

ELETRICIDADE BÁSICA

Prof. Alexandre Casacurta
Agosto de 2014

Constituição da Matéria

Tudo aquilo que tem massa e ocupa lugar no espaço pode ser definido como sendo matéria. Toda matéria é formada por pequenas partículas, designadas moléculas.

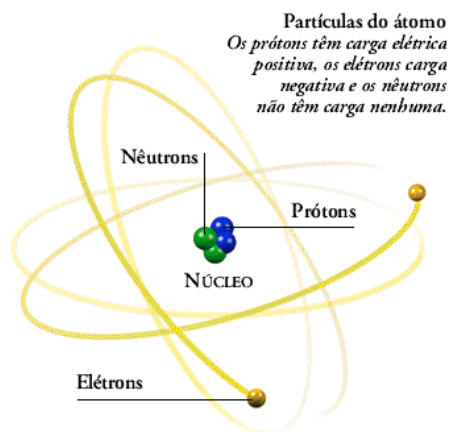
Segundo a teoria atômica de Dalton podemos definir que:

- 1- A matéria é constituída de pequenas partículas esféricas, maciças e indivisíveis, denominadas de átomos.
- 2- Elemento químico é composto de um conjunto de átomos com as mesmas massas e tamanhos.
- 3- Elementos químicos diferentes indicam átomos com massas, tamanhos e propriedades diferentes.
- 4- Substâncias diferentes são resultantes da combinação de átomos de elementos diversos.
- 5- A origem de novas substâncias está relacionada ao rearranjo dos átomos, uma vez que eles não são criados e nem destruídos.

Podemos então dizer que molécula é a menor parte da matéria que ainda conserva suas propriedades.

Por sua vez, as moléculas são compostas de partículas ainda menores, chamadas átomos.

Partículas do Átomo



Elétron (e) : em 1897, Joseph John Thomson conseguiu demonstrar que o átomo não é indivisível, utilizando uma aparelhagem denominada tubo de raios catódicos. Dentro do tubo de vidro havia, além de uma pequena quantidade de gás, dois eletrodos ligados a uma fonte elétrica externa. Quando o circuito era ligado, aparecia um feixe de raios provenientes do cátodo (eletrodo negativo), que se dirigia para o ânodo (eletrodo positivo). Esses raios eram desviados na direção do pólo positivo de um campo elétrico.

Com base nesse experimento, Thomson concluiu que:

- a) os raios eram partículas (corpúsculos) menores que os átomos;
- b) os raios apresentavam carga elétrica negativa. Essas partículas foram denominadas elétrons (e).

Thomson propôs então um novo modelo, denominado pudim de passas. "O átomo é maciço e constituído por um fluido com carga elétrica positiva, no qual estão dispersos os elétrons."

Como um todo, o átomo seria eletricamente neutro.

Próton (p) : em 1886, o físico alemão Eugen Goldstein, usando uma aparelhagem semelhante à de Thomson, observou o aparecimento de um feixe luminoso no sentido oposto ao dos elétrons. Concluiu que os componentes desse feixe deveriam apresentar carga elétrica positiva.

Posteriormente, em 1904, Ernest Rutherford, ao realizar o mesmo experimento com o gás hidrogênio, detectou a presença de partículas com carga elétrica positiva ainda menores, as quais ele denominou prótons (p). A massa de um próton é aproximadamente 1.836 vezes maior que a de um elétron.

Nêutron (n) : essas partículas foram descobertas em 1932 por Chadwick, durante experiências com material radioativo. Ele as denominou nêutrons.

Os nêutrons estão localizados no núcleo e apresentam massa muito próxima à dos prótons, mas não têm carga elétrica.

O modelo atômico mais utilizado até hoje é o de Rutherford, com a inclusão dos nêutrons no núcleo.

Estrutura Atômica

Distinguimos duas regiões nos átomos: a) uma com carga elétrica positiva, e muito pesada, que concentra quase todo o peso do átomo: é chamada núcleo. b) uma região ocupada por elétrons, que giram ao redor do núcleo.

Produção de cargas elétricas

Eletrização : os processos de eletrização ocorrem na natureza constantemente e, muitas vezes, tais fenômenos passam despercebidos por nós. O fenômeno da eletrização consiste na transferência de cargas elétricas entre os corpos.

Podemos distinguir as seguintes fontes de eletricidade:

Atrito ou fricção: eletrização dos corpos

Pressão: cristais (microfone)

Calor: elemento térmico

Luz: fotocélula - célula fotoelétrica

Ação química: células primárias e secundárias

Magnetismo: princípio do funcionamento dos motores e geradores elétricos.

A fricção ou atrito é a principal fonte de eletricidade estática. Toda vez que atritamos dois corpos diferentes, retira-se alguns elétrons de um dos corpos, enquanto que o outro corpo aprisionará estes elétrons. O corpo que aprisionou elétrons adquiriu uma carga elétrica positiva. Esse deslocamento de elétrons é provocado pelo aquecimento dos corpos durante o atrito, o que provoca uma aceleração na velocidade dos elétrons, aumentando a força centrífuga, possibilitando a sua fuga do orbital. Algumas substâncias que facilmente produzem eletricidade estática são: vidro, âmbar, abinite, ceras, flanelas, sedas, nylon, rayon, etc.

Se um cristal feito de quartzo, turmalina e dos sais de Rochelle for colocado entre duas placas metálicas e aplicarmos uma pressão sobre elas, obteremos uma carga elétrica produzida por pressão. Nas duas superfícies planas são criadas cargas elétricas diferentes por causa da pressão. O uso da pressão como fonte de eletricidade é largamente observado em aparelhos de pequena potência, como por exemplo nos toca-discos, nos telefones e nos microfones.

Outro método de se obter eletricidade é a conversão direta do calor em eletricidade, pelo aquecimento de uma junção de dois metais diferentes. Se um fio de cobre e outro de constantan forem torcidos juntos, de modo a formar uma junção, ao aquecermos esta junção produziremos uma carga elétrica. A quantidade de carga elétrica produzida dependerá da diferença de temperatura entre a junção e a outra extremidade dos metais. Quanto maior for a diferença de temperatura, maior será a carga produzida.

Uma função desse tipo é denominada elemento térmico e produzirá eletricidade enquanto o calor estiver sendo aplicado. Os elementos térmicos não fornecem grandes quantidades de carga, e, assim sendo, não podem ser empregados na obtenção de potência elétrica.

