



1. Lei de Joule

Quando uma corrente eléctrica passa através de um condutor os electrões livres, no seu movimento forçado e orientado, chocam com as moléculas desse condutor provocando o seu aquecimento. Há assim, transformação da energia eléctrica em calor.

Ao efeito da corrente eléctrica que passa num condutor chama-se efeito calorífico ou efeito de Joule pois foi este cientista que primeiro o estudou.

A lei de Joule pode assim enunciar-se: “quando passa uma corrente eléctrica num condutor, a energia eléctrica transformada em energia calorífica é proporcional ao quadrado da intensidade de corrente, à resistência do condutor e ao tempo durante o qual a corrente passa”

O enunciado desta lei traduz-se pela seguinte fórmula:

$$E=RI^2t$$

R em Ω ; I em A; t em s; E em J

O efeito de Joule é muitas vezes avaliado na unidade de tempo, o segundo. Assim obtemos a fórmula, em que t corresponde a um segundo:

$$P=RI^2$$

Esta fórmula dá o valor da potência dissipada por efeito de Joule em qualquer aparelho, tanto em corrente contínua como em corrente alternada.

Há recetores em que a energia eléctrica é unicamente transformada em energia calorífica, chamados de recetores caloríficos, tendo como exemplos: o irradiador, o fogão eléctrico, o ferro de engomar, etc. Nestes recetores toda a energia absorvida é igual à energia útil, sendo o seu rendimento $\eta=100\%$.

$$E_a=UIt = E_u=RI^2t$$

E_a : energia absorvida; E_u : energia útil

Ou, avaliado na unidade de tempo, potência absorvida igual à potência útil

$$P_a=UI = P_u=RI^2$$

Destas igualdades resulta a lei de Ohm [$U=RI$] que se aplica unicamente aos recetores puramente térmicos, muitas vezes designadas por resistências mortas ou resistências puras, ou simplesmente por resistências.

Outros recetores transformam energia eléctrica absorvida $E_a=UIt$ em energia mecânica (movimento) como nos motores eléctricos (aspirador, batedeira, etc.). Contudo além destas transformações de energia há o efeito de Joule embora reduzido o que é um inconveniente, pois há perda de energia sem utilidade, a qual não podemos evitar mas apenas limitar. Neste caso, a energia perdida por efeito de Joule é: $E_j=RI^2t$, ou na sua unidade de tempo $P_j=RI^2$.

Há ainda utilizações da energia eléctrica em que se pretende energia mecânica e energia calorífica, como seja nos secadores de cabelo.

2. Unidades

A unidade de energia do Sistema Internacional de Unidades, para qualquer tipo, é o Joule (J).

Para a energia calorífica utiliza-se uma unidade mais prática, a caloria (cal).

A relação entre a caloria e o joule é a seguinte:

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$$

3. Condutores

No caso dos condutores de cobre utilizados nas instalações eléctricas, a temperatura de equilíbrio não deve ultrapassar em mais de 30°C a temperatura ambiente, para que o isolamento não seja danificado.

4. Inconvenientes da Lei de Joule

a. Aquecimentos indesejáveis

Em determinadas aplicações da energia eléctrica, nomeadamente nos motores e geradores eléctricos, o efeito de Joule é indesejável, pois constitui uma perda de energia.

b. Perdas nas linhas eléctricas

A corrente, ao percorrer os condutores eléctricos, ocasiona o efeito de Joule.

c. Limitação de intensidade de corrente nos condutores

A libertação de energia calorífica nos condutores, quando estes são percorridos por uma corrente eléctrica, eleva a sua temperatura. O condutor vai cedendo energia calorífica aos corpos vizinhos (isolamento, ar, etc.) até que se atinge uma temperatura de equilíbrio quando a energia dissipada por efeito de Joule é igual à energia cedida.

Os isolamentos dos condutores (PVC, verniz, papel, etc.) são fabricados para suportarem determinada temperatura máxima permanentemente. Quando se ultrapassa essa temperatura estes vão envelhecendo, ou seja, vão perdendo qualidades de isolamento mais ou menos consoante a temperatura atingida e o tempo durante o qual se mantém.

