Prefacio

El presente documento forma parte del programa de estudios de la materia Análisis de Circuitos I, ofrecida a sus estudiantes en el Instituto Universitario de Tecnología para la informática – Iutepi. Sirve de apoyo complementario bajo la modalidad de autoaprendizaje publicado en su campus virtual, a todos los alumnos que cursan la materia.

Contenido del programa de estudios

- Análisis de Circuitos
- Estudio del Régimen Transitorio
-

Análisis de Circuitos

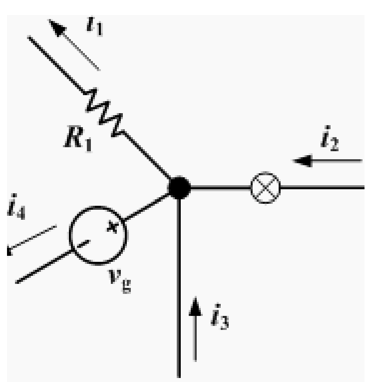
El análisis de redes eléctricas por nodos es un método que utiliza la Ley de Corrientes de Kirchhoff para obtener un conjunto de ecuaciones simultáneas que, al ser resueltas, suministran la información concerniente a los voltajes a través de cada elemento de circuito.

Análisis de Nodos

Un nodo es un punto de unión de dos o más elementos de circuito. Si en un nodo se unen más de tres elementos, tal nodo se llama Nodo Mayor o Principal.

El número de ecuaciones de nodos es igual al número de nodos mayores menos uno. Por lo tanto, cuando se seleccionan los nodos mayores, se omite el nodo que conecta el mayor número de ramas, ya que se considera como nodo de referencia y se le asigna un voltaje igual a cero. Para determinar las tensiones en los nodos se debe seleccionar un nodo de referencia al cual se le asigna una tensión de 0V, después se deben asignar las tensiones V1, V2, ..., Vn−1 a los nodos restantes. Las tensiones se asignan respecto al nodo de referencia]. Posteriormente se debe aplicar la ley de corrientes de Kirchhoff a cada uno de los n − 1 nodos. Se usa la ley de Ohm para expresar las corrientes en términos de las tensiones como se muestra en la ecuación. Finalmente se resuelve el sistema de ecuaciones.

El análisis de nodos, o método de tensiones nodales es un método para determinar la tensión (diferencia de potencial) de uno o más nodos.



Procedimiento.

1. Localice los segmentos de cable conectados al circuito. Estos serán los nodos que se usarán para el método.

2. Seleccione un nodo de referencia (polo a tierra). Se puede elegir cualquier nodo ya que esto no afecta para nada los cálculos; pero elegir el nodo con más conexiones podría simplificar el análisis.

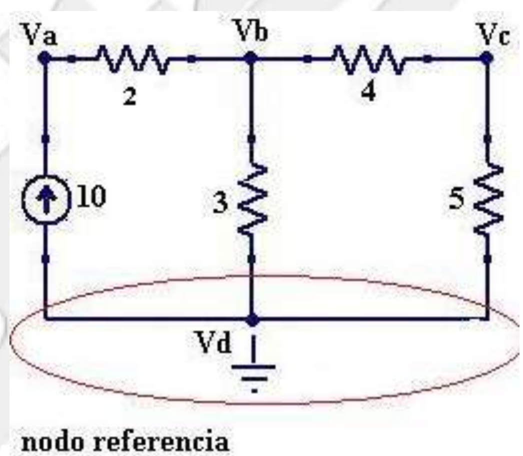
3. Identifique los nodos que están conectados a fuentes de voltaje que tengan una terminal en el nodo de referencia. En estos nodos la fuente define la tensión del nodo. Si la fuente es independiente, la tensión del nodo es conocida. En estos nodos no se aplica la LCK.

4. Asigne una variable para los nodos que tengan tensiones desconocidas. Si la tensión del nodo ya se conoce, no es necesario asignarle una variable.

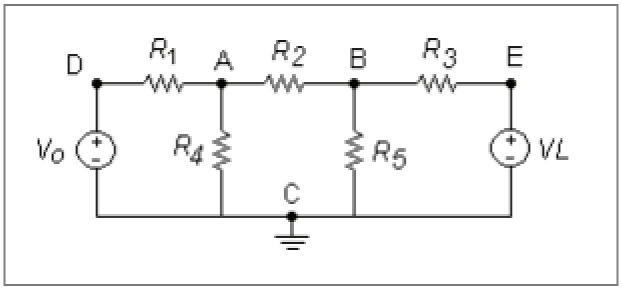
5. Para cada uno de los nodos, se plantean las ecuaciones de acuerdo con las Leyes de Kirchhoff. Básicamente, sume todas las corrientes que pasan por el nodo e iguálelas a 0. Si el número de nodos es n, el número de ecuaciones será por lo menos n-1 porque siempre se escoge un nodo de referencia el cual no se le elabora ecuación.

6. Si hay fuentes de tensión entre dos tensiones desconocidas, una esos dos nodos como un súper nodo, haciendo el sumatorio de todas las corrientes que entran y salen en ese súper nodo. Las tensiones de los dos nodos simples en el súper nodo están relacionadas por la fuente de tensión intercalada.

7. Resuelva el sistema de ecuaciones simultáneas para cada tensión desconocida.



Encontrar el sistema de ecuaciones de nodos para el circuito de la Figura



Solución:

Dado que la referencia es el nodo C y que las fuentes de voltaje están a tierra, solo se requiere aplicar LKC a los nodos A y B.

NODO C:

Se toma como referencia $V_C = 0$

NODO D:

$$V_0 = V_{DC} = V_D - V_C = V_D$$

NODO E:

$$V_E = V_L$$

NODO A: (Corrientes que salen igual a cero)

$$I_{AD} + I_{AC} + I_{AB} = 0$$

$$\frac{V_{AD}}{R_1} + \frac{V_{AC}}{R_4} + \frac{V_{AB}}{R_2} = 0$$

$$\frac{V_A - V_D}{R_1} + \frac{V_A - V_C}{R_4} + \frac{V_A - V_B}{R_2} = 0$$

$$V_A\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4}\right) - \frac{V_B}{R_2} - \frac{V_D}{R_1} - \frac{V_C}{R_4} = 0$$

$$V_A\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_2}\right) + V_B\left(\frac{-1}{R_2}\right) = \frac{V_0}{R_1}$$

NODO B: (Corrientes que salen igual a cero)

$$I_{BA} + I_{BC} + I_{BE} = 0$$

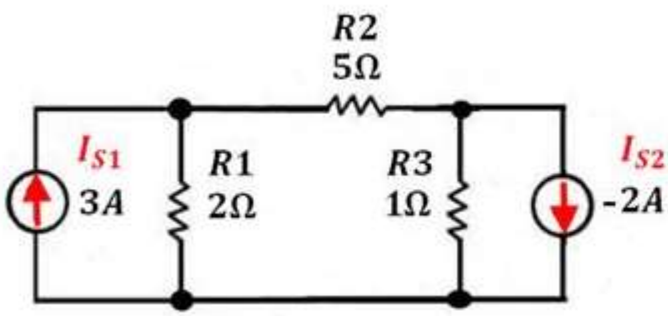
$$V_A\left(-\frac{1}{R_2}\right) + V_B\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5}\right) = \frac{V_L}{R_3}$$

En forma matricial tenemos:

$$\boxed{\begin{bmatrix} (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_4) & -1/R_2 \\ -1/R_2 & (1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_5) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_O/R_1 \\ V_L/R_3 \end{bmatrix}}$$

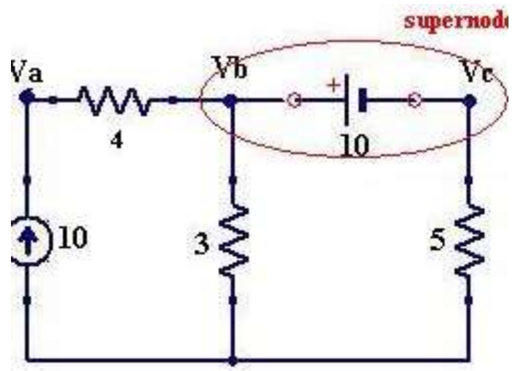
<u>Autoevaluación</u>

1. Resolver la siguiente red eléctrica por el método estudiado anteriormente.

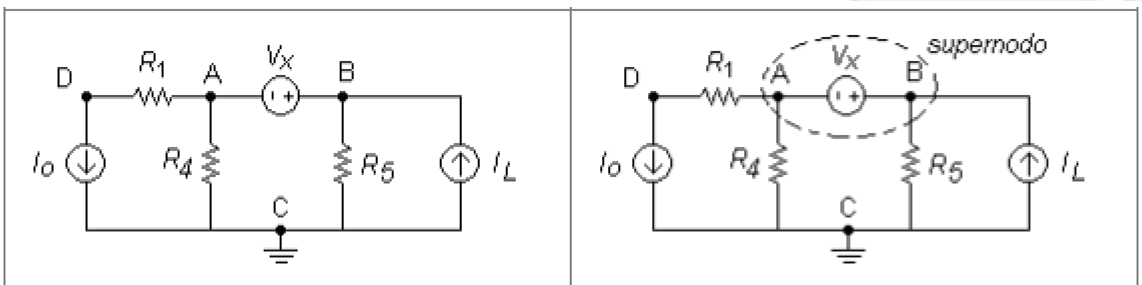


Súper Nodo

Cuando existen fuentes independientes de voltajes dentro de la red donde se aplica el análisis de nodos, se inicia como en nodos, y se asigna un voltaje nodal a cada independiente de la red, incluyendo a cada fuente de voltaje independiente como si esta fuera un resistor o una fuente de corriente. Se reemplazan las fuentes de voltaje por un corto circuito y se aplica ley de Kirchhoff a los nodos de la red.



