

CURSO BÁSICO DE ELETRICIDADE E DISPOSITIVOS DE COMANDO

© Copyright 1995 - Gerson R. Luqueta

É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DO PRESENTE MATERIAL, DESDE QUE TENHA FINS EDUCACIONAIS OU DE PESQUISA, DEVENDO, NO ENTANTO, SER MENCIONADOS EXPRESSAMENTE OS DIREITOS AUTORAIS RESERVADOS ÀO AUTOR. É VEDADA A REPRODUÇÃO PARA QUAISQUER OUTROS FINS, A MENOS QUE CONCEDIDA EXPRESSA AUTORIZAÇÃO PELO AUTOR.

CURSO BÁSICO DE ELETRICIDADE E DISPOSITIVOS DE COMANDO

ÍNDICE :

- 1 - Introdução
- 2 - Breve histórico
- 3 - Conceitos básicos - Matéria, energia e grandezas elétricas
 - 3.1 - Matéria e energia
 - 3.2 - Grandezas físicas e elétricas
 - 3.3 - Tensão, corrente e resistência elétrica
 - 3.4 - A lei de Ohm
 - 3.5 - As leis de Kirchoff
 - 3.6 - Potência elétrica
- 4 - Magnetismo e eletromagnetismo
- 5 - Dispositivos elétricos
 - 5.1 - Diferenças entre condutor e isolante
 - 5.2 - Dispositivo simples de comando (o interruptor)
 - 5.3 - Sensores de proximidade indutivos
 - 5.4 - Lâmpadas elétricas / iluminação
 - 5.5 - Dispositivos de aquecimento (resistências)
 - 5.6 - Dispositivos eletromagnéticos (bobinas)
 - 5.7 - Contatores e relés
 - 5.8 - Motores elétricos
- 6 - Dispositivos de proteção
 - 6.1 - Fusíveis
 - 6.2 - Relés de sobrecarga
 - 6.3 - Disjuntores
- 7 - Risco do choque elétrico (aspectos fisiológicos)
- 8 - Conservação e economia de energia
- 9 - Bibliografia

1- INTRODUÇÃO

O "Curso básico de eletricidade e dispositivos de comando" , tem por principal objetivo proporcionar aos profissionais leigos na área de eletricidade, um entendimento dos fundamentos relacionados a esse ramo da Física , além de familiarização com o funcionamento de dispositivos elétricos de comando utilizados na empresa (e em todas as indústrias, de um modo geral). O curso está voltado aos conceitos fundamentais indispensáveis ao entendimento de circuitos elétricos simples, evitando-se assim o uso excessivo de conceitos e cálculos só necessários muitas vezes ao projetista ou ao profissional dedicado. Desse modo, a aplicação prática de conceitos e o entendimento da teoria fundamental buscam fazer com que o profissional domine os conceitos e teorias relacionados à eletricidade, podendo aplicá-los no seu dia-a-dia.

Este trabalho foi inicialmente desenvolvido para o treinamentos de profissionais em empresas e. posteriormente adaptado para o ensino de nível técnico.

É importante ressaltar também que este trabalho não visa ser uma obra completa e sim um esboço para um treinamento mais intensivo e, desta maneira , não serão propostos exercícios junto ao texto como ocorre na literatura convencional, pois estes serão propostos a parte.

Sobre as condições de direito autoral, veja capa.

O autor não se responsabiliza por eventuais danos ou prejuízos decorrentes de erros ou omissões deste documento.

2 - BREVE HISTÓRICO

As primeiras observações a respeito da eletricidade remontam da Grécia antiga, quando o filósofo Tales de Mileto (640 - 546 a.C) observou que o âmbar atritado era capaz de atrair pequenos objetos (era a carga elétrica estática).

Mas teoria da eletricidade começou a fundamentar-se, de fato, ao que tudo indica, com as teorias de Benjamin Franklin (1706 - 1790). Ele considerava a eletricidade como um fluxo invisível que "escoava" de um corpo a outro. Se esse fluxo ocorresse de um corpo com mais "fluido" para um corpo com menos "fluido", dizia-se que os corpos eram positivos e negativos respectivamente. Charles Coulomb aperfeiçoou os conceitos sobre cargas elétricas em meados do século XVIII.

