

Aprendendo circuitos. Como a eletrostática, eletrodinâmica e a eletrônica funcionam neles.

Gustavo Leão Nogueira de Oliveira

Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial - Senac RS

94.480-500 - Viamão - RS - Brasil

gus.leaono@gmail.com

***Abstract.** This article tests how electrical current is generated, or what is voltage. It is also seen what it is, and what the differences are between alternating and direct current. It is spoken of as resistance and functional potency. The equipment to be tested (current, voltage, resistance and resistance) is blocked. These are the main electronic components that make up a circuit and the main calculations that can be made on them.*

***Resumo.** Este artigo descreve como a corrente elétrica é gerada, o que é tensão. Também é visto o que é, e quais as diferenças entre corrente alternada e contínua. É falado como resistência e a potência funcionam. É mostrado os equipamentos de para testar (corrente, tensão, resistência e continuidade). São mostrados os principais componentes eletrônicos que compõem um circuito e os principais cálculos que podem ser feitos sobre os mesmos.*

Eletrostática

A eletrostática, como será visto a seguir, é o ramo que estuda como as cargas elétricas exercem força de atração e/ou repulsão umas sobre as outras.

Eletrodinâmica

É o ramo que estuda como as cargas elétricas se movem, entre elétrons, que será visto abaixo.

Átomos

Para compreender como funciona a energia elétrica que é utilizada em nosso dia a dia, temos de entender como um átomo funciona.

Um átomo, como o da Figura 1, é composto pelo **núcleo**, este é constituído de prótons (com carga positiva) e nêutrons (com carga neutra); já a **eletrosfera**, é composta pelos **elétrons** (com carga negativa), que ficam em movimento circundando o núcleo do átomo.

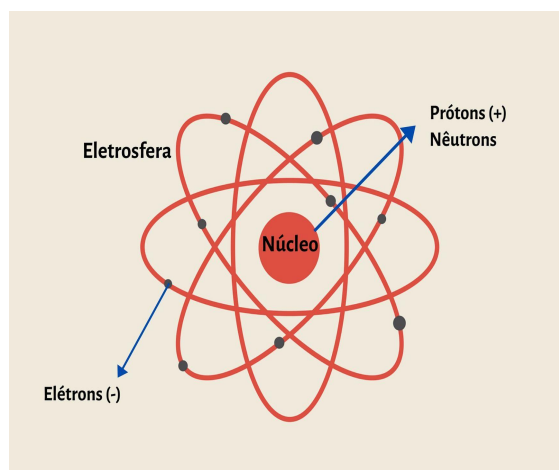


Figura 1 - a visualização de um átomo

Corrente elétrica

Sabe-se que os elétrons podem passar de um átomo para o outro, dessa forma, podemos ter (conforme a quantidade de elétrons) uma **corrente elétrica**.

É fácil concluir que elementos que são **bons condutores** (como cobre, alumínio e estanho) permitem que a corrente passe facilmente. Já os **maus condutores** (como borracha, plástico e cerâmica), não permitem ou permitem pouquíssima passagem de corrente.

Portanto, um fio (como o da Figura 2), revestido com algum tipo de plástico, passa a corrente de um ponto ao outro sem dar choques em quem o segura por isolar o cobre que está sendo energizado e passando a corrente, sendo dessa maneira, fundamental para a eletrônica.

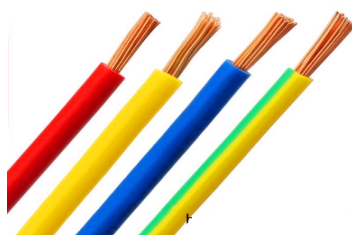


Figura 2 - Fios elétricos

Um outro elemento muito utilizado é a fita isolante, que não deixa a corrente passar por ser um mau condutor. Entretanto, ela pode deixar passar se a corrente for muito alta (por exemplo, 30.000 volts).

Diferença de potencial

A diferença de potencial elétrico, comumente chamada de tensão, ou também por sua sigla DDP, é medida em volts. Esse nome vem de Alessandro Volta, que foi o desenvolvedor da pilha.

Para fins explicativos sobre o conceito da DDP, imagine dois potes com água, ligados por uma mangueira. A água são os elétrons, e a mangueira que liga os dois potes é o fio elétrico.

Quando os potes ficam na mesma altura, não tem porque a água (aqui simbolizando os elétrons) fluem de um pote para o outro. Se mudar o potencial de alguma das pontas, no caso de levantar um dos potes, a água tende a fluir. Portanto, para que haja corrente elétrica é necessária uma diferença de potencial.

