

Circuitos de cd en serie

A4

Objetivos

- Familiarizarse con las características de un circuito en serie y cómo determinar el voltaje, la corriente y la potencia para cada uno de los elementos.
- Desarrollar una clara comprensión de la ley del voltaje de Kirchhoff y de su importancia para el análisis de circuitos eléctricos.
- Entender cómo se divide el voltaje entre los componentes conectados en serie y aprender a aplicar correctamente la ley divisora del voltaje.
- Entender el uso de la notación de subíndice simple y doble para definir los niveles de voltaje de una red.
- Aprender a utilizar un voltímetro, un amperímetro y un óhmetro para medir las cantidades importantes de una red.

A4.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, el consumidor puede encontrar dos tipos de corriente y disponer fácilmente de ellos. Uno es la *corriente directa* (cd), en la cual el flujo de carga (corriente) no cambia de magnitud (o de dirección) con el tiempo. El otro es la *corriente alterna senoidal* (ca) en la cual al paso del tiempo el flujo de carga cambia continuamente de magnitud (y dirección). Los siguientes capítulos son una introducción al análisis de circuitos sólo desde un punto de vista de la cd. Los métodos y conceptos se analizan a detalle; cuando es posible, basta un breve tratamiento para cubrir cualesquier variaciones que pudiéramos encontrar cuando consideremos la ca en capítulos anteriores.

La batería que se bosqueja en la figura A4.1, dada la diferencia de potencial entre sus terminales, tiene la capacidad de hacer que fluya carga (o “presión”) a través del circuito sencillo. La terminal positiva atrae los electrones a través del conductor a la misma velocidad en que la terminal negativa suministra los electrones. En tanto la batería esté conectada en el circuito y mantenga sus características terminales, la corriente (cd) que fluye a través del circuito no cambiará de magnitud o de dirección.

Si consideramos que el alambre es un conductor ideal (es decir, que no se opone al flujo), la diferencia de potencial V que pasa a través del resistor es igual al voltaje aplicado de la batería: V (volts) = E (volts).

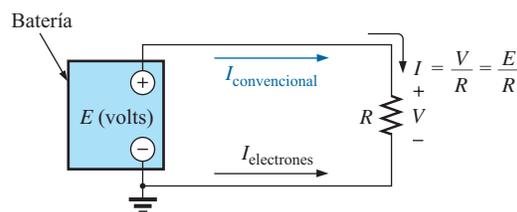


FIG. A4.1

Introducción de los componentes básicos de un circuito eléctrico.

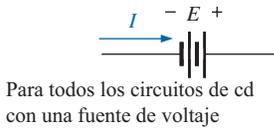


FIG. A4.2

Definición de las direcciones de flujo convencional para circuitos de cd con una sola fuente.

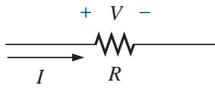


FIG. A4.3

Definición de la polaridad debido a una corriente convencional I a través de un elemento resistivo.

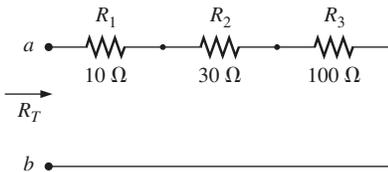


FIG. A4.4

Conexión en serie de resistores.

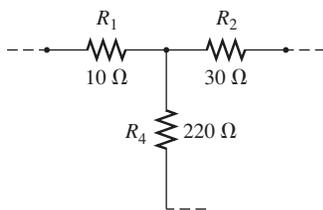


FIG. A4.5

Configuración en la cual ninguno de los resistores está en serie.

La corriente está limitada sólo por el resistor R . Cuanto más alta es la resistencia, menor es la corriente, y a la inversa, como lo determina la ley de Ohm.

Por convención (como se vio en el Anexo 2), la dirección del **flujo de corriente convencional** ($I_{\text{convencional}}$) como se muestra en la figura A4.1 se opone a la del **flujo de electrones** ($I_{\text{electrones}}$). Asimismo, el flujo de carga uniforme dicta que la corriente directa I debe ser la misma en cualquier parte del circuito. Si seguimos la dirección del flujo convencional, observamos que el potencial a través de la batería ($-$ a $+$) se eleva y decae a través del resistor ($+$ a $-$). Para circuitos de cd con una sola fuente de voltaje, el flujo convencional siempre pasa de un potencial bajo a uno alto cuando circula a través de una fuente de voltaje, como se muestra en la figura A4.2. Sin embargo, el flujo convencional siempre pasa de un potencial alto a uno bajo cuando circula a través de un resistor con cualquier número de fuentes de voltaje en el mismo circuito, como se muestra en la figura A4.3.

El circuito en la figura A4.1 es la configuración más sencilla posible. Este anexo y los capítulos correspondientes del texto agregan elementos al sistema de una manera muy específica para introducir una serie de conceptos que constituirán una parte importante de los fundamentos requeridos para analizar sistemas más complejos. Tenga en cuenta que las leyes, reglas, y guías presentadas en los Anexos 4 y 5 se utilizarán en sus estudios de sistemas eléctricos, electrónicos y computacionales. No son reemplazados por otros más avanzados a medida que avance hasta un material más complejo. Es por consiguiente crítico que entienda plenamente los conceptos, y que sea capaz de aplicar los diversos procedimientos y métodos con seguridad.

A4.2 RESISTORES EN SERIE

Antes de que se describa la conexión en serie, considere primero que todo resistor fijo tiene sólo dos terminales para conectarse en una configuración, la cual se conoce como **dispositivo de dos terminales**. En la figura A4.4, una terminal del resistor R_2 está conectada al resistor R_1 en un lado, y la terminal restante está conectada a un resistor R_3 en el otro lado, con lo que el resultado es una y sólo una conexión entre los resistores adjuntos. Cuando se conectan de esta manera, los resistores establecen una conexión en serie. Si se conectaran tres elementos al mismo punto, como se muestra en la figura A4.5, no habría una conexión en serie entre los resistores R_1 y R_2 .

Para resistores en serie,

la resistencia total de una configuración en serie es la suma de los niveles de resistencia.

En forma de ecuación para cualquier número (N) de resistores,

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_N \quad (\text{A4.1})$$

Un resultado de la ecuación (A4.1) es que

cuantos más resistores agreguemos en serie, mayor será la resistencia, independientemente de sus valores.

Además,

el resistor más grande en una combinación en serie tendrá el mayor impacto en la resistencia total.

Para la configuración de la figura A4.4, la resistencia total es

$$\begin{aligned} R_T &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 10 \, \Omega + 30 \, \Omega + 100 \, \Omega \end{aligned}$$

y

$$R_T = \mathbf{140 \, \Omega}$$

EJEMPLO A4.1 Determine la resistencia total de la conexión en serie de la figura A4.6. Observe que todos los resistores de esta red son valores estándar.

Solución: Observe en la figura A4.6 que aun cuando el resistor R_3 está en posición vertical y el resistor R_4 regresa en la parte inferior a la terminal b , todos los resistores están en serie puesto que hay sólo dos terminales de resistor en cada punto de conexión.

Aplicando la ecuación (A4.1) se obtiene

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_T = 20 \Omega + 220 \Omega + 1.2 \text{ k}\Omega + 5.6 \text{ k}\Omega$$

y

$$R_T = 7040 \Omega = \mathbf{7.04 \text{ k}\Omega}$$

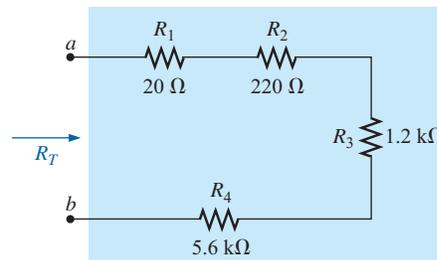


FIG. A4.6
Conexión en serie de resistores para el ejemplo A4.1.

Para el caso especial en que los resistores son del mismo valor, la ecuación (A4.1) se modifica como sigue:

$$R_T = NR \tag{A4.2}$$

donde N es el número de resistores en serie del valor R .

EJEMPLO A4.2 Determine la resistencia total de los resistores en serie de la figura A4.7. Una vez más, considere $3.3 \text{ k}\Omega$ como un valor estándar.

Solución: De nuevo, no se preocupe por el cambio de configuración. Los resistores adyacentes están conectados sólo en un punto, lo que satisface la definición de elementos en serie.

Ecuación (A4.2): $R_T = NR$

$$= (4)(3.3 \text{ k}\Omega) = \mathbf{13.2 \text{ k}\Omega}$$

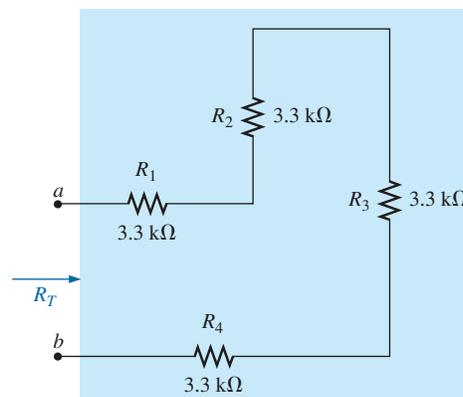


FIG. A4.7
Conexión en serie de cuatro resistores del mismo valor (ejemplo A4.2).

Es importante darse cuenta que como los parámetros de la ecuación (A4.1) pueden ponerse en cualquier orden,

la resistencia total de resistores en serie no se ve afectada por el orden en que estén conectados.

El resultado es que la resistencia total en la figura A4.8(a) es la misma que la de la figura A4.8(b). Una vez más, observe que todos los resistores son valores estándar.

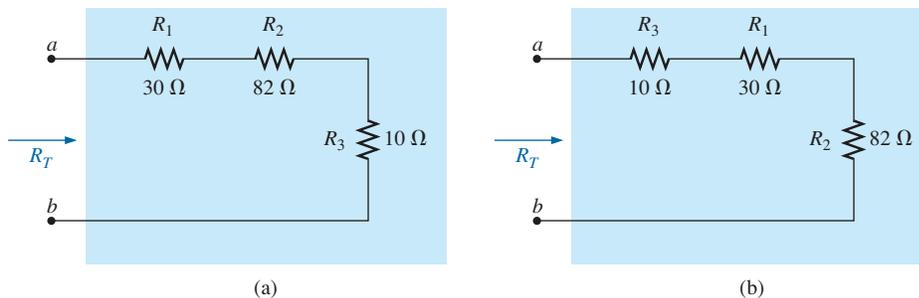


FIG. A4.8

Dos combinaciones en serie de los mismos elementos con la misma resistencia total.

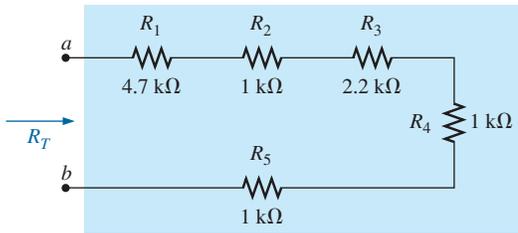


FIG. A4.9

Combinación en serie de los resistores para el ejemplo A4.3.

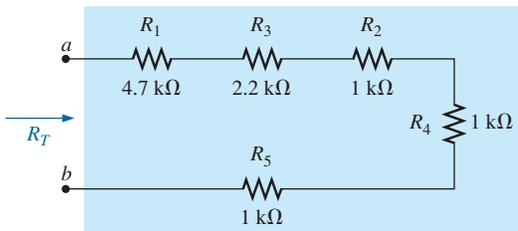


FIG. A4.10

Circuito en serie de la figura A4.9 vuelto a dibujar para permitir el uso de la ecuación (A4.2): $R_T = NR$.

EJEMPLO A4.3 Determine la resistencia total de los resistores en serie (valores estándar) de la figura A4.9.

Solución: En primer lugar, el orden de los resistores se cambió como se muestra en la figura A4.10 para permitir el uso de la ecuación (A4.2). Entonces la resistencia total es

$$\begin{aligned} R_T &= R_1 + R_3 + NR_2 \\ &= 4.7 \text{ k}\Omega + 2.2 \text{ k}\Omega + (3)(1 \text{ k}\Omega) = \mathbf{9.9 \text{ k}\Omega} \end{aligned}$$

Analogías

A lo largo del texto se utilizan analogías para explicar algunas de las relaciones fundamentales importantes en los circuitos eléctricos. Una analogía es simplemente una combinación de elementos de un tipo diferente que sirva para explicar un concepto, relación o ecuación particular.

Una analogía que funciona bien para la combinación en serie de elementos es la de conectar tramos de cuerda de diferente longitud entre sí para formar una cuerda más larga. Los tramos adyacentes de cuerda están conectados en sólo un punto, lo que satisface la definición de elementos en serie. Si conectamos una tercera cuerda al punto común, las secciones de cuerda ya no estarían en serie.

Otra analogía es conectar dos mangueras juntas para formar una más larga. De nuevo, sigue habiendo sólo un punto de conexión entre las secciones adyacentes, y el resultado es una conexión en serie.

Instrumentos

La resistencia total de cualquier configuración puede medirse con un óhmmetro conectado a través de las terminales de acceso como se muestra en la figura A4.11 para el circuito de la figura A4.4. Puesto que no hay polaridad alguna asociada con la resistencia, puede conectarse cualquiera de los cables al punto *a*, con el otro conectado al punto *b*. Seleccione una escala que sobrepase la resistencia total del circuito, y recuerde, cuando lea la respuesta en el medidor, que si seleccionó una escala en kilohms, el resultado estará en kilohms. Para la figura A4.11 se utilizó la escala de 200 Ω de nuestro multímetro seleccionado porque la resistencia total es de 140 Ω . Si se hubiera seleccionado la escala de 2 k Ω , el cuadrante digital se leería 0.140 y debe considerar que el resultado está en kilohms.

En la siguiente sección se presenta otro método para determinar la resistencia total de un circuito aplicando la ley de Ohm.

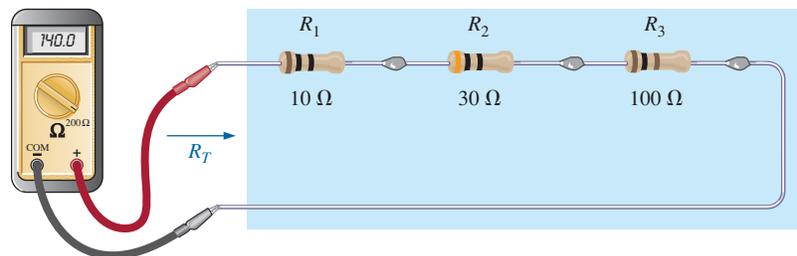


FIG. A4.11

Uso de un óhmmetro para medir la resistencia total de un circuito en serie.

A4.3 CIRCUITOS EN SERIE

Si ahora en la figura A4.4 conectamos una fuente de cd de 8.4 V en serie con los resistores en serie, tenemos el **circuito en serie** de la figura A4.12.

Un circuito es cualquier combinación de elementos que producirá un flujo continuo de carga, o corriente, a través de la configuración.

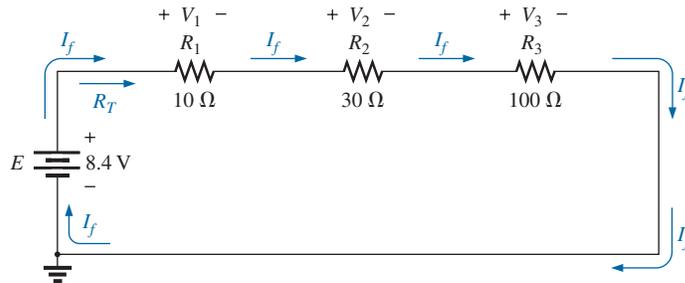


FIG. A4.12

Representación esquemática para un circuito en serie de cd.

Primero, considere que la *fuentes de cd también es un dispositivo de dos terminales* con dos puntos de conexión. Si simplemente nos aseguramos de que haya sólo una conexión en cada extremo de la fuente con la combinación en serie de resistores, podemos estar seguros de que hemos establecido un circuito en serie.

La forma en que la fuente está conectada determina la dirección de la corriente convencional resultante. Para circuitos de cd en serie:

la dirección convencional de la corriente en un circuito de cd en serie es tal que se sale de la terminal positiva de la fuente y regresa a la terminal negativa, como se muestra en la figura A4.12.

Uno de los conceptos más importantes a recordar cuando se analizan circuitos en serie y se definen elementos que están en serie es:

La corriente es la misma en cualquier punto de un circuito en serie.

Para el circuito de la figura A4.12, el enunciado anterior dicta que la corriente es la misma que fluye a través de los tres resistores y la fuente de voltaje. Además, si alguna vez quisiera saber si dos elementos están en serie, simplemente vea si la corriente que fluye es la misma a través de cada elemento.

En cualquier configuración, si dos elementos están en serie, la corriente debe ser la misma. Sin embargo, si la corriente es la misma en dos elementos adyacentes, éstos pueden estar o no en serie.

La necesidad de esta restricción en el último enunciado se demostrará en los capítulos correspondientes.

Ahora que tenemos un circuito completo y que se estableció una corriente, debemos determinar su nivel y el voltaje que pase a través de cada resistor. Para ello, volvamos a la ley de Ohm y reemplacemos la resistencia en la ecuación por la resistencia total del circuito. Es decir,

$$I_f = \frac{E}{R_T} \quad (\text{A4.3})$$

aplicando el subíndice f para indicar corriente de fuente.

Es importante tener en cuenta que cuando se conecta una fuente de cd, ésta no “ve” la conexión individual de los elementos, sino sólo la resistencia

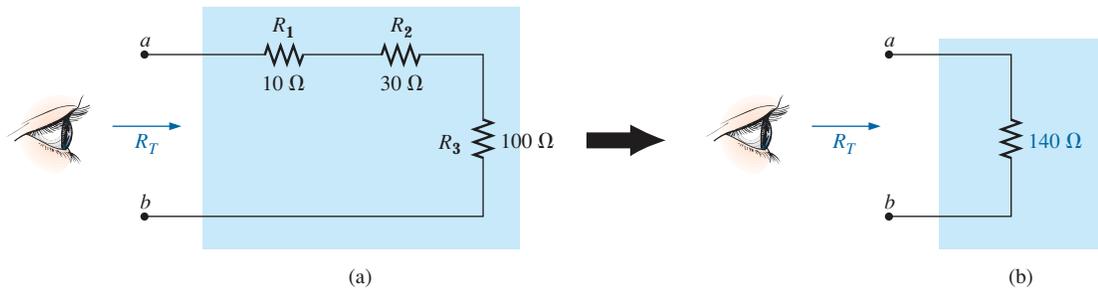


FIG. A4.13

Resistencia “vista” en las terminales de un circuito en serie.

total “vista” en las terminales de conexión, como se muestra en la figura A4.13(a). En otras palabras, la configuración se reduce a una como la de la figura A4.13(b) a la cual es fácil aplicar la ley de Ohm.

Para la configuración de la figura A4.12, con la resistencia total calculada en la última sección, la corriente resultante es

$$I_f = \frac{E}{R_T} = \frac{8.4 \text{ V}}{140 \Omega} = 0.06 \text{ A} = \mathbf{60 \text{ mA}}$$

Observe que la corriente I_f en cualquier punto o esquina de la red es la misma. Además, observe que la corriente también aparece en la fuente de potencia o alimentación.

Ahora que tenemos el nivel de corriente podemos calcular el voltaje que pasa a través de cada resistor. Primero tengamos en cuenta que

la dirección de la corriente determina la polaridad del voltaje que pasa a través de un resistor.

La corriente que entra a un resistor crea una caída de voltaje con la polaridad indicada en la figura A4.14(a). Invierta la dirección de la corriente, y la polaridad se invertirá como se muestra en la figura A4.14(b). Cambie la orientación del resistor, y se aplican las mismas reglas, como se muestra en la figura A4.14(c). Aplicando lo anterior al circuito de la figura A4.12 se obtendrán las polaridades que aparecen en dicha figura.

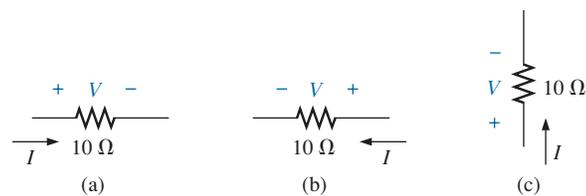


FIG. A4.14

Inserción de las polaridades a través de un resistor en cuanto determinadas por la dirección de la corriente.

La magnitud de la caída de voltaje que pasa a través de cada resistor se determina entonces con la aplicación de la ley de Ohm, utilizando únicamente la resistencia de cada resistor. Es decir,

$$\begin{aligned} V_1 &= I_1 R_1 \\ V_2 &= I_2 R_2 \\ V_3 &= I_3 R_3 \end{aligned} \quad (\text{A4.4})$$

las cuales, aplicadas a la figura A4.12 dan por resultado

$$V_1 = I_1 R_1 = I_f R_1 = (60 \text{ mA})(10 \Omega) = \mathbf{0.6 \text{ V}}$$

$$V_2 = I_2 R_2 = I_f R_2 = (60 \text{ mA})(30 \Omega) = \mathbf{1.8 \text{ V}}$$

$$V_3 = I_3 R_3 = I_f R_3 = (60 \text{ mA})(100 \Omega) = \mathbf{6.0 \text{ V}}$$

Observe que en todos los cálculos numéricos que aparecen en el texto hasta este punto, se ha aplicado una unidad de medición a cada cantidad calculada. Recuerde siempre que una cantidad sin unidad de medición suele no tener sentido.

EJEMPLO A4.4 Para el circuito en serie de la figura A4.15:

- Determine la resistencia total R_T .
- Calcule la corriente de la fuente I_f resultante.
- Determine el voltaje que pasa a través de cada resistor.

Soluciones:

$$\begin{aligned} \text{a. } R_T &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 2 \Omega + 1 \Omega + 5 \Omega \end{aligned}$$

$$R_T = \mathbf{8 \Omega}$$

$$\text{b. } I_f = \frac{E}{R_T} = \frac{20 \text{ V}}{8 \Omega} = \mathbf{2.5 \text{ A}}$$

$$\text{c. } V_1 = I_1 R_1 = I_f R_1 = (2.5 \text{ A})(2 \Omega) = \mathbf{5 \text{ V}}$$

$$V_2 = I_2 R_2 = I_f R_2 = (2.5 \text{ A})(1 \Omega) = \mathbf{2.5 \text{ V}}$$

$$V_3 = I_3 R_3 = I_f R_3 = (2.5 \text{ A})(5 \Omega) = \mathbf{12.5 \text{ V}}$$

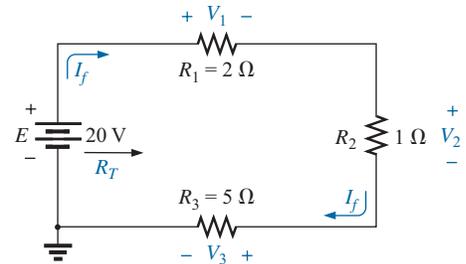


FIG. A4.15

Circuito en serie que se ha de investigar en el ejemplo A4.4.

EJEMPLO A4.5 Para el circuito de la figura A4.16:

- Determine la resistencia total R_T .
- Determine la corriente de la fuente I_f e indique su dirección en el circuito.
- Determine el voltaje que pasa a través del resistor R_2 e indique su polaridad en el circuito.

Soluciones:

- Los elementos del circuito se reacomodaron como se muestra en la figura A4.17.

$$\begin{aligned} R_T &= R_2 + NR \\ &= 4 \Omega + (3)(7 \Omega) \\ &= 4 \Omega + 21 \Omega \end{aligned}$$

$$R_T = \mathbf{25 \Omega}$$

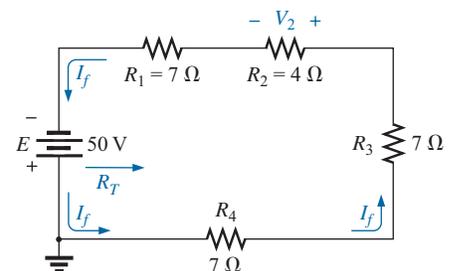


FIG. A4.16

Circuito en serie que se analizará en el ejemplo A4.5.

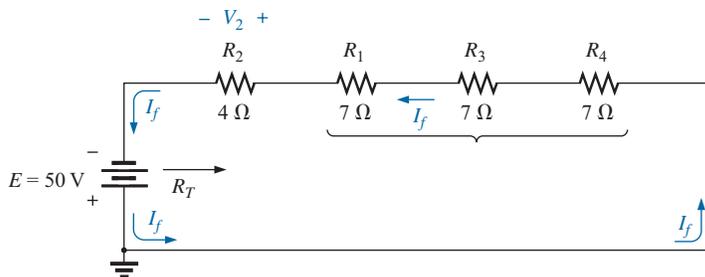


FIG. A4.17

El circuito en la figura A4.16 se volvió a dibujar para poder utilizar la ecuación (A4.2).

- b. Observe que por la manera en que se conectó la fuente de cd, la corriente ahora tiene un sentido contrario al de las manecillas del reloj, como se muestra en la figura A4.17:

$$I_f = \frac{E}{R_T} = \frac{50 \text{ V}}{25 \Omega} = 2 \text{ A}$$

- c. La dirección de la corriente definirá la polaridad para V_2 que aparece en la figura A4.17:

$$V_2 = I_2 R_2 = I_f R_2 = (2 \text{ A})(4 \Omega) = 8 \text{ V}$$

Los ejemplos A4.4 y A4.5 son problemas sencillos de tipo sustitución fáciles de resolver con un poco de práctica. Sin embargo, el ejemplo A4.6 es otro tipo de problema que requiere tanto un firme dominio de las leyes fundamentales como de las ecuaciones, además de la capacidad de identificar qué cantidad debe determinarse primero. La mejor preparación para este tipo de ejercicio es resolver la mayor cantidad de problemas de este tipo.

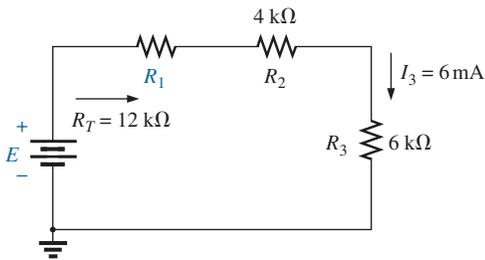


FIG. A4.18
Circuito en serie que se analizará
en el ejemplo A4.6.

