



Curso Técnico em Eletrotécnica

Eletricidade em Regime de Corrente Contínua

12-LEI DE KIRCHHOFF

Sumário

Introdução	6
Primeira Lei de Kirchhoff	7
Características do circuito paralelo	7
Segunda Lei de Kirchhoff	13
Características dos circuitos série	13
Segunda Lei de Kirchhoff	18
Leis de Kirchhoff e Ohm em circuitos mistos	18
Apêndice	30
Questionário	30
Bibliografia	30

Introdução

Os circuitos eletrônicos em geral se caracterizam por se constituírem de vários componentes, todos funcionando simultaneamente. Ao abrir um rádio portátil, por exemplo, podem-se observar quantos componentes são necessários para que se possa obter o som. Assim é para a grande maioria dos equipamentos eletrônicos.

Ao ligar um aparelho, a corrente flui por muitos caminhos, e a tensão fornecida pela fonte de energia se distribui pelos diversos componentes. Esta distribuição de corrente e tensão obedece fundamentalmente a duas leis: as **Leis de Kirchhoff**.

Para que se possa compreender a distribuição das correntes e tensões em circuitos como o de um rádio portátil, primeiro é necessário estudar e compreender essa distribuição em circuitos simples, formados apenas por resistores, lâmpadas etc. Para isso, foi elaborado este fascículo que tratará das Leis de Kirchhoff .



Para ter sucesso no desenvolvimento do conteúdo e atividades deste fascículo, o leitor já deverá ter conhecimentos relativos a:

- Associação de resistores.
- Lei de Ohm.

Primeira Lei de Kirchhoff

A primeira Lei de Kirchhoff refere-se à forma como a corrente se distribui nos circuitos paralelos, como mostrado na **Fig.1**.

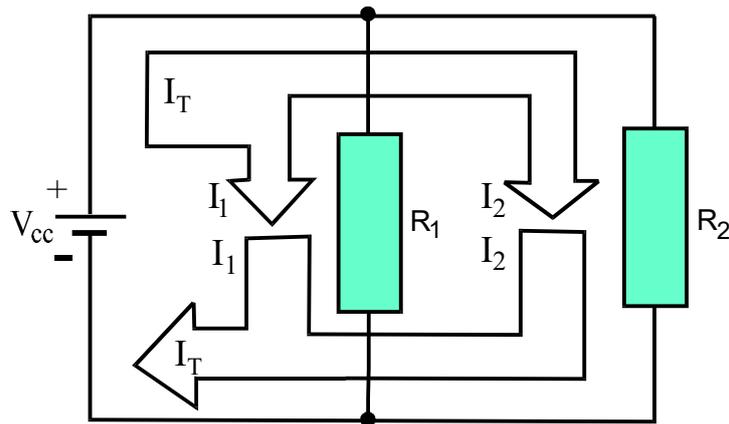


Fig.1 Distribuição da corrente em um circuito paralelo.

Através da primeira Lei de Kirchhoff e da Lei de Ohm, pode-se determinar a corrente em cada um dos componentes associados em paralelo.

O conhecimento e compreensão da primeira Lei de Kirchhoff é indispensável para a manutenção e projeto de circuitos eletrônicos.

CARACTERÍSTICAS DO CIRCUITO PARALELO

Os circuitos paralelos apresentam algumas características particulares, cujo conhecimento é indispensável para a compreensão da primeira Lei de Kirchhoff. Essas características podem ser analisadas, tomando-se como ponto de partida o circuito da **Fig.2**.

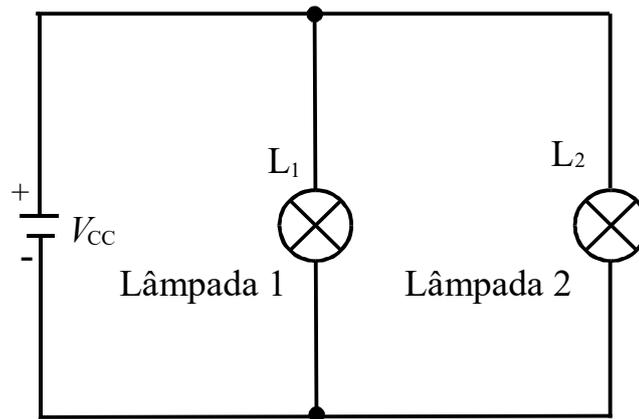


Fig.2 Exemplo de circuito paralelo.

Observando-se o circuito, verifica-se que tanto a lâmpada 1 como a lâmpada 2 têm um dos terminais ligado diretamente ao pólo positivo da fonte de alimentação e o outro ligado ao pólo negativo.

Ligadas dessa forma, cada uma das lâmpadas (L_1 e L_2) está diretamente conectada à fonte de alimentação recebendo a mesma tensão nos seus terminais, como mostrado na **Fig.3**.

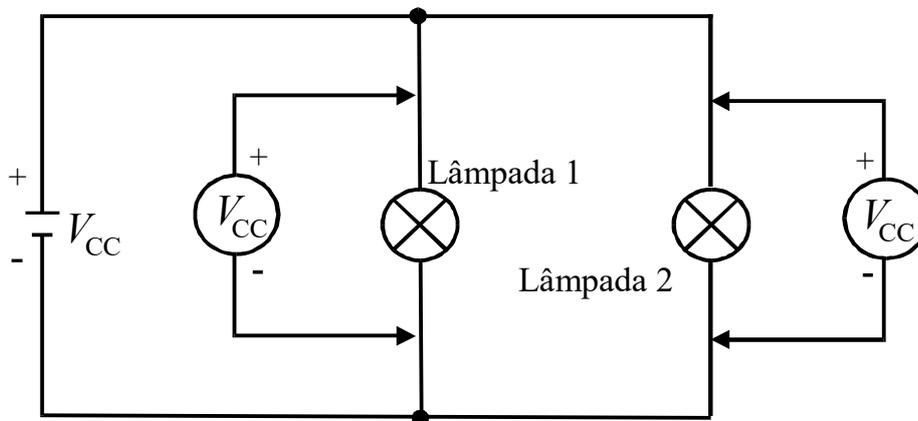


Fig.3 Cada lâmpada submetida à mesma tensão V_{cc} .

Em um circuito paralelo, a tensão sobre os componentes associados é a mesma.

A função da fonte de alimentação nos circuitos é fornecer a corrente elétrica necessária para o funcionamento dos consumidores.

Quando um circuito possui apenas uma fonte de alimentação, a corrente fornecida por esta fonte é denominada de **corrente total**, representada pela notação I_T nos esquemas, como mostrado na **Fig.4**.

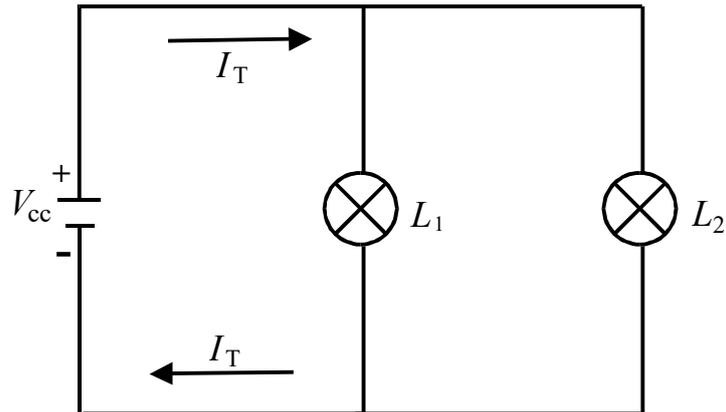


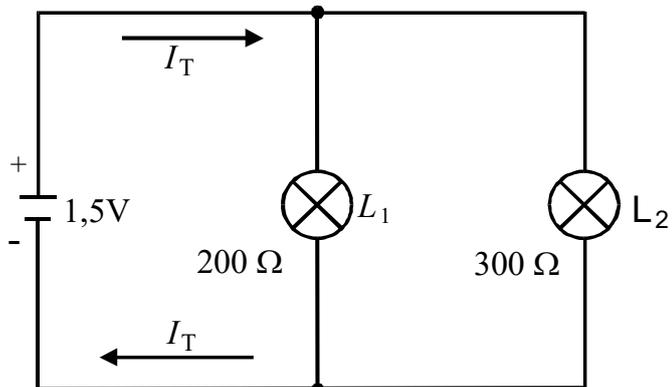
Fig.4 Ilustração de corrente total em um circuito paralelo.

