Algumas propriedades importantes de circuitos elétricos

1) Leis de Kirchhoff

1.1) 1ª Lei de Kirchhoff: "*A soma algébrica das correntes em um nó é nula*"

Definições:
- nó = ligação de dois ou mais componentes do circuito.
- Corrente que entra deve ter sinal contrário da corrente que sai.

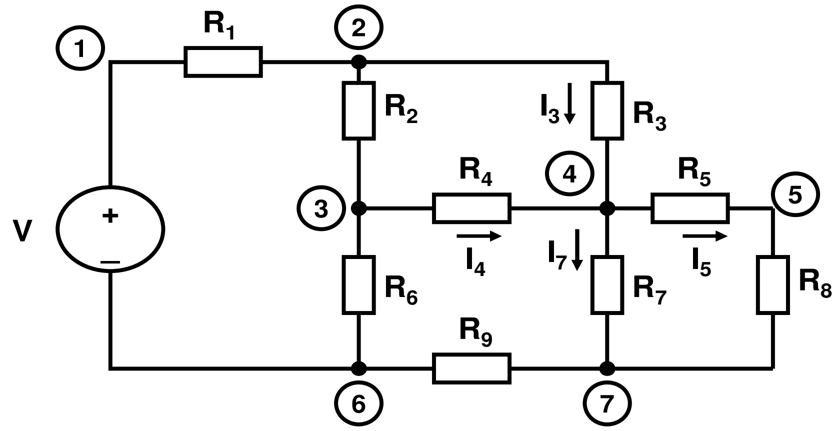


Figura 1 – Circuito elétrico com fonte de tensão e 7 nós.

Na Figura 1 pode-se ver um circuito elétrico com 7 nós. Aplicando a 1ª Lei de Kirchhoff ao nó 4 obtém-se a Eq.1.

$$I_3 + I_4 - I_5 - I_7 = 0 \qquad [1]$$

Se passarmos os termos negativos para o outro lado da Eq.1 teremos a Eq.2.

$$I_3 + I_4 = I_5 + I_7 \qquad [2]$$

Ou seja, pode-se reformular o enunciado da 1ª Lei de Kirchhoff (também conhecida como "Lei dos nós" ou "Lei das correntes") como: *"A soma algébrica das intensidades das correntes que entram em um nó é igual à soma algébrica das intensidades das correntes que saem desse nó"*. **Neste caso, as correntes são expressas sempre por seus módulos**.

1.2) 2ª Lei de Kirchhoff: "*A soma algébrica das tensões em uma malha ou laço é nula*"

Definições:

- laço = qualquer percurso fechado no circuito que não repete os nós (exceto o nó inicial e final);
- malha = laço que não contém outro laço dentro;
- O sinal da tensão depende do sentido da sua polaridade em relação ao percurso.

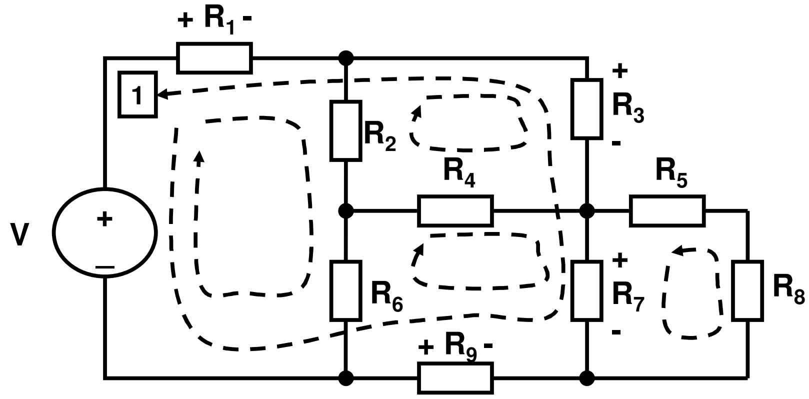


Figura 2 – Circuito elétrico com fonte de tensão e 12 laços (nesta figura são mostrados apenas 5 laços). Repare que este circuito possui 4 malhas.