EJEMPLO A4.6 Con R_T e I_3 dadas, calcule R_1 y E para el circuito de la figura A4.18.

Solución: Como se nos dio la resistencia total, parece natural escribir primero la ecuación de la resistencia total y luego insertar lo que conocemos:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

Vemos que sólo hay una incógnita y que podemos determinarla con algunas matemáticas sencillas. Es decir,

$$12 \text{ k}\Omega = R_1 + 4 \text{ k}\Omega + 6 \text{ k}\Omega = R_1 + 10 \text{ k}\Omega$$

$$\text{y} \quad 12 \text{ k}\Omega - 10 \text{ k}\Omega = R_1$$

$$\text{de modo que} \quad R_1 = 2 \text{ k}\Omega$$

El voltaje de cd se determina directamente por la ley de Ohm:

$$E = I_f R_T = I_3 R_T = (6 \text{ mA})(12 \text{ k}\Omega) = 72 \text{ V}$$

Analogías

Las analogías antes utilizadas para definir la conexión en serie también son excelentes para un circuito en serie. Por ejemplo, para las cuerdas conectadas en serie, el esfuerzo en cada cuerda **es el mismo** ya que tratan de sujetar el pesado peso. Para la analogía del agua, el flujo **es el mismo** a través de cada sección de manguera cuando el agua se transporta a su destino.

Instrumentos

Otro importante concepto a recordar es:

La inserción de cualquier medidor en un circuito afectará al circuito.

Debe utilizar medidores que reduzcan al mínimo el impacto en la respuesta del circuito. Los efectos de carga se analizan detalladamente en secciones posteriores de este anexo. Por ahora, supondremos que los medidores son ideales y que no afectan las redes a las que se aplican de modo que podamos concentrarnos en su uso apropiado.

Además, es particularmente útil en el laboratorio tener en cuenta que

los voltajes de un circuito pueden medirse sin perturbar (romper la conexión en) el circuito.

En la figura A4.19, todos los voltajes del circuito de la figura A4.12 se están midiendo con voltímetros conectados sin perturbar la configuración original. Observe que todos los voltímetros están conectados **a través** de los elementos resistivos. Además, observe que el cable positivo (normalmente rojo) del voltímetro está conectado al punto de potencial más alto (signo positivo), con el cable negativo (normalmente negro) conectado al punto de potencial más bajo (signo negativo) para V_1 y V_2 . El resultado es una lectura positiva en el cuadrante. Si se invirtieran los cables, la magnitud seguiría igual, pero aparecería un signo negativo como se muestra para V_3 .

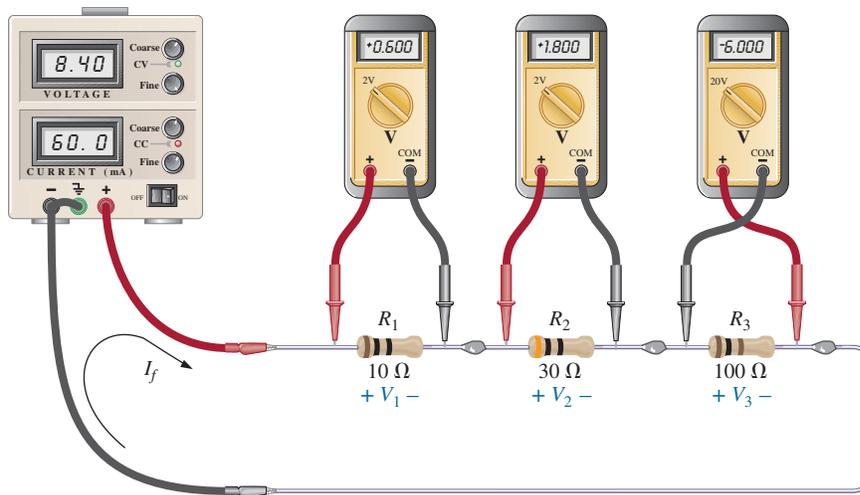


FIG. A4.19

Uso de voltímetros para medir los voltajes que pasan a través de los resistores en la figura A4.12.

Tome nota en especial de que para medir el nivel de -6 V se utilizó la escala de 20 V, en tanto que para medir los niveles de 0.6 y 1.8 V se utilizó la escala de 2 V. El valor máximo de la escala seleccionada siempre debe exceder el valor máximo que se va a medir. Por lo general,

cuando utilice un voltímetro, comience con una escala que le garantice que la lectura sea menor que el valor máximo de la escala. Luego vaya reduciendo las escalas hasta que obtenga la lectura con el máximo nivel de precisión.

Volviendo nuestra atención a la corriente del circuito, vemos que

utilizar un amperímetro para medir la corriente de un circuito requiere que éste se abra en algún punto y que se inserte el medidor en serie con el ramal donde se va a determinar la corriente.

Por ejemplo, para medir la corriente que sale de la terminal positiva de la fuente, debe quitarse la conexión a la terminal positiva para abrir el circuito entre la fuente y el resistor R_1 . El amperímetro se inserta entonces entre estos dos puntos para formar un puente entre la fuente y el primer resistor, como se muestra en la figura A4.20. Ahora el amperímetro está en serie con la fuente y los demás elementos del circuito. Si cada medidor ha de pro-

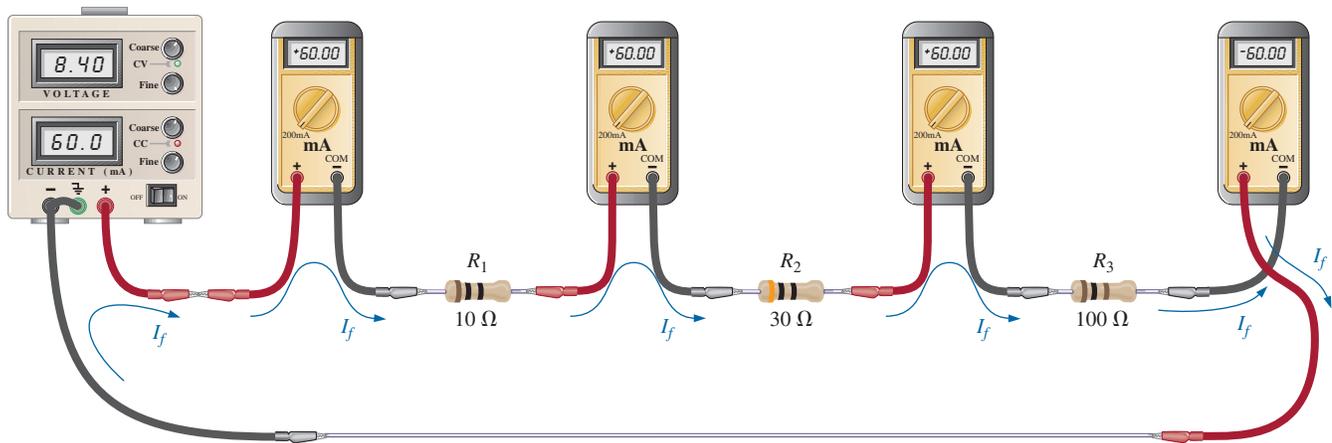


FIG. A4.20

Lectura de la corriente a lo largo del circuito en serie de la figura A4.12.

porcionar una lectura positiva, la conexión debe hacerse de modo que la corriente convencional entre por la terminal positiva del medidor y salga por la terminal negativa. Éste se hizo con tres de los amperímetros, con el amperímetro de R_3 de la derecha, conectado de manera inversa. El resultado es un signo negativo para la corriente. Sin embargo, observe también que la corriente tiene la magnitud correcta. Como la corriente es de 60 mA, se utilizó la escala de 200 mA para cada medidor.

Como se esperaba, la corriente en cada punto del circuito en serie es la misma utilizando nuestros amperímetros ideales.

A4.4 DISTRIBUCIÓN DE LA POTENCIA EN UN CIRCUITO EN SERIE

En cualquier sistema eléctrico, la potencia aplicada será igual a la potencia disipada o absorbida. Para todo circuito en serie, como el de la figura A4.21,

la potencia aplicada por la fuente de cd debe ser igual a la disipada por los elementos resistivos.

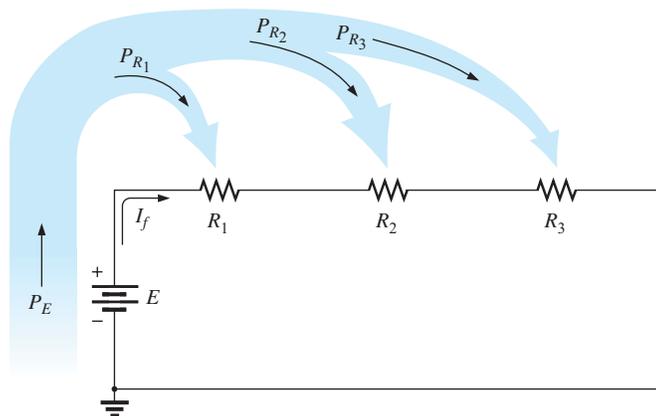


FIG. A4.21

Distribución de la potencia en un circuito en serie.

En forma de ecuación,

$$P_E = P_{R_1} + P_{R_2} + P_{R_3} \quad (\text{A4.5})$$

La potencia suministrada por la fuente se determina con

$$P_E = EI_f \quad (\text{watts, W}) \quad (\text{A4.6})$$

La potencia disipada por los elementos resistivos se determina por cualquiera de las siguientes formas (mostradas sólo para el resistor R_1):

$$P_1 = V_1 I_1 = I_1^2 R_1 = \frac{V_1^2}{R_1} \quad (\text{watts, W}) \quad (\text{A4.7})$$

Como la corriente es la misma a través de los elementos en serie, en los siguientes ejemplos verá que

en una configuración en serie, la potencia máxima se suministra al resistor más grande.

EJEMPLO A4.7 Para el circuito en serie de la figura A4.22 (todos los valores estándar):

- Determine la resistencia total R_T .
- Calcule la corriente I_f .
- Determine el voltaje que pasa a través de cada resistor.
- Determine la potencia suministrada por la batería.
- Determine la potencia disipada por cada resistor.
- Comente sobre si la potencia total suministrada es igual a la potencia total disipada.

Soluciones:

- $$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$= 1 \text{ k}\Omega + 3 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_T = \mathbf{6 \text{ k}\Omega}$$
- $$I_f = \frac{E}{R_T} = \frac{36 \text{ V}}{6 \text{ k}\Omega} = \mathbf{6 \text{ mA}}$$
- $$V_1 = I_1 R_1 = I_f R_1 = (6 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega) = \mathbf{6 \text{ V}}$$

$$V_2 = I_2 R_2 = I_f R_2 = (6 \text{ mA})(3 \text{ k}\Omega) = \mathbf{18 \text{ V}}$$

$$V_3 = I_3 R_3 = I_f R_3 = (6 \text{ mA})(2 \text{ k}\Omega) = \mathbf{12 \text{ V}}$$
- $$P_E = EI_f = (36 \text{ V})(6 \text{ mA}) = \mathbf{216 \text{ mW}}$$
- $$P_1 = V_1 I_1 = (6 \text{ V})(6 \text{ mA}) = \mathbf{36 \text{ mW}}$$

$$P_2 = I_2^2 R_2 = (6 \text{ mA})^2 (3 \text{ k}\Omega) = \mathbf{108 \text{ mW}}$$

$$P_3 = \frac{V_3^2}{R_3} = \frac{(12 \text{ V})^2}{2 \text{ k}\Omega} = \mathbf{72 \text{ mW}}$$

- $$P_E = P_{R_1} + P_{R_2} + P_{R_3}$$

$$216 \text{ mW} = 36 \text{ mW} + 108 \text{ mW} + 72 \text{ mW} = \mathbf{216 \text{ mW}} \quad (\text{se comprueba})$$

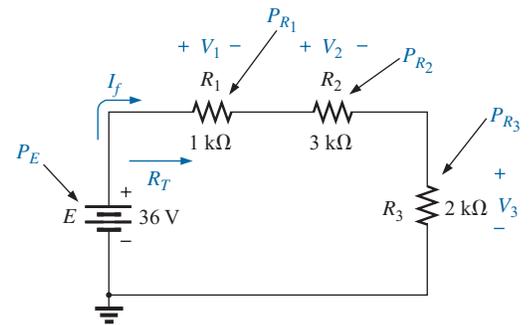


FIG. A4.22
Circuito en serie que se investigará en el ejemplo A4.7.

A4.5 FUENTES DE VOLTAJE EN SERIE

Las fuentes de voltaje pueden conectarse en serie, como se muestra en la figura A4.23, para incrementar o reducir el voltaje total aplicado a un sistema. La suma de las fuentes con la misma polaridad y la resta del total de las fuentes con la polaridad opuesta determinan el voltaje neto. La polaridad neta es la polaridad de la suma mayor.

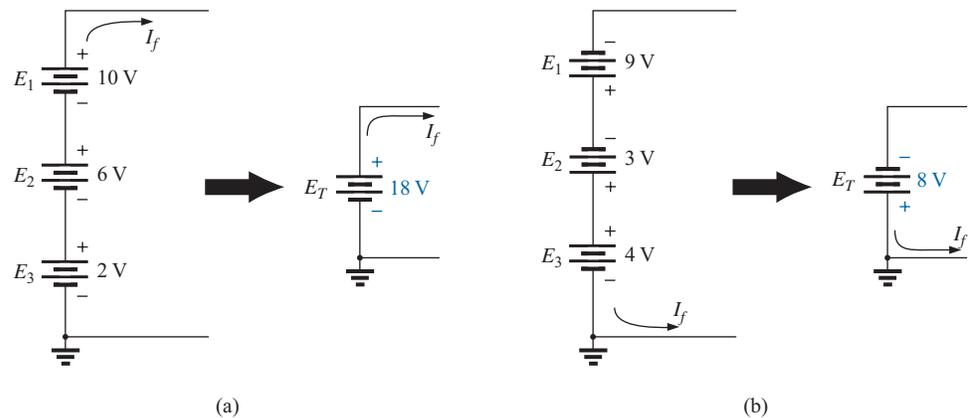


FIG. A4.23

Reducción de fuentes de voltaje de cd en serie a una fuente única.

En la figura A4.23(a), por ejemplo, todas las fuentes están “presionando” a la corriente para que siga una trayectoria en el sentido de las manecillas del reloj, por lo que el voltaje neto es

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 = 10 \text{ V} + 6 \text{ V} + 2 \text{ V} = \mathbf{18 \text{ V}}$$

como se muestra en la figura A4.23(b); sin embargo, la fuente de 4 V está “presionándola” en el sentido de las manecillas del reloj en tanto que las otras dos tratan de establecer una corriente en el sentido contrario al de las manecillas del reloj. En este caso, el voltaje aplicado en dicho sentido es mayor que el establecido en el sentido de las manecillas del reloj. El resultado es que la corriente tiene el sentido contrario al de las manecillas del reloj, como se muestra en la figura A4.23(b). El efecto neto se determina calculando la diferencia del voltaje aplicado entre las fuentes que “presionan” a la corriente en un sentido y el total en la otra dirección. En este caso,

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 = 9 \text{ V} + 3 \text{ V} - 4 \text{ V} = \mathbf{8 \text{ V}}$$

con la polaridad que se muestra en la figura.

Instrumentos

La conexión de baterías en serie para obtener un voltaje más alto es común en la mayoría de los equipos electrónicos portátiles actuales. Por ejemplo, en la figura A4.24(a), se han conectado cuatro baterías AAA de 1.5 V en serie para obtener un voltaje de fuente de 6 V. Aunque el voltaje se incrementó, tenga presente que la corriente máxima en cada batería AAA y en la fuente de 6 V sigue siendo la misma. Sin embargo, la potencia disponible se incrementó por un factor de 4 debido al incremento del voltaje terminal. Observe también, como se mencionó en el anexo 2, que el extremo negativo de cada batería está conectado al resorte y el positivo al contacto sólido. Además, observe cómo se realizó la conexión entre las baterías por medio de pestañas de conexión horizontales.

Por lo general las fuentes con sólo dos terminales (+ y -) pueden conectarse como se muestra para las baterías. Sin embargo, surge un problema si la fuente tiene una conexión a tierra fija interna u opcional. En la figura A4.24 (b), aparecen dos fuentes de laboratorio conectadas en serie con ambas tierras conectadas. El resultado es que la fuente inferior E_1 queda conectada en cortocircuito (lo cual puede dañarla si el fusible de protección no se activa suficientemente rápido), porque ambas conexiones a tierra están a un potencial cero. En esos casos, la fuente E_2 debe dejarse desconectada a tierra (flotante), como se muestra en la figura A4.24(c), para proporcionar un voltaje terminal de 60 V. Si las fuentes de laboratorio tienen una conexión

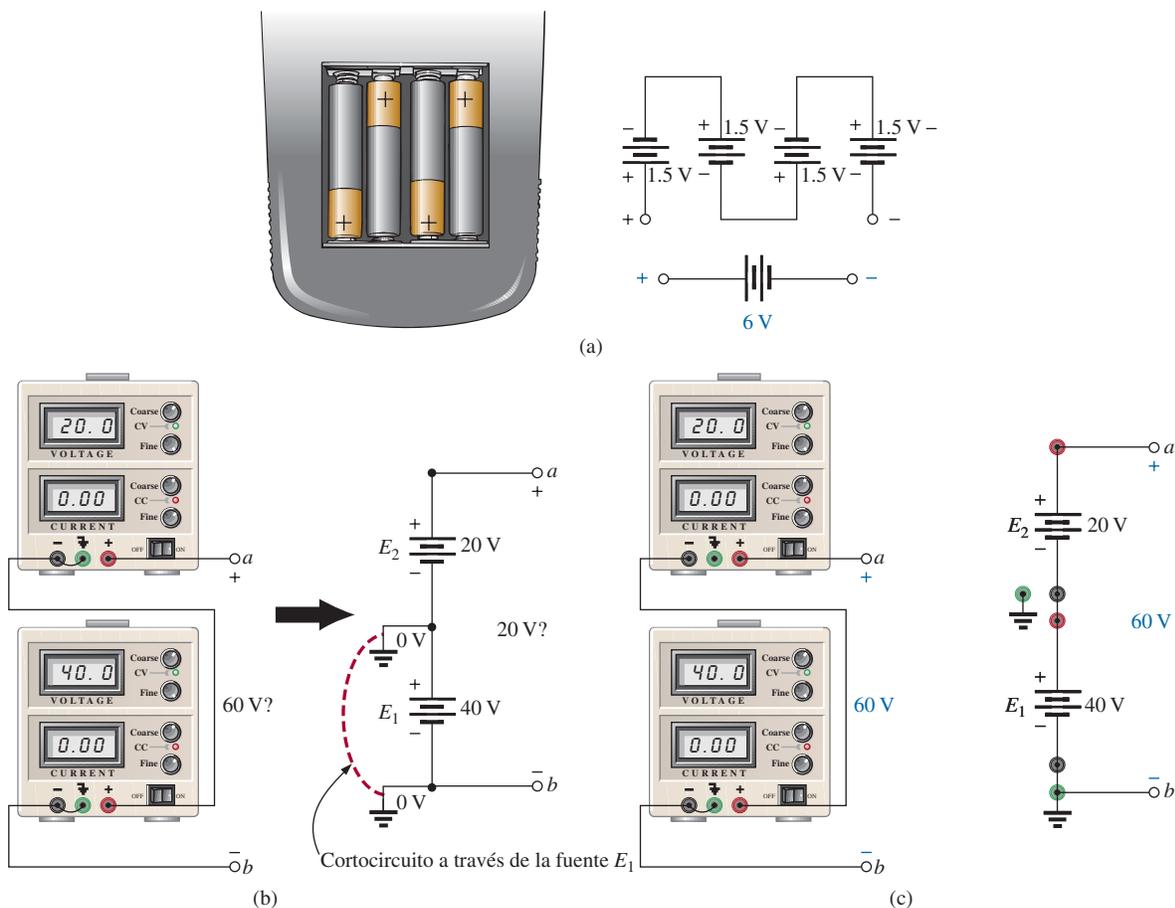


FIG. A4.24

Conexión en serie de fuentes de cd: (a) cuatro baterías de 1.5 V en serie para establecer un voltaje terminal de 6 V; (b) conexiones incorrectas de dos fuentes de cd en serie, y (c) conexión correcta de fuentes en serie para establecer 60 V en las terminales de salida.

interna de la terminal negativa a tierra como medida de protección para los usuarios, las fuentes no pueden conectarse en serie. Téngalo en cuenta, porque algunas instituciones educativas agregan una tierra interna a las fuentes como medida de protección aun cuando el tablero de distribución siga mostrando la conexión a tierra como medida opcional.

A4.6 LEY DEL VOLTAJE DE KIRCHHOFF

La ley que se describirá en esta sección es una de las más importantes en este campo. Se aplica no sólo a circuitos de cd sino también a cualquier tipo de señal, sea de cd, digital, etcétera. Esta ley es de largo alcance y puede ser muy útil para hallar soluciones a redes que en ocasiones nos dejan sin saber qué dirección tomar en su investigación.

Gustav Kirchhoff desarrolló la ley llamada **ley del voltaje de Kirchhoff (KVL, siglas del inglés Kirchhoff's Voltage Law)** (figura A4.25) a mediados del siglo XIX. Es una piedra angular de todo el campo y, de hecho, nunca será obsoleta ni reemplazada.

La aplicación de la ley requiere que definamos una trayectoria de investigación cerrada, que nos permita partir de un punto de la red, viajar a través de ella y encontrar nuestro camino de regreso al punto de partida original. La ruta no tiene que ser circular, cuadrada o de cualquier otra forma defi-

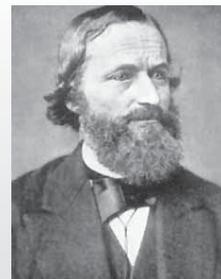


FIG. A4.25

Gustav Robert Kirchhoff.
Cortesía de Smithsonian Institution, fotografía núm. 58,283.

Alemán (Königsberg, Berlín)
(1824–1887),

Físico

Profesor de física, Universidad de Heidelberg

Aunque contribuyó a varias áreas de la física, se le conoce mejor por su trabajo en el área eléctrica con su definición de la relación entre las corrientes y los voltajes de una red en 1847. Realizó una extensa investigación junto con el químico alemán Robert Bunsen (desarrolló el *mechero Bunsen*), y el resultado fue el descubrimiento de los importantes elementos *cesio* y *rubidio*.

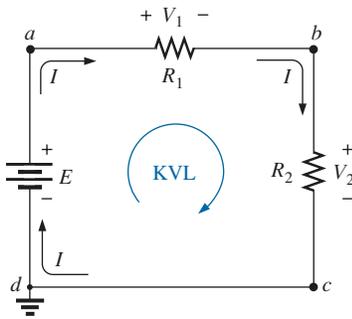


FIG. A4.26

Aplicación de la ley del voltaje de Kirchhoff a un circuito de cd en serie.

nida; simplemente debe proporcionarnos una forma de iniciar en un punto y regresar a él sin salirnos de la red. En la figura A4.26, si partimos del punto a y seguimos la corriente, terminaremos en el punto b . Continuando, podemos pasar por los puntos c y d y finalmente regresaremos por la fuente de voltaje al punto a , nuestro punto de partida. La trayectoria $abcd$ es, por consiguiente, una trayectoria cerrada, o **lazo cerrado**. La ley especifica que *la suma algebraica de las subidas y caídas de potencial alrededor de una trayectoria cerrada (o lazo cerrado) es cero*.

En forma simbólica puede escribirse como

$$\sum_{\mathcal{C}} V = 0 \quad (\text{Ley del voltaje de Kirchhoff en forma simbólica}) \quad (\text{A4.8})$$

donde Σ representa la suma, \mathcal{C} el lazo cerrado, y V las subidas y caídas de potencial. El término *algebraico* simplemente significa que prestemos atención a los signos que resulten en las ecuaciones cuando sumemos y restemos términos.

La primera pregunta que a menudo surge es, ¿qué dirección debo seguir en torno a la trayectoria cerrada? ¿Debo seguir siempre la dirección de la corriente? Para simplificar las cosas, en este texto siempre trataremos de movernos en el sentido de las manecillas del reloj. Al seleccionar un sentido no tenemos que pensar en cuál sentido sería el más apropiado. Cualquier sentido funcionará en tanto regrese al punto de partida.

Otra pregunta es, ¿cómo aplico un signo a los diversos voltajes cuando prosiga en el sentido de las manecillas del reloj? Para un voltaje en particular asignaremos un signo positivo cuando prosigamos del potencial negativo al positivo, lo cual es una experiencia positiva como cuando nos movemos de una balanza de comprobación negativa a una positiva. El cambio opuesto en el nivel de potencial da por resultado un signo negativo. En la figura A4.26, cuando vamos del punto d al punto a a través de la fuente de voltaje, nos movemos de un potencial negativo (el signo negativo) a un potencial positivo (el signo positivo), por lo que se asigna un signo positivo al voltaje de la fuente E . Cuando proseguimos del punto a al punto b , encontramos un signo positivo seguido de un signo negativo, lo que indica que ha ocurrido una caída de potencial, y se aplica un signo negativo. Continuando de b a c , encontramos otra caída de potencial, por lo que se aplica otro signo negativo. Luego llegamos de vuelta al punto de partida d , y la suma resultante es igual a cero, como lo definió la ecuación (A4.8).

Si escribimos la secuencia con los voltajes y los signos obtenemos lo siguiente:

$$+E - V_1 - V_2 = 0$$

la cual puede escribirse como $E = V_1 + V_2$

El resultado es particularmente interesante porque nos dice que

el voltaje aplicado de un circuito de cd en serie será igual a la suma de las caídas de voltaje del circuito.

La ley del voltaje de Kirchhoff también puede escribirse como sigue:

$$\sum_{\mathcal{C}} V_{\text{subidas}} = \sum_{\mathcal{C}} V_{\text{caídas}} \quad (\text{A4.9})$$

la que revela que

la suma de las subidas de voltaje alrededor de una trayectoria cerrada siempre será igual a la suma de las caídas de voltaje.

