



Universidade de São Paulo (USP), Escola
de Engenharia de Lorena (EEL),
Curso de Engenharia Física



Circuitos Elétricos - teoria e prática (LOM3262)

Prof. Dr. Andy Blanco Rodriguez

**Lorena-SP
2025/2**



- Linearidade;
- Superposição;
- Transformação de fontes;
- Teorema de Thévenin;
- Teorema de Norton;
- Máxima Transferência de Potência.



Linearidade

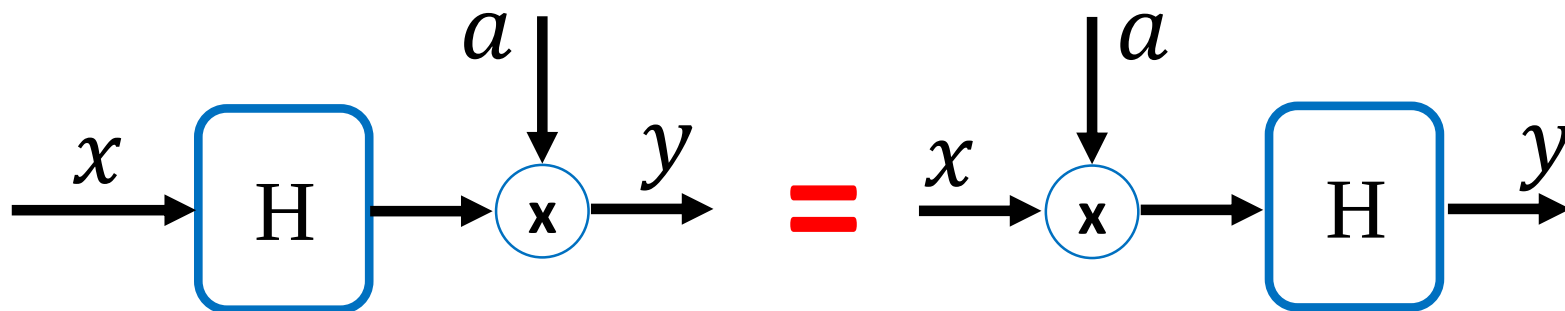
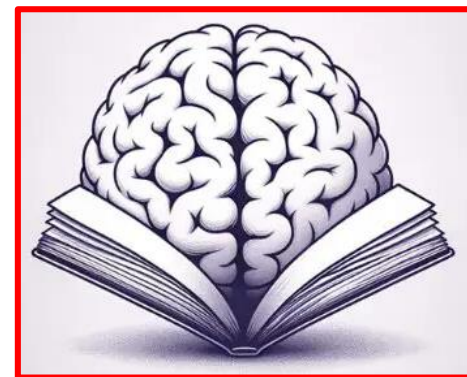


Linearidade

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Homogeneidade e Aditividade.

$$aH\{x[n]\} = H\{ax[n]\}$$





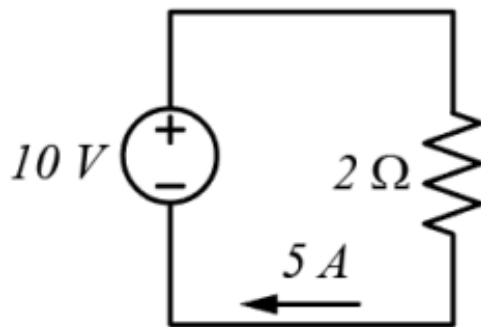
Linearidade

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Homogeneidade e Aditividade.

$$V = I \cdot R$$

$$V \propto I$$



$$10 = 2I$$

$$I = 5 A$$



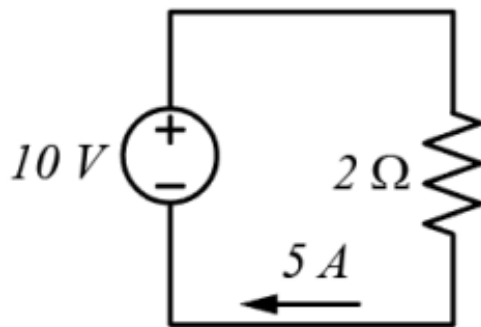
Linearidade

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Homogeneidade e Aditividade.

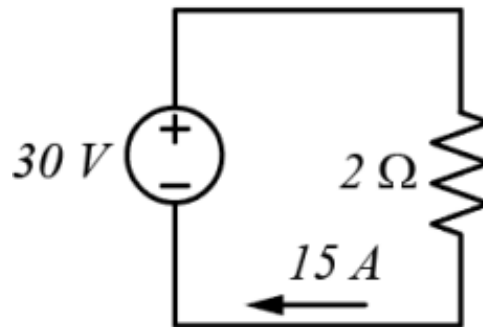
$$V = I \cdot R$$

$$V \propto I$$



$$10 = 2I$$

$$I = 5 A$$



$$30 = 2I$$

$$I = 15 A$$



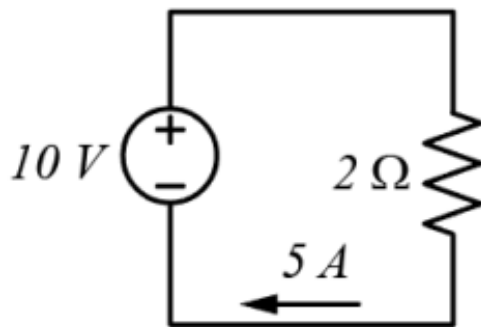
Linearidade

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Homogeneidade e Aditividade.

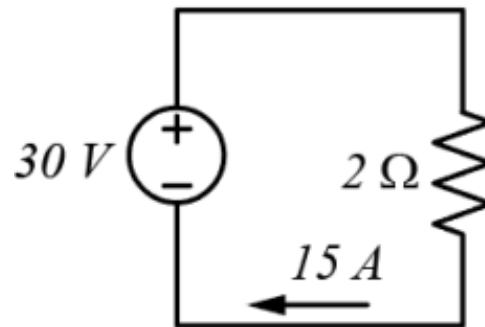
$$V = I \cdot R$$

$$V \propto I$$



$$10 = 2I$$

$$I = 5 \text{ A}$$



$$30 = 2I$$

$$I = 15 \text{ A}$$

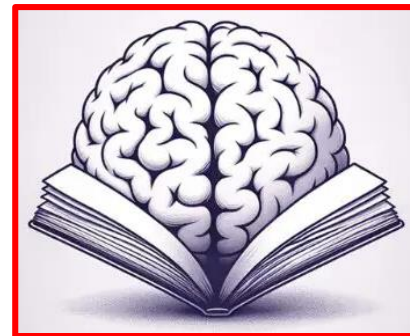
**A resposta é
proporcional ao
estímulo**

$$\frac{30}{10} = \frac{15}{5} = 3$$

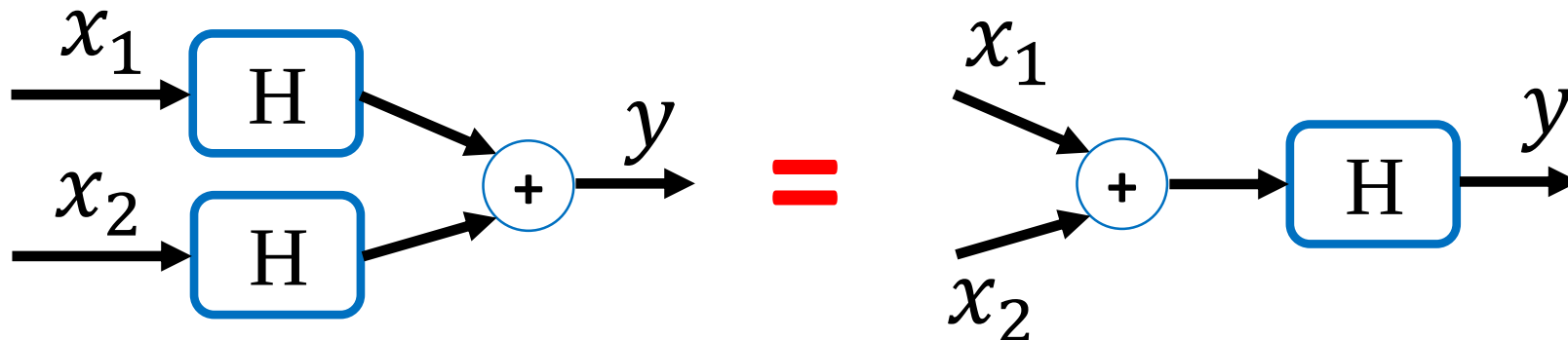
Linearidade

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Homogeneidade e **Aditividade**.



$$H\{x_1[n]\} + H\{x_2[n]\} = H\{x_1[n] + x_2[n]\}$$

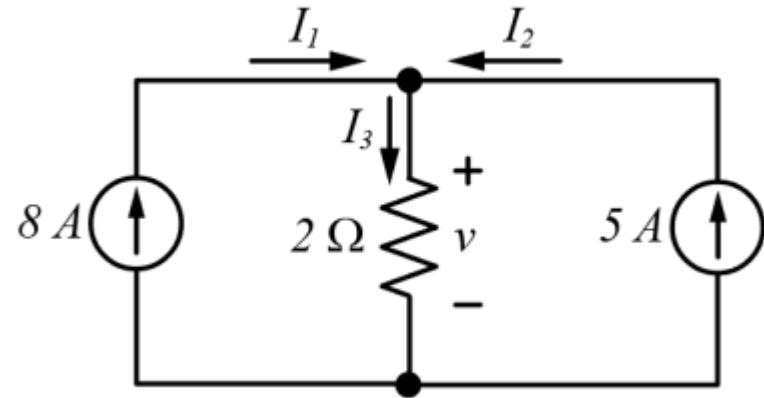




Linearidade

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Homogeneidade e **Aditividade**.





Linearidade

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Homogeneidade e **Aditividade**.

A resposta da soma de entradas:

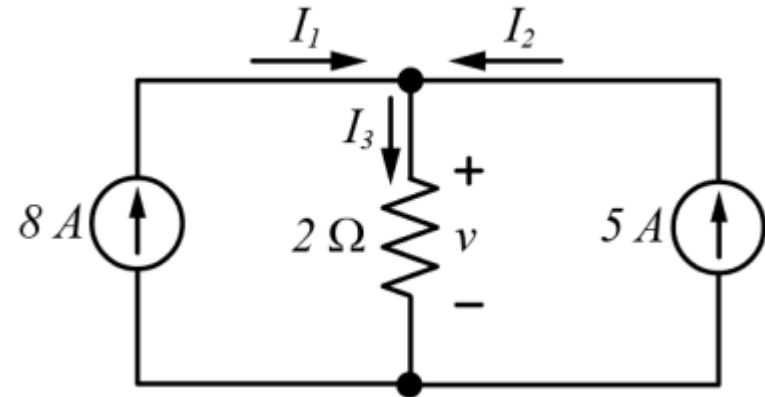
$$v = I_3 \cdot R$$

$$v = (I_1 + I_2)R$$

$$v = I_1 R + I_2 R$$

$$v = 8 \cdot 2 + 5 \cdot 2$$

$$v = 26 \text{ V}$$





Linearidade

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Homogeneidade e **Aditividade**.

A resposta da soma de entradas:

$$v = I_3 \cdot R$$

$$v = (I_1 + I_2)R$$

$$v = I_1 R + I_2 R$$

$$v = 8 \cdot 2 + 5 \cdot 2$$

$$v = 26 \text{ V}$$

Soma das respostas de cada entrada:

$$v_1 = I_1 \cdot R$$

$$v_1 = 8 \cdot 2$$

$$v_1 = 16 \text{ V}$$

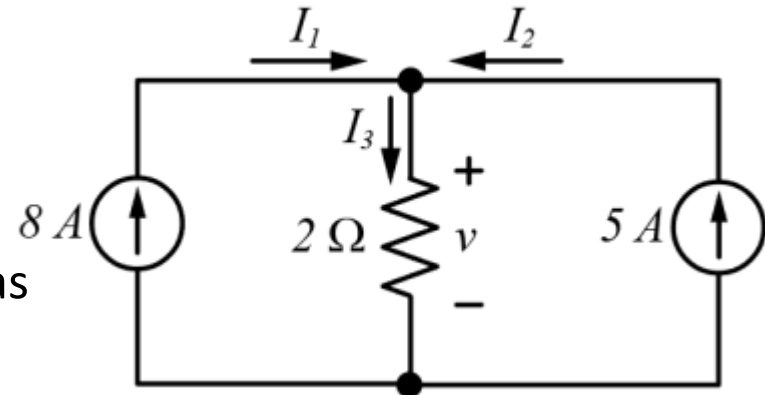
$$v = v_1 + v_2$$

$$v_2 = I_2 \cdot R$$

$$v_2 = 5 \cdot 2$$

$$v_2 = 10 \text{ V}$$

$$v = 26 \text{ V}$$





Linearidade

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Homogeneidade e **Aditividade**.

A resposta da soma de entradas:

$$v = I_3 \cdot R$$

$$v = (I_1 + I_2)R$$

$$v = I_1 R + I_2 R$$

$$v = 8 \cdot 2 + 5 \cdot 2$$

$$v = 26 \text{ V}$$

Soma das respostas de cada entrada:

$$v_1 = I_1 \cdot R$$

$$v_1 = 8 \cdot 2$$

$$v_1 = 16 \text{ V}$$

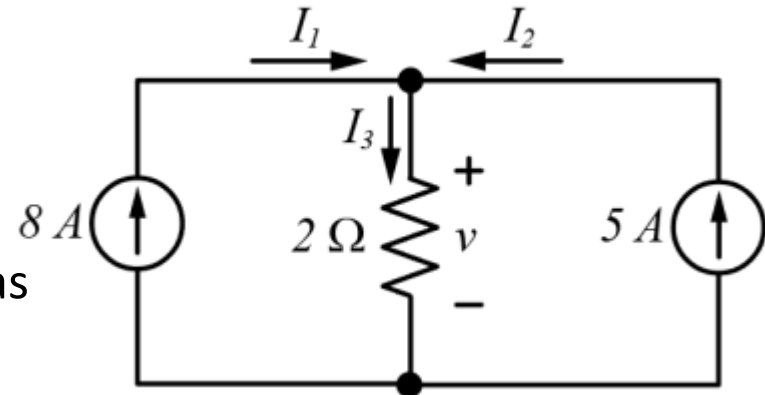
$$v = v_1 + v_2$$

$$v_2 = I_2 \cdot R$$

$$v_2 = 5 \cdot 2$$

$$v_2 = 10 \text{ V}$$

$$v = 26 \text{ V}$$



A resposta para a soma de entradas é igual a soma das respostas a cada entrada aplicada separadamente.



Superposição



Superposição

O princípio da superposição afirma que a tensão (ou corrente) em um elemento de **circuito linear** é a **soma algébrica das tensões (ou correntes)** naquele elemento produzidas isoladamente por cada uma das fontes independentes.



Superposição

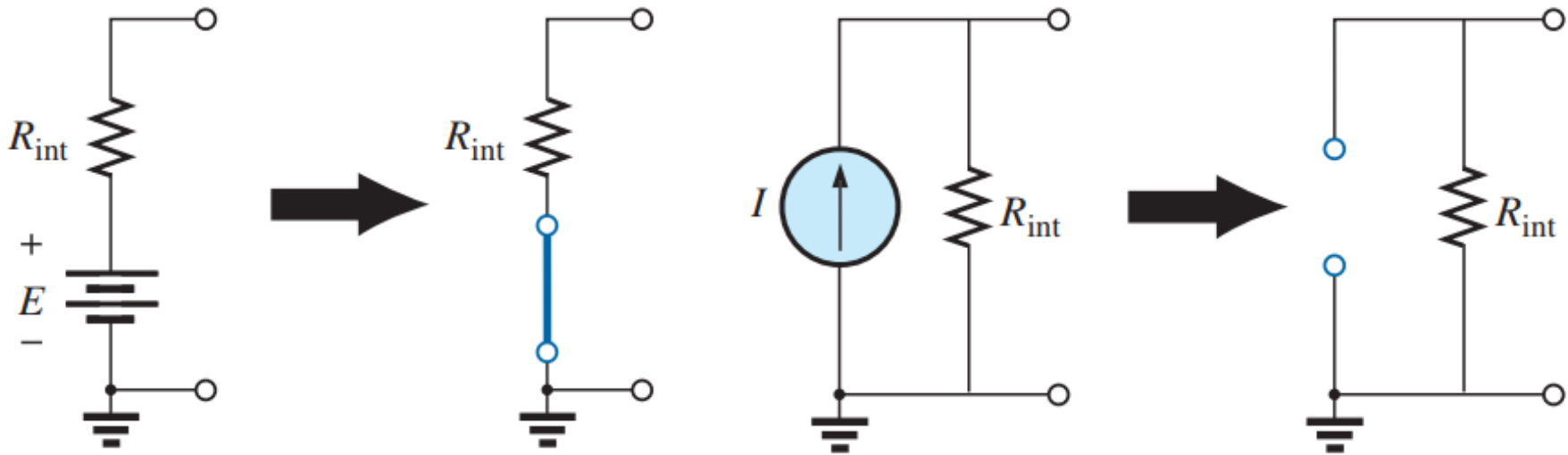
Procedimento

1. Deixar apenas **uma fonte independente** (tensão ou corrente) **ativa** no circuito, e **calcular a resposta em função dessa fonte**.

Superposição

Procedimento

1. Deixar apenas **uma fonte independente** (tensão ou corrente) **ativa** no circuito, e **calcular a resposta em função dessa fonte**.