Se for aplicada a 2ª Lei de Kirchhoff ao circuito da Figura 2, a expressão do laço 1 em destaque será dada pela Eq.3.

$$V + V_{R9} - V_{R7} - V_{R3} - V_{R1} = 0 \qquad [3]$$

Ou ainda:

$$V + V_{R9} = V_{R7} + V_{R3} + V_{R1} \qquad [4]$$

Da mesma forma, se tomarmos a malha composta pelos resistores R_5, R_7 e R_8 teremos a Eq. 5.

$$V_{R7} - V_{R8} - V_{R5} = 0 \qquad [5]$$

Que resulta (vide figura 1) em:

$$R_7 . I_7 = (R_5 + R_8).I_5 \qquad [6]$$

Por isso, a 2ª Lei de Kirchhoff também é conhecida como "Lei das Malhas" ou "Lei das Tensões".

2) Teorema da Superposição

Basicamente, o teorema da Superposição consiste em afirmar que: "se um circuito linear possui diversas fontes de alimentação (entradas ou excitações), então a saída total deste circuito (ou seja, o valor da tensão ou da corrente em um determinado ponto deste circuito) será igual à soma das saídas correspondentes a cada uma das fontes de alimentação consideradas isoladamente".

☺ **Humor:** Faça a seguinte analogia:

- Circuito → Você
- Entradas → Hambúrguer + batatas-fritas + refrigerante
- Saída → Quantidade de alimento digerido (bolo alimentar) no seu estômago!

Pelo teorema da superposição, para determinar a quantidade total de bolo alimentar no seu estômago (resposta total), basta somar a quantidade correspondente à ingestão do hambúrguer (resposta à entrada 1), com a quantidade ingerida de batatas-fritas (resposta à entrada 2), e com o volume bebido de refrigerante (resposta à entrada 3).

Dica: Para estudar cada fonte separadamente no circuito, é necessário anular as demais. Para isso, deve-se:

- considerar a fonte de tensão como um curto-circuito (V = 0);
- considerar a fonte de corrente como um circuito aberto (I = 0).

Exemplo 1 - Superposição

No circuito da Figura 4, calcule a corrente no resistor R_1.

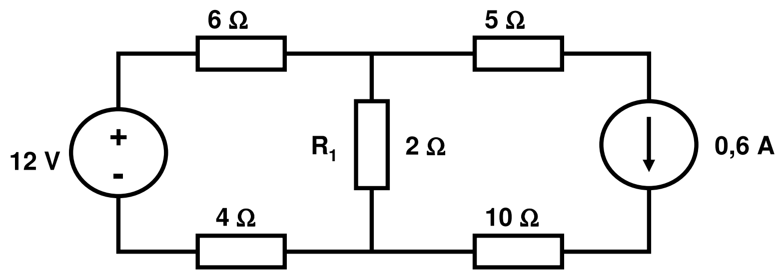


Figura 4

Solução: utilizando o teorema da superposição podemos estudar separadamente a influência das fontes de corrente e de tensão em R_1. Disto, considerando somente a fonte de tensão (ou seja, anulando a fonte de corrente) encontraremos a Figura 5 a seguir.

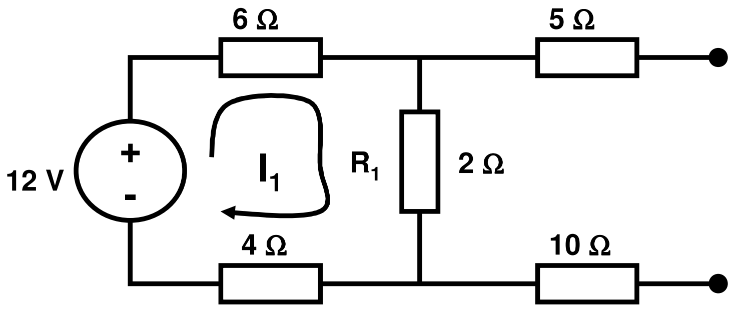


Figura 5

Analisando a figura 5, pode-se perceber que a corrente no resistor R_1 devida a fonte de tensão será dada por:

$$I_1 = \frac{12\,V}{6\,\Omega + 2\,\Omega + 4\,\Omega} = 1\,A$$

Agora considerando apenas a fonte de corrente (ou seja, anulando a fonte de tensão), teremos a Figura 6.