Por outro lado para intensidades de corrente muito elevadas os condutores podem fundir.

d. Perigo de incêndio em curtos-circuitos

Há curto-circuito quando dois pontos de um circuito ficam ligados por meio de uma resistência quase nula. Em muitos casos de curto-circuito são os dois condutores que se tocam directamente por deterioração do isolamento. Neste caso a resistência de contacto é quase nula, o que provoca intensidades de corrente bastante elevadas e conseqüentemente grande quantidade de calor



libertado por efeito de Joule que leva à fusão dos próprios condutores dando origem à ocorrência de incêndios.

e. Aquecimentos excessivos nos maus contactos

Num circuito eléctrico, quando há maus contactos nas ligações dos elementos condutores surge uma resistência anormal no circuito, ou seja, uma resistência de contacto.

Quanto pior for o contacto mais elevada é a resistência de contacto o que implica que há um desenvolvimento de energia calorífica anormal por efeito de Joule. Assim as ligações aquecem exageradamente, podendo destruir-se.

5. Aplicações do Efeito de Joule

a. Aquecimento

O calor desenvolvido por efeito de Joule tem inúmeras aplicações viabilizadas por aparelhos:

- Aquecimento de edifícios por meio de irradiadores e convectores;
- Aparelhos electrodomésticos: fogão, ferro de engomar, cafeteira eléctrica, grelhador, etc;
- Estufas de secagem de aparelhos e fornos com diversos fins;
- Soldadura Eléctrica.

b. Iluminação por incandescência

As lâmpadas de incandescência têm um filamento de tungsténio que percorrido pela corrente eléctrica pode atingir temperaturas da ordem dos 2000°C. A essa temperatura o filamento emite luz.

c. Fusíveis

Os cortacircuitos fusíveis, denominados geralmente por fusíveis, são aparelhos que contêm um condutor que é colocado em série num circuito. Em funcionamento normal do circuito há um aquecimento do condutor fusível bem superior ao da restante instalação e logo que a intensidade da corrente excede um certo valor considerado como limite de funcionamento normal, o fusível, devido ao seu ponto de fusão, interrompe o circuito evitando que este se danifique. O fusível protegeu, assim, o circuito contra correntes excessivas.



Os fusíveis caracterizam-se pela sua intensidade de corrente nominal e pela sua tensão nominal, tensão máxima a que podem ser ligados.

Corrente nominal (I_n): é a intensidade de corrente com a qual o fusível se mantém indefinidamente em funcionamento normal.

Poder de corte: é a maior intensidade de corrente que um fusível é capaz de cortar com toda a segurança. Este valor está ligado à tensão e ao fator de potência de utilização normal do fusível.

Quando da substituição de um fusível, começamos por desligar o interruptor geral da instalação, de seguida procura-se a causa que provocou o curto-circuito, por fim coloca-se o fusível novo.

Nota: nunca utilizar um arame para compor um fusível.

d. Relés térmicos

Constituídos por lâminas bimetálicas, ou seja, lâmina metálica formada por um conjunto de duas lâminas de metais diferentes e que têm diferentes pontos de dilatação. À temperatura normal as duas lâminas encontram-se direitas, mas quando há um determinado aquecimento uma das lâminas dilata mais que a outra e a lâmina bimetálica curva.

São as extremidades livres das lâminas bimetálicas que vão atuar sobre um contacto auxiliar, como é o caso dos relés, ou podem fazer disparar uma mola, como é o caso dos disparadores.

6. Resistências fixas e variáveis

Resistência é a oposição oferecida pelos materiais à passagem da corrente eléctrica, restituindo sob a forma de calor toda a energia eléctrica que recebe.

Simbologia

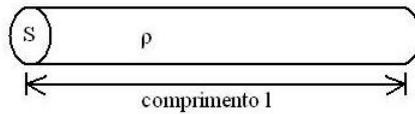
Símbolo	Designação
	Resistência símbolo geral
	Resistência pura
	Elementos de aquecimento
	Resistência variável

Fatores que intervêm na resistência eléctrica: natureza da substância; comprimento; secção; temperatura.