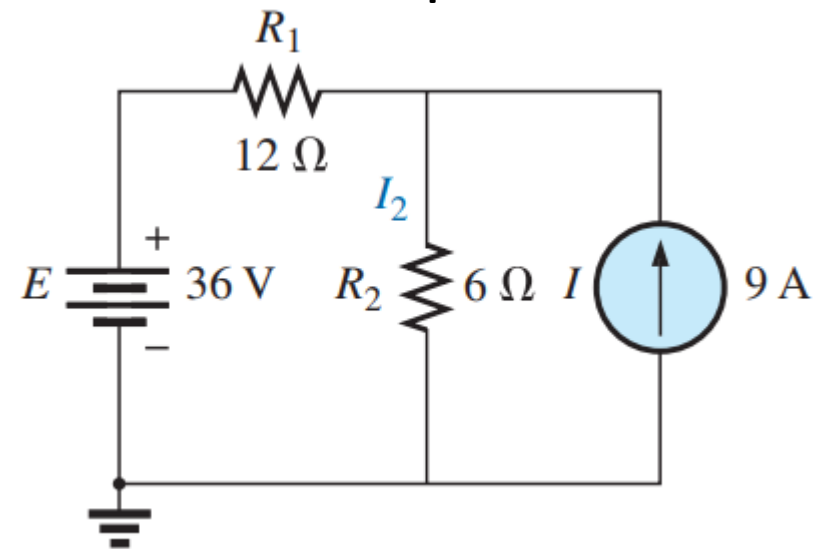


Superposição

Procedimento

1. Deixar apenas **uma fonte independente** (tensão ou corrente) **ativa** no circuito, e calcular a resposta em função dessa fonte.

Exemplo



Superposição

Procedimento

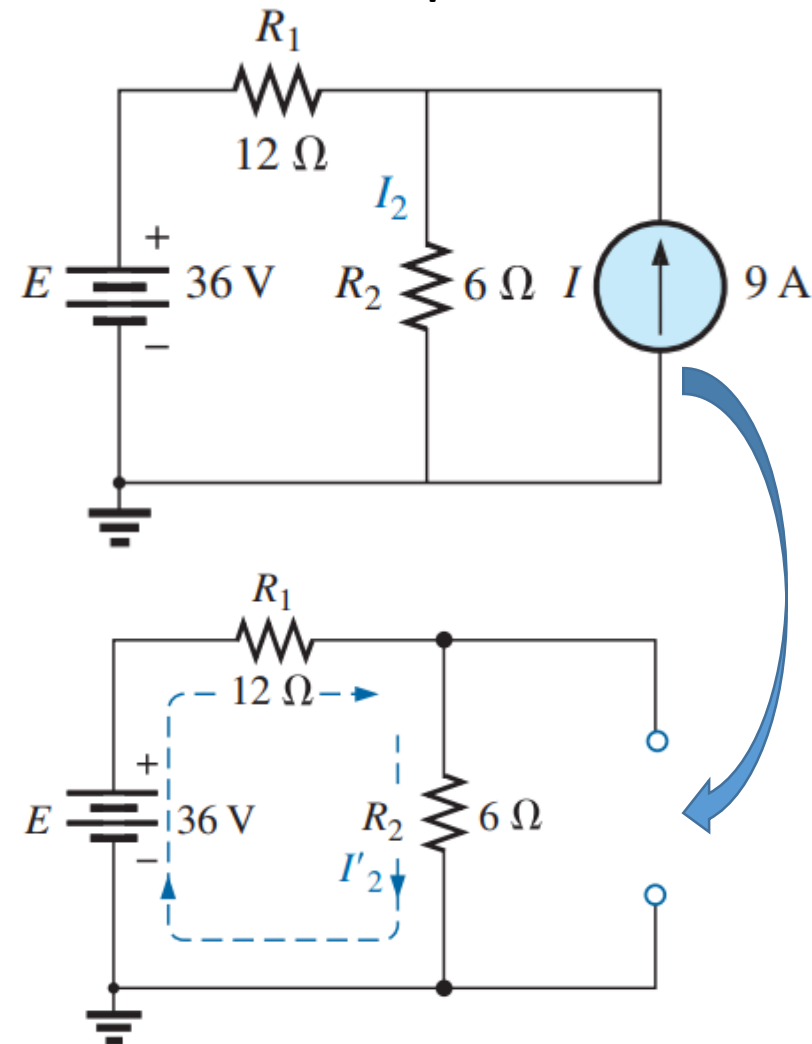
1. Deixar apenas **uma fonte independente** (tensão ou corrente) **ativa** no circuito, e **calcular a resposta em função dessa fonte**.

Efeito da fonte de tensão de 36 V:

$$I'_2 = \frac{E}{R_T} = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

$$= \frac{36 \text{ V}}{12 \Omega + 6 \Omega} = \frac{36 \text{ V}}{18 \Omega} = 2 \text{ A}$$

Exemplo



Superposição

Procedimento

2. Repetir o procedimento para todas as fontes independentes do circuito.

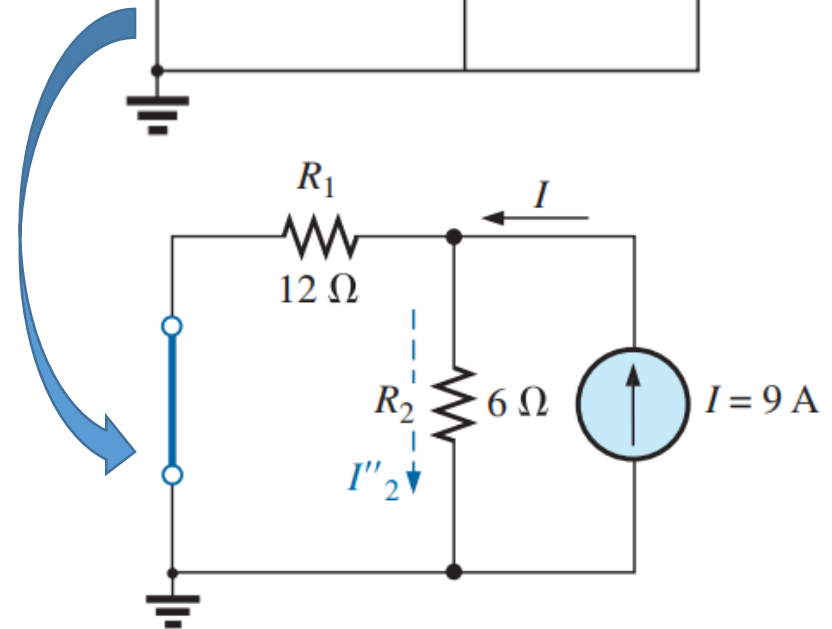
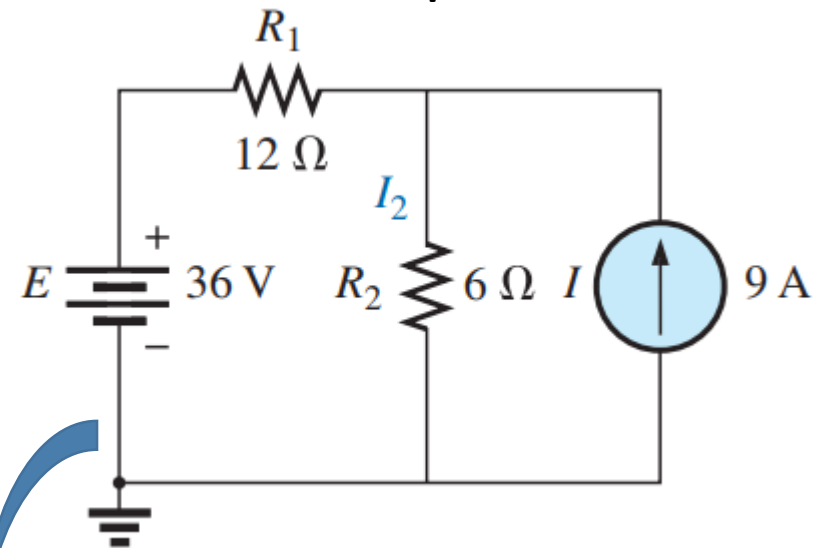
Efeito da fonte de corrente de 9 A:

$$I_2'' = I \frac{R_T}{R_X} \quad R_T = \frac{12 \cdot 6}{12 + 6} = \frac{72}{18} = 4$$

$$I_2'' = 9 \frac{4}{6} = \frac{36}{6}$$

$$I_2'' = 6 A$$

Exemplo

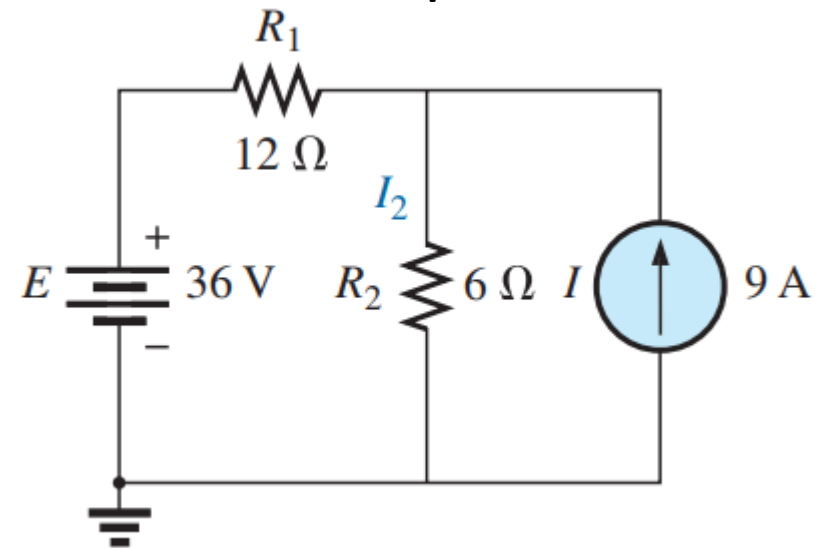


Superposição

Procedimento

3. Obtenção da resposta através da soma algébrica das contribuições individuais de cada fonte independente.

Exemplo



$$I_2 = I'_2 + I''_2 = 2\text{ A} + 6\text{ A} = 8\text{ A}$$

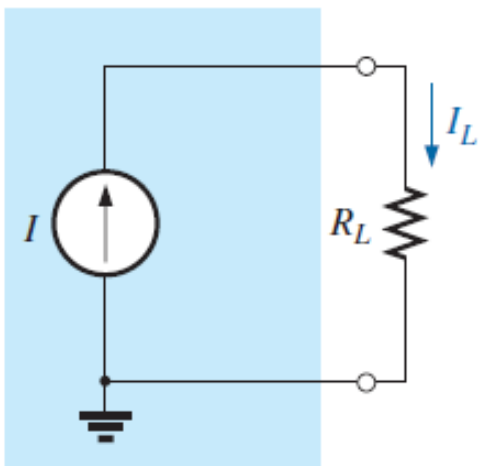


Fontes de tensão e Fontes de corrente

Fontes de tensão e fontes de corrente

Fontes de corrente

Da mesma maneira que uma bateria fornece uma tensão fixa para um circuito, **uma fonte de corrente estabelece uma corrente fixa (direção e intensidade) no ramo onde ela está localizada.**



Fonte de corrente ideal

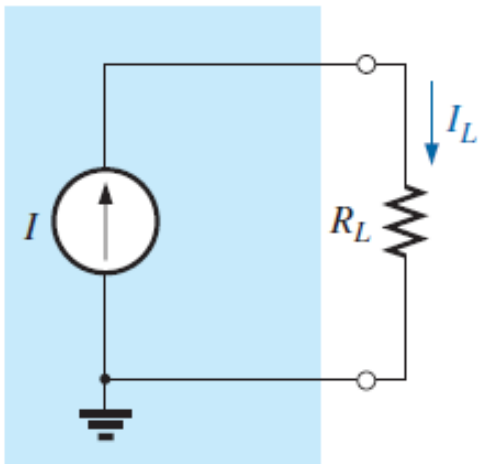
$$R = 0 \, \Omega$$

Fontes de tensão e fontes de corrente

Fontes de corrente

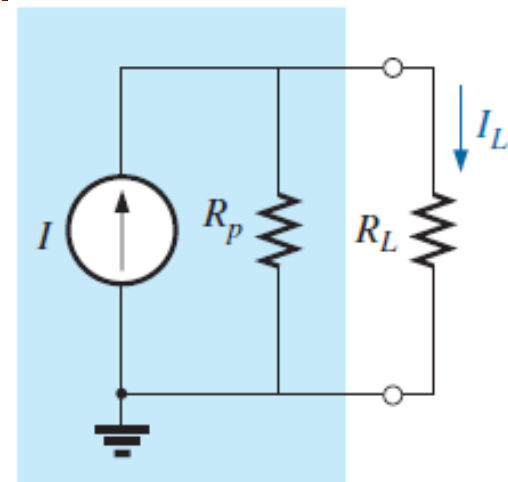
Da mesma maneira que uma bateria fornece uma tensão fixa para um circuito, **uma fonte de corrente estabelece uma corrente fixa (direção e intensidade) no ramo onde ela está localizada.**

(Se $R_p = \infty \Omega$, fonte ideal)



Fonte de corrente ideal

$$R = 0 \Omega$$



Fonte de corrente prática

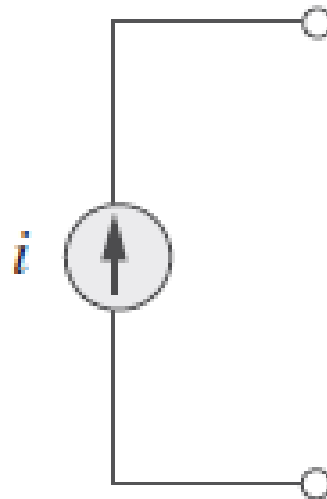
$$R \neq 0 \Omega$$



Fontes de tensão e fontes de corrente

Fontes de corrente

Símbolo:



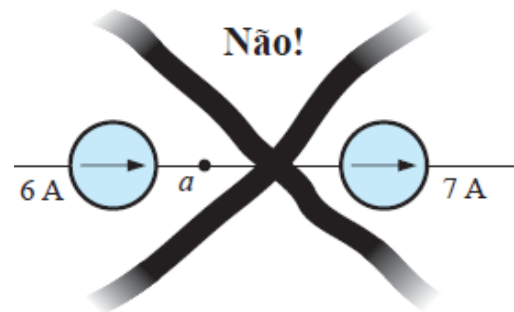
Símbolo para fontes de corrente independente

Fontes de tensão e fontes de corrente

Fontes de corrente

Fontes de corrente em paralelo:

Duas ou mais fontes de corrente em paralelo podem ser substituídas por uma única fonte de corrente tendo um valor absoluto determinado pela diferença da soma das correntes em um sentido e a soma no **sentido oposto**. A nova resistência interna em paralelo é a resistência total dos elementos resistivos em paralelo resultantes.

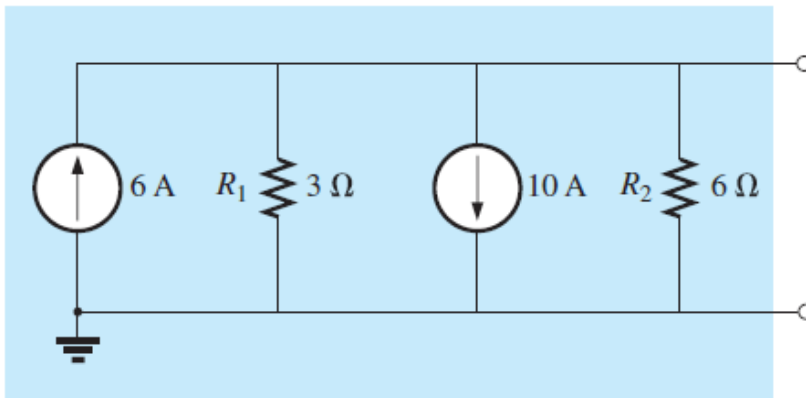




Fontes de tensão e fontes de corrente

Fontes de corrente

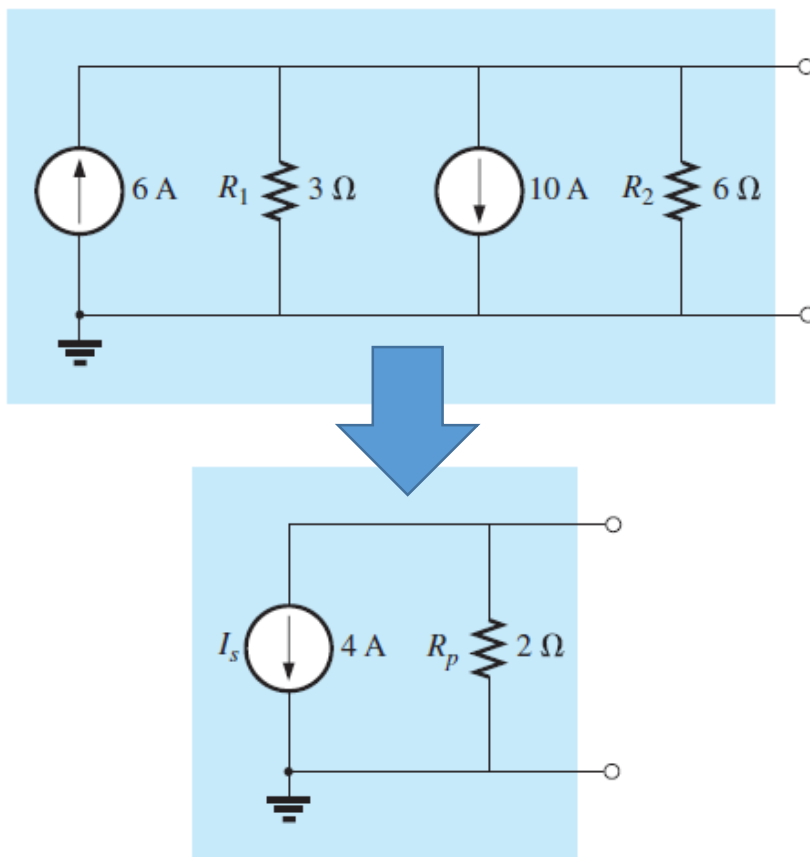
Fontes de corrente em paralelo. Exemplo:



Fontes de tensão e fontes de corrente

Fontes de corrente

Fontes de corrente em paralelo. Exemplo:



Corrente líquida:

$$I = 10 \text{ A} - 6 \text{ A} = 4 \text{ A}$$

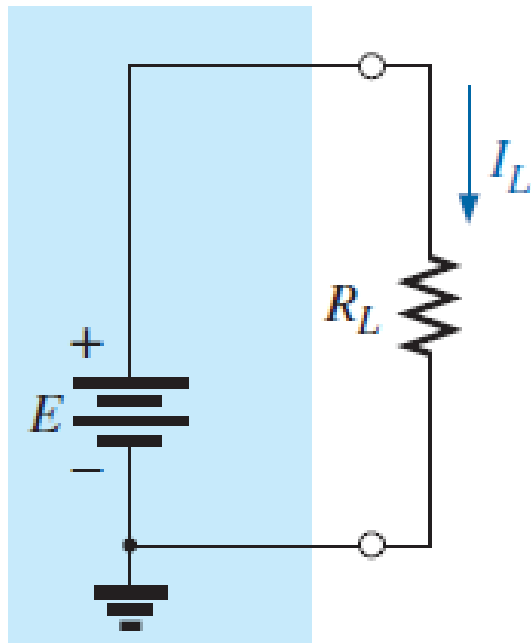
R interna líquida:

$$R_p = 3 \Omega \parallel 6 \Omega = 2 \Omega$$



Fontes de tensão e fontes de corrente

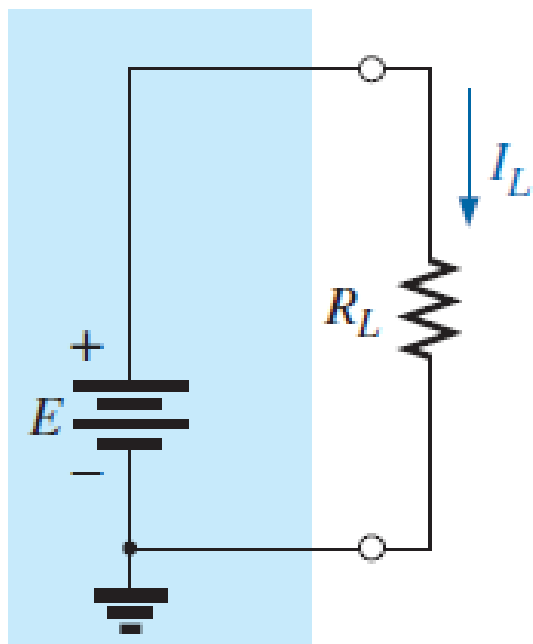
Fontes de tensão



Fonte de tensão
independente ideal

Fontes de tensão e fontes de corrente

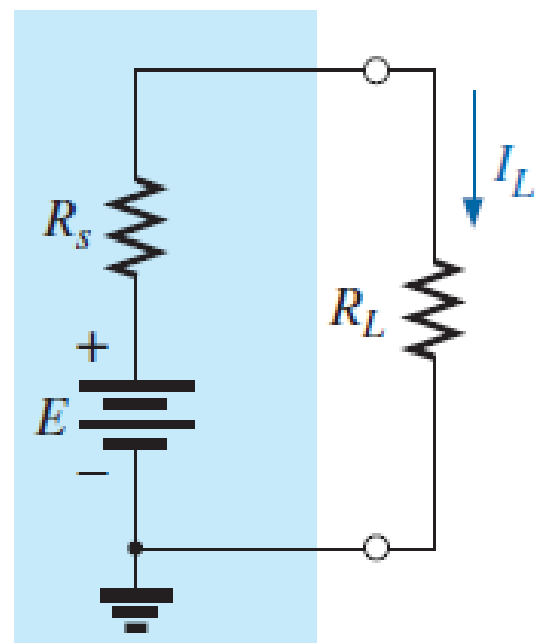
Fontes de tensão



Fonte de tensão independente ideal

$$R = 0 \, \Omega$$

(Se $R_s = 0 \, \Omega$, fonte ideal)



Fonte de tensão Independente prática

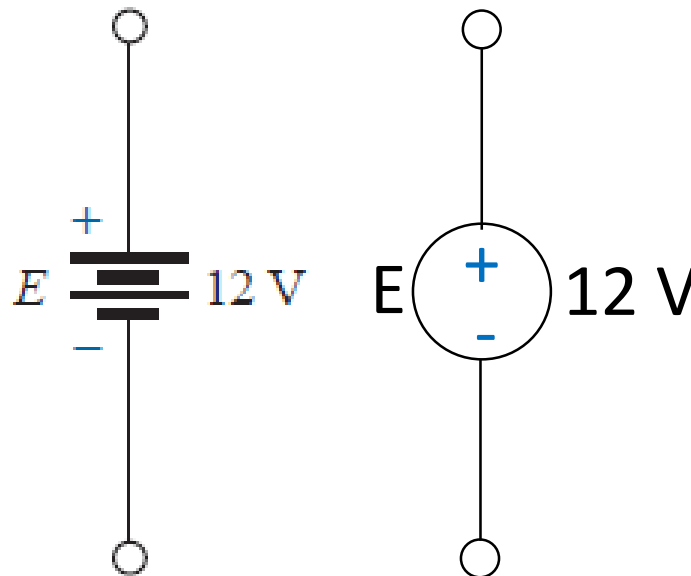
$$R \neq 0 \, \Omega$$



Fontes de tensão e fontes de corrente

Fontes de tensão

Símbolos:



Símbolos para fontes de tensão independente:

- (a) utilizada para tensão constante (CC);
- (b) usada para tensão constante ou variável com o tempo.



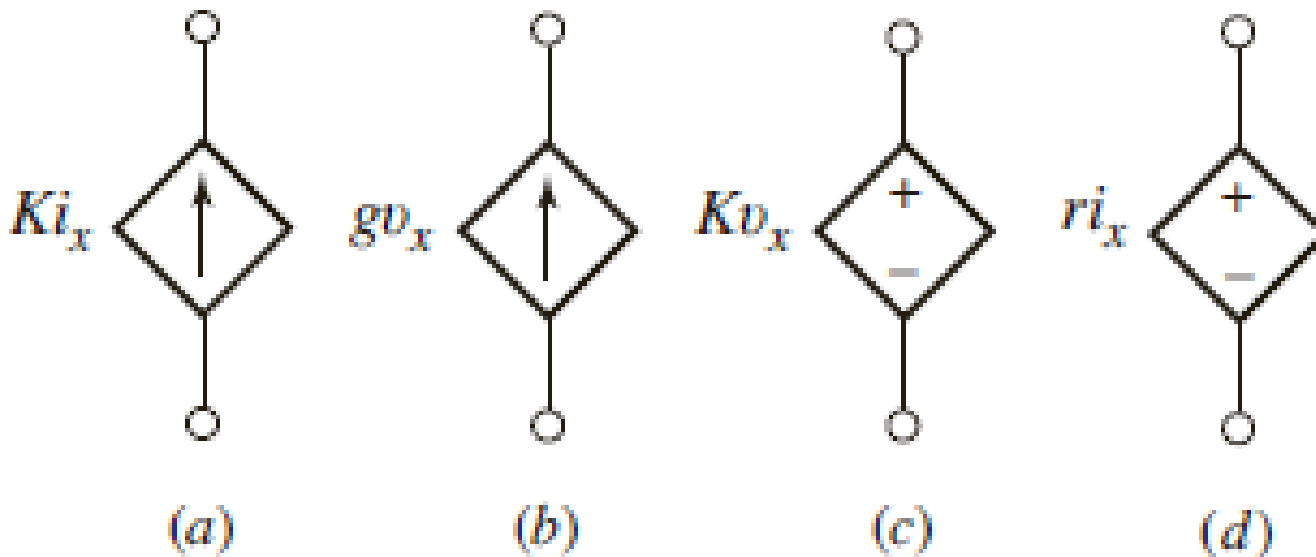
Fontes de tensão e fontes de corrente

Fontes de tensão ou corrente dependentes

Uma **fonte dependente (ou controlada)** ideal é um elemento ativo no qual a quantidade de energia é controlada por outra tensão ou corrente.

Fontes de tensão e fontes de corrente

Fontes de tensão ou corrente dependentes

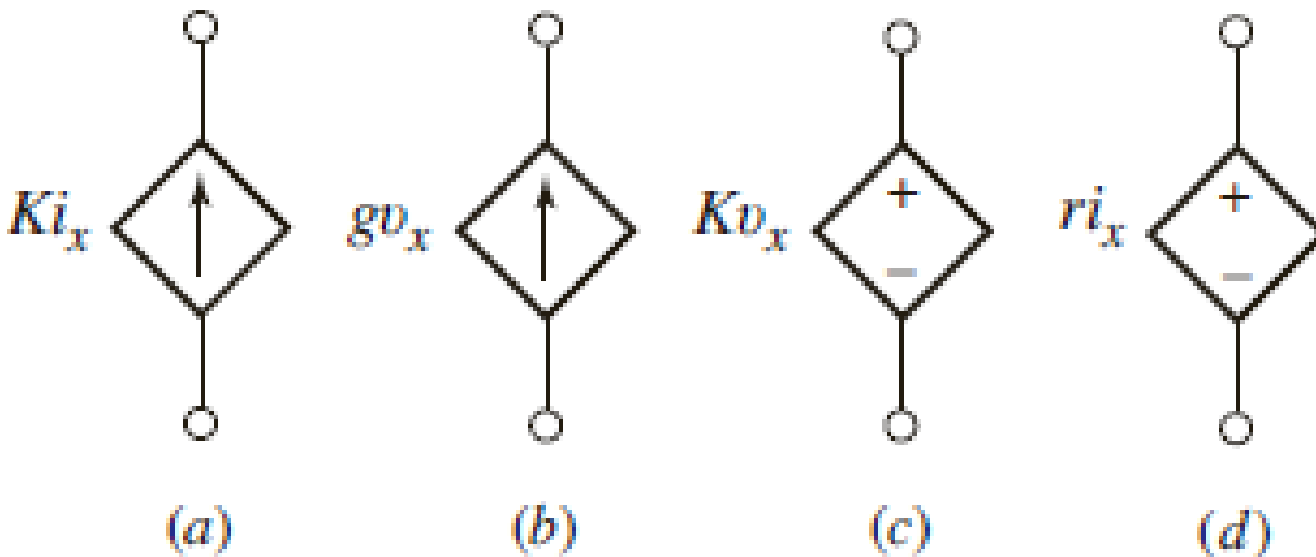


Símbolos para fontes de tensão independente:

(a) fonte de corrente controlada por corrente; (b) fonte de corrente controlada por tensão; (c) fonte de tensão controlada por tensão; e (d) fonte de tensão controlada por corrente.

Fontes de tensão e fontes de corrente

Fontes de tensão ou corrente dependentes



K é uma constante adimensional.

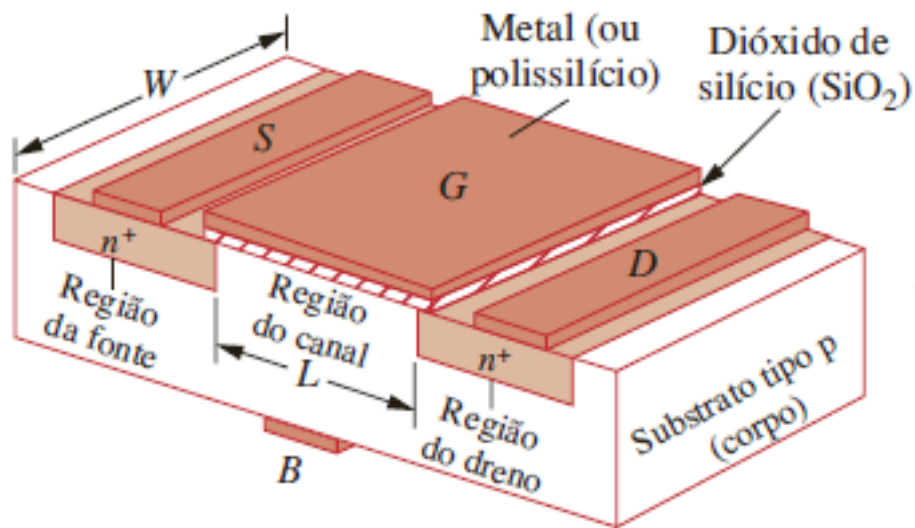
g é um fator de escala com unidade A/V;

r é um fator de escala com unidade V/A.

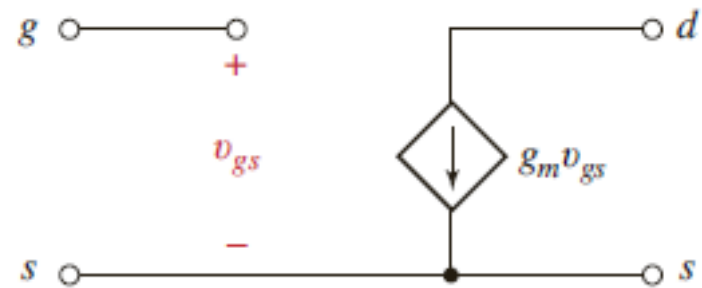
A **corrente de controle** i_x e a **tensão de controle** v_x devem ser definidas no circuito.

Fontes de tensão e fontes de corrente

Fontes de tensão ou corrente dependentes



(b)



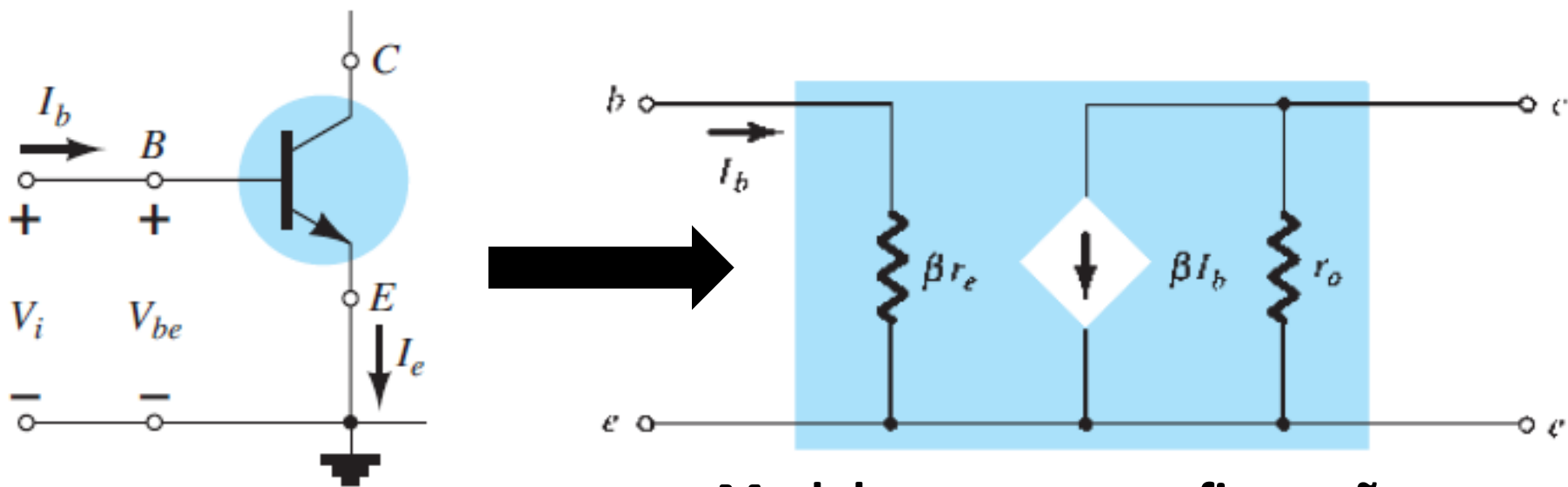
(c)

Exemplo de fonte dependente:

(b) vista da seção transversal de um MOSFET básico; (c) modelo do circuito equivalente para uso em análise de circuitos CA.

Fontes de tensão e fontes de corrente

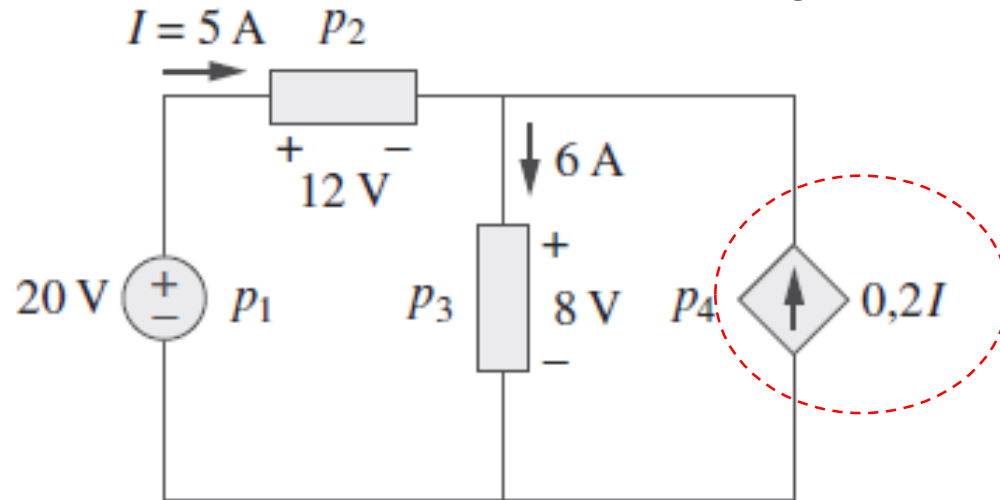
Fontes de tensão ou corrente dependentes



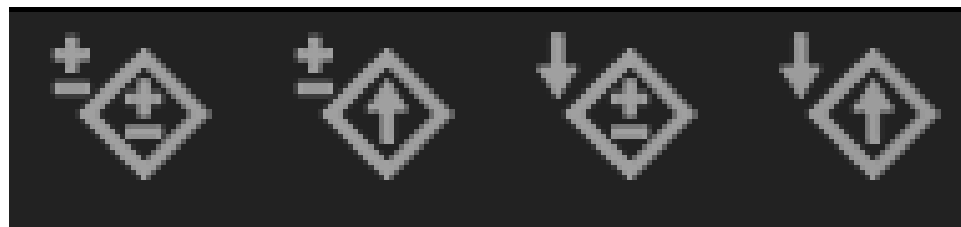
Modelo r_e para a configuração emissor-comum do TBJ

Fontes de tensão e fontes de corrente

Fontes de tensão ou corrente dependentes



Exemplo de um circuito com uma fonte de corrente controlada por corrente.