Para demostrar que la dirección que tome alrededor del lazo no afecta los resultados, tomemos la trayectoria en sentido contrario a las manecillas del reloj y comparemos los resultados. La secuencia resultante aparece como

$$-E + V_2 + V_1 = 0$$

que da el mismo resultado de $E = V_1 + V_2$

EJEMPLO A4.8 Aplique la ley del voltaje de Kirchhoff para determinar el voltaje desconocido para el circuito de la figura A4.27.

Solución: Cuando aplique la ley del voltaje de Kirchhoff, concéntrese en las polaridades de la subida o caída de voltaje más que en el tipo de elemento. En otras palabras, no considere una caída de voltaje a través de un elemento resistivo de manera diferente a la de una subida de voltaje (o caída) a través de una fuente. Si la polaridad dicta que ha ocurrido una caída, ése es el hecho importante, no si es un elemento resistivo o una fuente.

La aplicación de la ley del voltaje de Kirchhoff al circuito de la figura A4.27 en el sentido de las manecillas del reloj da

$$\begin{aligned}
 + E_1 - V_1 - V_2 - E_2 &= 0 \\
 \text{y} \quad V_1 &= E_1 - V_2 - E_2 \\
 &= 16 \text{ V} - 4.2 \text{ V} - 9 \text{ V} \\
 \text{por lo tanto} \quad V_1 &= \mathbf{2.8 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

El resultado claramente indica que no tiene que conocer los valores de los resistores o la corriente para determinar el voltaje desconocido. Los otros niveles de voltaje portan suficiente información para determinar el desconocido.

EJEMPLO A4.9 Determine el voltaje desconocido para el circuito de la figura A4.28.

Solución: En este caso el voltaje desconocido no ocurre a través de un único elemento resistivo, sino entre dos puntos arbitrarios en el circuito. Simplemente aplique la ley del voltaje de Kirchhoff alrededor de una trayectoria, incluyendo a la fuente o al resistor R_3 . Para la trayectoria en el sentido de las manecillas del reloj, incluida la fuente, la ecuación resultante es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 +E - V_1 - V_x &= 0 \\
 \text{y} \quad V_x &= E - V_1 = 32 \text{ V} - 12 \text{ V} = \mathbf{20 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

Para la trayectoria en el sentido de las manecillas del reloj, incluyendo al resistor R_3 , se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 +V_x - V_2 - V_3 &= 0 \\
 \text{y} \quad V_x &= V_2 + V_3 \\
 &= 6 \text{ V} + 14 \text{ V} \\
 \text{con} \quad V_x &= \mathbf{20 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

que da exactamente la misma solución.

No se requiere que la trayectoria seguida tenga flujo de carga o corriente. En el ejemplo A4.10, la corriente es cero en cualquier parte, pero la ley del voltaje de Kirchhoff puede seguirse aplicando para determinar el voltaje entre los puntos de interés. Asimismo, habrá situaciones en las que no se dará la polaridad real. En esos casos, simplemente suponga una polaridad. Si la respuesta es negativa, la magnitud del resultado es correcta, pero la polaridad debe invertirse.

EJEMPLO A4.10 Aplicando la ley del voltaje de Kirchhoff, determine los voltajes V_1 y V_2 para la red de la figura A4.29.

Solución: Para la trayectoria 1, partiendo de a en el sentido de las manecillas del reloj,

$$\begin{aligned}
 +25 \text{ V} - V_1 + 15 \text{ V} &= 0 \\
 \text{y} \quad V_1 &= \mathbf{40 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

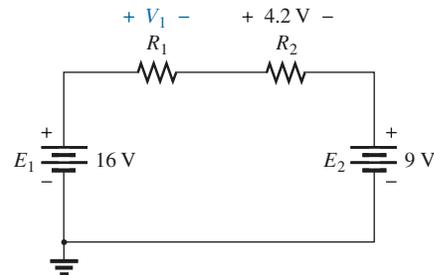


FIG. A4.27
Circuito en serie que se examinará en el ejemplo A4.8.

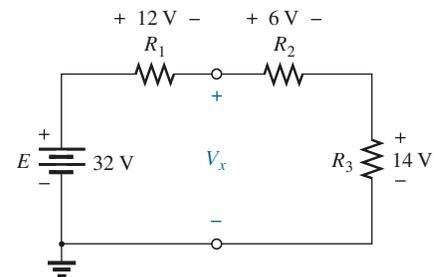


FIG. A4.28
Circuito de cd en serie que se analizará en el ejemplo A4.9.

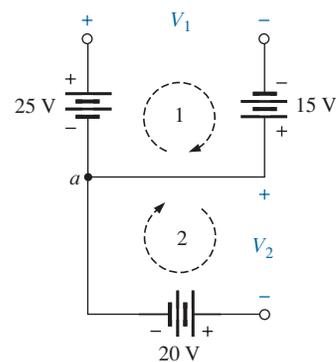


FIG. A4.29
Combinación de fuentes de voltaje que se examinará en el ejemplo A4.10.

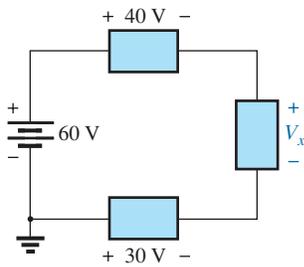


FIG. A4.30

Configuración en serie que se examinará en el ejemplo A4.11

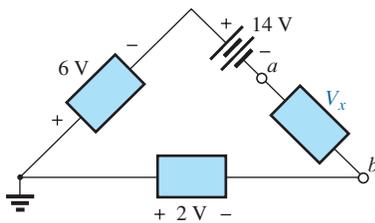


FIG. A4.31

Aplicación de la ley del voltaje de Kirchhoff a un circuito donde no se dieron las polaridades para uno de los voltajes (ejemplo A4.12).

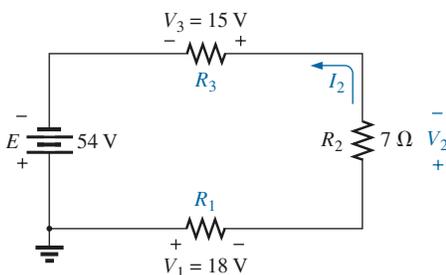


FIG. A4.32

Configuración en serie que se examinará en el ejemplo A4.13.

Para la trayectoria 2, partiendo del punto a en el sentido de las manecillas del reloj,

$$-V_2 - 20\text{ V} = 0$$

y
$$V_2 = -20\text{ V}$$

El signo menos en la solución indica simplemente que las polaridades reales son diferentes de las supuestas.

El ejemplo siguiente demuestra que no tiene que saber qué elementos están dentro de un recipiente al aplicar la ley del voltaje de Kirchhoff. Todos podrían ser fuentes de voltaje o una combinación de fuentes y resistores, lo cual no tiene importancia; simplemente preste atención a las polaridades encontradas.

Trate de determinar las cantidades desconocidas en los siguientes ejemplos sin ver las soluciones. Esto le ayudará a definir dónde podría tener un problema.

El ejemplo A4.11 recalca el hecho de que cuando aplica la ley del voltaje de Kirchhoff, las polaridades de la subida o caída de voltaje son los parámetros importantes, no así el tipo de elemento implicado.

EJEMPLO A4.11 Aplicando la ley del voltaje de Kirchhoff, determine el voltaje desconocido para el circuito de la figura A4.30.

Solución: Observe que en este circuito hay varias polaridades a través de los elementos desconocidos, puesto que pueden contener cualquier combinación de componentes. Aplicando la ley del voltaje de Kirchhoff en el sentido de las manecillas del reloj obtenemos

$$+60\text{ V} - 40\text{ V} - V_x + 30\text{ V} = 0$$

y
$$V_x = 60\text{ V} + 30\text{ V} - 40\text{ V} = 90\text{ V} - 40\text{ V}$$

con
$$V_x = 50\text{ V}$$

EJEMPLO A4.12 Determine el voltaje V_x para el circuito de la figura A4.31. Observe que no se dio la polaridad de V_x .

Solución: Para casos en los que no se incluye la polaridad, simplemente supóngala y aplique la ley del voltaje de Kirchhoff como antes. Si el resultado tiene un signo positivo, la polaridad supuesta era la correcta. Si el resultado tiene un signo menos, la **magnitud es correcta**, pero la polaridad supuesta debe invertirse. En este caso, si suponemos que el punto a es positivo y el punto b es negativo, la aplicación de la ley del voltaje de Kirchhoff en sentido contrario al de las manecillas del reloj da

$$-6\text{ V} - 14\text{ V} - V_x + 2\text{ V} = 0$$

y
$$V_x = -20\text{ V} + 2\text{ V}$$

de modo que
$$V_x = -18\text{ V}$$

Como el resultado es negativo, sabemos que el punto a debe ser negativo y que el punto b debe ser positivo, pero la magnitud de 18 V es correcta.

EJEMPLO A4.13 Para el circuito de la figura A4.32.

- Determine V_2 aplicando la ley del voltaje de Kirchhoff.
- Determine la corriente I_2 .
- Determine R_1 y R_3 .

Soluciones:

a. Al aplicar la ley del voltaje de Kirchhoff en el sentido de las manecillas del reloj y comenzando en la terminal negativa de la fuente tenemos

$$-E + V_3 + V_2 + V_1 = 0$$

y $E = V_1 + V_2 + V_3$ (como se esperaba)

de modo que $V_2 = E - V_1 - V_3 = 54 \text{ V} - 18 \text{ V} - 15 \text{ V}$

y $V_2 = 21 \text{ V}$

b. $I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{21 \text{ V}}{7 \Omega}$
 $I_2 = 3 \text{ A}$

c. $R_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{18 \text{ V}}{3 \text{ A}} = 6 \Omega$

con $R_3 = \frac{V_3}{I_3} = \frac{15 \text{ V}}{3 \text{ A}} = 5 \Omega$

EJEMPLO A4.14 Aplicando la ley del voltaje de Kirchhoff y con los datos de la figura A4.12, compruebe la ecuación (A4.1).

Solución: Aplicando la ley del voltaje de Kirchhoff alrededor de la trayectoria cerrada:

$$E = V_1 + V_2 + V_3$$

Sustituyendo la ley de Ohm:

$$I_f R_T = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3$$

pero $I_f = I_1 = I_2 = I_3$

de modo que $I_f R_T = I_f (R_1 + R_2 + R_3)$

y $R_T = R_1 + R_2 + R_3$

la cual es la ecuación (A4.1)

A4.7 DIVISIÓN DE VOLTAJE EN UN CIRCUITO EN SERIE

La sección anterior demostró que la suma de los voltajes que pasan a través de los resistores de un circuito en serie siempre será igual al voltaje aplicado. No puede ser mayor o menor que ese valor. La siguiente pregunta es, ¿cómo afectará el valor de un resistor al voltaje que pasa a través del resistor? Resulta que

el voltaje que pasa a través de elementos resistivos en serie se dividirá como la magnitud de los niveles de resistencia.

En otras palabras,

en un circuito en serie, cuanto más grande sea la resistencia, mayor será la cantidad del voltaje aplicado que se capturará.

Además,

la relación del voltaje que pasa a través de resistores en serie será la misma que la relación de sus niveles de resistencia.

Todos los enunciados anteriores pueden describirse mejor con algunos ejemplos. En la figura A4.33 se dan todos los voltajes que pasan a través de los elementos resistivos. El resistor de 6Ω más grande, captura la mayor parte del voltaje aplicado; en tanto que el más pequeño, R_3 , captura el mínimo. Además, observe que como el nivel de resistencia de R_1 es seis veces el de R_3 , el voltaje que pasa a través de R_1 es seis veces el que pasa por R_3 .

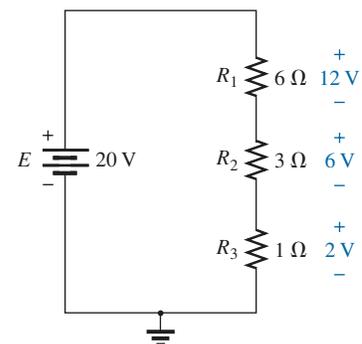


FIG. A4.33

Demostración de cómo se dividirá el voltaje a través de elementos resistivos en serie.

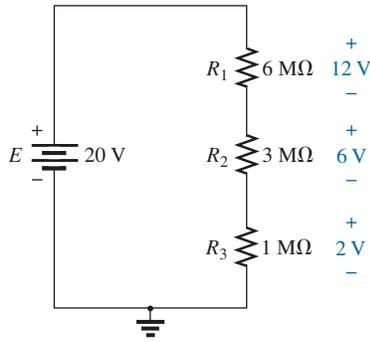


FIG. A4.34

La relación de los valores de resistencia determina la división del voltaje de un circuito de cd en serie.

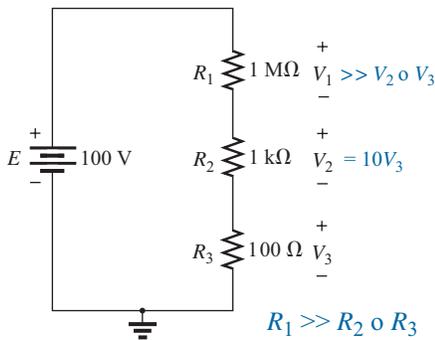


FIG. A4.35

El más grande de los elementos resistivos en serie capturará la mayor parte del voltaje aplicado.

El hecho de que el nivel de resistencia de R_2 sea tres veces el de R_1 da por resultado tres veces el voltaje que pasa a través de R_2 . Por último, como R_1 es dos veces R_2 , el voltaje que pasa a través de R_1 es dos veces el de R_2 . Por consiguiente, el voltaje que pasa a través de resistores en serie tendrá la misma relación que sus niveles de resistencia.

Observe que si los niveles de resistencia de todos los resistores de la figura A4.33 se incrementan en la misma cantidad, como se muestra en la figura A4.34, los niveles de voltaje no cambian. En otras palabras, aun cuando los niveles de resistencia se incrementaran por un factor de 1 millón, las relaciones de voltaje permanecerían iguales. Es claro, por consiguiente, que lo que cuenta es la relación de los valores de los resistores cuando se trata de una división del voltaje, no la magnitud de los resistores. El nivel de corriente de la red se verá seriamente afectado por este cambio en el nivel de resistencia, pero lo que no cambia son los niveles de voltaje.

Con base en lo anterior, deberá quedar claro que la primera vez que encuentre un circuito como el de la figura A4.35, esperará que el voltaje que pase a través del resistor de $1 \text{ M}\Omega$ sea mucho mayor que el del resistor de $1 \text{ k}\Omega$ o que el de 100Ω . Además, basado en el enunciado anterior, el voltaje que pase a través del resistor de $1 \text{ k}\Omega$ será 10 veces más grande que el del resistor de 100Ω puesto que el nivel de resistencia es 10 veces más grande. Desde luego, esperaríamos que quedara muy poco voltaje para el resistor de 100Ω . Observe que en el análisis anterior nunca se mencionó la corriente. Sólo la relación de los niveles de resistencia determina la distribución del voltaje aplicado. Por supuesto, la magnitud de los resistores determinará el nivel de corriente resultante.

Continuando con lo anterior, como $1 \text{ M}\Omega$ es 1000 veces más grande que $1 \text{ k}\Omega$, el voltaje V_1 será 1000 veces más grande que V_2 . Además, el voltaje V_2 será 10 veces más grande que V_3 . Por último, el voltaje que pasa a través del resistor más grande, el de $1 \text{ M}\Omega$ será $(10)(1000) = 10,000$ veces más grande que V_3 .

Ahora veamos algunos detalles. La resistencia total es

$$\begin{aligned} R_T &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 1 \text{ M}\Omega + 1 \text{ k}\Omega + 100 \Omega \\ R_T &= \mathbf{1,001,100 \Omega} \end{aligned}$$

La corriente es

$$I_f = \frac{E}{R_T} = \frac{100 \text{ V}}{1,001,100 \Omega} \cong 99.89 \mu\text{A} \quad (\text{aproximadamente } 100 \mu\text{A})$$

con

$$\begin{aligned} V_1 &= I_1 R_1 = I_f R_1 = (99.89 \mu\text{A})(1 \text{ M}\Omega) = \mathbf{99.89 \text{ V}} \quad (\text{casi los } 100 \text{ V completos}) \\ V_2 &= I_2 R_2 = I_f R_2 = (99.89 \mu\text{A})(1 \text{ k}\Omega) = \mathbf{99.89 \text{ mV}} \quad (\text{alrededor de } 100 \text{ mV}) \\ V_3 &= I_3 R_3 = I_f R_3 = (99.89 \mu\text{A})(100 \Omega) = \mathbf{9.989 \text{ mV}} \quad (\text{alrededor de } 10 \text{ mV}) \end{aligned}$$

Como se explicó antes, la mayor parte del voltaje aplicado pasa a través del resistor de $1 \text{ M}\Omega$. La corriente está en el rango de los microamperes debido principalmente al gran resistor de $1 \text{ M}\Omega$. El voltaje V_2 es casi de 0.1 V , comparado con los casi 100 V para V_1 . El voltaje que pasa a través de R_3 es de sólo alrededor de 10 mV , o 0.010 V .

Antes de realizar cualesquier cálculos tediosos, primero debe examinar los niveles de resistencia de los resistores en serie para darse una idea de cómo se dividirá el voltaje aplicado a través del circuito. Se pondrá de manifiesto, con un mínimo de esfuerzo, lo que debe esperar cuando realice los cálculos (un mecanismo de comprobación). También le permite hablar con seguridad acerca de la respuesta del circuito sin tener que recurrir a los cálculos.

Regla divisora de voltaje

Para que no se tenga que determinar primero la corriente del circuito, la **regla divisora de voltaje (VDR, por sus siglas en inglés)** permite determi-

nar el voltaje que pasa a través de un resistor en serie. La regla misma puede derivarse analizando el sencillo circuito en serie de la figura A4.36.

En primer lugar, determine la resistencia total como sigue:

$$R_T = R_1 + R_2$$

Entonces
$$I_f = I_1 = I_2 = \frac{E}{R_T}$$

Aplique la ley de Ohm a cada resistor:

$$V_1 = I_1 R_1 = \left(\frac{E}{R_T} \right) R_1 = R_1 \frac{E}{R_T}$$

$$V_2 = I_2 R_2 = \left(\frac{E}{R_T} \right) R_2 = R_2 \frac{E}{R_T}$$

El formato resultante para V_1 y V_2 es

$$\boxed{V_x = R_x \frac{E}{R_T}} \quad (\text{regla divisora de voltaje}) \quad (\text{A4.10})$$

donde V_x es el voltaje que pasa a través del resistor R_x , E es el voltaje impreso a través de los elementos en serie, y R_T es la resistencia total del circuito en serie.

La regla divisora de voltaje establece que

el voltaje que pasa a través de un resistor en un circuito en serie es igual al valor de dicho resistor por el voltaje total aplicado dividido entre la resistencia total de la configuración en serie.

Aun cuando la ecuación (A4.10) se derivó utilizando un circuito en serie de sólo dos elementos, puede usarse para circuitos en serie con cualquier número de resistores en serie.

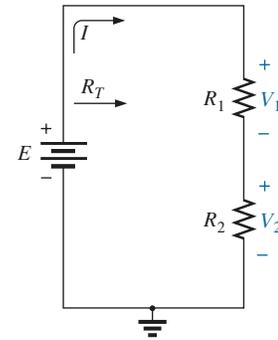


FIG. A4.36
Desarrollo de la regla divisora de voltaje.

EJEMPLO A4.15 Para el circuito en serie de la figura A4.37.

- Sin realizar ningún cálculo, ¿qué tan grande esperarías que fuera el voltaje que pasaría a través de R_2 para compararlo con el de R_1 ?
- Determine el voltaje V_1 aplicando sólo la regla divisora de voltaje.
- Con los datos de la conclusión del inciso (a), determine el voltaje que pasa a través de R_2 .
- Use la regla divisora de voltaje para determinar el voltaje que pasa a través de R_2 , y compare su respuesta con la conclusión a que llegó en el inciso (c).
- ¿Cómo se compara la suma de V_1 y V_2 con el voltaje aplicado?

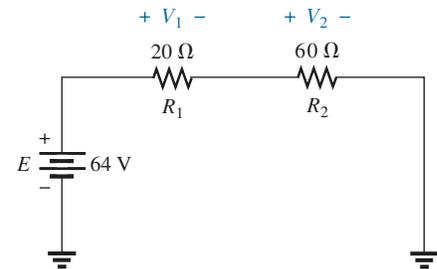


FIG. A4.37
Circuito en serie que se examinará aplicando la regla divisora de voltaje en el ejemplo A4.15.

Soluciones:

- Como el resistor R_2 es tres veces el resistor R_1 , se espera que $V_2 = 3V_1$.
- $$V_1 = R_1 \frac{E}{R_T} = 20 \Omega \left(\frac{64 \text{ V}}{20 \Omega + 60 \Omega} \right) = 20 \Omega \left(\frac{64 \text{ V}}{80 \Omega} \right) = 16 \text{ V}$$
- $$V_2 = 3V_1 = 3(16 \text{ V}) = 48 \text{ V}$$
- $$V_2 = R_2 \frac{E}{R_T} = (60 \Omega) \left(\frac{64 \text{ V}}{80 \Omega} \right) = 48 \text{ V}$$

Los resultados concuerdan con exactitud.
- $$E = V_1 + V_2$$

$$64 \text{ V} = 16 \text{ V} + 48 \text{ V} = 64 \text{ V} \quad (\text{se comprueba})$$

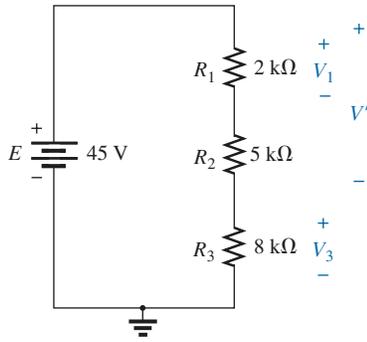


FIG. A4.38

Circuito en serie que se investigará en los ejemplos A4.16 y A4.17.

EJEMPLO A4.16 Aplicando la regla divisora de voltaje, determine los voltajes V_1 y V_3 para el circuito en serie de la figura A4.38.

Solución:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 2 \text{ k}\Omega + 5 \text{ k}\Omega + 8 \text{ k}\Omega = 15 \text{ k}\Omega$$

$$V_1 = R_1 \frac{E}{R_T} = 2 \text{ k}\Omega \left(\frac{45 \text{ V}}{15 \text{ k}\Omega} \right) = 6 \text{ V}$$

y

$$V_3 = R_3 \frac{E}{R_T} = 8 \text{ k}\Omega \left(\frac{45 \text{ V}}{15 \text{ k}\Omega} \right) = 24 \text{ V}$$

La regla divisora de voltaje puede ampliarse al voltaje que pase a través de dos o más elementos en serie si la resistencia en el numerador de la ecuación (A4.10) se expande para incluir la resistencia total de los resistores en serie a través de los cuales se va a determinar el voltaje (R'). Es decir,

$$V' = R' \frac{E}{R_T} \tag{A4.11}$$

EJEMPLO A4.17 Determine el voltaje (indicado por V') que pasa a través de la combinación en serie de los resistores R_1 y R_2 de la figura A4.38.

Solución: Como el voltaje deseado es el que pasa a través de R_1 y R_2 , la suma de R_1 y R_2 se sustituirá como R' en la ecuación (A4.11). El resultado es

$$R' = R_1 + R_2 = 2 \text{ k}\Omega + 5 \text{ k}\Omega = 7 \text{ k}\Omega$$

y

$$V' = R' \frac{E}{R_T} = 7 \text{ k}\Omega \left(\frac{45 \text{ V}}{15 \text{ k}\Omega} \right) = 21 \text{ V}$$

En el ejemplo siguiente se le presenta un problema de la otra clase. Dada la división del voltaje, debe determinar los valores de los resistores requeridos. En la mayoría de los casos, los problemas de esta clase simplemente requieren que sea capaz de utilizar las ecuaciones básicas presentadas hasta ahora en el texto.

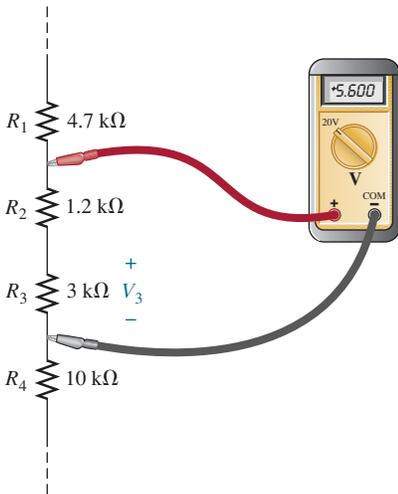


FIG. A4.39

Acción divisora de voltaje para el ejemplo A4.18.

EJEMPLO A4.18 Dada la lectura del voltímetro que aparece en la figura A4.39, determine el voltaje de V_3 .

Solución: Aunque no se muestra el resto de la red y no se ha determinado el nivel de la corriente, la regla divisora de voltaje puede aplicarse utilizando la lectura del voltímetro como el voltaje total que pasa a través de la combinación en serie de resistores. Es decir,

$$V_3 = R_3 \frac{(V_{\text{medidor}})}{R_3 + R_2} = \frac{3 \text{ k}\Omega(5.6 \text{ V})}{3 \text{ k}\Omega + 1.2 \text{ k}\Omega} = 4 \text{ V}$$

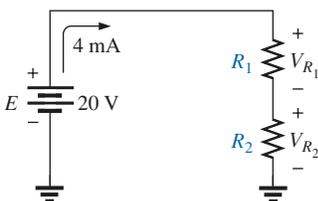


FIG. A4.40

Diseño de un circuito divisor de voltaje (ejemplo A4.19).

EJEMPLO A4.19 Diseñe el circuito divisor de voltaje de la figura A4.40 de modo que el voltaje que pasa a través del resistor R_1 sea cuatro veces el voltaje de R_2 ; es decir, $V_{R_1} = 4V_{R_2}$.

