



## >> capítulo 1

# *Resolução de circuitos série de corrente contínua*

A principal característica de um circuito série de corrente contínua (CC) é a maneira como suas partes componentes estão conectadas: eles formam um único laço, iniciando e terminando na fonte de alimentação. Em todos os casos, existe apenas um caminho de corrente entre os terminais positivo (+) e negativo (–) da fonte de alimentação. Os circuitos série obedecem a um conjunto específico de leis que se aplicam apenas a eles. Este capítulo analisa essas características especiais dos circuitos série.

### **Objetivos deste capítulo**

- >> Entender as características de tensão, corrente, resistência e potência de um circuito série CC
- >> Determinar valores de grandezas desconhecidas em um circuito série CC
- >> Medir valores de corrente, quedas de tensão e resistência em um circuito série CC
- >> Aplicar os conceitos de polaridade relativa e de fontes de tensão conectadas na forma série aditiva e série subtrativa
- >> Detectar e solucionar problemas em um circuito resistivo série CC

## » Conexão de um circuito série

Um *circuito série* contém duas ou mais cargas, porém apenas um caminho para a corrente fluir da fonte de tensão através das cargas e retornar à fonte. Todos os componentes no circuito estão conectados em uma única linha, de “ponta a ponta” (extremidade com extremidade). Veja a Figura 1-1 para um exemplo de um circuito série CC (pictórico e esquemático). Apenas um caminho pode ser traçado para o fluxo de corrente de um lado da fonte de tensão para o outro. Se esse caminho é interrompido em qualquer ponto, todo o fluxo de corrente no circuito cessa.

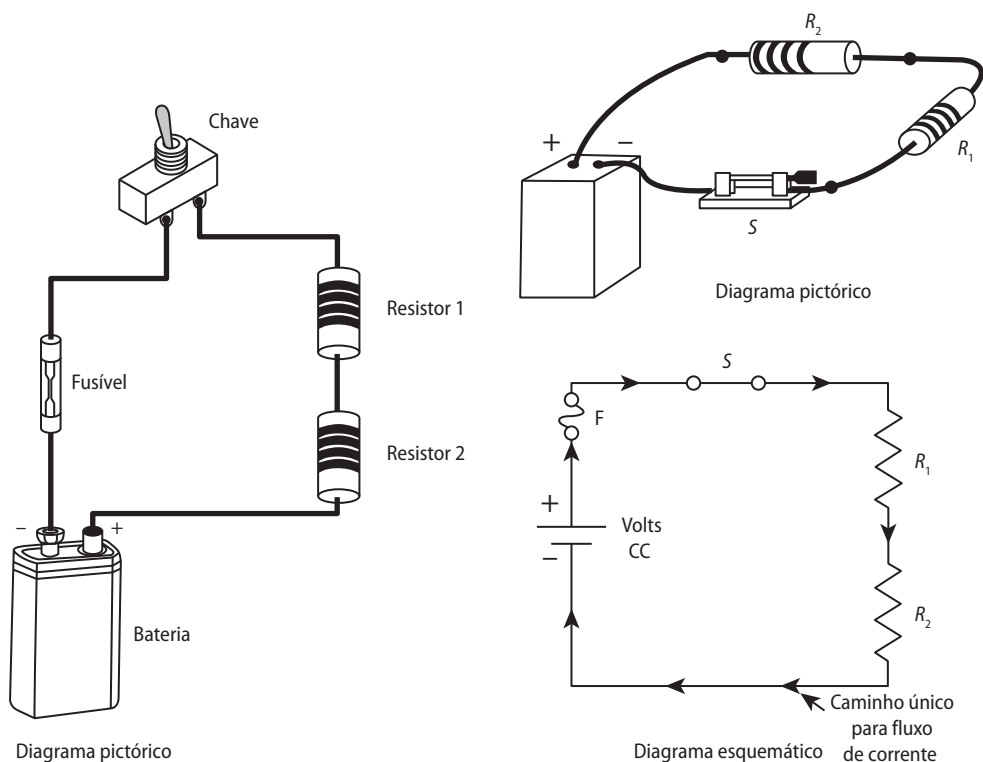


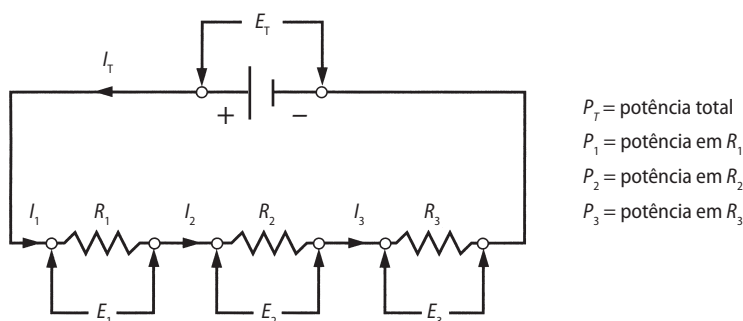
Figura 1-1 Circuito série CC.

## » Identificação das grandezas de circuito

Os símbolos usados ao se referir à tensão, corrente, resistência e potência são E, I, R e P, respectivamente. Em um circuito que contém mais do que um resistor (ou carga), é necessário utilizar um sistema de subscritos de letras e números para identificar corretamente as diferentes grandezas do circuito.

A resistência total é representada pelo símbolo  $R_T$  e os resistores individuais pelos símbolos  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , etc. A tensão da fonte aplicada é representada pelo símbolo  $E_T$  e a queda de tensão

através dos resistores individuais pelos símbolos  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ , etc. A corrente da fonte ou a corrente total é representada pelo símbolo  $I_T$  e o fluxo de corrente através dos resistores individuais é representado pelos símbolos  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ , etc (Figura 1-2). A potência total dissipada é representada pelo símbolo  $P_T$ , enquanto a potência dissipada pelos resistores individuais é indicada pelos símbolos  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , etc.

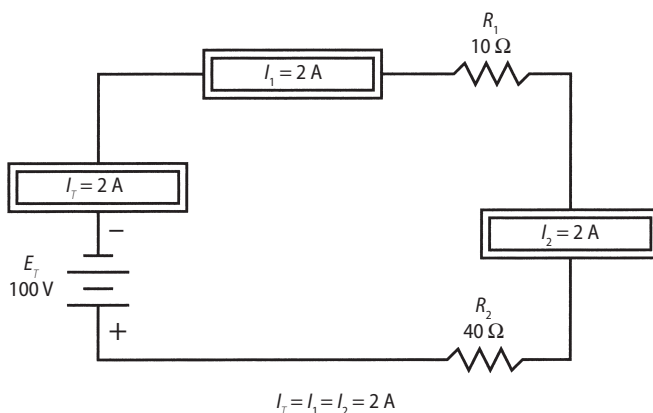


**Figura 1-2** Identificação das grandezas em um circuito série.

## » Determinação da corrente

A corrente tem o mesmo valor em todos os pontos de um circuito série (Figura 1-3). Isso ocorre porque há apenas um caminho de corrente. Não há perda ou ganho de corrente em um circuito série. Toda a corrente que flui a partir do terminal positivo da fonte de tensão deve circular através de cada componente e retornar para o terminal negativo da fonte. Embora os resistores, que podem representar cargas, possam ter valores de resistência diferentes, eles conduzem o mesmo valor de corrente quando conectados em série:

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 \dots$$



**Figura 1-3** A corrente é a mesma em todos os pontos em um circuito série.

A corrente em um circuito série pode ser medida inserindo-se um amperímetro em série. Como há apenas um caminho para corrente, a leitura do instrumento será a mesma independentemente do ponto no qual o amperímetro é conectado no circuito. A alimentação padrão para o circuito deve ser aplicada para efetuar a medição de corrente. No entanto, o circuito de corrente deve ser desligado para conectar de forma segura o amperímetro antes de tomar a medida de corrente. Como alternativa, amperímetros do tipo “alicate” podem ser usados para medir a corrente do circuito sem a necessidade de abri-lo e fazer contato direto.

