

INTRODUCCIÓN

Las leyes (o Lemas) de Kirchhoff fueron formuladas por Gustav Kirchhoff en 1845, mientras aún era estudiante. Son muy utilizadas en ingeniería eléctrica para obtener los valores de la corriente y el potencial en cada punto de un circuito eléctrico. Surgen de la aplicación de la ley de conservación de la energía.

Estas leyes nos permiten resolver los circuitos utilizando el conjunto de ecuaciones al que ellos responden. En la entrega anterior Ud. conoció el laboratorio virtual LW. El funcionamiento de este y de todos los laboratorios virtuales conocidos se basa en la resolución automática del sistema de ecuaciones que genera un circuito eléctrico. Como trabajo principal la PC presenta una pantalla que semeja un laboratorio de electrónica pero como trabajo de fondo en realidad esta resolviendo las ecuaciones matemáticas del circuito. Lo interesante es que lo puede resolver a tal velocidad que puede representar los resultados en la pantalla con una velocidad similar aunque no igual a la real y de ese modo obtener gráficos que simulan el funcionamiento de un osciloscopio, que es un instrumento destinado a observar tensiones que cambian rápidamente a medida que transcurre el tiempo.

En esta entrega vamos a explicar la teoría en forma clásica y al mismo tiempo vamos a indicar como realizar la verificación de esa teoría en el laboratorio virtual LW.

PRIMERA LEY DE KIRCHHOFF

En un circuito eléctrico, es común que se generen nodos de corriente. Un nodo es el punto del circuito donde se unen mas de un terminal de un componente eléctrico. Si lo desea pronuncie “nodo” y piense en “nudo” porque esa es precisamente la realidad: dos o mas componentes se unen anudados entre sí (en realidad soldados entre sí). En la figura 1 se puede observar el mas básico de los circuitos de CC (corriente continua) que contiene dos nodos.

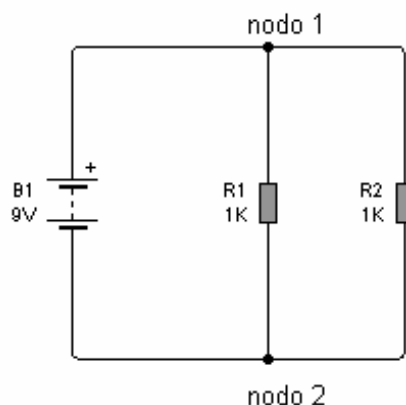


Fig. 1 Circuito básico con dos nodos

Observe que se trata de dos resistores de $1\text{K}\Omega$ (R1 y R2) conectados sobre una misma batería B1. La batería B1 conserva su tensión fija a pesar de la carga impuesta por los dos resistores; esto significa cada resistor tiene aplicada una tensión de 9V sobre él. La ley de Ohm indica que cuando a un resistor de $1\text{K}\Omega$ se le aplica una tensión de 9V por el circula una corriente de 9 mA ($I = E/R = 9/1.000 = 0,009\text{ A} = 9\text{ mA}$).

Por lo tanto podemos asegurar que cada resistor va a tomar una corriente de 9mA de la batería o que entre ambos van a tomar 18 mA de la batería. También podríamos decir que desde la

batería sale un conductor por el que circulan 18 mA que al llegar al nodo 1 se bifurca en una corriente de 9 mA que circula por cada resistor, de modo que en el nodo 2 se vuelven a unir para retornar a la batería con un valor de 18 mA.

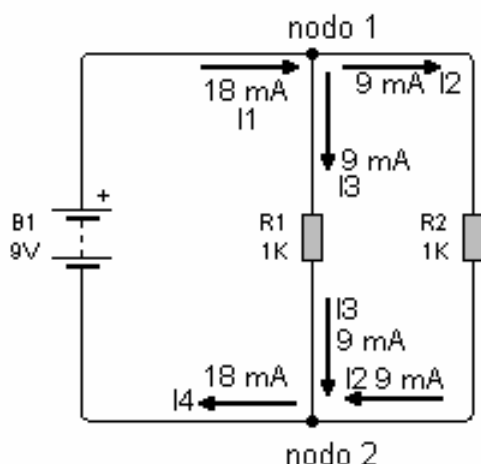


Fig.2 Aplicación de la primera ley de Kirchhoff

Es decir que en el nodo 1 podemos decir que $I_1 = I_2 + I_3$ y reemplazando valores: que $18 \text{ mA} = 9 \text{ mA} + 9 \text{ mA}$ y que en el nodo 2 $I_4 = I_2 + I_3$. Es obvio que las corrientes I_1 e I_4 son iguales porque lo que egresa de la batería debe ser igual a lo que ingresa.

