ellos.

- **Caída de tensión interna y tensión en bornes**

La caída de tensión interna del conjunto será igual al producto de la resistencia interna del conjunto por el valor de la intensidad total suministrada por el conjunto.

La tensión en bornes será por tanto el valor de la f.e.m. menos la caída de tensión interna.

- **Potencia útil y rendimiento del conjunto**

El cálculo de la potencia útil y rendimiento del conjunto se realizará en la misma forma que en el caso anterior

- **Acoplamiento mixto**

- **Necesidad de este acoplamiento**

- Cuando el circuito exterior de utilización exige simultáneamente valores de tensión en bornes e intensidad de corriente mayores que las que puede suministrar un solo generador, es necesario acoplar cierto número de generadores, de forma que constituyan varias ramas, cada una de las cuales esté formada por igual número de generadores serie, estando reunidas todas las ramas en paralelo

- **Condiciones del acoplamiento**

- Este tipo de acoplamiento impone cumplir tanto las condiciones del acoplamiento serie, como las del acoplamiento paralelo.

- **F.e.m. del conjunto**

- En el acoplamiento mixto la f.e.m. del conjunto es la misma que la producida en cada rama. La f.e.m. de cada rama será igual a la f.e.m. de un generador por el número de ellos en cada rama

- **Resistencia interna del conjunto**

- La resistencia de cada rama es igual a la suma de las resistencias internas de todos los generadores que la forman. Dado que las distintas ramas están acopladas en paralelo, la resistencia interna del conjunto será igual a la resistencia de una de las ramas dividido por el número de ellas.

- En resumen, la resistencia interna combinada de un conjunto formado por varios generadores acoplados en serie-paralelo es igual a la resistencia de un generador multiplicado por el número de ellos que constituyen la rama y dividido por el número de ramas conectadas en paralelo.

- **Intensidad de corriente suministrada**

- La intensidad total suministrada será igual a la f.e.m. del conjunto dividido por la resistencia combinada del conjunto más la resistencia de aplicación.

Leyes de Kirchhoff

Si un circuito tiene un número de derivaciones interconectadas, es necesario aplicar otras dos leyes para obtener el flujo de corriente que recorre las distintas derivaciones. Estas leyes, descubiertas por el físico alemán Gustav Robert Kirchhoff, son conocidas como las leyes de Kirchhoff. La primera, la ley de los nudos, dice que en cualquier unión en un circuito a través del cual fluye una corriente constante, la suma de las intensidades que llegan a un nudo es igual a la suma de las intensidades que salen del mismo. La segunda ley, la ley de las mallas afirma que, comenzando por cualquier punto de una red y siguiendo cualquier trayecto cerrado de vuelta al punto inicial, la suma neta de las fuerzas electromotrices halladas será igual a la suma neta de los productos de las resistencias halladas por las intensidades que fluyen a través de ellas. Esta segunda ley es sencillamente una ampliación de la ley de Ohm.

Reglas de los nodos

En todo nodo se cumple:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

“Las corrientes que entran a un nodo son iguales a las corrientes que salen”

Regla de las mallas

En toda malla se cumple:

$$\sum \varepsilon - \sum i.R = 0$$

“La sumatoria de las fuerzas electromotrices en una malla menos la suma de las caídas de potencial en los resistores presentes es igual a cero”

Regla de signos:

- A.- Al pasar a través de una pila del terminal positivo al negativo se considera positiva la f.e.m.
- B.- Al pasar a través de una pila del terminal negativo al positivo se considera negativa la f.e.m.
- C.- Al pasar a través de un resistor de mayor a menor potencial se considerará la existencia de una caída de tensión positiva
- D.- Al pasar a través de un resistor de menor a mayor potencial se considerará la existencia de una caída de tensión negativa