A resistência total de um circuito série é igual à soma das resistências individuais (Figura 1-4). Como há apenas um caminho para a circulação da corrente, ela deve fluir através de cada resistor em sua viagem de um lado até o outro da fonte de tensão. As resistências do fusível, do fio e da chave são muito baixas e, neste exemplo, serão consideradas iguais a zero. Portanto, a resistência total em um circuito série é determinada pela adição de todos os componentes resistivos no circuito:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

A resistência total de um circuito série pode ser medida conectando-se um ohmímetro através da sequência de cargas em série. Assim como com todas as medições realizadas com ohmímetros, a alimentação deve ser desconectada antes de tomar a medição de resistência.

A corrente que flui em um circuito série depende da tensão total aplicada e da resistência total do circuito. Portanto, para determinar o fluxo de corrente, a tensão de alimentação ( $E_T$ ) e a resistência total ( $R_T$ ) devem ser conhecidas. Uma vez conhecidas, a lei de Ohm para corrente pode ser aplicada conforme a seguir para determinar a corrente do circuito:

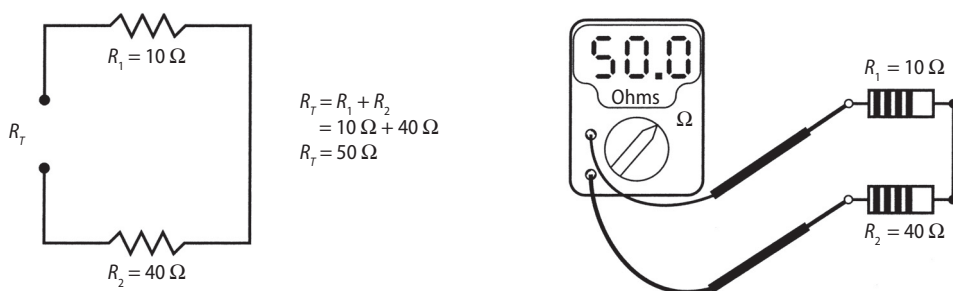
$$I_T = \frac{E_T}{R_T}$$

(Para o circuito da Figura 1-3)

$$I_T = 100 \text{ V} \div 50 \Omega$$

$$I_T = 2 \text{ A}$$

Variações tanto na resistência série total do circuito como na tensão total aplicada afetarão a corrente total. Por exemplo, se a tensão aplicada é dobrada e a resistência do circuito permanece a mesma, a corrente dobra. De modo similar, se a resistência do circuito dobra e a tensão aplicada permanece a mesma, a corrente decresce para metade do seu valor original.



**Figura 1-4** Resistência total de um circuito série.

## >> Determinação da tensão

A tensão total aplicada a um circuito série é dividida entre cada uma das cargas (Figura 1-5). A tensão através de cada resistor é conhecida como uma queda de tensão. A queda de tensão é diretamente proporcional ao valor da resistência da carga. Quanto maior o valor da resistência, maior é a queda de tensão. Componentes em série tendo o mesmo valor de resistência terão o mesmo valor de queda de tensão. A tensão total da fonte é, então, a soma das quedas de tensão através de cada resistor individual:

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

O valor da queda de tensão através de uma carga em um circuito série depende da corrente que flui através dela e de sua resistência. Portanto, para determinar a queda de tensão através de cargas específicas conectadas em série, a resistência da carga ( $R_1$ ) e a corrente que flui por ela ( $I_1$ ) devem ser conhecidas. De posse dessas grandezas, a lei de Ohm para tensão pode ser aplicada conforme a seguir para determinar a queda de tensão:

$$E_1 = I_1 \times R_1$$

(Para o circuito da Figura 1-5)

$$E_1 = 2 \text{ A} \times 10 \, \Omega$$

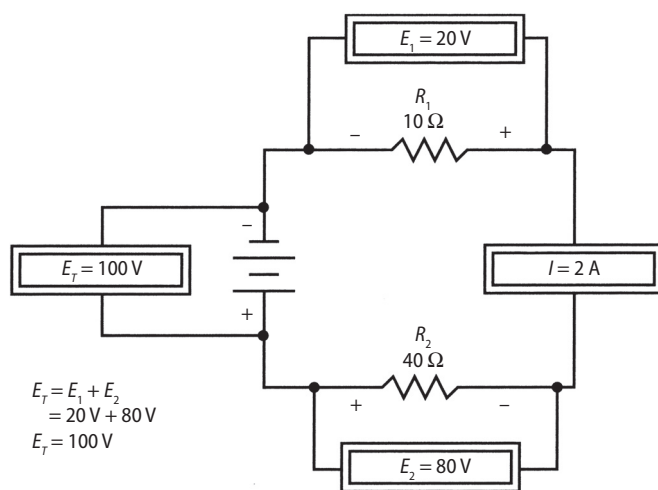
$$E_1 = 20 \text{ V}$$

$$E_2 = I_2 \times R_2$$

$$E_2 = 2 \text{ A} \times 40 \, \Omega$$

$$E_2 = 80 \text{ V}$$

Como mencionado, variações tanto na resistência série total do circuito como na tensão total aplicada afetarão a corrente total. Por sua vez, isso afetará a queda de tensão através dos resistores. Um aumento na tensão aplicada provoca um crescimento da queda de tensão através



**Figura 1-5** A tensão aplicada a um circuito série é dividida entre cada uma das cargas (representadas por resistores).

de cada componente pelo mesmo fator: se a tensão da fonte é dobrada, a tensão através de componente também dobra.

As quedas de tensão através das cargas de um circuito série podem ser medidas conectando-se um voltímetro em paralelo com a carga. Cada uma dessas tensões pode ser medida de forma independente, ou a tensão através de duas ou mais cargas pode ser medida ao mesmo tempo. Tanto os voltímetros como os amperímetros CC são polarizados. Medidores CC digitais podem medir ou tensão ou corrente de qualquer polaridade. Se a polaridade dos terminais de teste é invertida (+ para -), o mostrador (display) numérico terá um sinal de menos (-) precedendo a indicação.

## » Determinação da resistência

O valor da resistência de uma carga individual de um circuito série pode ser determinado a partir da corrente fluindo através da carga e da tensão através dela. Assim, para calcular a resistência de uma carga específica em um circuito série, a corrente que flui por ela ( $I_1$ ) e a tensão através dela ( $E_1$ ) devem ser conhecidas. De posse dessas grandezas, a lei de Ohm para resistência pode ser aplicada conforme a seguir para encontrar o valor da resistência:

$$R_1 = \frac{E_1}{I_1}$$

(Para o circuito da Figura 1-5)

$$R_1 = 20 \text{ V} \div 2 \text{ A}$$

$$R_1 = 10 \Omega$$

$$R_2 = E_2 \div I_2$$

$$R_2 = 80 \text{ V} \div 2 \text{ A}$$

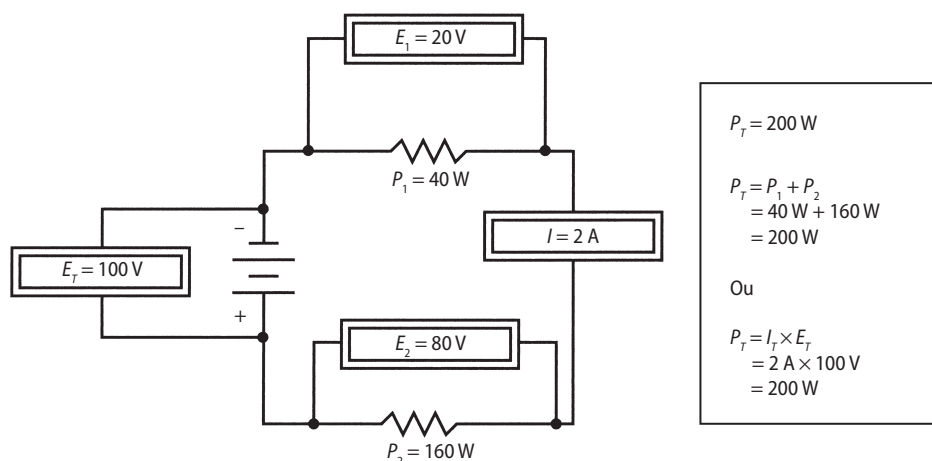
$$R_2 = 40 \Omega$$

## » Determinação da potência

A potência dissipada em uma carga resistiva é determinada pelo valor de corrente fluindo por ela e pela tensão entre seus terminais. A potência total dissipada em um circuito série é sempre a soma das potências dissipadas pelos resistores (cargas) individuais ou igual ao produto entre a tensão da fonte e a corrente total fornecida por ela (Figura 1-6):

