ELETRÔNICA BÁSICA

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 3
1- FUNDAMENTOS DE ELETRICIDADE 4
2- NOÇÕES DE ELETROSTÁTICA 5
3- TENSÃO ELÉTRICA OU DIFERENÇA DE POTENCIAL ELÉTRICO (DDP) 8
4- CORRENTE ELÉTRICA 9
5- RESISTÊNCIA ELÉTRICA 10
6- 1ª LEI DE OHM, POTÊNCIA E ENERGIA ELÉTRICA 13
7- CIRCUITO SÉRIE 15
8- CIRCUITO PARALELO 18
9- CIRCUITO MISTO 21
10- TIPOS DE ELETRICIDADE 21
11 - ELETRÔNICA ANALÓGICA 36
REFERÊNCIAS

INTRODUÇÃO

A eletrônica (pt-BR) ou eletrónica (pt) é a ciência que estuda a forma de controlar a energia elétrica por meios elétricos nos quais os elétrons têm papel fundamental.

Divide-se em analógica e em digital porque suas coordenadas de trabalho optam por obedecer estas duas formas de apresentação dos sinais elétricos a serem tratados.

Numa definição mais abrangente, podemos dizer que a eletrônica é o ramo da ciência que estuda o uso de circuitos formados por componentes elétricos e eletrônicos, com o objetivo principal de representar, armazenar, transmitir ou processar informações além do controle de processos e servo mecanismos. Sob esta ótica, também se pode afirmar que os circuitos internos dos computadores (que armazenam e processam informações), os sistemas de telecomunicações (que transmitem informações), os diversos tipos de sensores e transdutores (que representam grandezas físicas - informações - sob forma de sinais elétricos) estão, todos, dentro da área de interesse da eletrônica.

Complementar à definição acima, a eletrotécnica é o ramo da ciência que estuda uso de circuitos formados por componentes elétricos e eletrônicos, com o objetivo principal de transformar, transmitir, processar e armazenar energia, utilizando a eletrônica de potência.

Sob esta definição, as usinas hidrelétricas, termoelétricas e eólicas (que geram energia elétrica), as linhas de transmissão (que transmitem energia), os transformadores, retificadores e inversores (que processam energia) e as baterias (que armazenam energia) estão, todos, dentro da área de interesse da eletrotécnica.

Entre os mais diversos ramos que a abrangem, estuda a transmissão da corrente elétrica no vácuo e nos semicondutores. Também é considerada um ramo da eletricidade que, por sua vez, é um ramo da Física onde se estudam os fenômenos das cargas elétricas elementares, as propriedades e comportamento, do elétron, fótons, partículas elementares, ondas eletromagnéticas, etc.

1- FUNDAMENTOS DE ELETRICIDADE

A eletricidade é um termo geral que abrange uma variedade de fenômenos resultantes da presença e do fluxo de carga elétrica.

Esses incluem muitos fenômenos facilmente reconhecíveis, tais como relâmpagos, eletricidade estática, e correntes elétricas em fios elétricos. Além disso, a eletricidade engloba conceitos menos conhecidos, como o campo eletromagnético e indução eletromagnética.

Tensao Eletrica: também conhecida como diferença de potencial ou voltagem, é a diferença de potencial elétrico entre dois pontos ou a diferença em energia elétrica potencial por unidade de carga elétrica entre dois pontos.

Sua unidade de medida é: V ou U de Volts OBS: em termos técnicos não se pronuncia Voltagem

Corrente Eletrica: é o movimento de cargas entre dois pólos que possuem uma diferença de potencial diferente de zero. A corrente será continua se for continua e alternada e alternada se entre os pólos for alternada.

Sua unidade de Medida é: A de Amper. OBS: Em termos técnicos e completamente errado pronunciar Amperagem.

Resistencia Eletrica: Resistência elétrica é a capacidade de um corpo qualquer se opor à passagem de corrente elétrica mesmo quando existe uma diferença de potencial aplicada.
Sua unidade de medida é: Ω de Ohm
Potencia Eletrica: Em sistemas elétricos, a potência instantânea desenvolvida por um dispositivo de dois terminais é o produto da diferença de potencial entre os terminais e a corrente que passa através do dispositivo. Isto é, onde é o valor instantâneo da corrente e é o valor instantâneo da tensão.
Sua unidade de medida é: P de Potencia.

2- NOÇÕES DE ELETROSTÁTICA

Átomos e sua estrutura

A unidade fundamental da matéria é o átomo, sendo assim, constitui-se da menor partícula de um elemento. O átomo é composto de um núcleo central contendo prótons (carga positiva) e nêutrons (carga nula). A região ao redor do núcleo, chamada de eletrosfera, orbitam os elétrons (carga negativa), tal como ilustra-se na Figura 1.1:

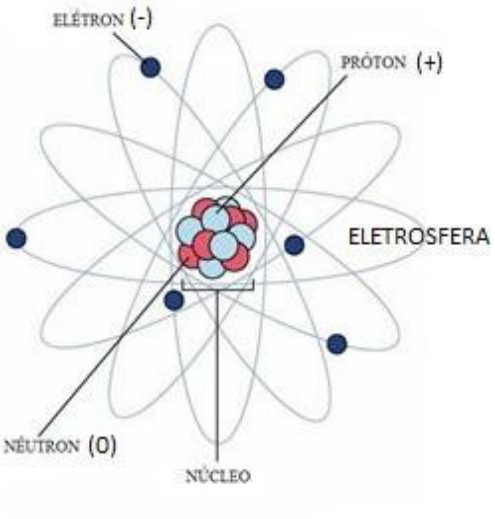


Figura 1.1: Constituição do átomo.

O módulo da carga elétrica de um próton, ou de um elétron, é a menor quantidade de carga possível de se encontrar na natureza, por isso, essa carga é denominado de *carga elétrica elementar*, que é dada por:

$$e \approx 1{,}6 \times 10^{-19} \text{ [C] (}coulomb\text{)} \qquad (1.1)$$

Como o valor da carga elétrica do próton e do elétron são diferentes apenas em polaridade (sinal), tem-se que a carga elétrica de um próton é $+e$ e do elétron é $-e$.

Desta forma, conhecendo-se a quantidade de prótons ou elétrons que um corpo qualquer tem em excesso, pode-se calcular o valor da carga elétrica deste corpo:

$$Q = \pm e \cdot n$$

[C](1.2) sendo *n* a quantidade de prótons ou elétrons excedentes no corpo.

EXEMPLO: Um corpo que inicialmente tem carga elétrica equilibrada (carga nula) é submetido a um processo de eletrização no qual perde 5 elétrons. Calcule a carga elétrica deste corpo após a eletrização.

RESPOSTA: *Um corpo que tem carga elétrica nula possui a mesma quantidade de prótons e elétrons. Se o corpo perdeu 5 elétrons, significa que agora ele possui 5 prótons a mais do que a quantidade de elétrons. Sendo assim, aplica-se a equação (1.2), escolhendo o sinal positivo (pois trata-se de prótons em excesso) e fazendo n* = 5:

$$Q = +1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \Rightarrow Q = 8 \cdot 10^{-19} \text{ [C]}$$

Elétrons livres

Como dito anteriormente, os elétrons orbitam o núcleo atômico. Acontece que os elétrons mais afastados podem ganhar energia do meio externo e desprender-se do átomo de origem, passando –se chamar *elétrons livres*. E são os elétrons livres que constituem a famosa *corrente elétrica*, assunto a ser tratado mais adiante desta apostila. Materiais condutores possuem grande quantidade de elétrons livres.

Potencial elétrico

Uma carga elétrica gera em seu redor um campo elétrico. Dá-se o nome de potencial elétrico a medida associada ao nível de energia potencial de um ponto de um campo elétrico. Colocando uma carca de prova *q* em um ponto *P* de um campo elétrico, essa carga adquire uma energia devido ao potencial elétrico deste ponto. A unidade de medida do potencial elétrico é o volt (V) Apresenta-se na Figura 1.2 uma carga elétrica e o seu potencial elétrico.

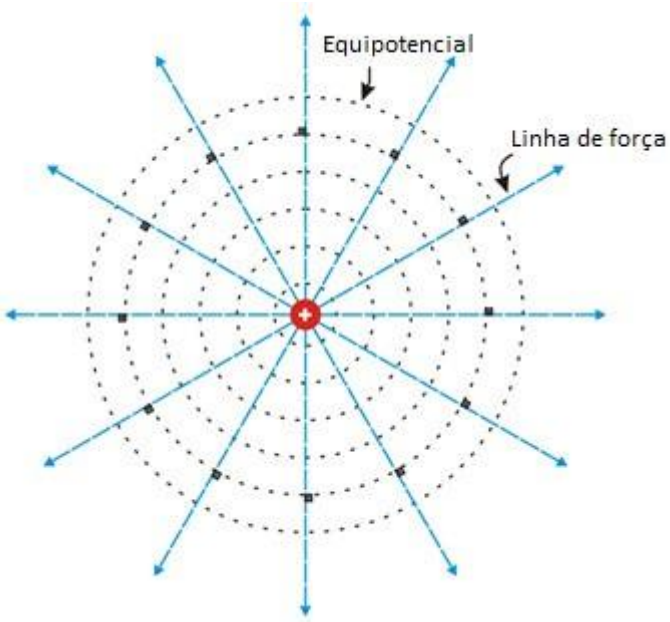


Figura 1.2: Potencial elétrico

3- TENSÃO ELÉTRICA OU DIFERENÇA DE POTENCIAL ELÉTRICO (DDP)

A tensão elétrica (*V*), que também é medida em volt (V) é a diferença de potencial elétrico entre dois pontos. A tensão elétrica indica o trabalho que deve ser feito, por unidade de carga, contra um campo elétrico para se movimentar uma carga qualquer.

Separando um corpo neutro em duas regiões com cargas opostas cria-se uma tensão elétrica entre essas regiões.

Toda fonte de tensão é estabelecida com a simples criação de uma separação de cargas positivas e negativas. Apresenta-se na Figura 2.1 os símbolos que de fontes de tensão, sendo (a) fontes de tensão contínua e (b) fonte de tensão alternada.

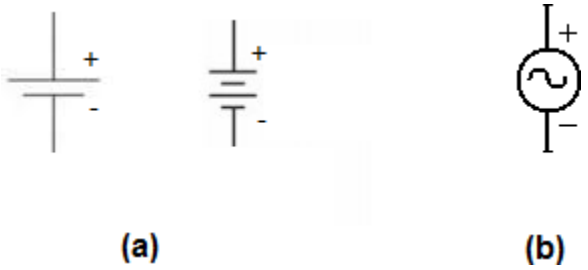


Figura 2.1: Símbolos de fonte de tensão. (a) Fonte de tensão contínua. (b) Fonte de tensão alternada.

Quando uma carga de prova é submetida a uma tensão elétrica, ela move-se da região de maior potencial para a região de menor potencial. A tensão elétrica é a grande responsável pelo surgimento da *corrente elétrica*.

4- CORRENTE ELÉTRICA

O deslocamento de cargas elétricas para uma determinada direção e sentido é o que se chama de *corrente elétrica*. A corrente elétrica origina-se por meio de uma tensão elétrica aplicada entre dois pontos distintos no espaço. Ilustra-se na Figura 3.1 a corrente elétrica gerada por uma bateria. Normalmente utiliza-se a corrente causada pela movimentação de elétrons em um condutor, mas também é possível haver corrente de íons positivos e negativos (em soluções eletrolíticas ou gases ionizados).