SIMULACIÓN DE LA PRIMERA LEY DE KIRCHHOFF

Invoque el LW pulsando sobre el correspondiente icono de su pantalla. Dibuje el circuito de la figura 2. Luego pulse la tecla F9 de su PC para iniciar la simulación. Como no se utilizó ningún instrumento virtual no vamos a observar resultados sobre la pantalla. Pero si Ud. pulsa sobre la solapa lateral marcada Current Flow observará un dibujo animado con las corrientes circulando y bifurcándose en cada nodo.

Para conocer el valor de la corriente que circula por cada punto del circuito y la tensión con referencia al terminal negativo de la batería, no necesita conectar ningún instrumento de medida. Simplemente acerque la flecha del mouse a los conductores de conexión y el LW generará una ventanita en donde se indica V e I en ese lugar del circuito. Verifique que los valores de corriente obtenidos anteriormente son los correctos.

Para detener la simulación solo debe pulsar las teclas Control y F9 de su PC al mismo tiempo.

ENUNCIADO DE LA PRIMERA LEY DE KIRCHHOFF

Ley de nodos: la corriente entrante a un nodo es igual a la suma de las corrientes salientes. Del mismo modo se puede generalizar la primera ley de Kirchhoff diciendo que la suma de las corrientes entrantes a un nodo son iguales a la suma de las corrientes salientes. Si se le asigna signos (+ y -) a las corrientes del circuito (positivo las corrientes que entran y negativo las corrientes que salen), entonces, la sumatoria de las corrientes que convergen en un nodo es igual a cero.

$$\sum I = 0$$

La razón por la cual se cumple esta ley se entiende perfectamente en forma intuitiva si uno considera que la corriente eléctrica es debida a la circulación de electrones de un punto a otro del circuito. Piense en una modificación de nuestro circuito en donde los resistores tienen un valor mucho más grande que el indicado, de modo que circule una corriente eléctrica muy pequeña, constituida por tan solo 10 electrones que salen del terminal positivo de la batería. Los electrones están guiados por el conductor de cobre que los lleva hacia el nodo 1. Llegados a ese punto los electrones se dan cuenta que la resistencia eléctrica hacia ambos resistores es la misma y entonces se dividen circulando 5 por un resistor y otros 5 por el otro. Esto es totalmente lógico porque el nodo no puede generar electrones ni retirarlos del circuito solo puede distribuirlos y lo hace en función de la resistencia de cada derivación. En nuestro caso las resistencias son iguales y entonces envía la misma cantidad de electrones para cada lado. Si las resistencias fueran diferentes, podrían circular tal vez 1 electrón hacia una y nueve hacia la otra de acuerdo a la aplicación de la ley de Ohm.

Más científicamente podríamos decir, que siempre se debe cumplir una ley de la física que dice que la energía no se crea ni se consume, sino que siempre se transforma. La energía eléctrica que entrega la batería se subdivide en el nodo de modo que se transforma en iguales energías térmicas entregadas al ambiente por cada uno de los resistores. Si los resistores son iguales y están conectados a la misma tensión, deben generar la misma cantidad de calor y por lo tanto deben estar recorridos por la misma corriente; que sumadas deben ser iguales a la corriente entregada por la batería, para que se cumpla la ley de conservación de la energía.

En una palabra, que la energía eléctrica entregada por la batería es igual a la suma de las energías térmicas disipadas por los resistores. El autor un poco en broma suele decir en sus clases. Como dice el Martín Fierro, todo Vatio que camina va a parar al resistor. Nota: el Vatio es la unidad de potencia eléctrica y será estudiado oportunamente.

■ SEGUNDA LEY DE KIRCHHOFF

Ley de mallas: Cuando un circuito posee más de una batería y varios resistores de carga ya no resulta tan claro como se establecen la corriente por el mismo. En ese caso es de aplicación la segunda ley de Kirchhoff, que nos permite resolver el circuito con una gran claridad. En un circuito cerrado “La suma de las tensiones de batería que se encuentran al recorrerlo siempre serán iguales a la sumatoria de las caídas de tensión existente sobre los resistores”.

$$\sum I \cdot R = 0$$

En la figura 3 se puede observar un circuito con dos baterías que nos permitirá resolver un ejemplo de aplicación.