Para a fonte de alimentação, não é importante se os consumidores são lâmpadas, resistores ou aquecedores. A corrente que a fonte fornece (I_T) depende apenas, segundo a Lei de Ohm, da sua tensão (V_T) e da resistência total (R_T) que os consumidores apresentam, ou seja :

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} \quad (1)$$

Exemplo 1:

Determinar a corrente total no circuito da figura abaixo.



Solução :

$$R_T = \frac{R_{L_1} \times R_{L_2}}{R_{L_1} + R_{L_2}} = \frac{200 \times 300}{200 + 300} = 120\Omega$$

Portanto, a corrente total é:

$$I_T = \frac{V}{R_T} = \frac{1,5}{120} = 0,0125A$$

Esse valor de corrente circula em toda a parte do circuito que é comum às duas lâmpadas.

A partir do nó (no terminal positivo da pilha) a corrente total I_T divide-se em duas partes, conforme ilustrado na **Fig.5**.

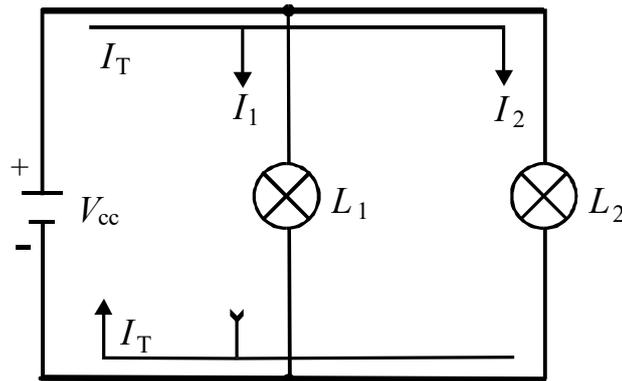


Fig.5 Divisão da corrente total em correntes parciais.

Essas correntes são chamadas de **correntes parciais** e podem ser denominadas de I_1 (para a lâmpada L_1) e I_2 (para a lâmpada L_2).

A forma como a corrente I_T se divide a partir do nó depende unicamente das resistências das lâmpadas. A lâmpada de menor resistência permitirá a passagem de uma maior parcela da corrente.

Pode-se afirmar que a corrente I_1 na lâmpada L_1 (de menor resistência) será maior que a corrente I_2 na lâmpada L_2 , como pode ser visto na **Fig.6**.

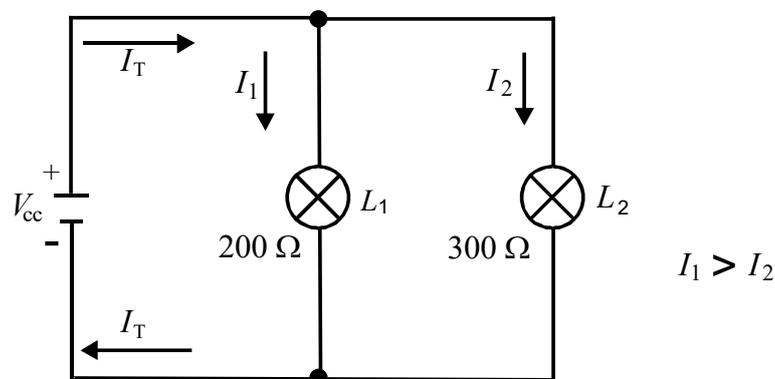


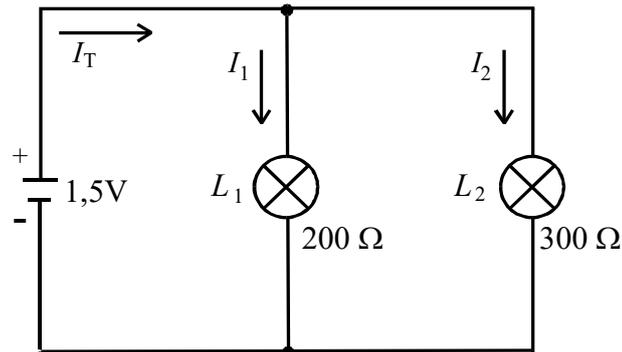
Fig.6 Divisão da corrente total através das lâmpadas.

ELETROELETRONICA

O valor da corrente que circula em cada ramal pode ser calculada através da Lei de Ohm, uma vez que se conhece a tensão aplicada e a resistência de cada lâmpada.

Exemplo 2:

Determinar o valor da corrente que circula em cada lâmpada e a corrente total do circuito da figura abaixo.



Solução :

Lâmpada 1

$$I_1 = \frac{V_{L_1}}{R_{L_1}} = \frac{1,5}{200} = 0,0075 \text{ A} \quad I_1 = 7,5 \text{ mA}$$

Lâmpada 2

$$I_2 = \frac{V_{L_2}}{R_{L_2}} = \frac{1,5}{300} = 0,005 \text{ A} \quad I_2 = 5 \text{ mA}$$

Observando-se os valores das correntes no nó, verifica-se que as correntes que saem, somadas, originam um valor igual ao da corrente que entra.

Essa afirmativa é válida para qualquer nó de um circuito elétrico, sendo conhecida como a primeira Lei de Kirchhoff.

Primeira Lei de Kirchhoff : A soma das correntes que chegam a um nó é igual à soma das que dele saem.

A primeira Lei de Kirchhoff é muito útil para se determinar um valor desconhecido de corrente quando se dispõe dos demais valores de corrente que chegam ou saem de um nó.

De modo resumido, pode-se então afirmar que o circuito paralelo apresenta duas características fundamentais:

- Fornece mais de um caminho para a circulação da corrente elétrica.
- A tensão em todos os componentes associados é a mesma.

Segunda Lei de Kirchhoff

A segunda Lei de Kirchhoff se refere à forma como a tensão se distribui nos circuitos série, como por exemplo, o mostrado na Fig.7.

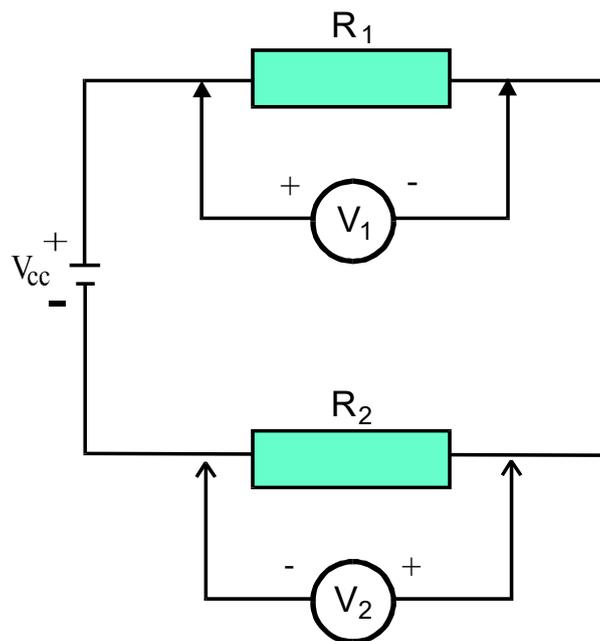


Fig.7 Distribuição da tensão em um circuito série.

O conhecimento e compreensão da segunda Lei de Kirchhoff é importante porque é aplicada a todos os circuitos com componentes associados em série.

CARACTERÍSTICAS DOS CIRCUITOS SÉRIE

Os circuitos série têm características particulares cujo conhecimento é indispensável para a compreensão da segunda Lei de Kirchhoff.

Tomando como referência um circuito simples, com duas cargas ligadas em série, essas características podem ser identificadas. A Fig.8 mostra esse circuito.

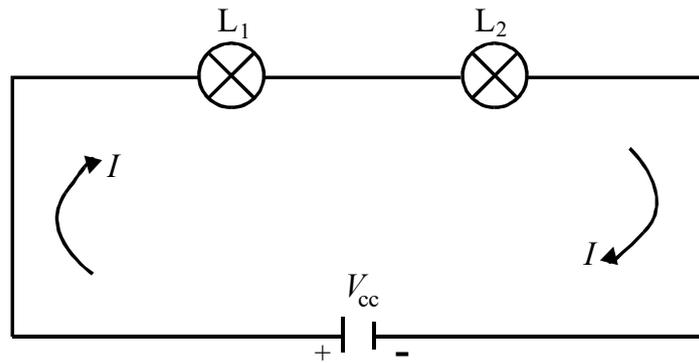


Fig.8 Exemplo de circuito série.