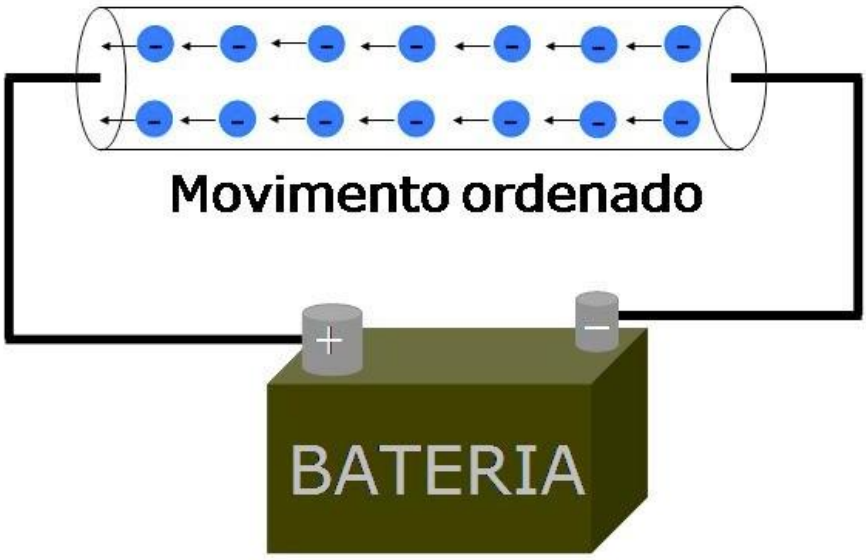


Figura 3.1: Corrente elétrica

Em outras palavras, corrente elétrica é a quantidade de carga elétrica que atravessa a secção transversal de um condutor em um intervalo de um segundo. Portanto, o cálculo da intensidade de corrente elétrica (*I*) é dado por:

$$I = \frac{Q}{\Delta t} \text{ [A] (ampère)} \qquad (3.1)$$

Sendo *Q* a carga total que atravessa o corpo e Δt o intervalo de tempo considerado (**Obs: o tempo deve ser considerado em segundos**).

5- RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A resistência elétrica está associada a oposição do fluxo de carga (corrente) em um determinado circuito. Essa oposição é chamada de *resistência*.

Um resistor, é um componente eletroeletrônico que cuja função é adicionar resistência elétrica ao circuito. Seu símbolo é indicado na Figura 4.1

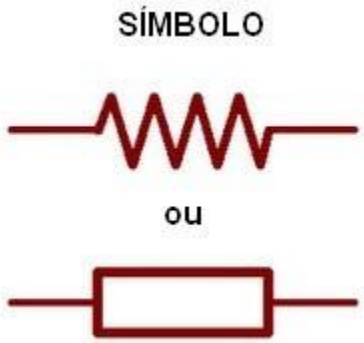


Figura 4.1: Símbolo de resistor.

A unidade de medida de resistência elétrica é dada em ohms (Ω).

Basicamente, a resistência surge devido as colisões e fricção entre os elétrons livres e outros elétrons, íons e átomos, conforme representa-se na Figura 4.2. Em (a) tem- se um isolante (resistência alta) e em (b) tem-se um condutor (resistência baixa).

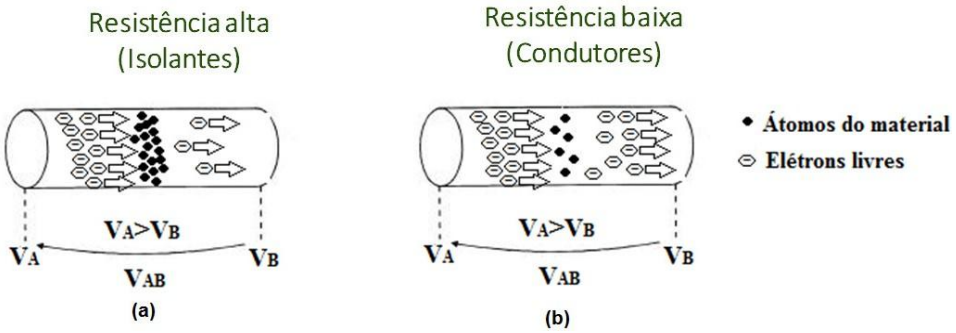


Figura 4.2: Oposição do fluxo de cargas elétricas. (a) Isolante. (b) Condutor.

4,1 Fatores que influenciam a resistência elétrica de um corpo

- **MATERIAL**

- **Condutores:** Alumínio (Al), cobre (Cu), ouro (Au), etc.
- **Isolantes:** Madeira (seca), borracha, etc.

A seguir, apresenta-se na Tabela 4.1 a resistividade de alguns materiais.

TABELADERESISTIVIDADE

MATERIAL	RESISTIVIDADE (Ωm)
Cobre	1,72 E-8
Alumínio	2,82 E-8
Ferro	13 E-8
Carbono	3,5 E-8

Tabela 4.1: Resistividade.

- **COMPRIMENTO:** Quanto mais comprido é o corpo, maior será a sua resistência, pois aumenta a quantidade de colisões de elétrons, tal como ilustra-se na Figura 4.3.

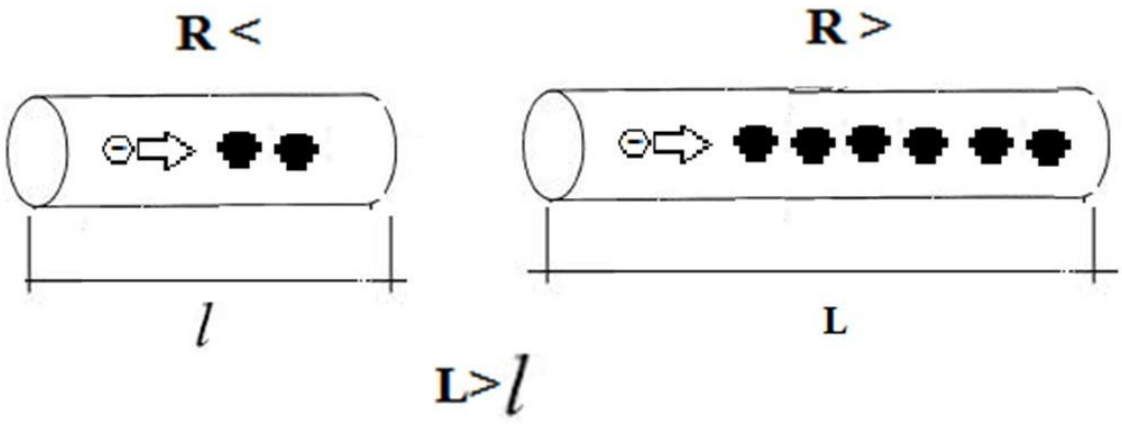


Figura 4.3: Dependência da resistência elétrica com o comprimento do corpo.

- **ÁREA DO CORTE TRANSVERSAL:** Quanto maior a área do corte transversal, menor será a resistência, pois isso diminui a quantidade de colisões de elétrons, tal como ilustra-se na Figura 4.4

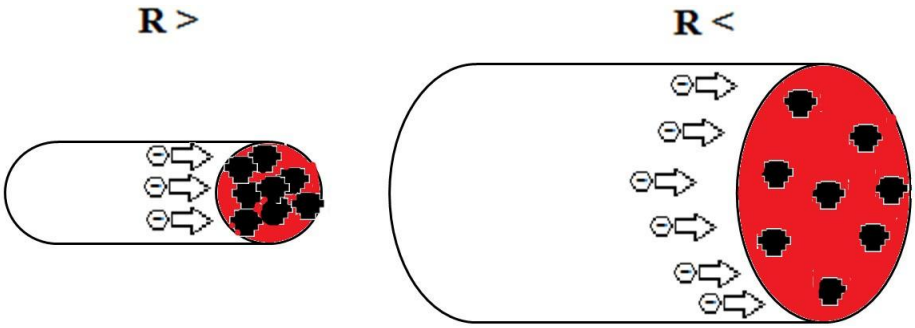


Figura 4.4: Dependência da resistência elétrica com área do corte transversal.

4.2 Segunda lei de Ohm

A 2ª lei de Ohm é a equação básica para o cálculo de resistência elétrica de um corpo. Ela é dada por (4.1):

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad [\Omega] \tag{4.1}$$

sendo ρ a resistividade do material, l o comprimento do corpo e A a área do corte transversal. Apresenta-se na Figura 4.5 uma exemplificação da 2ª lei de Ohm.

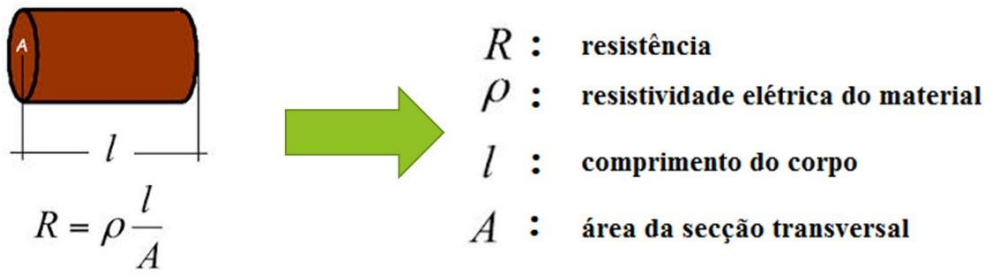


Figura 4.5: 2ª lei de Ohm.

6- 1ª LEI DE OHM, POTÊNCIA E ENERGIA ELÉTRICA

a. Primeira lei de Ohm

A 1ª lei de Ohm revela como as 3 quantidades básicas da eletricidade (tensão, corrente e resistência) se relacionam. Esta lei é dada por (5.1).

$$V = R \cdot I \tag{5.1}$$

Nota-se que conhecendo duas grandezas em (5.1) pode facilmente se determinar a terceira grandeza, bastando apenas manipular algebricamente a equação, tal como apresenta-se em (5.2) e em (5.3).

$$I = \frac{V}{R} \tag{5.2}$$

$$R = \frac{V}{I} \tag{5.3}$$

b. Potência elétrica

A potência é um indicativo da quantidade de conversão de energia que pode ser realizado em um certo período de tempo.

$$P = \frac{W}{\Delta t} \left(\frac{\text{energia—trabaSho}}{\text{IntervaSo de tempo}} \right) \tag{5.4}$$

A unidade de potência é dada em watts (*W)*

A potência consumida por um sistema elétrico pode ser determinada em função dos valores de corrente, tensão e resistência:

$$P = V \cdot I \tag{5.5a}$$

$$P = R \cdot I^2 \tag{5.5b}$$

$$P = \frac{V^2}{R} \tag{5.5c}$$

A potência fornecida por uma fonte de tensão é dado por:

$$P = E \cdot I \tag{5.6}$$

sendo E o valor de tensão da fonte.

c. Energia elétrica.

A energia elétrica é a capacidade de uma corrente elétrica realizar trabalho. A principal função da energia elétrica é a transformação desse tipo de energia em outros tipos, como, por exemplo, a energia mecânica e a energia térmica.

A energia elétrica é dada por:

$$W = P \cdot \Delta t \tag{5.6}$$

A unidade de medida de energia é joule (J), entretanto, ao se tratar em energia elétrica é mais comum mensurá-la em quilowatt-hora (kWh), sendo a potência P dada em
kW e o intervalo de tempo Δt em h (hora).