Observando as Eqs. 6 e 7 verifica-se que o circuito equivalente de Norton pode ser obtido a partir do equivalente de Thévenin e vice-versa.

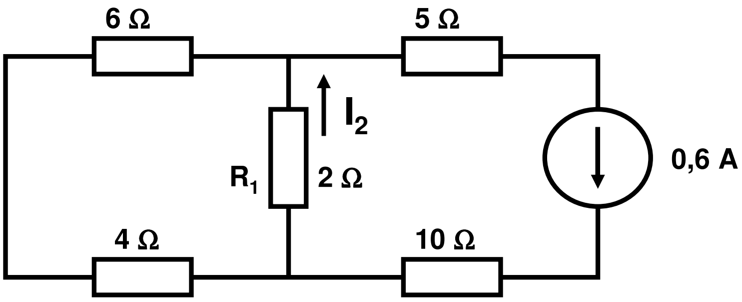


Figura 6

Com isso, a corrente em R_1 devida à fonte de corrente será calculada por:

$$I_2 = \frac{2\,\Omega \cdot (4\,\Omega + 6\,\Omega)}{2\,\Omega + (4\,\Omega + 6\,\Omega)} \cdot \frac{0{,}6\,A}{2\,\Omega} = \frac{5}{6} \cdot 0{,}6\,A = 0{,}5\,A$$

Como I_1 e I_2 tem sentidos opostos, a corrente total em R_1 será dada por:

$$I_{R1} = I_1 - I_2 = 1\,A - 0{,}5\,A = 0{,}5\,A$$

Assim, a corrente em R_1 será de 0,5 Ampères no sentido de cima para baixo.

3) Circuitos Equivalentes de Thévenin e Norton

Muitas vezes é preciso determinar a tensão, ou a corrente, em apenas um elemento do circuito, sendo desnecessário resolver todo o circuito. Neste caso, é útil empregar os circuitos equivalentes de Thévenin e Norton.

Basicamente, pode-se dizer que qualquer circuito linear resistivo que alimente uma carga, situada entre os pontos A e B, pode ser substituído por qualquer uma das duas formas mostradas nas Figuras 3a e 3b.

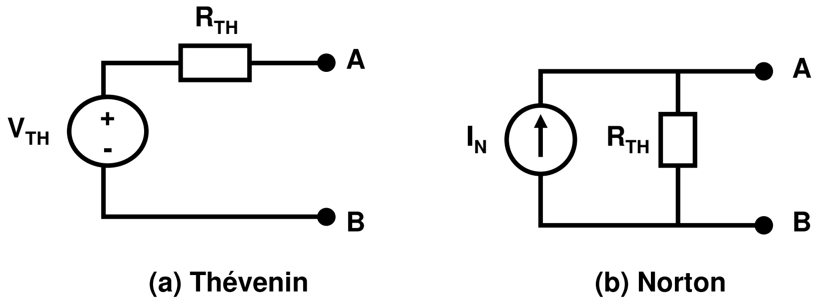


Figura 3 – Circuitos equivalentes de Thévenin e Norton.

Os valores de V_{TH}, R_{TH} e I_N são calculados pelas Eqs. 7 a 9.

$$R_{TH} = R_{AB\ (aberto)} \qquad [7]$$

$$V_{TH} = V_{AB\ (aberto)} = R_{TH} \cdot I_N \qquad [8]$$

$$I_N = I_{AB\ (curto)} = V_{TH} / R_{TH} \qquad [9]$$

Exemplo 2 – Equivalentes Thévenin-Norton

Determine os equivalentes de Thévenin e Norton em relação à carga R_1 do circuito da Figura 4.