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

$$P_T = E_T \times I_T$$



**Figura 1-6** Potência total dissipada em um circuito série.

Para determinar os requisitos de potência dos componentes individuais de um circuito série, dois parâmetros devem ser conhecidos sobre cada carga e uma das seguintes fórmulas aplicada:

$$P_1 = E_1 \times I_1$$

$$P_1 = I_1^2 \times R_1$$

$$P_1 = \frac{E_1^2}{R_1}$$

(Para o circuito da Figura 1-6)

$$P_1 = E_1 \times I_1$$

$$P_1 = 20\text{ V} \times 2\text{ A}$$

$$P_1 = 40\text{ W}$$

$$P_2 = E_2 \times I_2$$

$$P_2 = 80\text{ V} \times 2\text{ A}$$

$$P_2 = 160\text{ W}$$

Na construção de qualquer circuito, é importante conhecer a dissipação de potência dos componentes. O calor é um dos piores inimigos dos circuitos elétricos e eletrônicos. A dissipação demasiada de calor em componentes com potência excessiva pode provocar o sobreaquecimento e a queima deles.

## » Questões de revisão

1. Descreva como os componentes de um circuito série são conectados.
2. (a) Defina a característica de corrente de um circuito série.  
(b) Expresse essa característica na forma de uma equação.
3. (a) Defina a característica de tensão de um circuito série.  
(b) Expresse essa característica na forma de uma equação.

4. (a) Defina a característica de resistência de um circuito série.  
(b) Expresse essa característica na forma de uma equação.
5. (a) Defina a característica de dissipação de potência de um circuito série.  
(b) Expresse essa característica na forma de uma equação.
6. A potência total consumida em um circuito série é 100 W. Se há duas cargas e uma delas consome 65 W, qual é a potência consumida pela outra carga?
7. Três cargas ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) estão conectadas em série com uma fonte de tensão de 120 V<sub>CC</sub>. Os valores de  $E_1$  e  $E_3$  são medidos, sendo encontrados os valores de 32 V e 8 V, respectivamente. Qual é o valor de  $E_2$ ?
8. Os resistores  $R_1 = 8 \Omega$ ,  $R_2 = 4 \Omega$  e  $R_3 = 6 \Omega$  estão conectados em série com uma fonte de tensão. Qual resistor dissipará a maior potência?
9. Qual é a corrente total de um circuito série que tem uma fonte de tensão CC de 48 V e os seguintes resistores: 1  $\Omega$ , 5  $\Omega$  e 2  $\Omega$ ?
10. Dois resistores de 100  $\Omega$  estão conectados em série com uma fonte de 24 V<sub>CC</sub>. Qual é o valor da queda de tensão através de cada um deles?

## » Resolução de circuitos série CC

Dados valores de tensão, corrente e resistência de um circuito série CC, é possível calcular qualquer valor desconhecido de tensão, corrente, resistência e potência. A habilidade para esses cálculos é importante se você quer realmente entender a operação de um circuito série CC.

Na resolução de um problema de circuito série CC, você deve conhecer as características de tensão, corrente, resistência e potência do circuito. Tais características são mais facilmente lembradas reescrevendo as seguintes equações para um circuito CC série:

$$\begin{aligned}
 I_T &= I_1 = I_2 = I_3 \dots \\
 E_T &= E_1 + E_2 + E_3 \dots \\
 R_T &= R_1 + R_2 + R_3 \dots \\
 P_T &= P_1 + P_2 + P_3 \dots
 \end{aligned}$$

A resolução do circuito série CC também requer o uso da lei de Ohm. Essa lei é mais facilmente lembrada reescrevendo as diferentes formas da equação da lei de Ohm:

$$\begin{aligned}
 E &= I \times R \\
 I &= \frac{E}{R} \\
 R &= \frac{E}{I} \\
 P &= E \times I
 \end{aligned}$$



A lei de Ohm é aplicada ao circuito total ou às cargas individuais. Quando aplicada ao circuito total, ela se torna:

$$E_T = I_T \times R_T$$

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

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

$$P_T = E_T \times I_T$$

Quando aplicada às cargas individuais, ela se torna:

$$E_1 = I_1 \times R_1$$

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1}$$

$$R_1 = \frac{E_1}{I_1}$$

$$P_1 = E_1 \times I_1$$

Um método útil de resolução de circuitos é usar uma tabela para auxiliar na organização dos passos usados na resolução do problema. Comece anotando todos os valores dados de tensão, corrente, resistência e potência. Em seguida, calcule os valores desconhecidos e inclua cada um deles na tabela à medida que são determinados. A seguir, vamos demonstrar esse método na resolução de problemas típicos de circuitos série.

## » Exemplo 1-1

**Problema:** Encontre todos os valores desconhecidos de E, I, R e P para o circuito série da Figura 1-7.

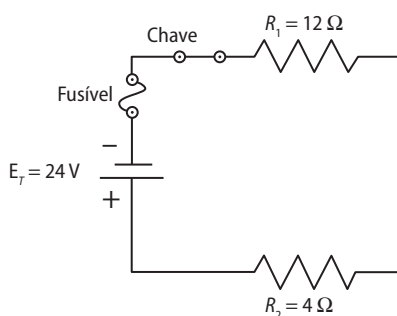


Figura 1-7 Circuito para o Exemplo 1-1.

## >> Exemplo 1-1 Continuação

ex

**Solução:**

**PASSO 1** Faça uma tabela e preencha-a com todos os valores conhecidos.

|       | Tensão | Corrente | Resistência | Potência |
|-------|--------|----------|-------------|----------|
| $R_1$ |        |          | 12 $\Omega$ |          |
| $R_2$ |        |          | 4 $\Omega$  |          |
| Total | 24 V   |          |             |          |

**PASSO 2** Calcule  $R_T$  e preencha o valor na tabela.

$$\begin{aligned}
 R_T &= R_1 + R_2 \\
 &= 12 \Omega + 4 \Omega \\
 &= 16 \Omega
 \end{aligned}$$

|       | Tensão | Corrente | Resistência | Potência |
|-------|--------|----------|-------------|----------|
| $R_1$ |        |          | 12 $\Omega$ |          |
| $R_2$ |        |          | 4 $\Omega$  |          |
| Total | 24 V   |          | 16 $\Omega$ |          |

**PASSO 3** Calcule  $I_T$ ,  $I_1$ ,  $I_2$  e preencha os valores na tabela.

$$\begin{aligned}
 I_T &= \frac{E_T}{R_T} \\
 &= 24 \text{ V} / 16 \Omega \\
 &= 1,5 \text{ A} \\
 I_T &= I_1 = I_2 = 1,5 \text{ A}
 \end{aligned}$$

|       | Tensão | Corrente | Resistência | Potência |
|-------|--------|----------|-------------|----------|
| $R_1$ |        | 1,5 A    | 12 $\Omega$ |          |
| $R_2$ |        | 1,5 A    | 4 $\Omega$  |          |
| Total | 24 V   | 1,5 A    | 16 $\Omega$ |          |

**PASSO 4** Calcule  $E_1$  e  $E_2$  e preencha os valores na tabela.

$$\begin{aligned} E_1 &= I_1 \times R_1 \\ &= 1,5 \text{ A} \times 12 \, \Omega \\ &= 18 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_2 &= I_2 \times R_2 \\ &= 1,5 \text{ A} \times 4 \, \Omega \\ &= 6 \text{ V} \end{aligned}$$

|       | Tensão | Corrente | Resistência | Potência |
|-------|--------|----------|-------------|----------|
| $R_1$ | 18 V   | 1,5 A    | 12 $\Omega$ |          |
| $R_2$ | 16 V   | 1,5 A    | 4 $\Omega$  |          |
| Total | 24 V   | 1,5 A    | 16 $\Omega$ |          |