Corrente contínua Ou Corrente alternada

Uma pilha, por exemplo, tem corrente contínua, sendo simbolizada pela sigla DC (*Direct Current*). A tomada, por sua vez, tem a corrente alternada, sendo simbolizada pela sigla AC (*Alternating Current*).

Seguindo o exemplo dos potes, quando temos apenas um dos dois lados levantados a água flui apenas de um lado para o outro, sempre no mesmo sentido; ou seja, quando temos uma pilha ela manda a energia de um polo (positivo ou negativo) para o outro.

Já a tomada, no exemplo dos potes, seria os dois potes alternando-se de altura, tendo dessa forma, uma diferença de potencial que se alterna; fazendo o mesmo com os polos. No Brasil, essa alternância ocorre 60 vezes por segundo. Por isso, também não há necessidade de conectar dispositivos na tomada de uma única forma, coisa que é necessária para circuitos que utilizem a corrente contínua.

A corrente elétrica é medida em amperes, que é a quantidade de elétrons passando durante um determinado tempo. Por curiosidade, o nome amperes faz referência ao André-Marie Ampère.

Resistência elétrica

A resistência depende de vários fatores para ocorrer, como o material, formato, comprimento e temperatura; é notada quando os elétrons que passam por um fio com maior ou menor dificuldade os elétrons têm de passar de um local para o outro.

Pensando no exemplo dos potes, imagine agora que seja colocado no meio da mangueira uma redução, ou algum tipo de funil, de maneira que uma ponta fosse normal, e outra afinação drasticamente. Nesse caso, a água (lembre-se, nesse exemplo representando os elétrons) terá uma dificuldade para passar de um local para o outro.

Na eletrônica, quem reduz a corrente que passa de um lado para outro, é chamado de resistor (como o da Figura 3). Este serve para diminuir a corrente elétrica, evitando, por exemplo, que componentes queimem ao receber mais corrente do que podem aguentar.

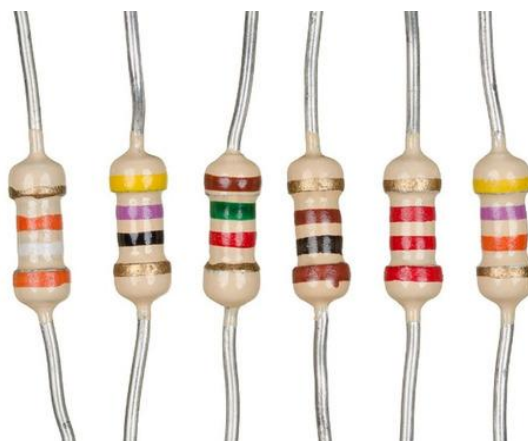


Figura 3 - resistores de vários valores

É importante salientar que um resistor esquenta, pela transformação de energia cinética, para energia térmica. Esse efeito, chamado de efeito Joule, é o utilizado no chuveiro, sanduicheira, ferro de passar.

A unidade de medida para resistência é o OHM, que tem o símbolo Ω , tendo esse nome baseado em George Simon Ohm.

Potência elétrica

A potência elétrica é a quantidade de energia elétrica fornecida ou recebida dentro de um circuito. Os watts, utilizados como unidade de medida para potência, vem do nome James Watt.

De forma a exemplificar, pense que vamos moer pedras utilizando um moinho (e uma roda d'água). Quanto maior a roda mais potente ela será para moer as pedras. Essa roda, sendo instalada em uma grande cachoeira (representando uma grande diferença de potencial) ou em um córrego que passe muita água, alimenta de forma satisfatória a roda d'água.

Fazendo o paralelo quando no caso da cachoeira, a tensão é alta, mas que terá poucos amperes (cachoeira alta, mas menos água correndo). De forma oposta, no caso do córrego, teremos muitos amperes e pouca tensão (muita água passando e pouca inclinação).

Multímetro

Um multímetro, como o da Figura 4, foi criado para fazer medições. Ele possui dois fios, comumente chamados de ponteiros ou pontas de prova, de duas cores (vermelho e preto), onde o preto vai no terra e o vermelho pode ir na entrada correspondente para medir corrente (de microamperes até 10 amperes) ou na outra que mede tensão (volts) e a resistência (ohms).



Figura 4 - um multímetro

A chave seletora serve para selecionar o que será medido, seja corrente, tensão ou resistência. Na chave seletora temos dois símbolos (Figura 5), para respectivamente corrente alternada, ou para corrente contínua; alguns também têm um V seguido dos mesmos símbolos.