7- CIRCUITO SÉRIE

Um circuito é dito série quando todos os elementos estão conectados no mesmo ramo, ou seja, a corrente que flui no circuito é a mesma para todos os elementos, tal como ilustra-se na Figura 6.1. Em (a) tem-se um circuito série e em (b) tem-se um circuito que não está em série.

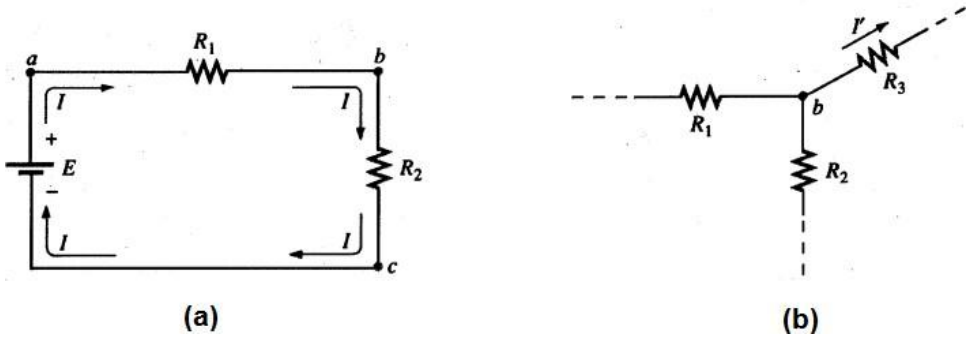


Figura 6.1: (a) Circuito em série. (b) Circuito não série

Resistência equivalente de um circuito série.

Como pode-se observar na Figura 6.2, resistência equivalente equivale a associação dos resistores R_1 e R_2.

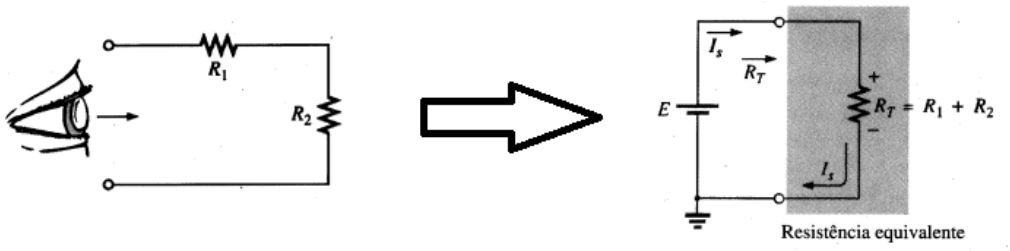


Figura 6.2: Resistência equivalente

Em um circuito série a resistência equivalente é calculado simplesmente pela somatória de todas as resistências envolvidas:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \text{K} + R_n \qquad (6.1)$$

Análise de um circuito série

Considere o circuito apresentado na Figura 6.3.

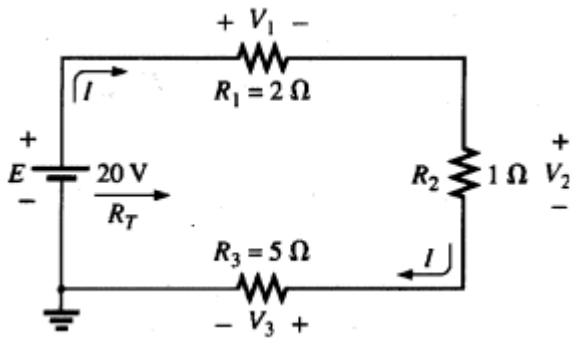


Figura 6.3: Exemplo de análise de um circuito série

O primeiro passo é descobrir o valor da resistência equivalente.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 2\ \Omega + 1\ \Omega + 5\ \Omega = \mathbf{8\ \Omega}$$

Uma vez conhecida o valor da resistência equivalente, calcula-se a corrente fornecida pela fonte utilizando-se de (5.2)

$$I_F = \frac{E}{R_T} = \frac{20\ \text{V}}{8\ \Omega} = \mathbf{2{,}5\ A}$$

Em seguida, pode-se calcular por meio de (5.1) a queda de tensão sobre cada resistor, uma vez que em circuitos série a corrente que passa pelos elementos é a mesma.

$$V_1 = IR_1 = (2{,}5\ \text{A})(2\ \Omega) = \mathbf{5\ V}$$
$$V_2 = IR_2 = (2{,}5\ \text{A})(1\ \Omega) = \mathbf{2{,}5\ V}$$
$$V_3 = IR_3 = (2{,}5\ \text{A})(5\ \Omega) = \mathbf{12{,}5\ V}$$

Pode-se, ainda, calcular a potência dissipada em cada resistor. Para tal, basta aplicar (5.5a).

$$P_1 = V_1 I_1 = (5\ \text{V})(2{,}5\ \text{A}) = \mathbf{12{,}5\ W}$$
$$P_2 = I_2^2 R_2 = (2{,}5\ \text{A})^2(1\ \Omega) = \mathbf{6{,}25\ W}$$
$$P_3 = V_3^2/R_3 = (12{,}5\ \text{V})^2/5\ \Omega = \mathbf{31{,}25\ W}$$

Caso seja de desejo, pode-se calcular a potência fornecida pela fonte, bastando aplicar (5.6) ou somando o valor de todas as potências dissipadas no circuito.

$$P_{del} = EI = (20\ \text{V})(2{,}5\ \text{A}) = \mathbf{50\ W}$$
$$P_{del} = P_1 + P_2 + P_3$$
$$50\ \text{W} = 12{,}5\ \text{W} + 6{,}25\ \text{W} + 31{,}25\ \text{W}$$
$$50\ \text{W} = 50\ \text{W} \quad \text{(confere)}$$

Leis de Kirchhoff para tensões (LKT)

Essa lei diz que *a soma algébrica das variações de potencial (tensões) em uma malha fechada é nula.* Ou seja, considerando um circuito série, a soma de todas as quedas de tensões nos resistores deve ser igual a tensão fornecida pela fonte.

Para o exemplo da Figura 6.3, observa-se que a soma algébrica de V_1, V_2 e V_3 é igual a 20 V, o mesmo valor da fonte de tensão do circuito considerado.

8- CIRCUITO PARALELO

Dois ou mais elementos, ramos ou circuitos estão ligados em paralelo quando possuem dois pontos em comum, tal como se ilustra na Figura 7.1

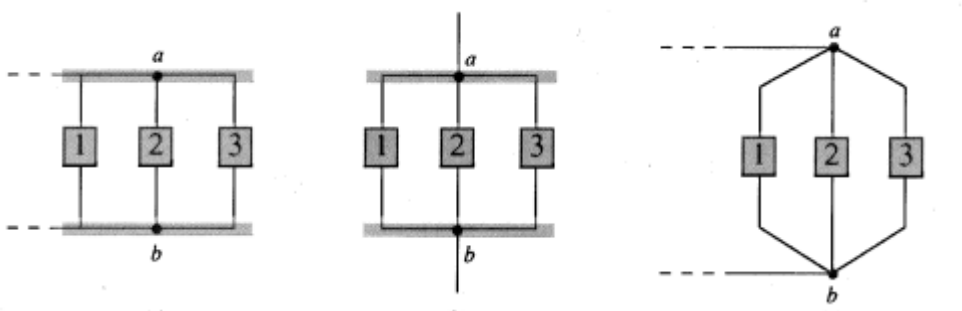


Figura 7.1: Elementos em paralelo

Em um circuito com resistores conectados em paralelo, a resistência equivalente é calculada por:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n}} \quad (7.1)$$

A equação (7.1) é a equação geral para o cálculo de resistência equivalente para um circuito paralelo. Essa equação se aplica para qualquer valor e quantidade de resistências. Entretanto, em alguns casos específicos, (7.1) pode ser simplificada. Em casos onde se deseja calcular uma associação em paralelo entre apenas duas resistências, pode-se aplicar (7.2):

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (7.2)$$

Em casos em que o valor das resistências são iguais, pode-se simplificar ainda mais, bastando aplicar (7.3):

$$R_{eq} = \frac{R}{n} \quad (7.2)$$

sendo *n* a quantidade de resistência iguais.

Análise de circuitos em paralelo

Considere o circuito apresentado na Figura 7.2:

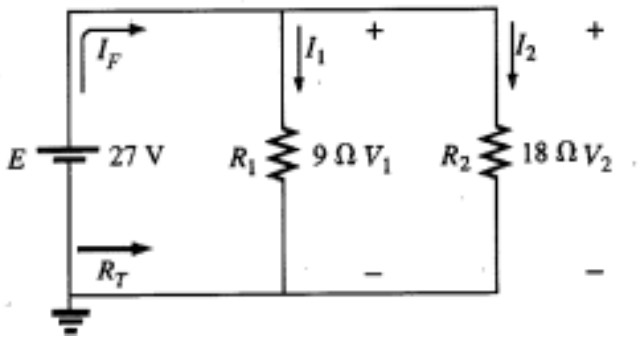


Figura 7.2: Exemplo de circuito em paralelo.

O primeiro passo é descobrir o valor da resistência equivalente.

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(9\ \Omega)(18\ \Omega)}{9\ \Omega + 18\ \Omega} = \frac{162\ \Omega}{27} = \mathbf{6\ \Omega}$$

Uma vez conhecida o valor da resistência equivalente, calcula-se a corrente fornecida pela fonte utilizando-se de (5.2):

$$I_s = \frac{E}{R_T} = \frac{27\ \text{V}}{6\ \Omega} = \mathbf{4{,}5\ A}$$

Como todos os elementos tem dois pontos em comum (associação em paralelo) a tensão sobre esses pontos é a mesma, portanto a tensão em todos os elementos é igual a 27 V.

Sendo assim, por meio de (5.2) pode-se calcular a corrente elétrica que passa por cada resistor:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{E}{R_1} = \frac{27\ \text{V}}{9\ \Omega} = \mathbf{3\ A}$$
$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{E}{R_2} = \frac{27\ \text{V}}{18\ \Omega} = \mathbf{1{,}5\ A}$$

Pode-se, ainda, calcular a potência dissipada em cada resistor e a potência fornecida pela fonte, bastando aplicar (5.5a) e (5.6), respectivamente.

$$P_1 = V_1 I_1 = EI_1 = (27\ \text{V})(3\ \text{A}) = \mathbf{81\ W}$$
$$P_2 = V_2 I_2 = EI_2 = (27\ \text{V})(1{,}5\ \text{A}) = \mathbf{40{,}5\ W}$$
$$P_f = EI_f = (27\ \text{V})(4{,}5\ \text{A}) = \mathbf{121{,}5\ W}$$

Lei de Kirchhoff para a corrente.

Essa lei diz que *a soma algébrica das correntes que entram e saem de uma região, sistema ou nó é igual a zero.* Em outras palavras, ao se considerar um nó do circuito, a somatória das correntes que entram nesse nó deve ser igual a somatória das correntes que deixam esse mesmo nó. Observa-se que no exemplo da Figura 7.3, a corrente fornecida pela fonte (4,5 A) é igual a somatória das correntes I_1 e I_2.

9- CIRCUITO MISTO

Por definição, circuito misto é aquele que contém componentes ligados em série e em paralelo.

O método mais utilizado para análise de circuito misto é *o método de redução e retorno*. Este método, consiste em reduzir todo o circuito a um único componente equivalente ligado à fonte , determinar a corrente fornecida pela fonte e repetir o processo no sentido inverso até chegar ao valor da grandeza desconhecida.