O circuito série se caracteriza por possibilitar um caminho único para a circulação da corrente elétrica.

Como existe um único caminho, a mesma corrente que sai do pólo positivo da fonte passa através da lâmpada L₁, da lâmpada L₂ e retorna à fonte pelo pólo negativo.

Isto significa que um medidor de corrente (amperímetro), pode ser colocado em qualquer parte do circuito. Em qualquer uma das posições, o valor indicado pelo instrumento será o mesmo, como indicado na **Fig.9**.

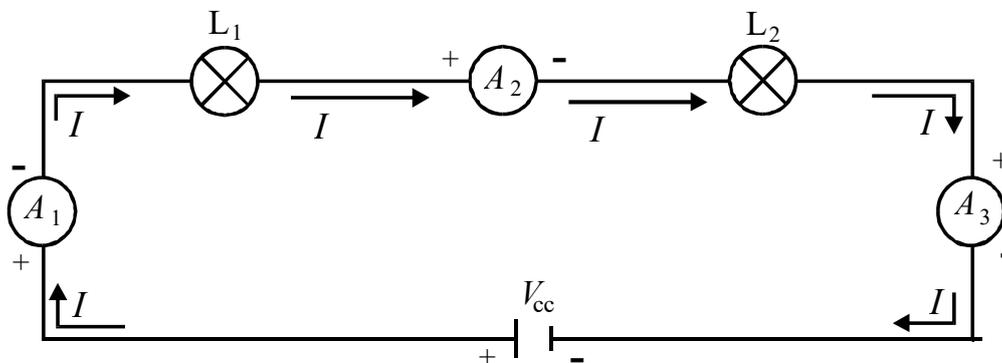


Fig.9 Medição de corrente em um circuito série.

A intensidade da corrente é a mesma ao longo de todo o circuito série.

Por essa razão, a corrente que circula em um circuito série é designada simplesmente pela notação I .

ELETROELETRONICA

A forma de ligação das cargas, uma após a outra, dá ao circuito outra característica importante, como pode ser visto na **Fig.10**. Caso uma das lâmpadas (ou qualquer outro tipo de carga) seja retirada do circuito, ou tenha o seu filamento rompido, o circuito elétrico fica aberto e a corrente cessa.

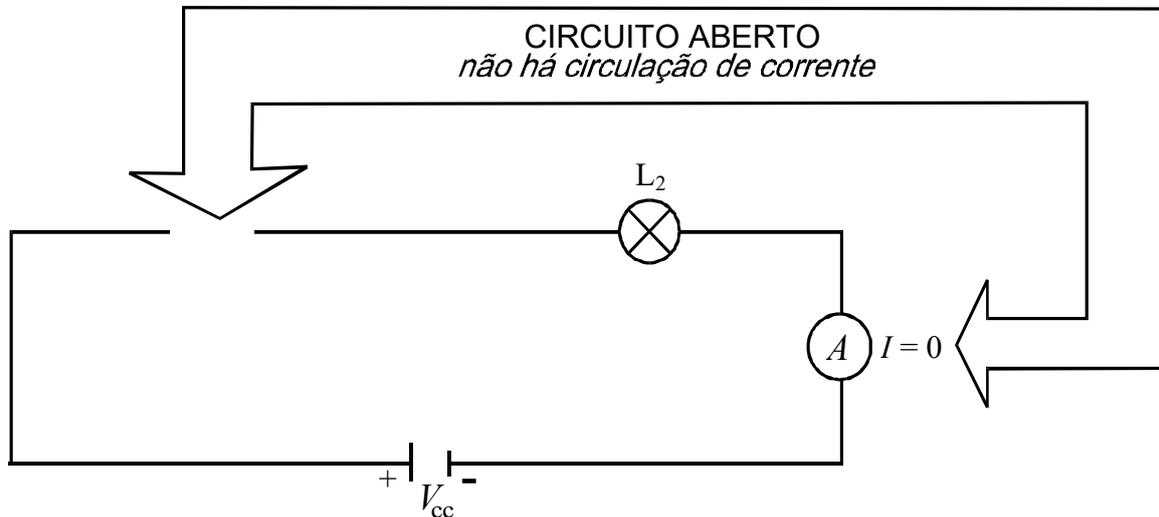


Fig.10 Circuito série aberto.

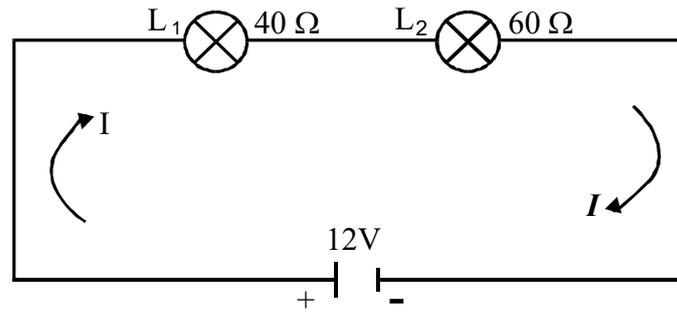
Em um circuito série, o funcionamento de cada um dos componentes depende do restante.

O circuito série apresenta três características importantes : (1) fornece apenas um caminho para a circulação da corrente elétrica; (2) a corrente tem o mesmo valor em qualquer ponto do circuito e (3) o funcionamento de cada consumidor depende do restante.

A corrente que circula em um circuito série cujo valor é único ao longo de todo o circuito, pode ser determinada com o auxílio da Lei de Ohm. Para determinar a corrente no circuito série através da Lei de Ohm, deve-se usar a tensão nos terminais da associação e a sua resistência total.

Exemplo 3:

Determinar a corrente no circuito da figura abaixo.



Solução :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{100} = 120\text{ mA}$$

Pelo fato de não estarem com os dois terminais ligados diretamente à fonte, a tensão nos componentes de um circuito série é diferente da tensão da fonte de alimentação. O valor da tensão em cada um dos componentes é sempre menor do que a tensão de alimentação. Esta parcela da tensão que fica sobre cada componente do circuito é denominada de **queda de tensão** no componente. A queda de tensão é representada pela notação V , como ilustrado na Fig.11.

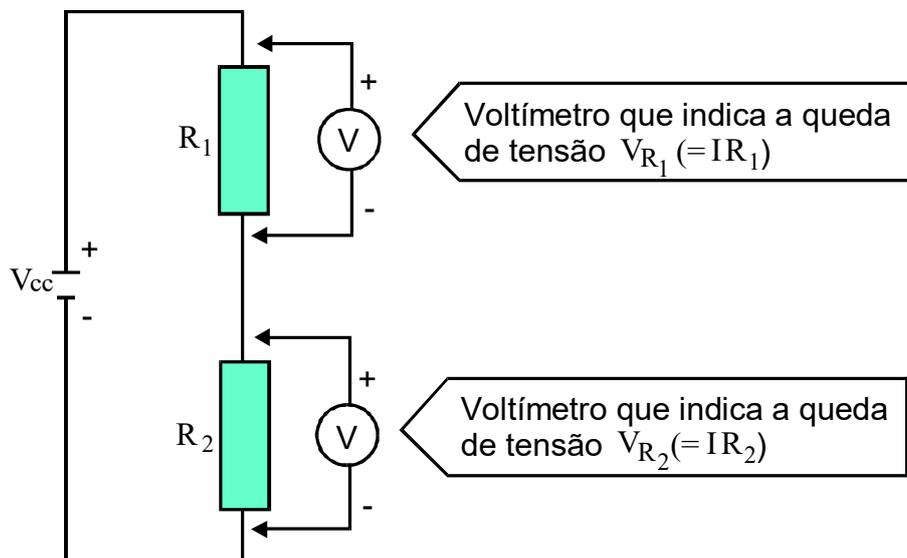
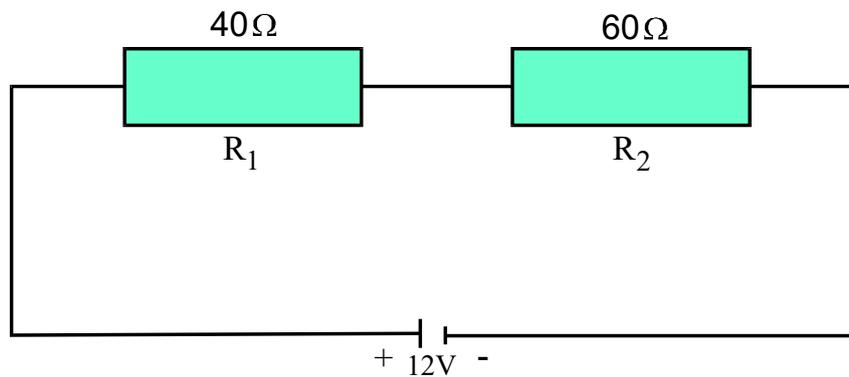


Fig.11 Queda de tensão nos componentes R_1 e R_2 .

