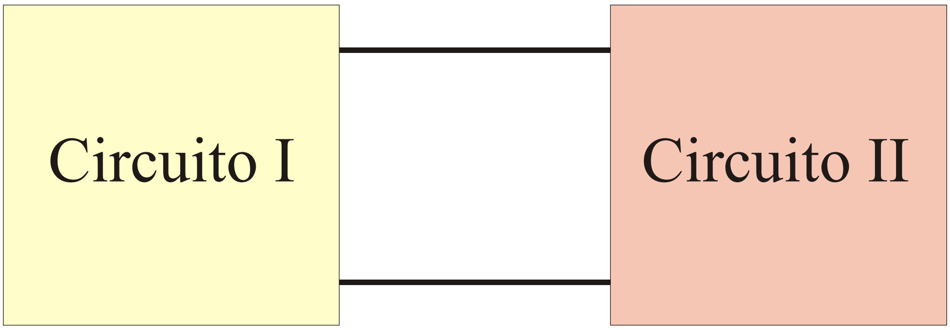
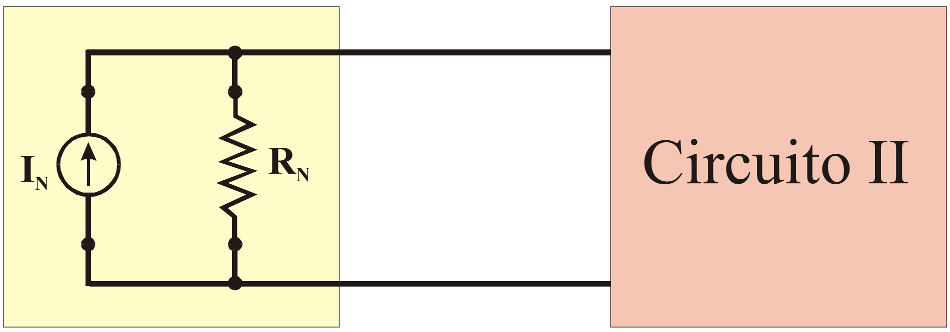
16. Teorema de Norton

Um **circuito I** e um **circuito II** estão ligados entre si por dois condutores ideais e isolados de outros circuitos, verificando-se as seguintes condições:

- O circuito I e o circuito II são **lineares**, podendo conter:
  - resistências;
  - fontes ideais independentes;
  - fontes ideais dependentes lineares.
- Se o circuito I tiver **fontes ideais dependentes lineares**, as tensões e correntes que controlam essas fontes pertencem todas ao circuito I.
- Se o circuito II tiver **fontes ideais dependentes lineares**, as tensões e correntes que controlam essas fontes pertencem todas ao circuito II.



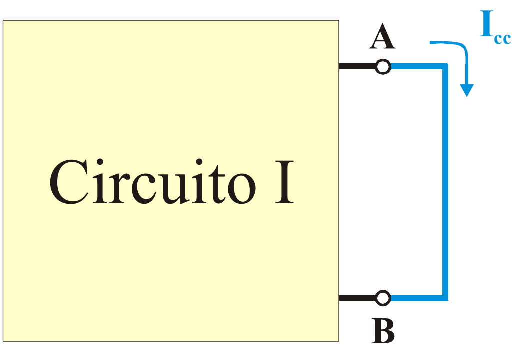
Nestas circunstâncias, todas as tensões e correntes que existem no **circuito II** continuam a ser as mesmas se o **circuito I** for substituído pelo seu **Equivalente de Norton**.



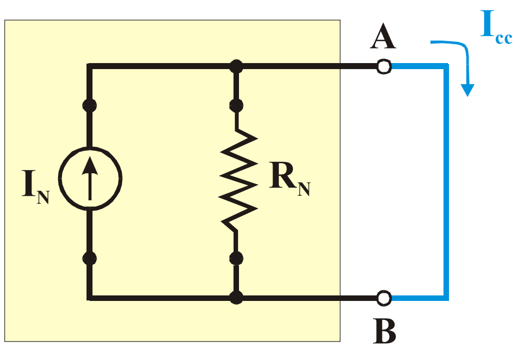
16.1 Determinação de I_N

Se os dois condutores ideais que ligam o circuito I ao circuito II forem cortados, no circuito I formam-se dois terminais, A e B.

I_N é a **corrente de curto-circuito** (I_{cc}) relativa aos terminais A e B, ou seja, a corrente que passa num condutor ideal colocado entre esses terminais.