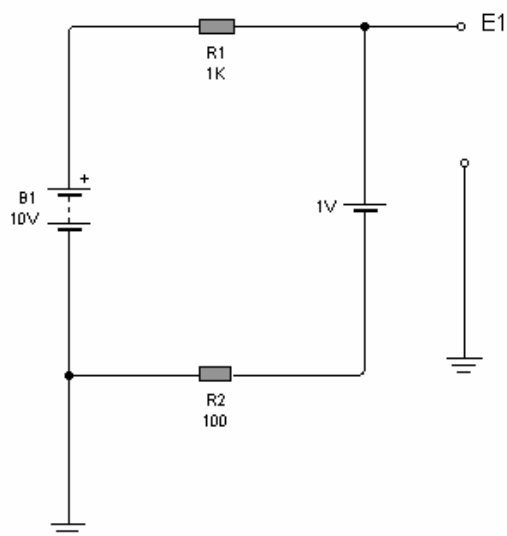


Fig.3 Circuito de aplicación de la segunda ley de Kirchhoff

Observe que nuestro circuito posee dos baterías y dos resistores y nosotros deseamos saber cual es la tensión de cada punto (o el potencial), con referencia al terminal negativo de B1 al que le colocamos un símbolo que representa a una conexión a nuestro planeta y al que llamamos tierra o masa. Ud. debe considerar al planeta tierra como un inmenso conductor de la electricidad.

Las tensiones de fuente, simplemente son las indicadas en el circuito, pero si pretendemos aplicar las caídas de potencial en los resistores, debemos determinar primero cual es la corriente que circula por aquel. Para determinar la corriente, primero debemos determinar cual es la tensión de todas nuestras fuentes sumadas. Observe que las dos fuentes están conectadas de modos que sus terminales positivos están galvánicamente conectados entre si por el resistor R1. esto significa que la tensión total no es la suma de ambas fuentes sino la resta. Con referencia a tierra, la batería B1 eleva el potencial a 10V pero la batería B2 lo reduce en 1 V. Entonces la fuente que hace circular corriente es en total de $10 - 1 = 9V$. Los electrones que circulan por ejemplo saliendo de B1 y pasando por R1, luego pierden potencial en B2 y atraviesan R2. Para calcular la corriente circulante podemos agrupar entonces a los dos resistores y a las dos fuentes tal como lo indica la figura 4.

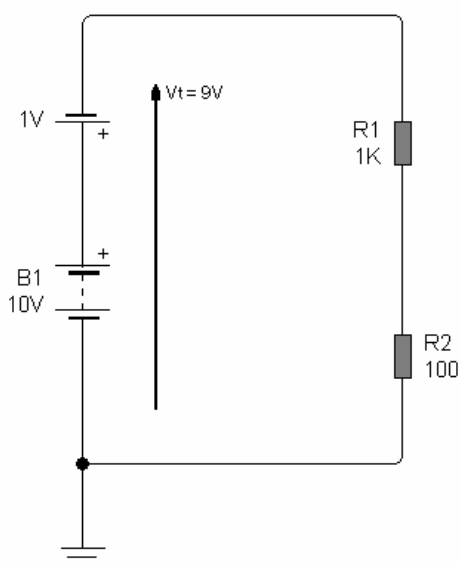


Fig.4 Reagrupamiento del circuito

¿El circuito de la figura 3 es igual al circuito de la figura 4? No, este reagrupamiento solo se genera para calcular la corriente del circuito original. De acuerdo a la ley de Ohm $I = E/R_1 + R_2$ porque los electrones que salen de R_1 deben pasar forzosamente por R_2 y entonces es como si existiera un resistor total igual a la suma de los resistores $R_1 + R_2 = 1100\Omega$. Se dice que los resistores están conectados en serie cuando están conectados de este modo, de forma tal que ambos son atravesados por la misma corriente igual a $I = (10 - 1) / 1000 + 100 = 0,00817$ o 8,17 mA.

Ahora que sabemos cual es la corriente que atraviesa el circuito podemos calcular la tensión sobre cada resistor. De la expresión de la ley de Ohm $I = E/R$ se puede despejar que $E = R \cdot I$ y de este modo reemplazando valores se puede obtener que la caída sobre R_2 es igual a $E_{R2} = R_2 \cdot I = 100 \cdot 8,17 \text{ mA} = 817 \text{ mV}$ y del mismo modo $E_{R1} = R_1 \cdot I = 1000 \cdot 8,17 \text{ mA} = 8,17 \text{ V}$.

Estos valores recién calculados de caídas de tensión pueden ubicarse sobre el circuito original con el fin de calcular la tensión deseada.