Solução: se anularmos as fontes de tensão e corrente, e retirarmos a carga R_1, teremos o circuito mostrado na Figura 7.

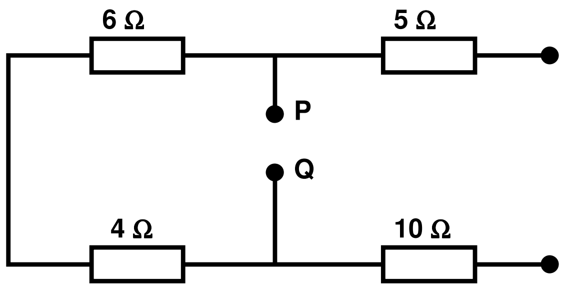
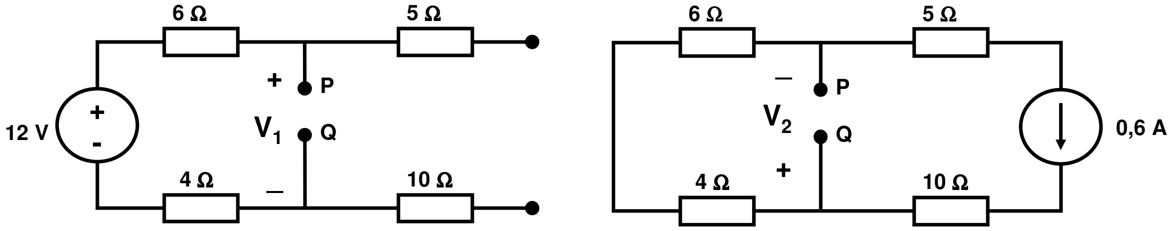


Figura 7 – Cálculo de R_{TH}.

Ao aplicarmos a Eq. 5 no local da carga R_1 (pontos P e Q), obteremos:

$$R_{TH} = 6\ \Omega + 4\ \Omega = 10\ \Omega$$

Aplicando a Eq.6 e o teorema da superposição ao circuito da Fig.4, obteremos as Figs.8a e 8b.

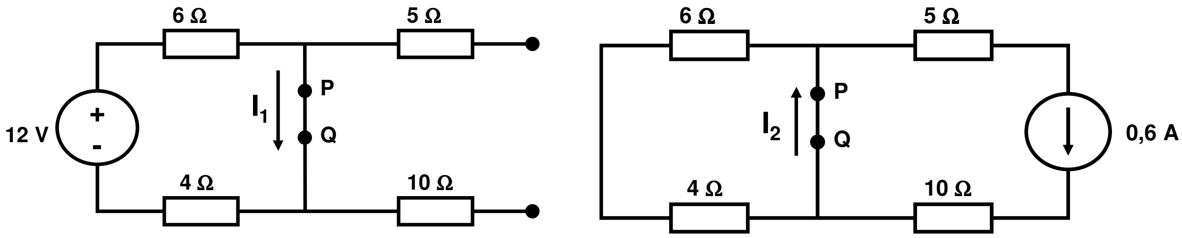


(a) V_{TH} com fonte de tensão **(b) V_{TH} com fonte de corrente**

Figura 8 – Cálculo de V_{TH}.

Disto: $$V_{TH} = V_1 - V_2 = 12\ V - [(6\ \Omega + 4\ \Omega).0{,}6A] = 12\ V - 6\ V = 6\ V$$

Aplicando a Eq.7 e o teorema da superposição ao circuito da Fig.4, obteremos as Figs.9a e 9b.



(a) I_N com fonte de tensão **(b) I_N com fonte de corrente**

Figura 9 – Cálculo de I_N.

Disto: $$I_N = I_1 - I_2 = \frac{12\ V}{6\ \Omega + 4\ \Omega} - 0{,}6\ A = 0{,}6\ A$$

Dica: Veja outra forma de calcular $I_N = V_{TH} / R_{TH} = 6\ V / 10\ \Omega = 0{,}6\ A$