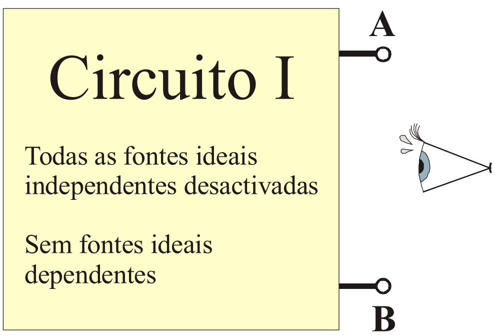
$\boxed{I_N = I_{cc}}$



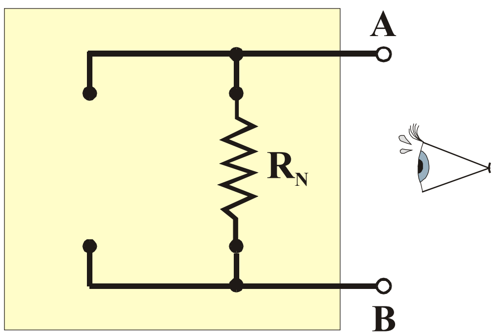
$\boxed{I_N = I_{cc}}$

16.2 Determinação de R_N com o circuito desactivado, por análise de associações de resistências

Este método não se pode aplicar quando o circuito possui fontes ideais dependentes.

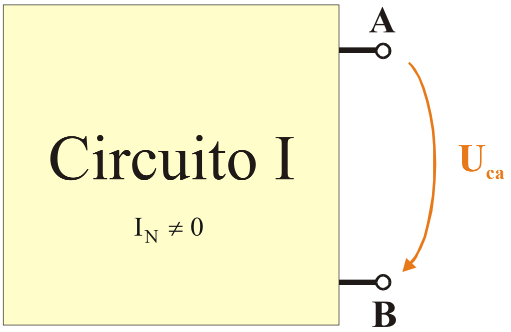


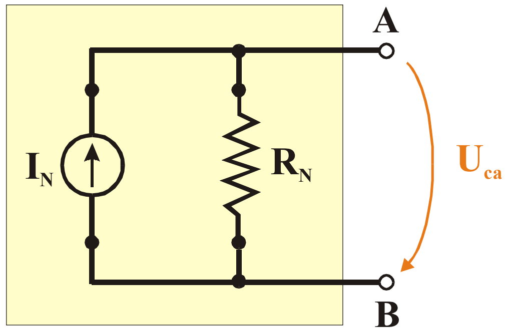
$\boxed{R_N = R_{AB}}$



$\boxed{R_N = R_{AB}}$

16.3 Determinação de R_N sem desactivação do circuito

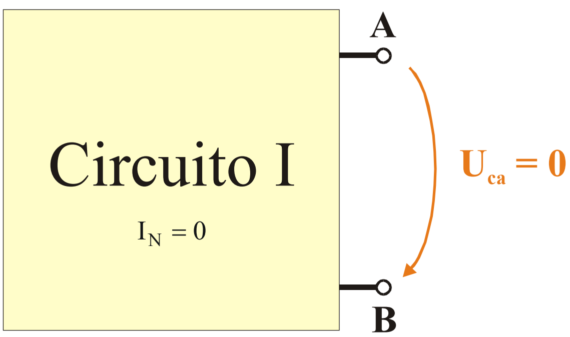


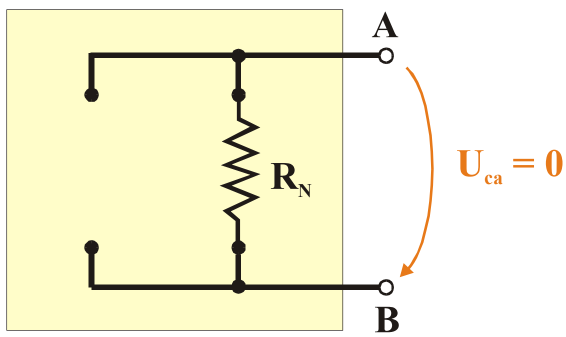


$$\boxed{R_N = \frac{U_{ca}}{I_N}} \qquad \boxed{R_N = \frac{U_{ca}}{I_N}}$$

16.4 Determinação de R_N quando I_N é nulo, sem análise de associações de resistências

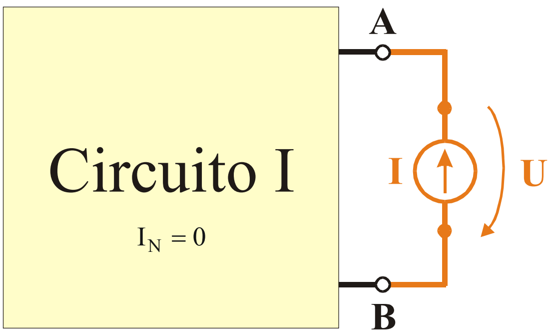
Quando $I_N = 0$, não é possível calcular R_N recorrendo à tensão de circuito aberto, uma vez que esta também é nula.