Resistividade é a resistência de uma amostra do material tendo uma secção e um comprimento igual à unidade. A resistividade é representada pela letra ρ (lê-se ró) e é uma constante do material que constitui o condutor. A sua equação é:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

R é a resistência em Ω ; ρ é a resistividade em mm^2/m ; l comprimento em m (metro); secção mm^2



Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica/leis-de-ohm/>

Tabela de resistividades para a temperatura de 20°C

Material	Resistividade
Prata	0,016
Cobre	0,017
Zinco	0,061
Alumínio	0,030
Ferro doce	0,130
Mercúrio	0,950
Carvão	60

Fonte: <http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/166/37/>

Condutividade eléctrica ou condutância específica é a propriedade que os materiais têm de conduzir a corrente eléctrica com maior ou menor facilidade. A prata é o material que apresenta a melhor condutibilidade eléctrica. A sua fórmula revela que a condutividade eléctrica é o inverso da resistividade eléctrica

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

σ (lê-se sigma) é a condutividade eléctrica em $(\Omega\text{m})^{-1}$; ρ é a resistividade em Ωm

Resistência variável é uma resistência cujos valores podem ser ajustados por um movimento mecânico, por exemplo, rodando manualmente. As resistências variáveis podem ser de volta simples ou de múltiplas voltas com um elemento helicoidal. Alguns têm um mostrador mecânico para contar as voltas.

Reóstato é uma resistência variável com dois terminais, sendo um fixo e o outro deslizante. Geralmente são utilizados com altas correntes.



Fonte: <http://efisica.if.usp.br/apoio/equipamentos.php>

Potenciómetro é um tipo de resistência variável comum, muito utilizados na electrónica.



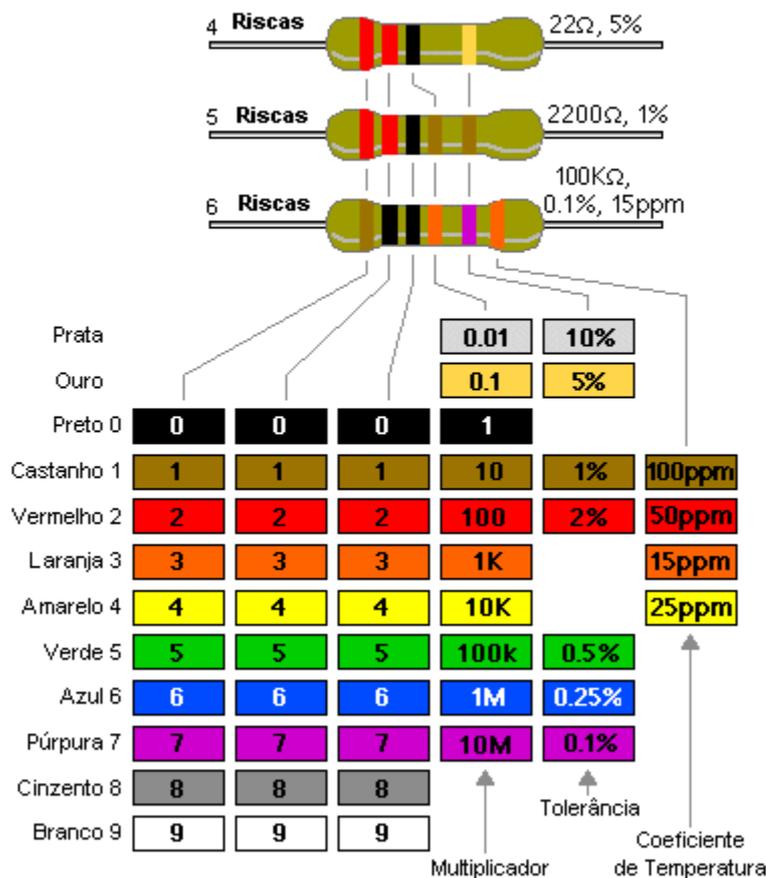
Fonte: http://automacao-criativa.blogspot.pt/2011_11_01_archive.html

7. Resistência de isolamento

Quando um material isolante separa dois condutores sob influência de uma diferença de potencial, aparecem correntes de fuga. A resistência de isolamento corresponde à resistência que o isolante oferece à passagem dessa corrente de fuga, a qual pode circular através da massa isolante ou pela sua superfície. À primeira corresponde a resistência de isolamento volumétrica e à segunda a resistência de isolamento superficial.

8. Códigos de resistências

Tabela de Cores para Resistencias



Fonte: http://elektronika.blogspot.pt/2011_05_01_archive.html

Exemplo para uma resistência com 4 riscas:



Fonte: http://elektronika.blogspot.pt/2011_05_01_archive.html

As duas primeiras cores, Amarelo (4) e Violeta (7) formam o número 47. A terceira cor, laranja (3), corresponde ao expoente da potência de dez, 10^3 ; a quarta cor, prata (10%), indica a tolerância. Assim, a resistência eléctrica tem o valor de $47000 \Omega \pm 10\%$.



