

Conceitos de Eletricidade

Aula 02 - No es de Eletricidade - Primeiros passos II

Apresentação

Nesta aula, você terá a oportunidade de conhecer um pouco mais da história do fascinante mundo da eletricidade, poderá aprofundar um pouco mais os conhecimentos sobre eletricidade, aprendendo a calcular resistências equivalentes em circuitos elétricos simples envolvendo uma fonte de tensão e resistores em associação série, paralela e mista. Adicionalmente, você aprenderá a fazer a diferenciação entre tensões e correntes DC e AC.

Objetivos

- Definir tensão, corrente e resistência elétrica e entender a lei de Ohm que relaciona essas três grandezas num circuito elétrico.
- Entender a base da teoria eletromagnética que relaciona a eletricidade com o magnetismo.
- Diferenciar associações séries e paralelas de bipolos.
- Diferenciar e representar tensões e correntes AC e DC.
- Calcular a resistência equivalente em associações de resistores em série, em paralelo e em associações mistas.

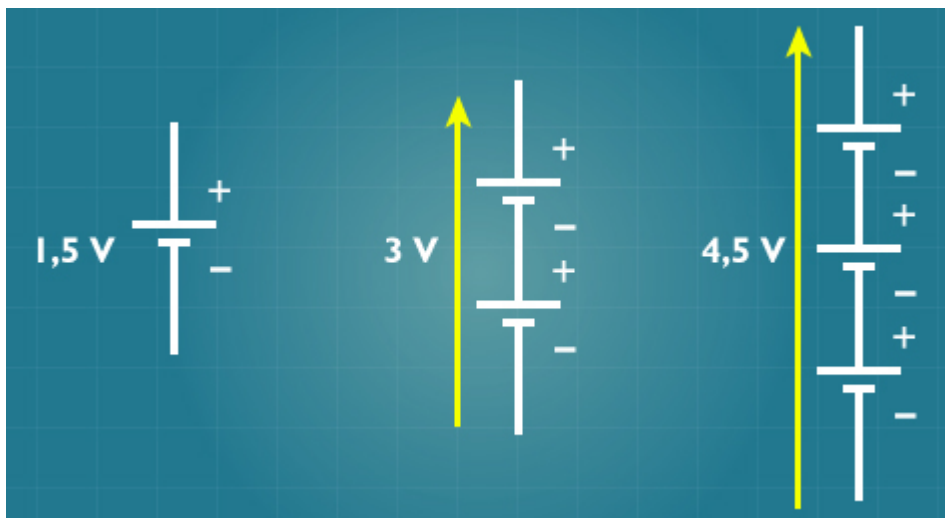
Introdução de Alguns Conceitos Fundamentais da Eletricidade

No final da aula passada, vimos como Volta “inventou” a pilha elétrica, inicialmente empilhando vários discos de prata e zinco, separados por tecido embebido em salmoura e apoiados em um suporte de hastes verticais de madeira, tendo dois fios de cobre ligados, um na base e outro no topo da pinha de metais. Estão lembrados, não é?

Hoje, nós temos o que chamamos de baterias, que são na realidade uma associação de pilhas em série, o que possibilita obter maiores tensões elétricas, como mostrado na Figura 1, quando uma pilha de 1,5 V é usada em série para obter tensões de 3 V e de 4,5 V.

Observe o símbolo usado para representar a pilha como uma fonte de tensão de 1,5 V. O traço maior representa seu terminal positivo e o traço menor representa seu terminal negativo. Logo mais, veremos outros tipos de fontes de tensão e como representá-las.

Figura 01 - Associação de pilhas em série.



Fonte: Autoria própria (2014).

As pilhas e baterias têm hoje mais aplicações do que se imagina. Vejamos onde são usadas: nos automóveis, nos celulares, nos relógios digitais, nas calculadoras portáteis, nos ponteiros laser usados por conferencistas, mas também por vândalos nos estádios de futebol, na tentativa, por exemplo, de atrapalhar os reflexos dos jogadores e em especial do goleiro de um time adversário.

Exercício resolvido: Sabendo que as pilhas comerciais AA possuem uma tensão de 1,5 volts (quem não souber basta olhar em, uma, verção 1,5 V), quantas seriam necessárias para obter uma tensão de 150 volts?!

$$\textit{quantidade de pilhas} = \frac{150}{1,5} = 100 \textit{ pilhas}$$

Atividade 01

1. Quantas pilhas de 1,5 V seriam necessárias para se construir uma fonte de tensão de 12 V?
 2. Verifique a bateria de um telefone celular e veja qual a tensão que ela fornece.
-

A história da eletricidade se estende até os nossos dias e ainda se tem muito que inventar, mas para encerrarmos nossa apresentação histórica, vamos falar nos próximos itens de mais três estudiosos da eletricidade: Georg Ohm, Michael Faraday e James Maxwell.

Iniciando por George Simon Ohm, em 1827, ele demonstrou que, à medida que variava o valor de uma fonte de tensão ligada a um fio condutor, a intensidade da corrente no fio variava também proporcionalmente, de maneira que a relação entre a tensão aplicada e a intensidade da corrente era uma constante, ou seja:

$$\frac{V}{I} = \textit{Constante}$$

George Simon Ohm, físico e matemático alemão, foi autor da primeira teoria que descreveu matematicamente a condução de corrente em circuitos elétricos. Para saber mais informações sobre ele, veja o link: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Georg_Simon_Ohm>.

A essa constante foi dado o nome de resistência elétrica R e, em homenagem a George Ohm, para a unidade de medida de resistência elétrica, foi atribuído o nome Ohm, sendo usado o símbolo Ω (ômega) para sua representação.

Tem-se então que:

$$\frac{V}{I} = R$$

Onde:

I é a intensidade da corrente em Amperes (A);

V é a tensão em Volts (V);

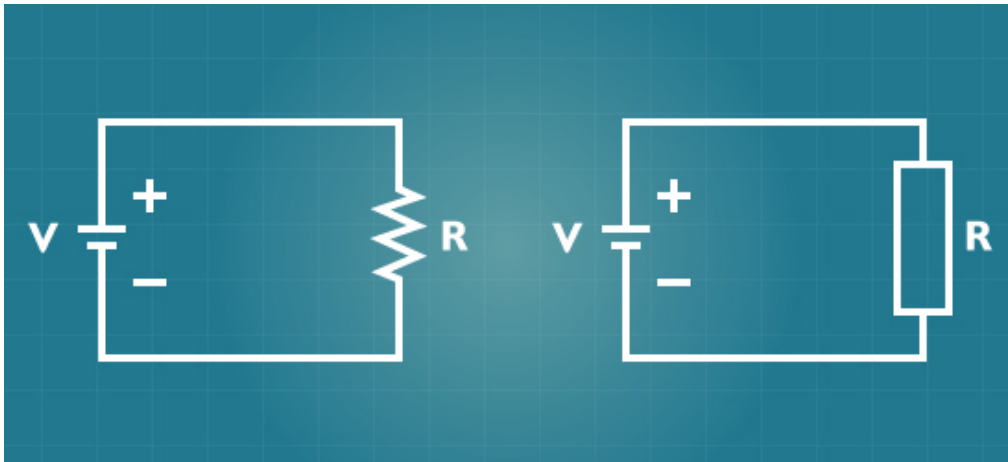
R é a resistência elétrica em Ohms (Ω).