Eles são usados normalmente em combinação com instrumentos termo indicadores para a apresentação visual direta da temperatura em graus. Sua aplicação maior é nos pirômetros dos fornos de altas temperaturas. Certas substâncias, ao serem atingidas pela luz, são capazes de conduzir ou produzir as cargas elétricas com certa facilidade. Em resumo: convertem energia luminosa em cargas elétricas. Destes efeitos, o mais utilizado é o da produção de cargas elétricas pela fotocélula, que ocorrerá quando o material sensível da mesma for exposto à luz. A fotocélula é um conjunto metálico, composto de três camadas de forma circular, sendo uma de ferro, a outra de material translúcido ou transparente, que permite a passagem de luz, e a camada do centro de uma liga de selênio. A luz passa pelo material transparente ou translúcido, atinge o selênio, que gera uma corrente elétrica entre as camadas. Se ligarmos um medidor a esse conjunto poderemos medir a corrente produzida.

Uma fonte de eletricidade de uso comum é a ação química que ocorre nas pilhas e baterias. Numa solução de ácido sulfúrico e sais de baixa concentração (eletrólito) estão imersas placas de cobre e zinco. Ligando estes materiais externamente por um condutor, e observando através de um instrumento de medição, constatamos que esse elemento galvânico é uma fonte de eletricidade. Exemplo: A pilha seca compõe-se de um recipiente de zinco, que é a placa negativa, de um bastão de carbono servindo como placa positiva e uma solução pastosa de cloreto de amônia constituindo o eletrólito. A força eletromotriz de uma pilha seca depende da combinação dos dois materiais, geralmente é de 1,5 V.

No processo de eletrização por contato para ocorrer a eletrização devemos colocar em contato um corpo condutor com um eletrizado, a eletrização por indução prova que não há necessidade de ocorrer esse contato para que o corpo condutor torne eletrizado.

Se aproximarmos um corpo eletrizado positivamente de outro corpo neutro fixo, perceberemos que as cargas negativas do corpo neutro serão atraídas pelas cargas positivas do outro corpo.

Para que o corpo neutro fique eletrizado negativamente devemos antes de afastar o corpo eletrizado positivamente, tocar o corpo neutro com o dedo, como o dedo é eletrizado negativamente o corpo neutro passa a ser também eletrizado negativamente.

Dois corpos, A e B, sendo A positivamente eletrizado e B um corpo eletricamente neutro, são colocados próximos um do outro sem haver contato.

As cargas positivas de A atraem as cargas negativas de B. Se aterrarmos o corpo B, as cargas elétricas negativas da terra vão se deslocar para o corpo B. Retirando o condutor que aterra o corpo B e só depois afastar o corpo A. Observamos então que o corpo B ficou negativamente eletrizado.

Elétrons Livres : em materiais condutores, como os metais, os elétrons da parte mais externa dos átomos estão ligados muito fracamente a eles, podendo se mover livremente. Os elétrons livres movem-se aleatoriamente entre os átomos com alta velocidade. Os átomos também estão em movimento, porém muito pequeno, apenas vibrando em torno de suas posições.

Corpos que possuem partículas eletrizadas livres em quantidades razoáveis são denominados condutores, pois essa característica permite estabelecer corrente elétrica em seu interior, já os isolantes não possuem ou quase não existem elétrons livres.

Corrente elétrica

Nos metais existe grande quantidade de elétrons livres, em movimento desordenado. Quando se cria, de alguma maneira, um campo elétrico (E) no interior de um corpo metálico, esses movimentos passam a ser ordenados no sentido oposto ao do vetor campo elétrico (E), constituindo a corrente elétrica.

A corrente elétrica, portanto, é um fluxo de elétrons que circula por um condutor quando entre suas extremidades houver uma diferença de potencial (ddp). Esta diferença de potencial chama-se tensão. A facilidade ou dificuldade com que a corrente elétrica atravessa um condutor é conhecida como resistência.

A corrente elétrica, portanto, é um fluxo de elétrons que circula por um condutor quando entre suas extremidades houver uma diferença de potencial (ddp). Esta diferença de potencial chama-se tensão. A facilidade ou dificuldade com que a corrente elétrica atravessa um condutor é conhecida como resistência.

A intensidade da corrente elétrica (I) é definida como a razão entre a quantidade de carga ΔQ que atravessa certa seção transversal de um condutor em um intervalo de tempo Δt e é medida em ampères.

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \quad \text{ou simplesmente} \quad I = \frac{Q}{t}$$

Onde I é medida em ampères (A), Q em coulombs (C) e t em segundos (s).

Exemplo : Pelo filamento de uma lâmpada incandescente passaram 5C. Sabendo que ela esteve ligada durante 10 segundos, determinar a intensidade da corrente elétrica.

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{5}{10} = 0.5 A$$

Sabemos que é normal a utilização de circuitos elétricos durante horas, e por isso, utiliza-se uma unidade prática de quantidade de eletricidade muito conveniente chamada AMPÈRE-HORA (Ah). Um ampère-hora é a quantidade de eletricidade que passa por um ponto de um condutor em 1 hora, quando a intensidade da corrente é de 1 ampère. É fácil concluir que 1 Ah corresponde a 3.600 coulombs:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ C} = 1 \text{ A} \times 1 \text{ s} \\ 1 \text{ Ah} = 1 \text{ A} \times 1 \text{ h} \\ 1 \text{ h} = 3600 \text{ s} \end{array} \right\} 1 \text{ Ah} = 3600 \text{ C}$$

Diferença de potencial

Sempre que um corpo é capaz de enviar elétrons para outro, ou dele receber estas partículas, dizemos que ele tem POTENCIAL ELÉTRICO. Se um corpo "A" manda elétrons para um outro corpo "B", diz-se que "A" é negativo em relação a "B" e, naturalmente, "B" é positivo em relação a "A". Dois corpos entre os quais se pode estabelecer um fluxo de elétrons, apresentam uma DIFERENÇA DE POTENCIAL.

Vimos, assim, que entre dois corpos (ou dois pontos quaisquer de um circuito elétrico) que apresentam situações elétricas diferentes há sempre a possibilidade de se estabelecer uma corrente elétrica, isto é, existe uma diferença de potencial. Esta grandeza é conhecida também como força eletromotriz (f.e.m.), tensão, voltagem ou pressão elétrica. É designada geralmente pela letra "E" e algumas vezes por "V" ou "U".