A queda de tensão em cada componente de uma associação série pode ser determinada pela Lei de Ohm, quando se dispõe da corrente no circuito e dos seus valores de resistência.

Exemplo 4:

Determinar a queda de tensão nos resistores R_1 e R_2 da figura abaixo.



Solução :

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{12}{40 + 60} = 0,12 \text{ A}$$

$$V_{R_1} = I_{R_1} \times R_1 = 0,12 \times 40 = 4,8 \text{ V}$$

$$V_{R_2} = I_{R_2} \times R_2 = 0,12 \times 60 = 7,2 \text{ V}$$

Observando-se os valores de resistência e queda de tensão, verifica-se que:

- O resistor de maior valor fica com uma parcela maior de tensão.
- O resistor de menor valor fica com a menor parcela de tensão.

Pode-se dizer que, em um circuito série, a queda de tensão é proporcional ao valor do resistor, ou seja :

- Maior valor do resistor, maior queda de tensão.
- Menor valor do resistor, menor queda de tensão.

SEGUNDA LEI DE KIRCHHOFF

Tomem-se como referência os valores de tensão nos resistores do circuito do Exemplo 4.

Somando-se as quedas de tensão naqueles dois resistores, tem-se : $4,8V + 7,2V = 12V$. Verifica-se que o resultado da soma é a tensão de alimentação.

A segunda Lei de Kirchhoff é baseada nesta conclusão.

Segunda Lei de Kirchhoff : *A soma das quedas de tensão nos componentes de uma associação série é igual à tensão aplicada nos seus terminais extremos.*

A segunda Lei de Kirchhoff é utilizada com muita frequência como “ferramenta” para se determinarem quedas de tensão desconhecidas em circuitos eletrônicos.

LEIS DE KIRCHHOFF E OHM EM CIRCUITOS MISTOS

As Leis de Kirchhoff, juntamente com a lei de Ohm, permitem que se determinem as tensões ou correntes em cada um dos componentes de um circuito misto, como mostrado na **Fig.12**.

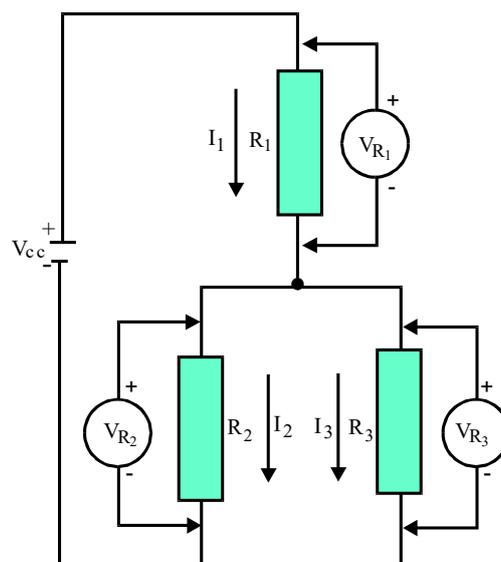


Fig.12 Exemplo de um circuito misto para o cálculo das tensões e correntes.

ELETROELETRONICA

Os valores elétricos de cada componente do circuito podem ser determinados a partir da execução da seqüência de procedimentos a seguir:

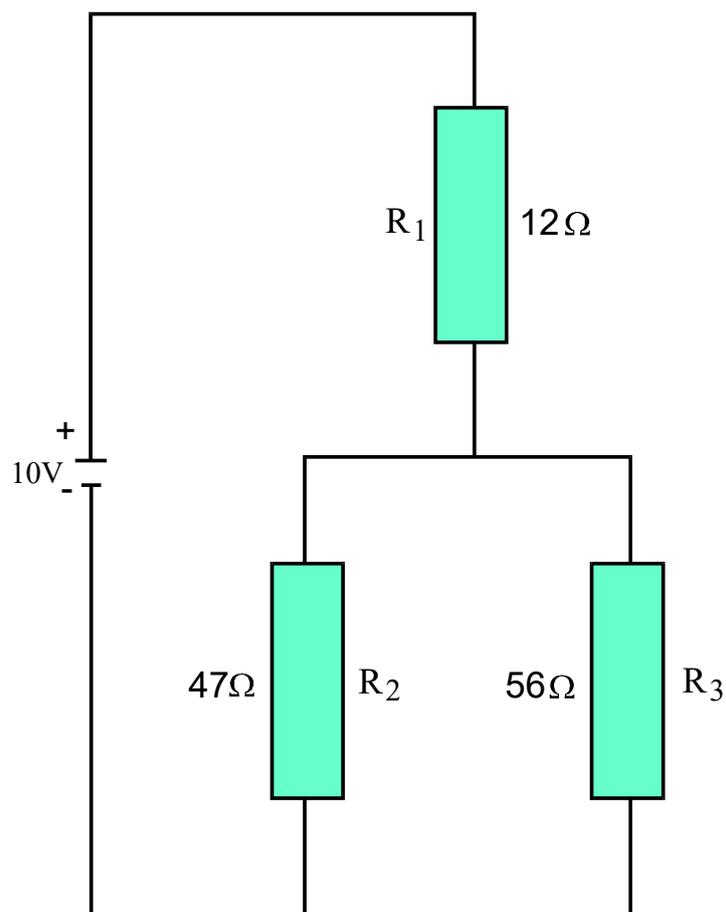
- Determinação da resistência equivalente.
- Determinação da corrente total.
- Determinação das tensões ou correntes nos elementos do circuito.

A utilização da seqüência de procedimentos será demonstrada a partir dos seguintes exemplos :

Exemplo 5:

Para o circuito da figura abaixo, determinar :

- a) A resistência equivalente.
- b) A corrente total.
- c) As tensões e as correntes individuais.