O século XIX testemunhou uma rápida expansão sobre o conhecimento da eletricidade e do magnetismo, culminando com as grandes experiências de Michael Farady (1791 - 1867) e James Clark Maxwell.

Na primeira metade deste século, Georg Simon Ohm desenvolveu a lei de Ohm, relacionado os conceitos de proporção entre corrente e tensão. Nesse mesmo período Gustav Robert Kirchoff desenvolveu as chamadas "Leis de Kirchoff".

Em 1897, o físico inglês J. J. Thomson descobriu o elétron e determinou que sua carga era negativa.

Em 1909, o físico americano Robert Millikan descobriu que a carga elétrica podia ser quantificada.

Desse período até hoje, muita coisa foi aperfeiçoada e a eletricidade, bem como a eletrônica, evoluíram grandemente impulsionando o mundo de uma forma nunca antes imaginada !

3 - CONCEITOS BÁSICOS - Matéria, energia e grandezas elétricas

Veremos a partir de agora, como se origina a eletricidade, quais suas formas e maneira de ser medida e quantificada. Para tanto, um importante passo é definirmos matéria e energia.

3.1 - MATÉRIA E ENERGIA

Podemos definir matéria, de um modo geral, como tudo aquilo que existe de concreto no universo. Uma rocha, uma folha de um árvore, o ar, a água, são matéria. Toda a matéria que compõe o universo, seja ela um pedaço de alimento ou um metal extremamente duro, é formada a partir de elementos menores. Podemos dizer que um material é formado por pequenas partículas denominadas de moléculas. Uma molécula, contudo, é formada por partículas ainda menores, a qual denominamos de átomos. A matéria normalmente está associada a uma certa "força", que denominamos de energia. O sol, por exemplo, é uma fonte de energia calorífica e luminosa ; uma bateria química é uma fonte de energia elétrica ; etc...

A energia é uma grandeza física que não pode ser extinta, mas sim transformada. Um exemplo de transformação de energia é o motor elétrico : ele transforma energia elétrica em energia mecânica (energia útil) e energia calorífica (perdas).

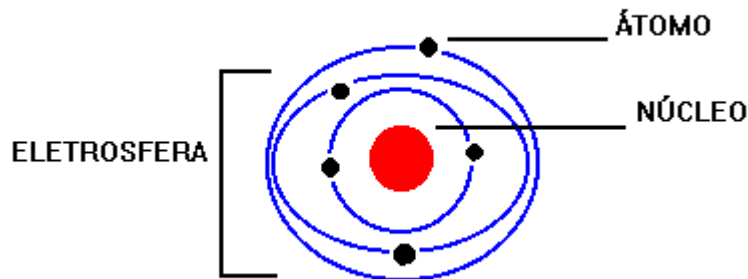
O ÁTOMO E OS MATERIAIS:

Quando o átomo foi descoberto, os cientistas acreditavam que essa seria a menor partícula em que a matéria poderia se dividir, e por isso o seu nome (A = não ; TOMO = divisível). De um modo geral, para efeito dos estudos em eletricidade, o átomo pode ser dividido em duas partes distintas : o núcleo e o orbital de elétrons.

O **núcleo** é formado basicamente por partículas carregadas positivamente (**os prótons**) e por partículas sem carga relevante, também chamadas neutras (**os neutrons**).

O orbital de elétrons ou simplesmente eletrosfera é composta pelos elétrons que são partículas carregadas negativamente. É basicamente na eletrosfera que está a diferença entre , por exemplo, um material condutor e um material isolante.

Um esquema básico de um átomo é o ilustrado a seguir :



Dependendo da energia que une os elétrons ao núcleo é que se classificam os materiais quanto ao fato de serem isolantes ou condutores (no caso da eletricidade).

3.2 - GRANDEZAS FÍSICAS E ELÉTRICAS :

Pode ser definido como grandeza, de um modo geral tudo aquilo que pode ser atribuído a uma certa quantidade e dessa forma tornar-se mensurável, ou seja, qualquer coisa que represente um valor ou uma quantidade definida em uma certa unidade de medição é uma grandeza.

São exemplos de grandezas :

- Velocidade
- Aceleração
- Pressão
- Intensidade de luz
- Calor

E todas essas grandezas podem ser medidas e associadas a uma unidade, por exemplo :

- A velocidade é medida em metros por segundo (m/s).
- A aceleração é medida em metros por segundo ao quadrado (m/s²).
- A pressão pode ser medida, por exemplo, em milímetros de mercúrio (mmHg).