Sabemos agora que, se houver uma d.d.p. entre dois pontos e eles forem postos em contato haverá a produção de uma corrente elétrica. É evidente que o meio (material usado para ligar os dois pontos) irá oferecer uma certa dificuldade ao deslocamento dos elétrons; esta oposição que um material oferece à passagem de uma corrente elétrica é denominada resistência elétrica (R).

Como consequência natural dessa dificuldade, podemos citar a produção de calor em qualquer corpo percorrido por uma corrente elétrica, e podemos tomar como unidade de resistência elétrica a resistência de um corpo em que é produzida uma quantidade de calor de 1 joule, quando ele é atravessado por uma corrente de 1 ampère, durante 1 segundo. Esta unidade é chamada OHM e indicada com a letra grega Ω .

Quando unimos dois pontos por meio de um fio, cuja resistência sabemos que é de 1 OHM, e nele se estabelece uma corrente de intensidade igual a 1 ampère, dizemos que entre os pontos considerados existe uma unidade de diferença de potencial, chamada volt (V).

Lei de OHM

George Simon Ohm estudou as relações entre a tensão (E), a intensidade de uma corrente elétrica (I) e a resistência elétrica (R), e chegou à seguinte conclusão conhecida como LEI DE OHM:

"A intensidade da corrente elétrica num condutor é diretamente proporcional à força eletromotriz e inversamente proporcional à sua resistência elétrica."

Em outras palavras: se mantivermos constante a resistência elétrica, a intensidade da corrente aumentará se a tensão aumentar, e diminuirá se a tensão diminuir. Se a tensão for mantida constante, a intensidade da corrente decrescerá se a resistência aumentar, e crescerá se a resistência for reduzida.

Eis a equação que corresponde à lei de Ohm:

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

I = intensidade da corrente em ampères (A)

E = tensão, em volts (V)

R = resistência elétrica, em ohms (Ω)

Da expressão acima, podemos deduzir que:

$$E = IR \quad \text{e} \quad R = \frac{E}{I}$$

No entanto, nunca se deve concluir, pelas expressões acima, que a resistência é diretamente proporcional à tensão e inversamente proporcional à intensidade da corrente; como veremos adiante, a resistência elétrica de um corpo depende apenas de características físicas por ele apresentadas. Quanto à tensão, é bom lembrar que é causa e não efeito.

Tipos de corrente elétrica

Há dois tipos gerais de correntes elétricas: corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA). Sabemos que uma corrente elétrica num condutor sólido é um fluxo de elétrons. Quando ligamos um aparelho elétrico a uma fonte de eletricidade, e os elétrons que percorrem o aparelho saem sempre do mesmo terminal do gerador, dizemos que a corrente é contínua, isto é, tem sempre o mesmo sentido; neste caso, a fonte é um gerador de corrente contínua.

O gerador de CA é aquele de onde os elétrons saem, ora de um terminal ora do outro. Consequentemente, durante algum tempo, um dos terminais é negativo em relação ao outro e, logo a seguir, as coisas se invertem. Esta mudança de sentido é normalmente periódica, variando, de acordo com o gerador. A CA é, por natureza, de intensidade variável, já a CC pode ter ou não um valor constante. Baterias são os exemplos mais comuns de fontes de C.C. e usinas hidrelétricas de fontes de C.A.

Trabalho Elétrico

Todo corpo que se movimenta está realizando um trabalho. Quando unimos com um condutor dois pontos, entre os quais existe uma ddp, estabelece-se uma corrente elétrica, que nada mais é do que elétrons em movimento, portanto estão realizando um trabalho que, pela sua natureza, é denominado TRABALHO ELÉTRICO.

O trabalho elétrico produzido depende da carga elétrica conduzida. Quanto maior o número de coulombs que percorrem o condutor, maior o trabalho realizado. Também é fácil concluir que, quanto maior a tensão aplicada aos extremos do mesmo condutor, maior a intensidade da corrente e, portanto, maior o trabalho elétrico.

Uma grandeza que depende diretamente de duas outras depende também do produto delas, o que nos permite escrever que :

$$W = EQ$$

onde

W	=	trabalho elétrico
E	=	tensão
Q	=	carga elétrica

O trabalho realizado para transportar 1 Coulomb de um ponto a outro, entre os quais existe uma ddp de 1 Volt, é definido por 1 JOULE (J) :

$$1 \text{ J} = 1 \text{ V} \times 1 \text{ C}$$

Da equação vista acima, podemos tirar outras fórmulas úteis no cálculo do trabalho elétrico. Vimos que $Q = It$ portanto $W = EIt$ onde W em Joules (J), E em volts (V), I em ampéres (A) e t em segundos (s).

Quando estudamos a lei de Ohm, aprendemos que : $E = IR$ e $I = \frac{E}{R}$ portanto :

$$W = EIt = E \frac{E}{R} t = \frac{E^2}{R} t \quad \text{e} \quad W = EIt = IRIt = RI^2 t.$$

Qualquer das equações estudadas permite a determinação de um trabalho elétrico, desde que sejam conhecidos suas variáveis.

Energia Elétrica

Energia é a capacidade de produzir trabalho, por exemplo, a energia de uma pilha elétrica é a capacidade de produzir um trabalho elétrico através de seus terminais. Ora, se o corpo só tem energia enquanto pode realizar trabalho, é evidente que o máximo de trabalho que ele poderá efetuar corresponde ao máximo de energia que possui, isto é, o trabalho que é realizado sempre corresponde a uma certa quantidade de energia gasta. Definimos a energia gasta e consumida com as mesmas unidades e equações do trabalho elétrico.

Potência Elétrica

Potência é a rapidez com que se gasta energia, ou a rapidez com que se produz trabalho. Podemos dizer também que é a energia gasta na unidade de tempo. Sob a forma de equação, a potência é igual a

$$P = \frac{W}{t}$$

onde

W = energia em Joules (J)

t = tempo em segundos (s)

P = potência (J/s)

O joule/segundo é conhecido também como Watt (W) e é a potência quando está sendo realizado um trabalho de 1 J em cada segundo. Assim, se uma determinada máquina fizesse um trabalho de 30 J em 10 s, teria gasto energia na razão de 3 J por segundo, ou seja, a potência seria de 3 W. A potência elétrica é calculada do mesmo modo e medida na mesma unidade. Antes de prosseguirmos com o cálculo da potência, consideremos o uso da palavra potência em alguns casos diferentes.