A equação acima é denominada de Lei de Ohm.

Temos agora os três elementos básicos para representar o mais simples dos circuitos elétricos: uma fonte de tensão ligada por meio de fios condutores a uma resistência elétrica R , como mostrado nas Figuras 2. Os dois circuitos são idênticos, diferenciando-se apenas nas simbologias gráficas que representam a resistência elétrica R .

O inverso da resistência elétrica é uma grandeza chamada condutância elétrica e representa a facilidade que um condutor apresenta à passagem da corrente elétrica. Essa grandeza é representada pela letra G e sua unidade é o Siemens (S).

Figura 02 - Esquema representativo de um circuito elétrico com fonte e resistência.



Fonte: Autoria própria (2014).

Exercício resolvido: Qual a tensão necessária para polarizar um circuito com uma corrente de 5 A e com resistência igual a 10 Ω ?

$$V = R \cdot I = 10 \cdot 5 = 50V$$

Assim para polarizar esse circuito é necessária uma tensão de 50 V.

Atividade 02

1. Qual o valor de uma resistência elétrica R presente em um circuito elétrico sabendo que sobre ela está aplicada uma tensão de 12 V e que nela passa uma corrente de 0,5 A?
 2. Determine a corrente em um circuito elétrico sabendo que ele é constituído por uma fonte de 24 V e uma resistência de 1 k Ω (observação: 1 k Ω = 1000 Ω).
-

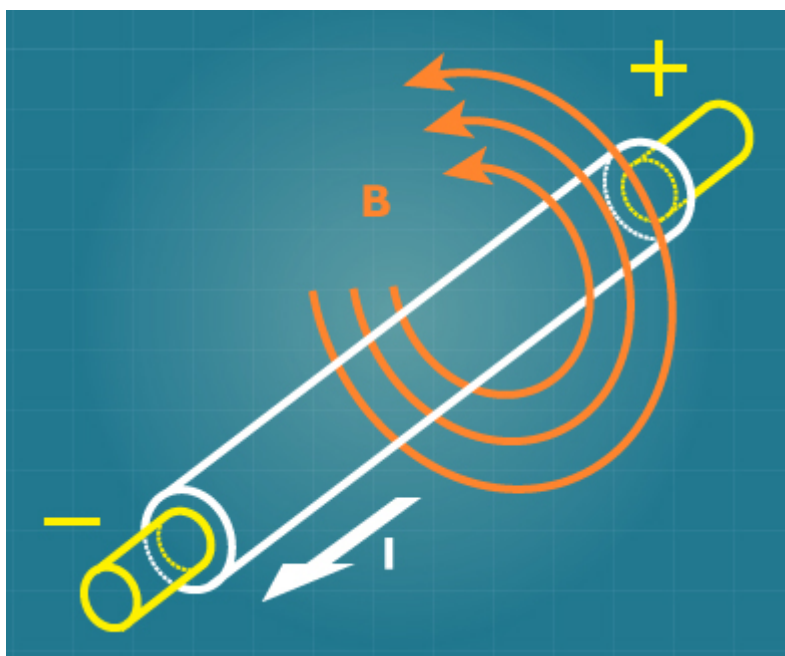
Na sequência dos estudiosos citados, vamos agora falar um pouco sobre Michael Faraday e James Clerk Maxwell.

Em 1831, Faraday observou que variações em um campo magnético podem produzir ou induzir um campo elétrico.

Os estudos de James Clerk Maxwell, concentrados entre os anos de 1854 e 1879, ano de sua morte, tiveram por referência os experimentos de Faraday e deram origem a Teoria Eletromagnética que explica as relações entre a eletricidade e o magnetismo.

Maxwell demonstrou, entre outras coisas, que a passagem de uma corrente por um fio condutor pode induzir um campo magnético, efeito chamado de indução eletromagnética (ver Figura 3), o qual é o efeito fundamental para o funcionamento dos transformadores, geradores elétricos e motores de indução presentes no nosso dia a dia.

Figura 03 - Representação do campo magnético B , induzido pela passagem da corrente I por um fio condutor.



Fonte: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/651px-Electromagnetism.svg.png>>
Acesso em: 10 jul. 2014.

As Equações de Maxwell (como são conhecidos os formalismos matemáticos apresentados por Maxwell), que fundamentam o eletromagnetismo e a teoria eletromagnética, são temas de estudos avançados em cursos de graduação e de pós-graduação de Física e de Engenharia Elétrica e da Computação. Não se preocupem, por enquanto basta saber que existem e que são amplamente utilizados no desenvolvimento de equipamentos que utilizamos no nosso dia a dia.

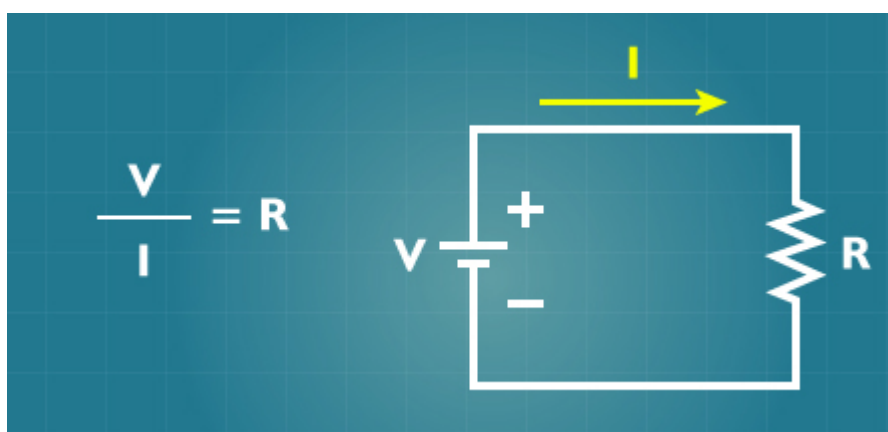
Michael Faraday, nascido na cidade de Newington, no condado de Surrey, na Inglaterra, é considerado um dos cientistas experimentalistas mais influentes de todos os tempos. Suas contribuições mais importantes e seus trabalhos mais conhecidos foram intimamente relacionados às ligações entre a eletricidade e o magnetismo. Para mais informações sobre Faraday, acesse o link <http://pt.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday>.

James Clerk Maxwell foi um físico e matemático britânico, nascido na cidade de Edimburgo, em 13 de junho de 1831, famoso por ter dado forma final a teoria moderna do eletromagnetismo, que une princípios e relações entre os fenômenos elétricos e os magnéticos. Mais informações sobre Maxwell podem ser obtidos em <http://pt.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell>.

