

LEY DE VOLTAJE DE KIRCHHOFF

Gustav Robert Kirchhoff

KIRCHHOFF FUE UN FÍSICO ALEMÁN nacido el 12 de marzo de 1824 en Königsberg, Prusia. Su primera investigación fue sobre la conducción de la electricidad, la cual lo llevó a la presentación de sus leyes de circuitos eléctricos cerrados en 1845. La ley de corriente de Kirchhoff y la ley de voltaje se aplican a todos los circuitos eléctricos y, por ello, son fundamentales para entender la operación de un circuito. Kirchhoff fue el primero en verificar que un impulso eléctrico viaja a la velocidad de la luz.

Aunque dichos descubrimientos han inmortalizado el nombre de Kirchhoff en la ciencia eléctrica, es mejor conocido por su trabajo con R. W. Bunsen, con quien hizo grandes contribución en el estudio de la espectroscopia y avanzó la investigación en la radiación del cuerpo negro.

Kirchhoff murió en Berlín el 17 de octubre de 1887. ■

PERSPECTIVA HISTÓRICA



5-2 Ley de voltaje de Kirchhoff



Después de la ley de Ohm, una de las más importantes leyes de la electricidad es la ley de voltaje de Kirchhoff (LVK), que establece lo siguiente:

La sumatoria de las elevaciones y caídas de voltaje alrededor de un lazo cerrado es igual a cero. Este enunciado se puede escribir de forma simbólica como:

$$\sum V = 0 \quad \text{para un lazo cerrado} \quad (5-1)$$

En la expresión simbólica anterior, la letra griega mayúscula sigma Σ representa la sumatoria y V las elevaciones y caídas de voltaje. Un **lazo cerrado** se define como cualquier trayectoria que se origina en un punto, viaja alrededor de un circuito y retorna al punto original sin repetir ningún segmento.

Otra forma de establecer la ley de voltaje de Kirchhoff es la siguiente:

La sumatoria de las elevaciones de voltaje es igual a la sumatoria de las caídas de voltaje alrededor de un lazo cerrado.

$$\sum E_{\text{elevaciones}} = \sum V_{\text{caídas}} \quad \text{en un lazo cerrado} \quad (5-2)$$

Si se considera el circuito de la figura 5-7, se puede empezar en el punto a en la esquina inferior izquierda. Si se sigue arbitrariamente la dirección de la corriente I , nos movemos a través de la fuente de voltaje, que representa una elevación en potencial del punto a al punto b . En seguida, al movernos del punto b al punto c , se pasa por el resistor R_1 , el cual presenta una caída de potencia de V_1 . Continuando a través de los resistores R_2 y R_3 , se tienen caídas adicionales de V_2 y V_3 , respectivamente. Al aplicar la ley de voltaje de Kirchhoff alrededor del lazo cerrado, se llega a la siguiente expresión matemática para el circuito:

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

Aunque se determinó seguir la dirección de la corriente al plantear la ecuación de la ley de voltaje de Kirchhoff, también es correcto moverse alrededor del circuito en la dirección opuesta. En este caso la ecuación aparecería como:

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

Por simple manipulación, es simple demostrar que las dos ecuaciones son idénticas.

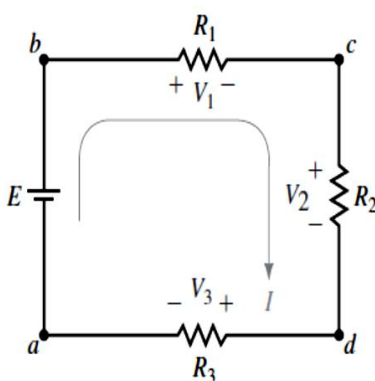


FIGURA 5-7 Ley de voltaje de Kirchhoff.

5-6 Regla del divisor de voltaje

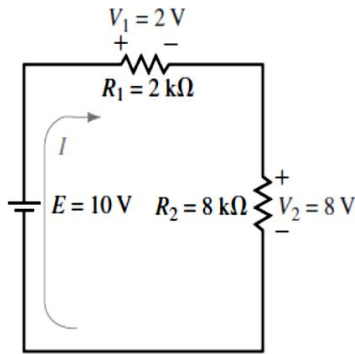


FIGURA 5-20

La caída de voltaje en cualquier resistor en serie es proporcional a la magnitud del resistor. La caída de voltaje total en todos los resistores debe ser igual al voltaje aplicado por la(s) fuente(s) de acuerdo con la LVK.

Considere el circuito de la figura 5-20.

Se observa que la resistencia total $R_T = 10 \text{ k}\Omega$ da como resultado una corriente de $I = 1 \text{ mA}$. A partir de la ley de Ohm, R_1 tiene una caída de voltaje de $V_1 = 2.0 \text{ V}$, mientras R_2 , que es cuatro veces mayor que R_1 , tiene una caída de voltaje también cuatro veces mayor, $V_2 = 8.0 \text{ V}$.