Figura 5 - símbolos para corrente contínua e alternada

Deve-se atentar que ao escolher um valor, este será o máximo que o multímetro poderá medir. Também, que a ponta de prova preta é a negativa e a vermelha positiva, que não deve ser invertida, pois assim no visor será mostrado um número negativo.

No multímetro de exemplo, podemos selecionar de 100 mV (milivolts) até 1000 V (volts) para corrente contínua. Já na corrente alternada, de 200 V até 750 V. A resistência, vai de 200 Ω (ohms) até 2000 K Ω (kilohms). Por fim, a corrente de 2000 μ A (microamperes) até 20 mA (miliamperes), até, 10 A (amperes), lembrando que nesse caso, o multímetro entrará como parte do circuito.

Outro teste que pode ser feito com o multímetro, é o de continuidade, que serve para testar se um equipamento está, ou não, passando energia, bem como testar leds e diodos. Neste teste alguns multímetros, como o do exemplo, podem fazer um beep. Deve-se um fio, que esteja quebrado, não surtirá nenhum efeito.

Uma observação interessante, existe o **amperímetro**, que serve para medir a resistência; já um **voltímetro**, mede a corrente de um circuito. Logo entende-se que o multímetro, que mede os dois, tem o amperímetro e o voltímetro em um único instrumento para a realização de testes.

Eletrônica

Diagrama esquemático

Os esquemas são as versões em desenho dos componentes, bem como dos circuitos, utilizados para compreender como o circuito irá funcionar, onde temos os respectivos símbolos para cada tipo de componente eletrônico. Estes símbolos, seguem as normas da Comissão Eletrotécnica Internacional, entretanto, podendo possuir algumas poucas variações.

Componentes eletrônicos

Se a eletricidade, tratada anteriormente, tem a ver com movimento de elétrons, na eletrônica utilizamos os componentes elétricos para controlar o movimento deles. Para fazer este controle, são utilizados os componentes eletrônicos.

Fonte

As fontes são o que dão energia para o circuito.

Podemos ter de alguns tipos:

- Pilha, como na Figura 6

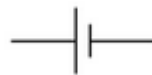


Figura 6 - símbolo para pilhas

- Fonte transformadora (que transforma de corrente alternada para contínua), como na Figura 7, que pode ser uma fonte de bancada, um carregador ou uma fonte de computador.

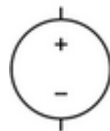


Figura 7 - símbolo para fonte transformadora

- Fonte de corrente alternada, como na Figura 8



Figura 8 - símbolo para fonte de corrente alternada

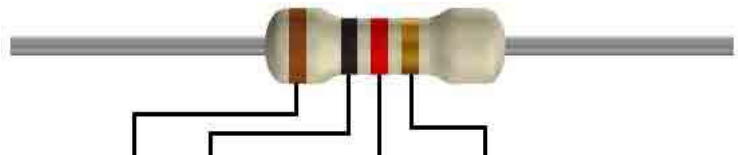
Resistor

Os resistores como visto anteriormente servem para controlar a corrente elétrica.

Deve-se atentar as faixas coloridas em um resistor (visto anteriormente na Figura 3) servem para mostrar qual a resistência do resistor em questão, podendo ser

descoberto, portanto, o valor da mesma utilizando uma tabela ou de um aplicativo (Resistor Code Calculator).

Para encontrar o valor, precisamos ver o resistor de forma que a faixa que fique a direita seja dourada ou prateada. A quantidade (4 ou 5 faixas), define se o resistor é mais ou menos preciso. Já nas outras faixas basta utilizar a tabela (Figura 9) para calcular.



Cor	1ª faixa	2ª faixa	3ª faixa	Multiplicador	Tolerância	Coef. de Temperatura
Preto	0	0	0	$\times 10^0$		
Marrom	1	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$ (F)	100 ppm/°C
Vermelho	2	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$ (D)	50 ppm/°C
Laranja	3	3	3	$\times 10^3$		15 ppm/°C
Amarelo	4	4	4	$\times 10^4$		25 ppm/°C
Verde	5	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$ (D)	
Azul	6	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0.25\%$ (C)	10 ppm/°C
Violeta	7	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0.1\%$ (B)	5 ppm/°C
Cinza	8	8	8	$\times 10^8$	$\pm 0.05\%$ (A)	1 ppm/°C
Branco	9	9	9	$\times 10^9$		
Ouro				$\times 0.1$	$\pm 5\%$ (J)	
Prata				$\times 0.01$	$\pm 10\%$ (K)	
Sem cor					$\pm 20\%$ (M)	