Introdução à Análise de Circuitos Elétricos

Na Figura 4 apresentamos o mais simples dos circuitos elétricos: uma fonte de tensão aplicada sobre uma resistência de valor R. Pela lei de Ohm, foi colocado que:

Figura 04 - Circuito elétrico constituído por uma fonte de tensão e uma resistência



Fonte: Autoria própria (2014).

A partir deste momento, ao invés de usarmos o V para representar uma tensão, usaremos a letra U e a lei de Ohm passará a ser representada como sendo:

$$\frac{U}{I} = R$$

Pela equação, é possível dizer que $U = IR$ e que $I = U/R$.

Antes de apresentar alguns circuitos elétricos e de fazer as suas análises, vamos conceituar alguns elementos e dispositivos frequentemente presentes em circuitos elétricos. Primeiramente conceituaremos o que de fato é um circuito elétrico.

Circuito Elétrico

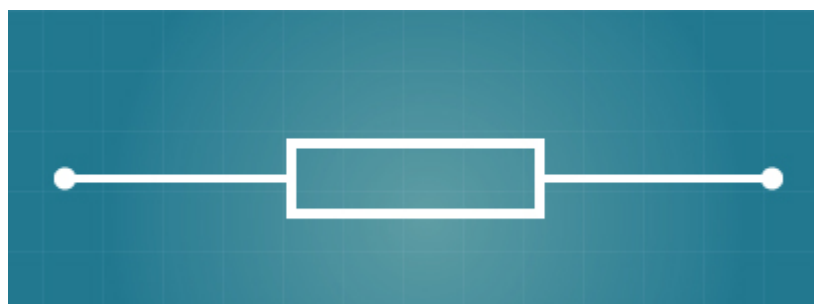
A ligação de dois ou mais bipolos elétricos forma uma rede e, se a rede possuir pelo menos um caminho fechado pelo qual possa circular uma corrente elétrica, tem-se o que se denomina de um circuito elétrico. Mas, e o que é um bipolo?

Bipolo

Por definição, uma resistência elétrica ou um resistor é um bipolo. Na realidade, bipolo é qualquer dispositivo elétrico com dois terminais acessíveis e pelo qual se possa fazer circular uma corrente elétrica, de modo que a corrente que entra num dos terminais seja, em qualquer instante, igual à corrente que flui do outro terminal. Um gerador (ou fonte) de tensão é, portanto, também um bipolo. Além do resistor e do gerador, pode-se citar outros que iremos estudar em aulas futuras, como o indutor e o capacitor.

A representação simbólica de um bipolo é mostrada na Figura 5:

Figura 05 - Bipolo



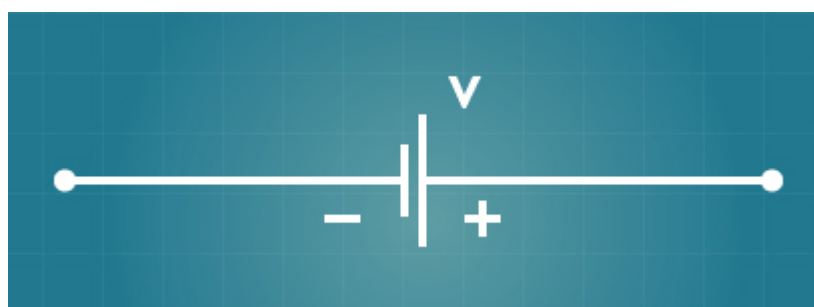
Fonte: Autoria própria (2014).

Fonte de Tensão Contínua

É todo dispositivo elétrico que fornece uma tensão contínua entre seus terminais, qualquer que seja o valor da corrente.

O símbolo de um gerador de tensão contínua é mostrado na Figura 6.

Figura 06 - Fonte de tensão contínua.



Fonte: Autoria própria (2014).

Fonte de Corrente Contínua

É todo dispositivo que fornece uma corrente contínua, qualquer que seja o valor da tensão aplicada aos seus terminais.

O símbolo de um gerador de corrente contínua é mostrado na Figura 7.

Figura 07 - Fonte de corrente contínua.



Fonte: Autoria própria (2014).

Uma pergunta

Estávamos falando sempre em tensão e corrente e agora foi acrescentado o termo "contínua" (tensão contínua e corrente contínua), por quê?

Para falarmos sobre isso, vamos abrir um pequeno espaço e tentar explicar a existência de duas formas de correntes: a CC (corrente contínua) e a CA (corrente alternada).

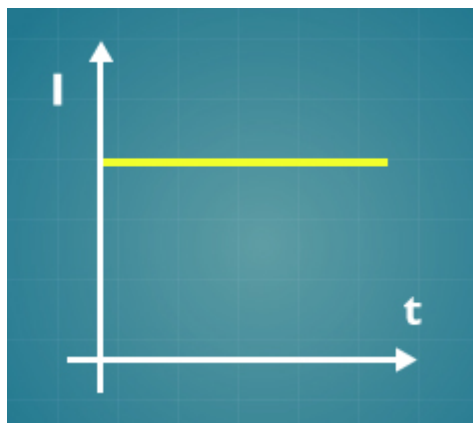
CC (corrente contínua) e a CA (corrente alternada)

Temos basicamente duas formas de gerar eletricidade ou energia elétrica: a contínua, que como o próprio nome sugere, não varia em função do tempo, ou seja, seu valor é sempre o mesmo enquanto a fonte geradora estiver ligada (como mostrado na Figura 8); e a alternada, que varia em função do tempo (como mostrado na Figura 9).

As tensões e correntes geradas por pilhas e baterias são exemplos de tensões e correntes contínuas.

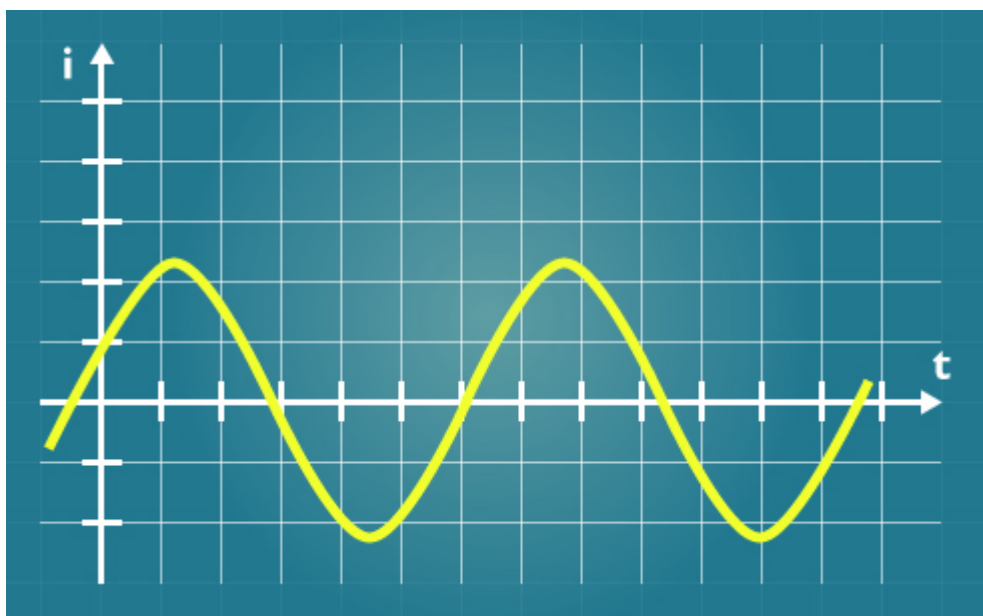
As tensões e correntes alternadas são geradas a partir de equipamentos especiais, como, por exemplo, os alternadores, e a sua análise é mais complexa do que a contínua. Neste curso introdutório, não entraremos na análise de circuitos de corrente alternada, mas é bom conhecer algumas de suas características, afinal, no nosso dia a dia, lidamos e estamos em contato com equipamentos que, em sua grande maioria, usam tensão alternada de 220 V ou 110 V para seu adequado funcionamento.