Encontrar el sistema de ecuaciones de nodos para el siguiente circuito



(a) (b)

Solución

En este caso se tienen cuatro nodos, de manera que al seleccionar el nodo C como referencia el sistema se reduce a tres nodos: A, B y D. Para el nodo D se escribe la ecuación correspondiente a KCL de la manera tradicional. Sin embargo para los nodos A y B no se puede hacer lo mismo, de manera que tenemos tres incógnitas y una ecuación. Para encontrar dos ecuaciones adicionales se procede a escribir la ecuación de KCL del supernodo (corrientes que entran en la curva gaussiana mostrada) en función de los voltajes de nodo de los nodos A, B y D. La tercera ecuación resulta de la restricción que impone el supernodo: la caída de voltaje en la fuente corresponde a la diferencia de potencial entre los dos nodos A y B. Nodo D: (corrientes que salen igual a cero).

$$I_{DC} + I_{DA} = 0$$

$$I_0 + \frac{V_D - V_A}{R_1} = 0$$

$$V_A\left(\frac{1}{R_1}\right) + V_D\left(\frac{-1}{R_1}\right) = I_0$$

LCK en el Supernodo: (Corrientes que salen igual a cero)

$$I_{AD}+I_{AC}+I_{BC}-I_L=0$$

$$\frac{V_A-V_D}{R_1}+\frac{V_A-V_C}{R_4}+\frac{V_B-V_C}{R_5}-I_L=0$$

$$\frac{V_A-V_D}{R_1}+\frac{V_A}{R_4}+\frac{V_B}{R_5}=I_L$$

$$V_A\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_4}\right)+V_B\left(\frac{1}{R_5}\right)+V_D\left(\frac{-1}{R_1}\right)=I_L$$

Restricción en el Supernodo:

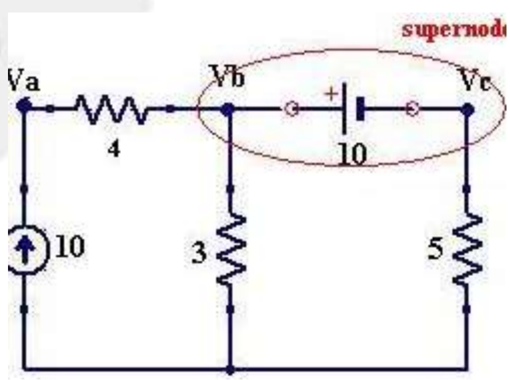
$$V_A-V_B=-V_X$$

En forma matricial:

$$\begin{bmatrix} 1/R1 & 0 & -1/R1 \\ 1/R1+1/R4 & 1/R5 & -1/R1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_D \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} I_O \\ I_L \\ -V_X \end{bmatrix}$$

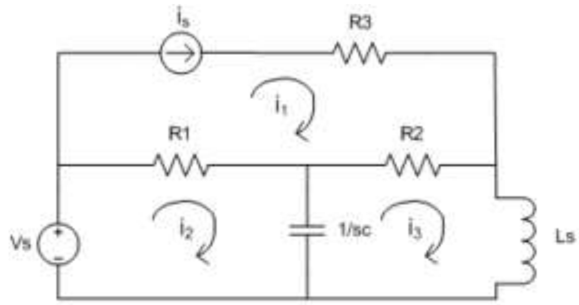
Autoevaluación

Resolver la siguiente red eléctrica por el método estudiado anteriormente.



Análisis de Mallas

Una malla es una red cerrada de la cual no sale ningún otro lazo.



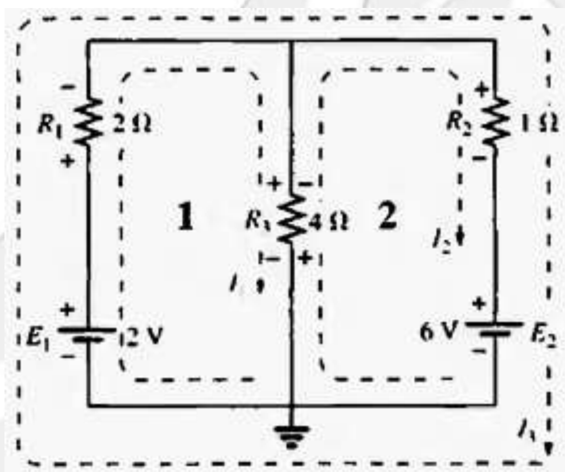
1.Para realizar el análisis de mallas se asigna una corriente a cada malla o lazo cerrado en sentido de las manecillas del reloj y se les da un nombre tal como I1, I2 , I3, , , , In..

2. Se asigna una polaridad según lo determine la dirección de cada corriente.

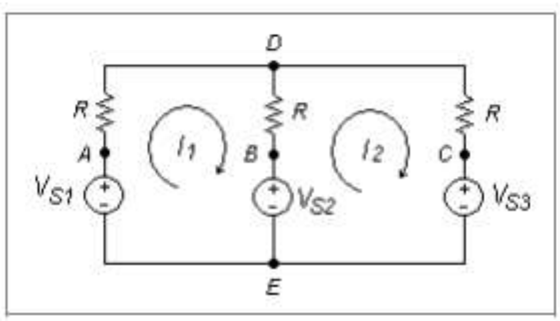
3. Aplicar ley de voltajes de Kirchhoff alrededor de cada lazo respetando el sentido de las manecillas del reloj para establecer uniformidad.

4. Si un resistor cuenta con dos o más corrientes asumidas agraves de él, la corriente total será la corriente asumida del lazo en que se esté aplicando la ley de Kirchhoff, más las corrientes asumidas de los otros lazos menos las corrientes asumidas que van en dirección contraria.

5. Resolver las ecuaciones lineales simultáneas resultantes.



Encontrar un sistema de ecuaciones de mallas para el siguiente circuito.



Solución:

MALLA 1:

$$V_{EA} + V_{AD} + V_{DB} + V_{BE} = 0$$

$$-V_{S1} + R \cdot I_{AD} + R \cdot I_{DB} + V_{S2} = 0$$

$$-V_{S1} + R \cdot (I_1) + R \cdot (I_1 - I_2) + V_{S2} = 0$$

$$-V_{S1} + I_1 \cdot (2R) + I_2 \cdot (-R) + V_{S2} = 0$$

$$\boxed{(2R) \cdot I_1 + (-R) \cdot I_2 = V_{S1} - V_{S2}}$$

MALLA 2:

$$V_{EB} + V_{BD} + V_{DC} + V_{CE} = 0$$

$$-V_{S2} + R \cdot I_{BD} + R \cdot I_{DC} + V_{S3} = 0$$

$$-V_{S2} + R \cdot (-I_1 + I_2) + R \cdot (I_2) + V_{S3} = 0$$

$$-V_{S2} + I_1 \cdot (-R) + I_2 \cdot (2R) + V_{S3} = 0$$

$$\boxed{(-R) \cdot I_1 + (2R) \cdot I_2 = V_{S2} - V_{S3}}$$

ECUACION MATRICIAL:

$$(2R) \cdot I_1 + (-R) \cdot I_2 = V_{S1} - V_{S2}$$

$$(-R) \cdot I_1 + (2R) \cdot I_2 = V_{S2} - V_{S3}$$

$$\boxed{\begin{bmatrix} 2R & -R \\ -R & 2R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{S1} - V_{S2} \\ V_{S2} - V_{S3} \end{bmatrix}}$$

SOLUCION ECUACION MATRICIAL:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2R & -R \\ -R & 2R \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_{S1} - V_{S2} \\ V_{S2} - V_{S3} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \left(\frac{1}{(4 \cdot R^2 - R^2)} \begin{bmatrix} 2R & R \\ R & 2R \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} V_{S1} - V_{S2} \\ V_{S2} - V_{S3} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \left(\frac{1}{3R} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} V_{S1} - V_{S2} \\ V_{S2} - V_{S3} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \left(\frac{1}{3R} \right) \begin{bmatrix} 2V_{S1} - V_{S2} - V_{S3} \\ V_{S1} + V_{S2} - 2V_{S3} \end{bmatrix}$$

$$\boxed{\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (2V_{S1} - V_{S2} - V_{S3})/3R \\ (V_{S1} + V_{S2} - 2V_{S3})/3R \end{bmatrix}}$$

$$V_{ED} = V_{EA} + V_{AD} = V_E - V_D$$

$$V_D = -V_{AD} - V_{EA}$$

$$V_{ED} = V_{EA} + V_{AD} = V_E - V_D$$

$$V_D = -V_{AD} - V_{EA}$$

$$V_D = -(R \cdot I_{AD}) - (-V_{S1})$$

$$V_D = -R \cdot I_1 + V_{S1}$$

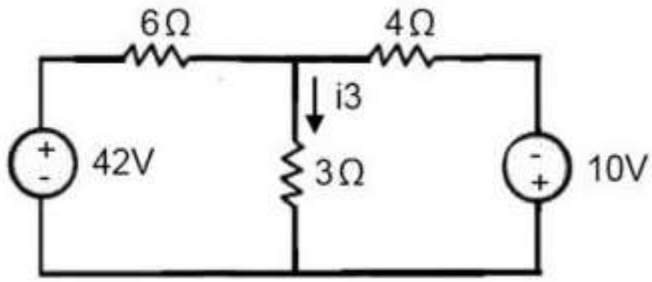
$$V_D = -R \cdot \left[(2V_{S1} - V_{S2} - V_{S3})/3R\right] + V_{S1}$$

$$V_D = -\left[(2V_{S1} - V_{S2} - V_{S3})/3\right] + V_{S1}$$

$$\boxed{V_D = (V_{S1} + V_{S2} + V_{S3})/3}$$

Autoevaluación:

Resolver la siguiente red eléctrica por el método descrito anteriormente,

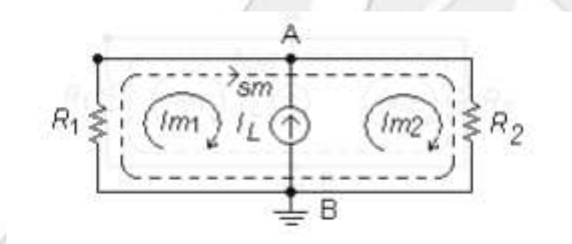


Súper Malla

Una súper malla es cuando una fuente de corriente se encuentra en medio de dos mallas.

Para resolver esta súper malla se inicia suponiendo que no existe la fuente de corriente, esto nos dará una ecuación que tendrá en una sola las ecuaciones de ambas mallas, después se debe realizar una ecuaciones que relacione ambas mallas, esto será una ecuación donde una de la fuente de corriente será igual a una de las corrientes menos la otra (La negativa será donde la dirección que sigue entre en el lado negativo de la fuente de corriente).

Ejemplo



Se tienen dos ecuaciones: una de la restricción de corriente en la fuente y otra calculando LVK para el camino descrito por la supermalla pero usando las corrientes de malla definidas.