Tomemos inicialmente o caso de um gerador de eletricidade. A potência elétrica de um gerador é a energia que ele pode fornecer na unidade de tempo, ou o trabalho elétrico que ele pode realizar na unidade de tempo. Já a potência de uma lâmpada incandescente, significa a energia elétrica que é gasta na lâmpada em cada unidade de tempo. A lâmpada não fornece energia elétrica como o gerador, e sim atua como um consumidor de energia elétrica. É verdade que podemos fazer referência à energia luminosa oferecida pela lâmpada, mas no momento interessa-nos apenas a energia elétrica que está sendo consumida.

Outro caso importante é o da potência indicada num resistor. Os resistores são designados pelos seus valores em ohms e também em termos de watts. Num resistor, a energia elétrica é transformada em calor (energia térmica). Calor é energia e, como tal, é dado também em joules. Um resistor é calculado para funcionar numa determinada temperatura e, para que não seja ultrapassada essa especificação, deve ser capaz de se libertar (de dissipar) do calor com a mesma rapidez com que ele é produzido. A escolha adequada de um resistor implica em saber qual a quantidade de calor que ele pode liberar na unidade de tempo.

Voltando ao cálculo da potência, temos que:

$$P = \frac{W}{t}$$

Como $W = EIt = I^2 R t = \frac{E^2}{R} t$ a potência elétrica pode ser determinada também com as seguintes expressões:

$$P = EI \qquad P = I^2 R \qquad P = \frac{E^2}{R}$$

Outras Unidades de Energia

Trabalho e Energia :

$$\text{Watt-hora (Wh)} = 3.600 \text{ Watts-segundos} = 3.600 \text{ Joules}$$

$$\text{Quilowatt-hora (KWh)} = 1.000 \text{ Wh} = 3.600.000 \text{ Joules}$$

Potência :

$$\text{Horse-power (H.P.)} = 746 \text{ Watts}$$

$$\text{Cavalo-vapor (cv)} = 736 \text{ Watts}$$

Circuitos de Corrente Contínua

Resistores

Todos os corpos apresentam resistência elétrica, ou seja, oferecem oposição à passagem de uma corrente elétrica.

A resistência de um corpo é determinada pelas suas dimensões e pelo material que o constitui, e pode variar conforme a sua temperatura.

Se medirmos a resistência de vários corpos condutores, todos com a mesma seção transversal, feitos do mesmo material e na mesma temperatura, verificaremos que apresentará maior resistência aquele que tiver o maior comprimento, o que nos permite concluir que a resistência elétrica é diretamente proporcional ao comprimento do corpo.

Do mesmo modo, se tomarmos vários condutores de comprimentos iguais, todos feitos com o mesmo material e na mesma temperatura, observaremos que apresentará maior resistência o que tiver menor seção transversal, e poderemos concluir que a resistência elétrica é inversamente proporcional à

seção transversal do corpo.

Por último, poderíamos medir a resistência de vários condutores, todos com o mesmo comprimento, a mesma seção transversal e na mesma temperatura, porém feitos de materiais diferentes. Verificaríamos que, apesar de serem iguais os fatores já considerados, haveria diferenças nas medições efetuadas. Isto faz-nos concluir que o material que constitui o corpo, isto é, a sua estrutura, influi na resistência que oferece.

Para, podermos avaliar a influência que os materiais de que são constituídos os corpos exercem sobre as suas resistências elétricas, tomamos amostras dos mesmos com dimensões (comprimento e seção transversal) escolhidas, todas na mesma temperatura, e medimos suas resistências. Os valores encontrados são resistências correspondentes a comprimentos e seções conhecidos, e como sabemos que a resistência é diretamente proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à seção transversal será fácil determinar a resistência de um corpo feito de um determinado material e com seção transversal e comprimento conhecidos.

Os valores a que nos referimos no item anterior são organizados em tabelas, nas quais são esclarecidas as unidades de comprimento e seção utilizadas. Esses valores são conhecidos como resistências específicas ou resistividades dos materiais a que se referem.

Não é difícil concluir que a resistência de um corpo é diretamente proporcional à sua resistividade, que designamos com a letra grega ρ (rho).

Do exposto nos parágrafos anteriores, podemos escrever que

$$R_t = \frac{\rho_t l}{S}$$

R_t = resistência do corpo numa determinada temperatura "t".

l = comprimento do corpo

S = área da seção transversal do corpo

ρ_t = resistividade do material de que é feito o corpo, na mesma temperatura "t" em que se deseja determinar a resistência.

Deduz-se que

$$\rho_t = \frac{R_t S}{l}$$

A resistividade pode ser dada em várias unidades, conforme as unidades escolhidas para "R", "S" e "l", o que pode ser observado na tabela abaixo:

Resistência	ohm	ohm	ohm
Seção	mm ²	m ²	cm ²
Comprimento	m	m	cm
Resistividade	ohm.mm ² /m	ohm.m ² /m ou ohm.m	ohm.cm ² /cm ou ohm.cm

De acordo com o que já foi estudado, é perfeitamente possível fazer um corpo com uma determinada resistência, com o fim específico de, por exemplo, limitar a corrente numa determinada ligação ou produzir uma certa queda de tensão. Esses elementos, encontrados em praticamente todos os aparelhos elétricos e eletrônicos, são os resistores, que são fabricados em formas e valores diversos, bem como para dissipações variadas.

Como é óbvio, não é possível fabricar essas peças em todos os valores que possam ser desejados pelos que projetam equipamentos elétricos ou eletrônicos, de modo que é necessário combiná-los para obter os valores que são requeridos.

Associação de Resistores

Essa combinação ou associação de resistores pode ser efetuada de três modos:

- em série
- em paralelo
- mista

A associação em série resulta num aumento de resistência, pois as resistências dos diversos resistores se somam :

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

R_t = resistência total ou equivalente; R_1 , R_2 , R_3 , etc. = resistências dos diversos resistores.

Obs.: Se todos os resistores tiverem o mesmo valor, bastará multiplicar esse valor pelo número de peças usadas para obter R_t .

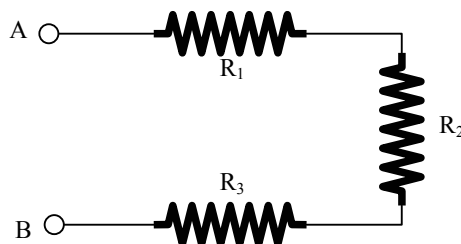
Para ligar resistores em série é necessário unir um dos terminais de um deles a um dos terminais do outro. A resistência total é a que existe entre os terminais livres.