Figura 08 - Gráfico $I \times t$ para uma fonte de corrente contínua



Fonte: Autoria própria. (2014).

Figura 09 - Gráfico de variação da corrente em função do tempo para uma fonte de corrente alternada (CA).



Fonte: Autoria própria. (2014).

A forma de onda mais comum de corrente ou tensão alternada é sem dúvida alguma a forma senoidal, mostrada na Figura 9.

Uma coisa importante no tocante às tensões e correntes alternadas é a frequência do sinal ou o número de ciclos completos que se verificam por certo período de tempo. A frequência é medida em Hertz (Hz), em homenagem ao físico alemão Heinrich Hertz (1857 – 1894), e representa o número de ciclos do sinal de tensão ou corrente que ocorrem em um segundo. No Brasil, as tensões e correntes alternadas são geradas na frequência de 60 Hz.

Heinrich Rudolf Hertz, físico alemão, nascido em Hamburgo em 22 de fevereiro de 1857 demonstrou a existência da radiação eletromagnética criando aparelhos emissores e detectores de ondas de rádio. Hertz pôs em evidência em 1888 a existência das ondas eletromagnéticas imaginadas por James Maxwell em 1873. Para conhecer um pouco mais sobre a vida e os trabalhos de Hertz, acesse <http://pt.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz>.

Em corrente contínua, o movimento dos elétrons é sempre em um único sentido, enquanto em corrente alternada, ocorre fluxo de elétrons nos dois sentidos, de acordo com a polaridade da onda naquele momento.

Atividade 03

1. Faça uma pesquisa e apresente as formas de representação usadas para caracterizar fontes alternadas de tensão e de corrente.

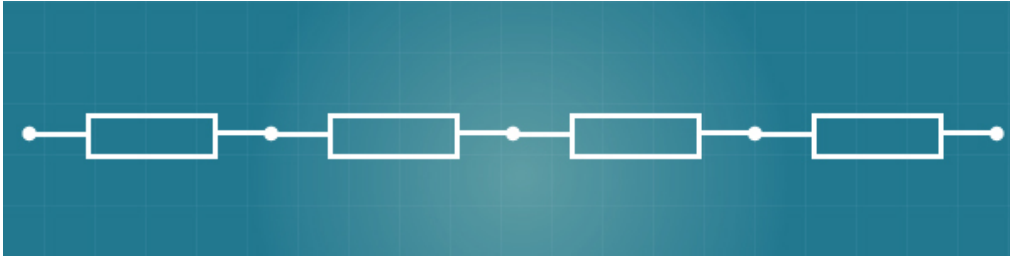
Associação de Bipolos

É muito frequente encontrar nos circuitos elétricos vários tipos de associações de bipolos elétricos. Dentre as mais comuns destacam-se as associações em série, em paralelo, em estrela e em delta. Através de associações mistas, podem-se obter diferentes modelos de circuitos elétricos.

Associação de Bipolos em Série

É um conjunto de bipolos ligados de tal maneira que a corrente que passa por um bipolo, obrigatoriamente, passa por todos os outros que compõem a associação. Uma associação de bipolos em série é mostrada na Figura 10.

Figura 10 - Associação de bipolos em série.

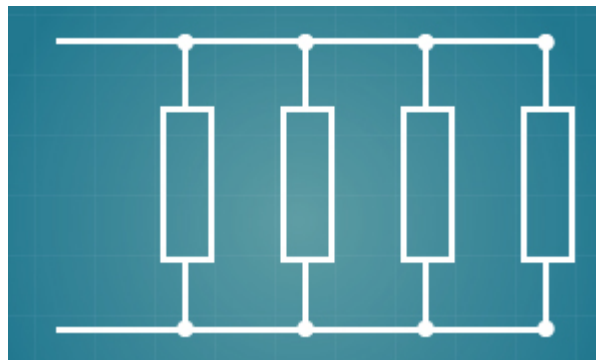


Fonte: Autoria própria.

Associação de Bipolos em Paralelo

É um conjunto de bipolos ligados de tal maneira que a tensão aplicada a um é, obrigatoriamente, aplicada a todos os outros que compõem a associação. Uma associação de bipolos em paralelo é mostrada na Figura 11.

Figura 11 - Associação de bipolos em paralelo.

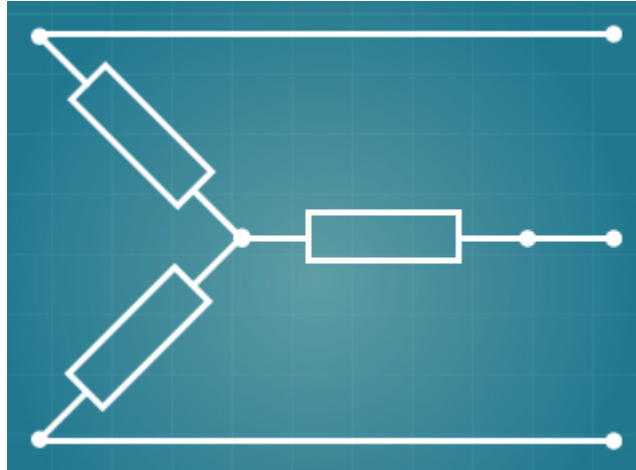


Fonte: Autoria própria.

Associação de Bipolos em Estrela

É um conjunto de três bipolos ligados, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Associação de bipolos em configuração estrela.



Fonte: Autoria Própria.

Associação de Bipolos em Triângulo ou em Delta

É um conjunto de três bipolos ligados conforme mostra a Figura 13.

Figura 13 - Associação de bipolos em configuração triângulo ou delta.