Considere o circuito apresentado na Figura 8.1:

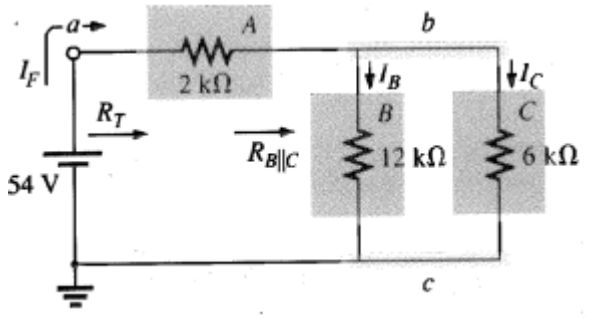


Figura 8.1: Exemplo de circuito misto.

A combinação em paralelo R_B e R_C resulta em:

$$R_{B\|C} = R_B \,\|\, R_C = \frac{(12\ \text{k}\Omega)(6\ \text{k}\Omega)}{12\ \text{k}\Omega + 6\ \text{k}\Omega} = 4\ \text{k}\Omega$$

A resistência equivalente vista pela fonte é: $R_{B\|C}$ está em série com R_A e a resistência equivalente

$$R_T = R_A + R_{B\|C}$$
$$= 2\ \text{k}\Omega + 4\ \text{k}\Omega = \mathbf{6\ k\Omega}$$

Obtém-se então, como se ilustra na Figura 8.2, um circuito equivalente.

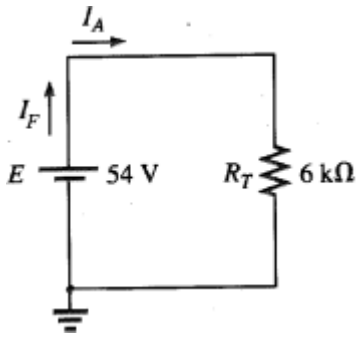


Figura 8.2: Circuito equivalente do circuito apresentado na Figura 8.1.

Desta forma, pode-se calcular a corrente I_F fornecida pela fonte.

$$I_r = \frac{E}{R_T} = \frac{54\ \text{V}}{6\ \text{k}\Omega} = \mathbf{9\ mA}$$

Uma vez descoberta essa corrente, volta-se ao circuito da Figura 8.1 e calcula-se

a tensão que sobra a associação $R_{B||C}$:

$$V_{B||C} = 54 - 2 \times 10^3 \times 9 \times 10^{-3} = 36\ \text{V}$$

Como R_B e R_C estão em paralelo, a tensão de 36 V está sobre os dois, desta forma, pode-se calcular a corrente que passa em cada um

$$I_B = \frac{36}{12 \times 10^3} = 3\ \text{mA}$$

$$I_C = \frac{36}{6 \times 10^3} = 6\ \text{mA}$$

Observa-se que a soma de I_B e I_C é igual a 9 mA.

10- TIPOS DE ELETRICIDADE

A **eletricidade** é um termo geral que abrange uma variedade de fenômenos resultantes da presença e do fluxo de carga elétrica.[1] Esses incluem muitos fenômenos facilmente reconhecíveis, tais como relâmpagos, eletricidade estática, e correntes elétricas em fios elétricos. Além disso, a eletricidade engloba conceitos menos conhecidos, como o campo eletromagnético e indução eletromagnética.

A palavra deriva do termo em neolatim *"ēlectricus"*, que por sua vez deriva do latim clássico *"electrum"*, "amante do âmbar", termo esse cunhado a partir do termo grego ήλεκτρον (elétrons) no ano de 1600 e traduzido para o português como âmbar. O termo remonta às primeiras observações mais atentas sobre o assunto, feitas esfregando-se pedaços de âmbar e pele.

No uso geral, a palavra "eletricidade" se refere de forma igualmente satisfatória a uma série de efeitos físicos. Em um contexto científico, no entanto, o termo é muito geral para ser empregado de forma única, e conceitos distintos contudo a ele diretamente relacionados são usualmente melhor identificados por termos ou expressões específicos.

Alguns conceitos importantes com nomenclatura específica que dizem respeito à eletricidade são:

- Carga elétrica: propriedade das partículas subatômicas que determina as interações eletromagnéticas dessas. Matéria eletricamente carregada produz, e é influenciada por, campos eletromagnéticos. Unidade SI (Sistema Internacional de Unidades): ampère segundo (A.s), unidade também denominada coulomb (C).[3]
- Campo elétrico: efeito produzido por uma carga no espaço que a contém, o qual pode exercer força sobre outras partículas carregadas. Unidade SI: volt por metro (V/m); ou newton por coulomb (N/C), ambas equivalentes.[4]
- Potencial elétrico: capacidade de uma carga elétrica de realizar trabalho ao alterar sua posição. A quantidade de energia potencial elétrica armazenada em cada unidade de carga em dada posição. Unidade SI: volt (V); o mesmo que joule por coulomb (J/C).[5]
- Corrente elétrica: quantidade de carga que ultrapassa determinada secção por unidade de tempo. Unidade SI: ampère (A); o mesmo que coulomb por segundo (C/s).[6]

- Potência elétrica: quantidade de energia elétrica convertida por unidade de tempo. Unidade SI: watt (W); o mesmo que joules por segundo (J/s).[7]
- Energia elétrica: energia armazenada ou distribuída na forma elétrica. Unidade SI: a mesma da energia, o joule (J).
- Eletromagnetismo: interação fundamental entre o campo magnético e a carga elétrica, estática ou em movimento.[1][2]

O uso mais comum da palavra "eletricidade" atrela-se à sua acepção menos precisa, contudo. Refere-se a:

- Energia elétrica (referindo-se de forma menos precisa a uma quantidade de energia potencial elétrica ou, então, de forma mais precisa, à energia elétrica por unidade de tempo) que é fornecida comercialmente pelas distribuidoras de energia elétrica. Em um uso flexível contudo comum do termo, "eletricidade" pode referir-se à "fiação elétrica", situação em que significa uma conexão física e em operação a uma estação de energia elétrica. Tal conexão garante o acesso do usuário de "eletricidade" ao campo elétrico presente na fiação elétrica, e, portanto, à energia elétrica distribuída por meio desse.

Embora os primeiros avanços científicos na área remontem aos séculos XVII e XVIII, os fenômenos elétricos têm sido estudados desde a antiguidade. Contudo, antes dos avanços científicos na área, as aplicações práticas para a eletricidade permaneceram muito limitadas, e tardaria até o final do século XIX para que os engenheiros fossem capazes de disponibilizá-la ao uso industrial e residencial, possibilitando assim seu uso generalizado. A rápida expansão da tecnologia elétrica nesse período transformou a indústria e a sociedade da época. A extraordinária versatilidade da eletricidade como fonte de energia levou a um conjunto quase ilimitado de aplicações, conjunto que em tempos modernos certamente inclui as aplicações nos setores de transportes, aquecimento, iluminação, comunicações e computação. A energia elétrica é a espinha dorsal da sociedade industrial moderna, e deverá permanecer assim no futuro.

Muito tempo antes de qualquer conhecimento científico sobre a eletricidade, as pessoas já estavam cientes dos choques desferidos pelo peixe-elétrico. No Antigo Egito, remontando ao ano de 2750 a.C, havia textos que referiam-se a esse peixe como o "Trovão do Nilo", descrevendo-o como o protetor de todos os outros peixes. Encontra-se o peixe-elétrico também retratado em documentos e estudos antigos realizados por naturalistas, médicos, ou simples interessados que viveram na Grécia Antiga, no Império Romano e na região

da civilização islâmica.[9] Vários escritores antigos, como Caio Plínio Segundo e Scribonius Largus, atestaram ciência do efeito anestesiante dos choque elétricos do peixe-gato e da arraia elétrica, e de que os choques elétricos podem viajar ao longo de certos objetos condutores de eletricidade.[10]

Na época, os pacientes que sofriam de gota e de dor de cabeça eram aconselhados a tocar o peixe-elétrico na esperança de que os poderosos choques elétricos desferidos por esse animal pudessem curá-los.[11]

As primeiras referências relacionadas de forma ora remota ora mais próxima à identidade elétrica do raio e à existência de outras fontes distintas de eletricidade são possivelmente as encontradas junto aos árabes, que seguramente já empregavam antes do século XV a palavra (*raad*), raio em seu idioma, a fim de se fazer referência às arraias elétricas.[12]

Nas culturas antigas ao longo de todo o Mediterrâneo sabia-se que determinados objetos, a exemplo pedaços de âmbar, ganham a propriedade de atrair pequenos e leves objetos, tais como penas, após atritados com pele de gato ou similar. Por volta de 600 a.C. Tales de Mileto fez uma série de observações sobre eletricidade estática, as quais levou-o a acreditar que o atrito era necessário para produzir magnetismo no âmbar; em visível contraste com o que se observa em minerais tais como magnetita, que não precisam de fricção.[13][14]

Thales enganou-se ao acreditar que a atração era devida a um efeito magnético e não a um efeito elétrico, havendo a ciência evidenciado de forma correta a ligação que Thales esboçou fazer entre eletricidade e magnetismo somente milênios mais tarde (experiência de Ørsted, 1820 d.C). Em acordo com uma teoria controversa, os habitantes da região de Parthia, nordeste do atual Irã, conheciam a galvanoplastia, baseando-se tal afirmação na descoberta de 1936 da bateria de Bagdá, artefato que de fato, embora certamente incerta a natureza elétrica do mesmo, em muito se assemelha a uma célula galvânica.[15]

Benjamin Franklin desenvolveu uma grande pesquisa sobre a eletricidade no século XVIII, que é documentado por Joseph Priestley (em 1767) no livro *History and Present Status of Electricity*, com quem Franklin trocou correspondências.

A eletricidade permaneceria pouco mais do que uma curiosidade intelectual por milênios, pelo menos até 1600, quando o cientista inglês William Gilbert publicou um estudo cuidadoso sobre magnetismo e eletricidade, o "De Magnete", entre outros distinguindo de

forma pertinente o efeito da pedra-imã e o da eletricidade estática produzida ao se esfregar o âmbar com outro material [13]. Foi ele quem cunhou a palavra neolatina "electricus" ("de âmbar" ou "como âmbar", de *ήλεκτρον* [*elektron*], a palavra grega para "âmbar") para referir-se à propriedade do âmbar e de outros corpos atraírem pequenos objetos depois de friccionados.[16] Esta associação deu origem às palavras inglesa "electric" e "electricity", que fez sua primeira aparição na imprensa nas páginas de *Pseudodoxia Epidemica*, obra de Thomas Browne, em 1646.[17]. Também encontram-se ai as raízes das palavras portuguesas elétrico e eletricidade.

Outros trabalhos seguiram-se, sendo esses conduzidos por pessoas como Otto von Guericke, Robert Boyle, Stephen Gray e Charles Du Fay. No século XVIII, Benjamin Franklin realizou uma ampla pesquisa sobre a eletricidade, inclusive vendendo seus bens para financiar seu trabalho. É a ele atribuído o ato de, em junho de 1752, ter prendido uma chave de metal próximo à barbela de uma pipa e, com a chave atada à linha umedecida, tê-la feito voar em uma tempestade ameaçadora.[18] É incerto se Franklin pessoalmente realizou de fato esse experimento, mas o ato é popularmente atribuído a ele. Uma sucessão de faíscas saltando de uma segunda chave atada à linha para o dorso da sua mão teria então mostrado-lhe de maneira contundente que o raio tem, de fato, uma natureza elétrica.[19]

Michael Faraday formou a base da tecnologia de motores elétricos.