**PASSO 5** Calcule  $P_T$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  e preencha os valores na tabela.

$$\begin{aligned} P_T &= E_T \times I_T \\ &= 24 \text{ V} \times 1,5 \text{ A} \\ &= 36 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= E_1 \times I_1 \\ &= 18 \text{ V} \times 1,5 \text{ A} \\ &= 27 \text{ W} \end{aligned}$$

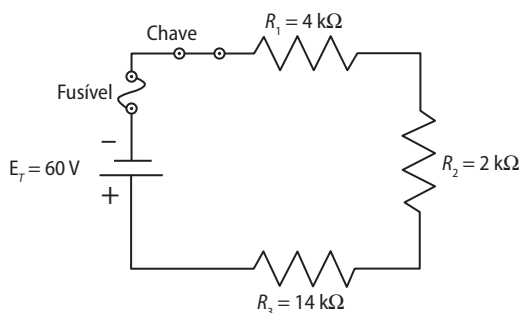
$$\begin{aligned} P_2 &= E_2 \times I_2 \\ &= 6 \text{ V} \times 1,5 \text{ A} \\ &= 9 \text{ W} \end{aligned}$$

|       | Tensão | Corrente | Resistência | Potência |
|-------|--------|----------|-------------|----------|
| $R_1$ | 18 V   | 1,5 A    | 12 $\Omega$ | 27 W     |
| $R_2$ | 16 V   | 1,5 A    | 4 $\Omega$  | 9 W      |
| Total | 24 V   | 1,5 A    | 16 $\Omega$ | 36 W     |

## >> Exemplo 1-2

*lx*

**Problema:** Encontre todos os valores desconhecidos de  $E$ ,  $I$ ,  $R$  e  $P$  para o circuito série da Figura 1-8.



**Figura 1-8** Circuito para o Exemplo 1-2.

**Solução:**

**PASSO 1** Faça uma tabela e preencha-a com todos os valores conhecidos.

|       | Tensão         | Corrente | Resistência          | Potência |
|-------|----------------|----------|----------------------|----------|
| $R_1$ |                |          | $4 \text{ k}\Omega$  |          |
| $R_2$ |                |          | $2 \text{ k}\Omega$  |          |
| $R_3$ |                |          | $14 \text{ k}\Omega$ |          |
| Total | $60 \text{ V}$ |          |                      |          |

**PASSO 2** Calcule  $R_T$  e preencha o valor na tabela.

$$\begin{aligned}
 R_T &= R_1 + R_2 + R_3 \\
 &= 4 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega + 14 \text{ k}\Omega \\
 &= 20 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

|       | Tensão         | Corrente | Resistência          | Potência |
|-------|----------------|----------|----------------------|----------|
| $R_1$ |                |          | $4 \text{ k}\Omega$  |          |
| $R_2$ |                |          | $2 \text{ k}\Omega$  |          |
| $R_3$ |                |          | $14 \text{ k}\Omega$ |          |
| Total | $60 \text{ V}$ |          | $20 \text{ k}\Omega$ |          |

**PASSO 3** Calcule  $I_T$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  e preencha os valores na tabela.

$$\begin{aligned}
 I_T &= \frac{E_T}{R_T} \\
 &= 60 \text{ V} / 20 \text{ k}\Omega \\
 &= 3 \text{ mA} \\
 I_T &= I_1 = I_2 = I_3 = 3 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

|       | Tensão | Corrente | Resistência   | Potência |
|-------|--------|----------|---------------|----------|
| $R_1$ |        | 3 mA     | 4 k $\Omega$  |          |
| $R_2$ |        | 3 mA     | 2 k $\Omega$  |          |
| $R_3$ |        | 3 mA     | 14 k $\Omega$ |          |
| Total | 60 V   | 3 mA     | 20 k $\Omega$ |          |

**PASSO 4** Calcule  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  e preencha os valores na tabela.

$$\begin{aligned}
 E_1 &= I_1 \times R_1 \\
 &= 3 \text{ mA} \times 4 \text{ k}\Omega \\
 &= 12 \text{ V} \\
 E_2 &= I_2 \times R_2 \\
 &= 3 \text{ mA} \times 2 \text{ k}\Omega \\
 &= 6 \text{ V} \\
 E_3 &= I_3 \times R_3 \\
 &= 3 \text{ mA} \times 14 \text{ k}\Omega \\
 &= 42 \text{ V}
 \end{aligned}$$

|       | Tensão | Corrente | Resistência   | Potência |
|-------|--------|----------|---------------|----------|
| $R_1$ | 12 V   | 3 mA     | 4 k $\Omega$  |          |
| $R_2$ | 6 V    | 3 mA     | 2 k $\Omega$  |          |
| $R_3$ | 42 V   | 3 mA     | 14 k $\Omega$ |          |
| Total | 60 V   | 3 mA     | 20 k $\Omega$ |          |

**PASSO 5** Calcule  $P_T$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  e preencha os valores na tabela.

$$\begin{aligned}
 P_T &= E_T \times I_T \\
 &= 60 \text{ V} \times 3 \text{ mA} \\
 &= 180 \text{ mW} \\
 P_1 &= E_1 \times I_1 \\
 &= 12 \text{ V} \times 3 \text{ mA} \\
 &= 36 \text{ mW}
 \end{aligned}$$

## >> Exemplo 1-2 Continuação

lx

$$\begin{aligned} P_2 &= E_2 \times I_2 \\ &= 6 \text{ V} \times 3 \text{ mA} \\ &= 18 \text{ mW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 &= E_3 \times I_3 \\ &= 42 \text{ V} \times 3 \text{ mA} \\ &= 126 \text{ mW} \end{aligned}$$

|       | Tensão | Corrente | Resistência   | Potência |
|-------|--------|----------|---------------|----------|
| $R_1$ | 12 V   | 3 mA     | 4 k $\Omega$  | 36 mW    |
| $R_2$ | 6 V    | 3 mA     | 2 k $\Omega$  | 18 mW    |
| $R_3$ | 42 V   | 3 mA     | 14 k $\Omega$ | 126 mW   |
| Total | 60 V   | 3 mA     | 20 k $\Omega$ | 180 mW   |

## >> Exemplo 1-3

lx

**Problema:** Encontre todos os valores desconhecidos de E, I, R e P para o circuito série da Figura 1-9.

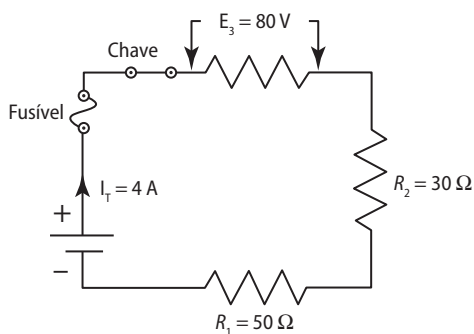


Figura 1-9 Circuito para o Exemplo 1-3.

**Solução:****PASSO 1** Faça uma tabela e preencha-a com todos os valores conhecidos.

|       | Tensão        | Corrente     | Resistência  | Potência |
|-------|---------------|--------------|--------------|----------|
| $R_1$ |               |              | $50\ \Omega$ |          |
| $R_2$ |               |              | $30\ \Omega$ |          |
| $R_3$ | $80\text{ V}$ |              |              |          |
| Total |               | $4\text{ A}$ |              |          |

**PASSO 2** Calcule  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  e preencha os valores na tabela.

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = 4\text{ A}$$

|       | Tensão        | Corrente     | Resistência  | Potência |
|-------|---------------|--------------|--------------|----------|
| $R_1$ |               | $4\text{ A}$ | $50\ \Omega$ |          |
| $R_2$ |               | $4\text{ A}$ | $30\ \Omega$ |          |
| $R_3$ | $80\text{ V}$ | $4\text{ A}$ |              |          |
| Total |               | $4\text{ A}$ |              |          |