Se fossem três ou mais resistores em série, ligaríamos todos eles de modo a constituírem um único caminho para qualquer coisa que tivesse de se deslocar de um extremo ao outro da ligação.

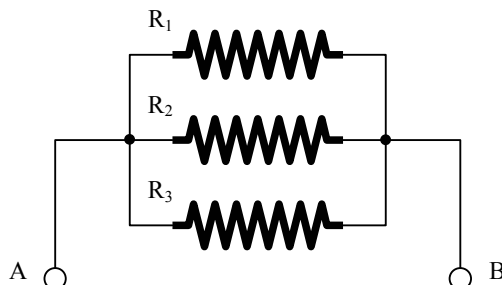
A resistência elétrica de um resistor ou de um corpo qualquer é simbolizada da seguinte maneira:



Uma ligação de resistores em série é representada esquematicamente como se segue:



Associar resistores em paralelo é ligá-los de tal modo que os extremos de cada um fiquem ligados diretamente aos extremos correspondentes dos outros, e os dois pontos que resultam das uniões são os extremos da ligação:



A resistência total neste caso é sempre menor do que o menor valor utilizado na ligação e é determinada do seguinte modo:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Quando trabalhamos com apenas dois resistores, podemos usar a expressão abaixo, derivada da anterior:

$$R_t = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Quando todos os resistores tem valores iguais, basta dividir o valor de um deles pelo número de peças utilizadas na associação:

$$R_t = \frac{R}{n}$$

R = valor de um dos resistores iguais

n = quantidade de elementos usados na associação

Mas, como poderia ser explicada a diminuição de resistência resultante da associação em paralelo?

Tentaremos responder a esta pergunta. Se os terminais de um resistor fossem ligados aos terminais de um gerador, os elétrons que saíssem de um terminal do gerador para o outro disporiam apenas de um caminho, com uma determinada resistência, e a intensidade da corrente seria limitada a um certo valor. Se em seguida ligássemos outro resistor do mesmo modo, outro caminho seria estabelecido, e por esse novo caminho passariam outros elétrons; o número total de elétrons que poderiam passar por segundo de um terminal para outro seria maior do que antes, pois seria a soma das intensidades nos dois caminhos. Ora, embora a ligação de outro resistor não modificasse a situação no primeiro resistor, para todos os efeitos a dificuldade total seria menor, porque o número total de elétrons que se deslocariam por segundo de um terminal para o outro aumentaria, embora a tensão entre os terminais do gerador não tivesse mudado (rever a lei de ohm).

A ligação de outros resistores aumentaria o número de caminhos e, em consequência, maior seria a intensidade total da corrente; como a tensão entre os dois pontos considerados seria sempre a mesma, concluiríamos que a dificuldade total oferecida pelo conjunto de resistores seria menor do que quando tínhamos apenas um resistor.

O que foi afirmado nos parágrafos anteriores se aplica também à associação de quaisquer outros elementos que apresentem resistência elétrica e que sejam associados nas formas estudadas.

A associação mista é simplesmente a combinação das formas anteriores, e apresenta

simultaneamente as características mencionadas.

Circuitos de C. C .

Para que tenhamos um circuito basta que liguemos um dispositivo elétrico qualquer a um gerador (ou qualquer coisa que nos proporcione uma diferença de potencial). O dispositivo que recebe a energia elétrica fornecida pelo gerador é chamado carga ou consumidor. A ligação da carga ao gerador é feita quase sempre por meio de fios de material condutor de eletricidade.

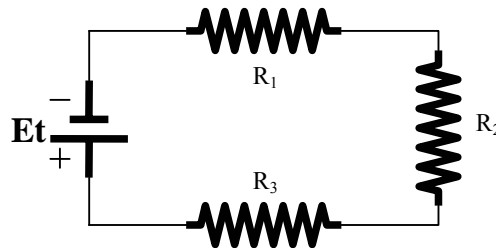
Vários aparelhos ou peças podem ser ligados ao mesmo gerador (à mesma fonte de eletricidade), constituindo circuitos mais complexos.

De acordo com o modo como estão ligados todos os elementos que atuam como consumidores de energia no circuito, este pode ser classificado em um dos três tipos abaixo:

- série
- paralelo
- misto

Características de circuitos em série

Num circuito em série, todos os elementos ligados à fonte estão em série, e os elétrons dispõem de um único caminho unindo os terminais da fonte.



Neste tipo de circuito, a dificuldade total oferecida à passagem dos elétrons é dada pela equação já estudada para a associação de resistores em série:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

R_t = resistência total ou equivalente; R_1 , R_2 , R_3 , etc. = resistências dos diversos resistores ligados à fonte.

A intensidade da corrente é a mesma em qualquer parte do circuito, isto é, em qualquer seção do circuito estará passando o mesmo número de elétrons por segundo.

Vejamos um fato com certa semelhança, para compreendermos este fenômeno. Se numa rua estivesse sendo realizada uma parada militar, e todos os soldados marchassem com a mesma cadência, várias pessoas colocadas em pontos diferentes da rua veriam passar o mesmo número de soldados na unidade de tempo. Assim acontece com os elétrons em movimento no circuito em série. É conveniente frisar que não são os mesmos elétrons que passam na unidade de tempo em todos os pontos do circuito, e que o importante é a quantidade de elétrons que passam na unidade de tempo em qualquer ponto do circuito pois disto é que dependem os efeitos da corrente elétrica.

Do exposto,

$$I_t = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$$

I_t = corrente total, ou seja, número de elétrons que deixam por segundo o terminal negativo da fonte (ou que chegam por segundo ao terminal positivo da fonte).

I_1, I_2, I_3 , etc. = designações dadas à corrente ao passar pelos elementos cujas resistências são, respectivamente, R_1, R_2, R_3 , etc.

A diferença de potencial entre os terminais da fonte é igual à soma das diferenças de potencial entre os extremos de cada um dos elementos associados em série, e que constituem a carga do circuito:

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

- E_t = ddp entre os terminais do gerador (fonte), com o circuito em funcionamento; tensão aplicada aos elementos alimentados pela fonte.
- E_1, E_2, E_3 , etc. = ddp entre os terminais, respectivamente, de R_1, R_2, R_3 , etc.