Restricción:

$$I_L = I_{m2} - I_{m1}$$

Supermalla:

$$I_{m1}R_1 + I_{m2}R_2 = 0$$

Forma Matricial:

$$\boxed{\begin{bmatrix} -1 & 1 \\ R_1 & R_2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_{M1} \\ I_{M2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_L \\ 0 \end{bmatrix}}$$

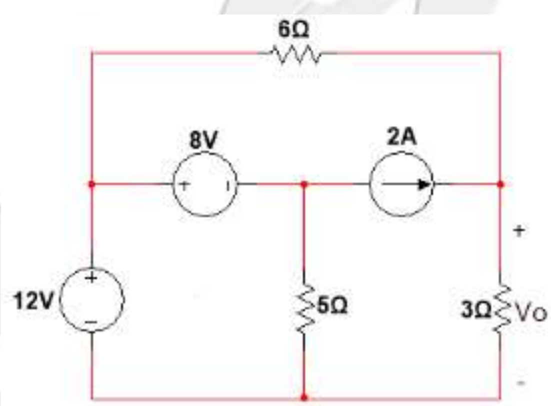
Ahora podemos calcular Im1 así:

$$I_{M1} = \frac{\begin{vmatrix} I_L & 1 \\ 0 & R_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -1 & 1 \\ R_1 & R_2 \end{vmatrix}} = \frac{-I_S R_L}{R_1 + R_2}$$

$$\boxed{I_{M1} = \frac{-I_L R_2}{R_1 + R_2}}$$

Autoevaluación:

Calcular el valor de Vo en la siguiente red eléctrica por el método descrito anteriormente.



Fuentes de Tensión y Corriente

Para que las cargas estén en movimiento, en los circuitos eléctricos debe haber al menos una fuente de alimentación que establezca diferencias de potencial.

Las fuentes de alimentación se conocen también como elementos activos debido a que son las que entregan energía al circuito. Existen dos tipos de fuentes, las fuentes independientes y las fuentes dependientes.

Fuentes Independientes

Las fuentes independientes son las que mantienen un valor constante (ya sea de tensión o de corriente), independientemente del estado del circuito.

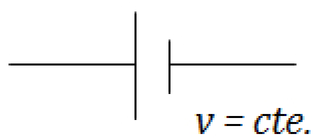
- **Fuentes de tensión independientes**

Son los tipos más comunes de fuentes de alimentación que encontramos en prácticamente cualquier circuito. Entre sus bornes proveen una diferencia de potencial (o tensión) constante, por ese motivo la corriente que entregan depende del valor de la resistencia del circuito o de la resistencia de carga que conectemos.

Por ejemplo si tenemos una fuente de tensión de 12 volt y le conectamos una resistencia de 2 ohm, circularán 6 ampere. Si en cambio conectamos una resistencia de 6 ohm, circularán 2 ampere. Pero siempre la tensión entre los bornes de la fuente es constante.

El valor de tensión proporcionado es independiente del valor de la carga que se conecte.

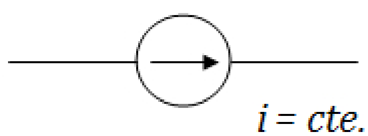
Las fuentes de tensión se simbolizan con dos líneas de distinto tamaño, correspondiendo la más grande al polo positivo.



- **Fuentes de corriente independientes**

Las fuentes de corriente son aquellas que proveen una corriente constante al circuito o resistencia que se les conecte. Por lo tanto si cambia el valor de la resistencia de carga, la fuente aumenta o disminuye la diferencia de potencial entre sus bornes, de tal forma de mantener constante la corriente por esa resistencia.

El valor de corriente proporcionado por la fuente es constante independientemente del valor de la carga conectada.



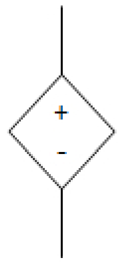
Fuentes Dependientes

Las fuentes dependientes proveen un valor (de tensión o de corriente) que depende del estado o de algún parámetro del circuito.

- **Fuentes de tensión dependientes**

Mantienen un valor de tensión entre sus bornes, dependiendo de algún parámetro.

En el ejemplo siguiente la fuente mantiene una tensión (v) dependiendo del valor de otra tensión (v1) multiplicado por una constante a.

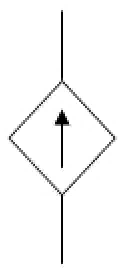


$$v = a \cdot v_1$$

- **Fuentes de corriente dependientes**

Mantienen una corriente en la rama, dependiendo de algún parámetro.

En el ejemplo siguiente la fuente mantiene una corriente (i) que depende de otra corriente del circuito (i1) multiplicada por una constante a.



$$i = a \cdot i_1$$

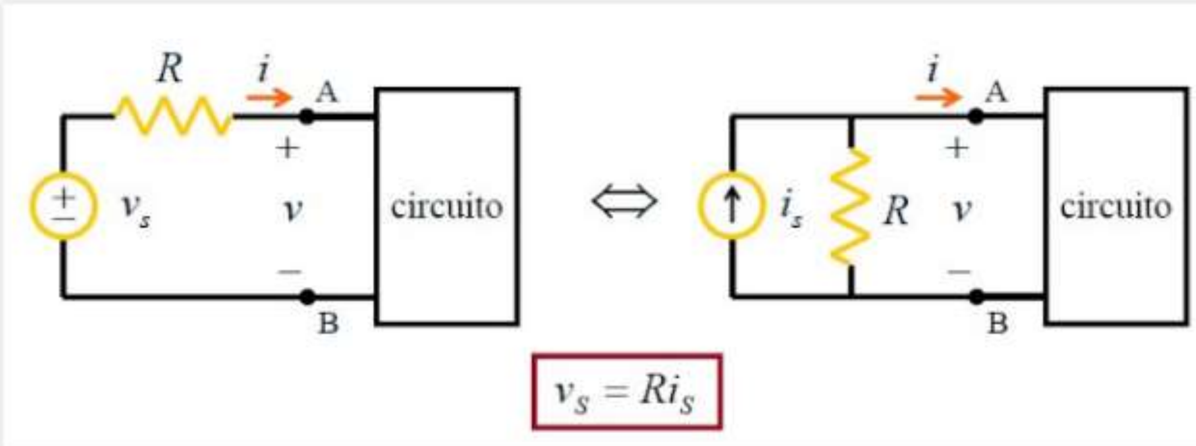
Transformación de Fuentes

Una transformación de fuentes es el proceso de remplazar una fuente de tensión Vs en serie con un resistor R por una fuente de corriente is en paralelo con un resistor R o viceversa.

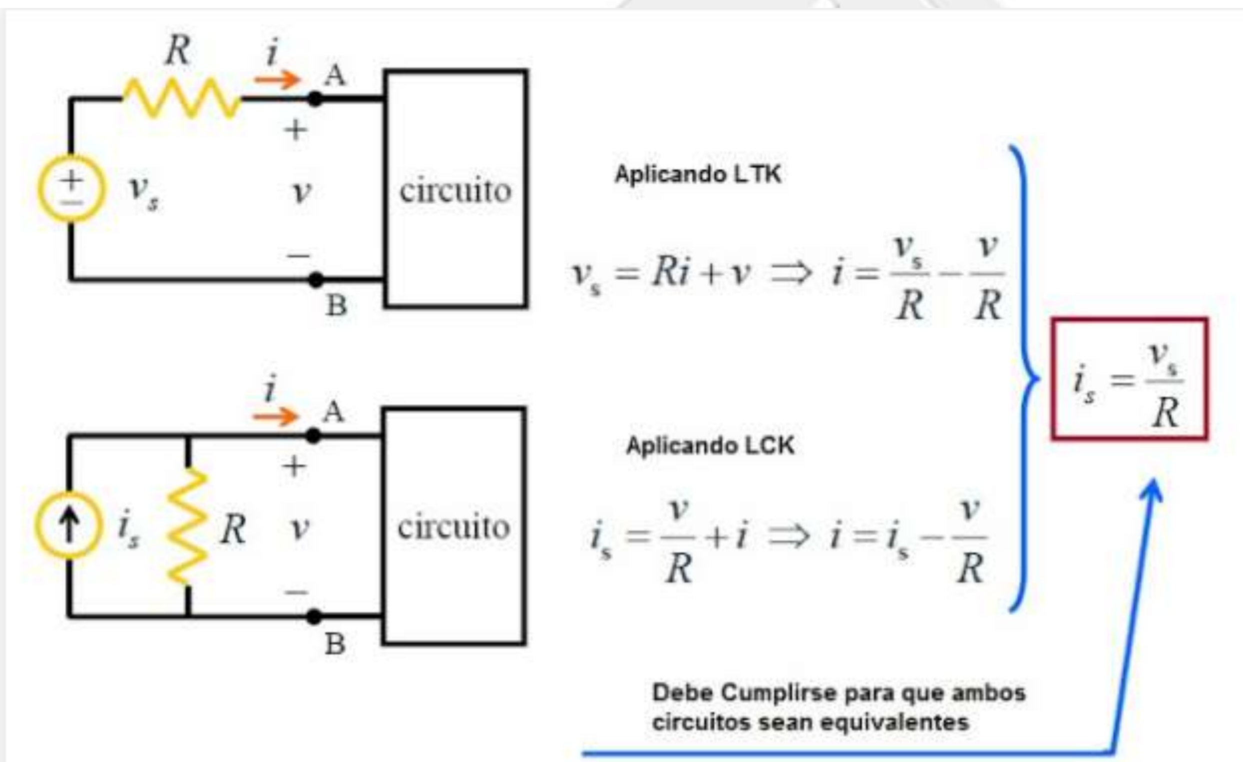
Para transformar una fuente práctica de Voltaje en una fuente práctica de Corriente se calcula la corriente de la fuente ideal como:

$$I_{s=\frac{V_s}{R_s}}$$

Y se conecta la fuente de corriente en paralelo con una resistencia R_s.