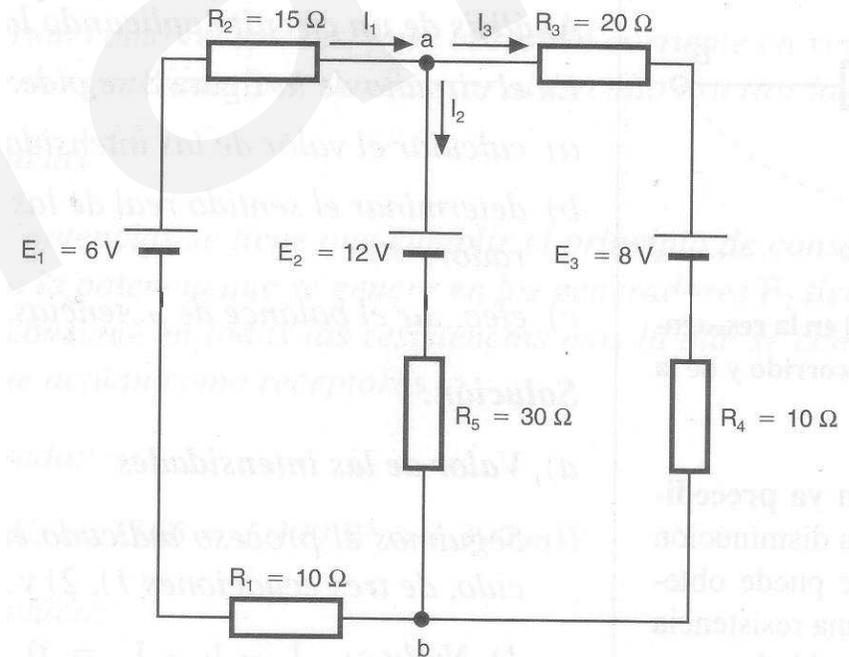
Planteamiento y resolución del problema

- ✓ Primero.- Asignar una letra a cada nudo.
- ✓ Segundo.- Representar todas las corrientes de rama asignándoles un sentido cualquiera al azar. Este sentido asignado al azar no puede cambiarse durante todas las operaciones que dure el proceso.
- ✓ Tercero.- Aplicamos la ley de las corrientes a tantos nudos como haya menos uno $(n-1)$.
- ✓ Cuarto.- Aplicamos la ley de las tensiones a tantas mallas como ramas tenga el circuito menos el número de nudos menos uno $[r-(n-1)]$. Para plantear cada ecuación debemos establecer, previamente y al azar, el sentido en que vamos a recorrer la malla, seguidamente planteamos la ecuación teniendo siempre presente la Regla de signos.
- ✓ Quinto.- Una vez planteado el sistema de ecuaciones se resuelven, y se obtienen las intensidades pedidas.
- ✓ Sexto.- Una vez resuelto el sistema de ecuaciones, todas las intensidades que resulten positivas tendrán el sentido real igual al supuesto, mientras que las intensidades negativas indican que el sentido real es contrario al supuesto previamente al azar.
- ✓ Séptimo.- Conocidas las corrientes del circuito, podemos calcular la diferencia de potencial en extremos de cada componente así como la potencia disipada por los componentes que deberá ser igual a la aportada por los generadores.

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$E_1 - R_2 I_1 - E_2 - R_5 I_2 - R_1 I_1 = 0$$