También se observa que la suma de las caídas de voltaje en los resistores es exactamente igual a la elevación de voltaje de la fuente, esto es

$$E = 10 \text{ V} = 2 \text{ V} + 8 \text{ V}$$

La regla del divisor de voltaje permite determinar el voltaje en cualquier resistencia en serie en un solo paso, sin calcular primero la corriente. Se ha visto que para cualquier número de resistores en serie la corriente en el circuito se determina mediante la ley de Ohm como

$$I = \frac{E}{R_T} \quad [\text{amperes, A}] \quad (5-10)$$

donde los dos resistores en la figura 5-20 dan una resistencia total de

$$R_T = R_1 + R_2$$

Al aplicar de nuevo la ley de Ohm, la caída de voltaje en cualquier resistor en el circuito en serie se calcula como

$$V_x = IR_x$$

Al sustituir la ecuación 5-4 en la ecuación anterior se obtiene la regla del divisor de voltaje para dos resistores como una sola ecuación:

$$V_x = \frac{R_x}{R_T} E = \frac{R_x}{R_1 + R_2} E$$

En general, para cualquier número de resistores la caída de voltaje en cualquier resistor se determina como

$$V_x = \frac{R_x}{R_T} E \quad (5-11)$$

EJEMPLO 5-6

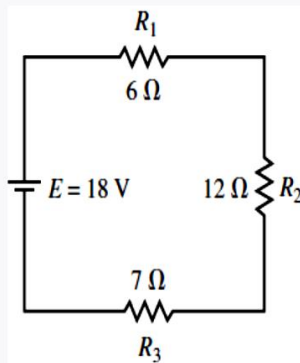


FIGURA 5-21

Use la regla del divisor de voltaje para determinar el voltaje en cada uno de los resistores en el circuito que se muestra en la figura 5-21. Demuestre que la suma de las caídas de voltaje es igual a la elevación del voltaje aplicado en el circuito.

Solución

$$R_T = 6 \Omega + 12 \Omega + 7 \Omega = 25.0 \Omega$$

$$V_1 = \left(\frac{6 \Omega}{25 \Omega} \right) (18 \text{ V}) = 4.32 \text{ V}$$

$$V_2 = \left(\frac{12 \Omega}{25 \Omega} \right) (18 \text{ V}) = 8.64 \text{ V}$$

$$V_3 = \left(\frac{7 \Omega}{25 \Omega} \right) (18 \text{ V}) = 5.04 \text{ V}$$

La caída de voltaje total es la suma

$$V_T = 4.32 \text{ V} + 8.64 \text{ V} + 5.04 \text{ V} = 18.0 \text{ V} = E$$

Recuerde que la ley de voltaje de Kirchhoff fue muy útil para entender la operación del circuito serie. De manera similar, la ley de corriente de Kirchhoff es el principio esencial que se usa para explicar la operación de un circuito en paralelo. La ley de corriente de Kirchhoff establece lo siguiente:

La suma de corrientes que entran en un nodo es igual a la suma de corrientes que salen de él.

Una analogía que ayuda a entender el principio de la ley de corriente de Kirchhoff es el flujo de agua. Cuando el agua fluye en una tubería cerrada, la cantidad de agua que entra en un punto particular del tubo es exactamente igual a la cantidad de agua que sale, ya que no hay pérdidas. En forma matemática, la ley de corriente de Kirchhoff se establece como sigue:

$$\sum I_{\text{entran al nodo}} = \sum I_{\text{salen del nodo}} \quad (6-1)$$

La figura 6-5 ilustra la ley de corriente de Kirchhoff. Aquí se observa que el nodo tiene dos corrientes que entran, $I_1 = 5 \text{ A}$ e $I_5 = 3 \text{ A}$, y tres corrientes que salen, $I_2 = 2 \text{ A}$, $I_3 = 4 \text{ A}$ e $I_4 = 2 \text{ A}$. Ahora se puede ver que la ecuación 6-1 se aplica en la ilustración, a saber,

$$\begin{aligned} \sum I_{\text{ent}} &= \sum I_{\text{sal}} \\ 5 \text{ A} + 3 \text{ A} &= 2 \text{ A} + 4 \text{ A} + 2 \text{ A} \\ 8 \text{ A} &= 8 \text{ A} \text{ (;coincide!)} \end{aligned}$$

6-2 Ley de corriente de Kirchhoff

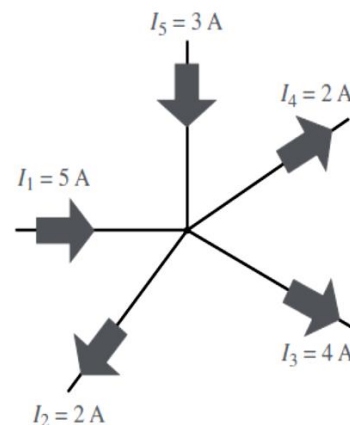


FIGURA 6-5 Ley de corriente de Kirchhoff.