Comprobación:



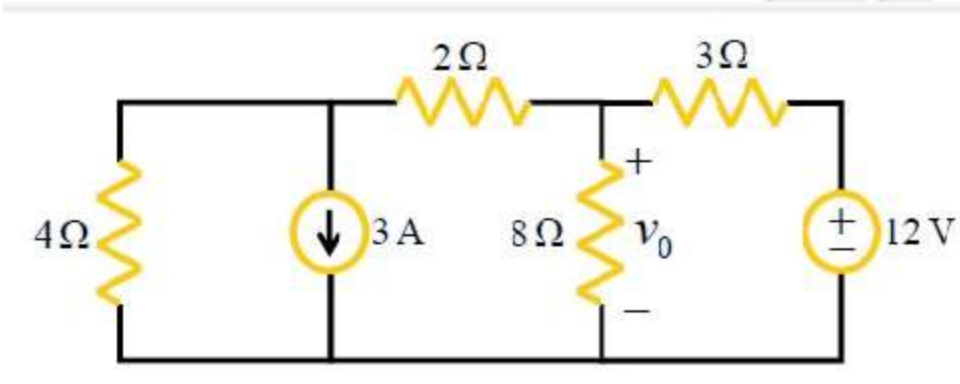
Para transformar una fuente práctica de corriente en una fuente práctica de voltaje se calcula el voltaje de la fuente ideal como:

$$V_s = I_s * R_s$$

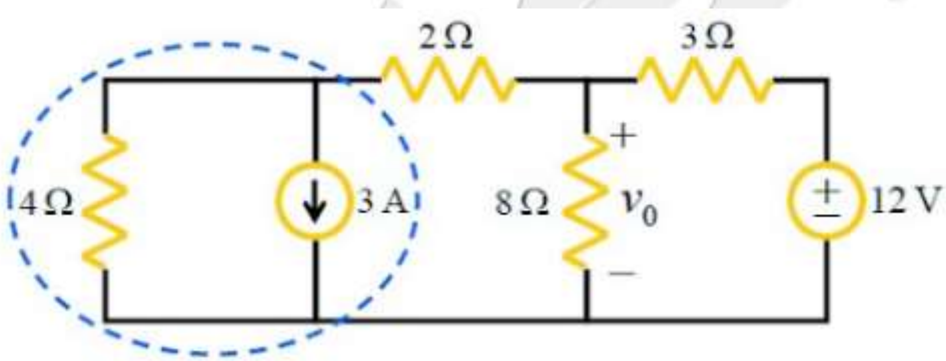
Y se conecta la fuente de voltaje en serie con una resistencia R_s.

Ejemplo:

Calcular Vo en el circuito de la figura. Para ello, reducir el circuito a un divisor de corriente aplicando transformación de fuentes.

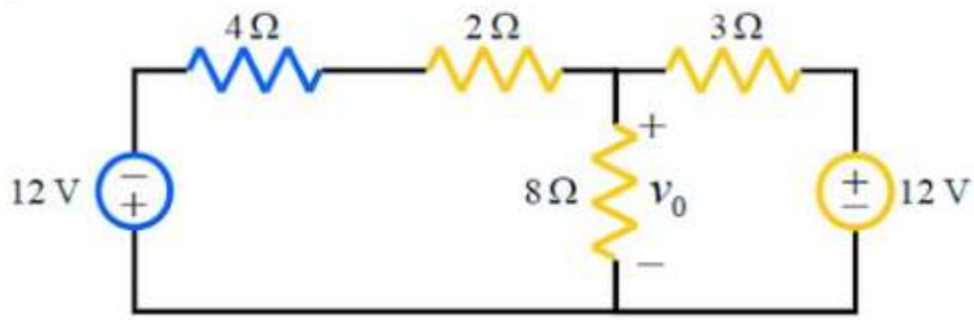


Solución:

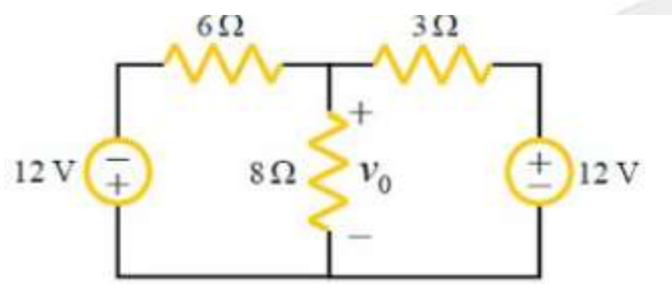


Comenzamos transformando la fuente de corriente a una de tensión.

$$v_s = Ri_s = 4 \times 3 = 12\ \text{V}$$



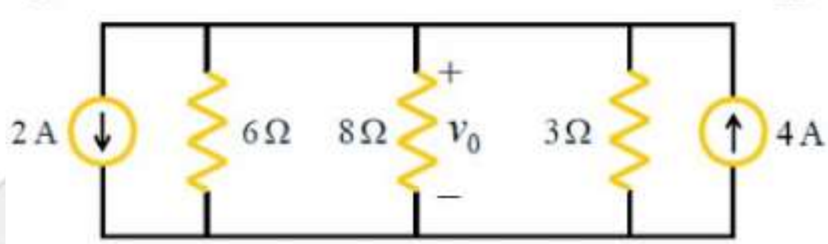
Asociamos las dos resistencias en serie:



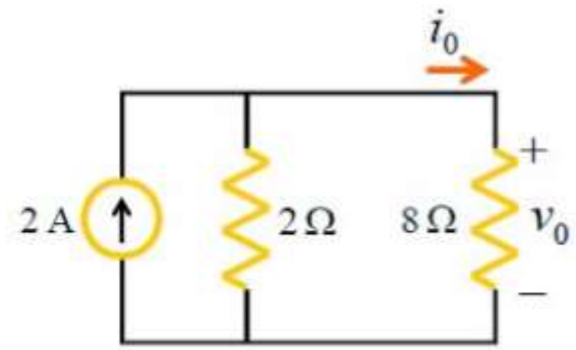
Transformamos las fuentes de tensión:

$$i_S = \frac{v_S}{R} = \frac{12}{6} = 2\text{ A}$$

$$i_S = \frac{v_S}{R} = \frac{12}{3} = 4\text{ A}$$



Agrupando resistencias y fuentes:



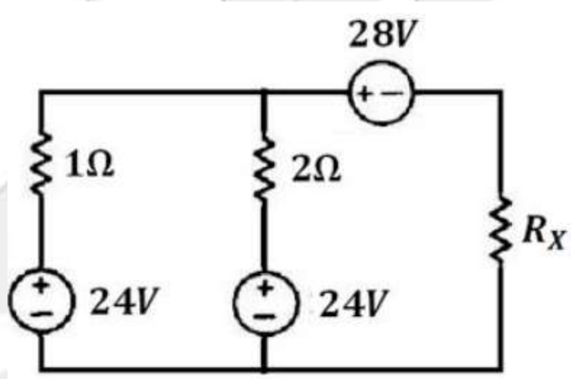
$$6\Omega \| 3\Omega = \frac{6\times 3}{6+3} = 2\Omega$$

Se utiliza la fórmula de división de corriente:

$$i_0 = \frac{2}{2+8}\times 2 = 0.4\text{ A} \qquad v_0 = Ri_0 \; = 8\times 0.4 = \underline{3.2\text{ V}}$$

<u>Autoevaluación:</u>

Resolver el siguiente circuito aplicando la transformación de fuentes.



La linealidad y la Superposición.

Principio de Linealidad

- **Linealidad.**

La linealidad es una propiedad de un tipo de funciones características que permiten facilitar la solución de las mismas; particularmente en circuitos eléctricos, da lugar a dos poderosos métodos de análisis. Una función se dice lineal si cumple con dos principios fundamentales; estos son la proporcionalidad y la superposición. Para que cualquier elemento dentro de un circuito, sistema o ecuación sea lineal debe cumplir con los

Instituto Universitario de Tecnología para la Informática – Iutepi

dos principios planteados anteriormente, si cumple uno solo de ellos no es lineal y por lo tanto no se puede acceder a las facilidades dadas para los circuitos lineales.

- **Proporcionalidad.**

Si se tiene una función conformada por una única variable independiente, se dice que esta función es proporcional cuando al multiplicar la variable independiente por una constante (K) también se ve multiplicada la variable dependiente por el mismo valor de (K) o viceversa.

$$\boldsymbol{Y = cX}$$

Se dirá que la variable dependiente (Y) es proporcional con respecto a la variable dependiente (X) cuando se conserva la igualdad al multiplicar por (K) ambas variables.

$$(KY) = c(KX)$$

Debe ser claro que este es el caso de la ley de Ohm:

$$V(t) = R * i(t)$$

Si en una resistencia se eleva la corriente dos veces, es porque la tensión subió en la misma proporción, o si la tensión bajo a la tercera parte de su valor inicial es porque la corriente también lo hizo en la misma proporción.

Como conclusión de esta primera sección, se diría que las resistencias son elementos proporcionales porque la tensión y la corriente sobre ellos se comportan de manera proporcional. Más adelante se demostrara que la resistencia es lineal, es decir, que además de la proporcionalidad, cumple con el principio de la superposición.

En los circuitos eléctricos se encontraran otros elementos adicionales a la resistencia que también cumplen con el principio de proporcionalidad, es el caso de la inductancia y la capacitancia.
La ley de Ohm para la inductancia es:

$$v_L(t) = L * \frac{di(t)}{dt}$$

Si se multiplica la corriente i(t) por una constante (k) el valor de la tensión aparecerá multiplicado por el mismo valor (k).

$$\frac{d\big(k * i(t)\big)}{dt} = \frac{k * di(t)}{dt} = k * \left(\frac{di(t)}{dt}\right) = k * v_L(t)$$

$$k * v_L(t) = \frac{d\big(k * i(t)\big)}{dt}$$

Por lo tanto, la inductancia es un elemento proporcional. Todas las relaciones que tengan la misma forma, es decir, donde la variable independiente sea derivada y multiplicada por una constante, serán proporcionales, se dice entonces que la derivada cumple con el principio de la proporcionalidad.
La ley de Ohm para la capacitancia es:

$$v_C(t) = \frac{1}{C} * \int i(t)dt$$

Se demostrara que la capacitancia es lineal de la misma forma que la inductancia.

$$\frac{1}{C} * \int k * \big(i(t)\big)dt = \frac{k}{C} * \int i(t)dt = k * \left(\frac{1}{C} * \int i(t)dt\right) = k * \ v_C(t)$$

Siempre que se multiplique la corriente en la capacidad por una constante (k) se multiplicará también su tensión con la misma razón o proporción. Esto quiere decir que la capacidad cumple con el principio de la proporcionalidad.