$$E_2 - R_3 I_3 - E_3 - R_4 I_3 + R_5 I_2 = 0$$



Análisis de circuitos por el método de las mallas o de Maxwell

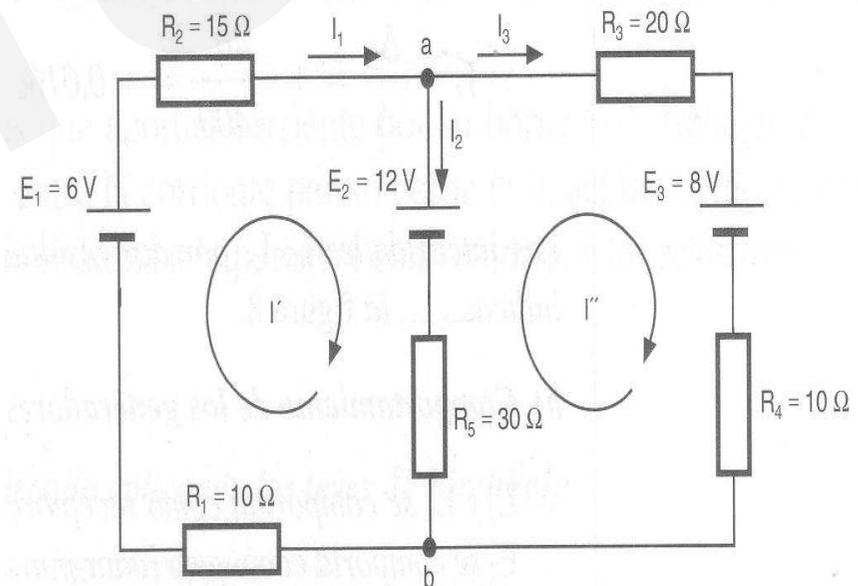
Las ecuaciones que estableció Maxwell están basadas en la segunda ley de Kirchhoff. En la aplicación de esta teoría de análisis, las incógnitas del circuito son las intensidades por las mallas.

El procedimiento a seguir para abordar el análisis de mallas es el siguiente.

1. Asignar una corriente de malla a cada trayectoria cerrada independiente en un sentido al azar. Este sentido asignado al azar no puede cambiarse durante todas las operaciones que dure el proceso.
2. El número de ecuaciones necesarias es igual al número de mallas, considerando como malla toda trayectoria cerrada que contenga al menos una rama que no pertenezca a ninguna otra malla.
3. Los términos de cada ecuación situados a la izquierda del signo igual es, la suma algebraica de las fuentes de tensión por las que pasa la corriente de malla que interesa. Se ponen signos positivos a las fuentes de fuerza electromotriz que tienen una polaridad tal que favorecen el sentido asignado a la corriente de malla (pase del terminal negativo al positivo a través de la fuente de tensión) y negativo en caso contrario.
4. Los términos de cada ecuación situados a la derecha del signo igual serán, la suma de los valores de todas las resistencias por las que pasa la corriente de malla que interesa multiplicado por esa corriente de malla más la suma algebraica de todas las resistencias de las ramas compartidas con otra malla multiplicado por la corriente de la otra malla y cuyo signo dependerá de que ambas corrientes coincidan en la rama común, en cuyo caso será positivo, o negativo si ambas corrientes recorren la rama común en direcciones opuestas.
5. Una vez planteado el sistema de ecuaciones se resuelven, y se obtienen las intensidades pedidas.
6. Una vez resuelto el sistema de ecuaciones, todas las intensidades que resulten positivas tendrán el sentido real igual al supuesto, mientras que las intensidades negativas indican que el sentido real es contrario al supuesto previamente al azar.
7. Conocidas las corrientes del circuito, podemos calcular la diferencia de potencial en extremos de cada componente así como la potencia disipada por los componentes que deberá ser igual a la aportada por los generadores.