**PASSO 3** Calcule  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_T$  e preencha os valores na tabela.

$$\begin{aligned}E_1 &= I_1 \times R_1 \\&= 4\text{ A} \times 50\ \Omega \\&= 200\text{ V}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E_2 &= I_2 \times R_2 \\&= 4\text{ A} \times 30\ \Omega \\&= 120\text{ V}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E_T &= E_1 + E_2 + E_3 \\&= 200\text{ V} + 120\text{ V} + 80\text{ V} \\&= 400\text{ V}\end{aligned}$$

|       | Tensão         | Corrente     | Resistência  | Potência |
|-------|----------------|--------------|--------------|----------|
| $R_1$ | $200\text{ V}$ | $4\text{ A}$ | $50\ \Omega$ |          |
| $R_2$ | $120\text{ V}$ | $4\text{ A}$ | $30\ \Omega$ |          |
| $R_3$ | $80\text{ V}$  | $4\text{ A}$ |              |          |
| Total | $400\text{ V}$ | $4\text{ A}$ |              |          |

### >> Exemplo 1-3 Continuação

**PASSO 4** Calcule  $R_3$ ,  $R_T$  e preencha os valores na tabela.

$$\begin{aligned} R_3 &= E_3 \div I_3 \\ &= 80 \text{ V} \div 4 \text{ A} \\ &= 20 \, \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_T &= E_T / I_T \\ &= 400 \text{ V} \div 4 \text{ A} \\ &= 100 \, \Omega \end{aligned}$$

|       | Tensão | Corrente | Resistência  | Potência |
|-------|--------|----------|--------------|----------|
| $R_1$ | 200 V  | 4 A      | 50 $\Omega$  |          |
| $R_2$ | 120 V  | 4 A      | 30 $\Omega$  |          |
| $R_3$ | 80 V   | 4 A      | 20 $\Omega$  |          |
| Total | 400 V  | 4 A      | 100 $\Omega$ |          |

**PASSO 5** Calcule  $P_T$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  e preencha os valores na tabela.

$$\begin{aligned} P_T &= E_T \times I_T \\ &= 400 \text{ V} \times 4 \text{ A} \\ &= 1600 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= E_1 \times I_1 \\ &= 200 \text{ V} \times 4 \text{ A} \\ &= 800 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= E_2 \times I_2 \\ &= 120 \text{ V} \times 4 \text{ A} \\ &= 480 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 &= E_3 \times I_3 \\ &= 80 \text{ V} \times 4 \text{ A} \\ &= 320 \text{ W} \end{aligned}$$

|       | Tensão | Corrente | Resistência  | Potência |
|-------|--------|----------|--------------|----------|
| $R_1$ | 200 V  | 4 A      | 50 $\Omega$  | 800 W    |
| $R_2$ | 120 V  | 4 A      | 30 $\Omega$  | 480 W    |
| $R_3$ | 80 V   | 4 A      | 20 $\Omega$  | 320 W    |
| Total | 400 V  | 4 A      | 100 $\Omega$ | 1600 W   |



## >> Polaridade de circuitos série CC

Toda fonte de tensão CC tem terminais positivo e negativo que estabelecem a polaridade no circuito. Cada componente em um circuito série CC (fusível, chave, carga, etc.) terá um lado de polaridade positiva (+) e um lado de polaridade negativa (-). O lado do componente mais próximo do terminal positivo da fonte de tensão é o lado positivo (+) e o lado mais próximo do terminal negativo da fonte é o lado negativo (-) (Figura 1-10).

A polaridade da queda de tensão através de um resistor (carga) depende do sentido do fluxo de corrente que circula por ele. A corrente entra pelo lado positivo do resistor e sai pelo lado negativo. A Figura 1-11 ilustra a relação entre o sentido da corrente e a polaridade da tensão através de cargas de um circuito CC série. Os lados positivo e negativo de uma carga não têm relação com os lados positivo e negativo de qualquer outra carga. Um ponto é positivo ou negativo apenas em relação a outro ponto:

O ponto A é negativo em relação ao ponto B.

O ponto B é negativo em relação ao ponto C.

O ponto C é negativo em relação ao ponto D.

Em alguns circuitos CC, um ponto no circuito é definido como referência ou terra comum e todas as tensões são medidas em relação a esse ponto. Isso é ilustrado no circuito divisor de tensão da Figura 1-12. Usando um ponto de referência comum, podem-se obter tensões de saída positivas e negativas, dependendo de qual ponto no circuito é ponto de referência ou terra comum.

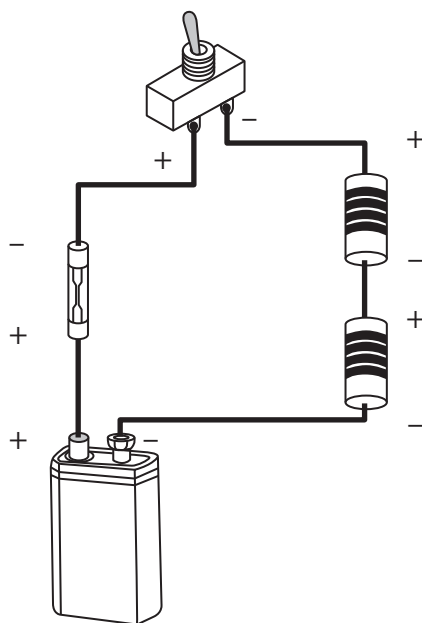
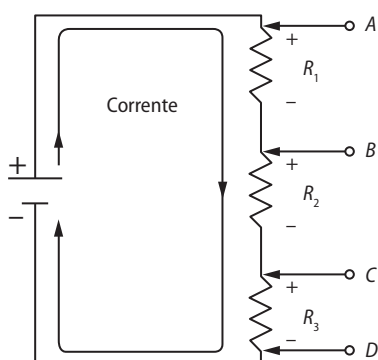
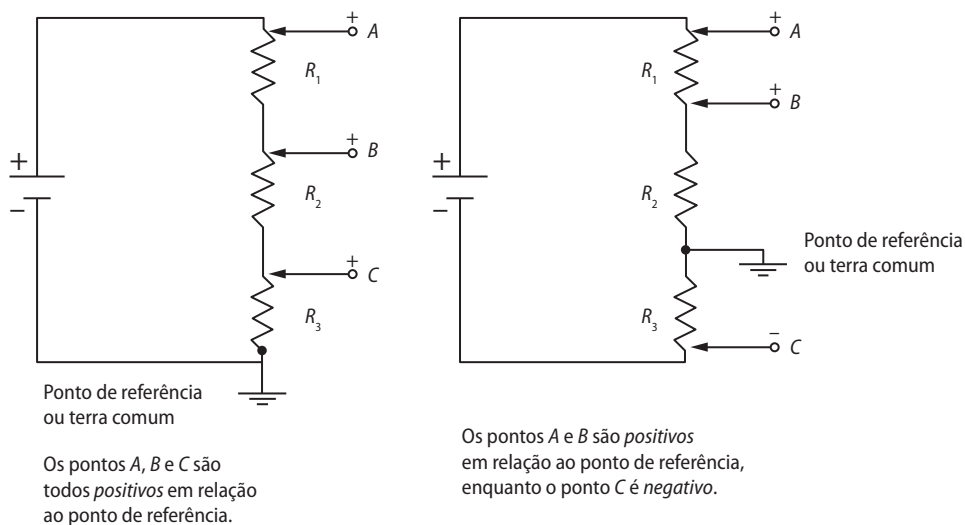


Figura 1-10 Polaridade de circuitos série CC.



**Figura 1-11** Relação entre o sentido da corrente e a polaridade.

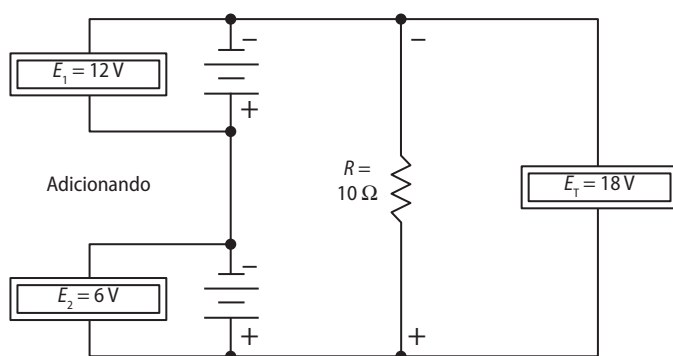


**Figura 1-12** Circuito com ponto de referência ou terra comum.

## » Fontes de tensão série aditiva e série subtrativa

Alguns circuitos podem conter mais do que uma fonte de tensão. Quando esse é o caso, as fontes de tensão podem ser conectadas nas formas série aditiva ou série subtrativa. Fontes de tensão na forma série aditiva são conectadas com as polaridades de modo a permitir o fluxo de corrente no mesmo sentido. O terminal positivo de uma fonte de tensão é conectado ao terminal negativo da outra como mostrado na Figura 1-13. Tensões série aditiva são somadas para obter a tensão equivalente total.