Principio de Superposición

Cualquier circuito resistivo se puede modelar mediante la combinación lineal de variables en un sistema de ecuaciones.

Las ecuaciones que describen a un circuito se obtienes a partir de fórmulas como las de las leyes de Kirchhoff, en cada caso se tendrán ecuaciones como las que se relacionan a continuación.

$$K_1 * V_1 + K_2 * V_2 + \ \dots + K_n * V_n = C$$

$$K_1 * i_1 + K_2 * i_2 + \ \dots + K_n * i_n = C$$

Las primeras ecuaciones se refieren a la sumatoria de corriente, donde los coeficientes de cada variable son valores de resistencias o conductancias, y el valor (C) denota la suma de corrientes conocida en un nodo, generalmente debida a fuentes independientes de corriente. La segunda muestra la suma de tensiones alrededor de un lazo cerrado; en este caso, los coeficientes de las variables son nuevamente resistencias o conductancias, mientras que (C) es la suma de las tensiones conocidas, o de las producidas por fuentes independientes de tensión.

Al tomar la primera ecuación y utilizamos una fuente de corriente de valor Ca, esta producirá tensiones acordes con la magnitud de la corriente.

$$K_1 * V_{1a} + \ K_2 * V_{2a} + \ \dots + \ K_n * V_{na} = \ C_a$$

Ahora si se toma un valor diferente para la fuente de corriente Cb, este producirá tensiones acorde con la magnitud de la corriente.

$$K_1 * V_{1b} + K_2 * \ V_{2b} + \dots + \ K_n * \ V_{nb} = \ C_b$$

Si se toman valores apropiados para Ca y Cb, de manera que la suma de ellos se constituya en el valor de C original, se tendrá que:

$$K_1 * (V_{1a} + V_{1b}) + K_2 * (V_{2a} + V_{2b}) + \ \dots + K_n * (V_{na} + V_{nb}) = (C_a + C_b)$$

$$K_1 * V_1 + K_2 * V_2 + \ \dots + K_n * V_n = C$$

Es de esta forma que se la tensión particular producida sobre una resistencia o una conductancia, por ejemplo (K1), se puede ver como la suma de dos tensiones particulares, cada uno de ellos producido por una fuente de tensión diferente.

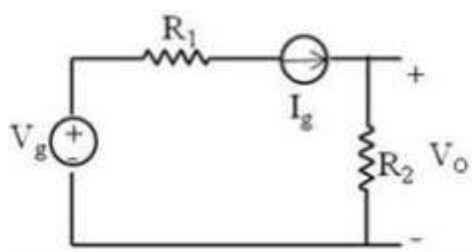
$$C_1 = C_{1a} + C_{1b}$$

$$V_1 = V_{1a} + V_{1b}$$

Este es el principio de superposición y se puede extender a un número cualquiera de combinaciones.

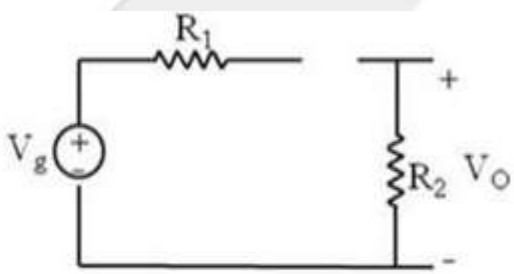
Ejemplo:

Calcular el valor de VO en el circuito siguiente



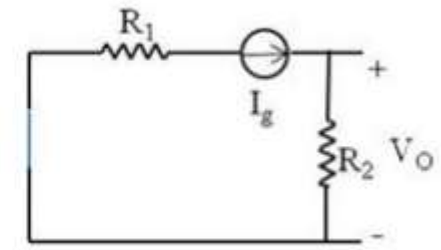
$$V_O = V_o[V_g] + V_O[I_g]$$

- Calculamos $V_o[V_g]$, anulamos Ig



En circuito abierto i=0

- Calculamos $V_o[V_g]$, Anulamos Vg



$$V_0 = +I_g R_2$$

De modo que:

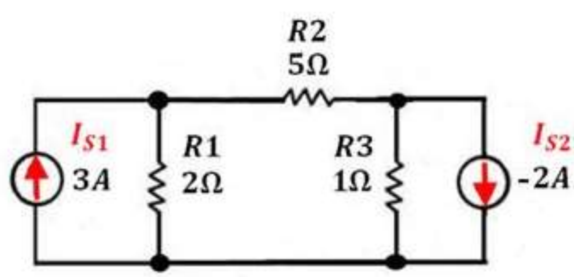
$$V_O = V_o[V_g] + V_O[I_g] = 0 + I_g R_2$$

Solución Final:

$$\boxed{V_o = I_g . R_2}$$

Autoevaluación

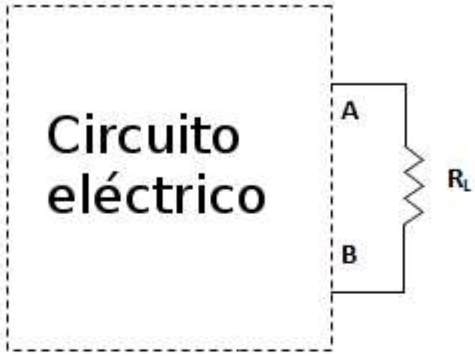
Resolver la siguiente red eléctrica por el método descrito anteriormente.

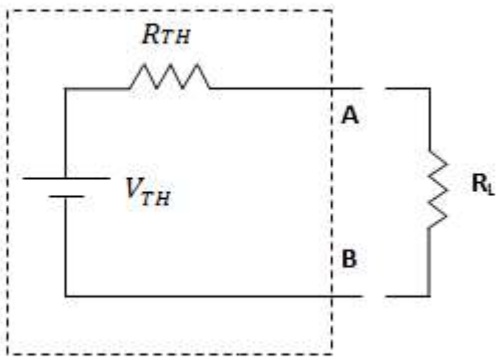


Teorema de Thevenin y Norton

Teorema de Thevenin

Cualquier parte de un circuito formada por fuentes y resistencias puede ser reemplazado por una única fuente de tensión con una resistencia en serie. Esto quiere decir que si una resistencia está conectada a un circuito entre los puntos A y B y reemplazamos el circuito por el otro equivalente, por la resistencia circula la misma corriente.

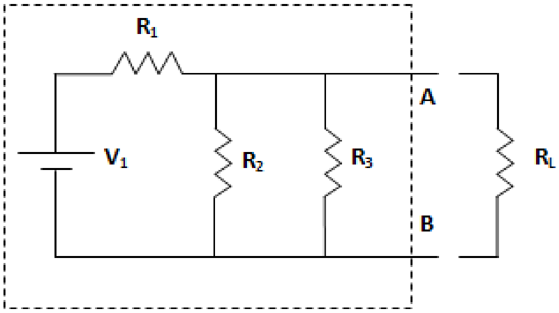




El valor de la fuente del circuito equivalente se denomina tensión de Thevenin y se obtiene calculando la tensión del circuito entre A y B sin la resistencia de carga (circuito abierto).

El valor de la resistencia en serie se denomina resistencia de Thevenin y se calcula como la resistencia que existiría entre los puntos A y B sin la resistencia de carga y poniendo en cortocircuito a todas las fuentes (reemplazándolas por un conductor).

Por ejemplo: Hallar el equivalente de Thevenin para el siguiente circuito.



$V_1 = 20\ V$

$R_1 = 15\ \Omega$

$R_2 = R_3 = 10\ \Omega$

Calculo de la tensión de Thevenin

En primer lugar calculamos el valor de la asociación de resistencias R_{23} y R_{123}.

$R_{23} = 5\ \Omega$

$R_{123} = 20\ \Omega$

Obtenemos la corriente entregada por V sin R_L.

$I_{123} = 1\ A$

Luego obtenemos la corriente por R_3.

$I_3 = 0{,}5\ A$

Calculamos la tensión entre los puntos A y B. Este valor es el correspondiente a la tensión de Thevenin.

$$V_{AB} = V_{TH} = V_3 = I_3 \cdot R_3 = 0{,}5\ A \cdot 10\ \Omega = 5\ V$$

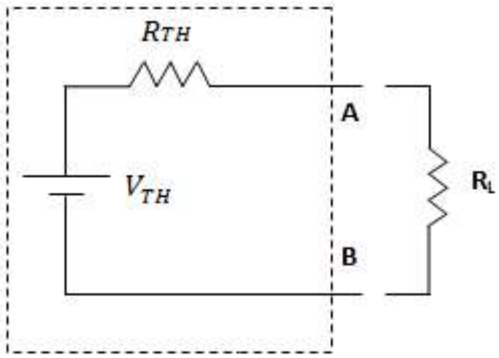
$$V_{TH} = 5\ V$$

Cálculo de la resistencia de Thevenin

Para el circuito del ejemplo, reemplazando a la fuente por un conductor quedan todas las resistencias en paralelo, por lo tanto la resistencia de Thevenin es:

$R_{TH} = 3{,}75\ \Omega$

Circuito equivalente de Thevenin

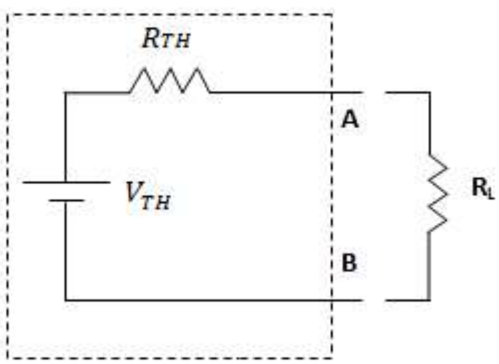


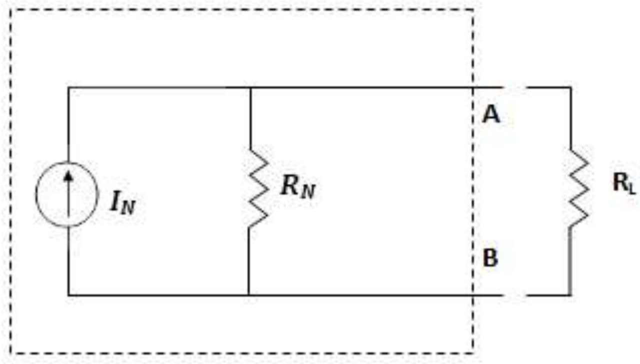
$V_{TH} = 5\ V$

$R_{TH} = 3{,}75\ \Omega$

Teorema de Norton

El teorema de Norton dice que cualquier parte de un circuito formada por fuentes y resistencias puede ser reemplazado por una única fuente de corriente y una resistencia en paralelo. De este teorema podemos deducir que cualquier circuito equivalente de Thevenin también puede ser reemplazado por un equivalente de Norton.