$$E_1 - E_2 = (R_2 + R_5 + R_1)I' - R_5I''$$

$$E_2 - E_3 = -R_5I' + (R_5 + R_3 + R_4)I''$$

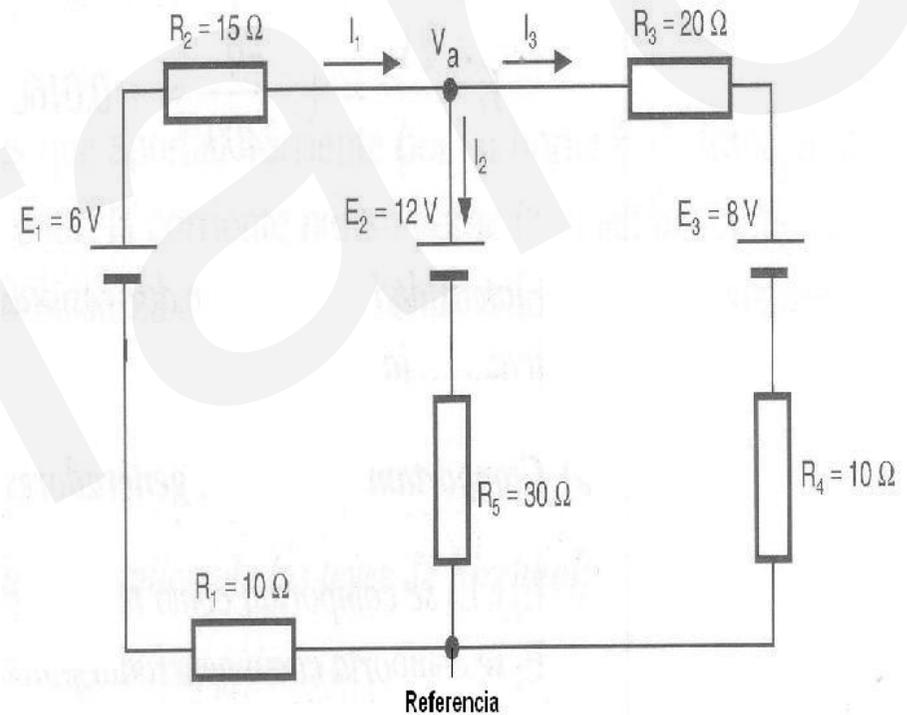


Análisis de circuitos por el método nodal

El siguiente método se basa en la primera ley de Kirchoff y resulta muy indicado en circuitos con pocos nudos y muchas ramas

- Escogemos un nudo de referencia y fijamos la tensión de cada nudo como la diferencia de potencial entre dicho nudo y el de referencia.
- El número de ecuaciones necesarias para una solución completa es igual al número de nudos menos uno ($n - 1$).
- A continuación, se obtiene una ecuación por nudo aplicando la primera ley de Kirchoff. Al obtener las ecuaciones, el nudo puesto a masa, o de referencia, se considera a potencial cero, y los generadores que existan en las ramas concurrentes al nudo considerado suman o restan su valor al potencial de dicho nudo según el convenio de signos.
- Se resuelve el sistema de ecuaciones, obteniéndose el potencial de cada nudo.

$$\frac{V_a - E_1}{R_1 + R_2} = \frac{V_a - E_2}{R_5} + \frac{V_a - E_3}{R_3 + R_4}$$



Análisis de circuitos por el Teorema de superposición.

El teorema se fundamenta en que:

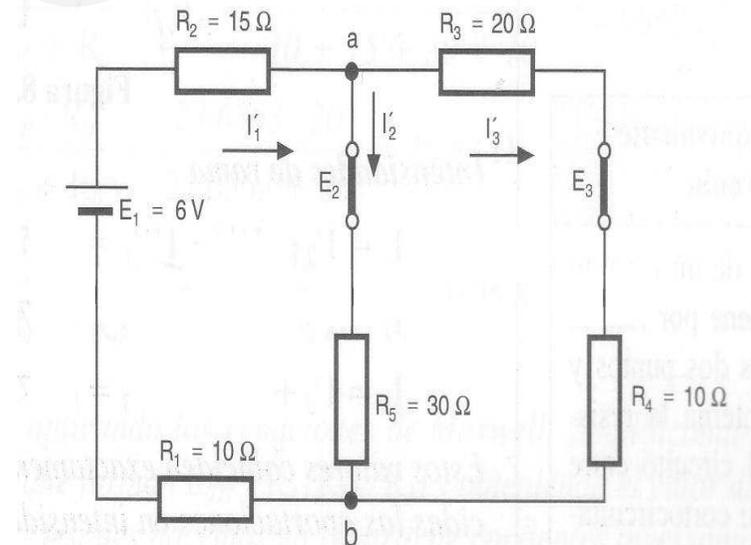
La corriente o la tensión que existe en cualquier elemento de una red lineal es igual a la suma algebraica de las corrientes o las tensiones producidas independientemente por cada fuente

Considerar los efectos de cada fuente de manera independiente requiere que las fuentes se retiren y reemplacen sin afectar al resultado final. Para retirar una fuente de tensión al aplicar este teorema, la fuente de tensión se cortocircuita; si lo que se ha de quitar es una fuente de corriente entonces sus contactos se dejan abiertos (circuito abierto). Cualquier conductancia o resistencia interna asociada a las fuentes desplazadas no se elimina, sino que todavía deberá considerarse.