Solución: La resistencia total se define por

$$R_T = R_1 + R_2$$

Sin embargo, si

$$V_{R_1} = 4V_{R_2}$$

entonces

$$R_1 = 4R_2$$

de modo que

$$R_T = R_1 + R_2 = 4R_2 + R_2 = 5R_2$$

Aplicando la ley de Ohm, podemos determinar la resistencia total del circuito:

$$R_T = \frac{E}{I_f} = \frac{20 \text{ V}}{4 \text{ mA}} = 5 \text{ k}\Omega$$

de modo que

$$R_T = 5R_2 = 5 \text{ k}\Omega$$

y

$$R_2 = \frac{5 \text{ k}\Omega}{5} = 1 \text{ k}\Omega$$

Entonces

$$R_1 = 4R_2 = 4(1 \text{ k}\Omega) = 4 \text{ k}\Omega$$

A4.8 INTERCAMBIO DE ELEMENTOS EN SERIE

Los elementos de un circuito en serie pueden intercambiarse sin afectar la resistencia total, la corriente o la potencia para cada elemento. Por ejemplo, la red de la figura A4.41 puede volverse a dibujar como se muestra en la figura A4.42 sin afectar a I o a V_2 . La resistencia total R_T es de 35Ω en ambos casos, e $I = 70 \text{ V}/35 \Omega = 2 \text{ A}$. El voltaje $V_2 = IR_2 = (2 \text{ A})(5 \Omega) = 10 \text{ V}$ para ambas configuraciones.

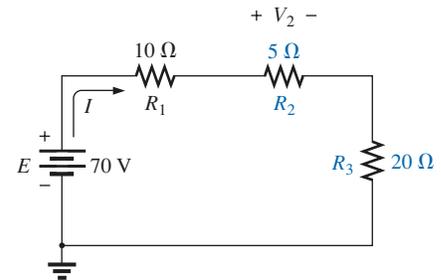


FIG. A4.41

Circuito de cd en serie con elementos que se van a intercambiar.

EJEMPLO A4.20 Determine I y el voltaje que pasa a través del resistor de 7Ω para la red de la figura A4.43.

Solución: En la figura A4.44 se ha dibujado de nuevo la red.

$$R_T = (2)(4 \Omega) + 7 \Omega = 15 \Omega$$

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{37.5 \text{ V}}{15 \Omega} = 2.5 \text{ A}$$

$$V_{7\Omega} = IR = (2.5 \text{ A})(7 \Omega) = 17.5 \text{ V}$$

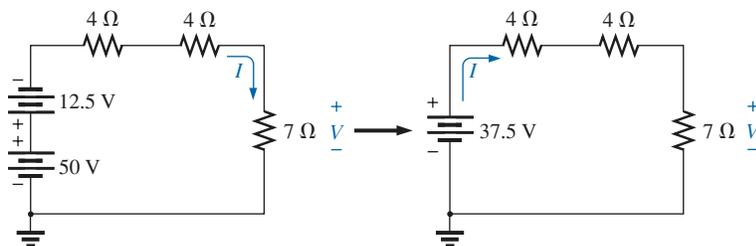


FIG. A4.44

Circuito de la figura A4.43 vuelto a dibujar.

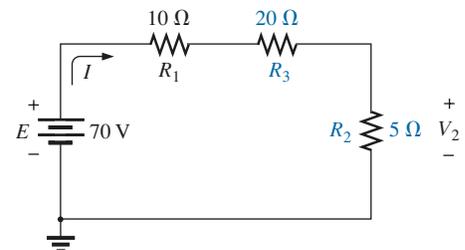


FIG. A4.42

Circuito de la figura A4.41 con R_2 y R_3 intercambiados.

A4.9 NOTACIÓN

La notación desempeña un rol cada vez más importante en el análisis siguiente. Es importante, por consiguiente, que comencemos a examinar la notación que se utiliza en varios rubros de la industria.

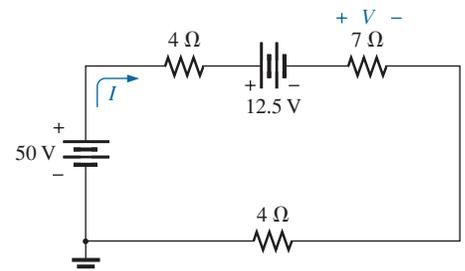


FIG. A4.43

Ejemplo A4.20.



FIG. A4.45
Potencial de tierra.

Fuentes de voltaje y tierra

Con excepción de algunos casos especiales, los sistemas eléctricos y electrónicos se conectan a tierra como referencia y por seguridad. El símbolo de la conexión a tierra aparece en la figura A4.45 con su nivel de potencial definido, que suele ser de cero volts. Un circuito conectado a tierra puede aparecer como se muestra en la figura A4.46(a), o (b), o (c). En cualquier caso, se entiende que la terminal negativa de la batería y el extremo inferior del resistor R_2 están en un potencial de tierra. Aunque la figura A4.56(c) no muestra conexión alguna entre las dos tierras, se considera que tal conexión existe para el flujo continuo de carga. Si $E = 12\text{ V}$, entonces el punto a es 12 V positivo con respecto al potencial de tierra, y existen 12 V a través de la combinación en serie de los resistores R_1 y R_2 . Si se inserta un voltímetro del punto b a tierra, lee 4 V , lo que indica entonces que el voltaje que pasa a través de R_2 es de 4 V , con el potencial más alto en el punto b .

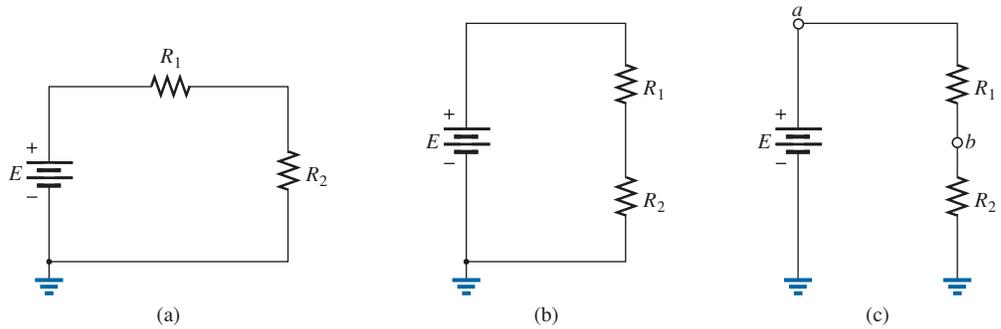


FIG. A4.46

Tres formas de trazar el mismo circuito de cd en serie.

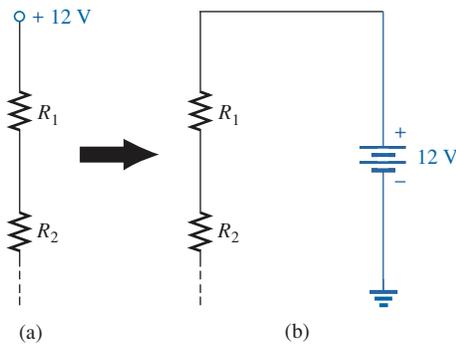


FIG. A4.47

Reemplazo de la notación especial para una fuente de voltaje de cd con el símbolo estándar.

En esquemas grandes donde el espacio es valioso y la claridad es importante, las fuentes de voltaje pueden indicarse como se muestra en las figuras A4.47(a) y A4.48(a) en lugar de como se ilustran en las figuras A4.47(b) y A4.48(b). Además, los niveles de potencial pueden indicarse como en la figura A4.49 para permitir una rápida revisión de los niveles de potencial en varios puntos de una red para asegurarse de que el sistema esté funcionando correctamente.

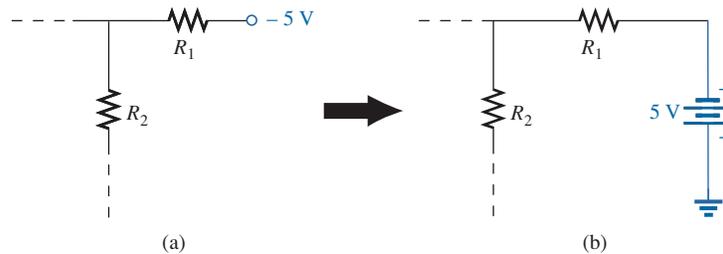


FIG. A4.48

Reemplazo de la notación para una fuente de cd negativa con la notación estándar.

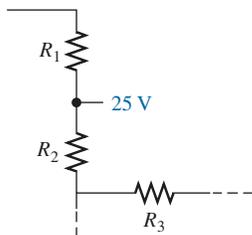


FIG. A4.49

El nivel de voltaje esperado en un punto particular de una red si el sistema está funcionando correctamente.

Notación de doble subíndice

El hecho de que el voltaje sea una variable a *través de* y exista entre dos puntos ha dado por resultado una notación de doble subíndice que define el primer subíndice como el potencial más alto. En la figura A4.50(a), los dos puntos que definen el voltaje que que pasa a través del resistor R están indicados por a y b . Como a es el primer subíndice para V_{ab} , el punto a debe tener un potencial más alto que el punto b si V_{ab} ha de tener un valor posi-

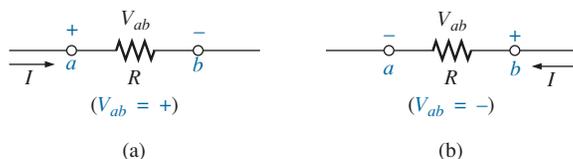


FIG. A4.50

Definición del signo para la notación de doble subíndice.

tivo. Si, de hecho, el punto b está en un potencial más alto que el punto a , V_{ab} tendrá un valor negativo, como se indica en la figura A4.50(b).

En suma:

La notación de doble subíndice V_{ab} especifica el punto a como el potencial más alto. Si éste no es el caso, un signo negativo debe asociarse a la magnitud de V_{ab} .

En otras palabras,

el voltaje V_{ab} es el voltaje en el punto a con respecto al punto b .

Notación de índice sencillo

Si el punto b de la notación V_{ab} se especifica como potencial de tierra (cero volts), entonces puede utilizarse una notación de índice sencillo que dé el voltaje en un punto con respecto a tierra.

En la figura A4.51, V_a es el voltaje del punto a a tierra. En este caso, es obviamente de 10 V puesto que está junto enfrente del voltaje de fuente E . El voltaje V_b es el voltaje del punto b con respecto a tierra. Porque está directamente frente al resistor de 4 Ω , $V_b = 4$ V.

En suma:

La notación de índice sencillo V_a especifica el voltaje en el punto a con respecto a tierra (cero volts). Si el voltaje es menor que cero volts, debe asociarse un signo negativo a la magnitud de V_a .

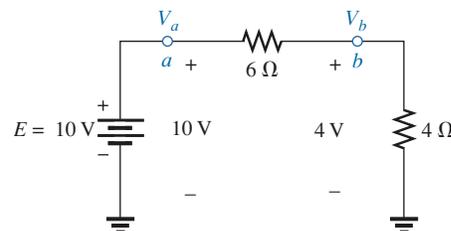


FIG. A4.51

Definición del uso de la notación de índice sencillo para niveles de voltaje.

Comentarios generales

Ahora puede establecerse una relación particularmente útil de extensas aplicaciones en el análisis de circuitos electrónicos. Por lo que se refiere a los estándares notacionales anteriores, existe la siguiente relación:

$$V_{ab} = V_a - V_b \tag{A4.12}$$

En otras palabras, si se conoce el voltaje en los puntos a y b con respecto a tierra, entonces el voltaje V_{ab} puede determinarse con la ecuación (A4.12). En la figura A4.51, por ejemplo,

$$\begin{aligned} V_{ab} &= V_a - V_b = 10 \text{ V} - 4 \text{ V} \\ &= 6 \text{ V} \end{aligned}$$

EJEMPLO A4.21 Determine el voltaje V_{ab} para las condiciones que se muestran en la figura A4.52.

Solución: Aplicando la ecuación (A4.12) obtenemos

$$\begin{aligned} V_{ab} &= V_a - V_b = 16 \text{ V} - 20 \text{ V} \\ &= -4 \text{ V} \end{aligned}$$

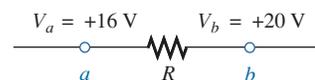


FIG. A4.52
Ejemplo A4.21.

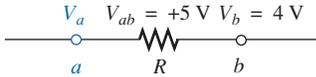


FIG. A4.53
Ejemplo A4.22.

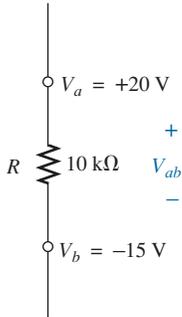


FIG. A4.54
Ejemplo A4.23.

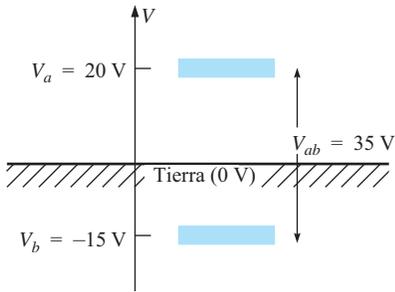


FIG. A4.55

Impacto de los voltajes positivo y negativo en la caída de voltaje total.

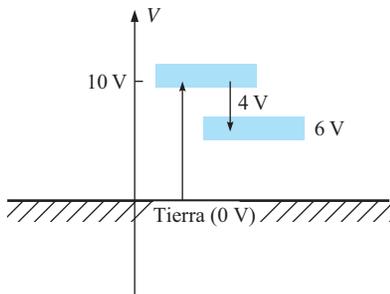


FIG. A4.57

Determinación de V_b por medio de los niveles de voltaje definidos.

Observe el signo negativo para reflejar el hecho de que el punto b está a un potencial más alto que el punto a .

EJEMPLO A4.22 Determine el voltaje V_a para la configuración de la figura A4.53.

Solución: Aplicando la ecuación (A4.12) nos da

$$V_{ab} = V_a - V_b$$

y

$$V_a = V_{ab} + V_b = 5 \text{ V} + 4 \text{ V} = 9 \text{ V}$$

EJEMPLO A4.23 Determine el voltaje V_{ab} para la configuración que aparece en la figura A4.54.

Solución: Aplicando la ecuación (A4.12) obtenemos

$$V_{ab} = V_a - V_b = 20 \text{ V} - (-15 \text{ V}) = 20 \text{ V} + 15 \text{ V} = 35 \text{ V}$$

Observe en el ejemplo A4.23 que debe ser cuidadoso con los signos cuando aplique la ecuación. El voltaje está cayendo desde un nivel alto de +20 V hasta un voltaje negativo de -15 V. Como se muestra en la figura A4.55, esto representa una caída de voltaje de 35 V. En cierto modo es como ir desde un balance positivo de \$20 hasta un balance en el que se deban \$15; el gasto total es de \$35.

EJEMPLO A4.24 Determine los voltajes V_b , V_c , y V_{ac} para la red de la figura A4.56.

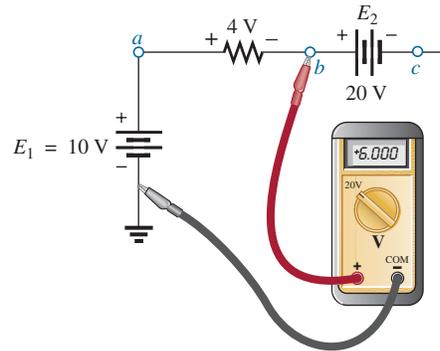


FIG. A4.56

Ejemplo A4.24.

Solución: Partiendo del potencial de tierra (cero volts), continuamos por una subida de 10 V para llegar al punto a y luego pasamos por una caída de potencial de 4 V para llegar al punto b . El resultado es que el medidor lee

$$V_b = +10 \text{ V} - 4 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

como claramente se demuestra en la figura A4.57.

Si luego continuamos hasta el punto c , hay otra caída de 20 V, con el resultado de

$$V_c = V_b - 20 \text{ V} = 6 \text{ V} - 20 \text{ V} = -14 \text{ V}$$

como se muestra en la figura A4.58:

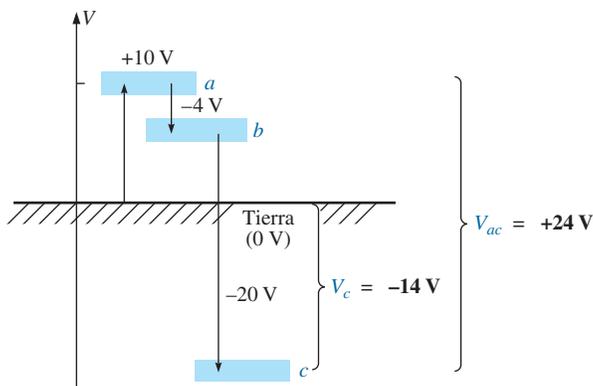


FIG. A4.58

Repaso de los niveles de potencial para el circuito de la figura A4.56.

El voltaje V_{ac} se obtiene utilizando la ecuación (A4.12) o con sólo recurrir a la figura A4.58:

$$V_{ac} = V_a - V_c = 10 \text{ V} - (-14 \text{ V}) = 24 \text{ V}$$

EJEMPLO A4.25 Determine V_{ab} , V_{cb} , y V_c para la red de la figura A4.59.

Solución: Hay dos formas de abordar este problema. La primera es trazar el diagrama en la figura A4.60 y observar que hay una caída de 54 V a través de los resistores R_1 y R_2 . La corriente se determina entonces aplicando la ley de Ohm y los niveles de voltaje como sigue:

$$I = \frac{54 \text{ V}}{45 \Omega} = 1.2 \text{ A}$$

$$V_{ab} = IR_2 = (1.2 \text{ A})(25 \Omega) = 30 \text{ V}$$

$$V_{cb} = -IR_1 = -(1.2 \text{ A})(20 \Omega) = -24 \text{ V}$$

$$V_c = E_1 = -19 \text{ V}$$

La otra forma es volver a dibujar la red como se muestra en la figura A4.61 para establecer con claridad el efecto de ayuda de E_1 y E_2 y luego resolver el circuito en serie resultante:

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_T} = \frac{19 \text{ V} + 35 \text{ V}}{45 \Omega} = \frac{54 \text{ V}}{45 \Omega} = 1.2 \text{ A}$$

y $V_{ab} = 30 \text{ V} \quad V_{cb} = -24 \text{ V} \quad V_c = -19 \text{ V}$

EJEMPLO A4.26 Aplicando la regla divisora de voltaje, determine los voltajes V_1 y V_2 de la figura A4.62.

Solución: Dibujando de nuevo la red con el símbolo estándar de batería se obtiene la red de la figura A4.63. Aplicando la regla divisora obtenemos

$$V_1 = \frac{R_1 E}{R_1 + R_2} = \frac{(4 \Omega)(24 \text{ V})}{4 \Omega + 2 \Omega} = 16 \text{ V}$$

$$V_2 = \frac{R_2 E}{R_1 + R_2} = \frac{(2 \Omega)(24 \text{ V})}{4 \Omega + 2 \Omega} = 8 \text{ V}$$

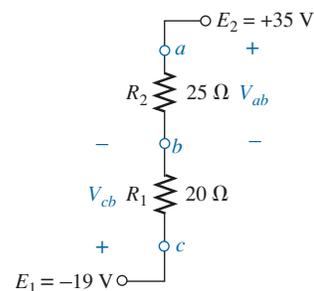


FIG. A4.59
Ejemplo A4.25.

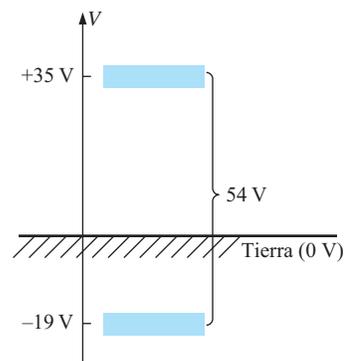


FIG. A4.60

Determinación de la caída de voltaje total a través de los elementos resistivos en la figura A4.59.

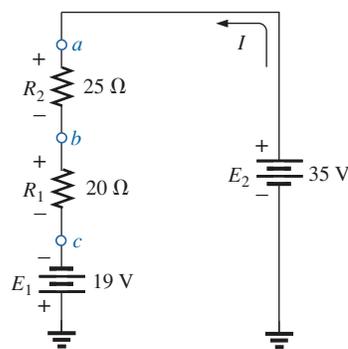


FIG. A4.61

Circuito de la figura A4.59 vuelto a dibujar utilizando símbolos estándar de fuente de voltaje de cd.

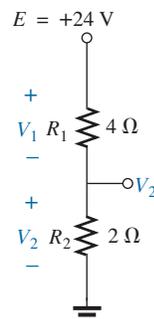


FIG. A4.62
Ejemplo A4.26.

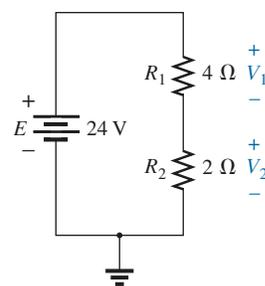


FIG. A4.63
Circuito de la figura A4.62 vuelto a dibujar.

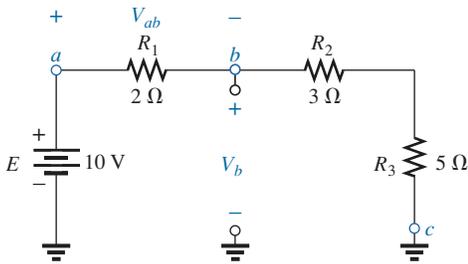


FIG. A4.64
Ejemplo A4.27.

EJEMPLO A4.27 Para la red de la figura A4.64.

- Calcule V_{ab} .
- Determine V_b .
- Calcule V_c .

Soluciones:

- Regla divisora de voltaje:

$$V_{ab} = \frac{R_1 E}{R_T} = \frac{(2 \Omega)(10 \text{ V})}{2 \Omega + 3 \Omega + 5 \Omega} = +2 \text{ V}$$

- Regla divisora de voltaje:

$$V_b = V_{R_2} + V_{R_3} = \frac{(R_2 + R_3)E}{R_T} = \frac{(3 \Omega + 5 \Omega)(10 \text{ V})}{10 \Omega} = 8 \text{ V}$$

o bien $V_b = V_a - V_{ab} = E - V_{ab} = 10 \text{ V} - 2 \text{ V} = 8 \text{ V}$

- $V_c =$ potencial de tierra = 0 V

A4.10 REGULACIÓN DE VOLTAJE Y LA RESISTENCIA INTERNA DE FUENTES DE VOLTAJE

Cuando utiliza una fuente de cd como el generador, batería o fuente que se muestran en la figura A4.65, supone en principio que le proporcionará el voltaje deseado con cualquier carga resistiva conectada a la fuente. En otras palabras, si la batería es de 1.5 V o la fuente se ajusta a 20 V, supone que proporcionará ese voltaje independientemente de la carga que pueda aplicar. Por desgracia, éste no siempre es el caso. Por ejemplo, si aplicamos un resistor de 1 kΩ a una fuente de laboratorio de cd, es muy fácil ajustar el voltaje a través del resistor a 20 V. Sin embargo, si quitamos el resistor de 1 kΩ y lo reemplazamos con un resistor de 100 Ω y no tocamos los controles de la fuente en absoluto, veremos que el voltaje decae a 19.14 V. Si ahora la carga aplicada es un resistor de 68 Ω, el voltaje terminal decae a 18.72 V. Descubrimos que la carga aplicada afecta al voltaje terminal de la fuente. De hecho, este ejemplo señala que

una red siempre debe estar conectada a una fuente antes de que se ajuste el voltaje de suministro.

La razón por la que el voltaje terminal decae con los cambios de la carga (demanda de corriente) es que

toda fuente práctica (del mundo real) tiene una resistencia interna en serie con la fuente de voltaje idealizada.

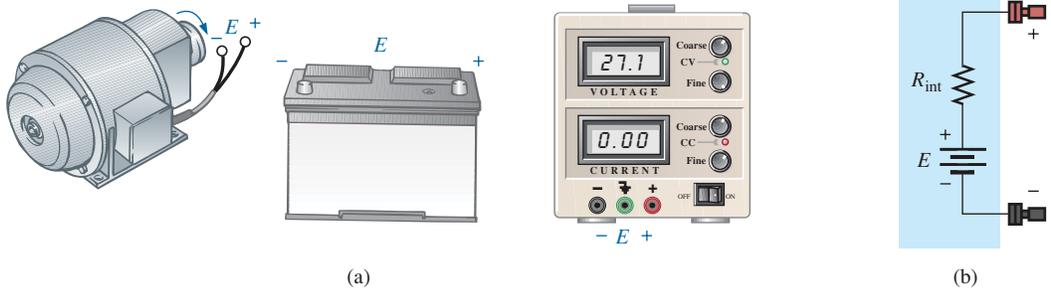


FIG. A4.65

(a) Fuentes de voltaje de cd; (b) circuito equivalente.

como se muestra en la figura A4.65(b). El nivel de resistencia depende del tipo de fuente, pero siempre está presente. Todos los años salen al mercado nuevas fuentes que son menos sensibles a la carga aplicada, pero aun así queda algo de sensibilidad.

La fuente de la figura A4.66 ayuda a explicar la acción que ocurrió cuando cambiamos el resistor de carga. Debido a la **resistencia interna** de la fuente, la fuente interna ideal debe ajustarse a 20.1 V en la figura A4.66(a) para que aparezcan 20 V a través del resistor de 1 kΩ. La resistencia interna captará 0.1 V del voltaje aplicado. La corriente en el circuito se determina con sólo buscar la carga y aplicar la ley de Ohm; es decir, $I_L = V_L/R_L = 20 \text{ V}/1 \text{ k}\Omega = 20 \text{ mA}$, la cual es una corriente relativamente baja.

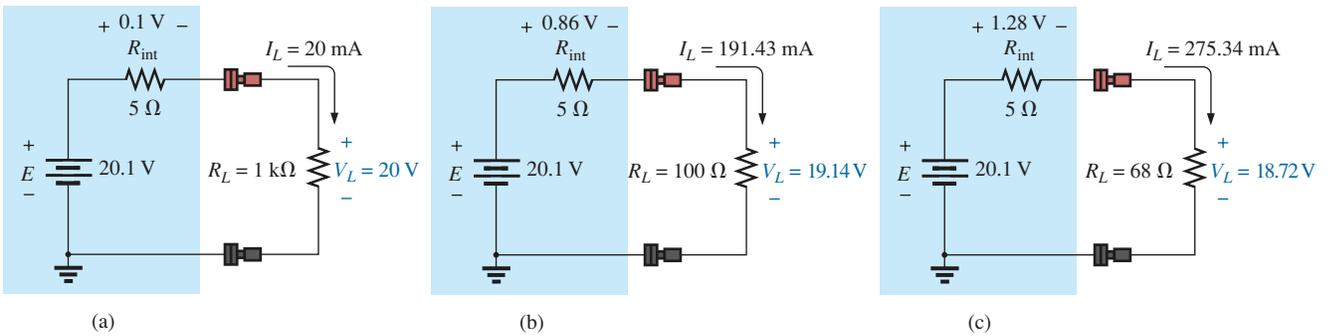


FIG. A4.66

Demostración del efecto de cambiar una carga en el voltaje terminal de una fuente.