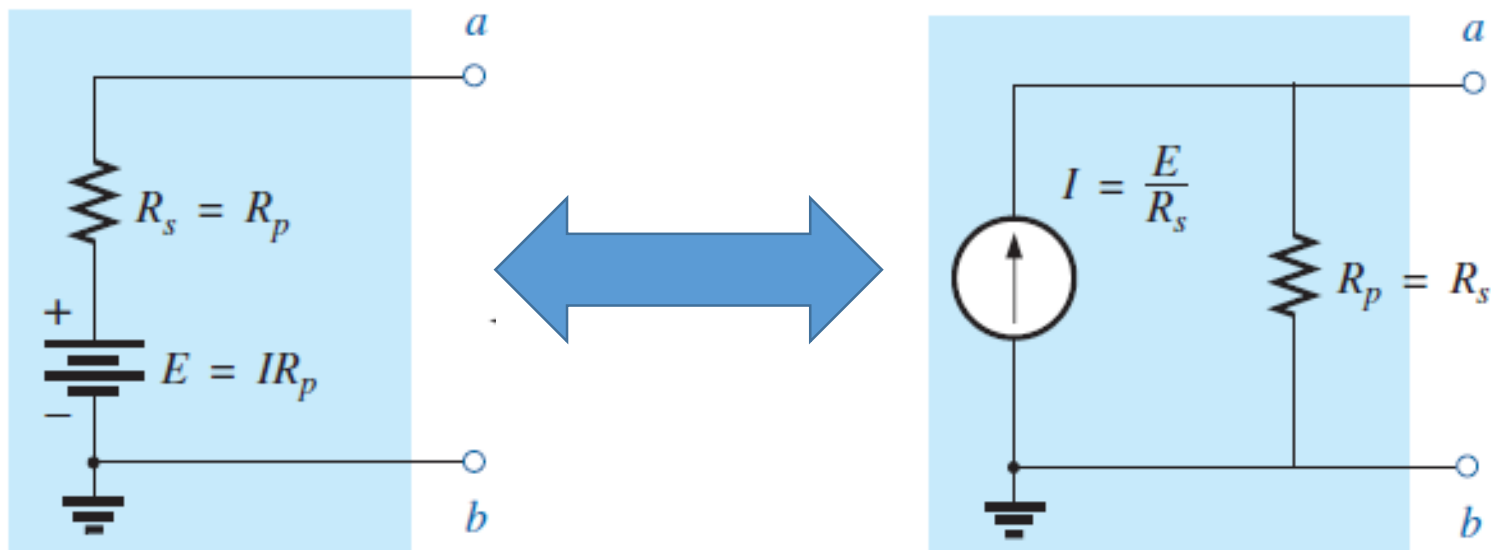
Representação no simulador EveryCircuit das fontes controladas.



Transformação de fontes

Transformação de fontes

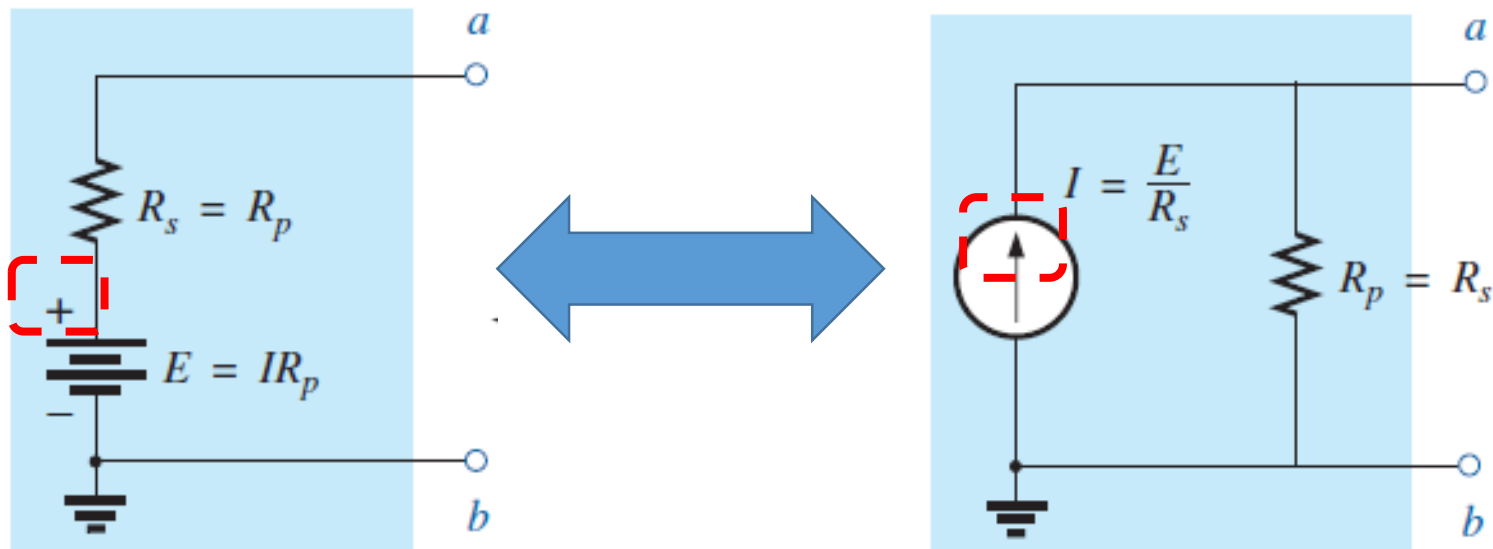
Processo de substituir uma fonte de tensão E em série com um resistor R por uma fonte de corrente I em paralelo com um resistor R , ou vice-versa.



Não é possível realizar conversões entre fontes de tensão ($R = 0 \, \Omega$) ou corrente ($R = \infty \, \Omega$) ideais.

Transformação de fontes

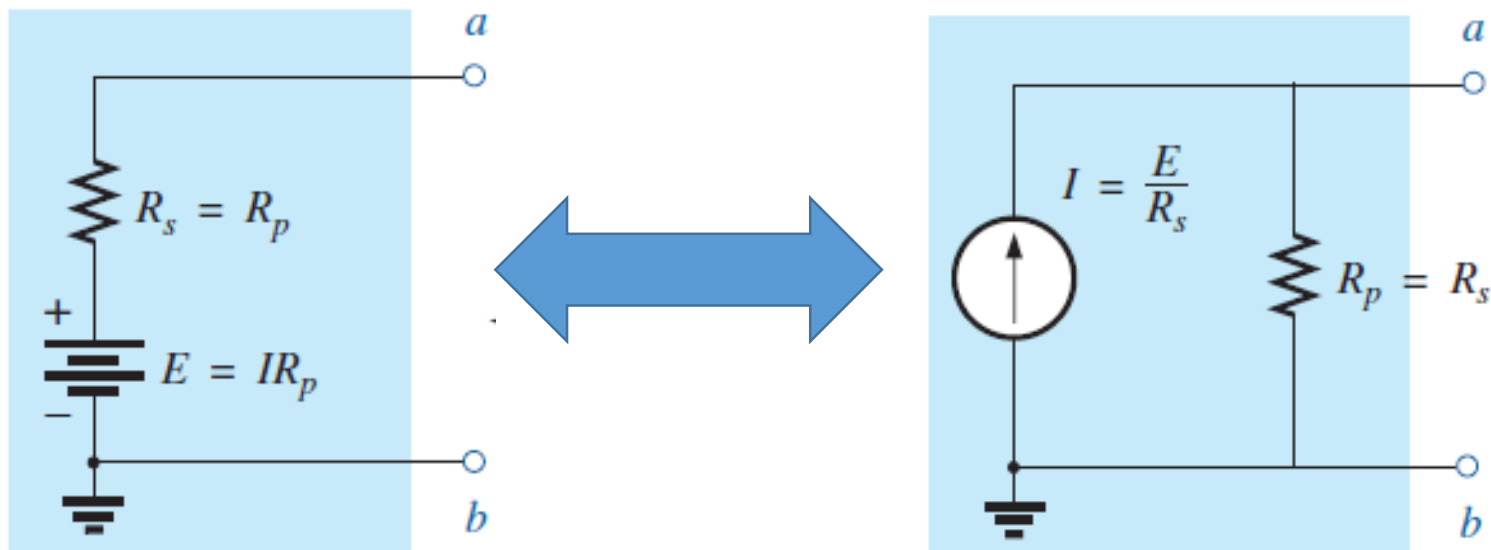
Processo de substituir uma fonte de tensão E em série com um resistor R por uma fonte de corrente I em paralelo com um resistor R , ou vice-versa.



Observar que a seta da fonte de corrente está voltada para o polo positivo da fonte de tensão. Ou seja, ambas fontes estabelecerão a corrente no mesmo sentido através da carga aplicada.

Transformação de fontes

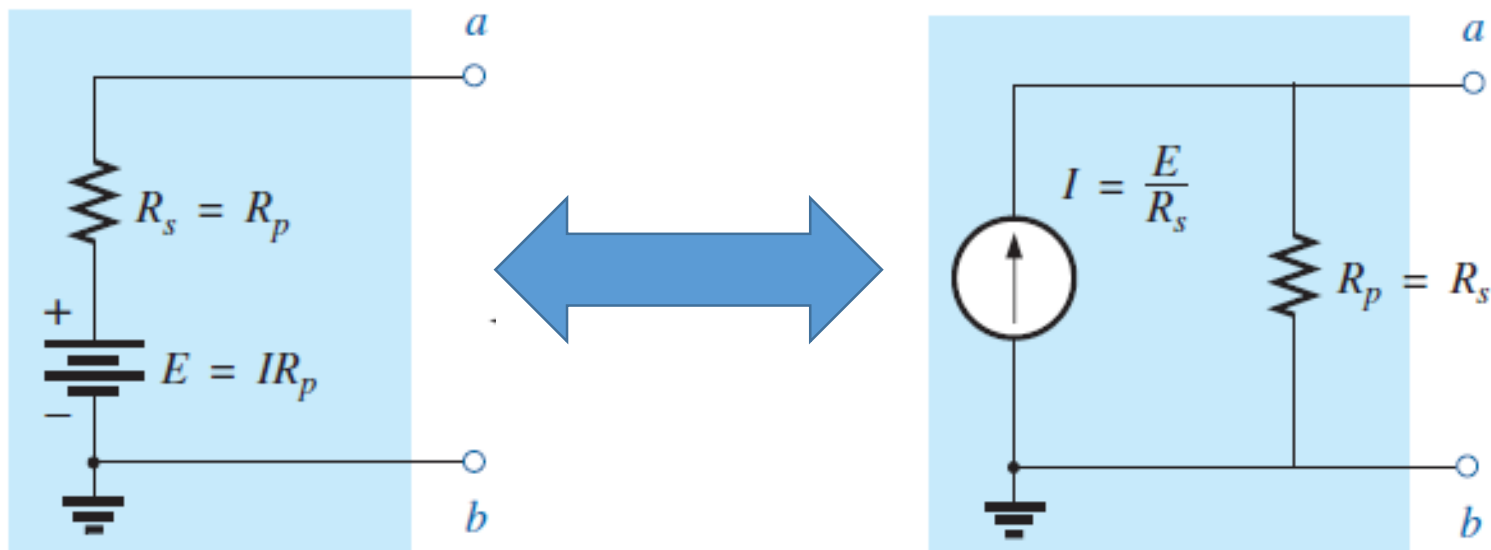
Processo de substituir uma fonte de tensão E em série com um resistor R por uma fonte de corrente I em paralelo com um resistor R , ou vice-versa.



É importante perceber que a **equivalência** entre a fonte de corrente e a fonte de tensão **existe apenas em seus terminais externos**.

Transformação de fontes

Processo de substituir uma fonte de tensão E em série com um resistor R por uma fonte de corrente I em paralelo com um resistor R , ou vice-versa.



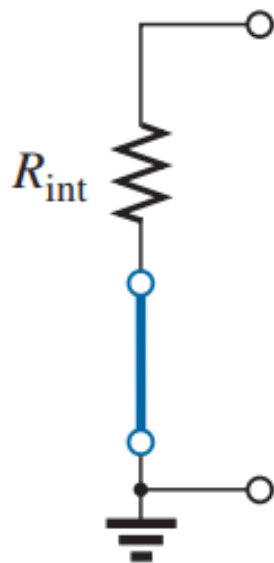
Circuitos são equivalentes:

$$E = I \times R_p$$

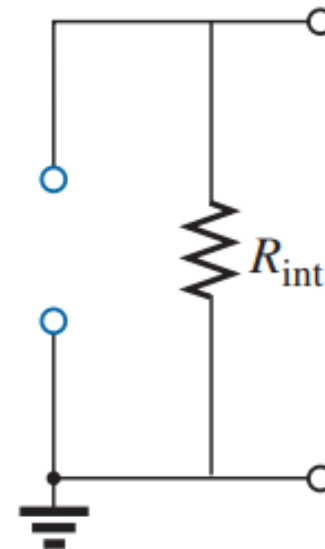
$$I = E/R_s$$

Transformação de fontes

Processo de substituir uma fonte de tensão E em série com um resistor R por uma fonte de corrente I em paralelo com um resistor R , ou vice-versa.



$$R_{int} = R_{ab}$$



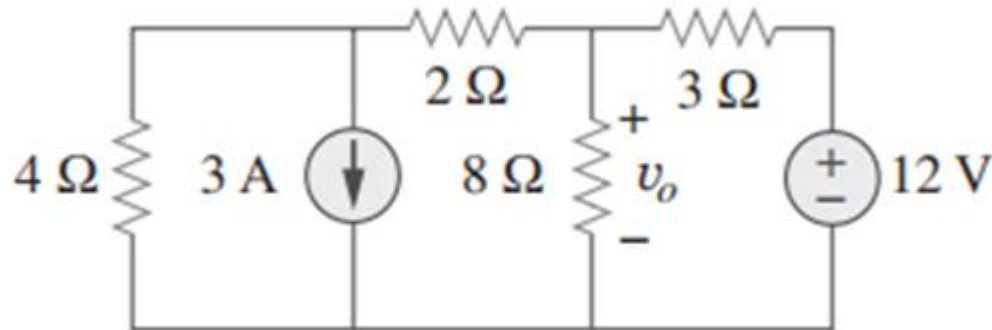
$$R_{int} = R_{ab}$$

Circuitos são equivalentes:



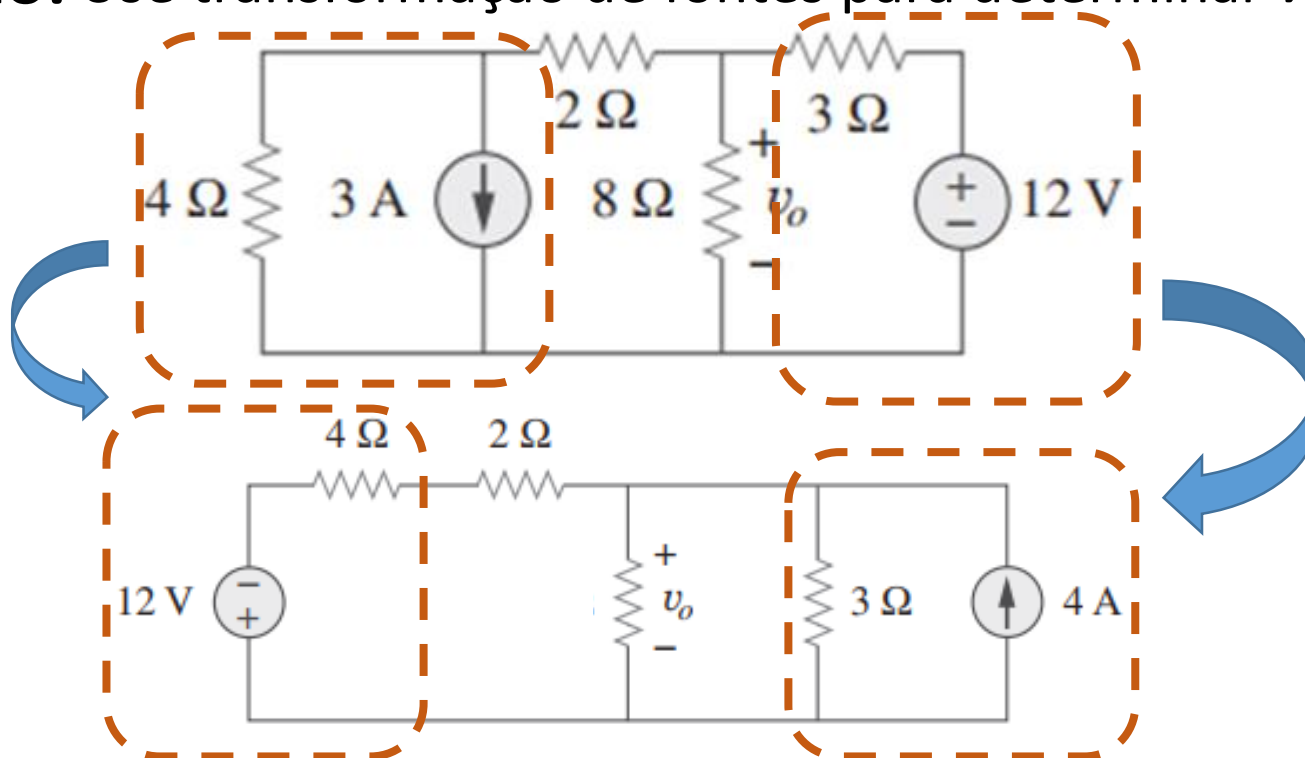
Transformação de fontes

Exemplo: Use transformação de fontes para determinar v_o no circuito:



Transformação de fontes

Exemplo: Use transformação de fontes para determinar v_o no circuito:



$$v_s = i_s \cdot R$$

$$v_s = 3 \text{ A} \cdot 4\Omega$$

$$v_s = 12 \text{ V}$$

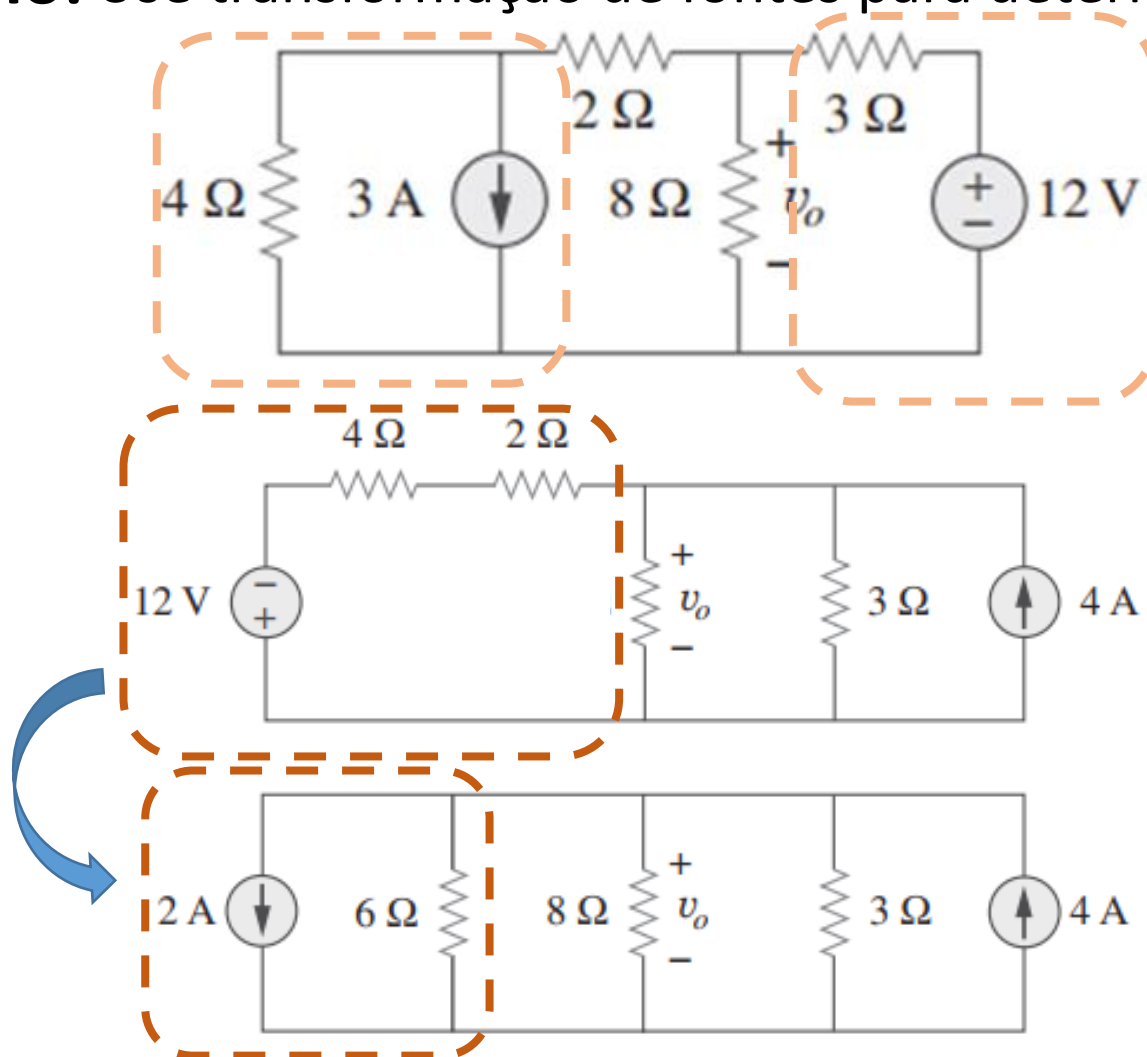
$$i_s = \frac{v_s}{R} \quad i_s = \frac{12 \text{ V}}{3\Omega}$$

$$i_s = 4 \text{ A}$$



Transformação de fontes

Exemplo: Use transformação de fontes para determinar v_o no circuito:



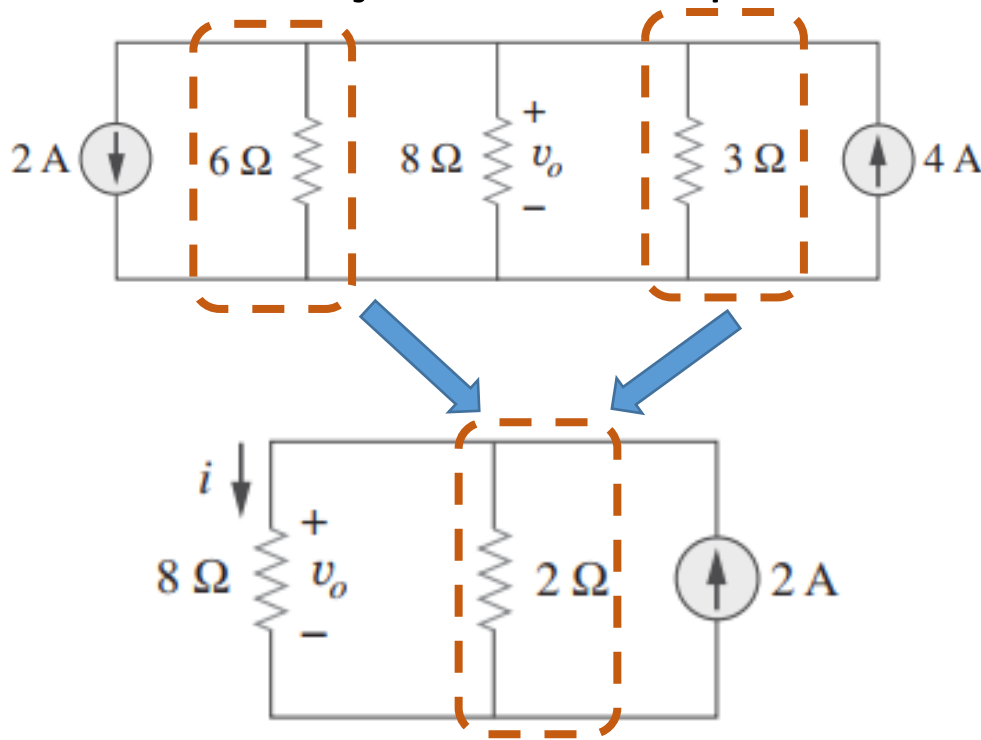
$$i_s = \frac{v_s}{R}$$

$$i_s = \frac{12\text{ V}}{4\Omega + 2\Omega}$$

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

Transformação de fontes

Exemplo: Use transformação de fontes para determinar v_o no circuito:



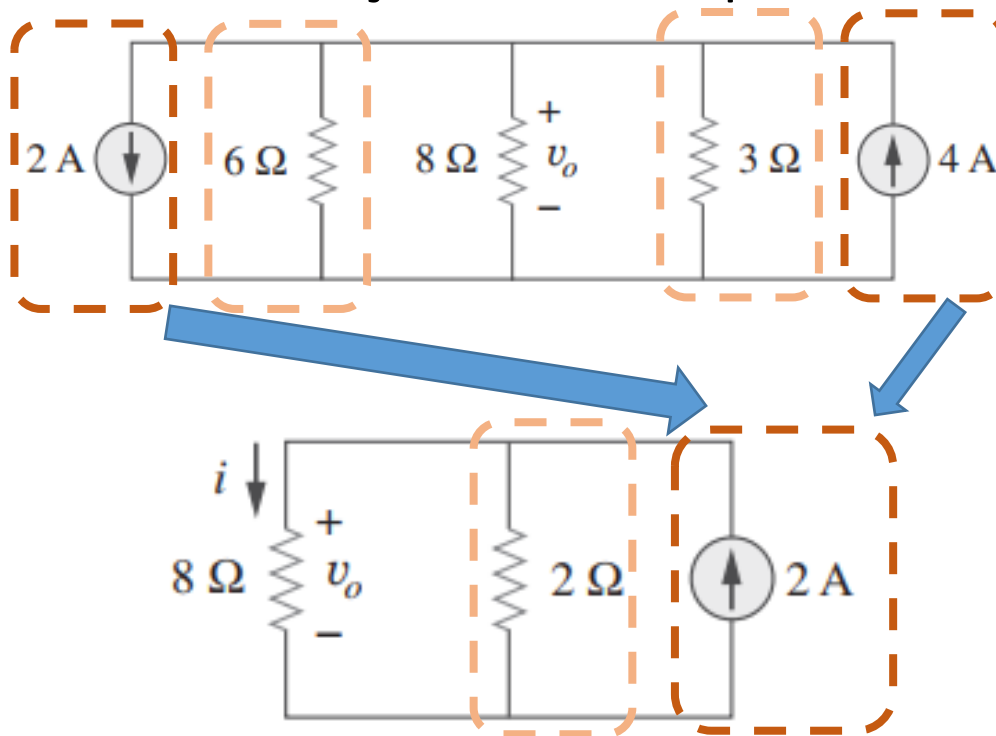
$$R_{eq} = \frac{6 \cdot 3}{6 + 3}$$

$$R_{eq} = \frac{18 \Omega^2}{6\Omega + 3\Omega}$$

$$R_{eq} = 2 \Omega$$

Transformação de fontes

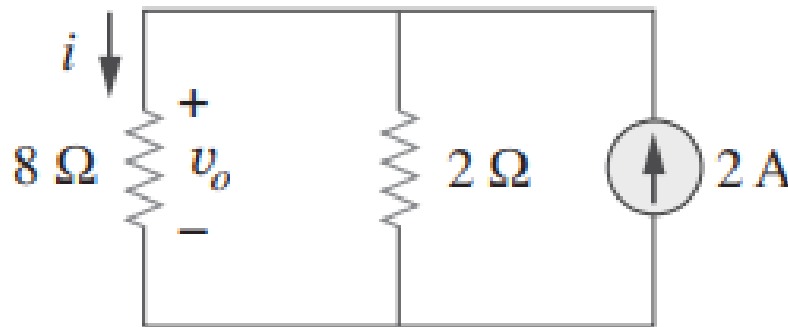
Exemplo: Use transformação de fontes para determinar v_o no circuito:



$$4\text{ A} - 2\text{ A} = 2\text{ A}$$

Transformação de fontes

Exemplo: Use transformação de fontes para determinar v_o no circuito:



Aplicando a regra do divisor de corrente:

$$i = \frac{16}{10} \cdot 2 \quad i = \frac{1,6}{8} \cdot 2 \quad i = 0,2 \cdot 2 \quad \boxed{i = 0,4\text{ A}}$$

De acordo com a Lei de Ohm:

$$v_o = 0,4\text{ A} \cdot 8\ \Omega \quad \boxed{v_o = 3,2\text{ V}}$$



Teorema de Thévenin



Teorema de Thévenin

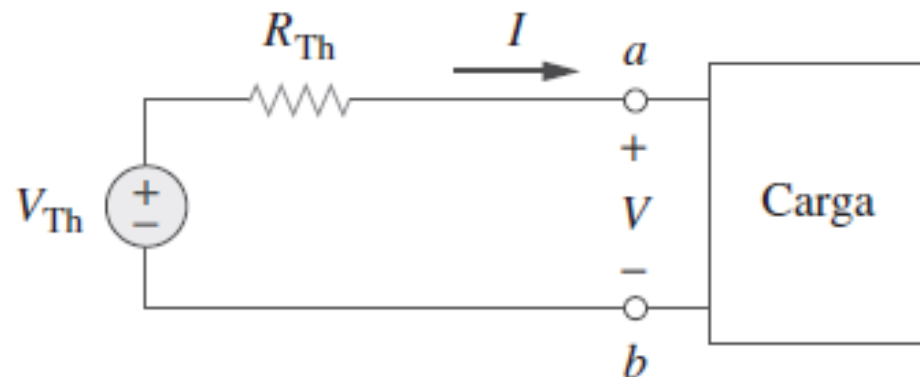
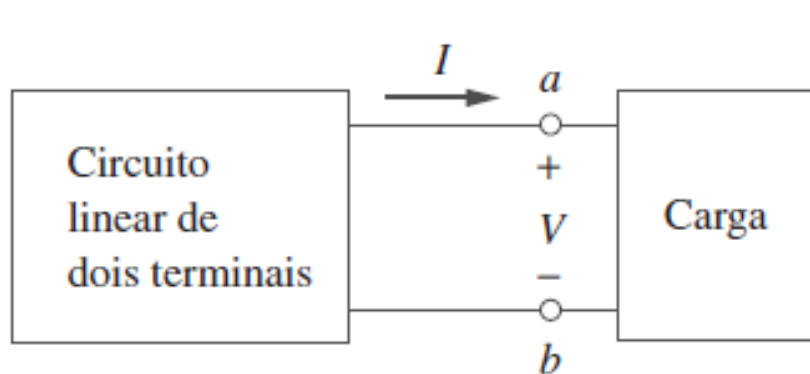
O teorema de Thévenin afirma que um **circuito linear** de **dois terminais** pode ser **substituído** por um **circuito equivalente** formado por uma **fonte de tensão V_{Th}** em **série** com um **resistor R_{Th}** .



Teorema de Thévenin

V_{Th} : tensão de circuito aberto nos terminais a e b .

R_{Th} : resistência de entrada ou equivalente nos terminais a e b quando as fontes independentes forem desativadas.

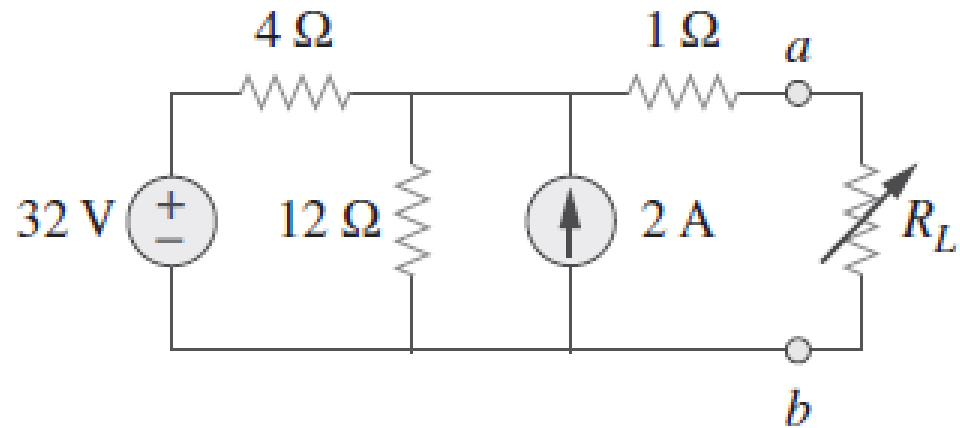


Substituição de um circuito linear de dois terminais por seu equivalente de Thévenin: **(a) circuito original**; **(b) circuito equivalente de Thévenin**.

Teorema de Thévenin

Exemplo:

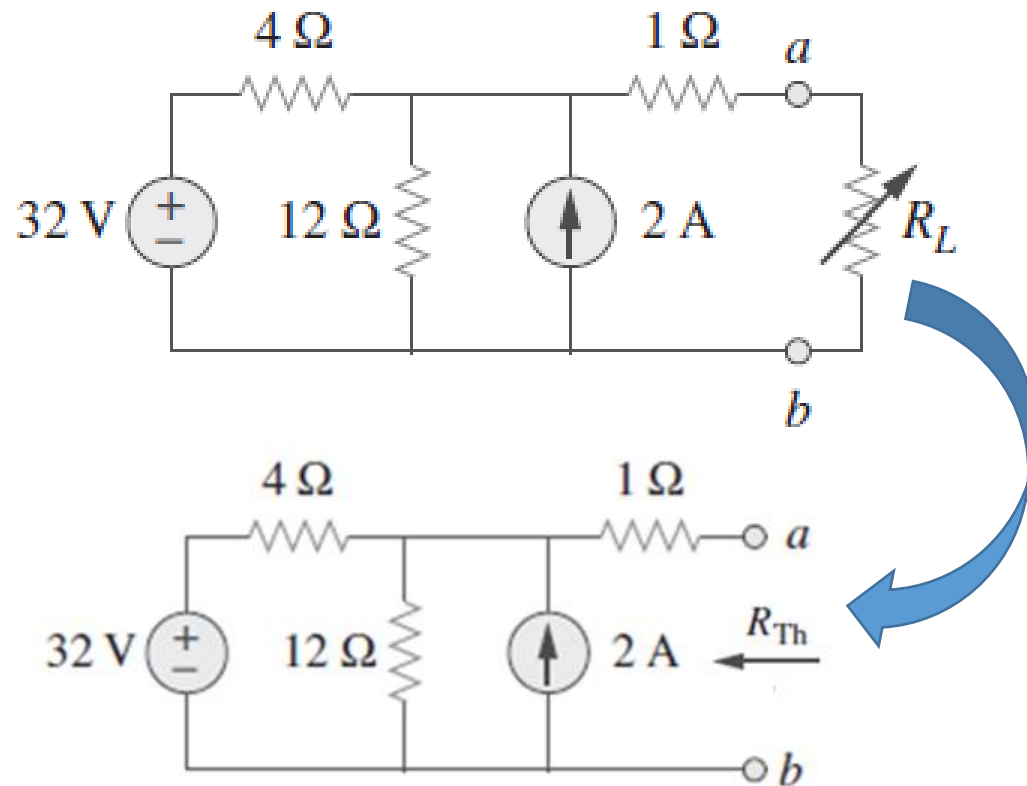
Determine o circuito equivalente de Thévenin do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



Teorema de Thévenin

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Thévenin do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



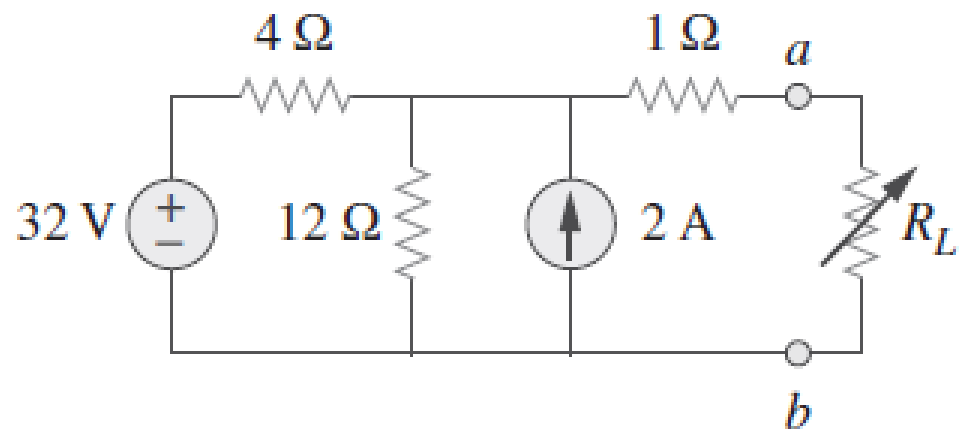
Procedimento

1. Remover a parte do circuito para a qual deseja-se obter o equivalente de Thévenin. Neste caso R_L .

Teorema de Thévenin

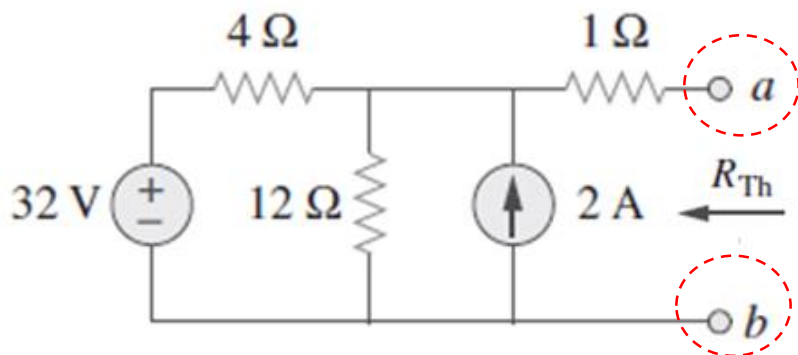
Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Thévenin do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



Procedimento

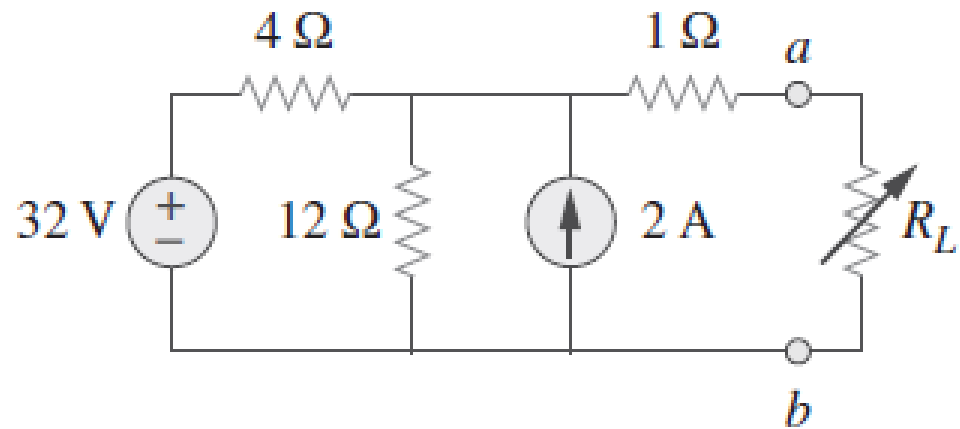
2. Assinalar os terminais do circuito remanescente.