Quando fontes de alimentação são conectadas na forma série aditiva, a tensão total é igual à soma das tensões individuais de cada fonte. Para encontrar a corrente em um circuito contendo fontes conectadas em série aditiva, devemos primeiramente determinar a tensão total.



**Figura 1-13** Tensões série aditiva.

Uma vez determinada, a lei de Ohm para corrente pode ser aplicada conforme a seguir para encontrar a corrente no circuito:

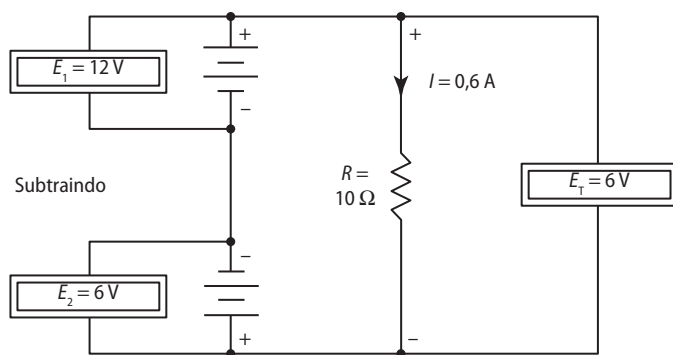
$$I_T = \frac{E_T}{R_T}$$

(Para o circuito da Figura 1-13)

$$\begin{aligned} E_T &= E_1 + E_2 \\ &= 12 \text{ V} + 6 \text{ V} \\ &= 18 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_T &= \frac{E_T}{R_T} \\ &= 18 \text{ V} / 10 \Omega \\ &= 1,8 \text{ A} \end{aligned}$$

Fontes de tensão série subtrativa são conectadas com as polaridades de modo a permitir o fluxo de corrente em sentidos opostos. O terminal positivo de uma fonte de tensão é conectado ao terminal positivo da outra, como mostrado na Figura 1-14. Tensões série subtrativa são sub-



**Figura 1-14** Tensões série subtrativa.

traídas para obter a tensão equivalente total. Subtraia o menor valor de tensão do maior valor e dê à tensão equivalente a polaridade da fonte de tensão de maior valor. Se as duas tensões são iguais, a tensão e a corrente líquidas serão nulas.

## » Resistência da fonte de tensão

Uma fonte de tensão ideal mantém uma tensão de saída constante independentemente da resistência da carga ou do valor de corrente drenado dela. A Figura 1-15 ilustra as características de uma fonte de tensão ideal. A tensão sem carga (a vazio) através dos terminais abertos da fonte é 100 V. Quando várias cargas, com diferentes resistências, são conectadas à fonte, ela mantém os mesmos 100 V na saída.

Todas as fontes de tensão têm alguma resistência interna, tal como os condutores nas bobinas de um gerador ou os produtos químicos em uma bateria. A resistência interna de uma fonte de tensão real pode ser representada como uma resistência em série com uma fonte de tensão ideal, como ilustrado na Figura 1-16. Normalmente, essa resistência é muito pequena se comparada àquela da carga e tem um pequeno efeito na operação do circuito. No entanto, quando a resistência interna torna-se uma parte significativa da resistência total do circuito, devemos levá-la em consideração. Por exemplo, um alto valor de resistência interna de uma bateria indi-

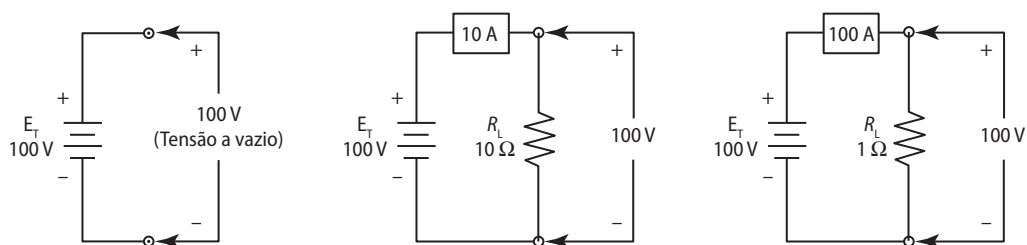


Figura 1-15 Características de uma fonte de tensão ideal.

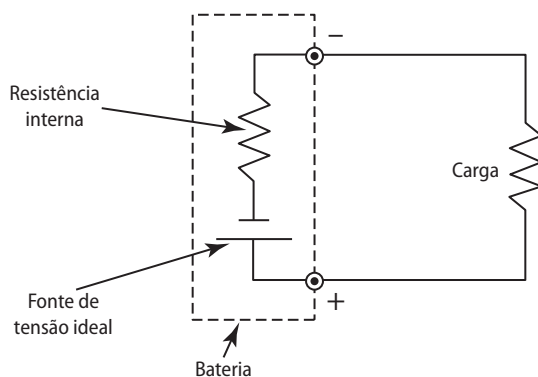


Figura 1-16 Resistência interna de uma fonte de tensão ideal.

ca uma bateria ruim. Esse é o caso quando ocorre uma queda substancial da tensão da bateria, quando uma carga normal é conectada aos seus terminais. Como a resistência interna da fonte está dentro da própria fonte, sua queda de tensão também é interna.

>> Exemplo 1-4

ex

**Problema:** A fonte de tensão da Figura 1-17 tem uma tensão a vazio de 100 V. Sua resistência interna é 0,5 Ω. Calcule a tensão nos terminais de saída da fonte quando uma carga de 10 Ω é conectada a ela.

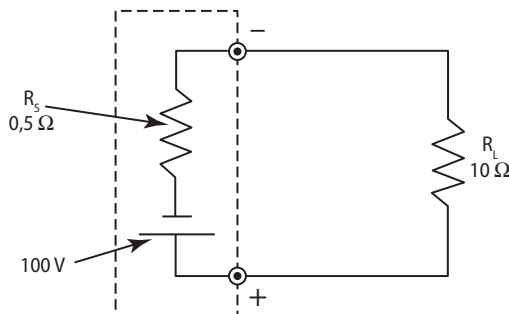


Figura 1-17 Circuito para o Exemplo 1-4.

**Solução:**

**PASSO 1** Faça uma tabela e preencha-a com todos os valores conhecidos.

|       | Tensão | Corrente | Resistência |
|-------|--------|----------|-------------|
| $R_s$ |        |          | 0,5 Ω       |
| $R_L$ |        |          | 10 Ω        |
| Total | 100 V  |          |             |

**PASSO 2** Calcule  $R_T$  e preencha o valor na tabela.

$$\begin{aligned} R_T &= R_s + R_L \\ &= 0,5 \text{ V} + 10 \text{ V} \\ &= 10,5 \text{ V} \end{aligned}$$

|       | Tensão | Corrente | Resistência |
|-------|--------|----------|-------------|
| $R_s$ |        |          | 0,5 Ω       |
| $R_L$ |        |          | 10 Ω        |
| Total | 100 V  |          | 10,5 Ω      |

## >> Exemplo 1-4 Continuação

ex

**PASSO 3** Calcule  $I_T$ ,  $I_S$ ,  $I_L$  e preencha os valores na tabela.

$$\begin{aligned}I_T &= \frac{E_T}{R_T} \\&= 100 \text{ V} / 10,5 \Omega \\&= 9,52 \text{ A} \\I_T &= I_1 = I_2 = 9,52 \text{ A}\end{aligned}$$

|       | Tensão | Corrente | Resistência   |
|-------|--------|----------|---------------|
| $R_S$ |        | 9,52 A   | 0,5 $\Omega$  |
| $R_L$ |        | 9,52 A   | 10 $\Omega$   |
| Total | 100 V  | 9,52 A   | 10,5 $\Omega$ |

**PASSO 4** Calcule  $E_S$ ,  $E_L$  e preencha os valores na tabela.

$$\begin{aligned}E_S &= I_S \times R_S \\&= 9,52 \text{ A} \times 0,5 \Omega \\&= 4,76 \text{ V} \\E_L &= I_L \times R_L \\&= 9,52 \text{ A} \times 10 \Omega \\&= 95,2 \text{ V}\end{aligned}$$

|       | Tensão | Corrente | Resistência   |
|-------|--------|----------|---------------|
| $R_S$ | 4,76 V | 9,52 A   | 0,5 $\Omega$  |
| $R_L$ | 95,2 V | 9,52 A   | 10 $\Omega$   |
| Total | 100 V  | 9,52 A   | 10,5 $\Omega$ |

Portanto, a tensão nos terminais de saída da fonte com uma carga de 10  $\Omega$  é 95,2 volts.