En la figura A4.66(b) todos los ajustes de la fuente se dejaron intactos, pero la carga de 1 kΩ se reemplazó con un resistor de 100 Ω. La corriente resultante ahora es $I_L = E/R_T = 20.1 \text{ V}/105 \Omega = 191.43 \text{ mA}$, y el voltaje de salida es $V_L = I_L R = (191.43 \text{ mA})(100 \Omega) = 19.14 \text{ V}$, una caída de 0.86 V. En la figura A4.66(c) se aplica una carga de 68 Ω, y la corriente se incrementa sustancialmente a 275.34 mA con un voltaje terminal de sólo 18.72 V. Ésta es una caída de 1.28 V con respecto al nivel esperado. Es bastante obvio, por consiguiente, que a medida que la corriente extraída de la fuente se incrementa, el voltaje terminal continúa decayendo.

Si trazamos el voltaje terminal contra la demanda de corriente de 0 A a 275.34 mA, obtenemos la curva de la figura A4.67. Curiosamente, la curva resulta ser una recta que continúa decayendo con un incremento en la demanda de corriente. Observe, en particular, que la curva comienza a un nivel de corriente de 0 A.

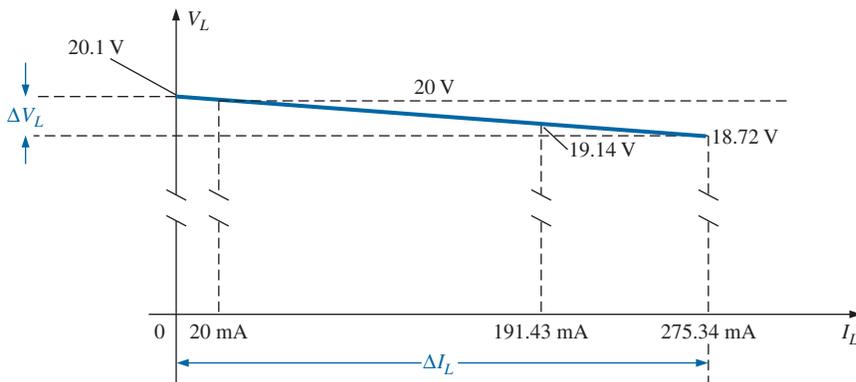


FIG. A4.67

Trazo de V_L contra I_L para la fuente de la figura A4.66.

En condiciones de falta de carga, en que las terminales de salida de la fuente no están conectadas a ninguna carga, la corriente será de 0 A por la ausencia de un circuito completo. El voltaje de salida será el nivel de suministro ideal interno de 20.1 V.

La resistencia interna de la fuente define la pendiente de la línea. Es decir,

$$R_{\text{int}} = \frac{\Delta V_L}{\Delta I_L} \quad (\text{ohms, } \Omega) \quad (\text{A4.13})$$

la que aplicada a la curva de la figura A4.67 da

$$R_{\text{int}} = \frac{\Delta V_L}{\Delta I_L} = \frac{20.1 \text{ V} - 18.72 \text{ V}}{275.34 \text{ mA} - 0 \text{ mA}} = \frac{1.38 \text{ V}}{275.34 \text{ mA}} = 5 \Omega$$

Para fuentes de cualquier clase, la curva de particular importancia es la del voltaje de salida contra la corriente extraída de la fuente, como se muestra en la figura A4.68(a). Observe que el valor máximo se alcanza en condiciones de ausencia de carga (NL, por sus siglas en inglés *no-load*) como lo define la figura A4.68(b) y la descripción anterior. La corriente que la fuente puede suministrar de forma continua define las condiciones de plena carga (FL, por sus siglas en inglés *full-load*), como se muestra en la figura A4.68(c).

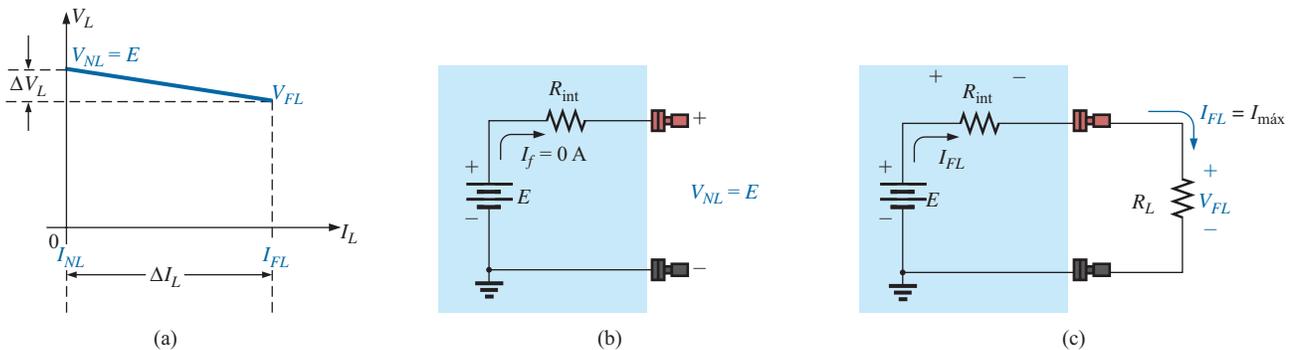


FIG. A4.68

Definición de las propiedades de importancia de una fuente de potencia.

Como una base de comparación, en la figura A4.69 se dan una fuente de potencia ideal y su curva de respuesta. Observe la ausencia de la resistencia interna y el hecho de que la curva sea una línea horizontal (ninguna variación en absoluto con la demanda de carga) lo cual da una curva de res-

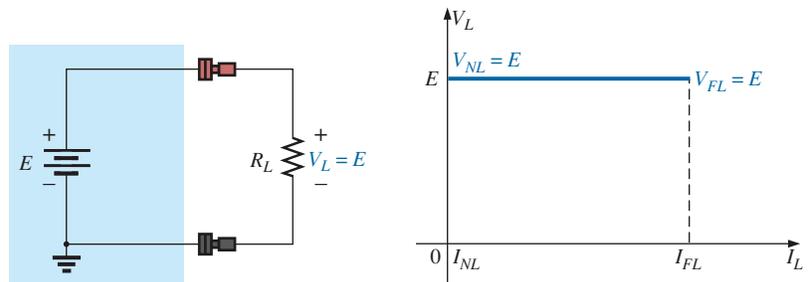


FIG. A4.69

Fuente ideal y sus características terminales.

puesta imposible. Sin embargo, cuando comparamos la curva de la figura A4.69 con la de la figura A4.68(a), nos damos cuenta de que cuanto *más inclinada es la pendiente*, más sensible es la fuente al cambio en la carga y por consiguiente *menos deseable* para muchos procedimientos de laboratorio. De hecho,

cuanto más grande es la resistencia interna, más pronunciada es la caída de voltaje con un incremento en la demanda de carga (corriente).

Para ayudarnos a prever la respuesta esperada de una fuente, se estableció una cantidad definitoria llamada **regulación de voltaje** (abreviada VR; por sus siglas en inglés de *voltage regulation*; a menudo llamada *regulación de carga* en hojas de especificaciones). La ecuación básica en función de las cantidades que aparecen en la figura A4.68(a) es la siguiente:

$$VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\% \quad (\text{A4.14})$$

Los ejemplos siguientes demuestran que

cuanto más pequeño sea el voltaje o la regulación de carga de una fuente, menor será el cambio del voltaje terminal con los niveles crecientes de la demanda de corriente.

Para la fuente anterior con un voltaje sin carga de 20.1 V y un voltaje a plena carga de 18.72 V, a 275.34 mA, la regulación de voltaje es

$$VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\% = \frac{20.1 \text{ V} - 18.72 \text{ V}}{18.72 \text{ V}} \times 100\% \cong 7.37\%$$

la cual es bastante alta, lo que indica que la fuente es muy sensible. La mayoría de las fuentes comerciales modernas tienen factores de regulación menores que 1%, con 0.01% como valor muy común.

EJEMPLO A4.28

- Dadas las características mostradas en la figura A4.70, determine la regulación de voltaje de la fuente.
- Determine la resistencia interna de la fuente.
- Trace el circuito equivalente para la fuente.

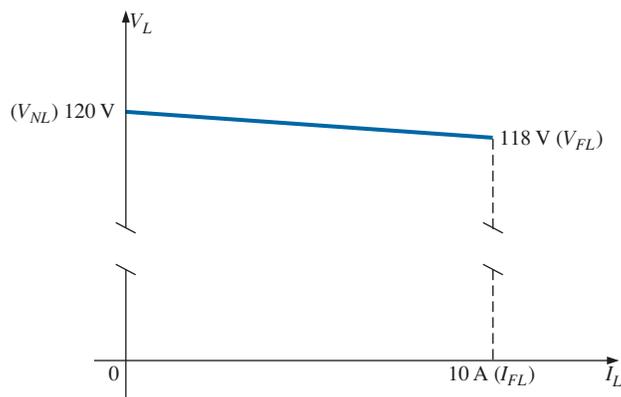


FIG. A4.70

Características terminales para la fuente del ejemplo A4.28.

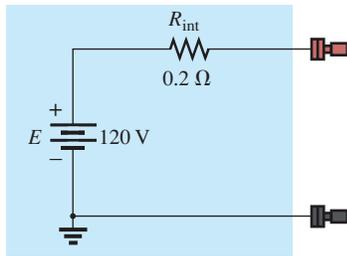


FIG. A4.71

Fuente de cd con las características terminales de la figura A4.70.

Soluciones:

- a.
$$VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

$$= \frac{120 \text{ V} - 118 \text{ V}}{118 \text{ V}} \times 100\% = \frac{2}{118} \times 100\%$$

$$VR \cong 1.7\%$$
- b.
$$R_{\text{int}} = \frac{\Delta V_L}{\Delta I_L} = \frac{120 \text{ V} - 118 \text{ V}}{10 \text{ A} - 0 \text{ A}} = \frac{2 \text{ V}}{10 \text{ A}} = 0.2 \Omega$$
- c. Vea la figura A4.71.

EJEMPLO A4.29 Dada una fuente de 60 V con una regulación de voltaje de 2%:

- Determine el voltaje terminal de la fuente en condiciones de plena carga.
- Si la corriente a media carga es de 5 A, determine la resistencia interna de la fuente.
- Bosqueje la curva del voltaje terminal contra la demanda de carga y el circuito equivalente para la fuente.

Soluciones:

- a.
$$VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

$$2\% = \frac{60 \text{ V} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

$$\frac{2\%}{100\%} = \frac{60 \text{ V} - V_{FL}}{V_{FL}}$$

$$0.02V_{FL} = 60 \text{ V} - V_{FL}$$

$$1.02V_{FL} = 60 \text{ V}$$

$$V_{FL} = \frac{60 \text{ V}}{1.02} = 58.82 \text{ V}$$
- b. $I_{FL} = 10 \text{ A}$
- $$R_{\text{int}} = \frac{\Delta V_L}{\Delta I_L} = \frac{60 \text{ V} - 58.82 \text{ V}}{10 \text{ A} - 0 \text{ A}} = \frac{1.18 \text{ V}}{10 \text{ A}} \cong 0.12 \Omega$$
- c. Vea la figura A4.72.

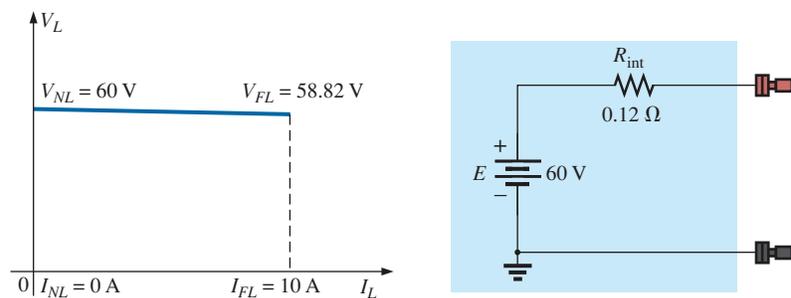


FIG. A4.72

Características y circuito equivalente para la fuente del ejemplo A4.29.

A4.11 EFECTOS DE CARGA DE INSTRUMENTOS

En la sección anterior aprendimos que las fuentes de potencia no son los instrumentos ideales que pudiéramos haber pensado. La carga aplicada puede afectar el voltaje terminal. Por suerte, como las fuentes actuales tienen factores de regulación pequeños, por lo común el cambio en el voltaje terminal con carga puede ser ignorado para la mayoría de las aplicaciones. Si ahora volvemos nuestra atención a los diversos medidores que utilizamos en el laboratorio, de nuevo vemos que no son del todo ideales:

Siempre que se aplica un medidor a un circuito, se modifican el circuito y la respuesta del sistema. Por suerte, para la mayoría de las aplicaciones es válido considerar que los medidores son ideales siempre y cuando se tengan en cuenta ciertos factores.

Por ejemplo,

cualquier amperímetro conectado en un circuito en serie introducirá una resistencia a la combinación en serie que afectará la corriente y los voltajes de la configuración.

La resistencia entre las terminales de un amperímetro se determina con la escala seleccionada del amperímetro. Por lo común,

para amperímetros, cuanto más alto es el valor de la corriente para una escala particular, menor será la resistencia interna.

Por ejemplo, no es común que la resistencia entre las terminales de un amperímetro sea de $250\ \Omega$ en la escala de $2\ \text{mA}$, pero de sólo $1.5\ \Omega$ en la escala de $2\ \text{A}$, como se muestra en las figuras A4.73(a) y (b). Si está analizando un circuito detalladamente, puede incluir la resistencia interna como se muestra en la figura A4.73 como un resistor entre las dos terminales del medidor.

En una primera lectura, los niveles de resistencia leídos a bajas corrientes dan la impresión de que los amperímetros para nada son ideales, y que se deben utilizar sólo para tener una idea general de la corriente, y no debe esperarse que den una lectura verdadera. La ventaja es que cuando usted lee corrientes por debajo de $2\ \text{mA}$, los resistores en serie con el amperímetro por lo general se encuentran en el rango de kilohms. Por ejemplo, en la figura A4.74(a), para un amperímetro ideal, la corriente desplegada es de $0.6\ \text{mA}$ determinada a partir de $I_f = E/R_T = 12\ \text{V}/20\ \text{k}\Omega = 0.6\ \text{mA}$. Si ahora insertamos un medidor con una resistencia interna de $250\ \Omega$ como se muestra en la figura A4.74(b), la re-

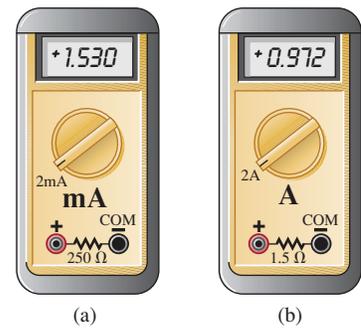


FIG. A4.73 Inclusión de los efectos de la resistencia interna de un amperímetro: (a) escala de $2\ \text{mA}$; (b) escala de $2\ \text{A}$.

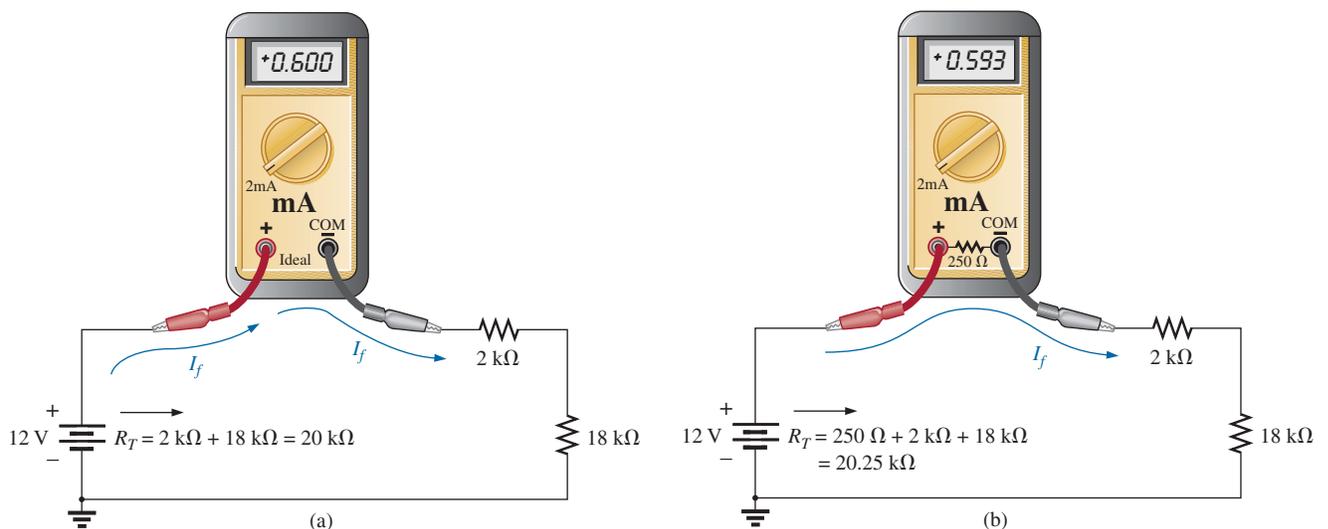


FIG. A4.74

Aplicación de un amperímetro puesto en la escala de $2\ \text{mA}$ a un circuito con resistores en el rango de kilohms; (a) ideal; (b) práctico.

sistencia adicional en el circuito reducirá la corriente a 0.593 mA determinada por $I_f = E/R_T = 12 \text{ V}/20.25 \text{ k}\Omega = 0.593 \text{ mA}$. Ahora, ciertamente la corriente se redujo a partir del nivel ideal, pero la diferencia en los resultados es de sólo aproximadamente 1%, que no es muy importante, y la medición puede usarse en la mayoría de las aplicaciones. Si los resistores en serie estuvieran dentro del mismo rango como los resistores de 250 Ω , el problema sería diferente, y tendríamos que considerar los resultados con cuidado.

Regresemos a la figura A4.20 y determinemos la corriente real si cada medidor en la escala de 2 A tiene una resistencia interna de 1.5 Ω . El que haya cuatro medidores producirá una resistencia adicional de $(4)(1.5 \Omega) = 6 \Omega$ en el circuito, y la corriente será de $I_f = E/R_T = 8.4 \text{ V}/146 \Omega \cong 58 \text{ mA}$, en lugar de 60 mA en condiciones ideales. Este valor sigue siendo bastante cercano y puede ser considerado como una lectura útil. Sin embargo, tenga en cuenta que si la corriente se hubiera medido en el circuito, sólo utilizaríamos un amperímetro, y la corriente sería $I_s = E/R_T = 8.4 \text{ V}/141.5 \Omega \cong 59 \text{ mA}$, la cual ciertamente puede considerarse como 60 mA.

Por consiguiente, tenga en cuenta que esta resistencia interna debe entrar como factor, pero por las razones que acabamos de describir, la mayoría de las lecturas pueden usarse como una excelente primera aproximación a la corriente real.

Conviene mencionar que debido a este *problema de inserción* con los amperímetros, y al muy importante hecho de que para medir una corriente *hay que perturbar al circuito*, los amperímetros no se utilizan tanto como podría pensarse en un principio. En lugar de interrumpir un circuito para insertar un medidor, a menudo se mide el voltaje a través de un resistor y luego se calcula la corriente aplicando la ley de Ohm. De este modo no tenemos que preocuparnos por el nivel de la resistencia del medidor y de tener que perturbar el circuito. Otra opción es utilizar los amperímetros tipo mordaza (o de gancho) que se presentan en el anexo 2, y de este modo nos olvidamos de las pérdidas por la inserción, así como de perturbar el circuito. Por supuesto para muchas aplicaciones prácticas (como en fuentes de potencia), es conveniente tener un amperímetro instalado de manera permanente de modo que la corriente pueda leerse de inmediato en la pantalla. En esos casos, sin embargo, el diseño permite compensar las pérdidas por inserción.

Por último, tenga en cuenta que la inserción de un amperímetro agregará resistencia al ramal y afectará los niveles de corriente y voltaje. Sin embargo, en la mayoría de los casos el efecto es mínimo, y la lectura dará una buena aproximación al nivel real.

El efecto de carga de los voltímetros se analiza detenidamente en el siguiente anexo porque la carga que produce no es un efecto en serie. Sin embargo, los resultados serán semejantes en muchos aspectos a los del amperímetro, pero la diferencia importante es que el circuito no tiene que ser perturbado para aplicar el medidor.

A4.12 TARJETAS PROTOTIPO (TARJETAS DE PRUEBAS O PROTOBOARD)

En algún punto del diseño de cualquier sistema eléctrico/electrónico, debe construirse y probarse un prototipo. Una de las formas más efectivas de construir un modelo de prueba es utilizar la **tarjeta prototipo** (más comúnmente conocida antes como **tarjeta de pruebas**) que se muestra en la figura A4.75. Permite una conexión directa de la fuente de potencia y es un método conveniente de sujetar y conectar los componentes. Hay mucho que aprender sobre la tarjeta prototipo, pero es importante señalar algunas de sus características, entre ellas la forma en que se suelen conectar los elementos.

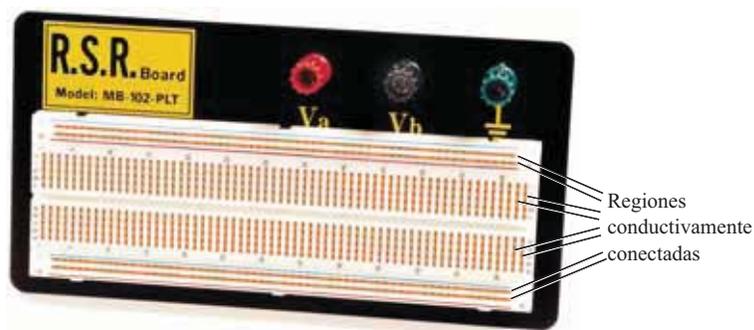


FIG. A4.75

Tarjeta prototipo con áreas de conductividad definidas por dos métodos diferentes.

La terminal V_a (de color rojo en el modelo) está conectada directamente a la terminal positiva de la fuente de potencia de cd con la terminal V_b (negra) conectada a la terminal negativa y la terminal utilizada para la conexión a tierra (verde). Debajo del patrón de orificios, hay tiras de cobre horizontales continuas bajo las filas superior e inferior, como se muestra por medio de las bandas de cobre en la figura A4.75. En la región central, las tiras conductivas son verticales pero no se extienden más allá de la profunda muesca que va de lado a lado a lo largo de la tarjeta. Es todo lo que hay allí, aunque se requerirá un poco de práctica para aprovechar al máximo los patrones de conductividad.

Como un ejemplo, la red de la figura A4.12 está conectada en la tarjeta prototipo de la figura A4.76 siguiendo *dos métodos diferentes*. Después de que se conecta la fuente de potencia de cd, se conecta un conductor de la terminal positiva (de color rojo) a la tira conductiva superior marcada “+.” Tenga presente que ahora toda la tira está conectada a la terminal positiva de la fuente. La terminal negativa está conectada a la tira inferior marcada con un signo menos (-), así que pueden leerse 8.4 V en cualquier punto entre la tira superior positiva y la tira inferior negativa. La terminal negativa de la batería se conectó a tierra en el sitio de las tres terminales. Para conveniencia del usuario, hay conjuntos disponibles en los cuales los cables están codificados por color. De lo contrario, se corta un cable calibre 24 a la medida y

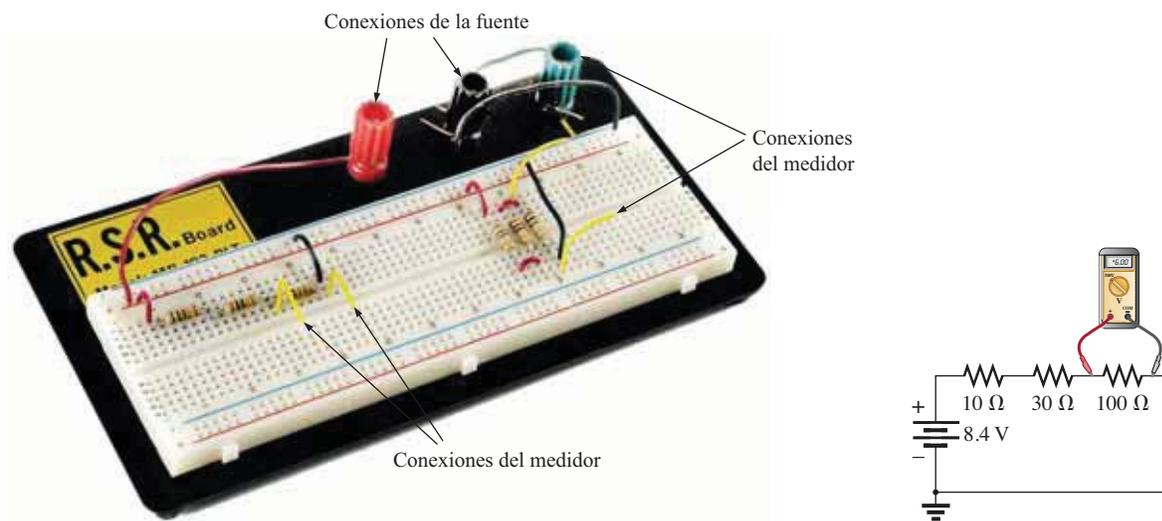


FIG. A4.76

Dos configuraciones para la red de la figura A4.12 en una tarjeta prototipo con alambres (amarillos en el modelo real) agregados a cada configuración para medir el voltaje V_3 con un voltímetro.

se pelan los extremos. No se preocupe si corta los alambres un poco más largos de lo necesario, no todo tiene que estar a la medida exacta. En la mayoría de las tarjetas prototipo, los resistores de 0.25 a 1 W se insertan muy bien en la tarjeta. Por claridad, en la figura A4.76 se utilizan resistores de 0.5 W. El voltaje a través de cualquier componente puede leerse con facilidad insertando alambres adicionales como se muestra en la figura (terminales amarillos) para el voltaje V_3 de cada configuración (los cables amarillos) y conectando el medidor. Para cualquier red, los componentes pueden conectarse de varias maneras. Observe en la configuración del lado derecho que la abertura horizontal a través del centro de la tarjeta se utilizó para aislar las dos terminales de cada resistor. Aun cuando no hay estándares establecidos, es importante que la configuración la *pueda entender fácilmente* alguien más.