Teorema de Thévenin

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Thévenin do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



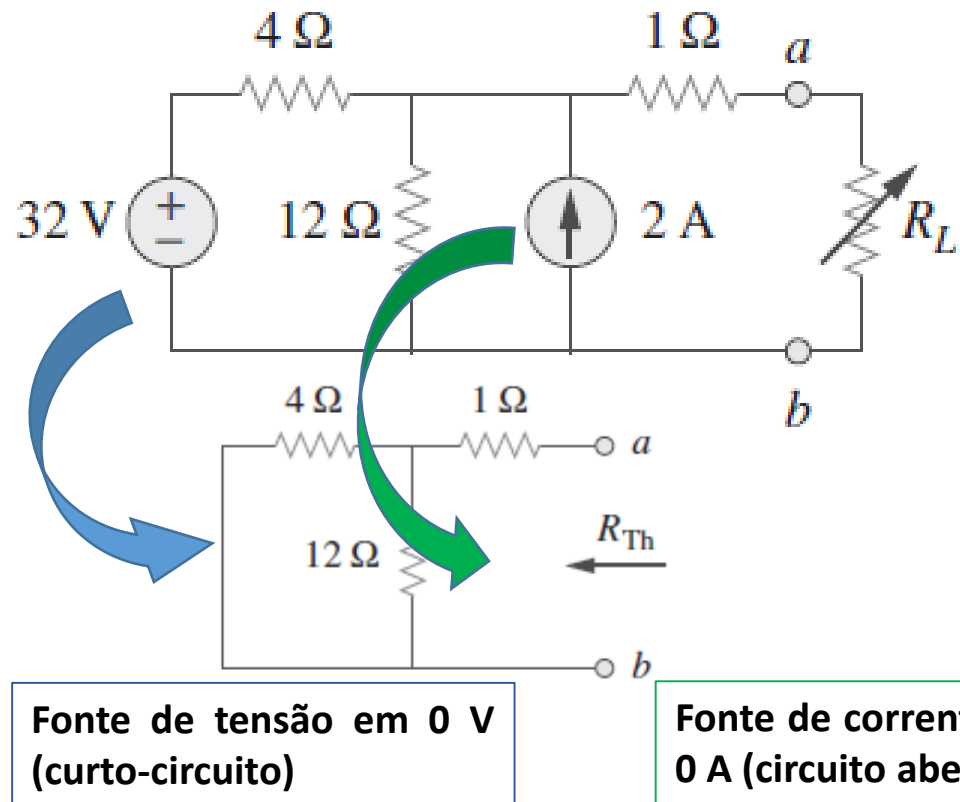
Procedimento

3. Desativar as fontes independentes de tensão ou corrente e calcular o valor de R_{Th} .

Teorema de Thévenin

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Thévenin do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



Procedimento

3. Desativar as fontes independentes de tensão ou corrente e calcular o valor de R_{Th} .

$$R_{Th} = 4 \parallel 12 + 1$$

$$= \frac{4 \times 12}{16} + 1$$

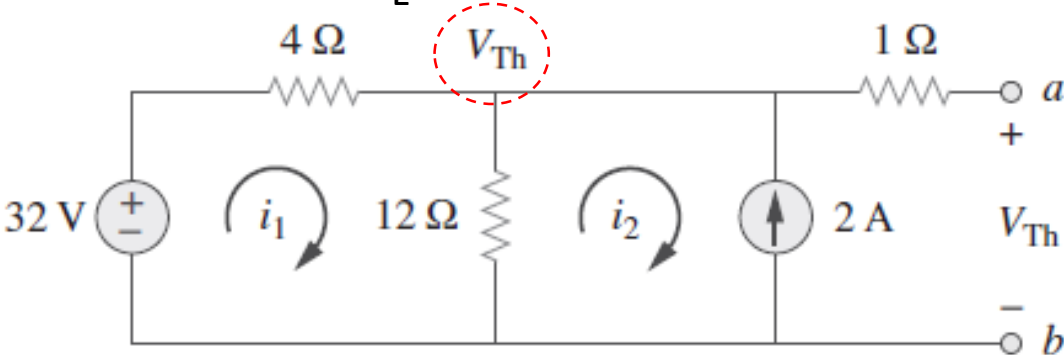
$$R_{Th} = 4\ \Omega$$



Teorema de Thévenin

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Thévenin do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



Análise de malha:

$$-32 + 4i_1 + 12(i_1 - i_2) = 0, \quad i_2 = -2\text{ A}$$

$$16i_1 - 12 \times (-2) = 32$$

$$i_1 = \frac{8}{16} = 0,5\text{ A}$$

Procedimento

4. Considerando o efeito de todas as fontes, calcular a tensão de circuito aberto entre os terminais a e b.

$$V_{Th} = 12(i_1 - i_2)$$

$$V_{Th} = 12 \times (0,5 + 2)$$

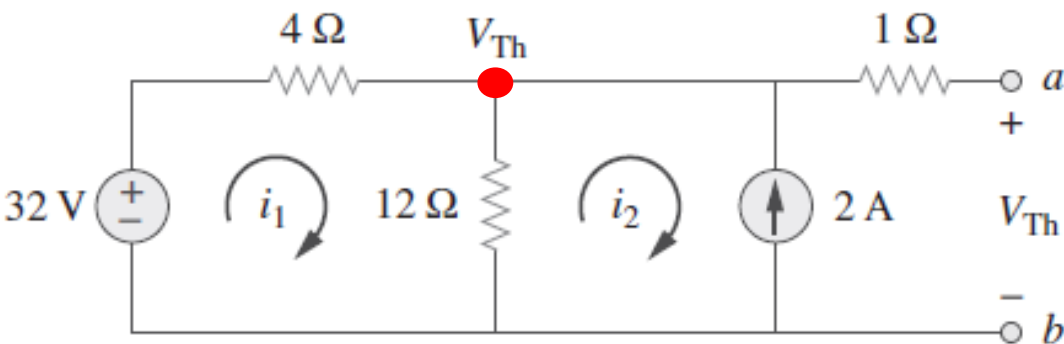
$$V_{Th} = 30\text{ V}$$



Teorema de Thévenin

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Thévenin do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



Análise de nodal:

$$\frac{32 - V_{Th}}{4} + 2 = \frac{V_{Th}}{12}$$

$$96 - 3V_{Th} + 24 = V_{Th}$$

$$V_{Th} = 30\text{ V}$$

Procedimento

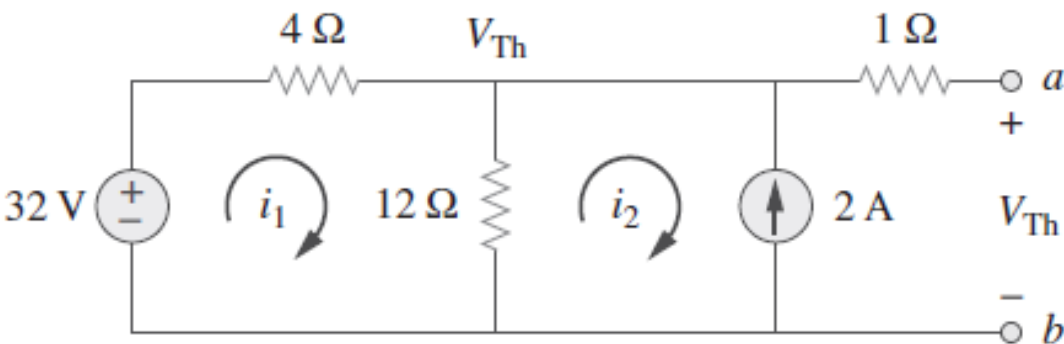
4. Considerando o efeito de todas as fontes, calcular a tensão de circuito aberto entre os terminais a e b.



Teorema de Thévenin

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Thévenin do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



Também é possível calcular V_{Th} através da transformação de fontes.

$$V_{Th} = 30\text{ V}$$

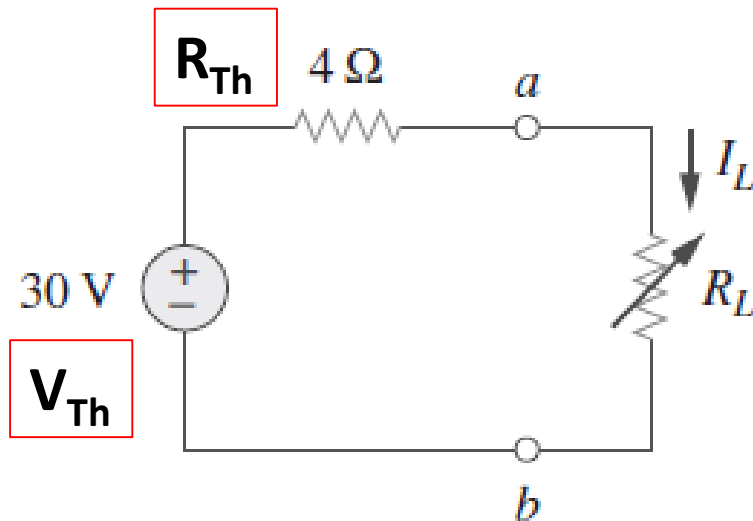
Procedimento

4. Considerando o efeito de todas as fontes, calcular a tensão de circuito aberto entre os terminais a e b.

Teorema de Thévenin

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Thévenin do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



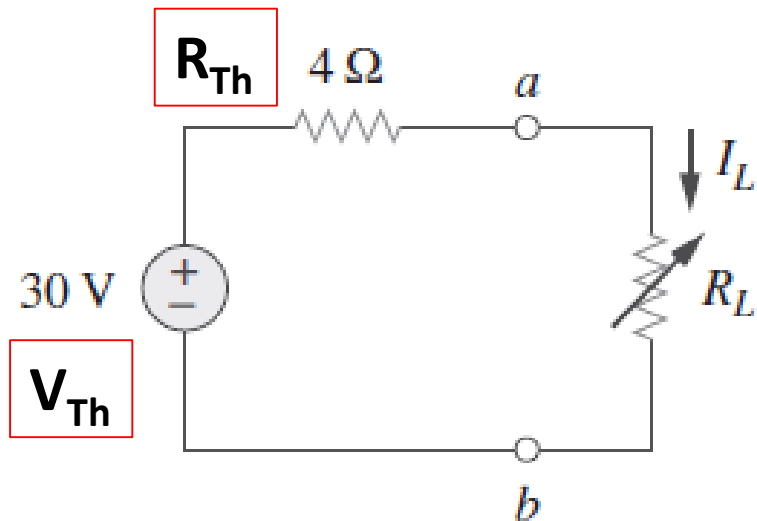
Procedimento

5. Desenhar o circuito equivalente de Thévenin, com a inserção de R_L entre os terminais desse circuito equivalente.

Teorema de Thévenin

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Thévenin do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



Quando $R_L = 6$,

Quando $R_L = 36$,

Determinar a corrente para os valores de R_L .

$$I_L = \frac{V_{Th}}{R_{Th} + R_L} = \frac{30}{4 + R_L}$$

$$I_L = \frac{30}{10} = 3\text{ A}$$

$$I_L = \frac{30}{40} = 0,75\text{ A}$$



Teorema de Norton



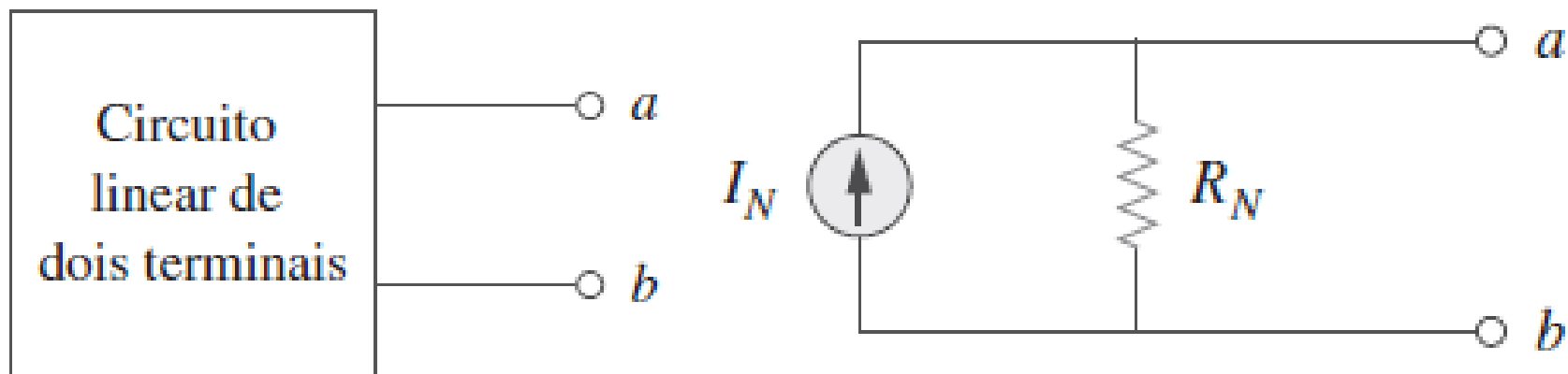
Teorema de Norton

O teorema de Norton afirma que um **circuito linear** de **dois terminais** pode ser **substituído** por um **circuito equivalente** formado por uma **fonte de corrente I_N** em paralelo com um **resistor R_N** .

Teorema de Norton

I_N : corrente de curto-circuito através dos terminais a e b .

R_N : resistência de entrada ou equivalente nos terminais a e b quando as fontes independentes forem desativadas.



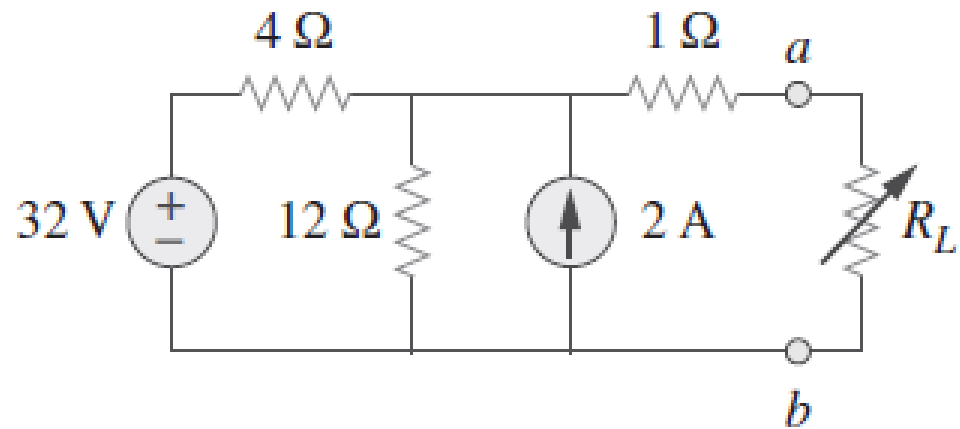
(a) circuito original; (b) circuito equivalente de Norton.