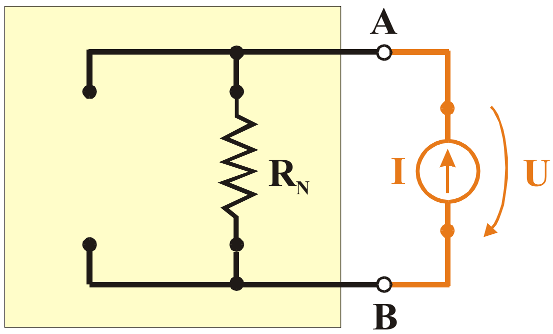


$$\boxed{U_{ca} = 0} \qquad \boxed{U_{ca} = 0}$$

16.4.1 Recurso a uma fonte ideal de corrente

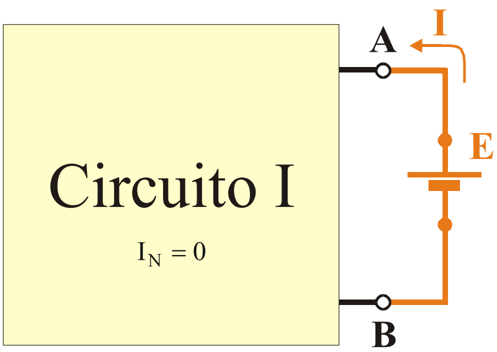


$$\boxed{R_N = \frac{U}{I}}$$

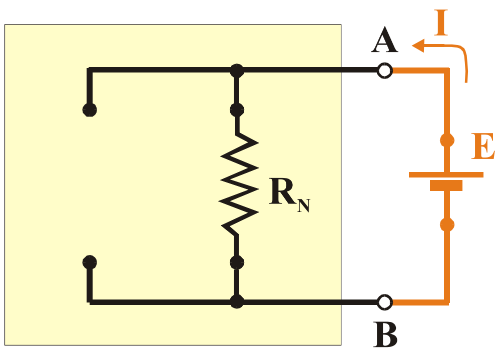


$$\boxed{R_N = \frac{U}{I}}$$

16.4.2 Recurso a uma fonte ideal de tensão

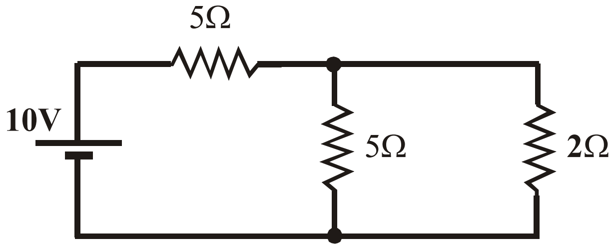


$$\boxed{R_N = \frac{E}{I}}$$



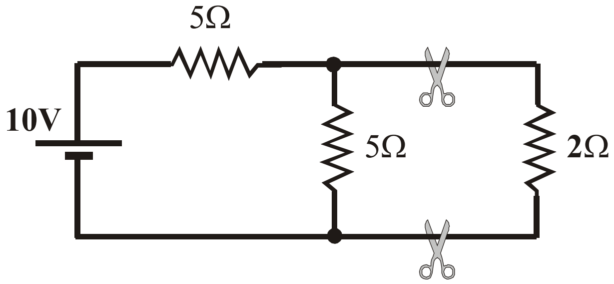
$$\boxed{R_N = \frac{E}{I}}$$

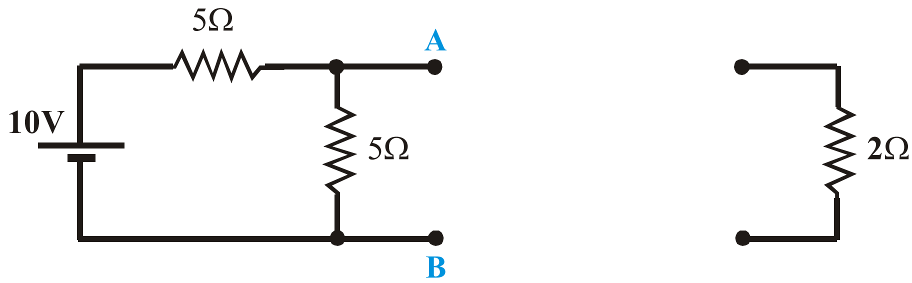
Exemplo: Recorrendo ao Teorema de Norton, determinar o valor da corrente que atravessa a resistência de 2Ω.