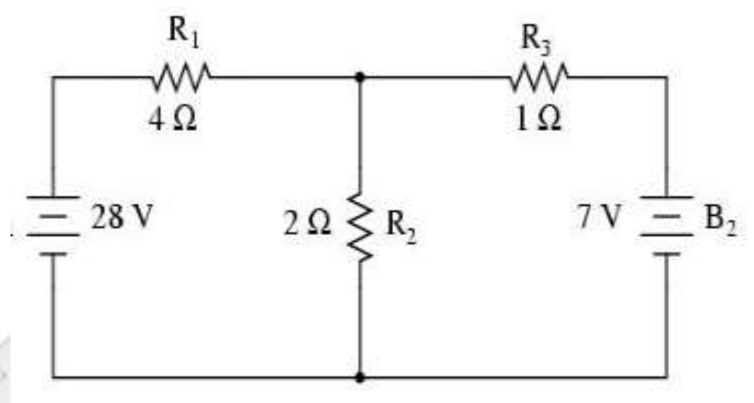




La resistencia de Norton tiene el mismo valor que la resistencia de Thevenin. La corriente de Norton se calcula como la corriente que circula por el equivalente de Thevenin poniendo en cortocircuito a los terminales A y B, es decir V_{TH}/R_{TH}.

Autoevaluación

Resolver el siguiente circuito utilizando el teorema de thevenin.



Cálculo de Potencia en Circuitos Resistivos

Se define como Potencia la cantidad de trabajo por unidad de tiempo realizado por una corriente eléctrica.

- **Potencia en corriente continua**

Cuando se trata de corriente continua (CC) la potencia eléctrica desarrollada en un cierto instante por un dispositivo de dos terminales es el producto de la diferencia de potencial entre dichos terminales y la intensidad de corriente que pasa a través del dispositivo. Esto es,

$$P = V \cdot I$$

Instituto Universitario de Tecnología para la Informática – Iutepi

Donde I es el valor instantáneo de la corriente y V es el valor instantáneo del voltaje. Si **I** se expresa en amperios y V en voltios, P estará expresada en Watts. Igual definición se aplica cuando se consideran valores promedio para I**,** V y P.

Cuando el dispositivo es una resistencia de valor **R** o se puede calcular la resistencia equivalente del dispositivo, la potencia también puede calcularse como:

$$P = R \cdot I^2 = \frac{V^2}{R}$$

Ejemplo:

Ejercicio 1: Halla la intensidad que absorbe a 230 V una bombilla de 25 W, otra de 60 W y otra de 100 W. Calcula también la resistencia de cada bombilla.

De cada bombilla tenemos datos de su potencia y sabemos la tensión, que es la misma para las tres bombillas.

La fórmula de la potencia eléctrica, relaciona la potencia con la tensión y la intensidad, luego podemos despejar la intensidad:

$$P = V.I \rightarrow I = \frac{P}{V}$$

Ahora, con esta expresión para cada bombilla sólo tenemos que sustituir la potencia y la tensión por sus valores y operar.

Para la bombilla de 25 W, la intensidad es:

$$P = 25 \ W \rightarrow I = \frac{25}{230} = 0{,}11 \ A$$

Para la bombilla de 60 W, la intensidad es:

$$P = 60 \ W \rightarrow I = \frac{60}{230} = 0{,}26 \ A$$

Para la bombilla de 100 W, la intensidad es:

$$P = 100 \ W \rightarrow I = \frac{100}{230} = 0{,}43 \ A$$

La fórmula de la potencia también la podemos expresar en función de la intensidad y la resistencia, de donde podemos despejar la resistencia:

$$P = I^2 . R \rightarrow R = \frac{P}{I^2}$$

Con esta expresión podemos calcular la resistencia de cada bombilla, puesto que sabemos su potencia y la intensidad que circula a través de ellas.

$$P = I^2 . R \rightarrow R = \frac{P}{I^2}$$

La resistencia de la bombilla de 25 W es:

$$P = 25 \ W \rightarrow R = \frac{25}{0{,}11^2} = 2066{,}11 \ \Omega$$

La resistencia de la bombilla de 60 W es:

$$P = 60 \ W \rightarrow R = \frac{60}{0{,}26^2} = 887{,}57 \ \Omega$$

La resistencia de la bombilla de 100 W es:

$$P = 100 \ W \rightarrow R = \frac{100}{0{,}43^2} = 540{,}83 \ \Omega$$

De este ejercicio podemos concluir que para una misma tensión, cuando mayor es la potencia de un receptor, mayor es la intensidad que consume y menor es el valor de la resistencia al paso de la corriente eléctrica.

- **Potencia en corriente alterna**

Cuando se trata de corriente alterna (AC) sinusoidal, el promedio de potencia eléctrica desarrollada por un dispositivo de dos terminales es una función de los valores eficaces o valores cuadráticos medios, de la diferencia de potencial entre los terminales y de la intensidad de corriente que pasa a través del dispositivo.

En el caso de un circuito de carácter inductivo (caso más común) al que se aplica una tensión sinusoidal v(t) con velocidad angular **ω** y valor de pico V_o resulta:

$$v(t) = V_0 \cdot sin(\omega t)$$

Esto provocará una corriente **i(t)** retrasada un ángulo ϕ respecto de la tensión aplicada:

$$i(t) = I_0 \cdot sin(\omega t - \phi)$$

La potencia instantánea vendrá dada como el producto de las expresiones anteriores:

$$p(t) = V_0 \cdot I_0 sin(\omega t) \cdot sin(\omega t - \phi)$$

Mediante trigonometría, la anterior expresión puede transformarse en la siguiente:

$$p(t) = V_0 \cdot I_0 \frac{cos(\phi) - cos(2\omega t - \phi)}{2}$$

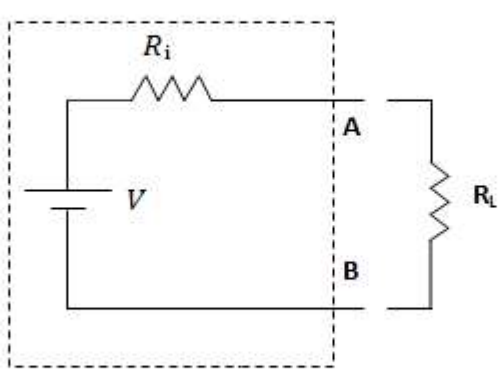
Y sustituyendo los valores de pico por los eficaces:

$$\boxed{p(t) = V \cdot I cos(\phi) - V \cdot I cos(2\omega t - \phi)}$$

Se obtiene así para la potencia un valor constante, *VI*cos(ϕ**)** y otro variable con el tiempo, *VIcos*(2ω*t* − ϕ). Al primer valor se le denomina potencia activa y al segundo potencia fluctuante.

Teorema de Máxima Transferencia de Potencia

Cualquier circuito o fuente de alimentación posee una resistencia interna. Si consideramos que el valor de la tensión y de la resistencia interna permanecen constantes, podemos calcular cuándo la potencia entregada a la carga es máxima. Esto ocurre cuando la resistencia de carga es igual a la resistencia interna de la fuente.



$R_i = R_L$

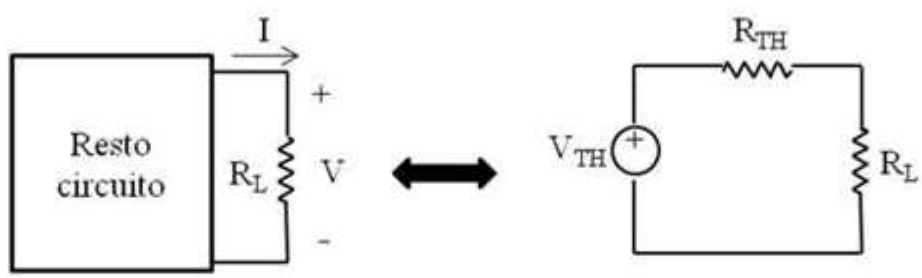
R_i = Resistencia interna [Ω]
R_L = Resistencia de carga [Ω]

Si la resistencia de carga es más baja que la interna, aumenta la corriente por el circuito pero la resistencia interna en serie disipa más potencia (al estar en la misma rama la corriente que pasa por ambas es la misma y por lo tanto la resistencia de mayor valor disipa mayor potencia).

Si la resistencia de carga es más alta, disipa mayor potencia que la resistencia interna, pero disminuye la corriente total de tal forma de ser menor a la que circula cuando ambas resistencias son del mismo valor y por lo tanto la potencia entregada a la carga es menor.

Ejemplo:

Queremos determinar la potencia consumida por una resistencia en un circuito y cuál ha de ser el valor de dicha resistencia para que dicha potencia sea máxima.



Potencia disipada en RL:

$$P_{R_L} = I^2 R_L = \frac{V_{TH}^2}{(R_{TH} + R_L)^2} R_L$$

[1]

¿Para qué valor de RL será máxima la potencia?

$$\frac{dP}{dR_L} = 0$$

$$\frac{dP}{dR_L} = \frac{V_{TH}^2}{(R_{TH} + R_L)^2} + R_L V_{TH}^2 (-2)(R_{TH} + R_L)^{-3}$$

$$= \frac{V_{TH}^2 (R_{TH} + R_L) - 2R_L V_{TH}^2}{(R_{TH} + R_L)^3} = 0$$

$$V_{TH}^2 (R_{TH} + R_L) - 2R_L V_{TH}^2 = 0$$

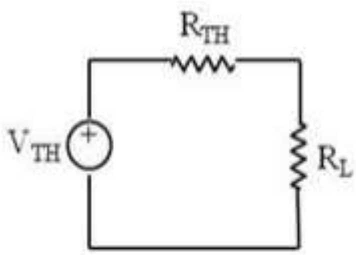
$$(R_{TH} + R_L) - 2R_L = 0$$

$$R_L = R_{TH}$$

Como RN = RTH, también RL = RN

La resistencia que disipa Pmax entre dos terminales es la resistencia del circuito equivalente Thévenin o Norton.