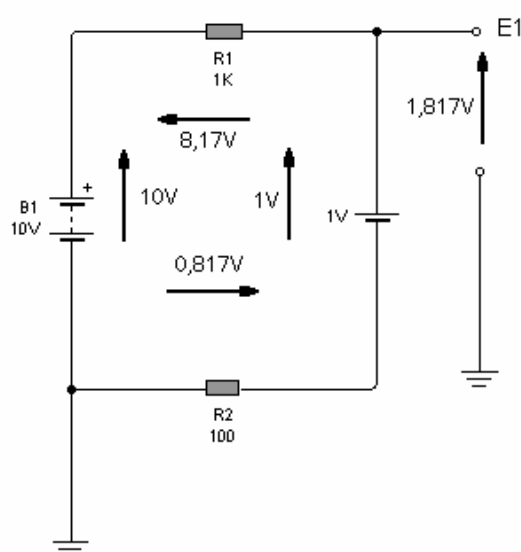


Fig.5 Circuito resuelto

Observando las cuatro flechas de las tensiones de fuente y de las caídas de tensión se puede verificar el cumplimiento de la segunda ley de Kirchhoff, ya que comenzando desde la masa de referencia y girando en el sentido de las agujas del reloj podemos decir que $10\text{V} - 8,17\text{V} - 1\text{V} - 0,817 = 0 \text{ V}$ o realizando una transposición de términos y dejando las fuentes a la derecha y las caídas de tensión a la izquierda podemos decir que la suma de las tensiones de fuente $10\text{V} - 1\text{V}$ es igual a la suma de las caídas de tensión o diferencias de potencial $8,17\text{V} + 0,817 = 8,987$ aproximadamente 9V.

Y además podemos calcular fácilmente que la tensión sobre la salida del circuito es de $0,817\text{V} + 1\text{V} = 1,817\text{V}$ con la polaridad indicada en el circuito es decir positiva.

TRABAJO PRÁCTICO VIRTUAL

Nuestro trabajo práctico consiste en dibujar el circuito en el LW. Activarlo con F9 y recorrerlo con el cursor anotando las caídas de tensión y la corriente en cada punto del mismo. Se podrá verificar el cumplimiento estricto de los valores calculados.

Posteriormente lo invitamos a resolver otro circuito que es el indicado a continuación para el cual le damos una ayuda.

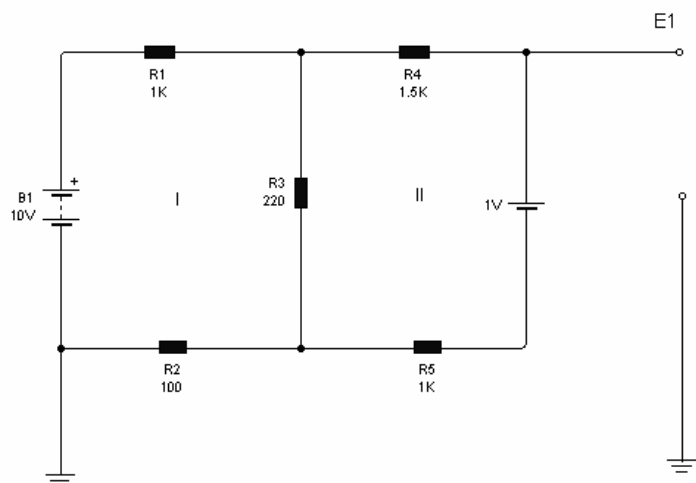


Fig.6 Circuito para resolver por el alumno

La ayuda que le vamos a dar es la siguiente. Considere al circuito completo como construido con dos mallas. La maya I y la maya II. Resuelva la corriente en la malla I solamente, suponiendo que la II esta abierta. Luego haga lo propio con la malla II; cada malla va a generar una corriente por R3. Súmelas considerando sus sentidos de circulación y obtendrá la corriente real que la recorre cuando las dos mallas están conectadas y de allí podrá calcular la caída de tensión sobre R3. Luego debe obtener las otras caídas de tensión y establecer la segunda ley de Kirchhoff. Por último calculará la tensión de salida V1.

Luego dibuje el circuito en el LW y verifique que el resultado hallado corresponda con el circuito virtual y por supuesto con la realidad.

CONCLUSIONES

De este modo ya estamos en poder de valiosas herramientas de trabajo que se utilizan todos los días en la resolución de circuitos electrónicos simples, que ayudan al reparador a determinar los valores de tensión y corriente, existentes en los circuitos.

En la próxima entrega, vamos a trabajar con fuentes de tensión alterna aplicadas a circuitos con resistores. Posteriormente, vamos a presentarle los dos componentes pasivos que acompañan al resistor en los circuitos mas comunes: el capacitor y el inductor y en poder de todo este conocimiento, le vamos a explicar como armar y probar su primer dispositivo útil; una radio elemental que nos permitirá conocer conceptos muy importantes de la electrónica completa, porque los hay de diferentes tipos y materiales.