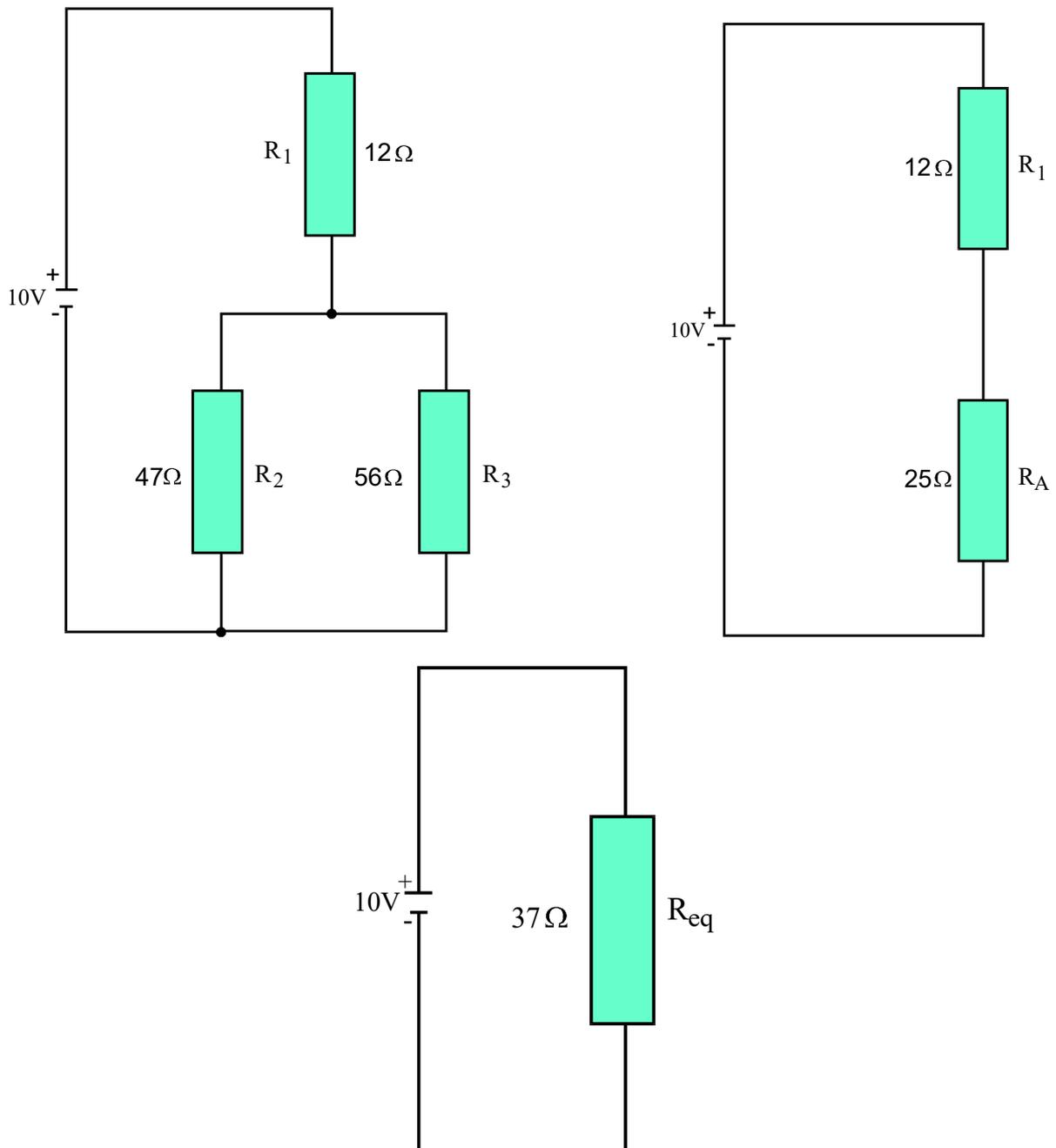


Solução :

a) Determinação da resistência equivalente :

Para se determinar a resistência equivalente (R_{eq}) do circuito, empregam-se “circuitos parciais” através dos quais o circuito original é reduzido e simplificado até a forma de um único resistor.

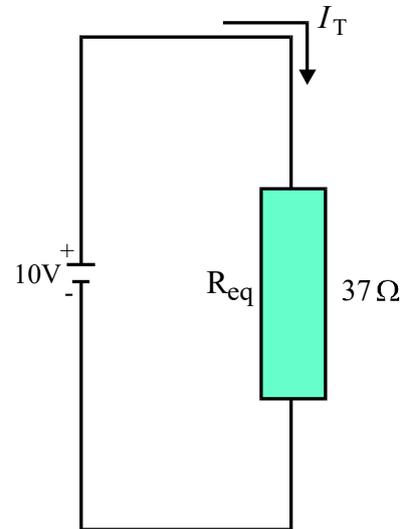
As figuras abaixo mostram os circuitos utilizados para a determinação da resistência equivalente.



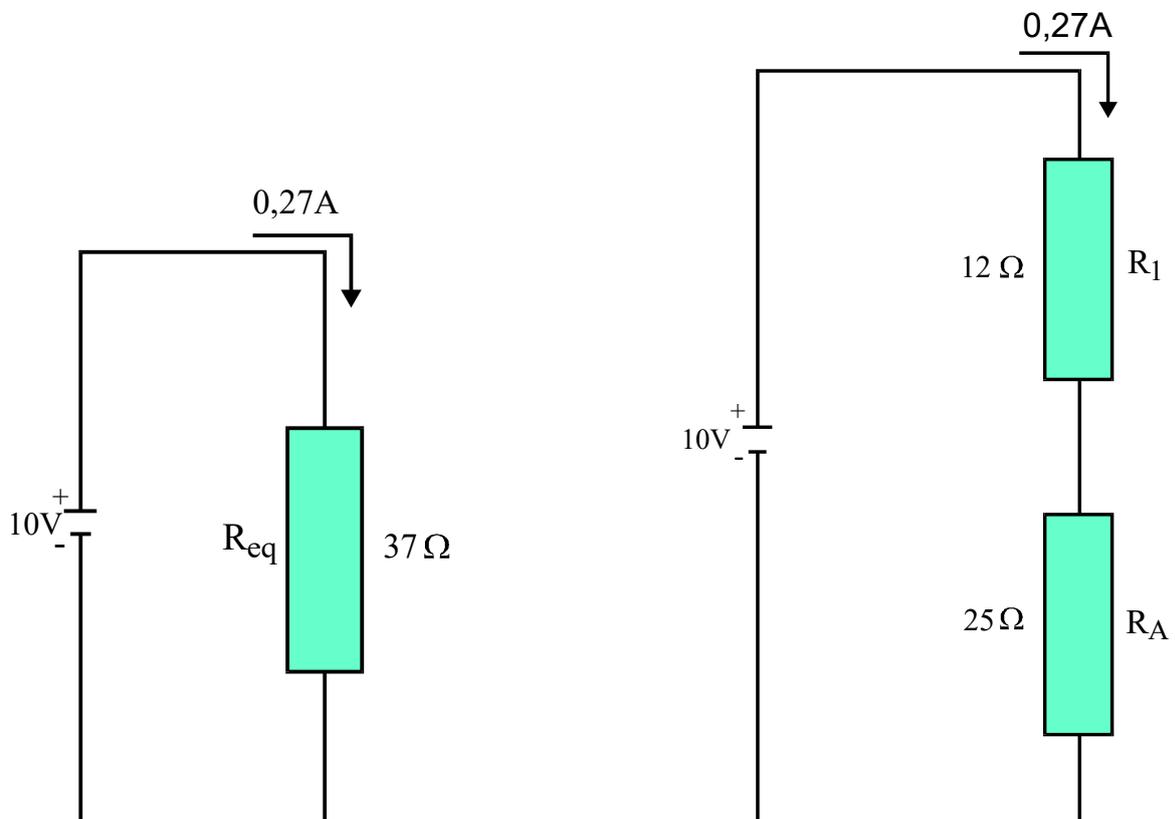
b) Determinação da corrente total :

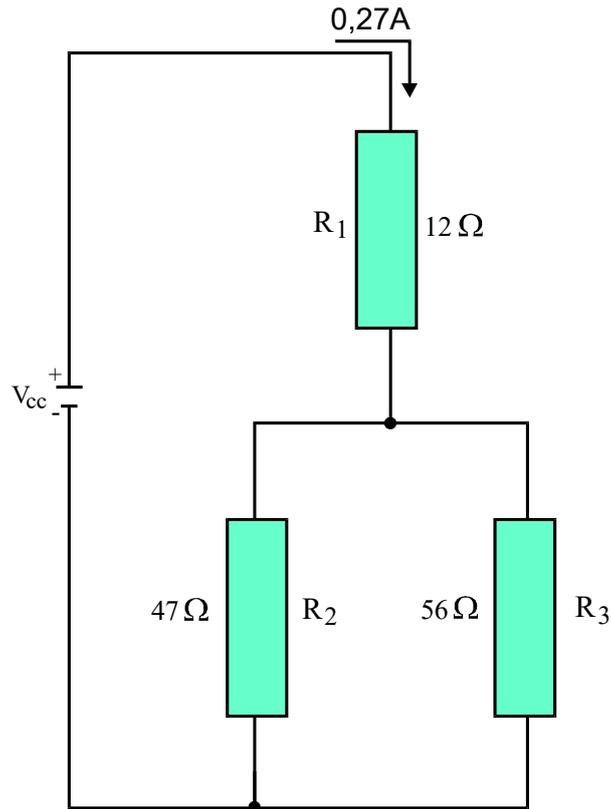
A corrente total pode ser determinada aplicando-se a Lei de Ohm no circuito equivalente final, mostrado na figura abaixo.

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{10}{37} = 0,27 \text{ A}$$



Uma vez que o circuito equivalente final é uma representação simplificada do circuito original (e do parcial) a corrente calculada também é válida para estes circuitos, conforme mostra a seqüência das figuras abaixo.