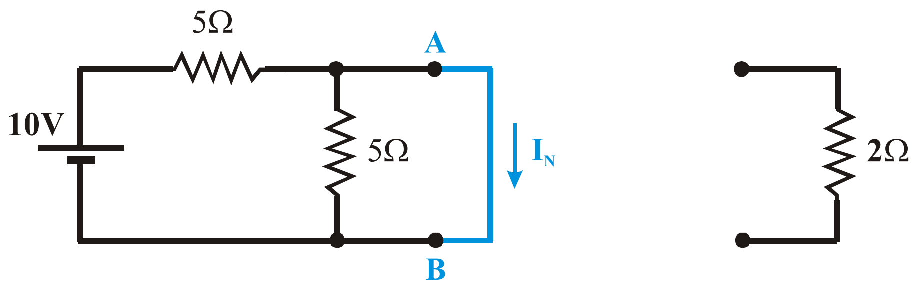
Tópicos de Resolução:

1. Retirar a resistência de 2Ω.

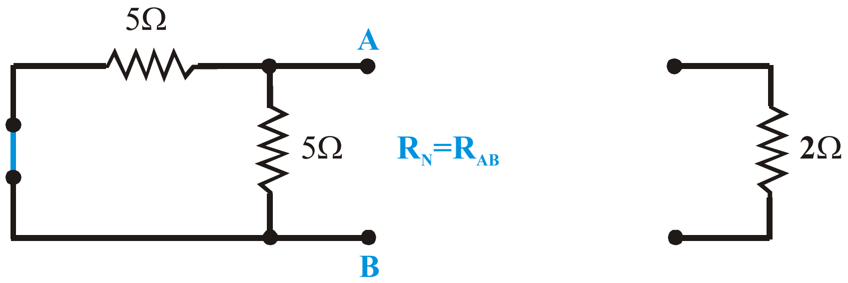




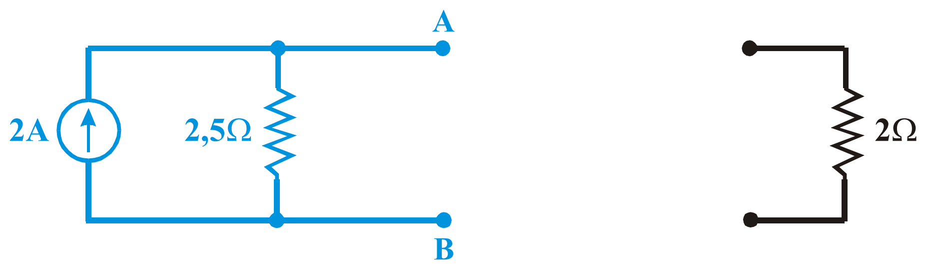
2. Calcular $\mathbf{I_N}$.

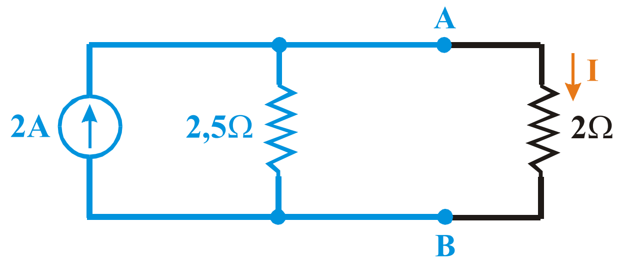


3. Calcular $\mathbf{R_N}$.

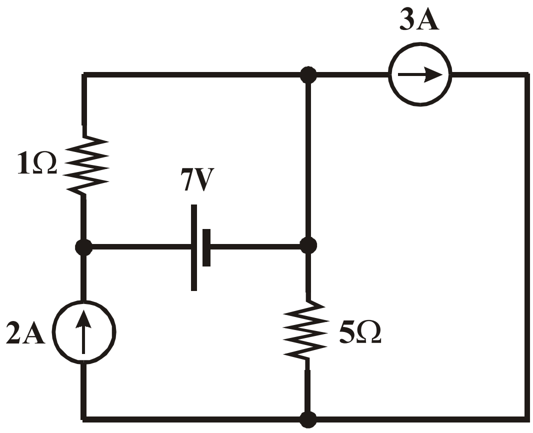


4. Ligar a resistência de 2Ω ao circuito equivalente e calcular **I**.



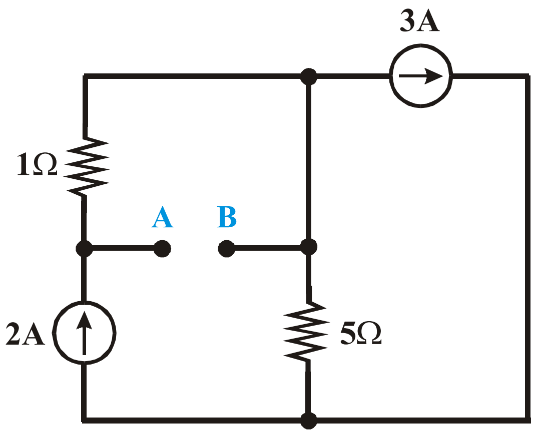


Exemplo: Recorrendo ao Teorema de Norton, determinar o valor da potência em jogo na fonte ideal de tensão.