Teorema de Norton

Exemplo:

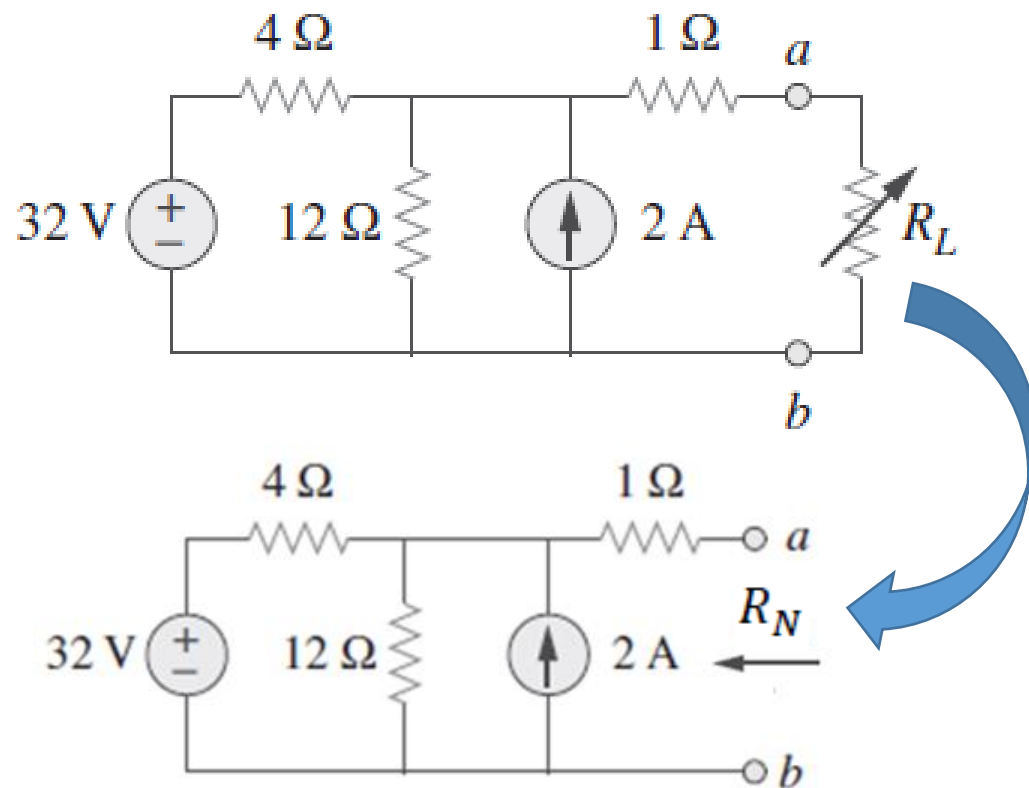
Determine o circuito equivalente de Norton do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



Teorema de Norton

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Norton do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



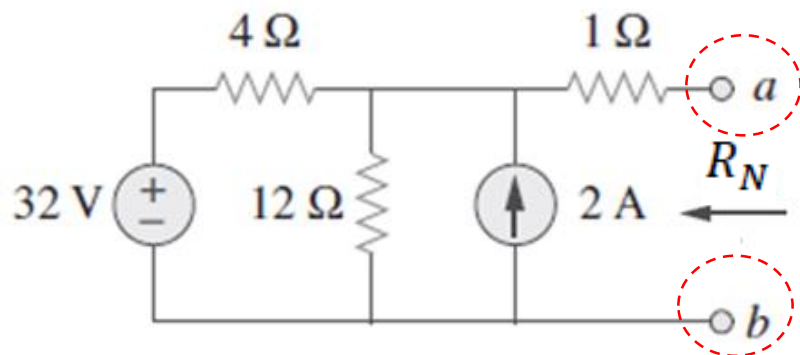
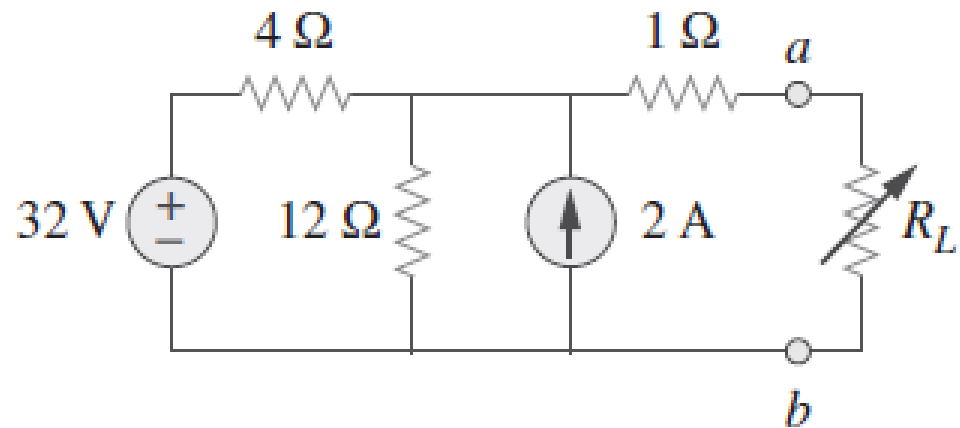
Procedimento

1. Remover a parte do circuito para a qual deseja-se obter o equivalente de Norton. Neste caso R_L .

Teorema de Norton

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Norton do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



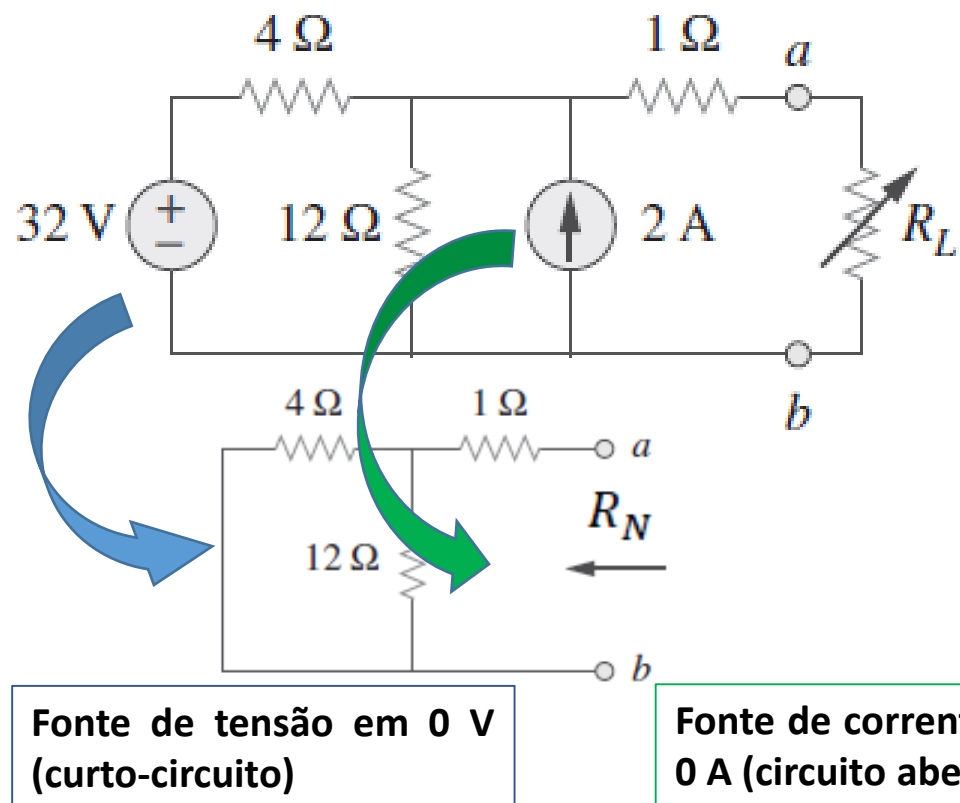
Procedimento

2. Assinalar os terminais do circuito remanescente.

Teorema de Norton

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Norton do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



Procedimento

3. Desativar as fontes independentes de tensão ou corrente e calcular o valor de R_N .

$$R_N = 4 \parallel 12 + 1$$

$$= \frac{4 \times 12}{16} + 1$$

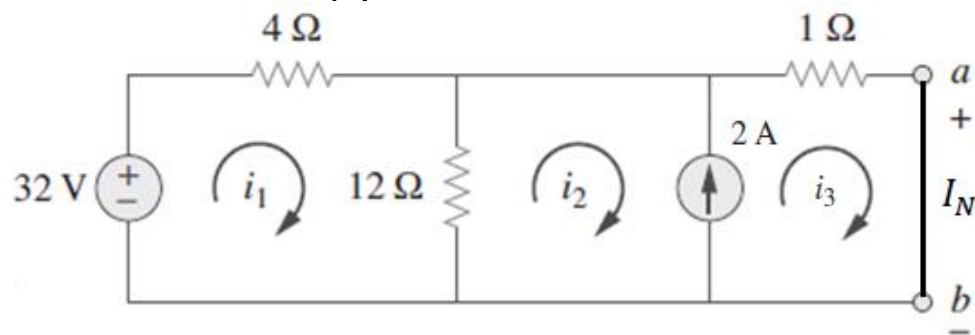
$$R_N = 4\ \Omega$$



Teorema de Norton

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Norton do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_l , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



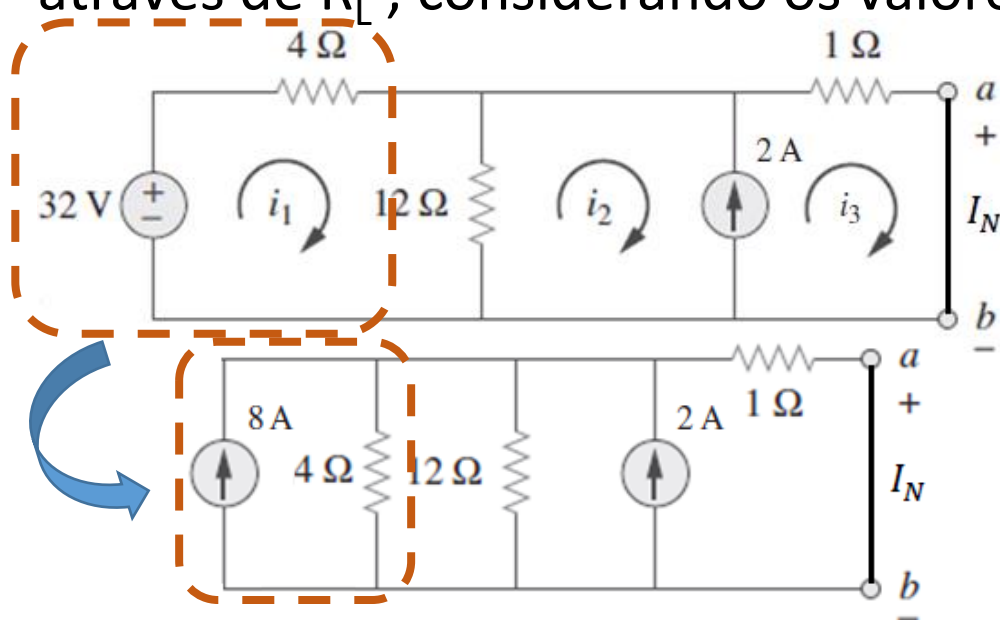
Procedimento

4. Considerando o efeito de todas as fontes, calcular a corrente de curto-circuito entre os terminais a e b.

Teorema de Norton

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Norton do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



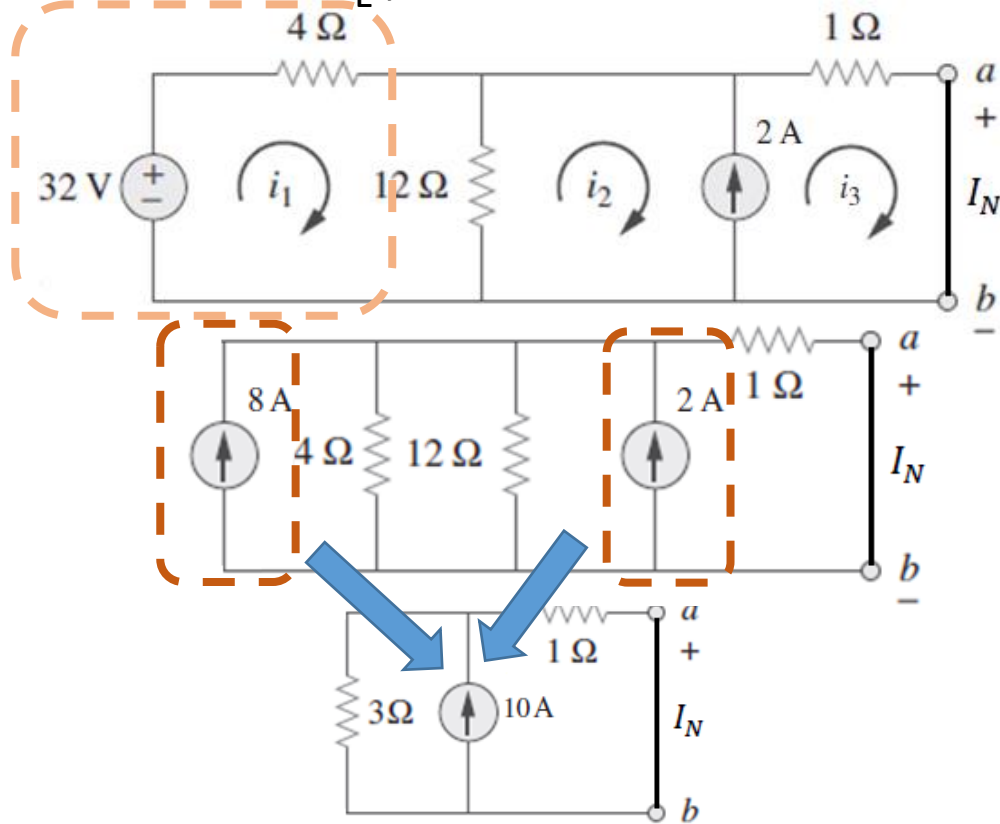
Procedimento

4. Considerando o efeito de todas as fontes, calcular a corrente de curto-circuito entre os terminais a e b.

Teorema de Norton

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Norton do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



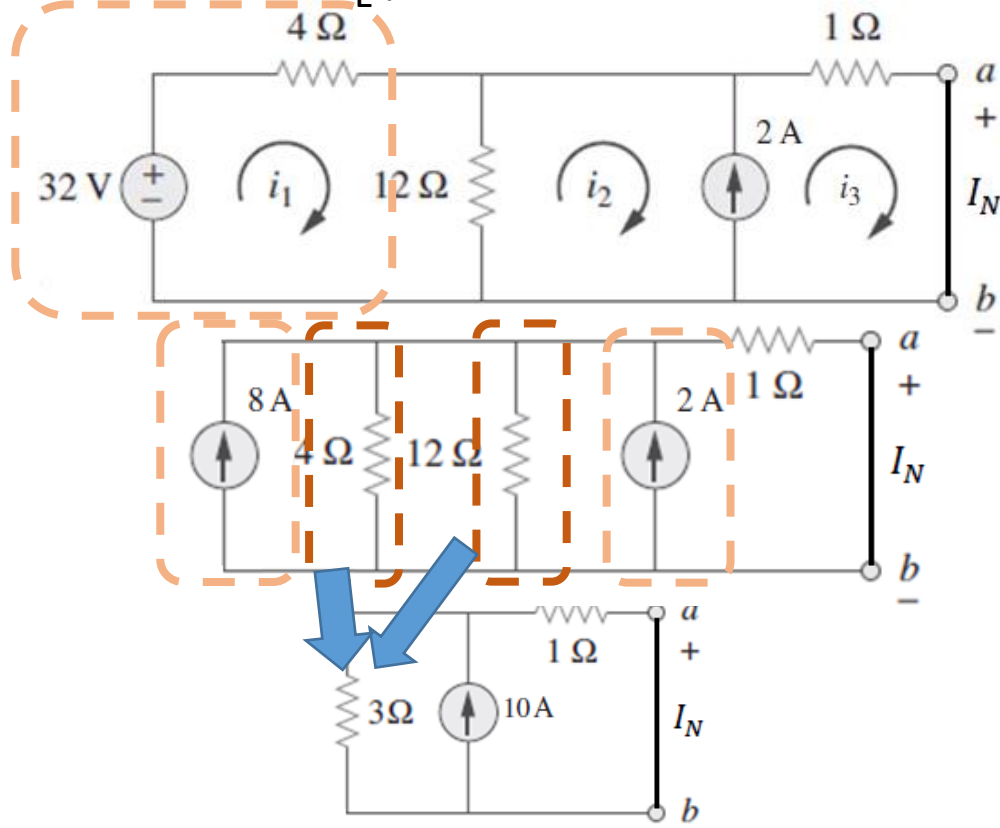
Procedimento

4. Considerando o efeito de todas as fontes, calcular a corrente de curto-circuito entre os terminais a e b.

Teorema de Norton

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Norton do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



Procedimento

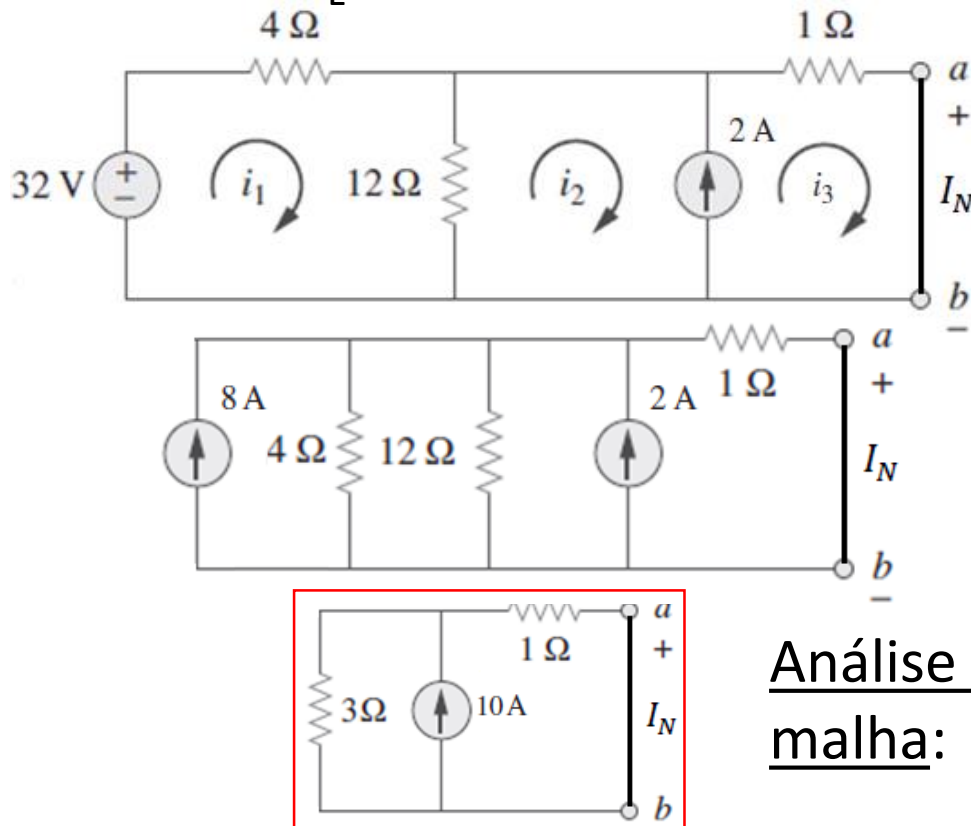
4. Considerando o efeito de todas as fontes, calcular a corrente de curto-circuito entre os terminais a e b.