São esses apenas alguns exemplos de uma infinidade de grandezas que existem. Passaremos agora a discutir com ênfase uma série de grandezas que fazem parte do rol das grandezas elétricas fundamentais.

MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DE GRANDEZAS :

Muitas vezes uma grandeza assume valores muito grandes ou muito pequenos, tornando inviável a sua representação na unidade corrente. Dessa maneira, existem alguns "multiplicadores " que ajudam a representar os valores das grandezas de forma mais "agradável". Vejamos alguns múltiplos e submúltiplos fundamentais em eletricidade :

MÚLTIPLOS :

<i>Unidade</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Multiplicar por :</i>
Kilo	K	1.000
Mega	M	1.000.000
Giga	G	1.000.000.000

SUBMÚLTIPLOS :

<i>Unidade</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Multiplicar por :</i>
mili	m	0,001
micro	μ	0,000001
nano	n	0,000000001
pico	p	0,000000000001

Exemplos :

$$0,002 \text{ V} = 2 \text{ mV}$$

$$1000 \text{ g} = 1\text{Kg}$$

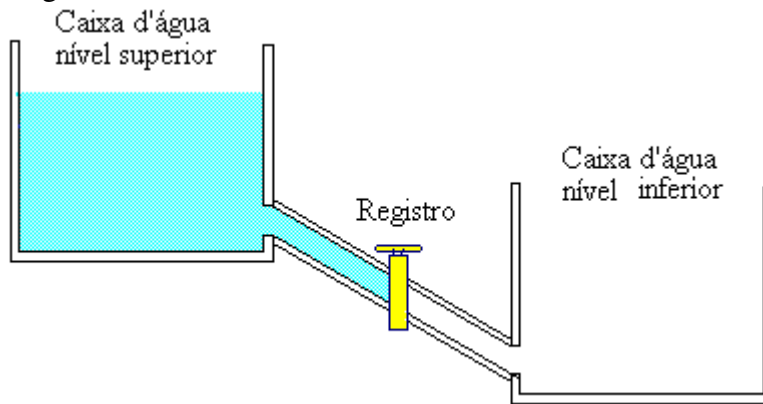
3.3 - TENSÃO, CORRENTE E RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Tensão, corrente e resistência são as grandezas fundamentais da eletricidade, logo o conhecimento dessas grandezas é indispensável àqueles que pretendem conhecer essa

ciência. Para efeito de estudo, faremos uma analogia dessas grandezas com fenômenos físicos e hidráulico .

TENSÃO ELÉTRICA (A DIFERENÇA DE POTENCIAL) :

Observe a figura abaixo :

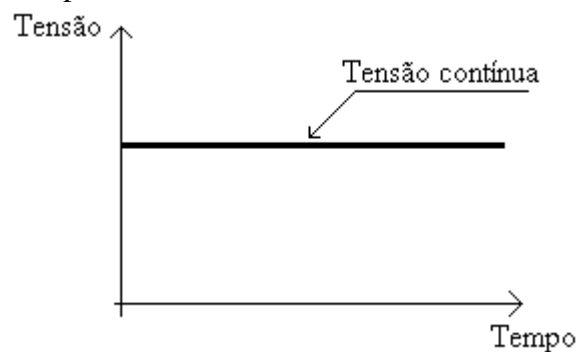


Como podemos ver, existem duas caixas de água, uma em um nível superior e a outra em um nível inferior. O registro que controla a vazão entre os recipientes está fechado.

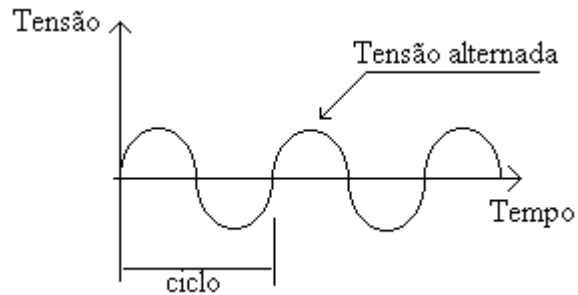
Nessa situação, podemos dizer que existe entre as caixas superior e inferior uma diferença de "nível". Essa diferença proporciona uma força que tenta levar a água para o compartimento inferior, contudo como o registro está fechado, não há vazão e a diferença de "nível" permanece constante. Analogamente em eletricidade, quando a carga elétrica entre dois átomos é diferente, dizemos que existe uma diferença de potencial (nível) entre os átomos. Essa **diferença de potencial** recebe o nome de **tensão elétrica**.