Configuraciones adicionales que utilizan la tarjeta prototipo aparecen en los anexos y capítulos siguientes para que se acostumbre a la forma de utilizarla con más efectividad. Quizá vea la tarjeta prototipo con alguna frecuencia en sus sesiones de laboratorio o en un entorno industrial.

A4.13 APLICACIONES

Antes de repasar algunas aplicaciones, tenemos que considerar algunas características generales de la configuración en serie que siempre deberá tener en cuenta cuando diseñe un sistema. La primera, y probablemente la más importante, es que

si un elemento de una combinación de elementos en serie falla, anulará la respuesta de todos los elementos en serie. Si se abre un circuito, la corriente será cero. Si ocurre un cortocircuito, el voltaje aumentará a través de los demás elementos, y la magnitud de la corriente se incrementará.

La segunda, y algo que siempre deberá tener presente, es que

para el mismo voltaje de fuente, cuantos más elementos coloque en serie menor será la corriente y menor el voltaje que pasará a través de todos los elementos de la combinación en serie.

La última, y un resultado que se analiza a fondo en este anexo, es que

la corriente es la misma para cada elemento de una combinación en serie, pero el voltaje que pasa a través de cada elemento es una función de su resistencia terminal.

Existen otras características de importancia que aprenderá cuando investigue posibles áreas de investigación, pero las anteriores son las más importantes.

Control en serie

Un uso común de la configuración en serie es disponer de un sistema que garantice que todo está en su lugar cuando se aplique toda la potencia. En la figura A4.77, varios mecanismos sensores pueden vincularse a interruptores en serie para evitar que llegue potencia a la carga antes de que todos los interruptores estén en la posición de cerrado o de encendido. Por ejemplo, como se muestra en la figura A4.77, un componente puede probar el medio ambiente en busca de peligros como gases, altas temperaturas, etcétera. El siguiente componente puede ser sensible a las propiedades del sistema que se va a energizar para asegurarse de que todos los componentes estén funcionando. La seguridad es otro factor en la secuencia en serie y, por último,

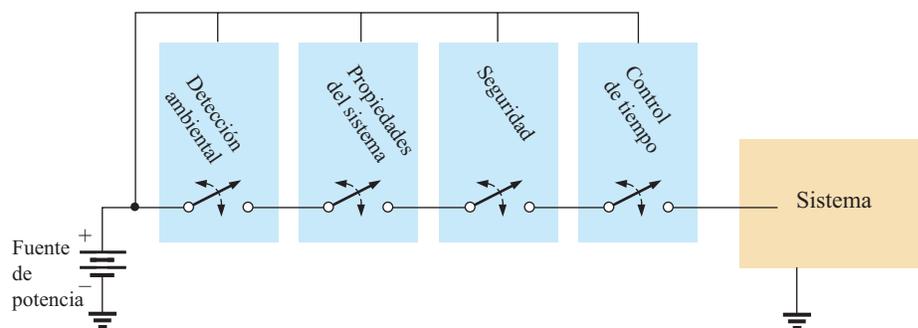


FIG. A4.77
Control en serie en un sistema operativo.

para limitar las horas de operación o para restringir los periodos de funcionamiento puede haber un mecanismo temporizador. La lista es interminable, pero el hecho es que “todos los sistemas deben estar listos” antes de que la potencia llegue al sistema operativo.

Luces navideñas

En los últimos años, las pequeñas luces navideñas destellantes con 50 a 100 focos en una serie se han vuelto muy populares como se ven en la figura A4.78(a). Aunque las luces navideñas pueden conectarse en serie o en paralelo (punto que se describe en el anexo 5), por lo común las series de luces pequeñas destellantes se conectan en serie. Es relativamente fácil determinar si las luces están conectadas en serie. Si un alambre entra y sale del foco, están en serie. Si dos alambres entran y salen, probablemente están en paralelo. De hecho, cuando los focos están conectados en serie, si uno se funde (el filamento se rompe y el circuito se abre) todos los focos se apagan, puesto que la trayectoria de la corriente se interrumpe. Sin embargo, los focos de la figura A4.78(a) están diseñados especialmente, como se muestra en la figura A4.78(b) para que la corriente continúe fluyendo a los demás focos cuando el filamento se funde. En la base de cada foco hay un fusible de cinta enrollado alrededor de los dos postes que sostienen el filamento. Pareciera que el fusible de cinta de un metal conductor blando está tocando los postes verticales, pero en realidad un recubrimiento en los postes o

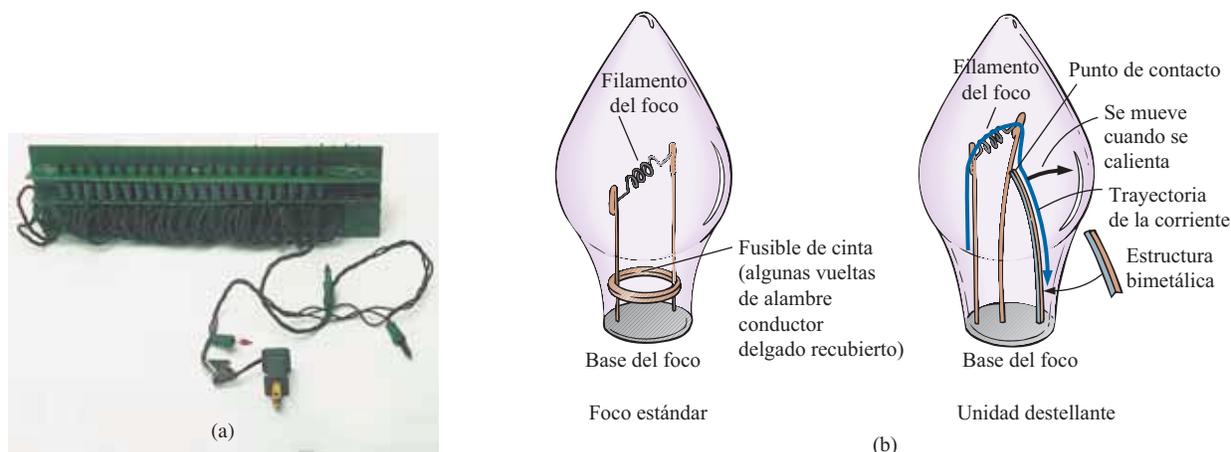
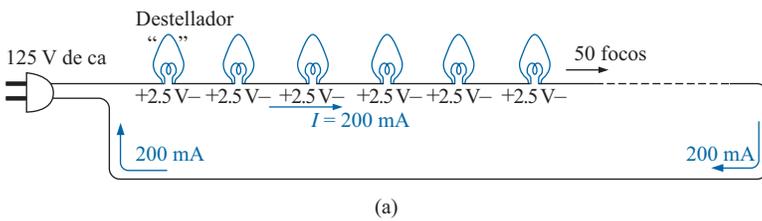


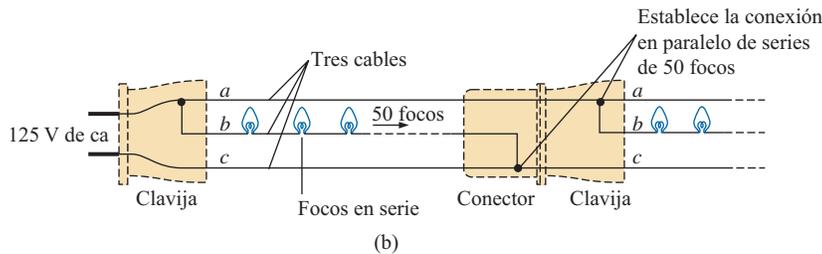
FIG. A4.78
Luces navideñas: (a) serie de 50 focos; (b) construcción de un foco.

fusible de cinta impide la conducción de uno a otro en condiciones normales de funcionamiento. Si el filamento se funde y se abre el circuito entre los postes, la corriente que fluye a través del foco y de los demás focos se interrumpiría si no fuera por el fusible de cinta. En el instante en que se abre un foco, la corriente que fluye a través del circuito es cero, y los 120 V de la toma de corriente aparecen a través del foco defectuoso. Este alto voltaje entre los postes de un solo foco es de una diferencia de potencial suficiente para establecer corriente a través de los recubrimientos aislantes y suelda el fusible de cinta en los dos postes. El circuito de nuevo está completo, y todos los focos encienden, excepto el que tiene el fusible de cinta activado. Tenga en cuenta, sin embargo, que cada vez que un foco se quema, hay más voltaje a través de los demás focos del circuito, lo que hace que brillen más. A fin de cuentas, si se funden demasiados focos, el voltaje alcanza un punto en el que los demás focos se funden en una rápida sucesión. Para evitar esto debe reemplazar los focos fundidos en la primera oportunidad.

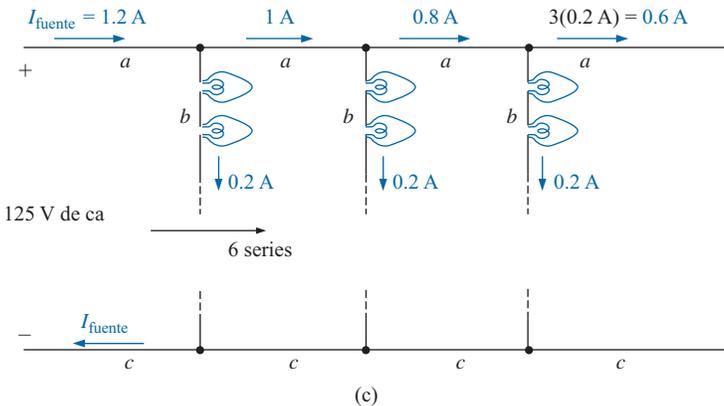
Los focos de la figura A4.78(b) son de 2.5 V con 0.2 A o 200 mA. Como hay 50 focos en serie, el voltaje total a través de los focos será $50 \times 2.5 \text{ V}$ o de 125 V, el cual es igual al voltaje disponible en la toma de corriente doméstica normal. Dado que los focos están en serie, la corriente que fluye a través de cada foco será de 200 mA. Por consiguiente, la capacidad de potencia de cada foco es $P = VI = (2.5 \text{ V})(0.2 \text{ A}) = 0.5 \text{ W}$ con una demanda de potencia total de $50 \times 0.5 \text{ W} = 25 \text{ W}$.



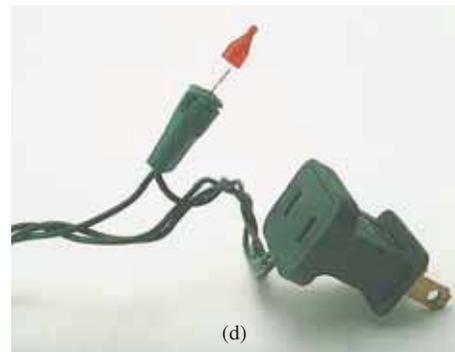
(a)



(b)



(c)



(d)

FIG. A4.79

(a) Diagrama de cableado de una serie; (b) disposición del cableado especial; (c) esquema vuelto a dibujar, y (d) unidad de clavija y destellador especiales.

En la figura A4.79(a) se da una representación esquemática para la serie de la figura A4.78(a). Observe que se requiere sólo un destellador. Como los focos están en serie, cuando el destellador interrumpe el flujo de corriente, apaga todos los focos. Como se muestra en la figura A4.78(b), el destellador incorpora un interruptor térmico bimetálico que se abre cuando la corriente lo calienta a un nivel preestablecido. En cuanto se abre, comienza a enfriarse y se cierra de nuevo para que la corriente regrese a los focos. Si luego se vuelve a calentar, se abre, y el proceso se repite. El resultado es una acción de encendido y apagado que crea el patrón destellante con el que estamos tan familiarizados. Naturalmente, en un clima más frío (por ejemplo, a la intemperie con nieve y hielo), al principio se tarda más en calentar, así que el patrón destellante es lento al principio, pero a medida que los focos se calientan, la frecuencia se incrementa.

El fabricante especifica que no deben conectarse más de seis series juntas. ¿Cómo puede conectar las series juntas, extremo con extremo, sin que se reduzca el voltaje a través de cada foco y se atenúen todas las luces? Si examina con cuidado el cableado, verá que como los focos están conectados en serie, hay un cable hacia cada foco con cables adicionales de clavija a clavija. ¿Por qué necesitan dos cables adicionales si los focos están conectados en serie? Porque cuando cada serie está conectada a otra, en realidad están en una configuración en paralelo (lo que se analizará en el siguiente anexo). Esta configuración de cableado única se muestra en la figura A4.79(b) y se volvió a dibujar en la figura A4.79(c). Observe que la línea superior es la línea activa de todas las series conectadas, y la línea inferior es la línea de regreso, neutra o de tierra de todas las series. Dentro de la clavija de la figura A4.79(d), la línea activa y la de regreso están conectadas a cada serie, con la conexión a las puntas de metal de la clavija como se muestra en la figura A4.79(b). En el anexo siguiente veremos que la corriente tomada del contacto de corriente en la pared para cargas paralelas es la suma de la corriente hacia cada ramal. El resultado, como se muestra en la figura A4.79(c), es que la corriente extraída de la fuente es $6 \times 200 \text{ mA} = 1.2 \text{ A}$, y el voltaje total de las seis series es el producto del voltaje aplicado por la corriente de la fuente o $(120 \text{ V})(1.2 \text{ A}) = 144 \text{ W}$ con $144 \text{ W}/6 = 24 \text{ W}$ por serie.

Horno de microondas

Los circuitos en serie suelen ser muy efectivos en el diseño de equipo de seguridad. Aunque todos reconocemos la utilidad del horno de microondas, puede ser muy peligroso si la puerta no está correctamente cerrada o sellada. No basta con probar el cierre en sólo un punto alrededor de la puerta porque ésta puede estar curvada o distorsionada por el uso continuo, y haber fugas en algún punto lejos del punto de prueba. Una configuración de seguridad común aparece en la figura A4.80. Observe que alrededor de la puerta hay interruptores magnéticos, con el imán en la puerta y el interruptor magnético en el marco principal. Los interruptores magnéticos son simplemente interruptores donde el imán atrae una barra conductora magnética entre dos contactos para completar el circuito, identificado por el símbolo del dispositivo en el diagrama del circuito en la figura A4.80. Como todos los interruptores magnéticos están en serie, todos deben cerrarse para completar el circuito y encender la unidad de potencia. Si la puerta está lo bastante deformada como para impedir que un solo imán se acerque lo suficiente al mecanismo de interrupción, el circuito no se completará y la potencia no podrá activarse. Dentro de la unidad de control de la fuente de poder, el circuito en serie se completa para que funcione o se establece y monitorea una corriente detectora que controla el funcionamiento del sistema.

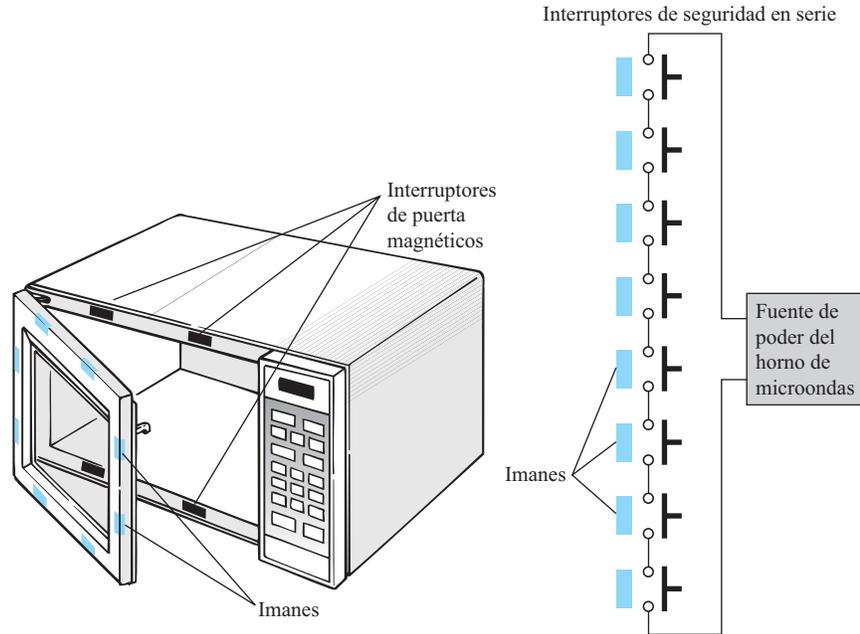


FIG. A4.80

Interruptores de seguridad en serie en un horno de microondas.

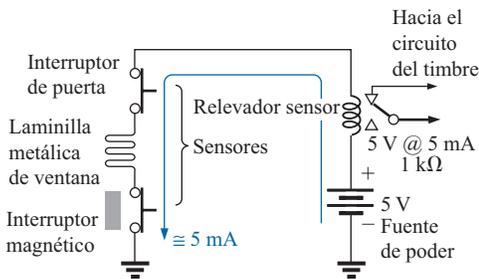


FIG. A4.81

Circuito de alarma en serie.

Circuito de alarma en serie

El circuito que se muestra en la figura A4.81 es un circuito de alarma sencillo. Observe que todos los elementos del diseño están en serie. La fuente de poder es una fuente de potencia de cd de 5 V que puede habilitarse mediante un diseño semejante al de la figura A2.33, o una combinación de una fuente de ca y una de cd que garantice que la batería siempre estará totalmente cargada. Si todos los sensores se cierran, se establece una corriente de 5 mA debido a la carga terminal del relevador de aproximadamente 1 k Ω . La corriente energiza el relevador y mantiene apagada la alarma. Sin embargo, si algunos de los sensores se abren, la corriente se interrumpirá, el relevador se activará, y el circuito de la alarma se energizará. Con cables relativamente cortos y algunos sensores, el sistema debe funcionar bien puesto que la caída de voltaje a través de cada uno es mínima. Sin embargo, como por lo común el cable para el circuito de alarma es relativamente delgado, si el conductor que conecta los sensores es demasiado largo se obtendrá un nivel de resistencia medible, y a través de la línea podría ocurrir una caída de voltaje suficiente y el voltaje que pasa a través del relevador se reduciría a un punto en que la alarma dejaría de funcionar correctamente. Por lo tanto, la longitud del cable es un factor que debe considerarse si se utiliza una configuración en serie. La sensibilidad apropiada ante la longitud de la línea debe acabar con cualquier inquietud sobre su operación. En el capítulo 3 se describe un diseño mejorado.

A4.14 ANÁLISIS CON COMPUTADORA

PSpice

En la sección 1.9, se presentaron el procedimiento básico para crear la carpeta PSpice y la ejecución del programa. Debido a los detalles provistos en esa sección, debemos repasarlos antes de proseguir con este ejemplo. Como

éste es el segundo ejemplo que vamos a resolver con PSpice, se dan algunos detalles, pero no al nivel de la sección 1.9

El circuito que se va a investigar aparece en la figura A4.82. Utilizará la carpeta **PSpice** que se crea en la sección 1.9. Haciendo doble clic en el icono **OrCAD 10.0 DEMO/CAPTURE CIS** se abre la ventana. Se inicia un nuevo proyecto al seleccionar el botón **Create document** en la parte superior izquierda de la pantalla (aparece una página con un asterisco en la esquina superior izquierda). El resultado es el cuadro de diálogo **New Project** donde se tecléa **PSpice 5-1** como el **Nombre**. Ya se seleccionó **Analog or Mixed A/D** y **PSpice** aparece como **Location**. Haga clic en **OK**, y aparece el cuadro de diálogo **Create PSpice Project**. Seleccione la opción **Create a blank project**, haga clic en **OK**, y aparecen las ventanas de trabajo. Sujete el borde izquierdo de la ventana **SCHEMATIC1: PAGE1** para moverla a la derecha, de modo que pueda ver ambas pantallas. Si hace clic en el signo + en la ventana **Project Manager** aparece la secuencia descendente hasta **PAGE1**. Puede cambiar el nombre de **SCHEMATIC1** si lo selecciona haciendo clic con el botón derecho. Seleccione la opción **Rename** en la lista. Teclee **PSpice 5-1** en el cuadro de diálogo **Rename Schematic** En la figura A4.83 se dejó **SCHEMATIC1**.

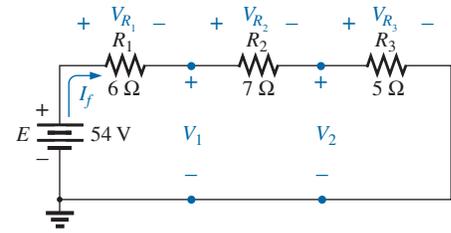


FIG. A4.82

Red de cd en serie que se va a investigar con PSpice.

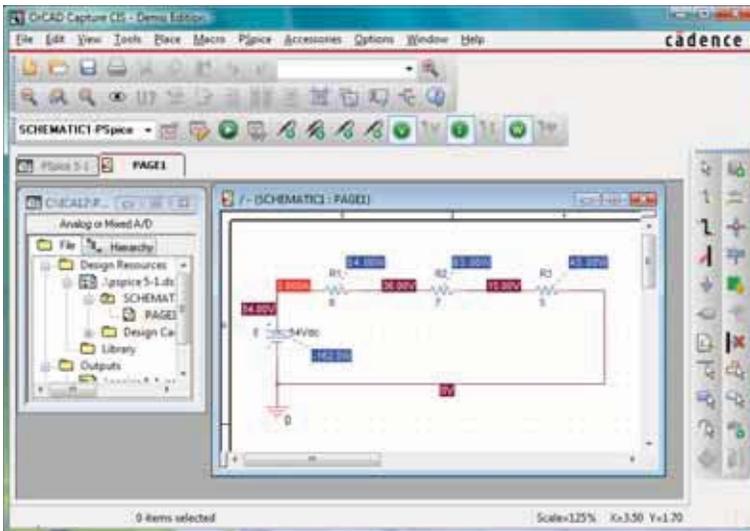


FIG. A4.83

Aplicación de PSpice a un circuito de cd en serie.

El siguiente paso es importante. Si no aparece la barra de herramientas en el lado derecho, haga clic con el botón izquierdo en cualquier parte de la pantalla **SCHEMATIC1:PAGE1** Para comenzar a construir el circuito, seleccione la opción **Place part** para abrir el cuadro de diálogo **Place Part**. Observe que la biblioteca **SOURCE** aparece en la lista **Library** (en el capítulo 1 se indican los pasos a seguir para este efecto). Seleccionando **SOURCE** aparece una lista de fuentes bajo **Part List**, y puede seleccionarse **VDC** Haga clic en **OK**, y el cursor puede colocarlo en su lugar con un solo clic del botón izquierdo. Haga clic con el botón derecho y seleccione **End Mode** para finalizar el proceso, puesto que la red tiene sólo una fuente. Un clic más con el botón izquierdo, y la fuente queda en su lugar. Seleccione de nuevo la opción **Place a Part**, y después la biblioteca **ANALOG** para encontrar el resistor **R**. Una vez seleccionado el resistor, haga clic en **OK** para colocarlo al lado del cursor en la pantalla. Esta vez, como se tienen que colocar tres resistores, no es necesario ir a **End Mode** después de colocarlos; simplemente, haga clic para

colocar uno en su lugar, a continuación el siguiente y luego el tercero. Haga clic con el botón derecho para finalizar el proceso con **End Mode**. Por último, para agregar una **GND** pulse el botón tierra en la barra de herramientas de la derecha y seleccione **0/SOURCE** en el cuadro de diálogo **Place Ground**. Haga clic en **OK** y coloque la tierra como se muestra en la figura A4.83.

Conecte los elementos utilizando el botón **Place a wire** para que aparezca un retículo en la pantalla. Comience en la parte superior de la fuente de voltaje con un clic del botón izquierdo, trace el cable, y haga clic con el botón izquierdo en cada giro de 90° . Cuando un cable esté conectado de un elemento a otro, continúe con la siguiente conexión que se va a hacer; no es necesario ir a **End Mode** entre conexiones. Ahora coloque las etiquetas y valores con un doble clic sobre cada parámetro para obtener el cuadro de diálogo **Display Properties**. Como el cuadro de diálogo aparece con la cantidad de interés en fondo de color azul, teclee en la etiqueta o valor deseado, y después haga clic en **OK**. La red ya está completa y lista para ser analizada.

Antes de realizar la simulación, seleccione **V**, **I** y **W** en la barra de herramientas en la parte superior de la ventana para asegurarse de que los voltajes, corrientes y potencia aparezcan en la pantalla. Para simular, seleccione la tecla **New Simulation Profile** (la cual aparece como una hoja de datos en la segunda barra de herramientas de arriba abajo con un asterisco en la esquina superior izquierda) para obtener el cuadro de diálogo **New Simulation**. Introduzca **Bias Point** para una solución de cd bajo la opción **Name**, y oprima el icono **Create**. Aparece un cuadro de diálogo **Simulation Settings-Bias Point** donde se selecciona **Analysis** y **Bias Point** se halla bajo el encabezado **Analysis type**. Haga clic en **OK**, y luego seleccione la tecla **Run PSpice** (la flecha azul) para iniciar la simulación. Sálgase de la ventana resultante. La pantalla que se despliega (figura A4.83) muestra que la corriente es de 3 A para el circuito con 15 V a través de R_3 , y de 36 V de un punto entre R_1 y R_2 a tierra. El voltaje que pasa a través de R_2 es de $36\text{ V} - 15\text{ V} = 21\text{ V}$, y el voltaje de R_1 es de $54\text{ V} - 36\text{ V} = 18\text{ V}$. También aparece la potencia suministrada o disipada por cada elemento.