¿Cuál es la potencia máxima transferida?

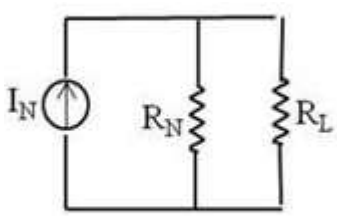


Debe elegirse $R_L = R_{TH}$

$$P_{max} = I^2 R_{TH}$$

$$P_{max} = \frac{V_{TH}^2}{(R_{TH} + R_{TH})^2} R_{TH} = \frac{V_{TH}^2}{4\,R_{TH}^2} R_{TH} = \frac{V_{TH}^2}{4\,R_{TH}}$$

O también conocido el equivalente Norton:

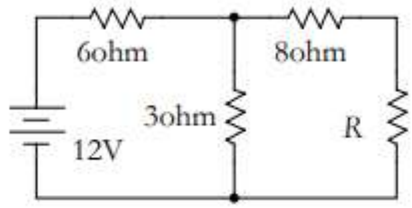


Eligiendo $R_L = R_N$

$$P_{max} = I_{R_L}^2 R_N = \left(\frac{I_N}{2}\right)^2 R_N = \frac{I_N^2 R_N}{4}$$

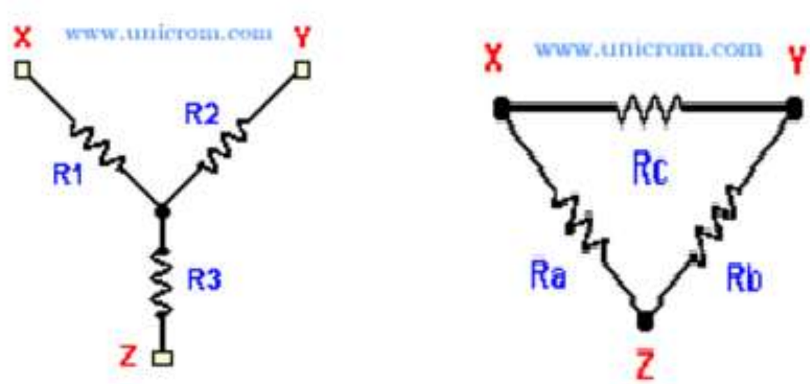
Autoevaluación

Para el siguiente circuito determine el valor de R para una máxima transferencia de potencia hacia R, y determine el valor de esa potencia.



Conversión Delta a Estrella y Viceversa

Con el propósito de poder simplificar el análisis de un circuito, a veces es conveniente poder mostrar todo o una parte del mismo de una manera diferente, pero sin que el funcionamiento general de éste cambie. Algunos circuitos tienen un grupo de resistores (resistencias) que están ordenados formando: un triángulo (circuito en configuración triángulo) ó una estrella (circuito en configuración estrella).
Hay una manera sencilla de convertir estos resistores de un formato al otro y viceversa. No es sólo asunto de cambiar la posición de las resistores si no de obtener los nuevos valores que estos tendrán.



- **Conversión de delta a estrella**

– R1 = (Ra x Rc) / (Ra + Rb + Rc)
– R2 = (Rb x Rc) / (Ra + Rb + Rc)
– R3 = (Ra x Rb) / (Ra + Rb + Rc)

Para este caso el denominador es el mismo para todas las ecuaciones.
Si Ra = Rb = Rc = R_{Delta}, entonces R1 = R2 = R3 = R_Y y las ecuaciones anteriores se reducen a $R_Y = R_{Delta} / 3$

- **Conversión de estrella a delta**

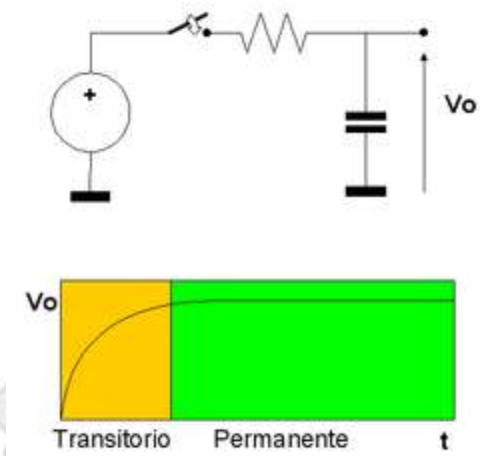
– Ra = [(R1 x R2) + (R1 x R3) + (R2 x R3)] / R2
– Rb = [(R1 x R2) + (R1 x R3) + (R2 x R3)] / R1
– Rc = [(R1 x R2) + (R1 x R3) + (R2 x R3)] / R3

Para este caso el numerador es el mismo para todas las ecuaciones.
Si R1 = R2 = R3 = R_Y, entonces Ra = Rb = Rc = R_{Delta} y las ecuaciones anteriores se reducen a $R_{Delta} = 3xR_Y$

Estudio del Régimen Transitorio

Se llama régimen transitorio, o solamente "transitorio", a aquella respuesta de un circuito eléctrico que se extingue en el tiempo, en contraposición al régimen permanente, que es la respuesta que permanece constante hasta que se varía bien el circuito o bien la excitación del mismo.

La figura muestra un transitorio de tensión, que dura el tiempo de carga del condensador. Una vez cargado, la salida ya no varía. No existe un punto donde el régimen cambia, pasando de transitorio a permanente, sino que el transitorio tiende asintóticamente al régimen permanente. En la práctica se elige un valor arbitrario que depende de la aplicación de que se trate.



Desde el punto de vista del análisis circuital, el régimen transitorio viene dado por la solución homogénea de la ecuación diferencial lineal que describe el circuito, mientras que el régimen permanente se obtiene de la solución de la particular. El amortiguamiento nos indica la evolución del transitorio, que se puede aproximar monótonamente al régimen permanente, como en la figura 1, o bien sufrir oscilaciones amortiguadas. Este último caso puede ser peligroso pues el nivel de tensión o corriente puede superar los niveles nominales de funcionamiento.

Desde el punto de vista tecnológico, los transitorios son de gran importancia. Se producen en todos los circuitos (el encendido ya es un transitorio) y se suelen extinguir de forma natural sin causar problemas, pero existen casos donde se deben limitar pues pueden provocar un mal funcionamiento o incluso la destrucción de algún componente. Debe prestarse atención a los transitorios principalmente en las siguientes situaciones:

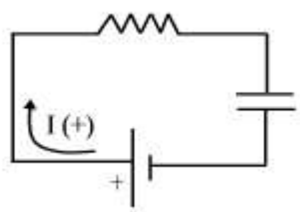
- Encendido. Transitorios en las líneas de alimentación pueden destruir algún componente. En los amplificadores operacionales o circuitos cmos puede presentarse el fenómeno de Latch-up.
- Conmutación de inductancias: relés, motores, actuadores electromagnéticos... Son peligrosos para el elemento de potencia que los gobierna. Se suelen proteger con diodos.
- Líneas de transmisión. En líneas de transmisión incorrectamente adaptadas se producen reflexiones que, en el caso de circuitos digitales, se comportan como transitorios. También estas líneas son susceptibles de captar ruidos de diversa procedencia que se acoplan a ellas llevando la señal fuera del margen de

funcionamiento. Algunas familias digitales incluyen clama diodes para proteger las entradas de estos transitorios.

Pero los transitorios también son útiles. Se utilizan en temporizadores, multivibradores, osciladores de relajación, fuentes de alimentación conmutadas, etc. En estos circuitos se produce algún tipo de conmutación en el circuito que es la que produce el transitorio. Cuando éste alcanza cierto nivel, se produce una nueva conmutación que genera otro transitorio.

Circuito Pasivo RC (Sin Fuentes)

Los circuitos RC son los formados por elementos resistivos y capacitivos. En esta sección vamos a analizar el comportamiento de estos circuitos en corriente continua durante el período transitorio.



Carga del capacitor

Cuando se conecta la alimentación en un circuito RC (y en otros tipos de circuitos también) existe un período de tiempo durante el cual se producen variaciones en las corrientes y tensiones. A este período se lo llama régimen transitorio. Luego de un tiempo correspondiente a 5 constantes de tiempo, el circuito adquiere sus características definitivas, período conocido como régimen estable.

La constante de tiempo (τ) en un circuito RC se calcula como:

$$\tau = R \cdot C$$

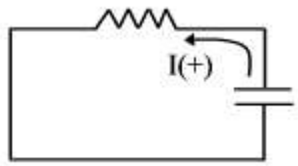
τ = Constante de tiempo [s]
R = Resistencia [Ω]
C = Capacidad [F]

Al cerrar el circuito, en un primer momento no hay cargas en las placas del capacitor. Las primeras cargas se ubican en las placas con facilidad por lo que la corriente es máxima (el capacitor funciona como un conductor). Por la misma razón no hay diferencia de potencial entre los bornes del capacitor (como no la hay en un conductor).

A medida que van acumulándose más cargas, las mismas encuentran mayor dificultad debido a que son del mismo signo y se repelen. Por lo tanto la corriente cada vez es menor y aumenta la diferencia de potencial entre los bornes del capacitor.

Llega un momento en el que no hay prácticamente corriente que circule a través del capacitor debido a que la fuente no puede seguir transfiriendo cargas al mismo, comportándose como un circuito abierto. Por lo tanto la tensión en el capacitor es máxima.

Descarga del capacitor



Cuando se conecta un capacitor cargado a una resistencia, éste se descarga a través de la misma de una manera similar a la carga, es decir que tampoco se realiza de manera lineal. Al principio se descargará más rápido y luego con menor velocidad.

Circuito Pasivo RL (Sin fuentes)

Los circuitos inductivos funcionan al revés que los capacitivos. En un primer instante la corriente encuentra cierta dificultad para circular (mientras se crea el campo magnético). Luego el inductor funciona prácticamente como un conductor, siendo la corriente igual al voltaje dividido la resistencia.

La constante de tiempo se calcula como:

$$\tau = \frac{L}{R}$$

τ = Constante de tiempo [s]
L = Inductancia [H]
R = Resistencia [Ω]

La constante de tiempo también se mide en segundos. Al igual que en los circuitos capacitivos la corriente final se establece luego de 5 constantes de tiempo.

En corriente continua, una vez establecido el régimen permanente, el inductor se comporta de manera similar a un conductor en cuanto a sus propiedades resistivas. Al desconectar la alimentación, el campo magnético se auto induce en el inductor generando una corriente auto inducida.