8. Características do disco elétrico

As resistências de aquecimento convertem energia elétrica em energia calorífica por efeito de Joule, descoberto por James Prescott Joule em 1841.

Atualmente as resistências de aquecimento são utilizadas para uma infinidade de aplicações. A grande maioria delas é fabricada com um fio de uma liga, Nícrómio, composta por 80% de níquel e 20% de crómio. Esta liga suporta altas temperaturas, na ordem dos 1000 °C, é resistiva $\rho=1,1 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$, condição necessária para produzir calor, muito resistente aos impactos e é inoxidável. Existem vários tipos de resistências elétricas quanto à sua forma, secção e tamanho. No caso das resistências tubulares, que se encontram nos termoacumuladores, fogões e fornos elétricos, podem ser fabricadas em diversas configurações e com diferentes diâmetros, conforme a necessidade da aplicação. Consiste basicamente numa mola espiral de Nícrómio (é o nome dado às ligas baseadas em Níquel (Ni) e Crómio (Cr)) NiCr 80/20, milimetricamente centralizada, blindada e compactada em óxido de magnésio, proteção em inox, cobre e aço.



Sondas de temperatura

Existem vários tipos de sondas de temperatura, com várias tecnologias e diferentes formatos. Estas sondas são um tipo de sensores muito utilizados em diversos campos da indústria. Os sensores podem ser do tipo termopar ou resistivo. Os de tipo termopar geram uma força electromotora (mV) quando a temperatura da zona quente do termopar (que está em contacto com a fonte de calor) é diferente da temperatura da zona fria. Este valor corresponde a uma temperatura específica de acordo com os padrões internacionais. Existem termopares do tipo J, K, S, etc.

Os sensores do tipo resistivos usam as variações da resistividade dos materiais com a temperatura. O valor medido corresponde a um valor de temperatura segundo os padrões internacionais. Estes tipos de sensores podem ser do tipo PT100.

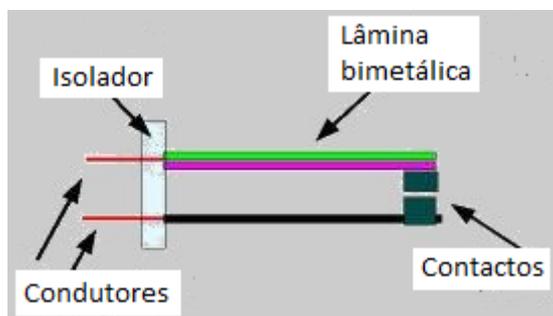
Termostato

O termostato é um dispositivo destinado a manter constante a temperatura de um determinado sistema, através de regulação automática, e tem como função impedir que a temperatura de determinado sistema varie além de certos limites preestabelecidos. Um mecanismo desse tipo é composto, fundamentalmente, por dois elementos: um indica a variação térmica sofrida pelo sistema e é chamado de elemento sensor; o outro controla essa variação e corrige os desvios de temperatura, mantendo-a dentro do intervalo desejado.

Os termostatos controlam a temperatura dos frigoríficos, ferros eléctricos, ar condicionado, etc.

Termostatos de lâmina bimetálica

Este tipo de termostato utiliza o coeficiente de dilatação específico de cada uma das lâminas metálicas para o seu funcionamento, são muito comuns devido à sua simplicidade, estabilidade e baixo custo. A própria lâmina bimetálica é parte integrante do interruptor e tem num dos seus extremos um dos contactos, que encurva com a temperatura, e a própria lâmina abre e fecha o circuito. É muito comum o seu uso nos fornos de engomar, fornos eléctricos e estufas eléctricas. A temperatura pode ser regulada, porque o termostato encontra-se dentro do volume de controlo, ou porque o fluxo de corrente aquece a lâmina bimetálica.



Esquema do termóstato. Fonte: <http://www.sabelotodo.org/electrotecnia/termostato.html>

9. Ligação da parte eléctrica

Muito importante:

A ligação do fogão à rede eléctrica deve ser efetuada por uma pessoa qualificada e seguindo as normas de segurança em vigor.

Deve ser prevista na canalização fixa um meio para desligar o fogão da rede de alimentação conforme as regras de instalação.