La corriente total a través de cualquier porción de la red es igual a la suma algebraica de las corrientes producidas independientemente por cada fuente; o sea, para el circuito que venimos analizando en todos los casos, se realizan los cálculos de las corrientes por cada rama considerando tan solo uno de los generadores (como vemos en la figura adjunta, hemos cortocircuitado los otros dos por tratarse de generadores de tensión); a continuación procedemos a cortocircuitar el primero y tercero de los generadores dejando tan solo el segundo y volvemos a calcular las corrientes por cada rama y por último teniendo solo en consideración el tercer generador volvemos a realizar los cálculos

Por último se calculan las corrientes por cada rama, teniendo en cuenta que si la corriente producida por una fuente sigue una dirección, mientras que la producida por las otras van en sentido opuesto a través del mismo resistor, la corriente resultante será la diferencia entre ellas y tendrá la dirección de la mayor. Si las corrientes individuales tienen el mismo sentido, la corriente resultante será la suma en la dirección de cualquiera de las corrientes. Esta regla es cierta para la tensión a través de una porción de la red, determinada por las polaridades y se puede extender a redes con cualquier número de fuentes.

El principio de la superposición no es aplicable a los efectos de la potencia, puesto que la pérdida de potencia en un resistor varía con el cuadrado (no lineal) de la corriente o de la tensión. Por esta razón, la potencia en un elemento no se puede determinar sino hasta haber establecido la corriente total (o la tensión) a través del elemento mediante la superposición.



Teorema de Kennelly (Conversión Y – Δ; Δ – Y)

Con frecuencia se encuentran configuraciones de circuitos en que los resistores no parecen estar en serie o en paralelo. Es esas condiciones, puede ser necesario convertir el circuito de una forma a otra para resolver variable eléctrica desconocida. Dos configuraciones de circuitos que suelen simplificar esa dificultad son las transformaciones estrella (Y) y triángulo (Δ), que se muestra en la Figura.

Las relaciones entre ambas configuraciones son

$$r_1 = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

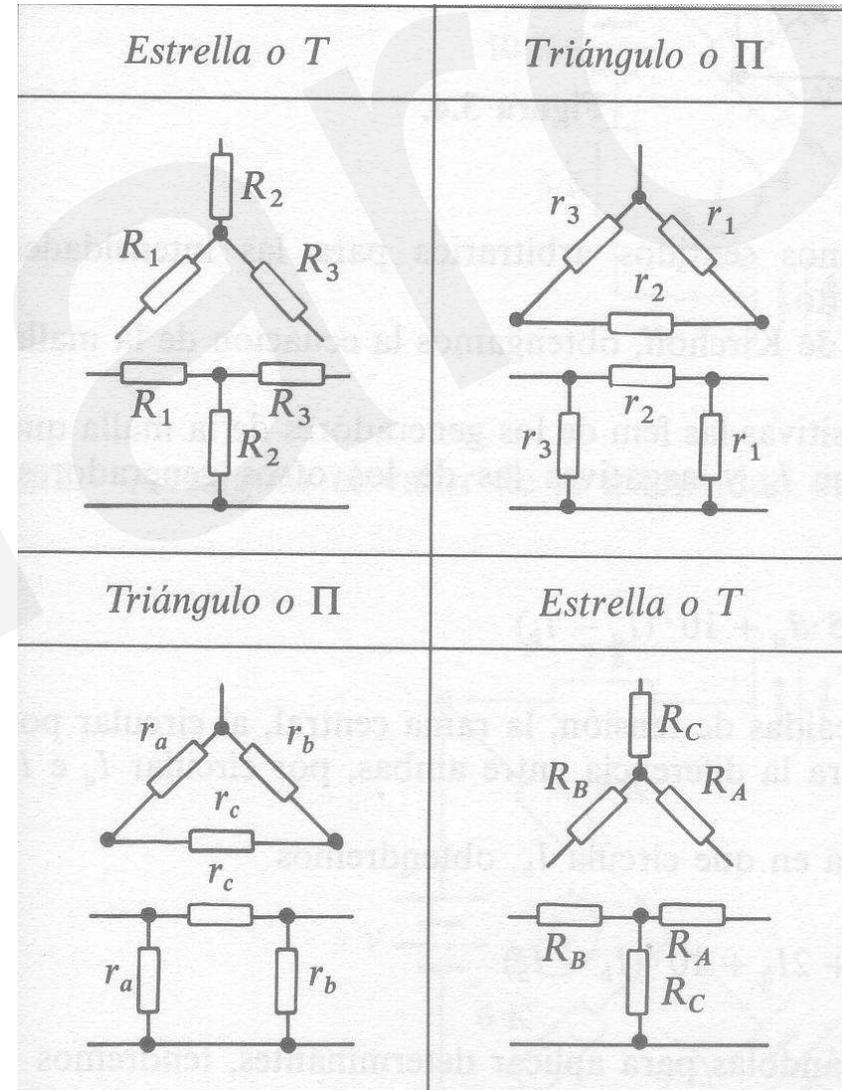
$$r_2 = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}{R_2}$$