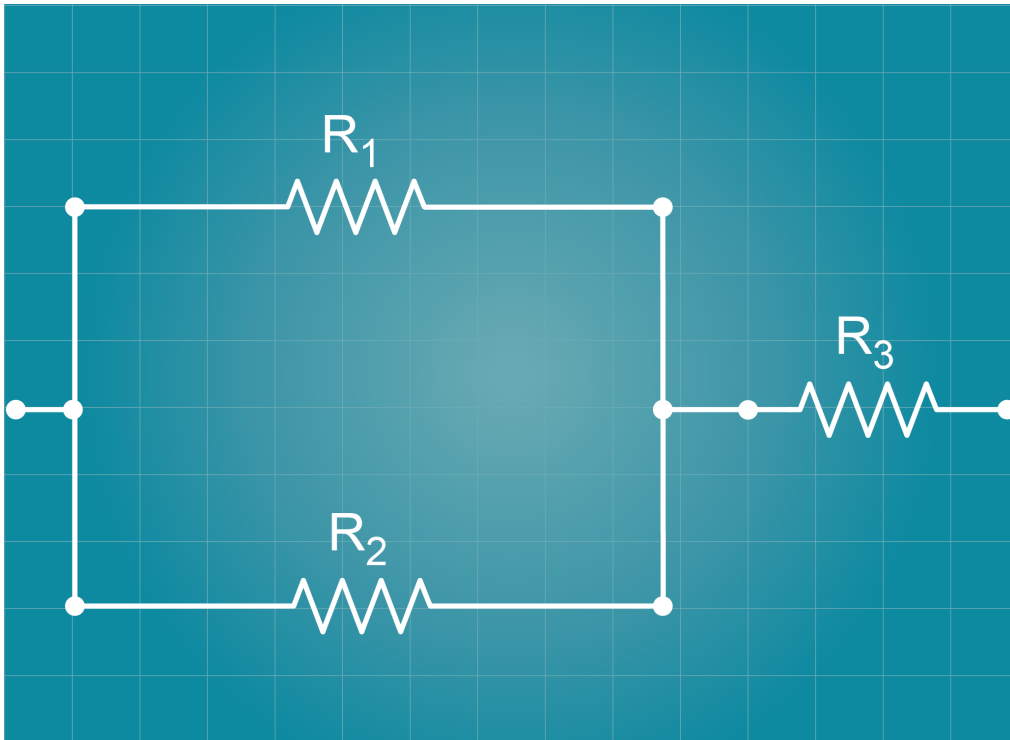


Fonte: Autoria Própria.

Associação Mista

Uma associação mista, como o próprio nome sugere, é uma associação que combina dois ou mais dos tipos de associações representadas anteriormente.

Figura 14 - Paralelo + Serie



Fonte: Autoria Própria.

Atividade 04

1. Faça uma representação mista de bipolos combinando uma associação em delta, com bipolos em paralelo e em série?

Associações de Resistores e Cálculo da Resistência Equivalente

Como bipolos, podemos fazer todas as associações apresentadas acima usando apenas resistores.

Cabe aqui fazer duas observações importantes.

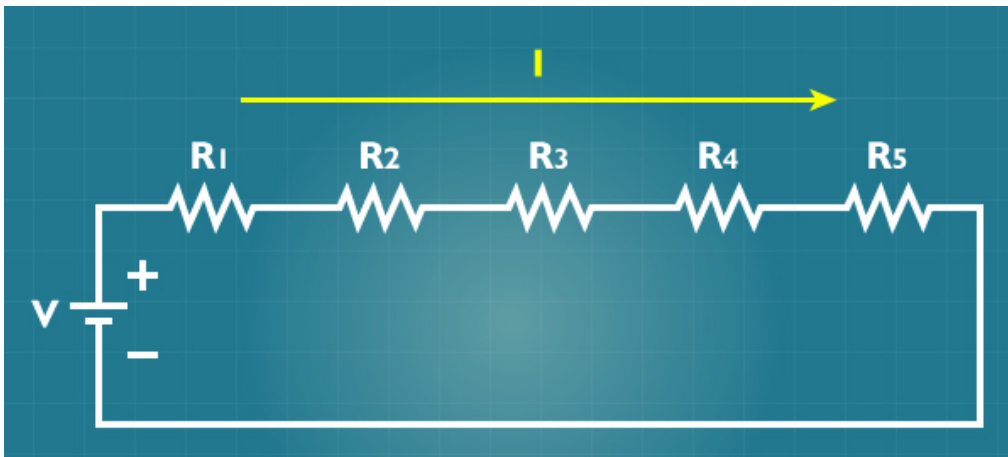
1. Qualquer que seja a maneira como os resistores forem associados, o efeito obtido ainda será sempre o de uma resistência.

2. Essa resistência, chamada de resistência equivalente ou R_{eq} , poderá ser maior ou menor que os valores dos resistores associados, mas, ainda assim, o conjunto seguirá a lei de Ohm.

Resistores em Associação Série

Nesse tipo de associação, como se pode observar pela Figura 15, a corrente I que passa pelo primeiro resistor é a mesma que passa por todos os outros.

Figura 15 - Associação de 5 resistores em série.



Fonte: Autoria Própria.

Calcula-se a resistência em uma associação série então, baseando-se no princípio de que a corrente é a mesma em todos os resistores que fazem parte da associação.

Aplicando a lei de Ohm no circuito mostrado na figura 15, temos a seguinte representação:

$$U = R_{eq} \cdot I$$

$$U = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) \cdot I$$

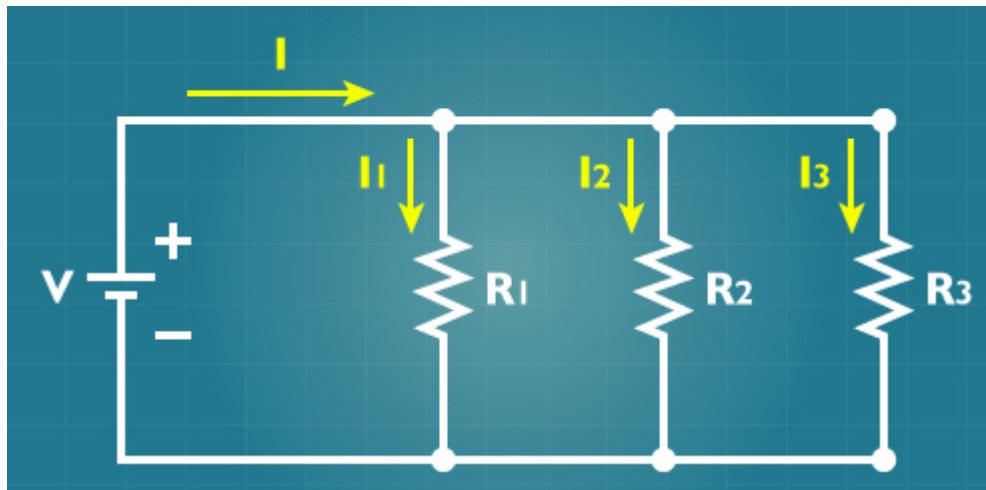
Daí, pode-se concluir que a resistência total R_{eq} (ou equivalente) de uma associação de resistores em série é igual à soma dos resistores que constituem a associação.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

Associação em Paralelo

Neste tipo de associação, como pode se observar pela Figura 15, os três resistores estão submetidos à mesma tensão U .