TENSÃO CONTÍNUA E TENSÃO ALTERNADA :

No cotidiano, nos deparamos normalmente com dois tipos de tensão distintas : a tensão contínua e a tensão alternada. A tensão contínua é aquela tensão encontrada, por exemplo, nos terminais da bateria do automóvel. A tensão contínua tem como principal característica o fato de não variar no tempo, descrevendo assim uma função contínua. A figura abaixo ilustra o comportamento de uma tensão contínua no tempo :

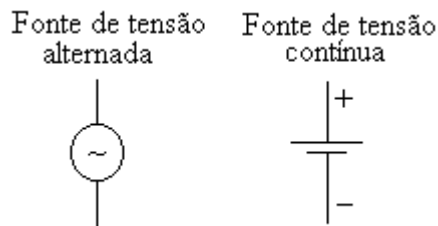


A tensão alternada já apresenta um comportamento distinto da tensão contínua, pois os seus níveis variam no tempo. Essa forma de tensão é a que encontramos na tomada de nossas casas e na maior parte da indústria. A sua forma é a mostrada na figura abaixo :



Como podemos observar na figura, a tensão alternada assume vários valores ao longo do tempo. À função que representa a tensão alternada damos o nome de função senoidal, e por isso dizemos que a tensão alternada é uma senóide. Ao tempo decorrido para que a onda de tensão complete um ciclo damos o nome de período. O inverso do período recebe o nome de frequência.

Esquemáticamente, podemos representar uma fonte de tensão da seguinte maneira :



Notação de tensão :

No S.I (Sistema Internacional) a **tensão** elétrica, **cujo símbolo é a letra U**, é medido em **volts (V)**.

A notação dessa grandeza deve ser feita da seguinte maneira :

$$U = 380 \text{ V}$$

onde :

U - é a grandeza tensão

380 - é o seu valor numérico

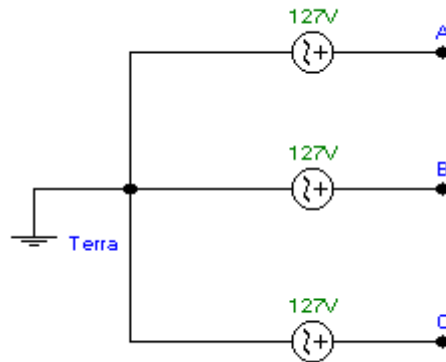
V - é a unidade em que o valor foi medido (volts)

Muitas vezes, para efeito didático, considera-se a letra V como sendo o símbolo da tensão. No nosso caso utilizaremos a notação V, (pelo motivo citado anteriormente) muito embora a notação U seja a recomendado ao utilizarmos as unidades no SI.

TENSÃO EM CIRCUITOS TRIFÁSICOS SENOIDAIS :

Uma particularidade dos circuitos trifásicos é que a fase de cada senóide fica defasada uma das outras em 120° , de modo que cada fase assume valores instantâneos diferentes no mesmo instante, o que resulta em um valor de tensão eficaz entre fases distinto do circuitos monofásicos.

Vejam os o circuito abaixo :



A tensão de cada fonte geradora é de 127 V, de modo que nessa configuração, chamada **configuração em estrela**, a tensão de cada fonte independente, medida entre seu terminal e o terra será também de 127V. Vamos chamar essa **tensão entre fonte e terra** de **tensão de fase** .

Agora se medirmos a tensão através de duas fontes geradoras, por exemplo entre os pontos A e B, notaremos que a tensão não será o dobro de 127V (ou seja 254V) porque existe uma diferença de fase entre cada fonte geradora de 120°, resultando em um valor de tensão que leva em conta não só a amplitude de cada fonte mas também a sua fase.

No caso do nosso exemplo, a tensão medida, por exemplo entre os pontos A e B, será de 220V. Chamaremos a essa **tensão entre fontes** de **tensão de linha** .