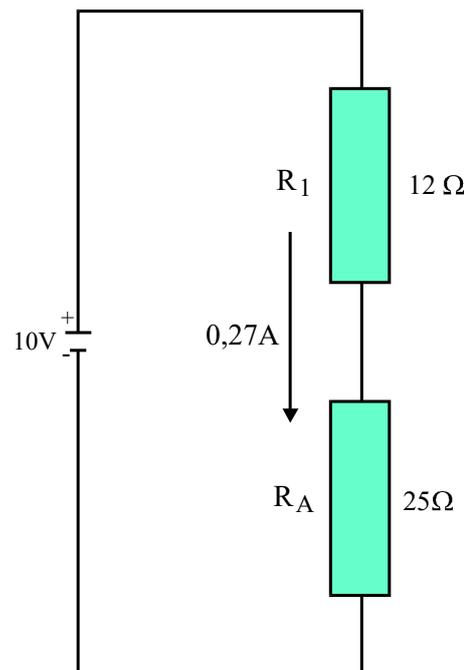
c) Determinação das tensões e correntes individuais :

A corrente total aplicada ao “circuito parcial” permite que se determine a queda de tensão no resistor R_1 , como mostra a figura abaixo.

$$V_{R_1} = I_{R_1} \times R_1$$

$$V_{R_1} = 0,27 \times 12$$

$$V_{R_1} = 3,243 \text{ V}$$



ELETROELETRONICA

A queda de tensão em R_A pode ser determinada pela 2.^a Lei de Kirchoff (a soma das quedas de tensão em um circuito série é igual à tensão de alimentação) ou pela Lei de Ohm.

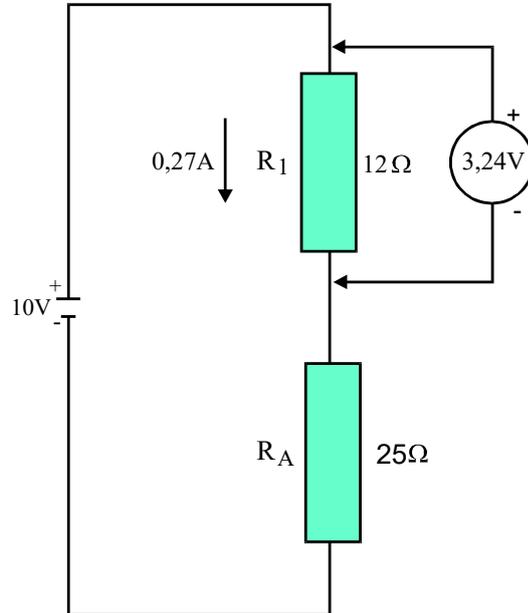
Pela 2.^a Lei de Kirchoff

$$V = V_{R_1} + V_{R_A}$$

$$V_{R_A} = V - V_{R_1}$$

$$V_{R_A} = 10 - 3,243$$

$$V_{R_A} = 6,75 \text{ V}$$



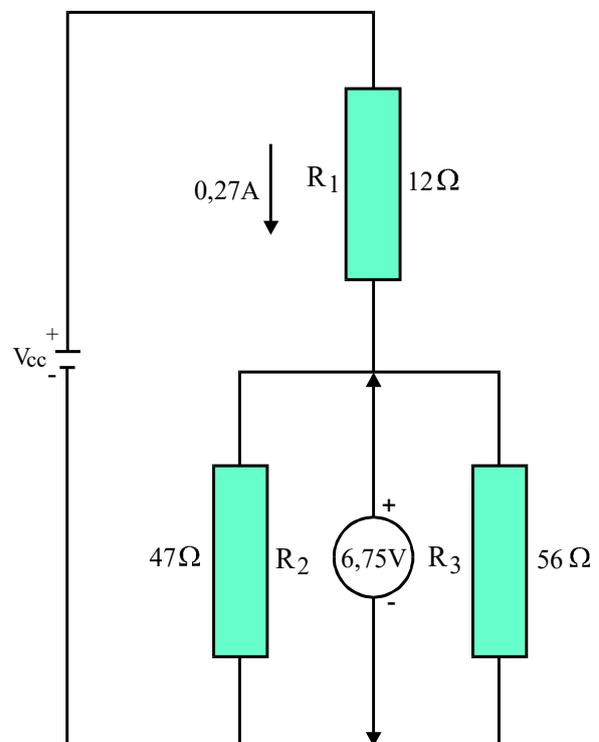
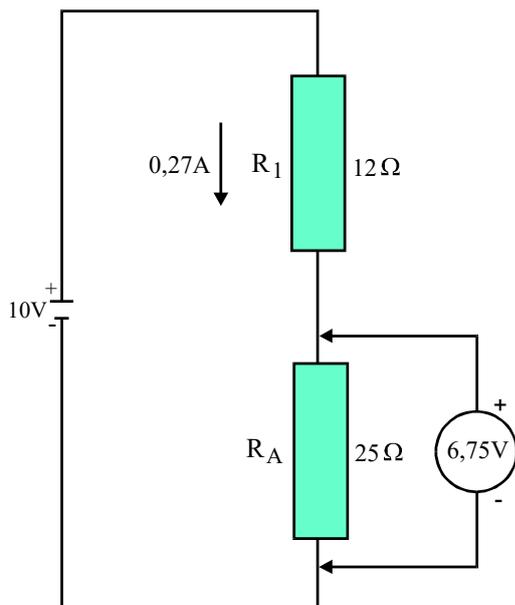
Pela Lei de Ohm

$$V_{R_A} = I_{R_A} \times R_A$$

$$V_{R_A} = 0,27 \times 25$$

$$V_{R_A} = 6,75 \text{ V}$$

Calculando-se a queda de tensão em R_A , calcula-se na realidade, a queda de tensão na associação paralela de R_2 com R_3 , mostrada nas figuras abaixo.

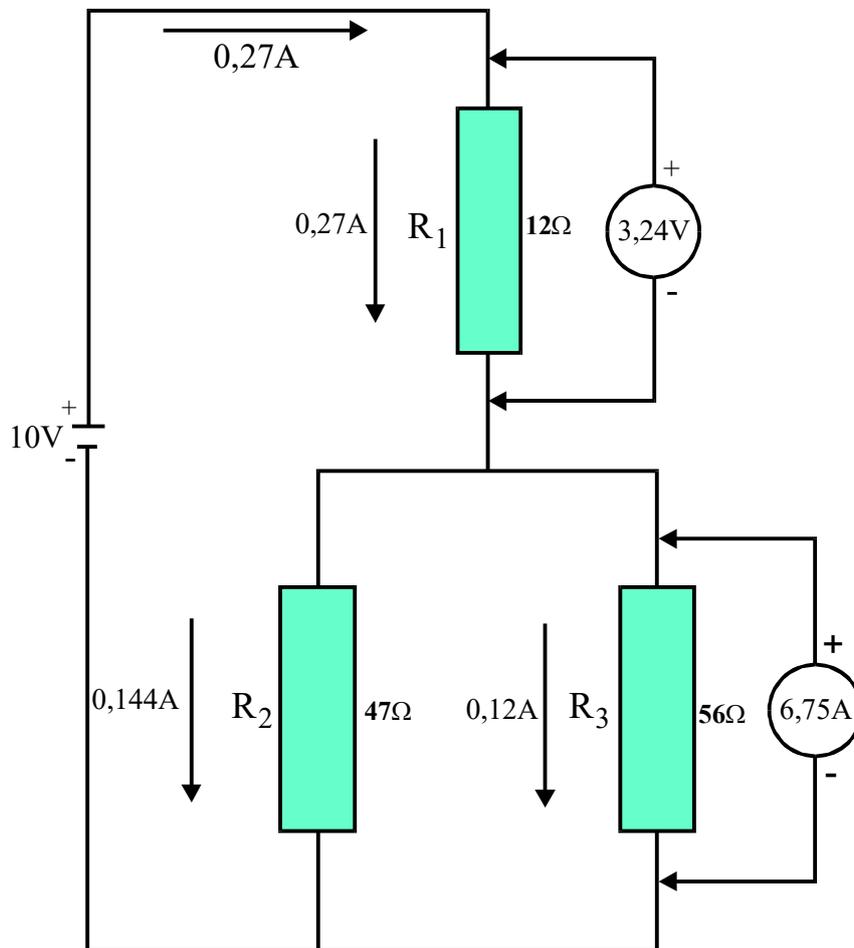


Os últimos valores a serem determinados são aqueles das correntes em R_2 (I_{R_2}) e R_3 (I_{R_3}).

$$I_{R_2} = \frac{V_{R_2}}{R_2} = \frac{6,75}{47} = 0,144 \text{ A}$$

$$I_{R_3} = \frac{V_{R_3}}{R_3} = \frac{6,75}{56} = 0,12 \text{ A}$$

A figura abaixo mostra o circuito original com todos os valores de tensão e corrente.