Figura 16 - Associação de 3 resistores em paralelo.



Fonte: Autoria Própria.

Baseando-se no princípio de que a tensão é a mesma em todos os resistores, pela lei de Ohm, a resistência equivalente da associação paralela mostrada na Figura 15 será dada por:

$$\frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = \frac{U}{R_{eq}}$$

Ou seja:

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_{eq}}$$

Generalizando, o inverso da resistência total (equivalente) de uma associação em paralelo é igual à soma dos inversos das resistências que compõem a associação paralela.

É importante atentarmos para alguns casos particulares.

1 - Se no circuito tivermos apenas dois resistores em paralelo, a resistência equivalente será dada pelo produto das resistências dos dois resistores, dividido pela sua soma. Ou seja,

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

2 - No caso dos n resistores que compõem a associação paralela apresentarem a mesma resistência, a resistência equivalente será dada por,

$$R_{eq} = \frac{R}{n}$$

E claro, se forem apenas dois resistores,

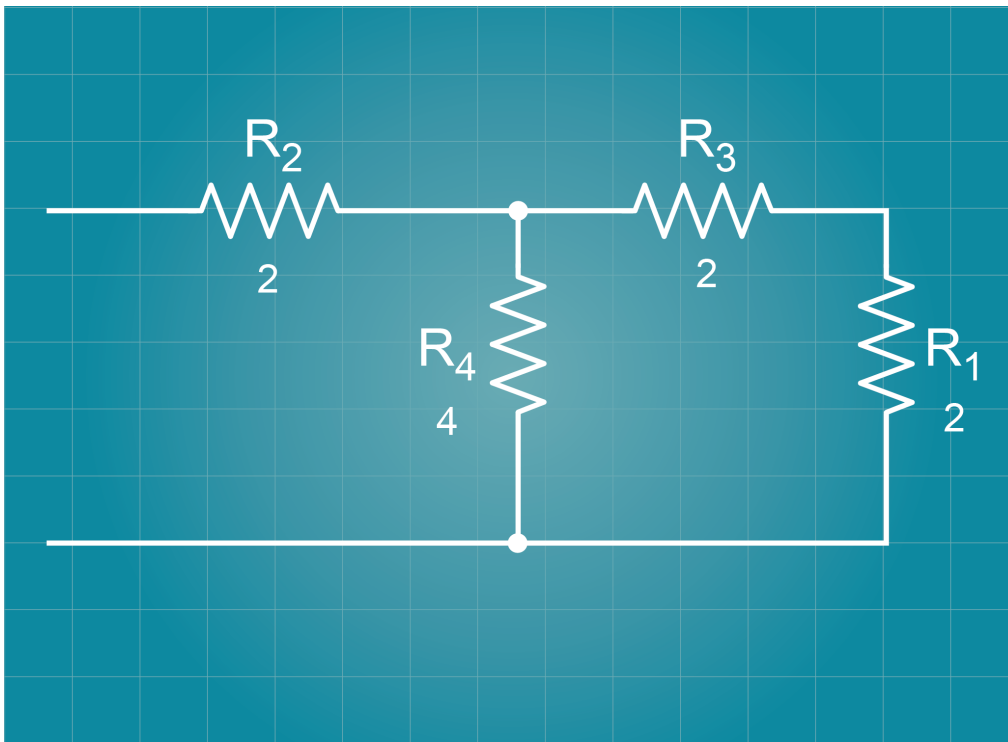
$$R_{eq} = \frac{R}{2}$$

Associação Mista

Denomina-se, normalmente, de associação mista de resistores toda associação que pode ser reduzida a uma associação em série e em paralelo.

Para se calcular a resistência equivalente em uma associação mista, é preciso resolver as associações singulares (série ou paralelo) que estão evidentes e, a seguir, simplificar o circuito até uma única ligação singular.

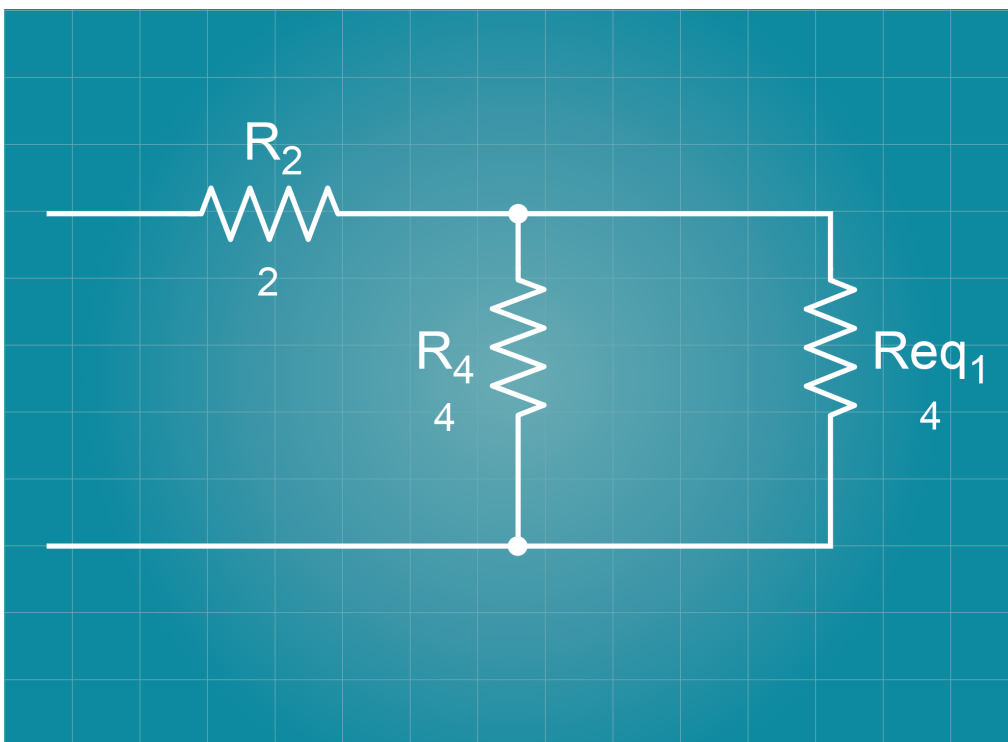
Exercício resolvido: Dado o circuito abaixo (ver figura) apresente a resistência equivalente desse circuito, veja que o mesmo possui associação de resistores em série e em paralelo. Os valores de $R_1 = R_2 = R_3 = 2$ e o valor de $R_4 = 4$



Para resolução desse circuito vamos resolvê-lo por partes, o primeiro passo é a resolução da associação em serie de R_1 e R_3 , assim temos:

$$R_{eq} = R_1 + R_3 = 2 + 2 = 4\Omega$$

Agora obtemos um novo circuito, já com a associação desses resistores:



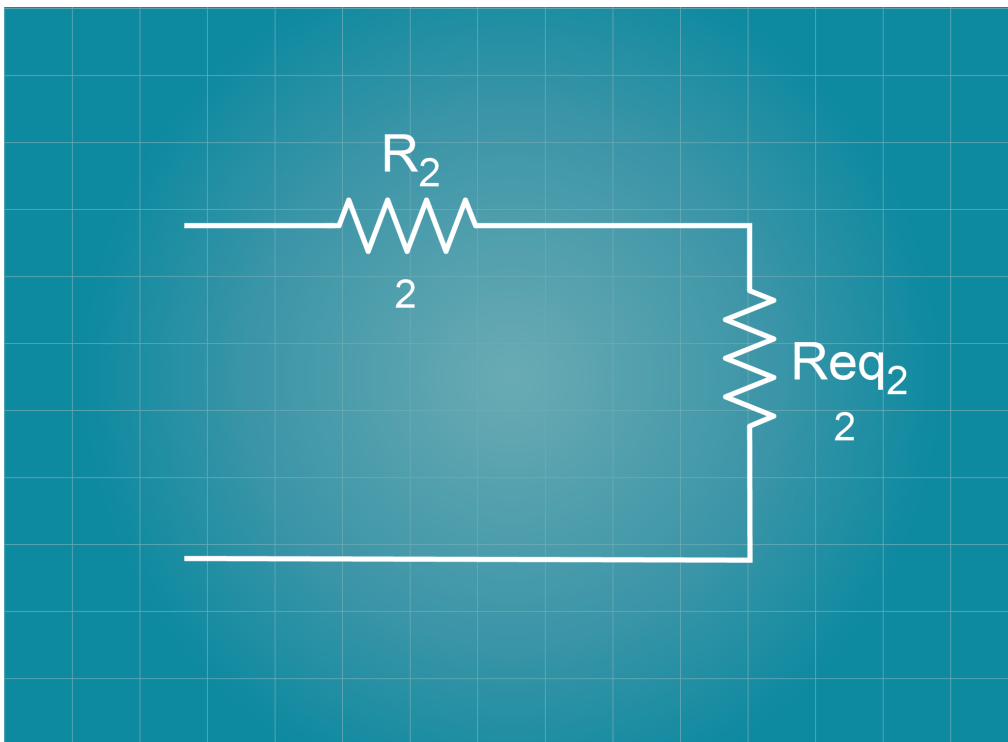
O próximo passo é fazer a associação dos dois resistores em paralelo R_4 e R_{eq1}

$$\frac{1}{R_{eq2}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{eq1}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \rightarrow R_{eq2} = 2\Omega$$

Uma forma mais fácil de resolver a associação acima é lembrar do caso particular, para associação de resistores em paralelo com mesmo valor, que será igual á,

$$R_{eq2} = \frac{R}{2} = \frac{4}{2} = 2\Omega$$

Assim obtemos agora um novo circuito na figura abaixo, e o próximo passo é fazer novamente a associação em serie de R_{eq2} com R_2 .



Resolvendo a equação para associação desses resistores temos que:

$$R_{eq} = R_2 + R_{eq2} = 2 + 2 = 4\Omega$$

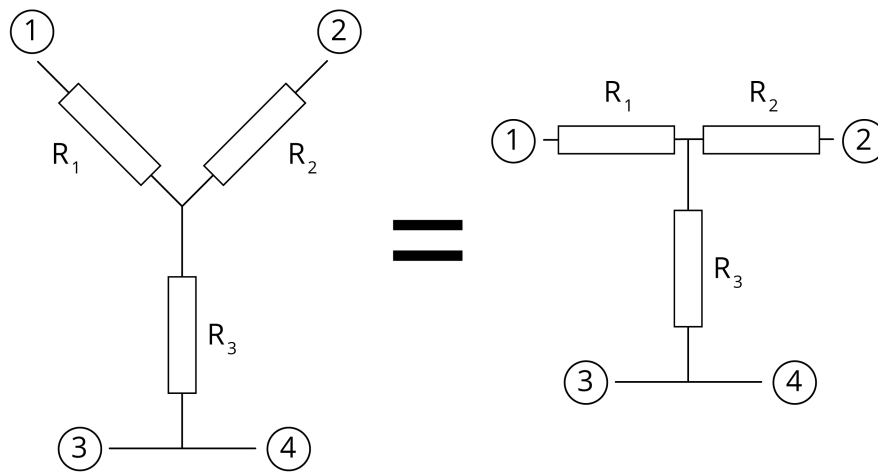
Podemos concluir que a resistência equivalente da associação mista de resistores é igual a 4Ω .

Outro Exemplo de Configuração de Circuitos

Existem circuitos que não estão nem em série nem em paralelo, são o estrela e triângulos, quando essas configurações estão dispostas em um circuito elétrico quase sempre é necessário fazer sua transformação para que seja possível a simplificação do circuito, abaixo mostraremos como fazer a modificação entre eles.

Transformação de Estrela para Triângulo

Figura 17 - Rede em estrela.



Transformação $Y - \Delta$

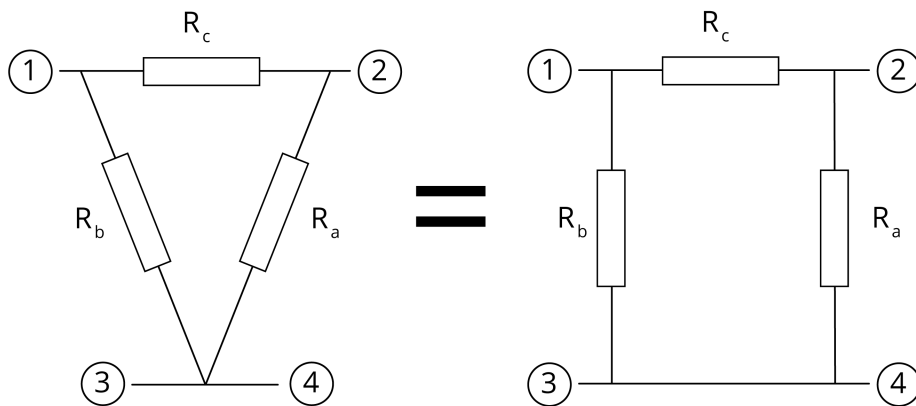
$$R_a = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1}$$

$$R_b = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2}$$

$$R_c = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3}$$

Transformação de Triângulo para Estrela

Figura 18 - Rede em triângulo.