Esta afirmação está de acordo com o que estudamos a respeito de tensão e queda de tensão; a energia gasta para transportar um coulomb de um terminal a outro do gerador (tensão total) deve ser igual à soma das energias gastas para fazer o mesmo coulomb atravessar todos os componentes do circuito (tensões parciais ou quedas de tensão).

Características de Circuitos em Paralelo

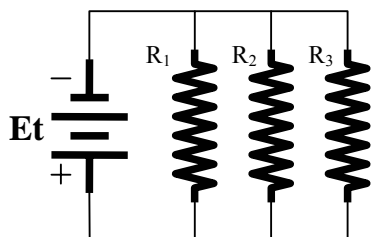
Num circuito em paralelo, todos os elementos ligados à fonte estão em paralelo e, assim, os elétrons dispõem de vários caminhos ligando os terminais da fonte.

A resistência total é calculada como foi estudado na associação de resistores em paralelo:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

R_t = resistência total dos diversos componentes associados em paralelo e ligados ao gerador (fonte).

R_1, R_2, R_3 , etc. = resistências dos componentes.



A intensidade total da corrente (número total de elétrons que abandonam o terminal negativo da fonte em cada segundo, ou que chegam ao terminal positivo em cada segundo) é a soma das intensidades medidas nos diversos braços (diversas derivações) do circuito:

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

A explicação dada para justificar a diminuição da resistência na associação de resistores em paralelo se aplica a esta equação.

Como neste tipo de circuito os terminais de cada componente devem ser ligados aos terminais da fonte, cada um deles está sendo submetido à diferença de potencial que existe entre os terminais da fonte.

Portanto,

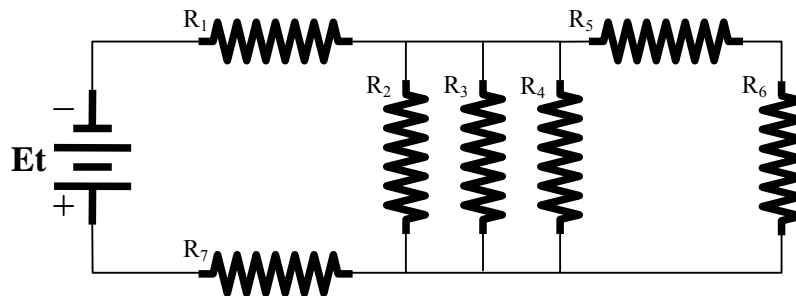
$$E_t = E_1 = E_2 = E_3 = \dots$$

E_t = ddp entre os terminais da fonte, com o circuito em funcionamento.

E_1, E_2, E_3 , etc. = ddp entre os terminais, respectivamente; de R_1, R_2, R_3 , etc.

Características dos Circuitos Mistos

Estes circuitos apresentam, simultaneamente, as características dos circuitos em série e em paralelo, pois são combinações dos dois tipos.



Observações

Todos os geradores ou fontes de alimentação apresentam resistência própria, que é conhecida como resistência interna. Esse valor deve ser computado como se fosse um dos componentes do circuito, em série com o conjunto dos outros componentes. Quando consideramos a resistência interna da fonte, o valor de E_t (em qualquer circuito) corresponde à diferença de potencial entre os terminais da fonte, sem qualquer coisa ligada aos mesmos (fonte em circuito aberto). É necessário lembrar que a energia gasta para levar um coulomb de um terminal ao outro da fonte inclui, a parcela gasta internamente na própria fonte.

Assim, é comum limitar o uso da expressão força eletromotriz para designar a ddp entre os terminais da fonte quando nada está ligado aos mesmos; a força eletromotriz de uma fonte é, portanto, sempre maior do que a ddp entre seus terminais, quando ela está alimentando um circuito qualquer.

EXEMPLOS:

1 - Três resistores (10, 30 e 50 ohms) foram ligados em série. Em seguida foi aplicada ao conjunto uma tensão de 270 V. Determinar: a) R_t ; b) I_t, I_1, I_2, I_3 ; c) E_t, E_1, E_2, E_3 ; d) energia total gasta no circuito em 3 horas; e) potência em R_3

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 30 + 50 = 90 \text{ ohms}$$

$$I_t = E_t / R_t = 270 / 90 = 3 \text{ A}$$

$$I_t = I_1 = I_2 = I_3 = 3 \text{ A}$$

$$E_1 = I_1 R_1 = 3 \times 10 = 30 \text{ V}$$

$$E_2 = I_2 R_2 = 3 \times 30 = 90 \text{ V}$$

$$E_3 = I_3 R_3 = 3 \times 50 = 150 \text{ V}$$

$$W_t = E_t I_t = 270 \times 3 = 2430 \text{ Wh}$$

$$P_3 = E_3 I_3 = 150 \times 3 = 450 \text{ W}$$

2 - Quatro resistores de, respectivamente, 2, 4, 12 e 60 ohms foram associados em paralelo. O conjunto foi ligado a uma fonte de tensão desconhecida. Determinar a tensão da fonte e a intensidade da corrente que ela fornece, sabendo que a tensão medida entre os terminais do resistor de 12 ohms foi de 240 V. Determinar ainda a resistência total.

$$E_t = E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = 240 \text{ V}$$

$$I_1 = E_t / R_1 = 240 / 2 = 120 \text{ A}$$

$$I_2 = E_t / R_2 = 240 / 4 = 60 \text{ A}$$

$$I_3 = E_t / R_3 = 240 / 12 = 20 \text{ A}$$

$$I_4 = E_t / R_4 = 240 / 60 = 4 \text{ A}$$

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 204 \text{ A}$$

$$R_t = E_t / I_t = 240 / 204 = 1.17 \text{ ohm}$$

Medidores Elétricos Clássicos

Um medidor elétrico tem a finalidade de determinar os valores de grandezas elétricas, tais como a tensão, a corrente e a potência.

De um modo geral, os medidores funcionam em consequência de fenômenos eletrostáticos ou de ações de campos magnéticos sobre condutores que conduzem correntes ou sobre peças de material magnético.

Galvanômetro

É um dispositivo que tem a finalidade de acusar a existência de uma corrente elétrica e, quase sempre, o seu sentido. Não é propriamente um instrumento de medição, embora seja a base de um grande número de medidores. O tipo mais conhecido é o galvanômetro de D'Arsonval.