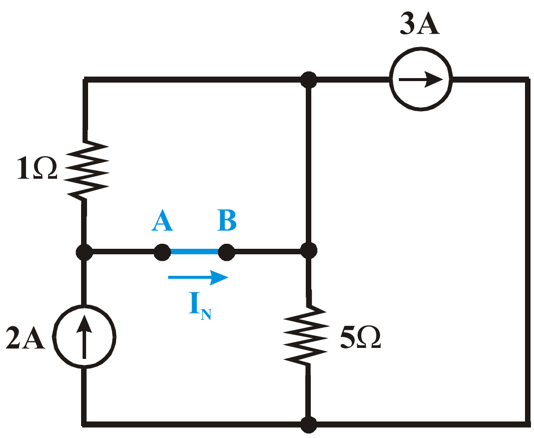


Tópicos de Resolução:

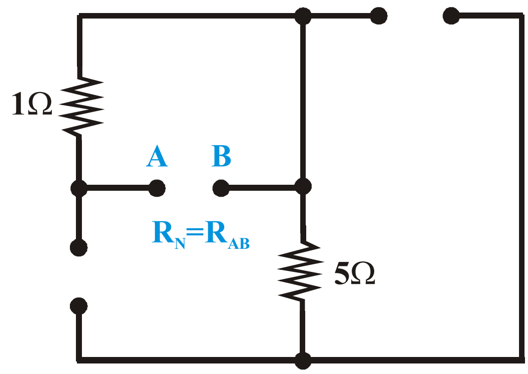
1. Retirar a fonte ideal de tensão.



2. Calcular $\mathbf{I_N}$.

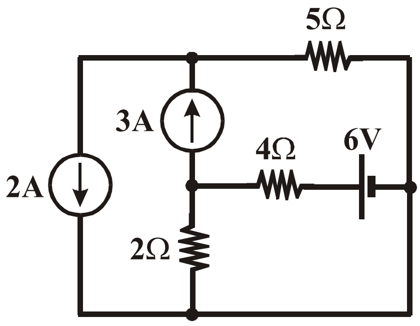


3. Calcular $\mathbf{R_N}$.



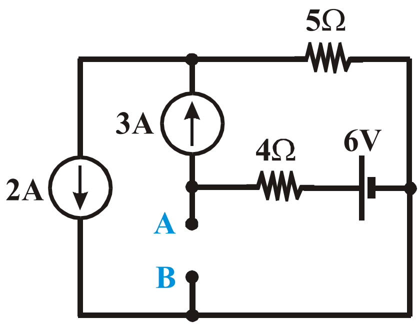
4. Ligar a fonte ideal de tensão ao circuito equivalente e determinar a potência em jogo nessa fonte.

Exemplo: Recorrendo ao Teorema de Norton, determinar o valor da potência em jogo na resistência de 2Ω.

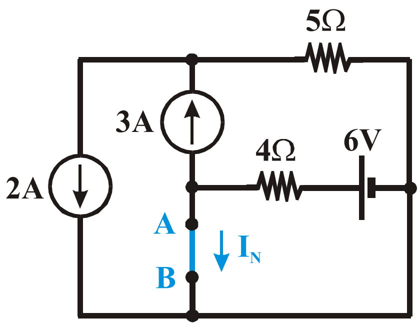


Tópicos de Resolução:

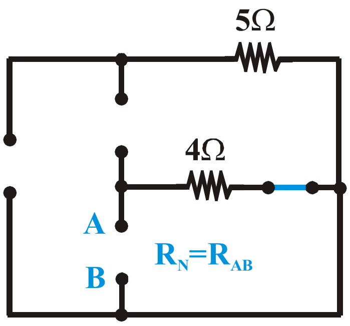
1. Retirar a resistência de 2Ω.



2. Calcular $\mathbf{I_N}$.

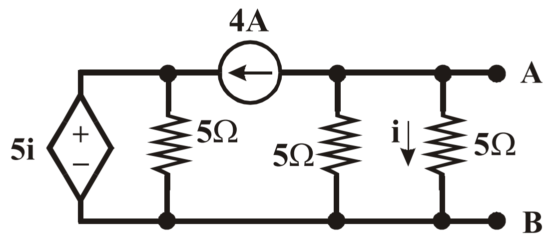


3. Calcular $\mathbf{R_N}$.



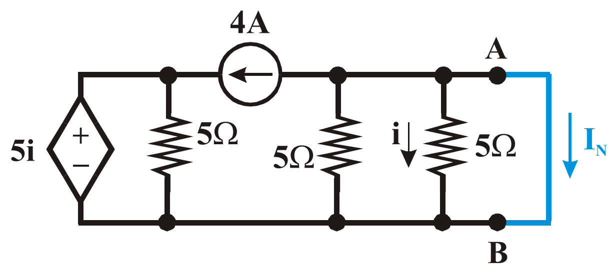
4. Ligar a resistência de 2Ω ao circuito equivalente e determinar a potência em jogo nessa resistência.