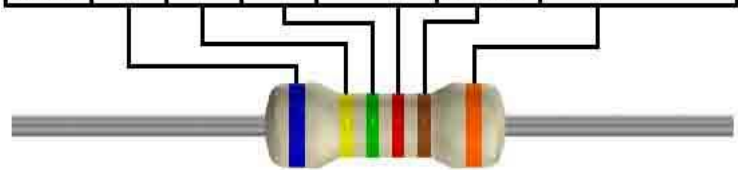


Figura 9 - tabela de conversão

Por exemplo, um resistor com uma faixa marrom (valor 1), uma preta (0), uma verde (x10) e a última dourada. Dessa forma, o resistor terá 1MΩ e $\pm 5\%$ de tolerância.

O símbolo para resistor (visto na Figura 10) pode ser como o da esquerda, comumente utilizado nos Estados Unidos, quando o da direita que é o padrão.



Figura 10 - símbolos para resistor

Potenciômetro

O potenciômetro (Figura 11), que tem o símbolo como na Figura 12 (à esquerda é o padrão, à direita é o modelo americano), é um resistor em que podemos variar a

resistência. Podemos, por exemplo, controlar como um led fica mais ou menos aceso(brilhoso) ou fazer um motor rodar com mais ou menos velocidade.



Figura 11 - um potenciômetro

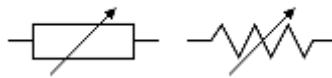


Figura 12 - símbolos para potenciômetro

Capacitor

Um capacitor armazena energia, mas de forma oposta a uma bateria, pode descarregar no circuito de uma única vez (de uma maneira muito rápida). Tendo vários tipos, como o eletrolítico (Figura 13), cerâmico e de poliéster. Este tem o símbolo (Figura 14) representa um capacitor, sendo o do canto superior esquerdo sem polaridade e os demais com polaridade.

Alguns números estão na capa do capacitor(Figura 15), como o 470 μ F (microfarads); o farad, ou nesse caso microfarads, é a capacitância do capacitor, ou seja, o quanto ele consegue armazenar de energia. Já o 200v é a tensão máxima em que o capacitor pode ser ligado. A lista, nesse caso branca, que pode ser observada ao lado esquerdo do capacitor serve para mostrar o polo negativo do capacitor.

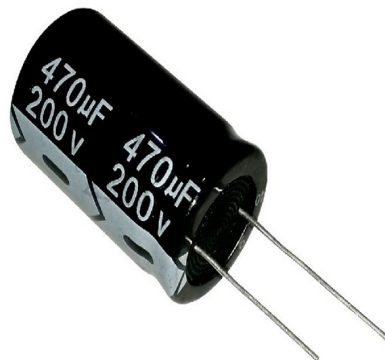


Figura 13 - um capacitor

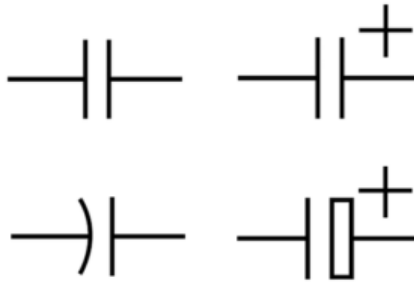


Figura 14 - símbolos para capacitor

Relé

Esse componente (Figura 15) eletromecânico é um interruptor, dessa forma, apenas dando contato através de energia para ligar e desligar. O símbolo (Figura 16) descreve bem como é composto um relé, por uma bobina ou eletroímã, uma chapinha deixando a energia fluir.



Figura 15 - um relé simples

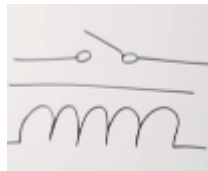


Figura 16 - símbolo para relé

Semicondutores

Semicondutores, feitos com materiais como o silício (o mesmo do Vale do Silício), que ficam entre os condutores e os não condutores, podendo ser controlados de maneiras diversas.

Diodo

O diodo, na Figura 17, serve para que a corrente elétrica passe por ele, mas que não volte para o circuito. Por exemplo, um motor ligado a um circuito, quando desligado, pode gerar energia e retornar para o circuito, exceto se o diodo estiver entre o motor e o circuito, assim evitando problemas. O símbolo para o diodo é o da Figura 18.



Figura 17 - diodo



Figura 18 - símbolo do diodo

LED

Led (Figura 19), ou Diodo Emissor de Luz (Light Emitting Diode), é um diodo que quando passa corrente ele emite luz e que tem o símbolo como na Figura 20.