Amperímetro

Destina-se a medir a intensidade de uma corrente elétrica. Deve ser ligado, portanto, em série com o elemento do circuito no qual se deseja saber qual a corrente que está fluindo.

Para que o circuito não sofra alteração apreciável, o amperímetro deve ter a menor resistência interna possível.

O amperímetro é um galvanômetro preparado para medir correntes. Como vimos, o galvanômetro apenas acusa a existência de uma corrente, não possuindo mostrador graduado em unidades de intensidade de corrente elétrica, porque não há o objetivo de medir. Outro detalhe importantíssimo é o de que a agulha indicadora (ponteiro) do instrumento sofre uma deflexão total (percorre toda a extensão do mostrador), quando o galvanômetro é percorrido por uma corrente pequeníssima.

Para que o galvanômetro possa acusar correntes maiores e medi-las, é ligado em paralelo com um resistor de valor muito menor que a sua resistência interna e se usa um mostrador graduado. Este resistor (chamado "SHUNT") desvia o excesso de corrente, protegendo o instrumento e permitindo a medição de correntes grandes. Se o instrumento é preparado para medir ampères, é chamado amperímetro, se é feito para medir miliampères ou microampères, é um miliamperímetro ou um microamperímetro. O cálculo do "shunt" é uma simples aplicação da lei de Ohm.

Voltímetro

O voltímetro mede tensão. É um galvanômetro ligado em série com um resistor (resistência multiplicadora), de modo que a corrente máxima que produz a deflexão do ponteiro do galvanômetro não é ultrapassada, quando o conjunto é utilizado para efetuar uma medição de tensão.

Os terminais do instrumento são aplicados aos pontos entre os quais se deseja medir a ddp, isto é, o voltímetro é ligado em paralelo com o elemento ou parte do circuito entre cujos extremos se deseja conhecer a diferença de potencial. É evidente que este instrumento deve ter uma resistência interna (galvanômetro + resistência multiplicadora) muito grande, para não afetar sensivelmente as características do circuito.

Observações Comuns

Estes instrumentos podem ser construídos para uso em CC, em CA ou em ambas as correntes.

Um instrumento feito para medições em circuitos de CC não deve ser usado em CA; da mesma forma, um instrumento feito para uso apenas em CA não deve ser usado em CC.

Outro ponto importante no uso dos instrumentos é a questão da polaridade. Os instrumentos de CC têm os seus terminais marcados (+) e (-) (ou outra indicação qualquer), esclarecendo qual o terminal que deve ser ligado ao ponto de onde vêm os elétrons (-) e o que deve ser ligado ao ponto para onde se dirigem os elétrons (+). Os instrumentos para CA, não apresentam problema de polaridade.

Ao se efetuar uma medição é necessário verificar se o maior valor na escala do medidor é superior ao provável valor da grandeza a ser medida.

Wattímetro

Trata-se de um medidor de potência. É, praticamente, um conjunto formado por um amperímetro e um voltímetro. Em CA, como estudamos, indica apenas a potência real.

Ohmímetro

É um circuito constituído basicamente por um medidor de corrente em série com um resistor e uma fonte de CC (uma bateria). O circuito está normalmente aberto, e seus terminais livres são as pontas de prova do ohmímetro. O valor do resistor é tal que, quando as pontas de prova se tocam, fechando o circuito, o ponteiro do medidor sofre uma deflexão total.

Se o circuito do ohmímetro for fechado por intermédio de uma peça colocada entre as pontas de prova, a resistência do circuito será maior do que antes e a deflexão do ponteiro do instrumento não será total.

O medidor pode ser graduado em ohms, correspondendo a deflexão total (pontas de prova em curto) à resistência zero e a posição de repouso da agulha do instrumento (circuito aberto) à resistência infinita.

Com o tempo, a bateria se descarrega e, por isso, é normal o uso de um resistor variável em lugar do resistor fixo, para permitir a deflexão total com as pontas de prova em curto; a este ajuste chamamos de ajuste do zero.

A resistência elétrica dos corpos é medida também por outros processos, entre os quais a ponte de Wheatstone, já estudada.

Um ohmímetro nunca deve ser aplicado a um circuito quando este está em funcionamento; o circuito deve estar desligado.

Multímetro

Multímetros são aparelhos que podem funcionar como medidores de tensão, de corrente e de resistência, e, às vezes, para medir ainda outras grandezas. Isto se consegue com uma chave seletora que liga ao galvanômetro um "SHUNT", uma resistência multiplicadora ou o conjunto que caracteriza o ohmímetro, permitindo o funcionamento do aparelho na função desejada.

Baterias e Associações

As pilhas são dispositivos que transformam energia química em energia elétrica. A denominação de pilha tem sua origem no aspecto do primeiro dispositivo desta espécie, construído por Alexandre Volta. A pilha de Volta apresentava-se como uma coluna (pilha) de discos de metais diferentes, dispostos alternadamente e separados por rodela de feltro embebida em solução química. Hoje as pilhas não têm esse aspecto e são mais elaboradas.

Os principais elementos constituintes de uma pilha são os seus eletrodos e o seu eletrólito. Os eletrodos são dois materiais diferentes (o cobre e o zinco, por exemplo) que, ao serem imersos numa solução química (o eletrólito) adquirem cargas elétricas e assim se estabelece uma força eletromotriz entre eles. Quando o eletrólito de uma pilha se apresenta na forma líquida, dizemos que a pilha é úmida; quando o eletrólito é aplicado na forma de uma pasta, dizemos que se trata de uma pilha seca.

As pilhas podem ser classificadas ainda em dois tipos gerais: primárias e secundárias. Na pilha primária, um dos eletrodos é consumido gradualmente durante o funcionamento da mesma, sem a possibilidade de recuperação do material, pois as reações químicas no seu interior são irreversíveis. Nas secundárias, as reações químicas produzem transformações reversíveis, e os materiais podem ser recuperados com a passagem de uma corrente elétrica pela pilha, em sentido contrário ao da corrente de descarga da mesma.

Características de uma pilha

As características são as seguintes :

- a) força eletromotriz;
- b) resistência interna;
- c) potência;
- d) regime ou débito normal;
- e) capacidade.

A força eletromotriz de uma pilha é a diferença de potencial entre os seus terminais, em circuito aberto. É independente das dimensões da pilha e só depende da natureza dos materiais empregados na sua construção.