Exemplo: Determinar o equivalente de Norton do circuito representado, relativamente aos terminais A e B.

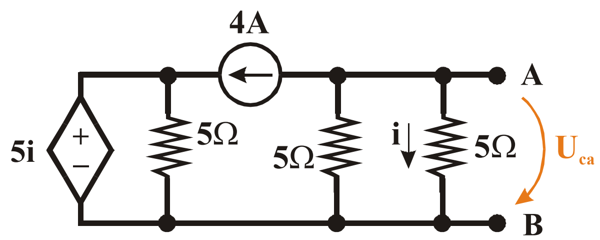


Tópicos de Resolução:

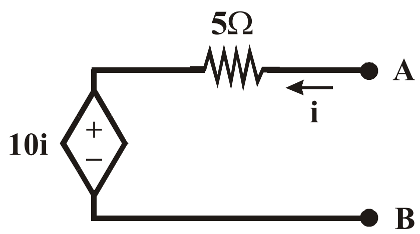
1. Calcular $\mathbf{I_N}$.



2. Calcular $\mathbf{R_N}$ a partir da tensão de circuito aberto $\mathbf{U_{ca}}$.

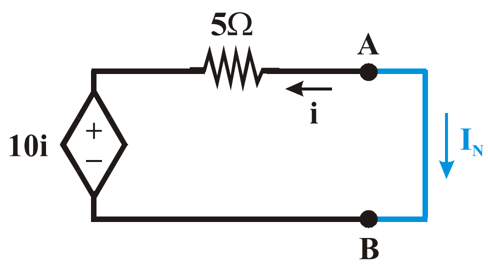


Exemplo: Determinar o equivalente de Norton do circuito representado, relativamente aos terminais A e B.

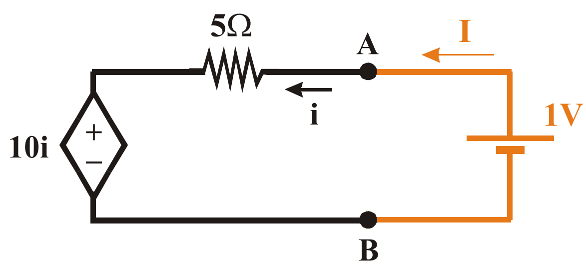


Tópicos de Resolução:

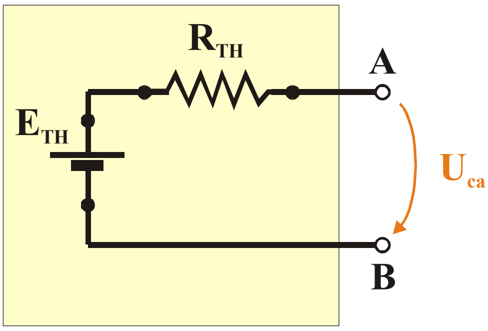
1. Calcular $\mathbf{I_N}$.

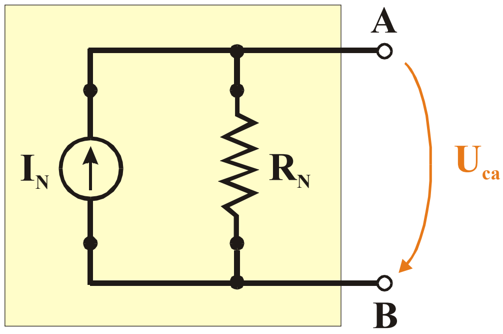


3. Calcular $\mathbf{R_N}$ recorrendo à fonte ideal de tensão de 1V.

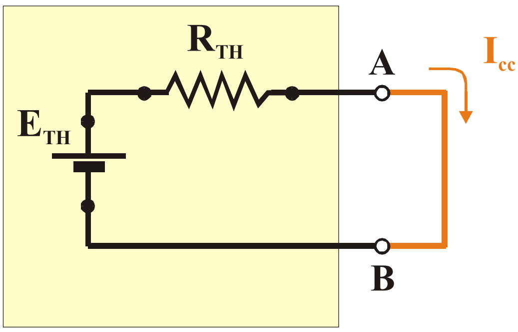


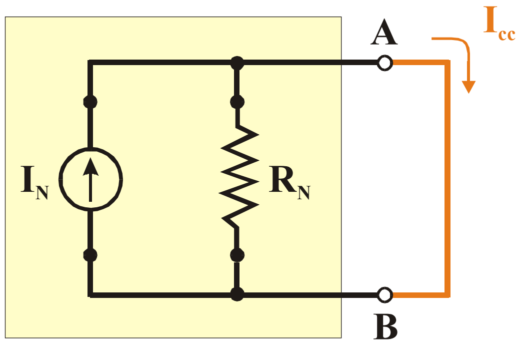
17. Relação Existente Entre o Equivalente de Thévenin e o Equivalente de Norton