Multisim

La construcción de la red de la figura A4.84 con Multisim es simplemente una extensión del procedimiento que se describe en el capítulo 1. El proceso se repite para cada elemento resistivo o medidor. La etiqueta de cada uno se incrementa en 1 a medida que se agregan resistores o medidores. De acuerdo con la descripción dada en el capítulo 1, agregue los medidores antes de conectar los elementos entre sí porque los medidores ocupan espacio y deben quedar orientados correctamente. El amperímetro **XMM1** determina la corriente y los medidores **XMM2** a **XMM5** determinan los voltajes. De particular importancia, observe que

en Multisim los medidores se conectan exactamente como se conectarían en un circuito activo en el laboratorio. Los amperímetros están en serie con el ramal donde se va a determinar la corriente, y los voltímetros se conectan entre los dos puntos de interés (a través de los resistores). Además, para lecturas positivas, los amperímetros se conectan de modo que la corriente convencional entre a la terminal positiva, y los voltímetros se conectan de modo que el punto de potencial más alto quede conectado a la terminal positiva.

Los ajustes del medidor se hacen con un doble clic sobre el símbolo de medidor en el esquema. En cada caso hubo que seleccionar **V** o **I** pero la línea horizontal para un análisis de cd es la misma para cada uno. De nuevo, puede seleccionar el icono **Set** para ver qué controla, pero los valores preestablecidos de los niveles de resistencia de entrada a los medidores son adecuados para los análisis descritos en este texto. Deje los medidores en la

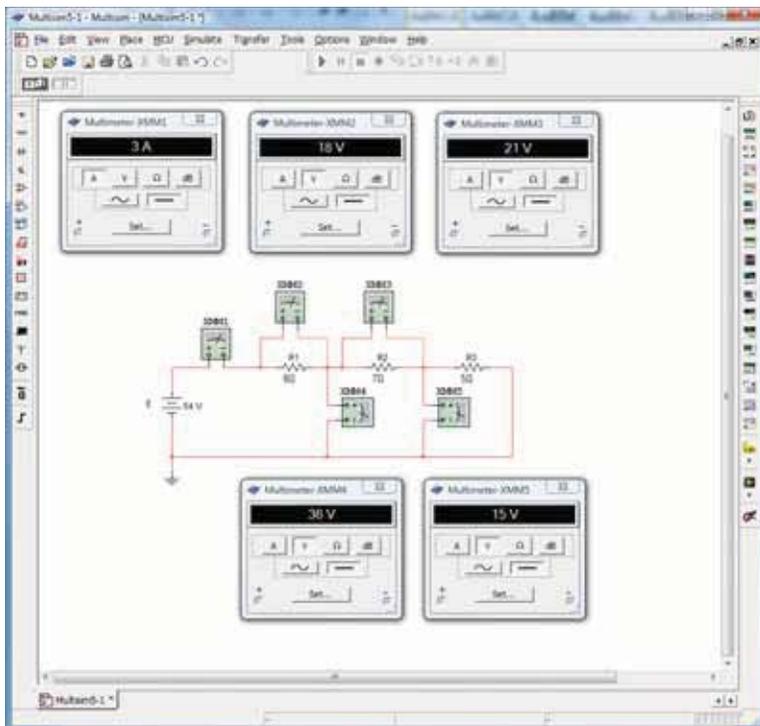


FIG. A4.84

Aplicación de Multisim a un circuito de cd en serie.

pantalla para que aparezcan los diversos voltajes y el nivel de corriente después de la simulación.

En el capítulo 1 se indica que los elementos pueden moverse haciendo clic sobre cada símbolo esquemático para arrastrarlo al lugar deseado. Lo mismo aplica para las etiquetas y valores, que se ajustan haciendo un doble clic sobre la etiqueta o valor para escribir sus preferencias. Haga clic en **OK**, y cambian en el esquema. No tiene que seleccionar antes un botón en especial para conectar los elementos. Simplemente coloque el cursor en el punto de inicio para generar un pequeño círculo y un retículo. Haga clic en el punto de inicio, y siga la trayectoria deseada hasta la siguiente trayectoria de conexión. Cuando llegue al lugar correcto, haga clic de nuevo, y aparece la línea. Todas las líneas de conexiones pueden dar giros de 90°. Sin embargo, no puede seguir una trayectoria diagonal de un punto a otro. Para eliminar cualquier elemento, etiqueta o línea, haga clic en la cantidad para obtener un estado activo de cuatro cuadrados, y seleccione la opción **Delete** o el botón de tijeras en la barra de menús de la parte superior.

En el capítulo 1 se indica que puede iniciar la simulación con la secuencia **Simulate-Run** seleccionando el botón de color verde **Run**, o moviendo el interruptor **Simulate** a la posición **1**.

Observe por los resultados que la suma de los voltajes medidos por XMM2 y XMM4 es igual al voltaje aplicado. Se considera que todos los medidores son ideales, por lo que no hay caída de voltaje a través del amperímetro XMM1. Además, no afectan el valor de la corriente medida por XMM1. Todos los voltímetros tienen en esencia una resistencia infinita interna, en tanto que todos los amperímetros tienen una resistencia interna cero. Desde luego, los medidores pueden ingresarse como todo, excepto los ideales utilizando la opción **Set**. Observe también que la suma de los voltajes medidos por XMM3 y XMM5 es igual a la medida por XMM4, como lo requiere la ley del voltaje de Kirchhoff.

PROBLEMAS

SECCIÓN A4.2 Resistores en serie

- Para cada una de las configuraciones de la figura A4.85, determine los elementos (no una combinación de) individuales (fuentes de voltaje y/o resistores) que están en serie. Si es neces-

sario, aplique el que los elementos en serie tienen la misma corriente. Sólo enliste los que satisfagan las condiciones de una relación en serie. En secciones posteriores aprenderemos más sobre otras combinaciones.

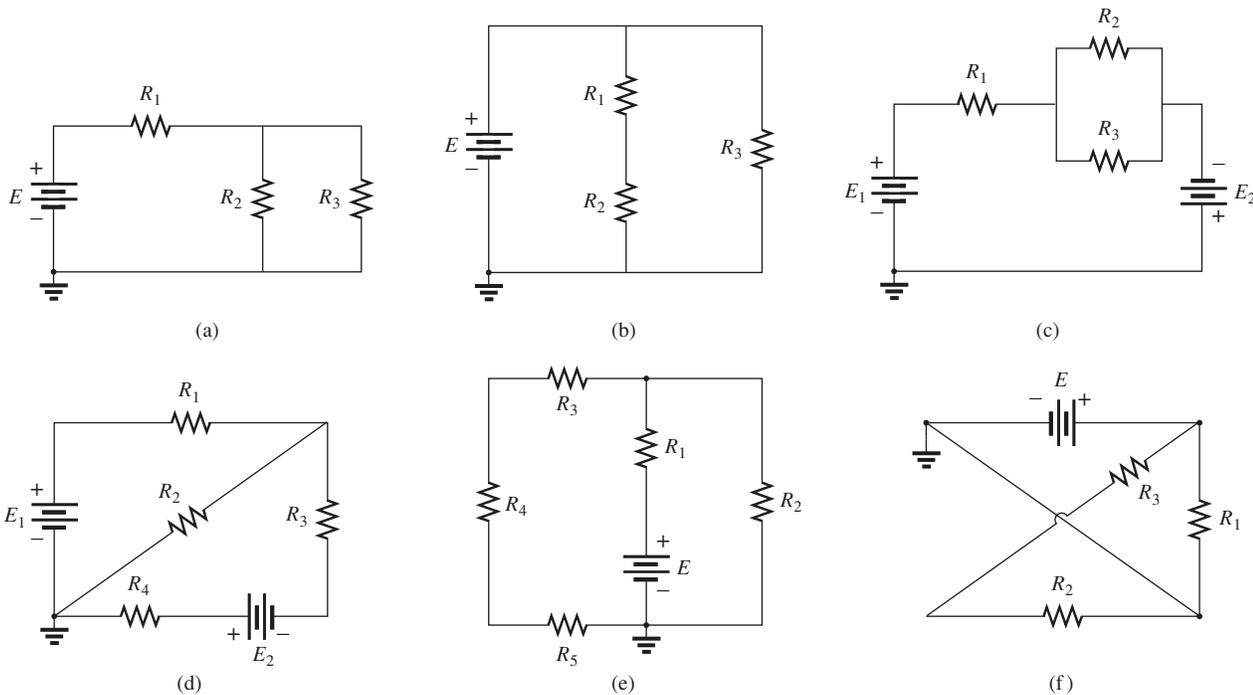


FIG. A4.85
Problema 1.

- Determine la resistencia total R_T de cada una de las configuraciones de la figura A4.86. Observe que se utilizaron sólo valores de resistor estándar.

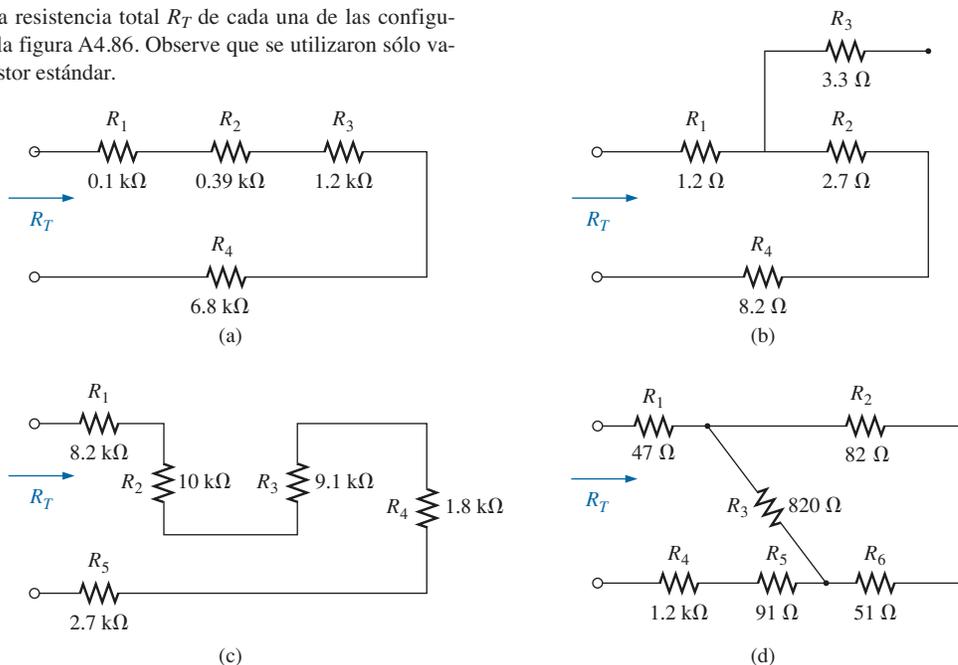


FIG. A4.86
Problema 2.

3. Para cada tarjeta de circuito de la figura A4.87, determine la resistencia total entre las pestañas de conexión 1 y 2.

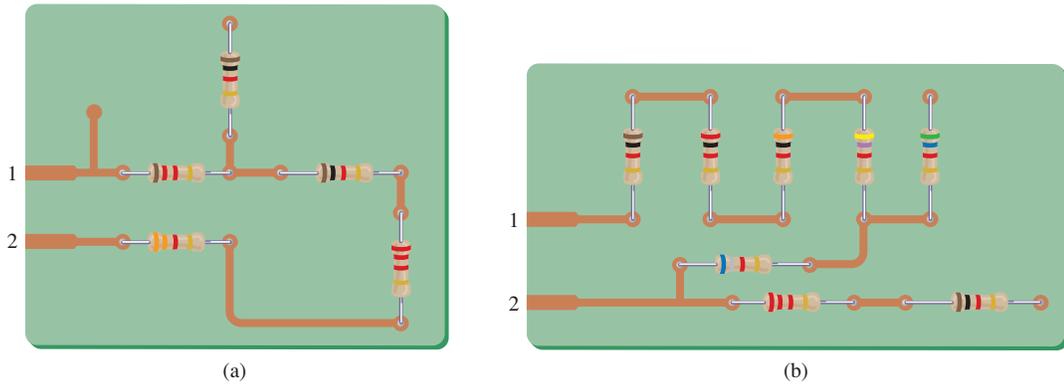


FIG. A4.87
Problema 3.

4. Para el circuito de la figura A4.88, compuesto de valores estándar:
- ¿Cuál resistor tendrá el mayor impacto en la resistencia total?
 - De forma aproximada, ¿cuáles resistores pueden ser ignorados cuando se determina la resistencia total?
 - Determine la resistencia total, y comente sus resultados para los incisos (a) y (b).
5. Para cada una de las configuraciones de la figura A4.89, determine la lectura del óhmetro.
6. Determine la resistencia R , dada la lectura del óhmetro en cada una de las configuraciones de la figura A4.90.

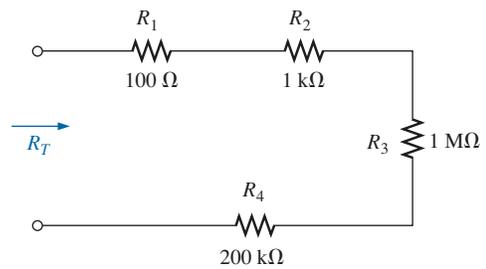


FIG. A4.88
Problema 4.

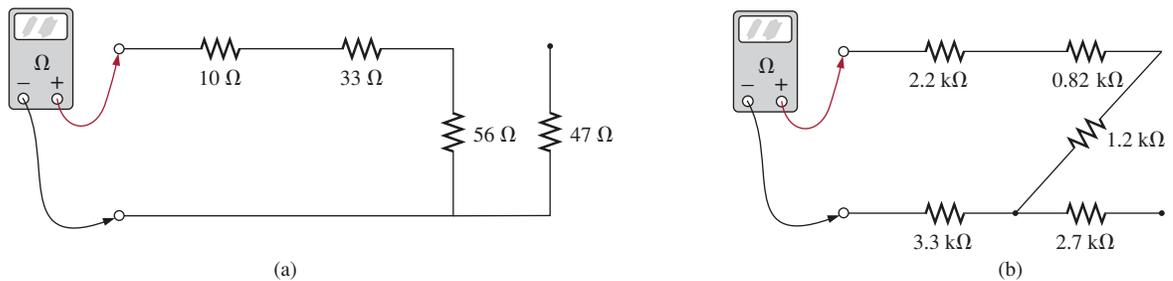


FIG. A4.89
Problema 5.

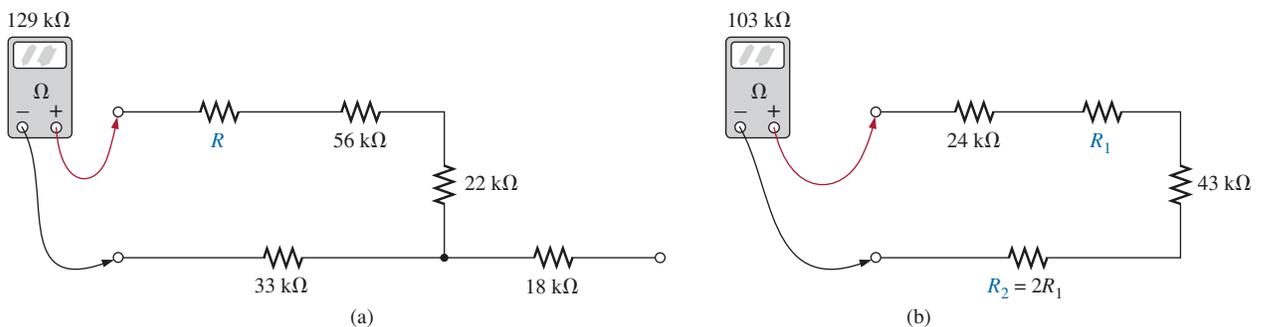


FIG. A4.90
Problema 6.

7. ¿Cuál es la lectura del óhmetro en cada configuración de la figura A4.91?

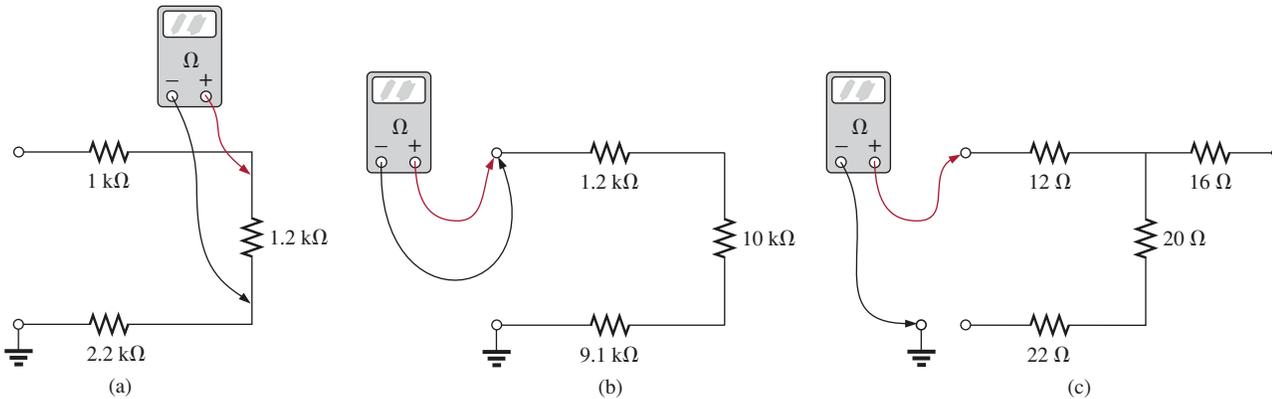


FIG. A4.91
Problema 7.

SECCIÓN A4.3 Circuitos en serie

8. Para la configuración en serie de la figura A4.92, compuesta de valores estándar:
- Determine la resistencia.
 - Calcule la corriente.
 - Determine el voltaje que pasa a través de cada elemento resistivo.
 - Calcule la potencia entregada por la fuente .
 - Determine la potencia suministrada al resistor de 18 Ω.

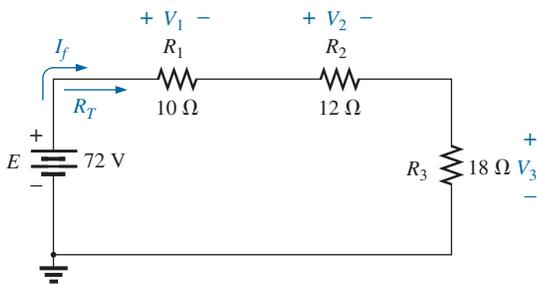


FIG. A4.92
Problema 8.

9. Para la configuración en serie de la figura A4.93, compuesta de resistores de valor estándar:
- Sin hacer un solo cálculo, ¿cuál elemento resistivo tendrá el voltaje máximo a través de él? ¿Cuál tendrá el mínimo?

- ¿Cuál resistor tendrá el mayor impacto en la resistencia total y en la corriente resultante? Determine la resistencia total y la corriente.
- Determine el voltaje que pasa a través de cada elemento, y revise su respuesta al inciso (a).

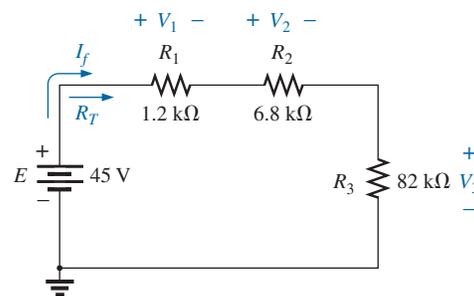


FIG. A4.93
Problema 9.

- Determine el voltaje aplicado necesario para desarrollar la corriente especificada en cada circuito de la figura A4.94.
- Para cada red de la figura A4.95, compuesta de valores estándar, determine:
 - La corriente I .
 - El voltaje de la fuente E .
 - La resistencia desconocida.
 - El voltaje que pasa a través de cada elemento.
- Para cada configuración de la figura A4.96, ¿cuáles son las lecturas del amperímetro y del voltímetro?

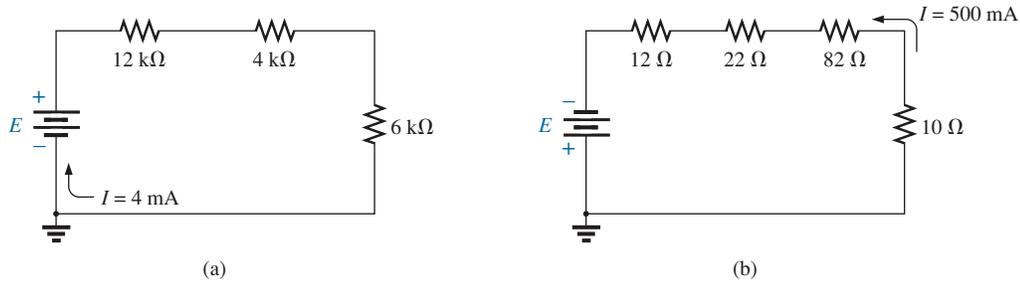


FIG. A4.94
Problema 10.

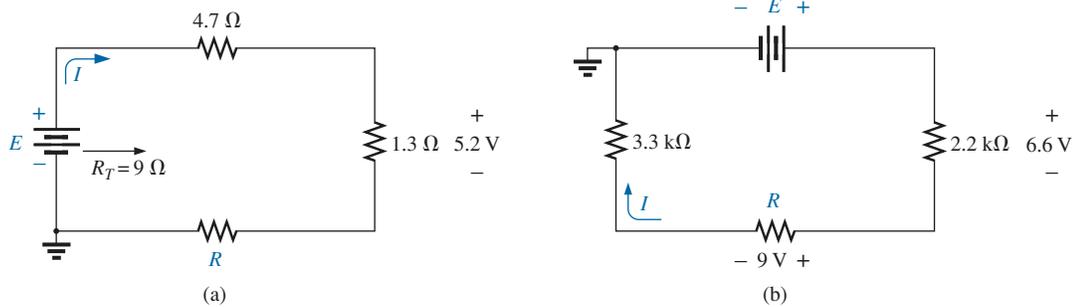


FIG. A4.95
Problema 11.

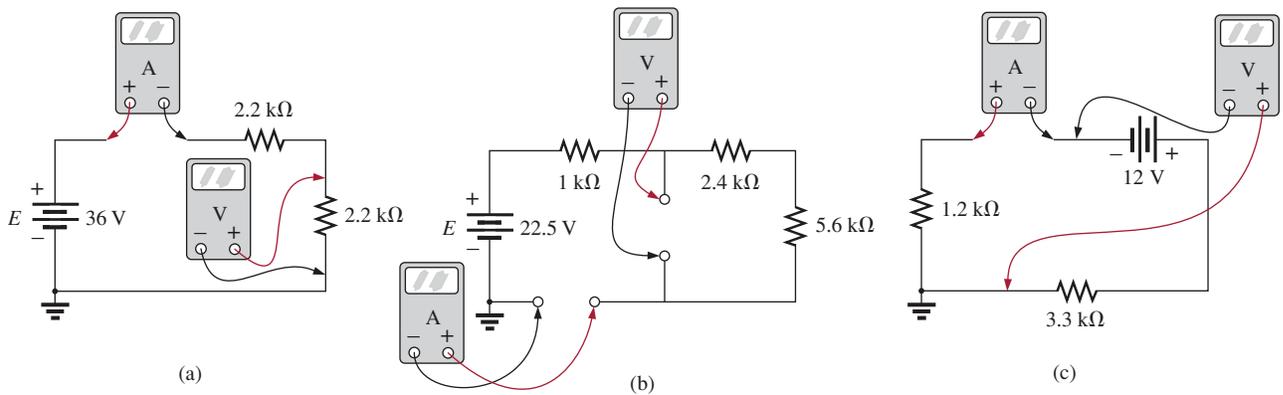


FIG. A4.96
Problema 12.

SECCIÓN A4.4 Distribución de la potencia en un circuito en serie

13. Para el circuito de la figura A4.97, compuesto de resistores de valor estándar:
- Determine la resistencia total, la corriente y el voltaje que pasan a través de cada elemento.
 - Determine la potencia entregada a cada resistor.
 - Calcule la potencia total suministrada a todos los resistores.
 - Determine la potencia suministrada por la fuente.
 - ¿Cómo se compara la potencia que suministra la fuente con la suministrada a todos los resistores?
 - ¿Cuál resistor recibe más potencia? ¿Por qué?
 - ¿Qué le sucedió a toda la potencia suministrada a los resistores?

- h. Si los resistores están disponibles con potencias en watts de 0.5, 1, 2 y 5 W, ¿qué capacidad de potencia mínima en watts puede usarse para cada resistor?

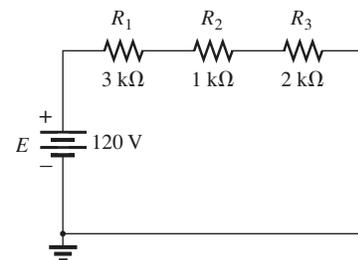


FIG. A4.97
Problema 13.

14. Determine las cantidades desconocidas para el circuito de la figura A4.98 con la información proporcionada.
15. Determine las cantidades desconocidas para el circuito de la figura A4.99 con la información proporcionada.
16. Hay ocho luces navideñas conectadas en serie como se muestra en la figura A4.100.
 - a. Si la serie está conectada a una fuente de 120 V, ¿cuál es la corriente que fluye a través de los focos si cada foco tiene una resistencia interna de $28\frac{1}{2}\ \Omega$?

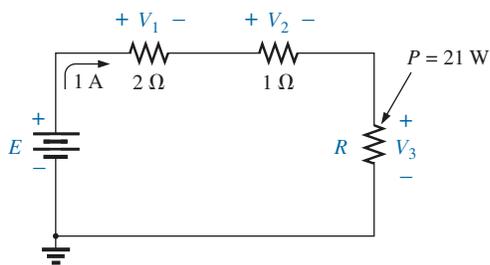


FIG. A4.98
Problema 14.

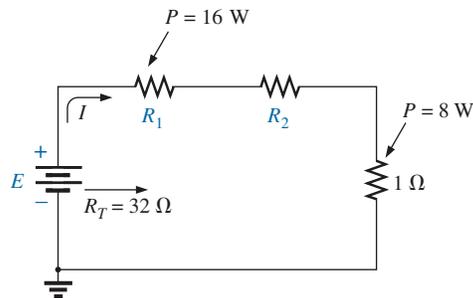


FIG. A4.99
Problema 15.