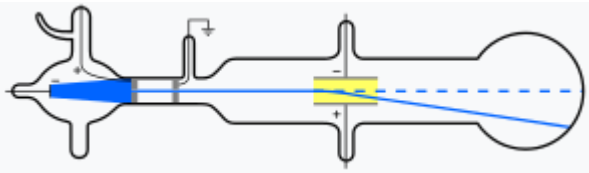
Em 1791, Luigi Galvani publicou sua descoberta da bioeletricidade, demonstrando que é por meio da eletricidade que as células nervosas passam sinais para os músculos.[20]

A pilha voltaica de Alessandro Volta, ou simplesmente bateria, datada de 1800 e feita a partir de camadas alternadas de zinco e cobre, forneceu aos cientistas uma fonte mais confiável e estável de energia elétrica do que as antigas máquinas eletrostáticas.[20] A

advento do eletromagnetismo, união da eletricidade e do magnetismo, é creditada à dupla Hans Christian Ørsted e André-Marie Ampère, seus trabalhos remontando aos anos 1819 e 1820; Michael Faraday inventou o motor elétrico em 1821, e Georg Ohm analisou matematicamente o circuito elétrico em 1827 .[20] A eletricidade e o magnetismo (e também a luz) foram definitivamente unidos por James Clerk Maxwell, em particular na obra "On Physical Lines of Force", entre 1861 e 1862.[21]

Embora o rápido progresso científico sobre a eletricidade remonte a séculos anteriores e ao início do século XIX, foi nas décadas vindouras do século XIX que deram-se os maiores progresso na engenharia elétrica. Através dos estudos de Nikola Tesla, Galileo Ferraris, Oliver Heaviside, Thomas Edison, Ottó Bláthy, Ányos Jedlik, Sir Charles Parsons, Joseph Swan, George Westinghouse, Werner von Siemens, Alexander Graham Bell e Lord Kelvin, a eletricidade transformou-se de uma curiosidade científica a uma ferramenta essencial para a vida moderna, ou seja, transformou-se na força motriz da Segunda Revolução Industrial.[22]

Descargas elétricas e raios catódicos



Tubo de raios catódicos usado por Thomson na determinação da razão carga-massa do elétron.

Durante a descoberta da eletricidade um enigma ainda pairava sobre tipos de radiação existentes, uma delas chamada de radiação de raios catódicos , emitida por superfícies metálicas quando uma voltagem é aplicada entre o cátodo e o ânodo.[23]

Havia duas correntes de pensamento acerca da natureza dos raios catódicos: uma delas acreditava que se tratava de partículas; a outra acreditava que fossem um fenômeno ondulatório que dependia do meio. A interferência ondulatória era apoiada pela observação de que os raios catódicos podiam atravessar folhas de metal sem serem defletidos. O conflito sobre a dualidade onda-partícula, como veremos, vai reaparecer mais tarde, em outro contexto.

Em 1885, J. H. Geissler (1815-1879) inventou uma bomba que permitia extrair o ar de um tubo de vidro até uma pressão da ordem de vez a pressão atmosférica. Essa bomba

foi usada entre 1858 e 1859 numa série de experimentos para estudar a condução de eletricidade em gases a pressões muito baixas. Esses experimentos foram feitos por J. Plucker (1801-1868). No seu arranjo experimental, duas placas de metal dentro de um tubo de gás eram conectadas através de fios a uma fonte de alta tensão. No entanto, esse “vácuo" não era perfeito, e os cientistas foram levados a hipóteses errôneas sobre a natureza dos raios catódicos, como mais tarde se aprendeu tratar-se de efeitos do gás residual dentro do tubo.

É nesse ponto que J. J. Thomson entra na história. O ingrediente fundamental que lhe permitiu a descoberta da natureza dos raios catódicos – os elétrons - foi o

desenvolvimento de bombas a vácuo 10 vezes mais eficientes do que as anteriores

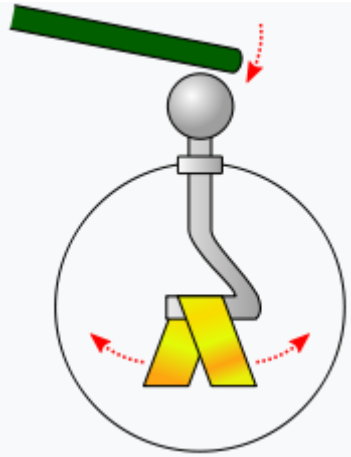
Conceitos

Carga elétrica

A carga elétrica é a propriedade dos entes físicos fundamentais, certamente das partículas subatômicas, que dá origem e interage via forças eletromagnéticas, uma das quatro forças fundamentais na natureza. A carga na matéria extensa origina-se no átomo, sendo os portadores de carga mais conhecidos o elétron e o próton. A carga elétrica obedece a uma lei de conservação, o que significa dizer que a quantidade líquida total de carga no interior de um sistema isolado sempre permanece constante, sendo a carga total essencialmente independente de qualquer mudança que ocorra no interior do sistema.[24]

No interior do sistema, carga pode ser transferida entre corpos, quer pelo contato direto, quer passando através de um material condutor como um fio, ou mesmo através de portadores de carga movendo-se livremente no vácuo.[25]

A expressão tradicional "eletricidade estática" se refere à presença de carga, ou melhor, de um desequilíbrio de cargas em um corpo, o que é geralmente causado quando se tem materiais quimicamente diferentes esfregados entre si, o que leva à transferência de cargas de um para o outro.



Uma pequena quantidade de carga elétrica em um eletroscópio de folhas é capaz de provocar notória repulsão das folhas do eletroscópio.

A presença de carga dá origem à força eletromagnética: cargas exercem força uma sobre a outra, efeito certamente conhecido, embora não compreendido, já na antiguidade.[26]

Uma pequena esfera condutora suspensa por um fio isolante pode ser carregada através do toque de um bastão de vidro previamente carregado devido ao atrito com um tecido de algodão. Se um pêndulo similar é carregado pelo mesmo bastão de vidro, encontra-se que este irá repelir aquele: as cargas agem de forma a separar os pêndulos. Dois pêndulos carregados via bastão de borracha também repelir-se-ão mutuamente. Entretanto, se um pêndulo for carregado via bastão de vidro, e o outro for carregado via bastão de borracha, os pêndulos, quando aproximados, atrair-se-ão mutuamente. Esse fenômeno foi investigado no século XVIII por Charles-Augustin de Coulomb, que deduziu que as cargas apresentam-se em duas formas distintas. Suas descobertas levam ao bem conhecido axioma: objetos carregados com cargas similares se repelem, objetos carregados com cargas opostas se atraem.

A força atua sobre as cargas propriamente ditas, do qual segue que as cargas têm a tendência de se distribuir de forma a mais uniforme ou conveniente possível sobre superfícies condutoras. A magnitude da força eletrostática, quer atrativa quer repulsiva, é dada pela Lei de Coulomb, que a relaciona ao produto das cargas e retrata a relação inversa empiricamente observada dessa com o quadrado da distância que separa as cargas. A força eletromagnética é muito forte, sendo subjugada apenas pela força de interação forte (força nuclear); contudo, ao contrário desta última, que atua entre partículas separadas por não mais que alguns angstroms (1 angstrom = 1 x 10^{-10}m), a força eletromagnética é uma força de longo alcance, ou seja, uma força que atual a qualquer

distância, embora o faça certamente de forma muito mais fraca quanto maior for a separação. Em comparação com a muito mais fraca força gravitacional, a força eletromagnética que repele dois elétrons próximos mostra-se 10^{+42} vezes maior do que a força de atração gravitacional que um exerce sobre o outro mantida a mesma separação.

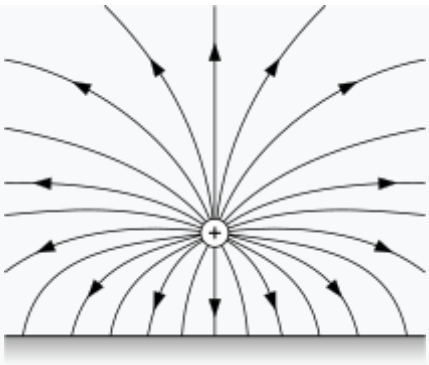
As cargas do próton e do elétron são opostas em sinal, implicando que uma quantidade de carga pode ser ou positiva ou negativa. Por convenção e por razões históricas, a carga associada a um elétron é considerada a negativa, e a carga associada a um próton, positiva, um costume que originou-se com os trabalhos de Benjamin Franklin.[27] A quantidade de carga é usualmente representada pelo símbolo Q e expressa em coulombs; cada elétron transportando a mesma carga fundamental cujo valor é aproximadamente $-1{,}6022 \times 10^{-19}$ coulomb. O próton tem carga igual em módulo contudo oposta em sinal, $+1{,}6022 \times 10^{-19}$ coulomb. Não apenas partículas de matéria possuem carga mas também as partículas de antimatéria, cada partícula carregando uma carga de igual valor mas de sinal oposto ao da carga da sua correspondente antipartícula.[28]

Cargas elétricas podem ser medidas de diferentes formas, um dos mais antigos instrumentos sendo o eletroscópio de folhas, que embora ainda em uso em demonstrações escolares, já há muito foi substituído pelo eletrômetros (coulombímetros) eletrônicos.

Campo elétrico

O conceito de campo foi introduzido por Michael Faraday ainda no século XIX, contudo sua adoção inicialmente como ferramenta matemática para o tratamento dos problemas correlatos tornou-se tão frutífera que hoje é praticamente impossível conceber-se um tratamento mais aprofundado em eletricidade, magnetismo ou eletromagnetismo sem que se lance mão do mesmo. As equações de Maxwell são todas escritas em função dos campos elétricos e magnéticos. Em termos do campo aqui pertinente, o campo eletrostático, sabe-se que toda carga elétrica cria no espaço que a contém um campo elétrico, e qualquer carga elétrica imersa em um campo que não o campo por ela mesmo criado encontrar-se-á solicitada por uma força elétrica em virtude do mesmo. O campo elétrico age entre dois corpos carregados de uma maneira similar à ação do campo gravitacional entre duas massas, e assim como este, estende-se até o infinito, exibindo contudo uma relação com o inverso do quadrado da distância, de forma que, se a distância aumentar, muito menor será seu efeito; e associado, muito menor será também a interação entre as cargas envolvidas. Embora as semelhanças sejam significativas, há entretanto uma importante diferença entre os campos eletrostáticos e os gravitacionais:

a gravidade sempre implica atração entre as massas, contudo a interação entre um campo e a carga pode expressar atração ou repulsão entre as cargas elétricas. Como os grandes corpos massivos no universo, a exemplo os planetas ou estrelas, quase sempre não têm carga elétrica, os campos elétricos a estes devidos valem zero, de forma que a força gravitacional é de longe a força dominante ao considerarem-se dimensões astronômicas, mesmo sendo esta muito mais fraca do que a força elétrica. Os movimentos dos corpos celestes são devidos essencialmente à gravidade que geram e que neles agem.