Figura 19 - LED vermelho

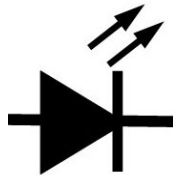


Figura 20 - símbolo do LED

Transistor

O transistor (Figura 21) tem três “pernas”, sendo elas coletor (c), emissor(e) e a base(b). O coletor e o emissor servem para fazer a corrente fluir e a base é o controle. É possível, então, amplificar e controlar a corrente que passa por ele. O que diferencia entre o transistor NPN e PNP (que tem os símbolos na Figura 22) é como a corrente passa (do coletor para o emissor, ou do emissor para o coletor, respectivamente) para cada transistor.

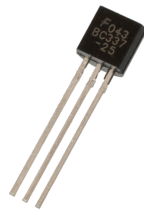


Figura 21 - transistor

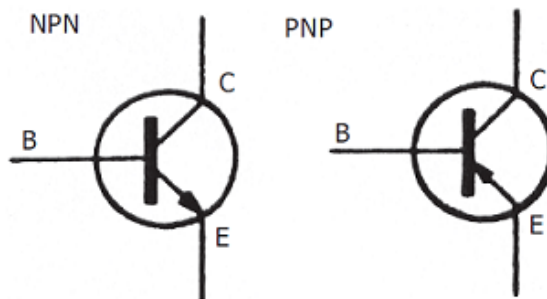


Figura 22 - símbolos do transistor NPN e PNP

Circuitos

Os circuitos eletrônicos são um conjunto componentes eletrônicos ligados, que formam o caminho onde os elétrons irão passar.

A energia que sai de uma **carga** (por exemplo, pilha ou tomada), passa pelos **condutores** (fios ou trilhas de uma placa de circuito impresso); após chegar no outro lado do condutor temos as **cargas** que controlam o movimento dos elétrons, nesse caso os componentes eletrônicos. Por fim, os elétrons voltam para a carga.

Protoboard

É uma placa de prototipagem (Figura 23), que serve para fazer um protótipo para testar como será o circuito.

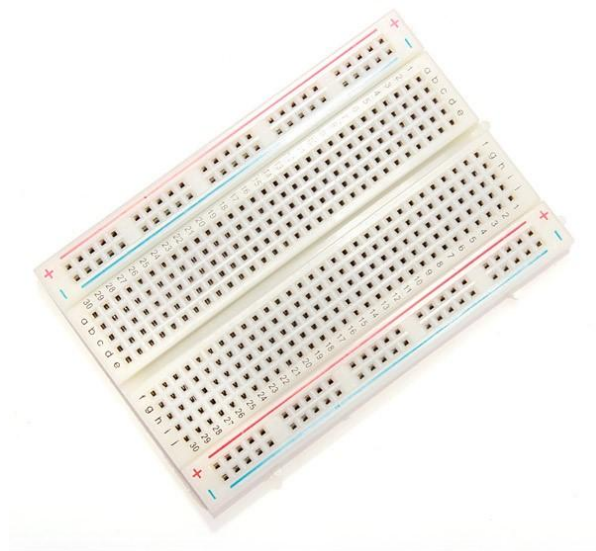


Figura 23 - Protoboard

Nela existem buracos e na região do meio (onde tem as letras de a até j), esses buracos tem o sentido de coluna, e desse modo, estão interligados (são cinco, de a até e, e mais cinco de f até j).

Nas linhas vermelha e azul são linhas onde geralmente é conectado o negativo (azul) e o positivo (vermelho).

O buraco entre as colunas serve para conectar **ci's** ou **circuitos integrados**, Figura 24, que são circuitos em miniatura.



Figura 24 - Circuito Integrado

Placa Universal ou Perfurada

Uma placa universal ou perfurada, como a da Figura 25, foi criada para colocar o circuito projetado na protoboard em um formato quase profissional e que consiga ficar fixo, seguro e fácil de soldar as peças.

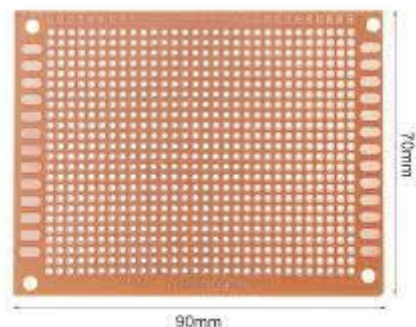


Figura 25 - Placa perfurada ou universal

Placa de Circuito Impresso

A Figura 26, representa o desenho esquemático e a placa de circuito impresso que serve para fazer o circuito de uma maneira organizada e que possa ser produzida em massa. Portanto, a placa de circuito impresso serve tanto mecanicamente para segurar os componentes, quanto para ligar eles.