Transformação $\Delta - Y$

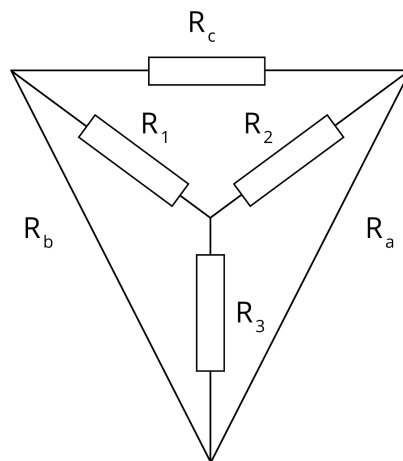
$$R_1 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c}$$

$$R_2 = \frac{R_c R_a}{R_a + R_b + R_c}$$

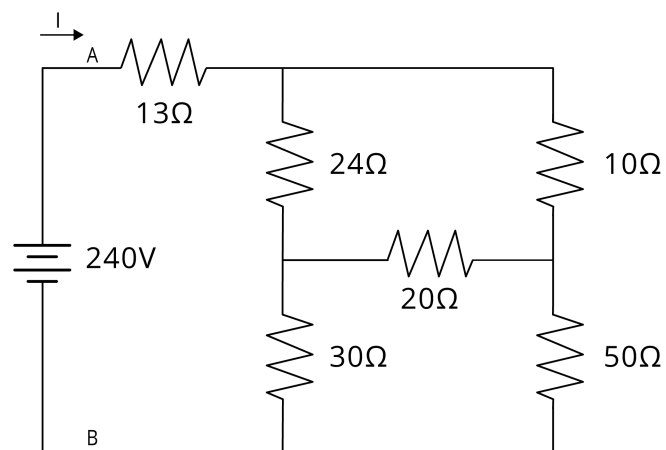
$$R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c}$$

A figura abaixo mostra a superposição das duas configurações e mostra sua relação:

Figura 19 - Configurações superpostas.



Exemplo: Vamos calcular R_{ab} no circuito abaixo:



Vamos começar efetuando a transformação da rede Y dos três últimos resistores do circuito, assim definimos:

$$R_1 = 10\Omega$$

$$R_2 = 50\Omega$$

$$R_3 = 20\Omega$$

$$R_a = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1} = \frac{10 \times 50 + 50 \times 20 + 20 \times 10}{10}$$

$$R_a = 170\Omega$$

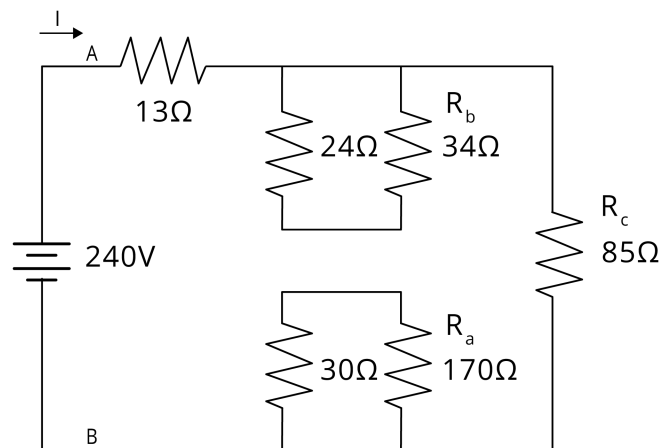
$$R_b = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2} = \frac{10 \times 50 + 50 \times 20 + 20 \times 10}{50}$$

$$R_b = 34\Omega$$

$$R_c = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3} = \frac{10 \times 50 + 50 \times 20 + 20 \times 10}{20}$$

$$R_c = 85\Omega$$

Após a transformação chegamos ao seguinte circuito, que como vemos só possui agora associação de resistores em série e em paralelo:



Atividade 05

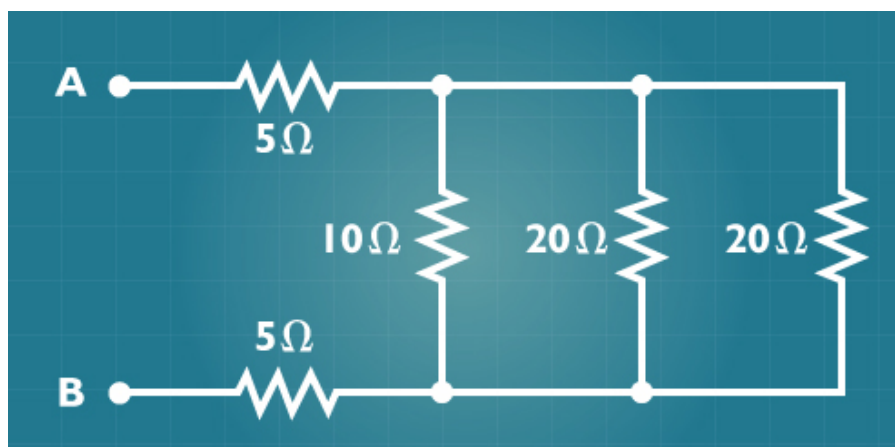
Pense e responda rápido.

1. Qual a resistência equivalente de uma associação série com 3 resistores de resistências iguais a $30\ \Omega$?
2. Qual a resistência equivalente de uma associação paralela com 3 resistores de resistências iguais a $90\ \Omega$?
3. Qual o valor da resistência equivalente de uma associação paralela se os dois resistores apresentam resistências iguais de $10\ \text{Ohms}$?
4. Qual o valor da resistência equivalente de uma associação paralela se um dos resistores apresenta resistência de $20\ \text{Ohms}$ e o outro de $30\ \text{Ohms}$?

Atividade 06

Faça a Atividade 6 iniciando pelo cálculo da resistência equivalente da associação paralela composta pelos resistores de $10\ \Omega$ e de $20\ \Omega$. Depois calcule a resistência da associação série resultante. Fica fácil assim, não?

1. Calcule a resistência equivalente vista no circuito abaixo entre os pontos A e B.



Resumo

Nesta aula, você conheceu um pouco mais da história do fascinante mundo da eletricidade, aprofundou um pouco mais os conhecimentos sobre eletricidade e aprendeu a calcular a resistência equivalente em circuitos elétricos simples envolvendo uma fonte de tensão e resistores em associação série, paralela e mista. Adicionalmente, você também aprendeu a fazer a diferenciação e a representar entre tensões e correntes DC e AC.

Autoavaliação

1. Explique como se podem obter tensões mais elevadas a partir da associação de pilhas e baterias.
2. Quais as unidades usadas para representar tensão, corrente e resistência elétrica? A quem essas unidades homenageiam?
3. Num circuito elétrico simples envolvendo uma fonte de tensão aplicada sobre uma resistência elétrica, que equação as relaciona?
4. Explique como calcular as resistências equivalentes em circuitos resistivos série, paralelo e misto.

Referências

ASSIS, André Koch Torres. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. Montreal: Apeiron, 2010.

VANIN, José Atílio. Uma descoberta eletrizante. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 26, n. 155, p. 75-77, nov. 1999.

SAAVEDRA FILHO, Nestor Cortez. **Curso de formação de operadores de refinaria física aplicada: eletricidade básica**. Curitiba: Petrobrás, 2002. Disponível em: <<http://www.tecnicodepetroleo.ufpr.br/apostilas/petrobras/eletricidade.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

FERNANDES. Thelma S. P. **Curso introdução a circuitos elétricos: capítulo 3 – circuitos resistivos**. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/thelma/Capitulo3.pdf>> Acesso em: 10 jul. 2014.

OLIVEIRA, J. A. N. et al. **Conceitos de Eletricidade**. Natal: EDUFRN, 2014.