As linhas do campo emanando de uma carga elétrica positiva sobre um plano condutor

O campo eletrostático geralmente varia no espaço, e o seu módulo em um dado ponto é definido como a força por unidade de carga elétrica (newtons por coulomb) que seria experimentada por uma carga elétrica puntiforme de valor negligenciável quando colocada no referido ponto.[29] Esta carga elétrica hipotética, nomeada carga de prova, deve ser feita extremamente pequena a fim de se prevenir que o campo elétrico por ela criado venha a perturbar a distribuição de cargas responsável pelo campo o qual deseja-se determinar, e deve ser feita estacionária a fim de se prevenir eventuais influências de campos magnéticos uma vez que esses últimos atuam apenas sobre cargas elétricas em movimento. A definição de campo elétrico faz-se de forma dependente do conceito de força, essa uma grandeza vetorial. Tem-se pois, em acordo com a definição, que o campo elétrico configura-se como um campo vetorial, tendo o vetor campo elétrico associado a cada ponto em particular uma direção e uma módulo (valor) característicos também particulares.

O estudo das cargas elétricas estacionárias e dos campos elétricos criados por essas é denominado eletrostática. A mais usual representação e um campo vetorial é a representação por linhas. Uma representação direta seria a representação do campo de vetores, onde desenham-se os respectivos vetores campo elétrico em um número suficientemente grande de pontos do espaços a ponto de tornar o diagrama representativo

o necessário contudo não confuso. A representação por linhas emerge naturalmente desse último ao observar-se que os vetores dispõem-se no diagrama vetorial no caso de problemas físicos notoriamente de forma a sugestionar um padrão de linhas contínuas. Verificou-se que esse padrão de linhas sugerido poderia ser utilizado para representar um campo vetorial tão bem como o padrão por vetores, com a vantagem de ser de representação mais nítida e fácil. Nesse padrão, as linhas são usualmente, no caso elétrico ou gravitacional, denominadas "linhas de força". A nomenclatura não é contudo a mais adequada ao caso da representação por linhas do campo magnético. Na representação por linhas verifica-se que duas linhas nunca se cruzam; que o vetor campo em um dado ponto é tangente à linha que passa pelo respectivo ponto; que as linhas são orientadas de forma condizente com os vetores; que o módulo de um vetor é proporcional à densidade espacial de linhas em sua vizinhança imediata. Quando propostos, os campos não apresentavam existência real, esse permeando todos os pontos do espaço mesmo os pontos entre linhas em qualquer representação por linhas. Os campos elétricos que emanam das cargas elétricas estacionárias têm as seguintes propriedades: as linhas de campo iniciam-se em cargas positivas e terminam em cargas negativas; as linhas de campo eletrostático deve encontrar as superfícies de quaisquer bons condutores elétricos em ângulo reto; e obviamente, elas nunca devem se cruzar.[30]

Um condutor oco carrega todas as suas cargas em sua superfície. O campo por elas determinado é zero em todos os pontos internos ao corpo.[31] Esse é o princípio de funcionamento da gaiola de Faraday; uma blindagem condutora isola todos o seu interior de efeitos eletrostáticos externos.

Os princípios da eletrostática mostram-se importantes em projetos de equipamentos para trabalho sobre alta tensão elétrica. Há um valor finito de campo elétrico admissível para cada meio diferente. Além desse limite, ocorre uma rutura dielétrica acompanhada de arco elétrico entre as partes carregadas envolvidas. A exemplo, para o ar confinado entre pequenas frestas campos elétricos superiores a 30 quilovolts por centímetro levam à rutura dielétrica. Para grandes espaçamentos a tensão de rutura é um pouco menor, da ordem de 1kV por centímetro.[32] A forma mais natural de se visualizar tal situação é observar os raios, usualmente provocados por tensões elétricas tão grandes quanto 100 megavolts, implicando dissipações de energias usualmente da ordem de 250 kWh.

A intensidade do campo elétrico é consideravelmente afetada nas proximidades de objetos condutores, sendo particularmente intenso nas proximidades de extremidades

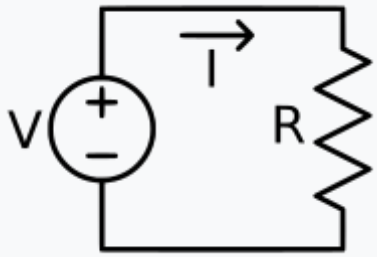
pontiagudas. Esse princípio é explorado nos para-raios, onde as pontas em sua extremidade elevada atuam de forma a encorajar os raios a atingi-los em detrimento das estruturas abaixo.[34]

Potencial elétrico

O potencial elétrico em qualquer ponto é definido como a energia necessária para trazer uma carga unitária de teste de uma distância infinita até aquele ponto. É usualmente medida em volts, e um volt é o potencial para o qual um joule de trabalho deve ser expendido para trazer uma carga de um coulomb do infinito até aquele ponto.[35]:494–498

Potência elétrica

Circuito elétrico



Um circuito elétrico básico. O gerador de tensão *V* na direção esquerda de um Circuito elétrico *I* em torno do circuito, na entrega de energia elétrica dentro do resistor *R*. Para o resistor,a corrente volta para o gerador,completando o circuito.

Um circuito elétrico é uma interconexão de componentes elétricos de tal forma que a carga elétrica é feita fluir ao longo de um caminho fechado (um circuito), geralmente com o objetivo de transferir-se energia e executar alguma tarefa útil.

Há componentes elétricos os mais variados, encontrando-se em um circuito elétrico não raro peças como resistores, capacitores, indutores, transformadores e interruptores. Os circuitos eletrônicos usualmente contêm componentes ativos, geralmente semicondutores, os quais caracterizam-se pelo funcionamento não-linear e demandam análise mais avançada. Os componentes elétricos mais simples são chamados passivos ou lineares: embora possam armazenar temporariamente energia, eles não constituem fontes da mesma, e apresentam respostas lineares aos estímulos elétricos aos quais são aplicados.[36]

O resistor é o componente mais simples entre os passivos: como o nome sugere, o resistor limita a corrente que pode fluir através do circuito. Transforma toda a energia elétrica que recebe em energia térmica, essa transferida ao ambiente que o cerca via calor. Ao passo que o nome resistor designa geralmente o componente em si, a resistência elétrica é uma propriedade dos resistores que busca mensurar o efeito resistivo. Mostra-se diretamente relacionada à oposição e à forma como os portadores de carga elétrica se movem no interior de um condutor ou semicondutor: nos metais, por exemplo, a resistência é principalmente atribuída às colisões entre os elétrons e os íons. Impurezas e imperfeições na estrutura contribuem em muito para o aumento da resistência a ponto de justificar o processo de purificação pelo qual os metais são submetidos antes da confecção de estruturas condutoras como os fios ou barramentos elétricos.

A Lei de Ohm é uma lei básica da teoria do circuito. Estabelece que a corrente que se fará presente em um resistor é diretamente proporcional à diferença de potencial entre os terminais do mesmo. A resistência de muitas estruturas materiais é relativamente constante em uma faixa de temperaturas e correntes; sendo em tais condições denominados 'ôhmicos'. A unidade de resistência elétrica, o *ohm*, assim nomeada em honra a Georg Ohm, é simbolizada pela letra grega Ω. 1 Ω é a resistência de um resistor que desenvolve entre seus terminais uma diferença de potencial de um volt quando submetido a uma corrente de um ampère (ou vice-versa).[36]

O capacitor é um dispositivo capaz de armazenar carga elétrica bem como energia elétrica no campo elétrico resultante. Conceitualmente, ele é composto por duas placas condutoras paralelas separadas por uma fina camada isolante. Na prática, são compostos por duas lâminas finas de metal separadas por uma lâmina de material isolante, todas enroladas juntas de forma a aumentar a área de superfície por unidade de volume e, portanto, a capacitância. A unidade de capacitância é, em homenagem a Michael Faraday, o farad, e à unidade é dada o símbolo "F": um farad é a capacitância de um capacitor que desenvolve em seus terminais uma diferença de potencial de um volt quando nele encontra-se armazenada uma carga elétrica de um coulomb (ou vice-versa). A capacitância de um capacitor é determinada através da razão entre a carga que esse armazena e a tensão elétrica em seus terminais, do que decorre a igualdade: 1F = 1C/1V. Um capacitor ligado a uma fonte de tensão constante permite inicialmente a presença de uma corrente intensa durante o processo inicial de acúmulo de carga; essa corrente entretanto decai gradualmente à medida que o capacitor acumula carga e a tensão elétrica

em seus terminais aumenta, e eventualmente anula-se após o tempo necessário à carga completa do capacitor, situação onde a tensão em seus terminais iguala-se à da fonte. Um capacitor, portanto, não permite em tais situações a existência de correntes estacionárias (correntes contantes); ao contrário, as proíbe.

O indutor é um condutor, geralmente uma bobina ou enrolamento de fio encapado, que armazena energia no campo magnética que surge em resposta à corrente que faz-se fluir através dele. Quando a corrente altera-se o campo magnético também altera-se, e há nesse momento, em consequência da lei da indução de Faraday, a indução de uma tensão elétrica entre os terminais do indutor. Verifica-se que a tensão induzida é proporcional à taxa de variação da corrente, sendo tanto maior quanto mais rápido se der a mudança na corrente. A constante de proporcionalidade é a chamada indutância do indutor. A unidade de indutância é *henry*, assim nomeada em homenagem a Joseph Henry, um contemporâneo de Faraday. Um henry é a indutância de um indutor que desenvolve uma diferença de potencial de um volt entre seus terminais quando a corrente entre os mesmos varia à taxa de um ampère por segundo.[36] O comportamento elétrico do indutor é em vários aspectos inverso ao do capacitor: ao passo que os capacitores opõem-se às mudanças repentinas na tensão entre seus terminais mas em nada limitam as correntes neles, os indutores opõem-se às mudanças repentinas na corrente, mas em nada limitam as tensões entre seus terminais.

Dadas as características complementares, a união de um capacitor e de um indutor produz um circuito elétrico ressonante, o conhecido circuito LC, no qual observa-se a troca constante de energia entre o indutor e o capacitor e vice-versa. A tensão e a corrente no circuito alteram-se continuamente em um padrão senoidal cujo período depende dos valores da capacitância e da indutância dos componentes envolvidos. O acréscimo de uma parcela resistiva leva ao também bem estudado circuito RLC, no qual oscilações amortecidas são observadas.

Condutores e isolantes elétricos

Conforme antes definido, chama-se corrente elétrica o fluxo ordenado de elétrons em uma determinada seção. A corrente contínua tem um fluxo constante, enquanto a corrente alternada tem um fluxo de média zero, ainda que não tenha valor nulo todo o tempo. Esta

definição de corrente alternada implica que o fluxo de elétrons muda de direção continuamente.

O fluxo de cargas elétricas pode gerar-se no vácuo ou em meio material adequado, caso no qual o material é então caracterizado como um condutor elétrico, mas não existe ou mostra-se completamente desprezível nos materiais ditos isolantes. Em um fio, há a presença dos dois tipos de materiais: a capa do fio encerra em seu interior, visto ser os metais por definição bons condutores de eletricidade, tipicamente um metal dúctil, a exemplo o cobre ou o alumínio, ao passo que a capa em si, dadas as funções práticas inerentes esperadas, é feita de material pertencente à classe dos bons isolantes elétricos.