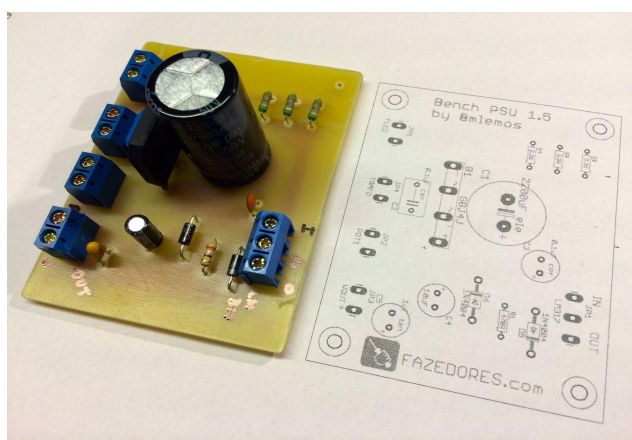


Figura 26 - Placa de circuito impresso e o desenho esquemático

Cálculos

Para fazer os cálculos de **potência (p)**, **corrente (I)** e **tensão (V)**, basta basear-se no triângulo da Figura 27, onde basta pegar o que se quer calcular, igualar a multiplicação caso esteja na mesma linha ou dividir caso um esteja acima do outro.

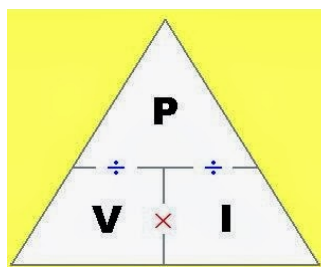


Figura 27 - Triângulo para cálculo de tensão, corrente e potência

Portanto, para calcular a potência de um circuito, basta fazer $P = V \cdot I$, onde o resultado será em watts, a tensão em volts e a corrente em amperes.

Para exemplificar o cálculo de potência, imagine um equipamento ligado a 127v, com uma corrente de 4a, o cálculo fica $P = 127v \cdot 4a$, resultando em $P = 508w$.

Já o cálculo de tensão, basta fazer $V = \frac{P}{I}$, onde o resultado é dado em volts, a potência é em watts e a corrente em amperes.

O cálculo de tensão, desse modo, basta imaginar um equipamento com 3960w de potência, com uma tensão de 18a, ficando $V = \frac{3960w}{18a}$, resultando em $V = 220v$.

Por fim, o cálculo de corrente é feito com $I = \frac{P}{V}$, onde o resultado é dado em amperes, a potência em watts e a tensão em volts.

Para descobrir a corrente de um equipamento, dessa forma, um equipamento que consome 6000w, ligado em 220v, ficando $I = \frac{6000w}{220v}$, resultando em $I = 27.27a$

Capacitância

Quando é utilizado um capacitor é possível calcular a capacitância, ou capacidade, do mesmo através da fórmula $C = \frac{Q}{V}$, onde Q é a quantidade de carga que foi armazenada, o V é a tensão, e o resultado é em F (farad ou faraday).

Resistores

Lei de ohm

1ª lei

A corrente elétrica que percorre um resistor ôhmico é diretamente proporcional a tensão.

Para calcular a resistência de um resistor, que está em um circuito, basta utilizar a fórmula $R = \frac{V}{I}$, resultando em um valor em ohms(Ω). É importante ressaltar que o valor em ohms, pode ser representado em v/a (volts por amperes), que significa a quantidade em volts para passar cada amper.

Dessa forma, é possível calcular um resistor que está em um circuito com a tensão de 10v e a corrente de 2a, ficando $R = \frac{10v}{2a}$, resultando em $R = 5\Omega$.

Associação de resistores

Para compreender a associação de resistores, é necessário entender que em um circuito os resistores podem estar em **série** (Figura 28), **paralelo** (Figura 29) e/ou **mistos** (Figura 30).

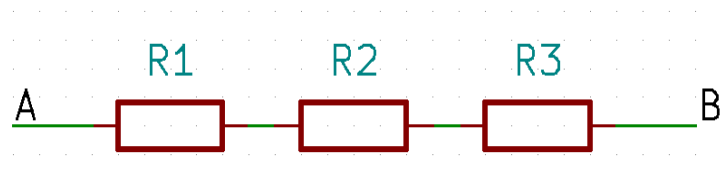


Figura 28 - Circuito de resistores em série

Imaginando que o circuito vai de A até B, percebe-se que só há um caminho para a corrente elétrica passar de A até chegar em B. Nesse caso a **resistência total** desses resistores é $R_t = R_1 + R_2 + R_3$, ou seja, a soma de todos os resistores, que é fornecida em ohms Ω .