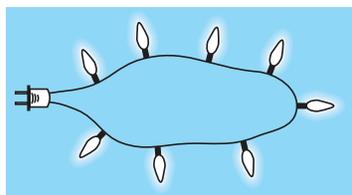


FIG. A4.100
Problema 16.

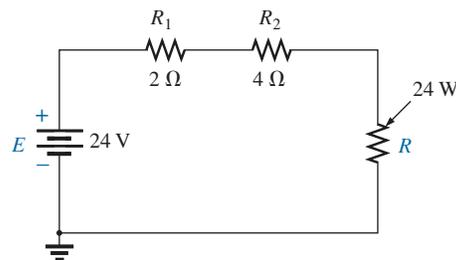


FIG. A4.101
Problema 17.

SECCIÓN A4.5 Fuentes de voltaje en serie

18. Combine las fuentes de voltaje en serie de la figura A4.102 en una sola fuente entre los puntos a y b.

19. Determine la corriente I y su dirección para cada red de la figura A4.103. Antes de resolver I , dibuje de nuevo cada red con una sola fuente de voltaje.

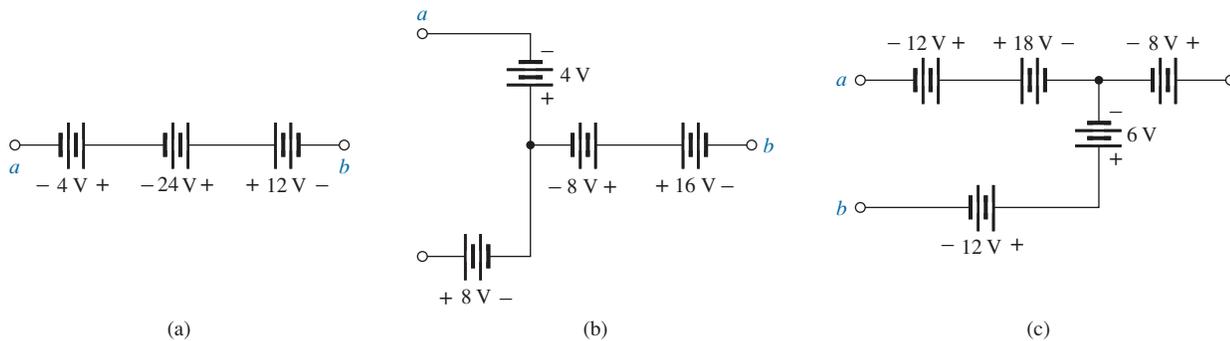


FIG. A4.102
Problema 18.

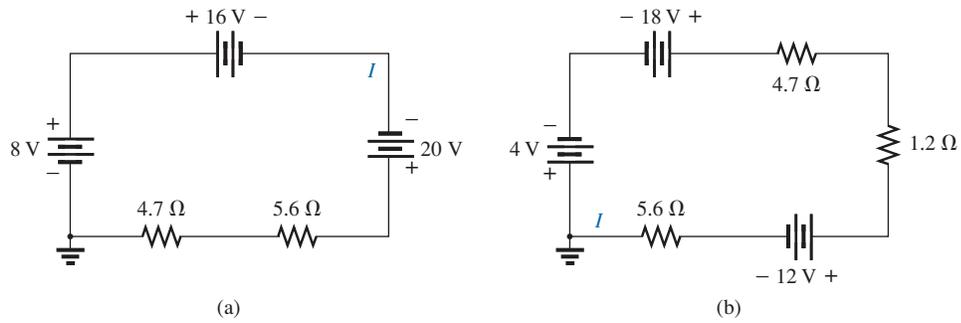


FIG. A4.103
Problema 19.

20. Determine la fuente de voltaje y el resistor desconocidos para la red de la figura A4.104. Primero combine las fuentes de

voltaje en serie en una sola. Indique la dirección de la corriente resultante.

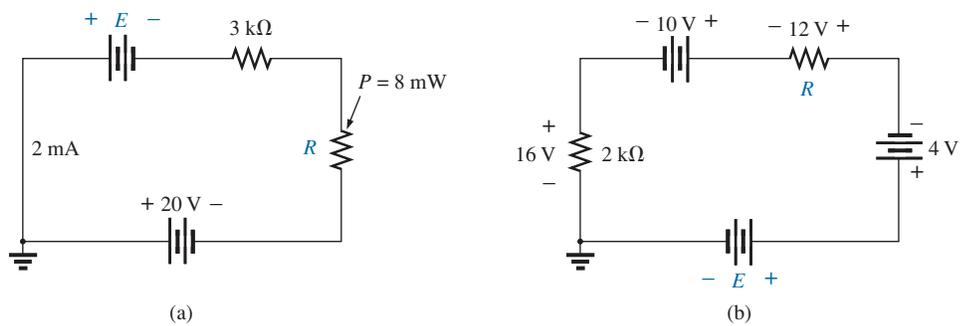


FIG. A4.104
Problema 20.

SECCIÓN A4.6 Ley del voltaje de Kirchhoff

21. Aplicando la ley del voltaje de Kirchhoff, determine los voltajes desconocidos para los circuitos de la figura A4.105.

22. a. Determine la corriente I para la red de la figura A4.106.
b. Determine el voltaje V_2 .
c. Determine el voltaje V_1 aplicando la ley del voltaje de Kirchhoff.

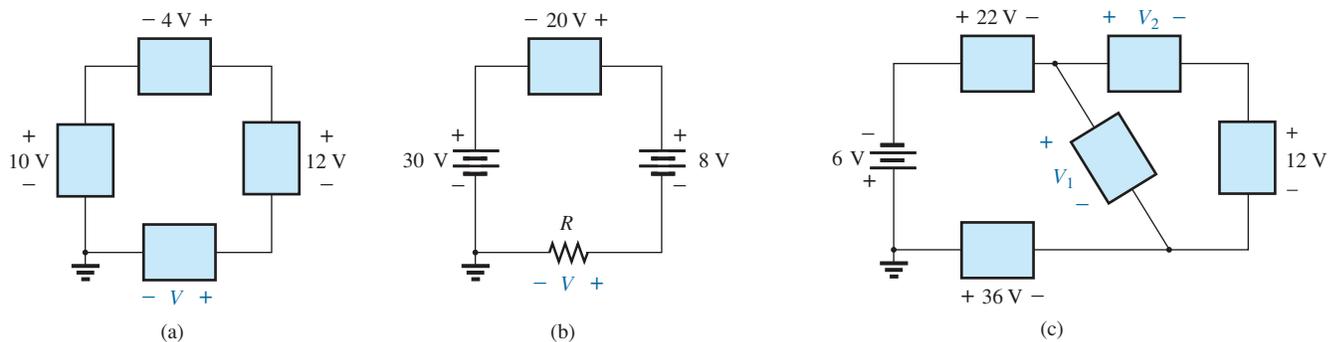


FIG. A4.105
Problema 21.

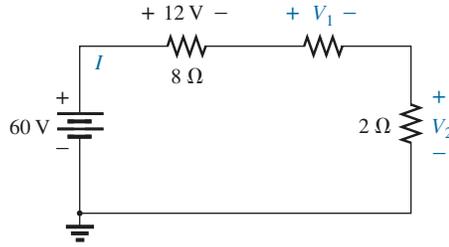
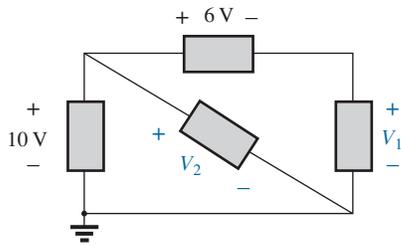


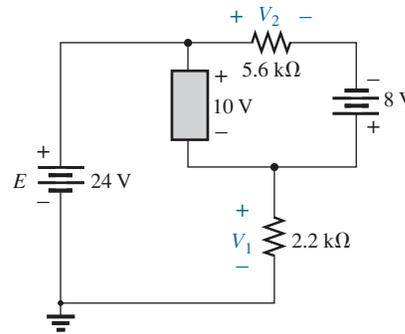
FIG. A4.106
Problema 22.

23. Aplicando la ley del voltaje de Kirchhoff, determine los voltajes desconocidos para el circuito en serie de la figura A4.107.

24. Aplicando la ley del voltaje de Kirchhoff, determine los voltajes desconocidos para las configuraciones de la figura A4.108.

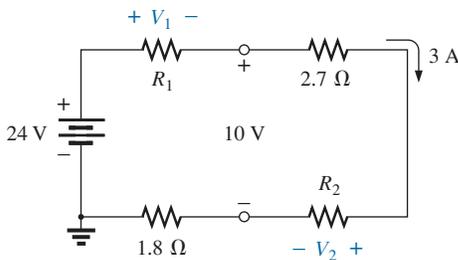


(a)

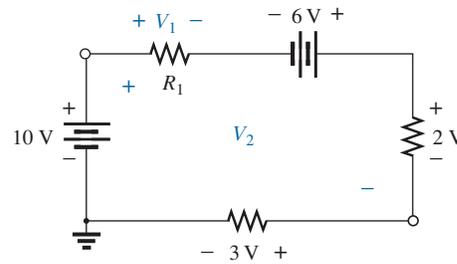


(b)

FIG. A4.107
Problema 23.



(a)



(b)

FIG. A4.108
Problema 24.

SECCIÓN A4.7 División de voltaje en un circuito en serie

- 25. Determine los valores de los resistores desconocidos en la figura A4.109 utilizando únicamente los niveles de voltaje proporcionados. ¡No calcule la corriente!
- 26. Para la configuración de la figura A4.110, con valores de resistor estándar:
 - a. Por inspección, ¿cuál resistor recibirá la mayor parte del voltaje aplicado? ¿Por qué?
 - b. ¿Qué tanto más grande será el voltaje V_3 comparado con V_2 y V_1 ?

- c. Determine el voltaje que pasa a través del resistor más grande aplicando la regla divisora de voltaje.
- d. Determine el voltaje que pasa a través de la combinación en serie de los resistores R_2 y R_3 .

SECCIÓN A4.7 (CONTINÚA) Regla divisora de voltaje

- 27. Aplicando la regla divisora de voltaje, determine los voltajes indicados en la figura A4.111.
- 28. Aplicando la regla divisora de voltaje, o la ley del voltaje de Kirchhoff, determine el voltaje desconocido para la configuración de la figura A4.112. ¡No calcule la corriente!

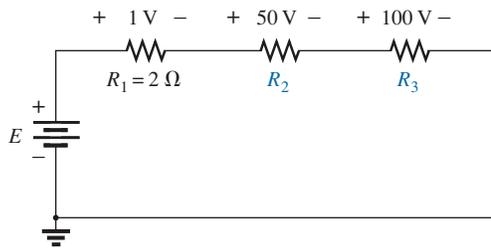


FIG. A4.109
Problema 25.

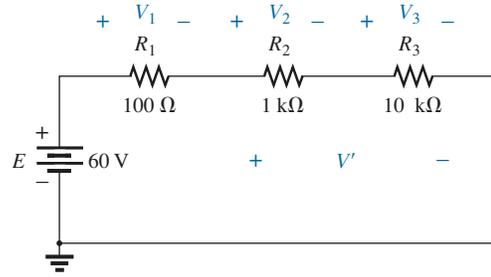
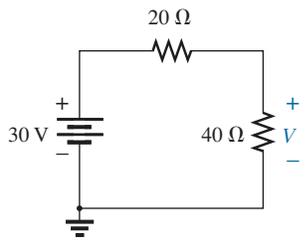
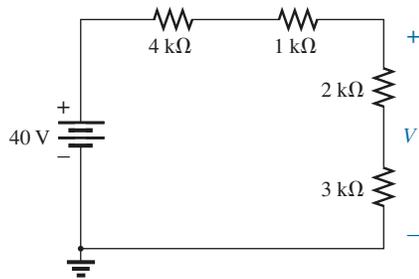


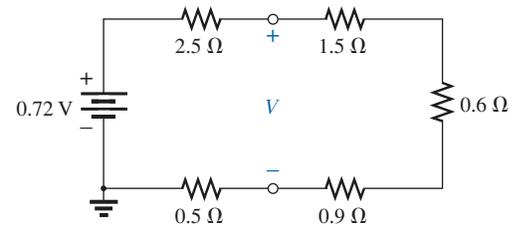
FIG. A4.110
Problema 26.



(a)

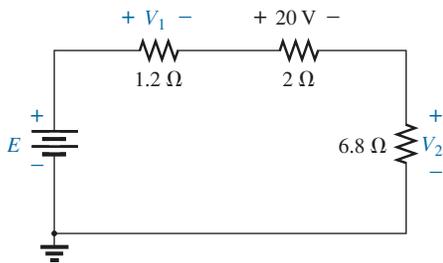


(b)

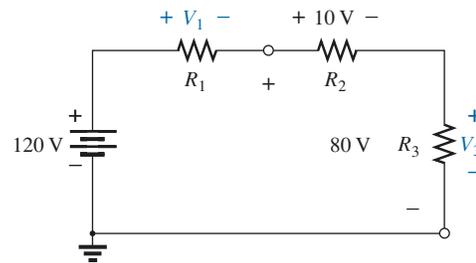


(c)

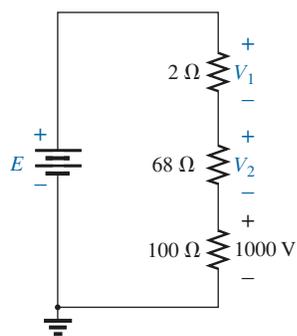
FIG. A4.111
Problema 27.



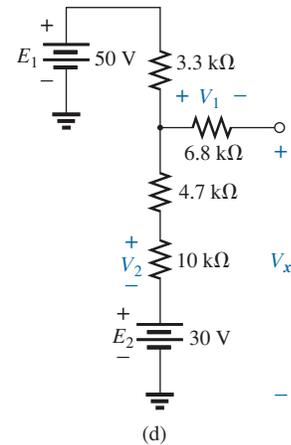
(a)



(b)



(c)



(d)

FIG. A4.112
Problema 28.

29. Con la información proporcionada, determine las cantidades desconocidas de la figura A4.113.

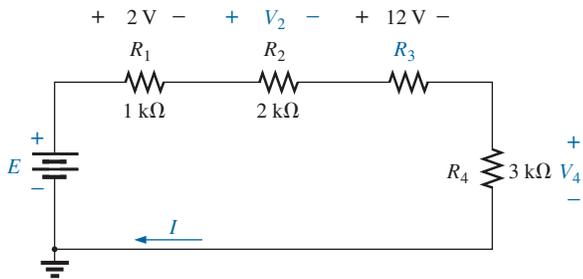
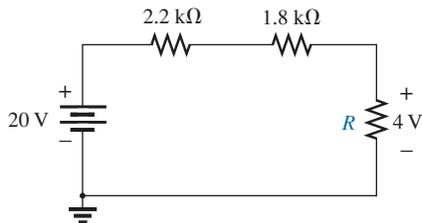
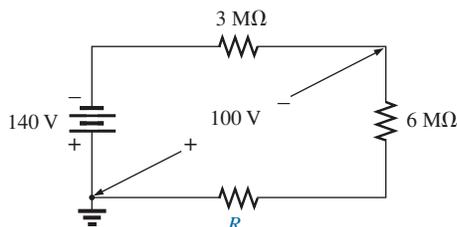


FIG. A4.113
Problema 29.

- *30. Aplicando la regla divisora de voltaje, determine la resistencia desconocida para las configuraciones de la figura A4.114.



(a)



(b)

FIG. A4.114
Problema 30.

31. a. Diseñe un circuito divisor de voltaje que permita utilizar un foco de 8 V y 50 mA en un automóvil con un sistema eléctrico de 12 V.
b. ¿Cuál es potencia mínima en watts del resistor seleccionado si se dispone de resistores de 0.25, 0.5 y 1 W?
- *32. Diseñe el divisor de voltaje de la figura A4.115 de modo que $V_{R_1} = 1/5 V_{R_2}$. Es decir, determine R_1 y R_2 .

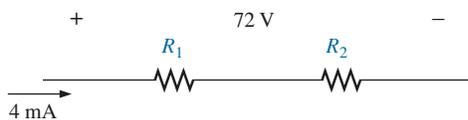


FIG. A4.115
Problema 32.

- *33. Determine el voltaje que pasa a través de cada resistor en la figura A4.116 si $R_1 = 2R_3$ y $R_2 = 7R_3$.

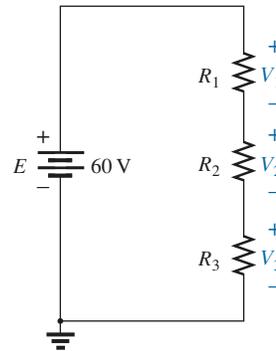


FIG. A4.116
Problema 33.

- *34. a. Diseñe el circuito de la figura A4.117 de modo que $V_{R_2} = 3V_{R_1}$ y $V_{R_3} = 4V_{R_2}$.
b. Si la corriente se reduce a 10 μ A, ¿cuáles son los nuevos valores de R_1 , R_2 , y R_3 ? ¿Cómo se comparan con los resultados del inciso (a)?

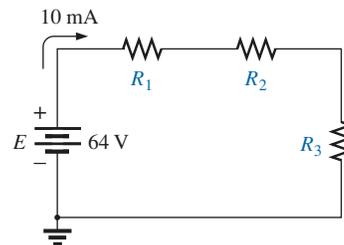


FIG. A4.117
Problema 34.

SECCIÓN A4.9 Notación

35. Determine los voltajes V_a , V_b , y V_{ab} para las redes de la figura A4.118.
36. a. Determine la corriente I (con dirección) y el voltaje V (con polaridad) para las redes de la figura A4.119.
b. Determine el voltaje V_a .
37. Para la red de la figura A4.120 determine los voltajes:
a. V_a, V_b, V_c, V_d, V_e
b. V_{ab}, V_{dc}, V_{cb}
c. V_{ac}, V_{db}
- *38. Dada la información que aparece en la figura A4.121, determine el nivel de resistencia de R_1 y R_3 .
39. Determine los valores de R_1, R_2, R_3 , y R_4 para el divisor de voltaje de la figura A4.122 si la corriente de la fuente es de 16 mA.

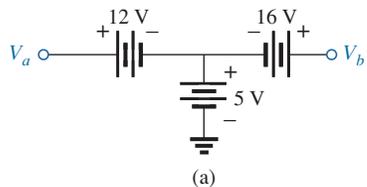


FIG. A4.118
Problema 35.

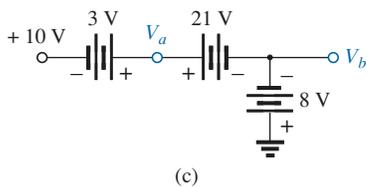
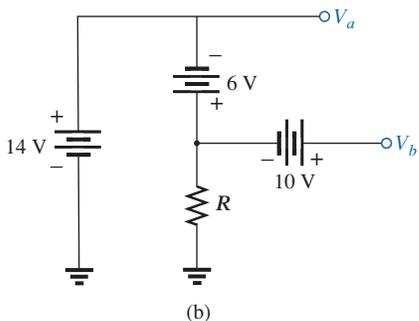


FIG. A4.118
Problema 35.

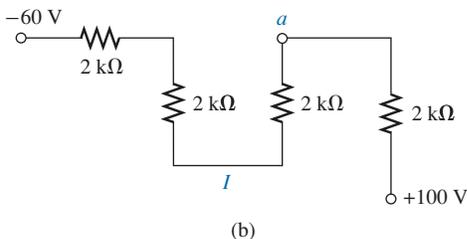
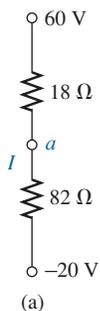


FIG. A4.119
Problema 36.

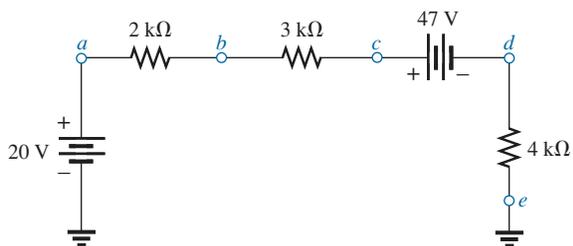


FIG. A4.120
Problema 37.

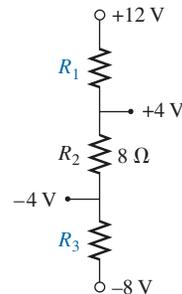


FIG. A4.121
Problema 38.

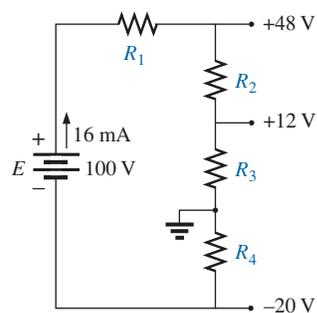


FIG. A4.122
Problema 39.

40. Para la red de la figura A4.123, determine los voltajes:
- V_a, V_b, V_c, V_d
 - V_{ab}, V_{cb}, V_{cd}
 - V_{ad}, V_{ca}

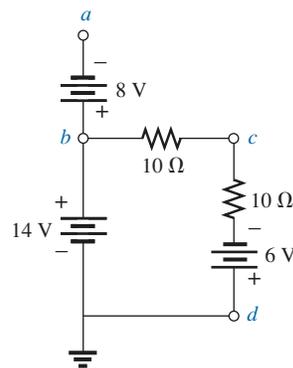


FIG. A4.123
Problema 40.

- *41. Para el circuito integrado de la figura A4.124, determine $V_0, V_4, V_7, V_{10}, V_{23}, V_{30}, V_{67}, V_{56}, e I$ (magnitud y dirección).
- *42. Para el circuito integrado de la figura A4.125, determine $V_0, V_{03}, V_2, V_{23}, V_{12}, e I_f$.

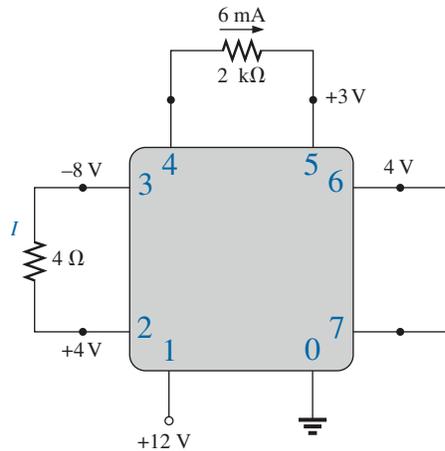


FIG. A4.124
Problema 41.

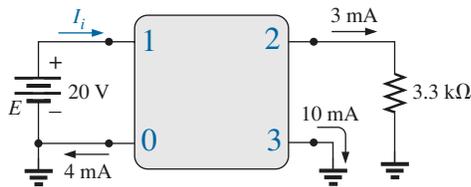


FIG. A4.125
Problema 42.

SECCIÓN A4.10 Regulación de voltaje y la resistencia interna de fuentes de voltaje

43. a. Determine la resistencia interna de una batería cuya salida sin carga es de 60 V y que suministra una corriente a plena carga de 2 A a una carga de 28 Ω .
b. Determine la regulación de voltaje de la fuente.
44. a. Determine el voltaje suministrado a la carga (en condiciones de plena carga) para la fuente de la figura A4.126.
b. Determine la regulación de voltaje de la fuente.
c. ¿Cuánta potencia suministra la fuente y cuánta se pierde por la resistencia interna en condiciones de plena carga?

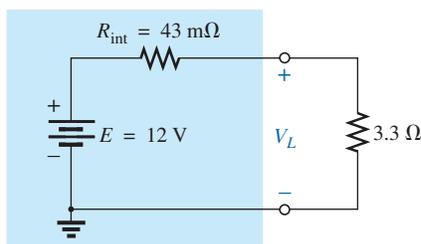


FIG. A4.126
Problema 44.

SECCIÓN A4.11 Efecto de carga de instrumentos

45. a. Determine la corriente que fluye a través del circuito de la figura A4.127.
b. Si se inserta un amperímetro con resistencia interna de 250 Ω en el circuito de la figura A4.127, ¿qué efecto tendrá en el nivel de la corriente?
c. ¿Es la diferencia del nivel de corriente un problema importante para la mayoría de las aplicaciones?

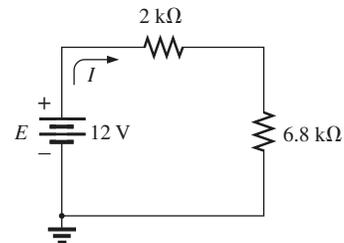


FIG. A4.127
Problema 45.

SECCIÓN A4.14 Análisis con computadora

46. Use la computadora para comprobar los resultados del ejemplo A4.4.
47. Use la computadora para comprobar los resultados del ejemplo A4.5.
48. Use la computadora para comprobar los resultados del ejemplo A4.15.

GLOSARIO

Circuito Combinación de varios elementos unidos en puntos terminales que forman por lo menos una trayectoria cerrada a través de la cual puede fluir la carga.

Circuito en serie Configuración de circuito en la cual los elementos tienen sólo un punto en común y cada terminal no está conectada a un tercer elemento portador de corriente.

Dispositivo de dos terminales Cualquier elemento o componente con dos terminales externas para conectarse a una configuración en red.

Lazo cerrado Cualquier conexión continua de ramales que permite trazar una trayectoria que parte de un punto en una dirección y regresa al mismo punto con otra dirección sin salirse del circuito.

Ley del voltaje de Kirchhoff (KVL) Suma algebraica de las subidas y caídas de potencia alrededor de un lazo cerrado (o trayectoria), es cero.

Regla divisora de voltaje (VDR) Método mediante el cual un voltaje en un circuito en serie puede determinarse sin calcular primero la corriente en el circuito.

Regulación de voltaje (VR) Valor, dado en un porcentaje, que indica el cambio en el voltaje terminal de una fuente con un cambio en la demanda de carga.

Resistencia interna Resistencia inherente que se encuentra en el interior de cualquier fuente de energía.

Tarjeta prototipo (tarjeta de pruebas o protoboard) Tarjeta plana con un patrón establecido de orificios conectados conductivamente, diseñada para aceptar cable calibre 24 y componentes con conductores de conexión de aproximadamente el mismo diámetro.