## >> Resistência série do fio

Embora a resistência de condutores elétricos seja muito baixa, um comprimento longo de fio pode provocar uma queda de tensão significativa. A queda de tensão através dos condutores de um circuito é diretamente proporcional à resistência dos condutores e à corrente que circula por eles. Quando a resistência do condutor precisa ser levada em consideração, assume-se que ela está conectada em série com a carga, conforme ilustrado na Figura 1-18.

A tabela a seguir mostra todos os valores dados e calculados de tensão, corrente, resistência e potência para o circuito da Figura 1-18.

|       | Tensão | Corrente | Resistência  | Potência |
|-------|--------|----------|--------------|----------|
| $R_1$ | 20 V   | 20 A     | $1\ \Omega$  | 400 W    |
| $R_2$ | 20 V   | 20 A     | $1\ \Omega$  | 400 W    |
| $R_L$ | 200 V  | 20 A     | $10\ \Omega$ | 4000 W   |
| Total | 240 V  | 20 A     | $12\ \Omega$ | 4800 W   |

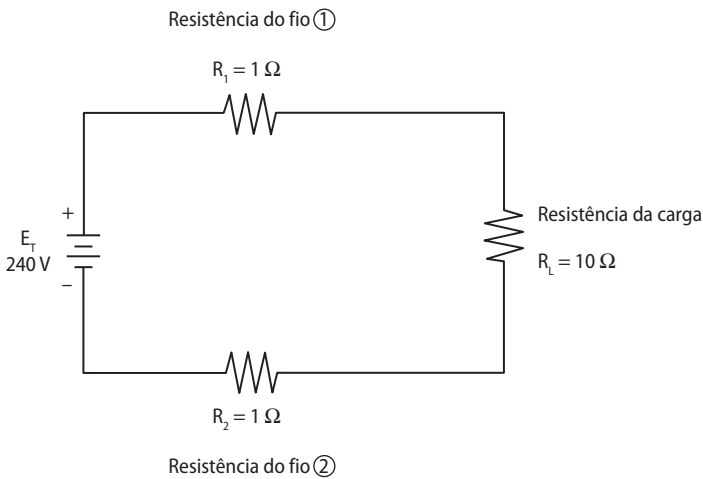


Figura 1-18 Resistência série do fio.

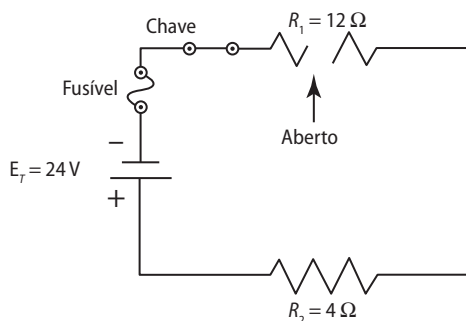
## >> Solução de problemas em um circuito série

A solução de problemas envolve a localização e o reparo de uma ou mais falhas em um circuito. Muitas vezes, as falhas podem ser detectadas utilizando seus sentidos (visão, olfato, audição e tato). Por exemplo, quando um componente está aberto, a falha é, em geral, resultado de uma corrente excessiva e o componente pode emitir um cheiro se estiver começando a queimar ou, ainda, descolorir devido ao calor excessivo gerado.

Nos casos em que um problema não é evidente aos sentidos, o circuito deve ser testado usando equipamentos de teste padrão para localizar qualquer falha. Utilizando a lei de Ohm, você pode prever quais alterações vão ocorrer em um circuito sob diferentes condições de falha. Essa informação pode ser muito útil para identificar a causa de um problema. Como um exemplo, vamos usar um dos circuitos série estudados anteriormente e examinar como diferentes falhas podem afetar tensão, corrente, resistência e potência.

## >> Exemplo 1-5

**Problema:** Suponha que o componente  $R_1$  do circuito série mostrado na Figura 1-19 está aberto.



**Figura 1-19** Componente  $R_1$  aberto.

**Solução:** A tabela mostra as condições do circuito com  $R_1$  aberto.

|       | Tensão | Corrente | Resistência | Potência |
|-------|--------|----------|-------------|----------|
| $R_1$ | 24 V   | 0        | infinito    | 0        |
| $R_2$ | 0 V    | 0        | $4 \Omega$  | 0        |
| Total | 24 V   | 0        | infinito    | 0        |

O circuito foi testado sendo obtidos os resultados apresentados na tabela. Como se pode perceber a partir dos resultados do teste, com uma das cargas aberta em um circuito série:

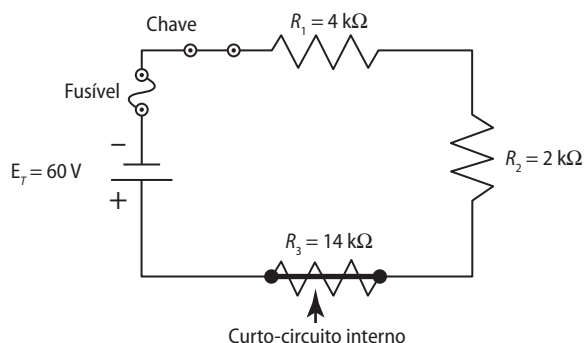
- Não há fluxo de corrente; portanto, não é dissipada qualquer potência.
- Toda a tensão da fonte pode ser medida entre os terminais da carga aberta.
- Todas as tensões através dos outros componentes são iguais a 0 V.
- A resistência total do circuito e aquela do componente aberto é infinita.



## » Exemplo 1-6

ex

**Problema:** Suponha que o componente  $R_3$  do circuito série mostrado na Figura 1-20 possui um curto interno.



**Figura 1-20** Componente  $R_3$  com curto-circuito interno.

**Solução:** O circuito foi testado, sendo obtidos os resultados apresentados na tabela.

|       | Tensão | Corrente | Resistência | Potência |
|-------|--------|----------|-------------|----------|
| $R_1$ | 40 V   | 10 mA    | 4 kΩ        | 400 mW   |
| $R_2$ | 20 V   | 10 mA    | 2 kΩ        | 200 mW   |
| $R_3$ | 0 V    | 10 mA    | 0           | 0        |
| Total | 60 V   | 10 mA    | 6 kΩ        | 600 mW   |

Como se pode perceber a partir dos resultados do teste, com uma das cargas curto-circuitada em um circuito série:

- A resistência total do circuito diminui, provocando um aumento proporcional na corrente total do circuito.
- A tensão através do componente curto-circuitado é zero e as tensões através dos outros componentes de carga aumentam.
- A potência total dissipada pelo circuito e a potência dissipada pelos outros componentes de carga aumentam.

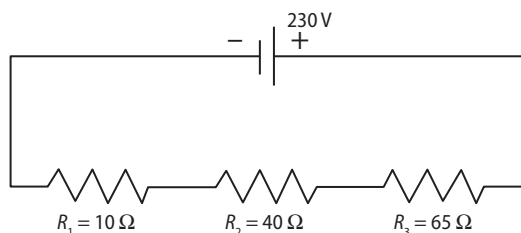
Deve-se notar que um curto-circuito em qualquer componente de um circuito série pode resultar na danificação de outros componentes devido a uma corrente excessiva. Por exemplo, o aumento da corrente no circuito poderia queimar e abrir outro componente, caso a dissipação de potência exceda a potência nominal desse componente. Se um circuito série defeituoso contém um componente queimado ou um fusível aberto, há uma boa chance de existir algum

componente curto-circuitado em algum ponto do circuito. Quando qualquer uma dessas condições existe, os outros componentes no circuito devem ser testados antes de se assumir que o circuito está reparado.