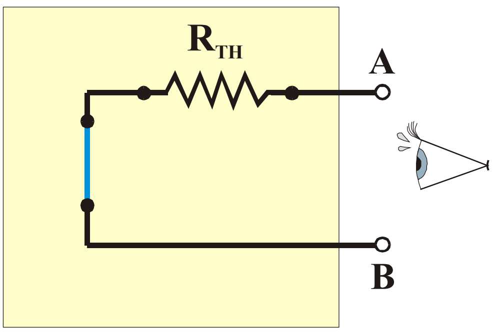


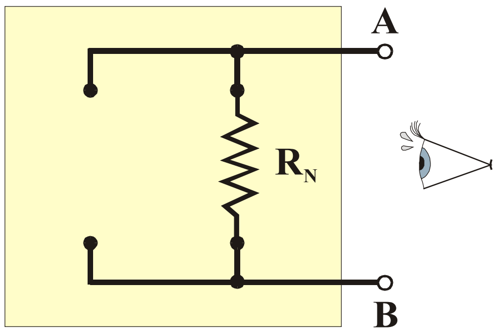
$\boxed{U_{ca} = E_{TH}}$ $\boxed{U_{ca} = R_N \cdot I_N}$ $\boxed{E_{TH} = R_N \cdot I_N}$





$\boxed{I_{cc} = \frac{E_{TH}}{R_{TH}}}$ $\boxed{I_{cc} = I_N}$ $\boxed{I_N = \frac{E_{TH}}{R_{TH}}}$



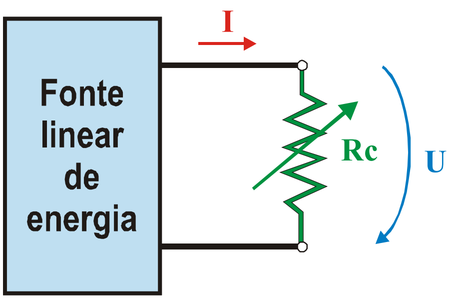


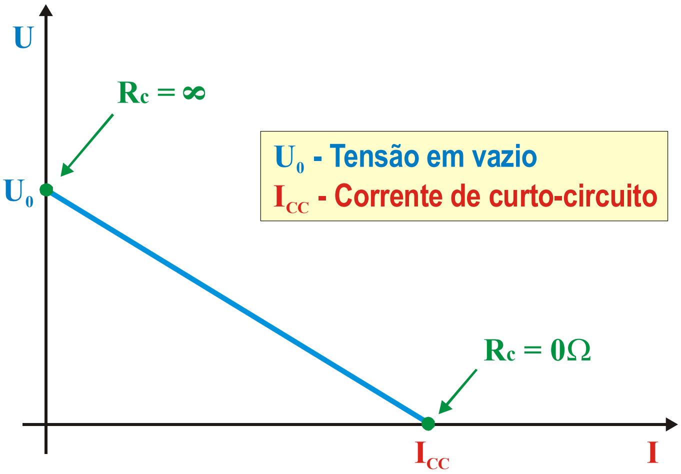
$\boxed{R_{AB} = R_{TH}}$ $\boxed{R_{AB} = R_N}$ $\boxed{R_{TH} = R_N}$

18. Fontes Lineares de Energia

Numa **fonte linear de energia**, a característica U=f(I) é uma recta.

18.1 Tensão (U) Existente nos Terminais de uma Fonte Linear de Energia e Corrente (I) Debitada pela mesma Fonte quando esta Possui uma Carga Resistiva (R_C).

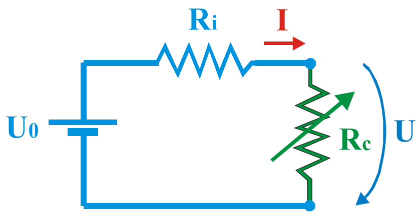




18.1.1 Análise Recorrendo ao Equivalente de Thévenin da Fonte Linear de Energia

- A característica **U=f(I)** corresponde à equação:

$$\boxed{U = U_0 - \frac{U_0}{I_{CC}} \cdot I} \qquad \frac{U_0}{I_{CC}} = R_i \quad \Rightarrow \quad \boxed{U = U_0 - R_i \cdot I}$$



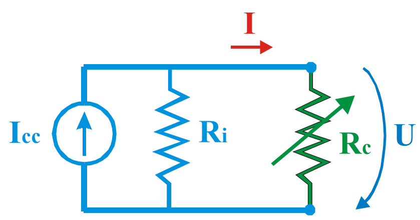
- A partir do modelo equivalente obtêm-se as equações **U=f(R$_c$)** e **I=f(R$_c$)**:

$$\boxed{\begin{aligned} U &= \frac{R_C}{R_i + R_C} \cdot U_0 \\ I &= \frac{U_0}{R_i + R_C} \end{aligned}}$$