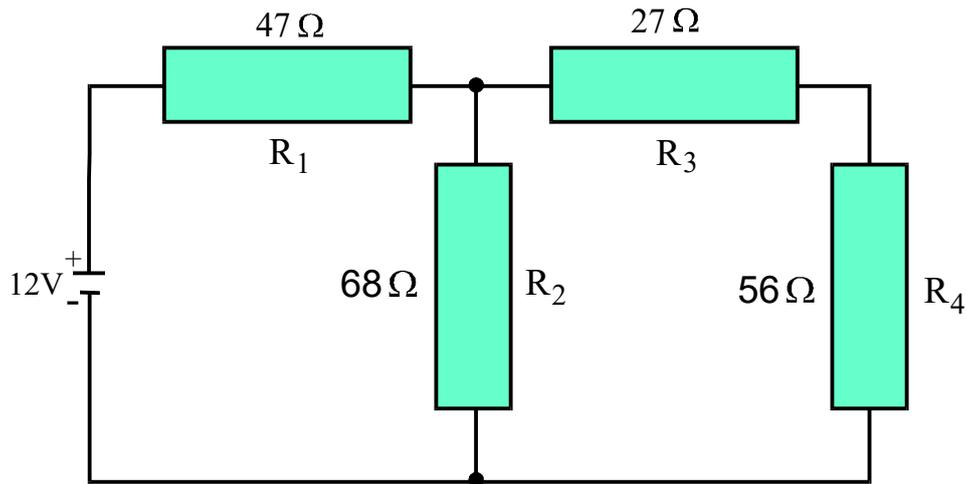


ELETROELETRONICA

Exemplo 6:

Para o circuito da figura abaixo, determinar :

- A resistência equivalente.
- A corrente total.
- As tensões individuais.
- As correntes individuais.

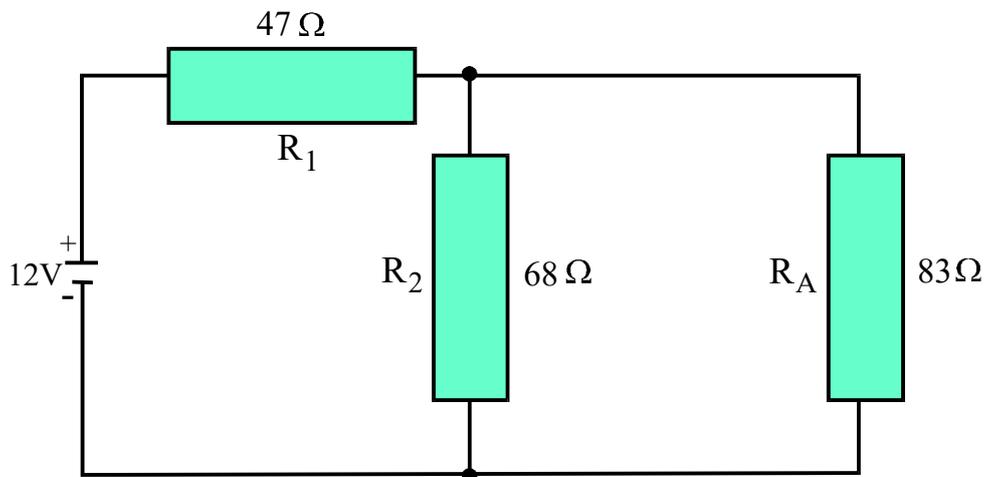


Solução :

a) Determinação da resistência equivalente :

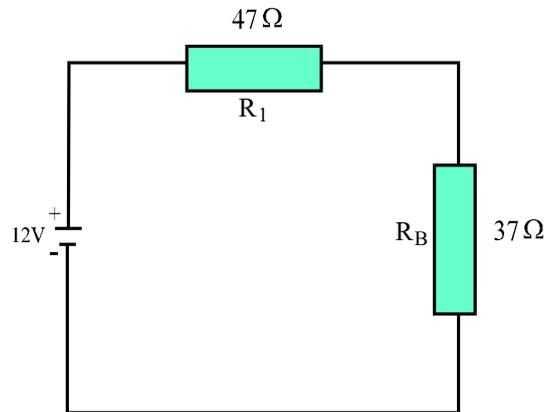
Substituem-se R_3 e R_4 em série no circuito por R_A , como mostrado na figura abaixo.

$$R_A = R_3 + R_4 = 83 \Omega$$

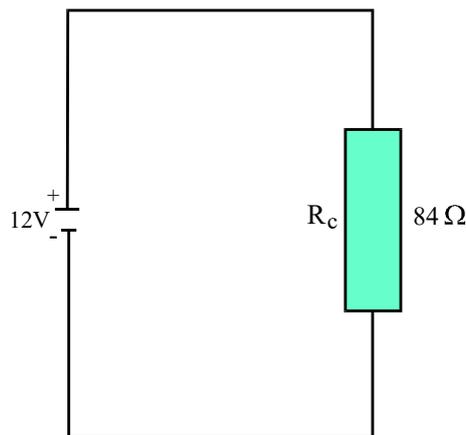


Substitui-se a associação paralela $R_2 // R_4$ por um resistor R_B mostrado na figura abaixo.

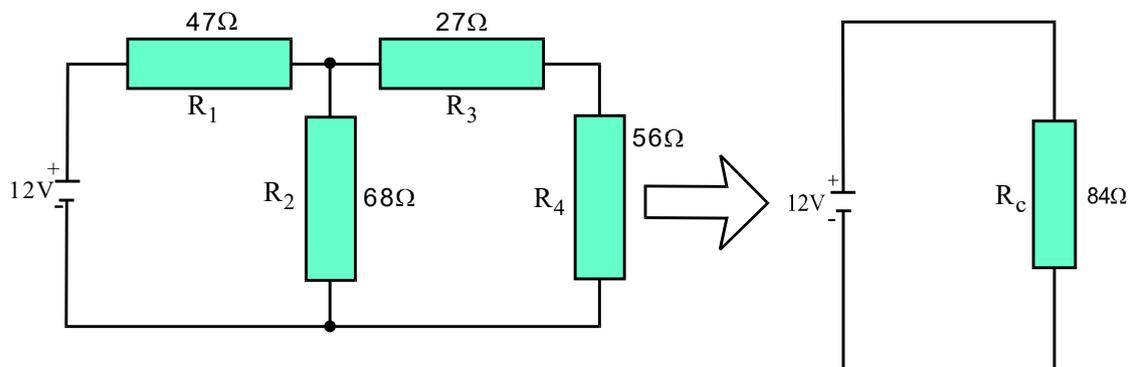
$$R_B = \frac{R_A \times R_2}{R_A + R_2} = 37\Omega$$



Em seguida, substitui-se a associação série de R_1 e R_B por um resistor R_C como mostrado na figura abaixo.



R_C pode ser denominado de R_{eq} , uma vez que representa a resistência total do circuito, ou seja :

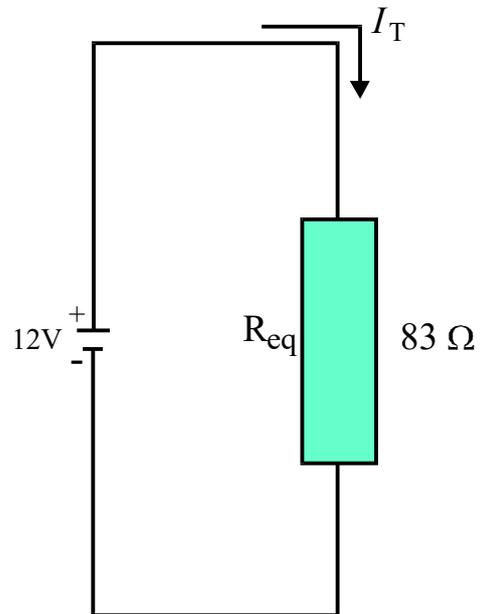


b) Determinação da corrente total :

Usam-se tensão de alimentação e a resistência equivalente, como mostrado na figura abaixo.