Sobre materiais isolantes há de se ressalvar que na prática não há isolante elétrico perfeito. Os materiais isolantes são aqueles cujas estruturas químicas implicam todos os portadores de carga fortemente presos em suas posições, de forma que portadores de carga não podem mover-se livremente através das estruturas desses materiais. São tipicamente compostos covalentes, onde os elétrons encontram-se fortemente ligados aos respectivos orbitais de ligação ou aos orbitais mais internos aos átomos da molécula, ou ainda sólidos iônicos, onde algo similar ocorre, não se encontrando, contudo, orbitais ligantes nesse caso. Embora quando sujeitos a um campo elétrico moderado a localidade dos portadores de carga na estrutura material isolante se preserve, sob intensos campos elétricos as forças associadas podem ser suficientes para superar as forças que mantêm os elétrons ligados aos núcleos ou moléculas, caso no qual há uma ruptura súbita na capacidade isolante do material. Este ioniza-se e, em um processo quase instantâneo, deixa de ser isolante, tornando-se um bom condutor elétrico mesmo que por um curto intervalo de tempo. O campo elétrico limite acima do qual o material isolante torna-se condutor é conhecido como rigidez dielétrica do material.

A origem dos raios durante tempestades fundamenta-se basicamente no princípio citado. As nuvens acumulam cargas elétricas até que a rigidez dielétrica do ar úmido seja atingida. No momento em que o material se torna condutor, as cargas fluem em um processo de avalanche entre o solo e a nuvem, ou entre nuvens, dando então origem ao efeito visual e sonoro característicos do fenômeno.

A eletricidade e o mundo natural

Efeitos fisiológicos

A aplicação de uma tensão elétrica ao corpo humano leva a uma corrente elétrica através dos tecidos, e embora a relação entre ambas as grandezas não seja linear, quanto maior a tensão, maior a corrente. Embora o limiar de percepção mostre-se significativamente dependente da frequência da fonte elétrica e do caminho da corrente através do corpo, sob certas condições uma corrente tão baixa quanto a de alguns microamperes já mostra-se perceptível através do efeito eletrovibratório que provoca. Se a corrente for suficientemente alta, ela poderá facilmente induzir a contração muscular, a fibrilação do coração e queimaduras significativas nos tecidos. A ausência de qualquer sinal visível de que um condutor encontra-se eletricamente energizado torna a eletricidade particularmente perigosa. A dor causada por um choque elétrico pode ser intensa, levando-a a ser empregada várias vezes como método de tortura. À morte causada por choque elétrico dá-se o nome de eletrocussão. Embora venha tornando-se cada vez mais rara em dias recentes, a eletrocussão ainda é uma forma de execução penal empregada em várias jurisdições ao redor do mundo.

11 - ELETRÔNICA ANALÓGICA

A eletrônica analógica desenvolveu-se com o advento do controle das grandezas físicas variáveis ou não, formas oscilatórias em baixas ou altas frequências e que são utilizados em quase todos os tipos de equipamentos e quando da necessidade de manipulação das tensões e correntes existentes num circuito, formando circuitos capazes de realizar amplificações de sinais, comutação de máquinas e possibilitou a diversificação das telecomunicações que a princípio só trabalhavam com modulações de sinais.

Seus principais componentes são os chamados transistores, além dos resistores, capacitores, bobinas, potenciômetros e circuitos integrados, cristais e outros. A eletrônica analógica se baseia nos princípios da lei de ohm.

Na eletrônica analógica, seus valores, quantidades ou sinais, variam de modo contínuo numa escala. Os valores dos sinais não precisam ser inteiros.

Transistores bipolares

Transistores bipolares de porta isolada (IGBTs)

O transistor bipolar[5] de porta isolada (IGBT) destaca-se pelas características de baixa queda de tensão no estado ligado do Transistor Bipolar de Junção (BJT) com as excelentes características de chaveamento, que traz um circuito de acionamento da porta bem simplificado e com alta impedância de entrada do mosfet. Existem no mercado transistores IGBTs com os valores nominais de corrente e de tensão bem acima dos valores encontrados para Mosfets de potência.

Os IGBTs estão gradativamente substituindo os mosfets que se dizem em aplicações de alta tensão, onde as perdas na condução precisam ser mantidas em valores baixos. Mesmo as velocidades de chaveamento dos IGBTs sejam maiores (até 50 kHz) do que as do BJTs e as do mosfets.

Ao contrário do ocorrido no MOSFET, o IGBT não tem nenhum diodo reverso internamente, sendo assim este fator torna sua capacidade de bloqueio para tensões inversas muito baixa, podendo suportar uma tensão inversa máxima em menos de 10 volts.

Princípios de operação do IGBT A operação do IGBT é muito similar à dos MOSFETs de potência. Para colocá-lo no estado ligado, basta polarizá-lo positivamente no terminal do coletor (C+) em relação ao terminal do emissor (E -). De igual maneira, uma tensão

positiva VG aplicada na porta (G) fará o dispositivo passar para o estado ligado (ON), quando a tensão no gate (G) exceder a tensão de limiar. O IGBT passara para o estado desligado (OFF) quando houver o corte de tensão do terminal da porta (G).

Curva Característica de tensão-corrente do IGBT A curva característica e uma plotagem da corrente de coletor (IC) x a tensão do coletor-emissão (VCE).

Quando não houver a tensão aplicada na porta, o transmissor IGBT estará no estado desligado (OFF), onde a corrente (IC) é igual a zero (0) e a tensão que passa através da chave é igual a tensão da fonte.Se a tensão > VGE(th) for aplicada na porta, o dispositivo passará para o estado ligado e permitira a passagem da corrente IC. Essa corrente é limitada pela tensão da fonte e pela resistência de carga. No estado ligado, a tensão através da chave se define a zero.

Eletrônica digital

Na eletrônica digital este controle se faz digitalizando o sinal de controle no seu estágio de geração para evitar as variações térmicas ou de envelhecimento a que todo material está sujeito (desde o sensor até o relé final de um sistema analógico); no mais, o sinal digitalizado pode ter a forma de uma corrente pulsante cuja frequência de pulsação represente fielmente o sinal "variação de resistência por efeito da temperatura".

O efeito da variação de parâmetros (e aumento do erro de medição) por termo-agitação e envelhecimento é cumulativo nos sistemas analógicos pois as variações de parâmetros devidas ao aumento da temperatura no forno (a medir) são produzidas pelo mesmo processo interno atômico que origina a "deriva", "agitação indesejável" "movimento eletrônico caótico" e se tornam parte das variações espúria que mascaram a medição, e ainda mais serão amplificadas por componentes que têm sua própria agitação térmica que se tornam cumulativos.

Componentes

Considera-se o primeiro componente eletrônico puro a célula fotovoltaica (1839) seguida pela válvula termoiônica (Ver Efeito Édison), ou termiônica e alguns diodos à base de Selênio (Se).

A válvula termiônica, também chamada de válvula eletrônica, é um dispositivo que controla a passagem da corrente elétrica através do vácuo (ver John Ambrose Fleming), dentro de

um bulbo de vidro, sendo utilizada em larga escala até meados da década de 1960. Aos poucos, foi substituída pelos transístores.

Um transístor é um dispositivo que controla a passagem da corrente elétrica através de materiais semi condutores inteiramente sólidos. Assim, por definição, ambos são componentes eletrônicos que servem para executar trabalhos idênticos, o segundo porém mais moderno que o primeiro.

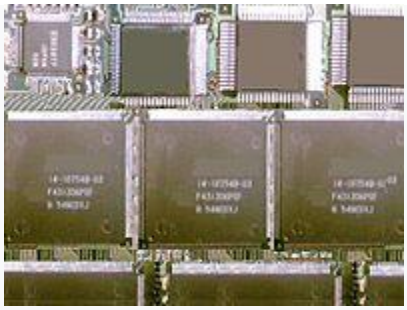
A eletrônica, ao passar do tempo, acabou por desenvolver e estudar novos circuitos eletrônicos além de transístores, diodos, fotocélulas, capacitores, indutores, resistores, etc.

A tecnologia de miniaturização desenvolveu os circuito integrados, os microcircuitos, as memória eletrônicas, os microprocessadores, além de miniaturizar os capacitores, indutores, resistores, entre outros.

Atuação

Quando se tem qualquer tipo de dispositivo onde haja a atuação de um determinado fenômeno físico em correlação com outro, interagindo, modificando, medindo, aí está a eletrônica. Um exemplo seria a conversão de onda sonora para onda eletromagnética, da emissão eletromagnética através do espaço físico, para em seguida a captação desta, sua recepção e reconversão para onda eletromagnética, assim novamente para onda sonora. Sem a eletrônica, isto seria impossível de se conseguir, pois o ato de se transmitir uma onda de radiofrequência e sua posterior recepção necessita de dispositivos eletrônicos que transformarão as manifestações físicas de um determinado tipo de energia que será convertido em outro. Por exemplo: onda sonora em onda elétrica, onda luminosa para onda sonora e vice versa.

Dispositivos



Circuito hipotético com diversos componentes em montagem repetitiva

Os dispositivos eletrônicos são combinações onde se usa o *circuito básico* repetitivamente e seus componentes que, uma vez agrupados de forma organizada formam blocos. Estes interligados formam circuitos eletrônicos mais complexos, e assim sucessivamente fazem funcionar os mais diversos equipamentos eletrônicos.

Funcionamento

O funcionamento básico de qualquer circuito eletrônico baseia-se no *controle de tensão* e intensidade de corrente elétrica, podendo ser moldadas de forma a que o projetista possa tirar proveito desses parâmetros e configurá-los em oscilação e amplificação até chegar ao resultado final quando, por exemplo, através de um *feixe de luz*, ou feixe de laser numa fibra óptica conseguimos nos comunicar com velocidades cada vez maiores e quantidades de informação imensas a milhares de km de distância e, tudo isso, em segundos, milissegundos.

Medidas eletrônicas

Unidades do Sistema Internacional

São as seguintes as unidades do Sistema Internacional de Unidades:

V = volt = medida de tensão elétrica ou diferença de potencial

A = ampère = medida de intensidade da corrente elétrica

C = coulomb = medida de carga elétrica

s = segundo = medida de tempo

Ω = ohm = medida de resistência elétrica

S = siemens = medida de condutância elétrica

J = joule = medida de energia

W = watt = medida de potência

Hz = hertz = medida de frequência

F = farad = medida de capacitância

H = henry = medida de indutância

Wb = Weber = medida de fluxo magnético

T = Tesla = medida de densidade do fluxo magnético

VA - Voltampere = é a unidade utilizada na medida de potência aparente em sistemas elétricos de corrente alternada (AC).

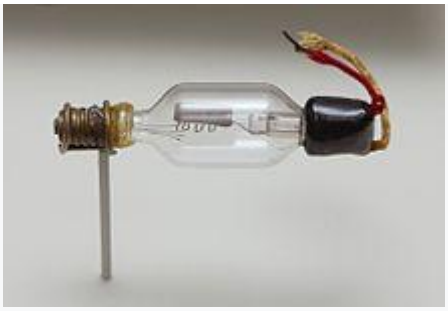
Outras unidades

As unidades abaixo ainda são utilizadas, embora não façam parte do Sistema Internacional

hp = horse power (cavalo de força) = medida de potência Obs: 1 hp = 746 W

cv = cavalo vapor = medida de potência. Obs: 1 cv = 736 W

Histórico



Válvula termiônica amplificadora de áudio de 1906

A evolução da eletrônica foi lenta no início, porém com o passar do tempo, acelerou-se. Nos séculos XVII, XVIII e XIX, foram informações dispersas, aleatórias.