Quando tratamos da resistência interna de uma pilha temos que considerar o eletrólito. Os fatores que determinam a resistência de um condutor sólido também influem na resistência do eletrólito. Numa pilha, o comprimento do eletrólito é a distância entre os eletrodos, e a área da seção transversal é a área média das superfícies imersas dos mesmos. A resistência interna da pilha depende diretamente da distância entre os eletrodos e inversamente da área da parte imersa dos mesmos.

Mas, a resistência interna depende ainda da natureza do eletrólito e de sua deterioração com o envelhecimento da pilha; a resistência interna aumenta com a deterioração do eletrólito. A resistência interna deve ser a menor possível, pois a ddp entre os terminais da pilha cai quando ela está fornecendo corrente, devido à sua resistência interna. Quando nada está ligado à pilha (circuito aberto), e, portanto, não há corrente elétrica, a ddp entre seus terminais é a sua força eletromotriz.

Em circuito fechado, isto é, quando a pilha fornece corrente a um circuito externo, a corrente também existe internamente na pilha, havendo uma queda de tensão no seu interior; a ddp entre os terminais da pilha é, então, menor do que a força eletromotriz gerada. A tensão entre os terminais da pilha (E_f) é igual à força eletromotriz (E_a) menos a queda de tensão interna (E_I):

$$E_f = E_a - E_I$$

A potência total de uma pilha, ou seja, a energia total que produz por segundo, é o produto da sua força eletromotriz pela corrente que fornece:

$$P = E_a I$$

A potência útil (energia fornecida por segundo ao circuito externo) é o produto da tensão em circuito fechado pela corrente fornecida:

$$P_u = E_f I$$

O débito normal de uma pilha é a corrente máxima que pode fornecer sem possibilidade de polarização, fenômeno este que reduz a força eletromotriz. Esta característica depende das dimensões e do tipo de pilha. A capacidade de uma pilha é a quantidade de eletricidade que ela pode fornecer; depende principalmente da quantidade e do tipo de material ativo, bem como da densidade do eletrólito. Varia de acordo com o período em que se processa a descarga da pilha, e com a temperatura.

Polarização

Quando uma pilha está fornecendo corrente, parte do hidrogênio libertado nas reações químicas deixa a pilha, escapando para a atmosfera, porém o restante fica em torno do eletrodo positivo, não permitindo que este faça bom contato com o eletrólito. Este fenômeno implica não só na redução da tensão entre os terminais da pilha, como foi citado em parágrafo anterior, como também no aumento da resistência interna. Para diminuir o efeito da polarização, são usadas substâncias que se combinam com o hidrogênio, ou que evitam sua formação, chamadas despolarizantes.

Pilha Primária de Zinco-Carvão

Este tipo de pilha, principalmente em forma de PILHA SECA, tem grande aplicação em rádios, telefones, lanternas, etc. São as seguintes as suas características principais:

- Eletrólito: Cloreto de amônio (NH_4Cl) ou cloreto de manganês (MnCl_2).
- Eletrodos: Zinco (-) e Carvão (+).
- Despolarizante: Bióxido de manganês (MnO_2)

Pilha Secundária de Chumbo-Ácido

Este tipo de pilha tem também grande aplicação (automóveis, aviões, etc.). O fato de ser recarregável representa, sem dúvida, uma grande vantagem, e uma análise atenta de suas características principais justifica sua grande utilização.

Associação de Pilhas

Uma pilha tem força eletromotriz e capacidade muito pequenas. A força eletromotriz máxima que se pode obter de uma pilha é pouco mais de 2 volts, e a não ser que a pilha tenha dimensões muito grandes, sua capacidade é reduzida. Contudo, é possível obter tensões bem mais altas, aliadas a maiores capacidades, agrupando as pilhas de três modos diferentes :

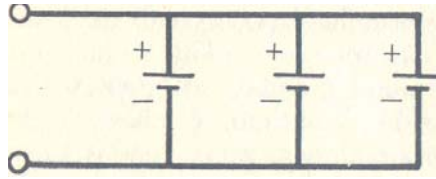
- Série
- Paralelo
- Mista

Esses conjuntos de pilhas são chamados baterias.

Na associação em série, unimos os terminais diferentes de pilhas adjacentes. O terminal livre de cada pilha situado numa das extremidades da ligação é um dos terminais da bateria.



Na ligação em paralelo, todos os eletrodos positivos são unidos, o mesmo acontecendo com os negativos. Deste modo, todos os eletrodos de polaridades iguais ficam no mesmo potencial e, assim, a força eletromotriz da bateria é a mesma de uma única pilha.



Série

A força eletromotriz "E" da bateria é igual à soma das forças eletromotrizes das diversas pilhas associadas. Se a bateria é formada por "n" elementos idênticos temos:

$$E = ne$$

A resistência da bateria é igual à soma das resistências internas das pilhas. Se a bateria é formada por "n" elementos iguais de resistência interna "r", e se "R" é a resistência externa, a resistência total é

$$nr + R$$

e, de acordo com a lei de Ohm, podemos escrever:

$$I = \frac{ne}{nr + R}$$

Este tipo de ligação é vantajoso, sobretudo quando as resistências externas são grandes.

Paralelo

Este tipo de ligação, também chamado de associação em derivação, em quantidade ou em superfície, apresenta maior vantagem quando as resistências externas são pequenas.

Supondo que todos os elementos são idênticos, temos que:

- a força eletromotriz da bateria é a mesma que a de uma única pilha: $E = e$
- a resistência da bateria é igual à de um elemento dividida pelo número de dispositivos utilizados: $\frac{r}{n}$

A intensidade da corrente fornecida será então, de acordo com a lei de Ohm, e considerando a resistência externa do circuito :

$$I = \frac{e}{\frac{r}{n} + R} = \frac{e}{\frac{r + Rn}{n}} = \frac{ne}{r + Rn}$$

Mista

A ligação mista é uma combinação dos dois tipos já estudados e apresenta simultaneamente as características mencionadas nos parágrafos anteriores.

Pilhas em oposição

Quando ligamos pilhas em série, e qualquer uma delas é invertida, a força eletromotriz total sofre uma redução, porém a resistência interna total continua a mesma.

A força eletromotriz total é a soma das forças eletromotrizes do grupo maior de pilhas, agindo num sentido, menos a força eletromotriz total do grupo menor agindo em sentido oposto, em outras palavras, a força eletromotriz total é a soma algébrica das diversas forças eletromotrizes.