Nem todos os componentes falham devido aos curtos-circuitos ou circuitos abertos. Em alguns casos, a operação de um circuito pode ser afetada em menor grau pela falha parcial de um componente mais velho. Isso pode causar uma alteração no valor normal de resistência do componente ou uma fuga de corrente indesejada através do dispositivo.

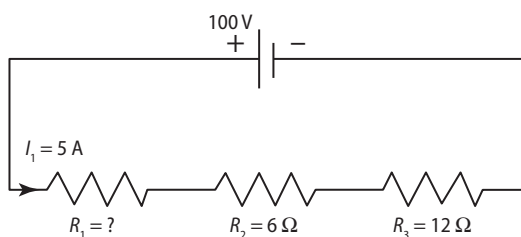
## » Questões de revisão

11. (a) Encontre todos os valores desconhecidos de E, I, R e P para o circuito série mostrado.  
(b) Construa uma tabela e preencha-a com os valores dados e calculados.  
(c) Mostre todos os passos e as equações usadas para chegar a suas respostas.



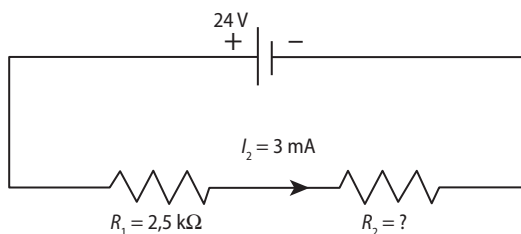
**Figura 1-21** Circuito para a Questão de revisão 11.

12. (a) Encontre todos os valores desconhecidos de E, I, R e P para o circuito série mostrado.  
(b) Construa uma tabela e preencha-a com os valores dados e calculados.  
(c) Mostre todos os passos e as equações usadas para chegar a suas respostas.



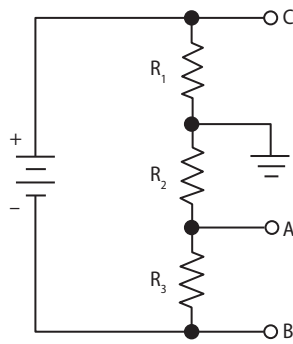
**Figura 1-22** Circuito para a Questão de revisão 12.

13. (a) Encontre todos os valores desconhecidos de E, I, R e P para o circuito série mostrado.
- (b) Construa uma tabela e preencha-a com os valores dados e calculados.
- (c) Mostre todos os passos e as equações usadas para chegar a suas respostas.



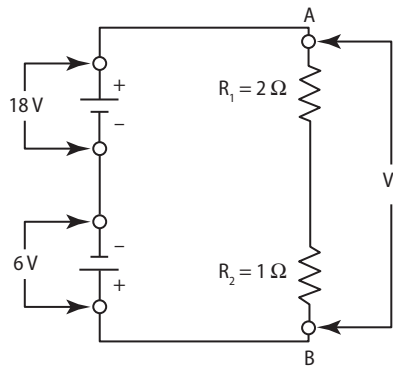
**Figura 1-23** Circuito para a Questão de revisão 13.

14. Para o circuito série mostrado, qual é a polaridade do:
  - (a) ponto A em relação ao terra comum?
  - (b) ponto B em relação ao terra comum?
  - (c) ponto C em relação ao terra comum?



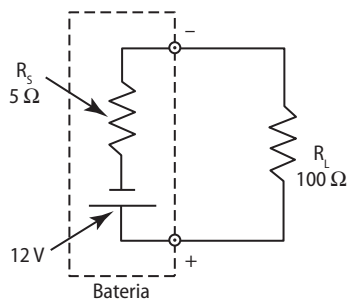
**Figura 1-24** Circuito para a Questão de revisão 14.

15. Com relação às duas fontes de tensão mostradas:
- As duas fontes de tensão estão conectadas na forma série aditiva ou série subtrativa?
  - Qual é o valor da tensão total  $E_T$  aplicada ao circuito?
  - Qual é a polaridade do ponto A em relação ao ponto B?
  - Qual é o valor da corrente  $I_1$ ?
  - Qual é o valor da corrente  $I_2$ ?



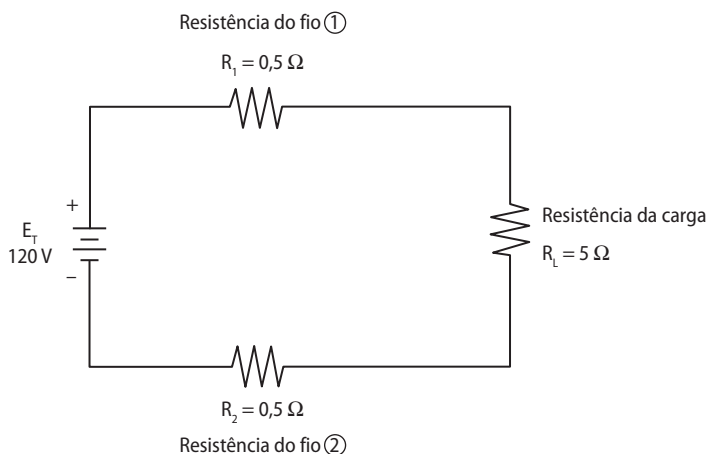
**Figura 1-25** Circuito para a Questão de revisão 15.

16. A tensão a vazio (sem carga) da bateria mostrada é 12 V. Calcule o valor de  $E_L$  (tensão na carga) para uma resistência de carga de  $100\ \Omega$ . Construa uma tabela e preencha-a com os valores dados e calculados de  $E$ ,  $I$  e  $R$ .



**Figura 1-26** Circuito para a Questão de revisão 16.

17. Para o circuito mostrado, a tensão na carga deve ser determinada considerando-se a resistências dos fios de alimentação. Construa uma tabela e preencha-a com os valores dados e calculados de  $E$ ,  $I$  e  $R$ .



**Figura 1-27** Circuito para a Questão de revisão 17.

18. Quando um componente abre em um circuito série:
- O que acontece com o fluxo de corrente?
  - Quanto de potência é dissipada pelo circuito?
  - Qual valor de tensão pode ser medido através do componente aberto?
  - Qual valor de tensão pode ser medido através dos outros componentes de carga?
  - Qual valor de resistência total pode ser medido?

19. Quando um curto ocorre em um componente de um circuito série:
- (a) O que acontece com o fluxo de corrente?
  - (b) O que acontece com a resistência total do circuito?
  - (c) Qual valor de tensão pode ser medido através do componente em curto?
  - (d) O que acontece com a tensão através dos outros componentes de carga?
  - (e) O que acontece com a potência total dissipada pelo circuito e pelos outros componentes?

## » Tópicos de discussão do capítulo e questões de pensamento crítico

1. Duas lâmpadas de 12 V e 10 W são conectadas em série com uma fonte de  $24V_{cc}$ . Se o filamento de uma lâmpada queima (abre), a outra lâmpada vai acender? Com o circuito aberto, qual é a tensão através da fonte e através de cada lâmpada?
2. Um circuito tem três resistores conectados em série. O resistor  $R_2$  tem uma resistência de  $22\ \Omega$  e uma queda de tensão de 88 V. Qual é o valor da corrente através do resistor  $R_3$ ?
3. Um circuito série é frequentemente referido como um divisor de tensão. Por quê?
4. Assuma que uma de três lâmpadas conectadas em série é curto-circuitada. Explique qual efeito isso terá sobre as outras duas lâmpadas.
5. Uma pilha "AA" típica tem uma tensão nominal de 1,5 V. Considerando que essa fonte de tensão não tenha qualquer resistência interna, qual seria o valor da corrente caso a pilha fosse curto-circuitada com um carga de  $0,001\ \Omega$ ?
6. Ao colocar quatro pilhas de 1,5 V em uma lanterna você, acidentalmente, colocou uma delas ao contrário. Qual será o valor da tensão resultante disponível para operar a lâmpada da lanterna?