Em 1835, Munk, ao gerar centelhas de alta tensão próximo de certos pós metálicos, observou que estes mudavam sua condutividade elétrica. Isto ficou registrado, mas não se encontrou uma utilidade prática para o fenômeno.

Acredita-se que o dispositivo eletrônico mais antigo foi uma célula fotovoltaica construída em 1839 por Becquerel. Embora funcional, sua utilidade era meramente para curiosidade científica.

A partir de 1850, a físico-química passou a se interessar nos fenômenos do comportamento da AT (Alta Tensão) e dos gases. A experiência de Julius Plücker pode ser considerada como ponto de partida para tal. O pesquisador, ao conectar tensão elétrica muito alta em dois eletrodos, inseridos numa ampola de vidro com atmosfera rarefeita, mostrou o fenômeno da descarga dos gases. Durante sua demonstração, observou-se um efeito eletroluminescente de cor púrpura sobre as paredes do vidro.

Em 1861, foi descoberto o efeito fotocondutivo do selênio. Posteriormente, em 1873, Willoughby Smith investigou o efeito e delineou as primeiras leis da fotocondutividade.

Em 1866, Varley novamente observou a mudança de condutividade de pós metálicos na presença de centelhas elétricas, da mesma forma que Munk em 1835, porém, o fenômeno continuou a parecer meramente curiosidade científica.

A válvula termiônica teve seus primórdios em 1873, quando Francis Guthrie aqueceu uma esfera metálica e a aproximou de um eletroscópio carregado. Ao fazer isso, o dispositivo se descarregava.

Braun descobriu o efeito semicondutor no ano de 1874, observando os sulfetos de chumbo e de ferro.

Alexander Graham Bell e Charles Sumner Tainter em 1878, utilizaram a célula de selênio para fazer experiências com um telefone sem fio, utilizando ondas luminosas.

David Edward Hughes descobriu como gerar ondas eletromagnéticas em 1874, independentemente do trabalho de James Clerk Maxwell. A intenção de Hughes não era a geração de ondas em si, mas sua detecção através de dispositivos (diodos) semicondutores que consistiam numa agulha de ferro em contato com um glóbulo de mercúrio, que resultava num filme de óxido de mercúrio. Este contato resultava no efeito da retificação por semicondutividade.

Hughes, na verdade, se antecipou à geração de radiofrequência em cinco anos a Hertz e em dez anos em sua detecção.

Julius Elster e Hans Geitel, no início de 1880, encerraram um filamento de uma lâmpada incandescente e uma placa metálica numa ampola com vácuo. O efeito observado foi uma corrente elétrica que fluiu do filamento à placa através do vácuo. Ao mesmo tempo Flemming, naquela época empregado de Thomas Edison, estava investigando o porquê do escurecimento do vidro de uma lâmpada de filamento. Inseriu uma placa metálica e fez uma ligação externa ao dispositivo. Ao fazê-lo, observou que ao se aplicar um potencial positivo à placa em relação ao filamento, imediatamente fluía uma corrente elétrica pelo vácuo. Ao inverter a polaridade, a corrente não fluía. A este efeito se deu o nome de Efeito Edison.

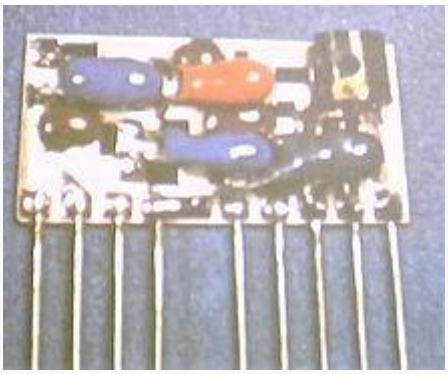
Calzecchi Onesti, em 1884, voltou a observar a mudança de condutividade de pós metálicos na presença de centelhas elétricas, da mesma forma que Munk em 1835, porém, novamente o fenômeno continuou a parecer meramente curiosidade científica.

Hertz, no ano de 1887, observou o efeito fotoemissivo, que foi aprimorado em 1890 por Ebert, Wilhelm Hallwachs e Wiedemann. Em 1890, Julius Elster e Hans Geitel desenvolveram a primeira válvula eletrônica fotoemissiva.

De novo, agora na pessoa de Édouard Branly, em 1890, houve a observação da mudança de condutividade de pós metálicos na presença de centelhas elétricas, da mesma forma que Munk em 1835, porém, o fenômeno ainda continuou a parecer meramente curiosidade científica, sem uso prático.

Minchin e Oliver Lodge, de forma independente, sugeriram que o fenômeno da alteração da condutividade de pós metálicos na presença de centelhas elétricas era ocasionada por ondas que se propagavam pelo espaço que emanavam das centelhas. Lodge então, em 1894, preparou um tubo com limalhas de ferro, seguindo o método de Branly. Descobriu que este método poderia servir para detectar ondas hertzianas. Ao dispositivo foi dado o nome de coesor, porque quando as ondas eletromagnéticas passavam por si, as limalhas se aglutinavam e tinham que ser extraídas antes de outra emissão de radiofreqüência.

A partir de 1850, com as experiências de Julius Plücker sobre a eletroluminescência, Hittorf, William Crookes e Eugen Goldstein, iniciaram uma investigação dos efeitos da alta tensão. Crookes inseriu um eletrodo em forma de cruz de malta no tubo de vidro, foi observado que o brilho produzido pelos *raios invisíveis*, era devido à aceleração de algum tipo de partícula ou raio que provinha do eletrodo negativo para o positivo. A este tipo de manifestação se deu o nome de "raios catódicos", pois acreditou-se que sua carga era negativa. A experiência foi confirmada por Hallwachs. Em 1897, Thomson estudou o efeito e deu o nome de elétrons às partículas aceleradas no tubo de raios catódicos.



Circuito integrado híbrido

Tommasina reinventou o detector de radiofrequência de Hughes em 1899. Ao dispositivo foi dado o nome de coesor de auto-restauração de Castelli, de Solari, ou coesor de auto-restauração da Marinha Italiana.

O padre Roberto Landell de Moura, em 1893, iniciou as experiências com um telefone sem fio utilizando radiofreqüência. Dia 3 de junho de 1900 fez uma demonstração pública.

Em 1901, Marconi recebeu os primeiros sinais de rádio através do Atlântico. O detector utilizado foi um retificador de glóbulo de ferro mercúrio idêntico ao inventado por Hughes em 1874.

As descobertas do século XIX só vieram a ser compiladas no início do século XIX. Com a utilização prática para a emissão termoiônica através da utilização do diodo termiônico, triodo termiônico, tetrodos, pentodos, etc, iniciou-se a era da eletrônica termoiônica, ou termiônica, quando John Ambrose Fleming utilizou estes efeitos para a amplificação de sinais.

Evolução

Transistor de potência do circuito horizontal de um monitor de vídeo (Ecrã) 17*, potência 90 W*

Desde o início do século XX até sua metade, a válvula termoiônica reinou absoluta, quando na metade do século, em 1948, a gigante em telecomunicações Bell Telephone, desenvolveu um dispositivo que em comparação à válvula termoiônica era simplesmente minúsculo. Era o primeiro transistor. Aí estávamos iniciando a era do semicondutor.

Com o transistor e o desenvolvimento das técnicas de miniaturização, ficou cada vez mais acelerada a confecção e projeto de componentes e equipamentos eletrônicos.

Isto culminou com a construção do primeiro circuito integrado no final da década de sessenta, quando apareceu o primeiro amplificador operacional integrado. Este nada mais era que a montagem miniaturizada de transistores, capacitors, resistors e diodos semicondutores, todos feitos numa só base, inicialmente em germânio.

Logo após, no início da década de setenta, os componentes passaram a ser fabricados em silício, elemento de mais fácil manipulação e menos sensível aos efeitos de avalanche térmica.

Foram sendo desenvolvidas assim exponencialmente novas tecnologias para a fabricação seriada em alta velocidade. Estas utilizavam componentes de larga escala de integração, (LSI), e logo após, nos anos oitenta, foi desenvolvida a extra larga escala de integração, (ELSI). Esta tecnologia nos deu os microprocessadores de alta velocidade e desempenho.

Nos dias de hoje, depois do trabalho de milhares, senão milhões de colaboradores anônimos, a Eletrônica está finalmente entrando na era da nanotecnologia.

Dispositivos e equipamentos

Voltímetro analógico utilizado em painéis elétricos

Os equipamentos e circuitos eletrônicos moldam, configuram e mensuram grandezas físicas de diversas naturezas. Algumas são variáveis, outra fixas, exemplo disso são as variáveis elétricas que transportam informação, os sinais.

Para o transporte de informação, foi necessário a codificação de uma linguagem.Um exemplo é a extinta telegrafia que era usada para enviar informações através do código Morse, onde sinais intermitentes transportam informação codificada de tal forma, que decodificada forma letras e palavras. Estas, interpretadas nada mais são do que informação, logo podemos definir que codificação é a informação introduzida num determinado sinal. E decodificação é a extração desta informação deste mesmo sinal.

Podemos definir três grupos distintos de sinais em eletrônica: Sinal analógico, é todo aquele que varia *continuamente* em função do tempo, ou seja: pode ser representado por uma função matemática contínua.

- Um velocímetro analógico.
- Um termômetro analógico.
- Uma balança analógica.
- Um voltímetro analógico.

São exemplos de sinais lidos de forma direta sem passar por qualquer codificação, decodificação complexa. As variáveis são observadas diretamente. O instrumento analógico consiste num painel com uma escala e um ponteiro que desliza de forma a se verificar a posição deste sobre aquela, um galvanômetro, ou o ecrã de um osciloscópio.[7]

Sinais e medidas analógicas e digitais

Sinal periódico consiste de "pacotes" de informação que são levados de forma direta, as ondas de rádio por exemplo, onde a codificação e decodificação é executada de forma direta, um exemplo é a Amplitude Modulada, onde temos uma onda portadora de freqüência fixa modulada em amplitude variável, a decodificação na recepção se dá de forma direta por supressão da portadora, retificação em meia onda do sinal resultante, e amplificação do resultado de forma a termos um sinal em forma de música, por exemplo.

Sinal digital é formado por códigos de linguagem matemática, um exemplo disto é a linguagem binária, ou sistema binário, (álgebra booleana), onde se usa um código binário de transporte de informação, a leitura é indireta, depende de sistemas de interpretação e leitura, pois esta não é direta, é digitalizada, é formada por componentes que digitalizam a informação, isto é, convertem o sistema decimal para sistema binário, ou para o sistema hexadecimal e vice-versa, digitalizar é manipular, converter a informação processá-la e reconvertê-la de forma que seja entendida.

O futuro

A eletrônica é a base da moderna tecnologia, da cibernética, da ciência da computação, da informática, entre outros. Sem ela os sistemas de controle do mundo moderno não funcionam.

Com a eletrônica fundindo-se com a micro-mecânica, pneumática, hidráulica e informática, temos a mecatrônica, a biomecatrônica, a robotização biológica e a robótica.

Esses compõem os sistemas de analogia eletrônica, prevista para o nosso futuro.

REFERÊNCIAS

https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/4/47/ApostilaEB2.pdf>acesso em 23 de outubro de 2019

https://pt.wikipedia.org/wiki/Eletricidade>acesso em 23 de outubro de 2019

https://pt.wikipedia.org/wiki/Eletr%C3%B4nica>acesso em 23 de outubro de 2019