Compruebe que la ley de corriente de Kirchhoff se aplica al nodo que se muestra en la figura 6-6.

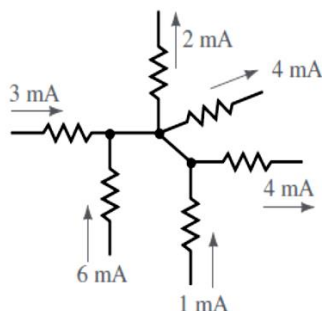


FIGURA 6-6

Respuesta

$$3 \text{ mA} + 6 \text{ mA} + 1 \text{ mA} = 2 \text{ mA} + 4 \text{ mA} + 4 \text{ mA}$$

Con frecuencia, cuando se analiza un determinado circuito, no se está seguro de la dirección de la corriente a través de un elemento dentro del circuito. En tales casos se supone una dirección de referencia y se basan los cálculos posteriores en esta presunción, si es incorrecta, los cálculos mostrarán que la corriente tiene un signo negativo, lo cual simplemente indica que la dirección de la corriente es opuesta a la que se seleccionó como referencia. El siguiente ejemplo ilustra este concepto muy importante.

6-5 Regla del divisor de corriente

Cuando se examinaron los circuitos serie, se determinó que la corriente era la misma en cualquier parte del circuito, en tanto que el voltaje en cada elemento en serie fue diferente. La regla del **divisor de voltaje** (RDV) se usó para determinar el voltaje en todos los resistores dentro de una red en serie.

En las redes en paralelo, el voltaje en todos los elementos es el mismo. Sin embargo, las corrientes a través de los elementos son diferentes. La **regla del divisor de corriente** (RDC) se usa para determinar qué tanto de la corriente



PROBLEMAS PRÁCTICOS 1

divisor de corriente (RDC) se usa para determinar qué tanto de la corriente que entra en un nodo se divide entre los diversos resistores en paralelo conectados al nodo.

Considere la red de resistores en paralelo que se muestra en la figura 6-25.

Si esta red de resistores recibe energía de una fuente de voltaje, la corriente total en el circuito es

$$I_T = \frac{E}{R_T} \quad (6-8)$$

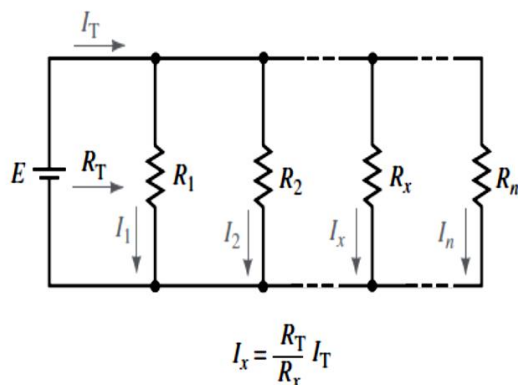


FIGURA 6-25 Regla del divisor de corriente.

Ya que cada uno de los n resistores en paralelo tiene el mismo voltaje E entre sus terminales, la corriente que pasa a través de cualquier resistor en la red está dada por

$$I_x = \frac{E}{R_x} \quad (6-9)$$

Al reescribir la ecuación 6-8 como $E = I_T R_T$ y sustituirla en la ecuación 6-9, se obtiene la regla del divisor de corriente como sigue:

$$I_x = \frac{R_T}{R_x} I_T \quad (6-10)$$

Si la red consiste de sólo dos resistores en paralelo, entonces la corriente a través de cada resistor puede determinarse en una forma un tanto diferente. Recuerde que para dos resistores en paralelo, la resistencia total está dada como

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Ahora, al sustituir esta expresión para la resistencia total en la ecuación 6-10, se obtiene

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{I_T R_T}{R_1} \\ &= \frac{I_T \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)}{R_1} \end{aligned}$$

La cual se simplifica en

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I_T \quad (6-12)$$

Luigi Galvani y el descubrimiento de la excitación de los nervios

LUIGI GALVANI NACIÓ EN BOLOGNIA, Italia, el 9 de septiembre de 1737. La principal especialidad de Galvani fue la anatomía, materia por la cual fue nombrado profesor de la Universidad de Bologna.

Galvani descubrió que cuando los nervios de las ranas se conectaban a fuentes de electricidad, los músculos se movían. Aunque no fue capaz de determinar el lugar donde los pulsos eléctricos se originaban dentro del animal, su trabajo fue significativo y dio la pauta para otros descubrimientos sobre los impulsos nerviosos.

El nombre de Galvani se ha adoptado para el instrumento llamado **galvanómetro**, que se usa para detectar corrientes muy pequeñas.

Luigi Galvani murió en Bologna el 4 de diciembre de 1798. Aunque hizo muchas contribuciones a la ciencia, murió pobre, envuelto en controversias debido a que se negó a jurar lealtad a Napoleón. ■

PERSPECTIVA HISTÓRICA