Por exemplo, se R_1 valer 10Ω , R_2 valer 15Ω e R_3 valer 5Ω , a resistência total é $R_t = 10 + 15 + 5$, resultando em $R_t = 30\Omega$.

A característica, no caso do circuito em série, é que a resistência total (ex.: $R_t = 30\Omega$) sempre será **maior** que o maior resistor (Ex.: R_2 que tem 15Ω).

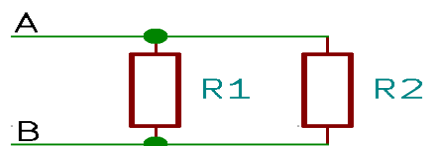


Figura 29 - Circuito de resistores em paralelo

Imaginando que o circuito vai de A até B, percebe-se que só há dois caminhos(ou mais) para a corrente elétrica passar de A até chegar em B.

Quando os resistores forem **iguais**, a **resistência total** será $R_t = \frac{R}{\text{Quant. Resistores}}$. Por exemplo, se R_1 e R_2 forem igual a 10, a resistência total será $R_t = \frac{10}{2}$, desse modo resultando em $R_t = 5\Omega$.

Já se forem apenas dois resistores **diferentes**, a **resistência total** fica $R_t = \frac{R_1.R_2}{R_1+R_2}$. Por exemplo, se R_1 valer 3Ω e R_2 valer 4, então $R_t = \frac{3.4}{3+4}$, calculando fica $R_t = \frac{12}{7}$, resultando em $R_t = 1,71\Omega$.

Por fim, se forem três ou mais resistores **diferentes**, para calcular a **resistência total** basta pegar em conjunto de dois em dois resistores. Nesse caso, se R1 valer 10Ω, R2 valer 5 e R3 valer 25; pegando R2 e R3 e igualando a Ra, teremos $Ra = \frac{5 \cdot 25}{5 + 25}$, resultando em $Ra = 4,17\Omega$. Por fim, pegando o resultado de Ra com o R1, teremos $Rt = \frac{4,17 \cdot 10}{4,17 + 10}$, resultando em $Rt = 2,94\Omega$

A característica, no caso do circuito em paralelo, é que a resistência total (ex.: $Rt = \Omega$) sempre será **menor** que o menor resistor (Ex.: R2 que tem 15Ω).

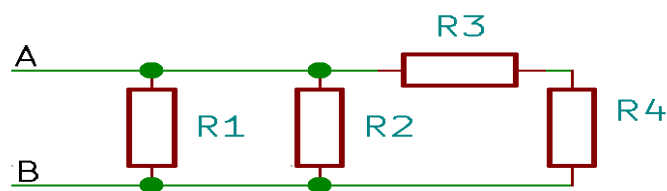


Figura 30 - Circuito misto de resistores

Imaginando que o circuito vai de A até B, percebe-se que só há dois caminhos(ou mais) para a corrente elétrica passar de A até chegar em B, e que, também, terão resistores em série e em paralelo.

Nesse caso, para resolver a **resistência total**, vindo da extremidade oposta a A e B, da direita para a esquerda de quem olha o circuito.

Para ficar fácil o entendimento, imagine que temos R1 valendo 5Ω, R2 valendo 10Ω, R3 valendo 15Ω e R4 valendo 5Ω. Pegando os últimos dois resistores (R3 e R4), teremos $Ra = 15 + 5 = 20\Omega$. Agora, Ra com R2, que estão em paralelo nesse caso ficando $Rb = \frac{20 \cdot 10}{20 + 10} = 6,67$. Por fim, Rb com R1, também em paralelo, ficando $Rt = \frac{6,67 \cdot 5}{6,67 + 5} = 2,001\Omega$.

Conclusão

À vista disso, fica nítido compreender que um circuito eletrônico pode estar escrito na forma de diagrama esquemático, em uma protoboard ou em uma placa de circuito (impresso ou perfurado). Esse circuito é composto pelos mais diversos componentes eletrônicos, podendo testá-los conforme sua corrente, resistência e tensão.

É simples entender que a corrente que passa pelo circuito, é gerada pelos elétrons saindo de um átomo para o outro e que a eletrostática, eletrodinâmica e eletrônica se comunicam e é necessário muito estudo aprofundado para compreender como cada elemento que compõe essa trinca é importante, necessário e útil.