Antes de proceder à ligação do fogão, verificar se a instalação eléctrica e o dispositivo de proteção estão de acordo com as características técnicas do aparelho (ver placa de características ou quadro de características técnicas).

Os aparelhos estão dotados de cabo de alimentação e preparados para funcionar com uma frequência de 50/60 Hz. De acordo com os modelos a alimentação eléctrica pode ser monofásica,



bifásica ou trifásica. Nos aparelhos com ficha, deve ligar a ficha a uma tomada de corrente com contacto de terra.

Para proceder à ligação do cabo de alimentação à rede é necessário ter em consideração:

- o cabo verde/amarelo (de segurança) deva estar ligado com a o fio de terra;
- o cabo azul é um cabo neutro;
- os cabos: castanho, preto ou vermelho são cabos fase (live);
- nenhum cabo deve ter contacto com as superfícies aquecidas superiores aos 50°C;
- se o fogão for fornecido sem cabo, será necessário usar um cabo do tipo H05VV-F (monofásico) ou H05RR-F (trifásico).

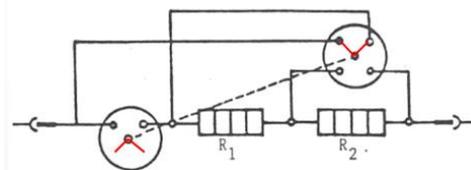
Para proceder à transformação atuar com base nos esquemas:

monofásica 220 - 240 V 2 + 1 condutores	bifásica 380 - 415 V 2N 3 + 1 condutores	trifásica 380 - 415 V 3N 4 + 1 condutores

Nota: o texto referente à ligação da parte elétrica foi retirado integralmente do manual de instruções dos fogões Meireles.

10. Princípio de funcionamento do comutador de aquecimento

Num comutador de seis saídas de aquecimento, o botão de controlo de sete posições intercala três resistências de aquecimento de diferentes categorias em série ou em paralelo. Como resultado temos seis saídas de aquecimento diferentes que resultam nos diferentes processos de confeção, e da quantidade de alimentos a confeccionar. São empregados materiais de alta qualidade, a fim de garantirem um desempenho confiável a longo prazo.



Exemplo de duas resistências ligadas em série

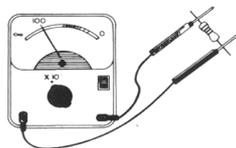
11. Aparelhos de medida (ohmímetro e wattímetro)

Ohmímetro

O ohmímetro é um aparelho de medida elétrica que permite efetuar a leitura da resistência elétrica de um material, seja ele condutor ou isolador, bem como verificar a continuidade de um circuito elétrico.

Utilização do ohmímetro

Ao efetuar a leitura de uma resistência esta deve ser retirada do circuito, para que não se faça a leitura das resistências que estejam na sua vizinhança.



Medição da resistência elétrica.

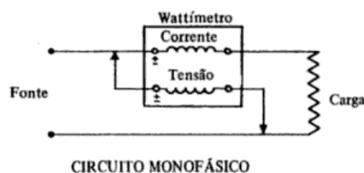
Fonte: http://www.pinetreerf.com.br/pages/espaco_tecnico/conclnstrMedidas/conceitosInstMedidas.html

Wattímetro

O wattímetro é um aparelho que permite medir a potência elétrica fornecida ou dissipada por um elemento. O wattímetro realiza o produto das grandezas tensão e corrente elétrica no elemento, razão pela qual a ligação do wattímetro ao circuito elétrico é feita simultaneamente em série e em paralelo. Dois dos terminais são ligados em paralelo efetuando a medição da tensão, e os outros dois terminais são entrepostos no caminho da corrente.

Ligação do wattímetro

Ligação de um wattímetro a um circuito monofásico.



Bibliografia

“Princípios de eletricidade e electrónica”, Noel M. Morris, Edições CETOP.

“Elementos de eletricidade”, Simões Morais, Edição do Autor.

“Eletricidade”. José Vagos Carreira Matias, Didáctica Editora.

“Física e Química na nossa vida – Viver melhor na Terra”, M. Margarida R. D. Rodrigues e Fernando Morão Lopes Dias, Ciências Físico-Químicas | 9º ano, Porto Editora.

“Curso completo de eletricidade básica”, Hemus SA

“Manual de instruções”, Meireles, SA.