Teorema de Norton

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Norton do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



Análise de malha:

Procedimento

4. Considerando o efeito de todas as fontes, calcular a corrente de curto-circuito entre os terminais a e b.

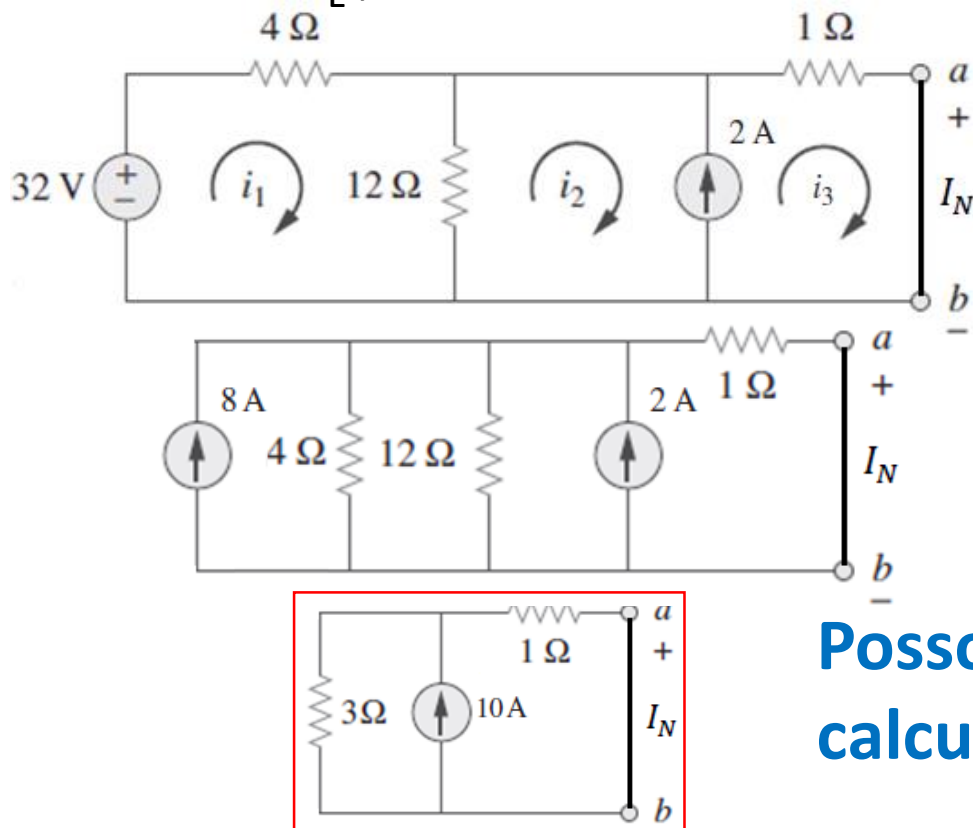
$$I_N = \frac{\frac{1}{1}}{\frac{1}{1} + \frac{1}{3}} 10 = \frac{\frac{1}{4}}{\frac{3}{4}} 10 = \frac{3}{4} 10$$

$I_N = 7,5\text{ A}$

Teorema de Norton

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Norton do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



Procedimento

4. Considerando o efeito de todas as fontes, calcular a corrente de curto-circuito entre os terminais a e b.

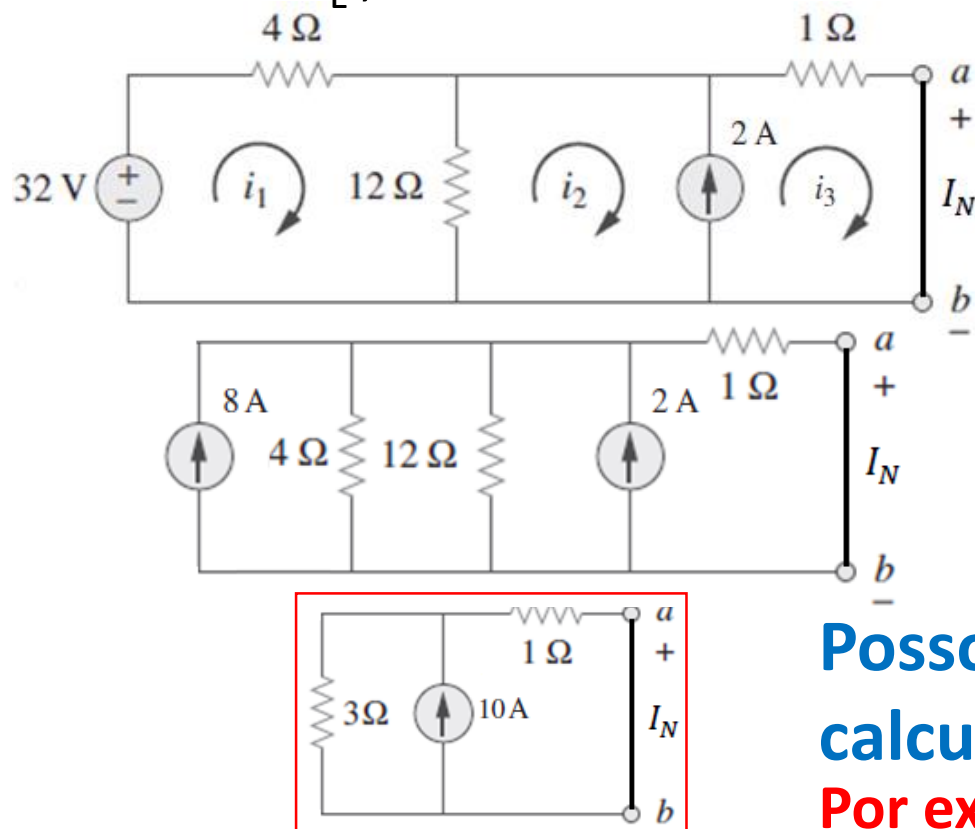
Posso usar outro método para calcular I_N ?



Teorema de Norton

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Norton do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



Procedimento

4. Considerando o efeito de todas as fontes, calcular a corrente de curto-circuito entre os terminais a e b.

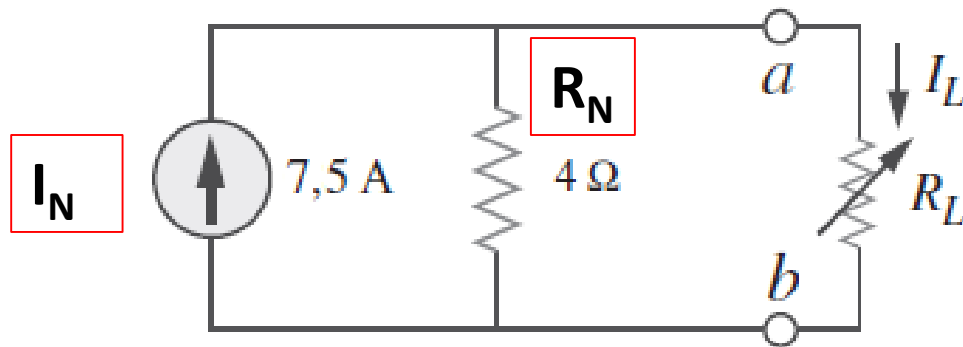
Posso usar outro método para calcular I_N ?

Por exemplo, transformação de fontes.

Teorema de Norton

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Norton do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



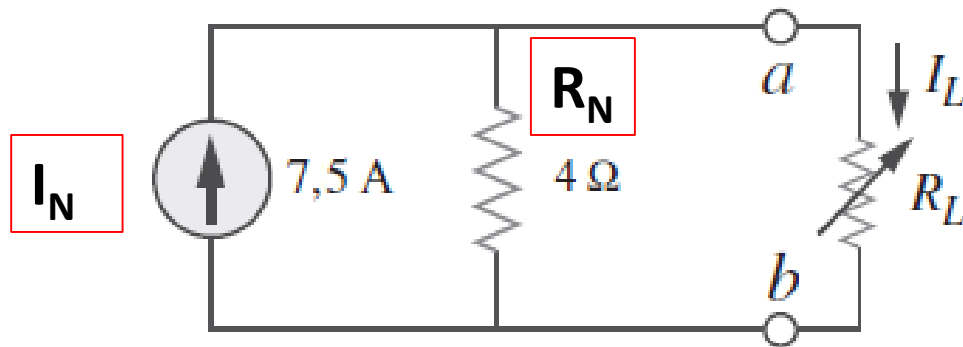
Procedimento

5. Desenhar o circuito equivalente de Norton, com a inserção de R_L entre os terminais desse circuito equivalente.

Teorema de Norton

Exemplo:

Determine o circuito equivalente de Norton do circuito, à esquerda dos terminais a-b. Em seguida, determine a corrente através de R_L , considerando os valores de $6\ \Omega$ e $36\ \Omega$.



Determinar a corrente para os valores de R_L .

Quando $R_L = 6$,
$$I_L = \frac{\frac{1}{6}}{\frac{1}{6} + \frac{1}{4}} 7,5 = \frac{\frac{1}{6}}{\frac{5}{12}} 7,5 = \frac{12}{30} 7,5$$

$$I_L = 3\text{ A}$$

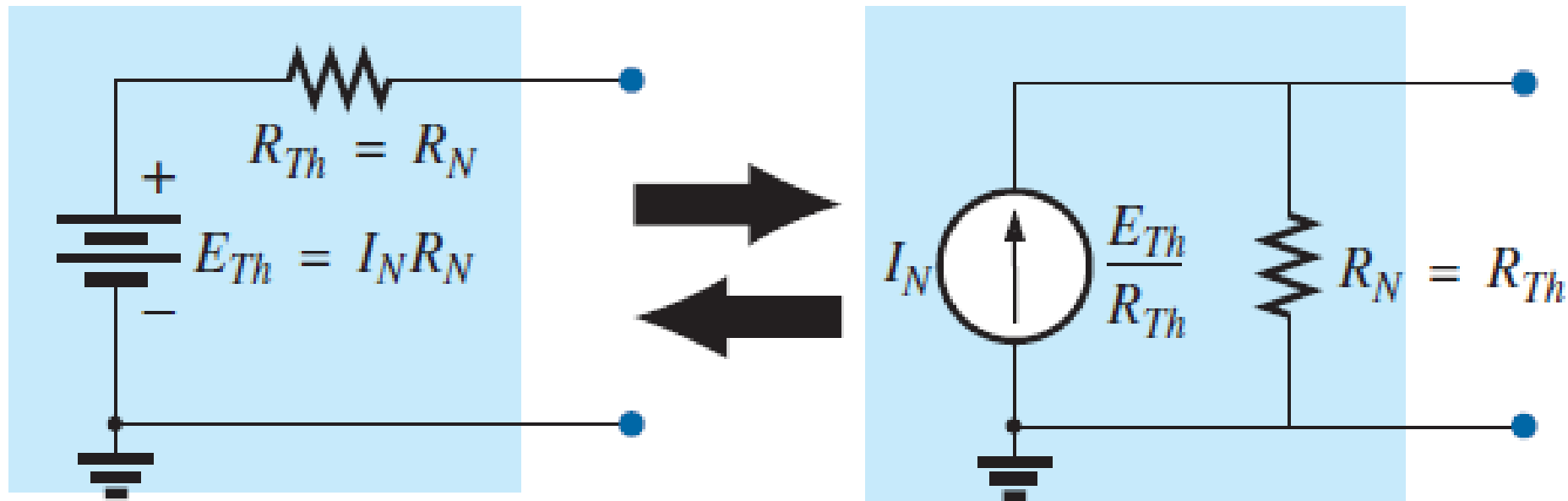
Quando $R_L = 36$,
$$I_L = \frac{\frac{1}{36}}{\frac{1}{36} + \frac{1}{4}} 7,5 = \frac{\frac{1}{36}}{\frac{10}{36}} 7,5 = \frac{36}{360} 7,5$$

$$I_L = 0,75\text{ A}$$



Transformação de Thévenin para Norton e vice-versa

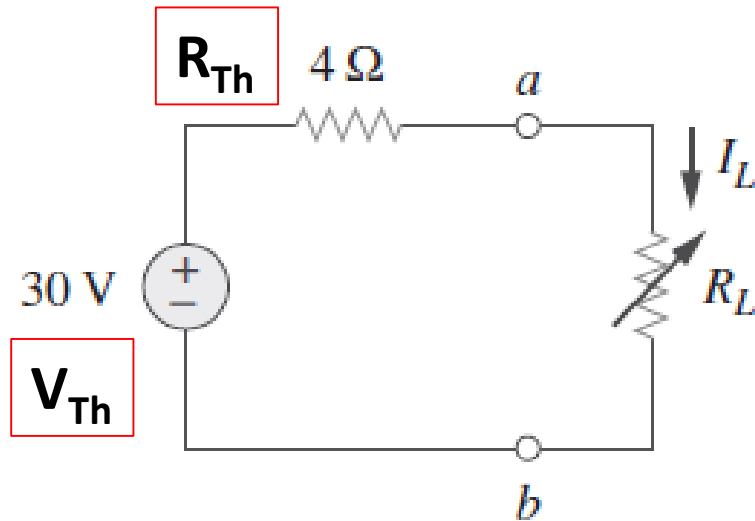
Transformação Thévenin/Norton e vice-versa



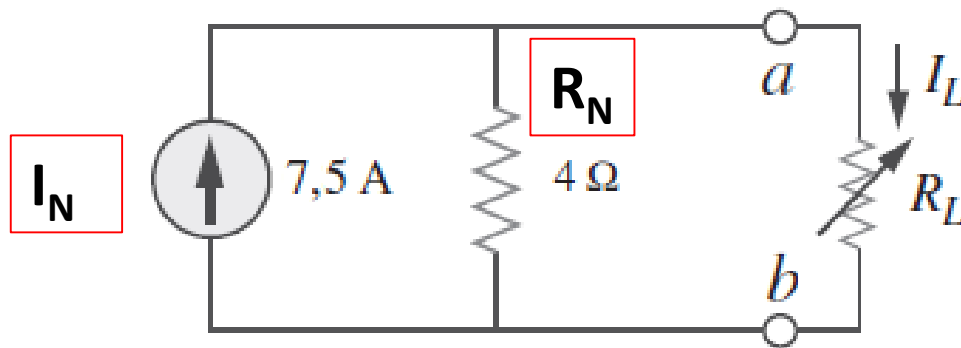
Conversão entre os circuitos equivalentes de Norton e de Thévenin.



Transformação Thévenin/Norton e vice-versa



$$V_{Th} = I_N \cdot R_N$$



$$I_N = \frac{V_{Th}}{R_{Th}}$$



Máxima transferência de potência

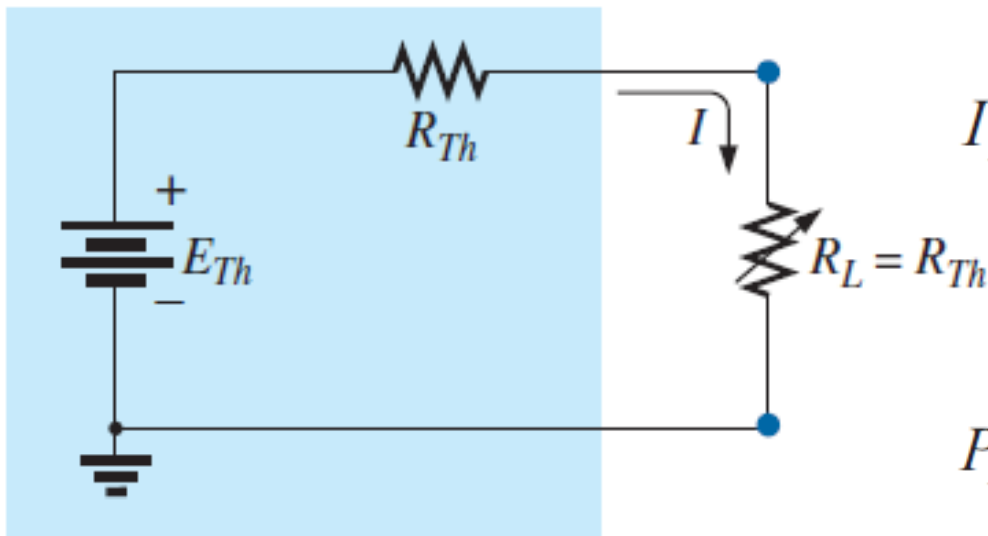


Máxima transferência de potência

A potência transferida por um circuito a uma carga será máxima quando a resistência dessa carga for exatamente igual à resistência de Thévenin (R_{Th}) do circuito ligado a essa carga.

$$R_L = R_{Th}$$

Máxima transferência de potência



$$I_L = \frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_L} = \frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_{Th}} = \frac{E_{Th}}{2R_{Th}}$$

$$P_L = I_L^2 R_L = \left(\frac{E_{Th}}{2R_{Th}} \right)^2 (R_{Th}) = \frac{E_{Th}^2 R_{Th}}{4R_{Th}^2}$$

Condições para máxima transferência de potência a uma carga usando o circuito equivalente de Thévenin.

$$P_{Lm} = \frac{E_{Th}^2}{4R_{Th}}$$



Referências

Boylestad, R., L. Introdução à análise de circuitos, 12nd ed. Pearson, 2012.

Alexader, C. K., Sadiku, M., N., O. Fundamentos Circuitos Elétricos , 5ta ed. Mc Graw Hill, 2013.



Universidade de São Paulo (USP), Escola
de Engenharia de Lorena (EEL),
Curso de Engenharia Física



Obrigado

Prof. Dr. Andy Blanco Rodriguez

andy.blanco@usp.br

**Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR), Sala A 53C, Área II da EEL-USP,
Estrada Chiquito de Aquino, N° 1000, Lorena, São Paulo, Brasil.**