$$r_3 = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}{R_3}$$

$$R_A = \frac{r_b \cdot r_c}{r_a + r_b + r_c}$$

$$R_B = \frac{r_a \cdot r_c}{r_a + r_b + r_c}$$

$$R_C = \frac{r_b \cdot r_a}{r_a + r_b + r_c}$$



Teorema de Thevenin

El teorema de Thevenin es un método empleado para evaluar el efecto de un red sobre una resistencia de carga y dice que todo circuito con dos terminales A y B, puede ser sustituido por otro equivalente, formado por una resistencia, llamada de Thevenin, R_{TH} , en serie con una fuente de tensión, E_{TH} , (tensión de Thevenin), cuyos valores se obtienen como sigue:

- Marcar las terminales de la red que queremos sustituir por el circuito equivalente de Thevenin.
- Calcular la diferencia de potencial E_{TH} , entre los terminales A y B.
- Calcular R_{TH} , para ello, primero las fuentes de tensión se reemplazan con circuitos en corto y las de corriente con circuitos abiertos y luego se calcula la resistencia resultante entre los dos terminales marcados.
- Dibujar el circuito equivalente de Thevenin reemplazando la porción del circuito que se retiró previamente, entre los terminales del circuito equivalente.

Teorema de Norton

El Teorema de Norton es dual al de Thevenin y establece que cualquier red lineal bilateral con dos terminales se puede reemplazar con un circuito equivalente que consiste en una fuente de corriente I_N y un resistor en paralelo R_N .

Las etapas que conducen a los valores apropiados de I_N y R_N son:

- Marcar las terminales de la red que queremos sustituir por el circuito equivalente de Norton
- Calcular la corriente I_N , entre los terminales A y B en cortocircuito.
- Calcular R_N , para ello, primero las fuentes de tensión se reemplazan con circuitos en corto y las de corriente con circuitos abiertos y luego se calcula la resistencia resultante entre los dos terminales marcados.
- Dibujar el circuito equivalente de Norton reemplazando la porción del circuito que se retiró previamente, entre los terminales del circuito equivalente con el generador de corriente I_N en paralelo con la resistencia R_N .

Conversión de fuentes de tensión a fuentes de corriente y viceversa.

La fuente de corriente es el dual de la fuente de tensión. El término dual indica que lo que sea característico de la tensión o la corriente de una batería lo será también para la corriente o la tensión, según el caso, de una fuente de corriente. La fuente de corriente proporciona una corriente fija independiente de la tensión solicitada.

En el proceso de conversión, el valor de la resistencia que se encuentre en serie con la fuente de tensión tendrá el mismo valor que la resistencia ubicada en paralelo con la fuente de corriente, no obstante, la corriente proporcionada por la fuente de corriente se relaciona con la fuente tensión a través de:

$$I_N = \frac{E_{TH}}{R_{TH}} \quad y \quad R_N = R_{TH}$$

Por último, la dirección de la corriente quedará establecida en función de la polaridad de la fuente de tensión, pues siempre saldrá del terminal positivo