Valores de tensión y corriente

Corriente en el circuito:

$$i_{(t)} = \frac{V}{R}\left(1 - e^{\frac{-R}{L}t}\right)$$

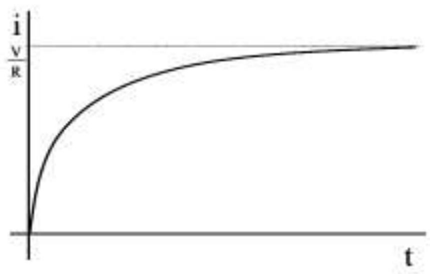
Tensión en la resistencia:

$$V_{R\,(t)} = V\left(1 - e^{\frac{-R}{L}t}\right)$$

Tensión en la bobina:

$$V_{L\,(t)} = \; V\,e^{\frac{-R}{L}t}$$

Corriente durante la carga



Valores de tensión y corriente

Corriente en el circuito:

$$i_{(t)} = \frac{V}{R} \cdot e^{\frac{-R}{L}t}$$

Tensión en la resistencia:

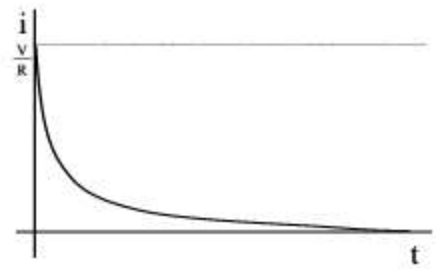
$$V_{R\,(t)} = \; V \cdot e^{\frac{-R}{L}t}$$

Tensión en la bobina:

$$V_{L\,(t)} = \; -\,V\,e^{\frac{-R}{L}t}$$

Corriente durante la descarga

Instituto Universitario de Tecnología para la Informática – Iutepi



Circuito Resonante RLC

Un circuito está en resonancia cuando las reactancias X_L y X_C se igualan a una misma frecuencia.

Resonancia en serie

Si se trata de un circuito RLC en serie, la impedancia total está dada por:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Por lo tanto con valores iguales de X_L y X_C se anula la parte reactiva siendo la impedancia total igual a la R.

Dado que la potencia reactiva se calcula como:

$$Q = Ief^2 \cdot (X_L - X_C)$$

También ésta se anula y por lo tanto la potencia aparente es igual a la potencia activa. En este circuito no existe desfasaje entre corriente y tensión.

En resonancia la corriente máxima se calcula como se indica a continuación:

$$I_{MAX} = \frac{V_{MAX}}{R}$$

Resonancia en paralelo

También existe la resonancia en paralelo en dónde la impedancia se hace máxima a la frecuencia de resonancia.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

Ejemplo 1 de cálculo de condiciones iniciales y finales

Es importante aclarar los siguientes términos:

t = t_{0-} : final del régimen permanente continuo inicial

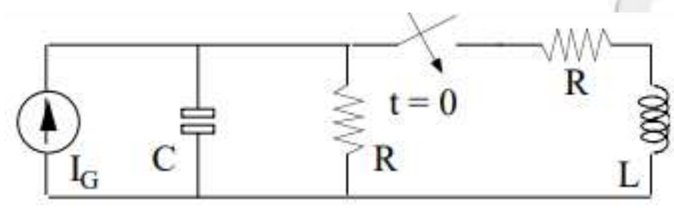
t = t_{0+}: inicio del régimen transitorio

t = t_T: final del régimen transitorio; comienzo del permanente continuo final

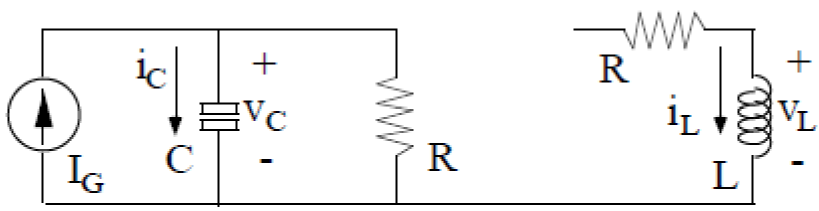
t = ∞: final del régimen permanente continuo final

Salvo que se indique explícitamente lo contrario, se supondrá t_0= 0 s.

.



Se suponen conocidos los valores de todos los elementos del circuito.
El circuito de la figura, en el que la fuente es continúa, ha permanecido mucho tiempo sin cambios antes del cambio de posición del interruptor. Una vez producido éste, ya no experimenta más cambios. Se desea hallar los valores de las corrientes y las tensiones en la inductancia y la capacidad en t = 0-, t = 0+ y t = ∞



La figura adjunta muestra la situación del circuito para todo t tal que - ∞ ≤ t ≤ 0, y, en particular, para t = 0-. El circuito se halla en régimen permanente continuo, ya que la fuente es continua.

Se asignan arbitrariamente los sentidos de las corrientes y las polaridades de las tensiones.

La capacidad es un circuito abierto en continua (corriente nula).

$$i_C(0^-) = 0 \text{ A}$$

La corriente de la fuente ha de circular por la resistencia en paralelo con la capacidad, ya que ésta es un circuito abierto. Las tensiones en ambos elementos son iguales por estar en paralelo.

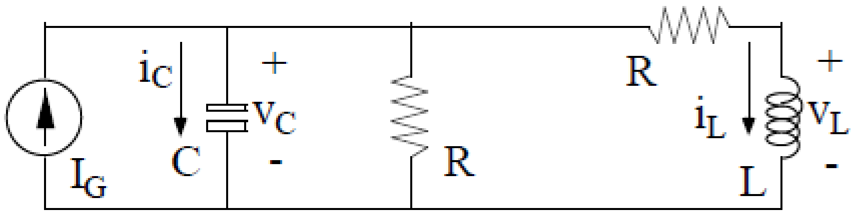
$$I_G = i_C + \frac{v_C}{R} \Rightarrow v_C(0^-) = RI_G$$

La inductancia es un cortocircuito en continua (tensión nula).

$$v_L(0^-) = 0 \text{ V}$$

No hay corriente en la inductancia porque no está conectada a la excitación.

$$i_L(0^-) = 0 \text{ A}$$



La figura adjunta muestra la situación del circuito para todo t tal que 0 ≤ t ≤ ∞, y, en particular, para t = 0+. El circuito entra en transitorio porque han cambiado las condiciones de excitación en algunos elementos.

Se mantienen los sentidos de las corrientes y las polaridades de las tensiones elegidos anteriormente.

La tensión en la capacidad y la corriente en la inductancia no pueden variar bruscamente.

$$v_C(0^+) = v_C(0^-) = RI_G$$

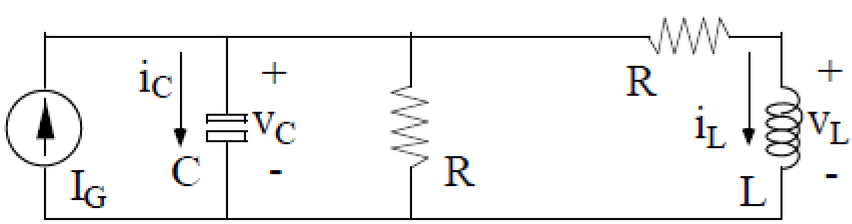
$$i_L(0^+) = i_L(0^-) = 0 \text{ A}$$

Ecuación de Nodo:

$$I_G = i_C + \frac{v_C}{R} + i_L \Rightarrow i_C(0^+) = 0 \text{ A}$$

Ecuación de Malla:

$$v_C = Ri_L + v_L \Rightarrow v_L(0^+) = RI_G$$



La figura adjunta muestra la situación del circuito para todo t tal que 0 ≤ t ≤ ∞, y, en particular, para t = ∞.

El transitorio ha finalizado y el circuito se encuentra en régimen permanente continuo.

Se mantienen los sentidos de las corrientes y las polaridades de las tensiones elegidos anteriormente.

La capacidad es un circuito abierto en continua (corriente nula).

$$i_C(\infty) = 0 \text{ A}$$

La inductancia es un cortocircuito en continua (tensión nula).

$$v_L(\infty) = 0 \text{ V}$$

$$I_G = i_C + \frac{v_C}{R} + i_L$$

$$v_C = Ri_L + v_L$$

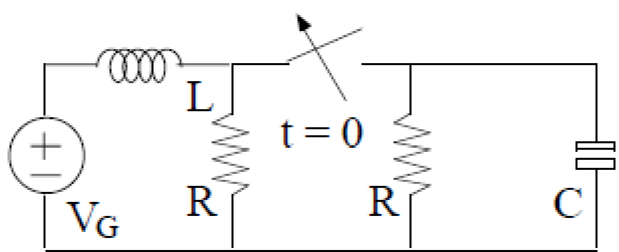
$$i_L(\infty) = \frac{I_G}{2}$$

$$v_C(\infty) = \frac{RI_G}{2}$$

Autoevaluación

El circuito de la figura, en el que la fuente es continúa, ha permanecido mucho tiempo sin cambios antes del cambio de posición del interruptor. Una vez producido éste, ya no experimenta más cambios. Se desea hallar los valores de las corrientes y las tensiones en la inductancia y la capacidad en t = 0-, t = 0+ y t = ∞.

Se suponen conocidos los valores de todos los elementos del circuito.



Conclusiones

- Se pudo precisar cada uno de los teoremas planteados y facilitar un documento de fácil consulta y entendimiento en el campo de la teoría de Circuitos eléctricos.
- En cada una de las unidades se resolvieron ejercicios y se plantearon algunos para ser realizados por el estudiantado.

- La realización de este documento, se realizó de manera tal que se asimilara cada uno de los teoremas y diferenciar cuales se pueden aplicar para cada caso.

- Es necesario estudiar las características de la corriente eléctrica, no solo para planificar estrategias de ahorro, sino porque un mal manejo de la corriente es causa de graves accidentes para la salud y la economía en general.

Recomendaciones

- Reforzar el contenido descrito anteriormente con las bibliografías dadas.

- Resolver los ejercicios al final de cada unidad, de manera de autoevaluación y práctica para una mejor comprensión de cada uno de los teoremas.

- Asistir de manera continua a clases de manera de aclarar dudas o confusión en alguna de las unidades, explicadas anteriormente.

Instituto Universitario de Tecnología para la Informática – Iutepi