$$I_T = \frac{V_T}{R_{eq}}$$

$$I_T = \frac{12}{83} = 0,14239A$$



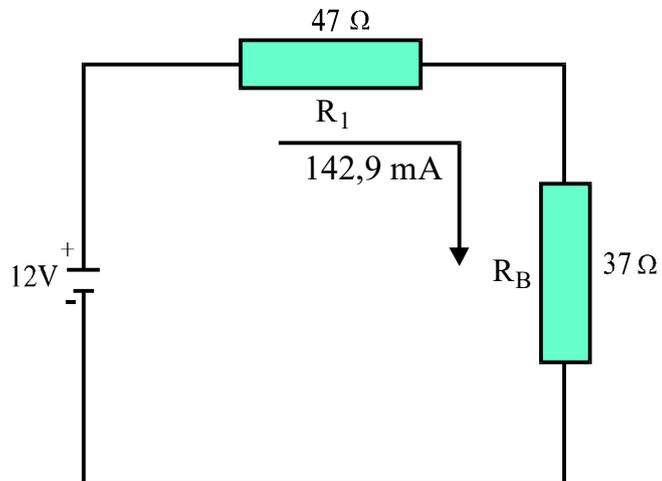
c) Determinação da queda de tensão em R_1 e R_B :

$$V_{R_1} = I_{R_1} \times R_1$$

$$I_{R_1} = I_T$$

$$V_{R_1} = 0,1429 \times 47$$

$$V_{R_1} = 6,72 V$$



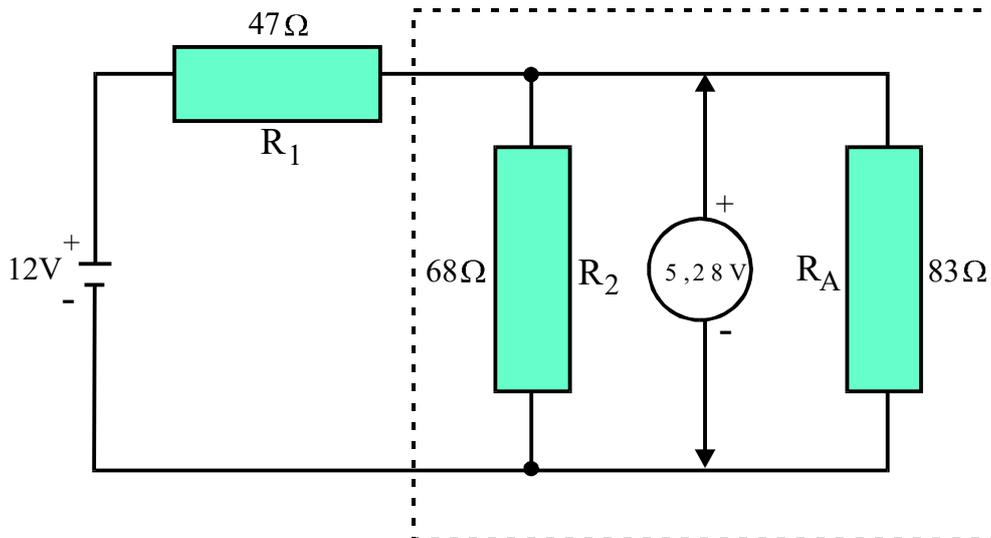
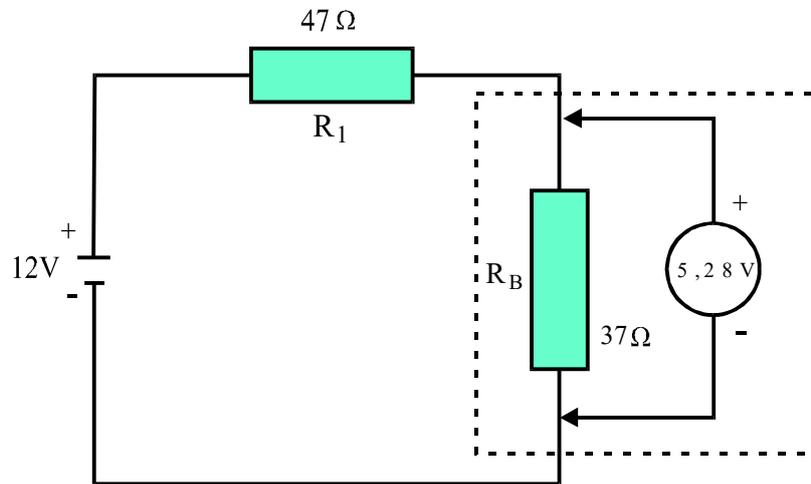
A queda no resistor R_B pode ser determinada pela 2.^a Lei de **Kirchhoff** :

$$V = V_{R_1} + V_{R_B}$$

$$V_{R_B} = V - V_{R_1} = 5,28 V$$

d) Determinação das correntes em R_2 e R_A :

O resistor R_B representa os resistores R_2 e R_A em paralelo (primeiro circuito parcial). Portanto, a queda de tensão em R_B é, na realidade, a queda de tensão na associação $R_2//R_A$, como mostrado nas figuras abaixo.



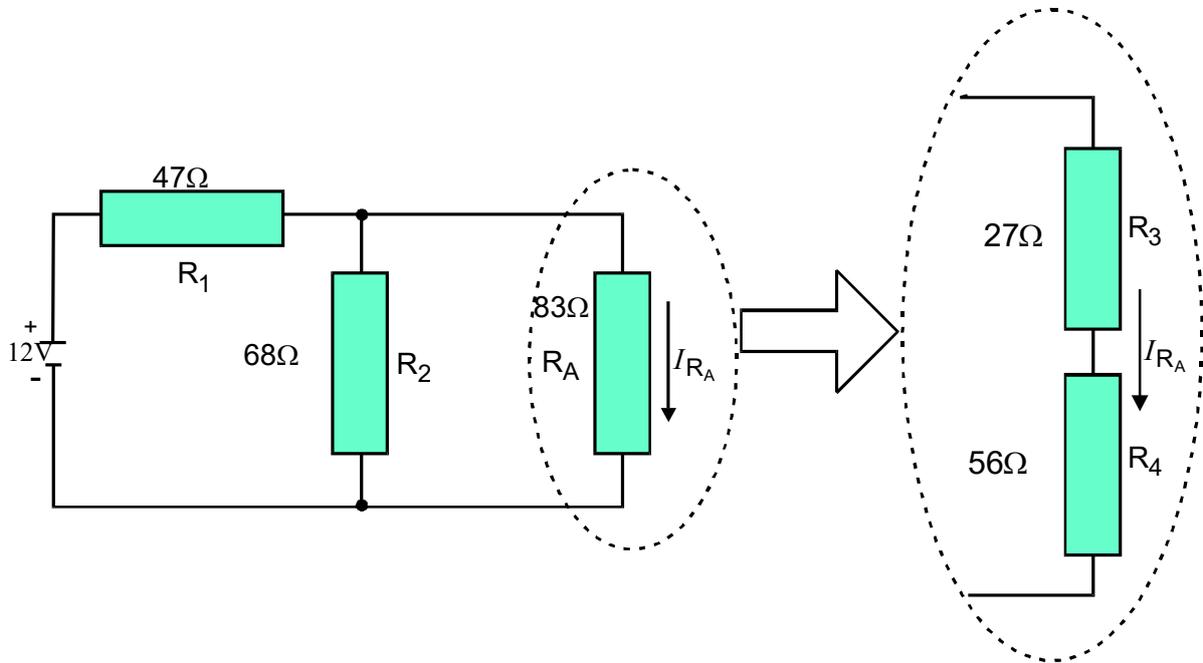
Usando-se a Lei de Ohm, podem-se calcular as correntes em R_2 e R_A .

$$I_{R_2} = \frac{V_{R_2}}{R_2} = 0,078\text{ A}$$

$$I_{R_A} = \frac{V_{R_A}}{R_A} = 0,064\text{ A}$$

e) Determinação das quedas de tensão em R_3 e R_4 :

O resistor R_A representa os resistores R_3 e R_4 em série, como mostrado na figura abaixo.



Assim, a corrente determinada I_{R_A} é , na realidade, a corrente que circula nos resistores R_3 e R_4 em série.

Com o valor da corrente I_{R_A} e as resistências de R_3 e R_4 , calculam-se as suas quedas de tensão pela Lei de Ohm.

$$V_{R_3} = I_{R_A} \times R_3 = 1,73 \text{ V}$$

$$V_{R_4} = I_{R_A} \times R_4 = 3,58 \text{ V}$$

Apêndice

QUESTIONÁRIO

1. Enuncie a 1.^a Lei de Kirchhoff.
2. Enuncie a 2.^a Lei de Kirchhoff.

BIBLIOGRAFIA

- KOLLER, ALLOIS. As Leis de Kirchhoff EP.05 {Die Kirchhoffschen Gesetze} Trad. e Adap. pelo Setor de Divulgação Tecnológica, Siemens. São Paulo - Siemens/Edgar Blücher, 1977, 59p.
- VAN VALKENBURG, NOOGER & NEVILLE. Eletricidade Básica. 12.^a ed., São Paulo, Freitas Bastos, 1970, vol.2.