

Circuitos de Corrente Contínua

Nesta prática estudaremos as leis de Kirchoff para análise de circuitos de corrente contínua. Nos experimentos, investigaremos alguns circuitos simples formados por resistores e fontes de tensão contínua.

Sempre que surgir uma dúvida quanto à utilização de um instrumento ou componente, o aluno deverá consultar o professor para esclarecimentos.

Quando for trocar a função de um multímetro, desconecte os fios, gire o botão e só então reconecte ao circuito. Lembre-se que as entradas para voltímetro e ohmímetro são diferentes das entradas para amperímetro.

I. Associação de resistores

Uma vez entendido a origem microscópica da resistência elétrica, vamos agora estudar como os resistores podem ser associados em circuitos elétricos. Se dois ou mais resistores são conectados de forma que a corrente seja a mesma em cada um deles, diz-se que eles estão associados em série (figura 1a).

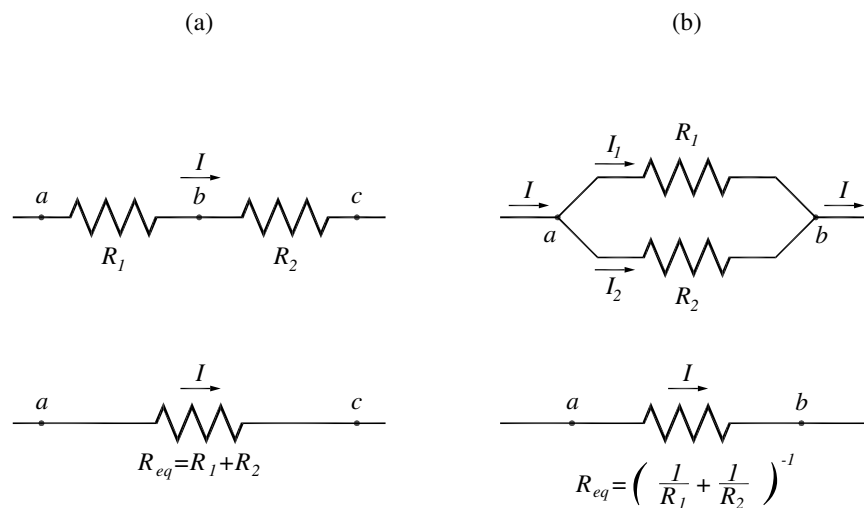


Figura 1 - Associação de resistores: (a) em série; (b) em paralelo

Neste caso, a soma das tensões em cada resistor é igual à tensão total aplicada sobre o conjunto:

$$V = V_{ab} + V_{bc} = R_1 I + R_2 I = (R_1 + R_2) I \quad (1)$$

A resistência equivalente do circuito é definida como:

$$R_{eq} = V / I = R_1 + R_2 \quad (2)$$

No caso de N resistores associados em série, tem-se que a resistência equivalente é a soma das resistências de todos os N resistores.

Na associação em paralelo (figura 1b), a tensão V nos terminais de cada resistor é a mesma. Assim, a soma das correntes em cada ramo é igual à corrente total do conjunto:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) V \quad (3)$$

A resistência equivalente é dada por:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (4)$$

No caso de N resistores associados em paralelo, o inverso da resistência equivalente é a soma dos inversos de cada uma das N resistências.

II. Leis de Kirchoff

Em algumas situações um circuito elétrico pode ser reduzido a combinações de associações série e paralelo (denominada associação mista de resistores). Porém, em muitos casos não é possível reduzir os circuitos elétricos a simples combinações desse tipo. Nestes casos, a análise do circuito pode ser realizada utilizando um conjunto de

regras formuladas por Gustav Kirchoff em 1845, quando ele ainda era estudante na Universidade de Königsberg, e que ficaram conhecidas como leis de Kirchoff.

A primeira lei de Kirchoff é uma consequência da conservação da carga elétrica, e diz que a soma das correntes que chegam a um nó (ponto no qual três ou mais condutores se conectam) é igual à soma das correntes que dele saem, ou seja:

$$\sum_{\text{nó}} I = 0 \quad (5)$$

A segunda lei de Kirchoff é uma consequência da conservação da energia elétrica, e diz que a soma algébrica das quedas de tensão em torno de qualquer malha fechada do circuito é nula, ou seja:

$$\sum_{\text{malha}} V = 0 \quad (6)$$

Para aplicar as leis de Kirchoff em um circuito qualquer, os seguintes passos devem ser adotados:

- i) Assinala-se um sentido arbitrário de corrente em cada uma das malhas.
- ii) Escolha arbitrariamente um nó e aplique a lei dos nós ao mesmo, ou seja, iguale a soma das correntes que se chegam ao nó com a soma das correntes que dele saem.
- iii) Defina um sentido de percurso para as malhas.
- iv) Percorra uma determinada malha no sentido arbitrado em iii, somando-se as tensões das fontes que compõem a malha. Considera-se que a tensão é positiva quando a fonte é percorrida do pólo negativo para o pólo positivo. Caso contrário o sinal da tensão é negativo.
- v) Percorra a mesma malha no sentido arbitrado em iii), mas agora some as quedas de potencial (RI) provocadas pelos dispositivos passivos (resistores). Neste caso se o sentido de percurso da malha é o mesmo que o sentido arbitrado para corrente no dispositivo a queda de potencial é positiva. Caso contrário ela é negativa.
- vi) Iguale as expressões obtidas nos itens iv e v, obtendo-se assim a equação para a malha em análise.

vii) repita o procedimento para as outras malhas do circuito até obter um sistema equações determinado, ou seja, cujo número de equações linearmente independentes é maior que o número de incógnitas do sistema.

As leis de Kirchoff são, então, aplicadas aos vários nós e malhas para se obter um número suficiente de equações simultâneas, que possibilitem a determinação de todas as correntes desconhecidas. Se alguma das correntes resultar num valor negativo, significa apenas que o sentido da corrente é contrário ao que foi proposto inicialmente para aquele ramo.

Para ilustrar a aplicação da lei de Kirchoff, vamos usar como o exemplo do circuito mostrado na figura 2, com duas baterias e três resistores. Esse circuito não pode ser simplificado através de combinações série-paralelo. Vamos supor que conheçamos os valores das tensões das fontes e dos resistores e que queiramos determinar as correntes.

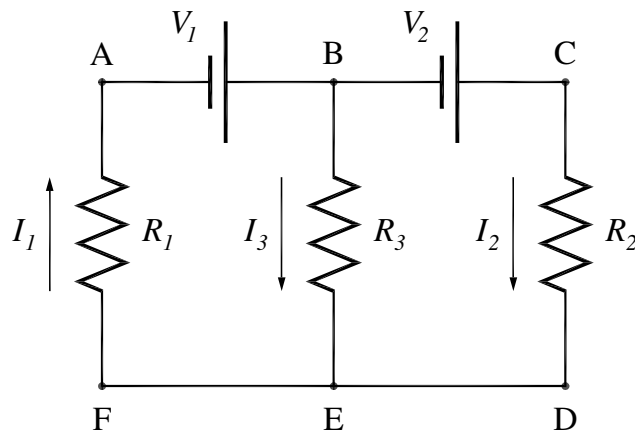


Figura 2 – Circuito para ilustrar a aplicação das leis de Kirchoff

Inicialmente vamos definir as correntes do circuito como I_1 , I_2 e I_3 , cujos sentidos arbitrados estão mostrados na figura 2. Como há três correntes desconhecidas, precisamos de três equações para resolver o sistema. Aplicando a lei dos nós ao nó B, temos:

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (7)$$

Vamos então aplicar a lei das malhas, começando por arbitrar o sentido de percurso como mostrado na figura 2. Aplicando a lei da malhas à malha $ABEF$, temos:

$$V_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3 \quad (8)$$

Note que os sinais do lado direito da equação 8 são positivos, pois o sentido arbitrado para a corrente coincidiu com o sentido de percurso da malha.

Aplicando a lei das malhas à malha $BCDE$, temos:

$$V_2 = R_2 I_2 - R_3 I_3 \quad (9)$$

Note que o sinal negativo para a queda de potencial provocada por R_3 é devido a fato da direção de percurso da malha ter sido contrário ao sentido arbitrado para a corrente.

Temos agora um sistema linear de três equações e três incógnitas, cuja solução é:

$$I_1 = \frac{1}{R_1 R_2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1} \left(V_1 + V_2 + \frac{R_1 V_2}{R_3} \right) \quad (10a)$$

$$I_2 = \frac{1}{R_1 R_2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1} \left(V_1 + V_2 + \frac{R_2 V_1}{R_3} \right) \quad (10b)$$

$$I_3 = \frac{1}{R_1 R_2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1} \left(\frac{R_2 V_1 - R_1 V_2}{R_3} \right) \quad (10c)$$

Dependendo dos valores de R_1 , R_2 , V_1 e V_2 , I_3 pode ser positivo ou negativo, ou até mesmo nulo. Se I_3 é positivo, a corrente tem o sentido arbitrado na figura 2, ou seja, de cima para baixo; se I_3 é negativo, o seu sentido real é contrário ao arbitrado na figura 2, ou seja, de baixo para cima. Isto de fato é uma regra geral, ou seja, toda vez que se obtiver um valor de corrente negativo significa que o sentido real da corrente é contrário ao sentido arbitrado inicialmente. Logo, não há necessidade de se preocupar com o sentido inicial arbitrado para as correntes.