Bibliografia

- [Manual do Mundo, 2019] “Qual a diferença entre volt, watt e ampere?”
https://www.youtube.com/watch?v=JtttnL28m3Q&list=PLYjrJH3e_wDNLUTN32WittrpBxeleEqNp&index=5
- [Manual do Mundo, 2019] “Como funciona um multímetro”
https://www.youtube.com/watch?v=1WIWrmc-rBk&list=PLYjrJH3e_wDNLUTN32WittrpBxeleEqNp&index=7
- [Manual do Mundo, 2019] “Para que servem os componentes eletrônicos?”
https://www.youtube.com/watch?v=C54Cp819Ebc&list=PLYjrJH3e_wDNLUTN32WittrpBxeleEqNp&index=8
- [Manual do mundo, 2019] “Como funciona uma protoboard”
https://www.youtube.com/watch?v=DfU6llvIMcM&list=PLYjrJH3e_wDNLUTN32WittrpBxeleEqNp&index=9
- [Manual do mundo, 2019] “Como usar um ferro de solda”
https://www.youtube.com/watch?v=MGBgyuVXRcI&list=PLYjrJH3e_wDNLUTN32WittrpBxeleEqNp&index=12
- [Manual do mundo, 2020] “Como fazer uma placa de circuito impresso”
<https://www.youtube.com/watch?v=P08uX38rr7o&t=84s>
- [Wikipedia] “Alessandro Volta” https://pt.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Volta
- [Brasil Escola] “O que é pilha?”
<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-pilha.htm>
- [Wikipedia] “André-Marie Ampère”
https://pt.wikipedia.org/wiki/Andr%C3%A9-Marie_Amp%C3%A8re
- [Wikipedia] “Lei de Joule” https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Joule
- [Carvalho, Thomas] “Efeito Joule” <https://www.infoescola.com/fisica/efeito-joule/>
- [Oca Solar Energia, 2020] “Métodos de como calcular a corrente elétrica de um circuito”
<https://www.ocaenergia.com/blog/comandos-eletricos/metodos-de-como-calcular-a-corrente-eletrica-de-um-circuito/>
- [Wikipedia] “Georg Simon Ohm” https://pt.wikipedia.org/wiki/Georg_Simon_Ohm
- [Mattede, Henrique] “Semicondutores – O que são e para que servem!”
<https://www.mundodaeletrica.com.br/semicondutores-o-que-sao-para-que-servem/>
- [Helerbrock, Rafael] “Potência elétrica”
<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/potencia-eletrica.htm>
- [Wikipedia] “James Watt” https://pt.wikipedia.org/wiki/James_Watt
- [Wikipedia] “Transistor” <https://pt.wikipedia.org/wiki/Trans%C3%ADstor>
- [Wikipedia] “Circuito integrado” https://pt.wikipedia.org/wiki/Circuito_integrado

- [Ribeiro, Luciana. 2019/2020] “Eletricidade”
<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/eletricidade>
- [Leonidas Borges Elétrica] “Como Calcular Tensão, Corrente, Potência - Usando Fórmula - Elétrica 022” <https://www.youtube.com/watch?v=dYM-azGeQhM>
- [Professor Octavio] “Primeira Lei de Ohm e Definição de Resistência Elétrica”
<https://www.youtube.com/watch?v=6QeanXwEJGE>
- [Professor Octavio] “Segunda Lei de Ohm”
<https://www.youtube.com/watch?v=BcVCMxTJBts>
<https://www.mundodaeletrica.com.br/instrumentos-de-medicao-eletrica-quais-sao/>
- [Professor Octavio] “Capacitancia”
<https://www.youtube.com/watch?v=7DHwKqqGkL0>
- [Professor Octavio] “Capacitores” <https://www.youtube.com/watch?v=4YzzLuJVXPU>
- [Carol Borges - Aulas da Carol] “Aula 5 - Associação de resistores série e paralelo”
<https://www.youtube.com/watch?v=KJMXvqn83wU>
- [Carol Borges - Aulas da Carol] “Aula 6 - Associação de resistores - mista”
<https://www.youtube.com/watch?v=ZrhO4IEE-tQ>
- [Carol Borges - Aulas da Carol] “Aula 8 - Análise de circuitos Série”
<https://www.youtube.com/watch?v=8B0MoEzruU4>
- [Carol Borges - Aulas da Carol] “Aula 9 - Análise de circuitos Paralelo”
<https://www.youtube.com/watch?v=chbCaawb2Do>
- [Carol Borges - Aulas da Carol] “Aula 10 Análise de circuitos Misto”
<https://www.youtube.com/watch?v=69R6U2VdBBg>