18.1.2 Análise Recorrendo ao Equivalente de Norton da Fonte Linear de Energia

- A característica **I=f(U)** corresponde à equação:

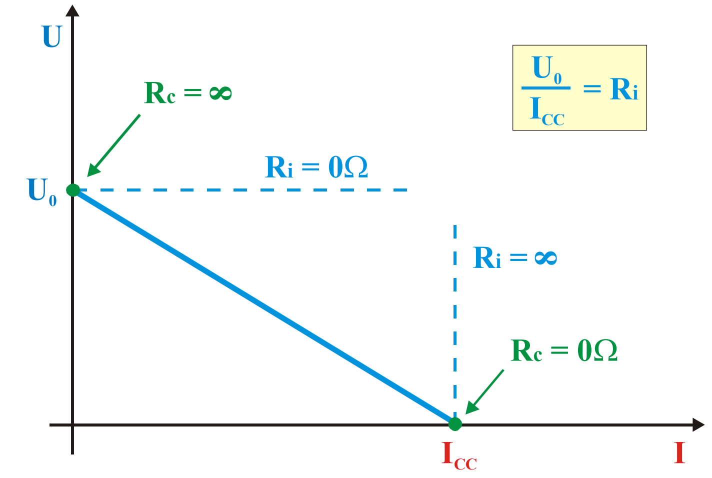
$$\boxed{I = I_{CC} - \frac{U}{\frac{U_0}{I_{CC}}}} \qquad \frac{U_0}{I_{CC}} = R_i \quad \Rightarrow \quad \boxed{I = I_{CC} - \frac{U}{R_i}}$$



- A partir do modelo equivalente obtêm-se as equações **I=f(R$_c$)** e **U=f(R$_c$)**:

$$\boxed{\begin{aligned} I &= \frac{R_i}{R_i + R_C} \cdot I_{CC} \\ U &= \frac{R_i \cdot R_C}{R_i + R_C} \cdot I_{CC} \end{aligned}}$$

18.2 Aproximação de uma Fonte Linear de Energia a uma Fonte Ideal de Tensão ou a uma Fonte Ideal de Corrente



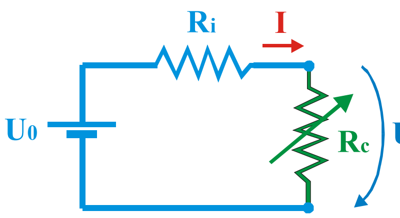
- Fonte ideal de tensão ($I_{CC} = \infty$)

$$\boxed{\frac{U_0}{I_{CC}} = R_i = 0\Omega}$$

- Fonte ideal de corrente ($U_0 = \infty$)

$$\boxed{\frac{U_0}{I_{CC}} = R_i = \infty}$$

- Fonte linear de energia com uma carga resistiva

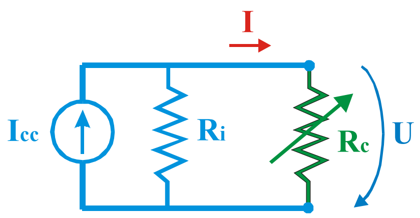


$$\boxed{\begin{aligned} U &= \frac{R_C}{R_i + R_C} \cdot U_0 \\ I &= \frac{U_0}{R_i + R_C} \end{aligned}}$$

$$\boxed{R_c >> R_i} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\begin{aligned} U &\approx U_0 \\ I &\approx \frac{U_0}{R_C} \end{aligned}}$$

Se $R_C >> R_i$ a fonte aproxima-se de uma fonte ideal de tensão, uma vez que U varia pouco com R_C.

- Fonte linear de energia com uma carga resistiva



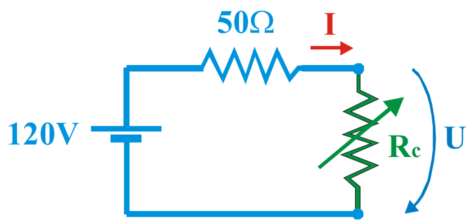
$$\boxed{\begin{aligned} I &= \frac{R_i}{R_i + R_C} \cdot I_{CC} \\ U &= \frac{R_i \cdot R_C}{R_i + R_C} \cdot I_{CC} \end{aligned}}$$

$$\boxed{R_c << R_i} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\begin{aligned} I &\approx I_{CC} \\ U &\approx R_C I_{CC} \end{aligned}}$$

Se $R_C << R_i$ a fonte aproxima-se de uma fonte ideal de corrente, uma vez que I varia pouco com R_C.

Exemplo:

$$U_0 = 120V$$
$$R_i = 50\Omega$$



$$\begin{cases} U = \dfrac{R_C}{50 + R_C} \cdot 120 \\ I = \dfrac{120}{50 + R_C} \end{cases}$$