Experimentos

1. Associação de resistores em série

a) Monte um circuito com três resistores (com valores entre 1 kΩ e 3,3 kΩ) em série, como na figura 3, sem a conectar a fonte de alimentação e o amperímetro.

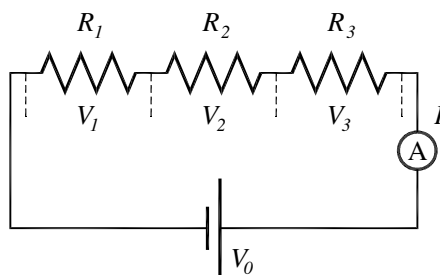


Figura 3 – três resistores em série

b) Meça a resistência equivalente (R_{eq}) da combinação com o ohmímetro e compare com o valor calculado à partir das regras de associação de resistores.

Resultados da medida da resistência equivalente em um circuito da figura 3

R_1	R_2	R_3	R_{eq} (medido)	R_{eq} (calculado)

c) Conecte o amperímetro em série e a fonte de tensão, ajustando a tensão da fonte para $V_0 = 10V$.

d) Meça a corrente (I_0) utilizando a escala de 20 mA do amperímetro, e as tensões (V_1 , V_2 e V_3) entre os terminais de cada resistor. Calcule o valor da resistência equivalente e compare com o valor calculado pela regra de associação de resistores e o medido no ohmímetro.

Resultados da medida de tensões em um circuito da figura 3

V_0	I_0	V_1		V_2		V_3	
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Resistência Equivalente (V_0/I_0):							

2. Associação de resistores em paralelo

a) Monte um circuito colocando os mesmos três resistores do experimento anterior em paralelo, como na figura 4, sem a fonte de alimentação e com os amperímetros substituídos por curtos circuitos.

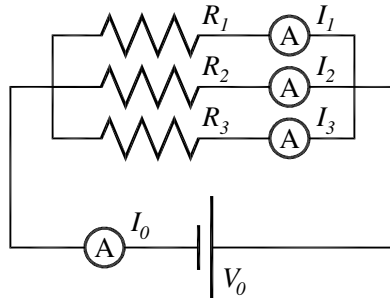


Figura 4 – três resistores em paralelo

b) Meça a resistência equivalente (R_{eq}) da combinação usando o ohmímetro e compare com o valor esperado.

Resultados da medida da resistência equivalente no circuito da figura 4

R_1	R_2	R_3	R_{eq} (medido)	R_{eq} (calculado)

c) Conecte a fonte de tensão o amperímetro que realizará a medida I_0 e o outro que realizará a medida I_1 e ajuste para $V_0 = 10V$.

d) Meça a corrente total (I_0) utilizando a escala de 20 mA do amperímetro, e a corrente I_1 . Na seqüência, repita o procedimento de modo a medir as correntes I_2 e I_3 . A partir da corrente total, calcule a resistência equivalente, e compare com o valor esperado e o medido no ohmímetro.

Resultados da medida de tensões em um circuito da figura 4

V_0	I_0	I_1		I_2		I_3	
		Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Resistência Equivalente (V_0/I_0):							

3. Leis de Kirchoff

- a) Monte o circuito da figura 6, utilizando duas pilhas de 1,5 V como V_1 e V_2 , $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ e $R_3 = 470 \Omega$.

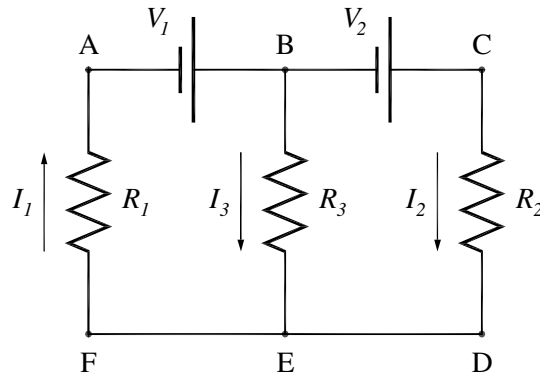


Figura 6 – Circuito para experimento sobre as leis de Kirchoff

- b) Meça as correntes em cada ramo e verifiquem se estão de acordo com as correntes calculadas (equações 10).
- c) Inverta a bateria V_2 e verifique o funcionamento desse circuito. É necessário escrever novamente as leis de Kirchoff? O comportamento observado concorda com o esperado pelas equações 10?

Resultados da medida das correntes no circuito da figura 6

I_1 (calculado)	I_1 (medido)	I_2 (calculado)	I_2 (medido)	I_3 (calculado)	I_3 (medido)

Resultados da medida das correntes no circuito da figura 6 com a bateria V_2 invertida

I_1 (calculado)	I_1 (medido)	I_2 (calculado)	I_2 (medido)	I_3 (calculado)	I_3 (medido)