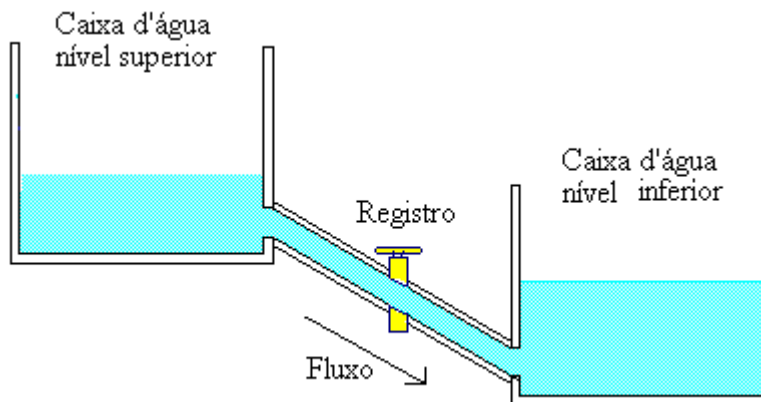
A relação entre tensão e fase (Vf) e tensão de linha (Vl) é aproximadamente a seguinte :

$$Vl = Vf \times 1,732$$

Sendo que a constante 1,732 é a aproximação da raiz quadrada de três.

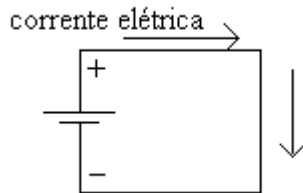
CORRENTE ELÉTRICA - (A VAZÃO)

Observemos novamente a figura da caixa d'água :



Se o registro for aberto rapidamente surgirá um fluxo da caixa superior para a caixa inferior. Podemos dizer que o fluxo de água é decorrente da diferença de potencial existente entre as caixas que, não encontrando nenhuma restrição, procurou igualar o nível do líquido entre os recipientes. Analogamente em eletricidade, quando surge um **fluxo ordenado de elétrons** em um circuito, dizemos que ali flui uma **corrente elétrica**.

Considerando-se que no circuito hidráulico, para que haja fluxo, basta que se abra um caminho para a vazão do líquido, em eletricidade basta que se proporcione um caminho (circuito) fechado entre os pólos da fonte, através de um material condutor. Esquemáticamente temos :



Ao sentido de corrente mostrado na figura damos o nome de "sentido convencional da corrente".

No S.I a **corrente elétrica** , cujo símbolo é **I**, é medida em **ampéres (A)**.

A notação dessa grandeza deve ser feita da seguinte maneira :

$$I = 10 \text{ A}$$

onde :

I - é a grandeza corrente

10 - é seu valor numérico

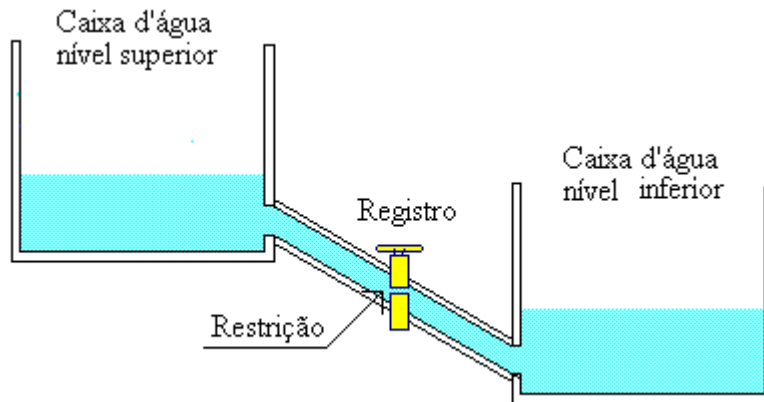
A - é a unidade em que o valor foi medido (ampéres)

Todos os conceitos relacionados à tensão elétrica contínua ou alternada cabem também à corrente elétrica, de forma que se torna dispensável repetir as mesmas discussões.

Nota : A diferença entre um material condutor de eletricidade e um material isolante, reside basicamente no fato de que, enquanto os condutores permitem que uma corrente elétrica flua livremente, os isolantes impedem drasticamente a passagem da corrente elétrica. São exemplos de materiais condutores o cobre, o alumínio, o ferro, e os metais de um modo geral. São exemplos de materiais isolante a borracha, o vidro, plásticos, algumas resinas, etc.

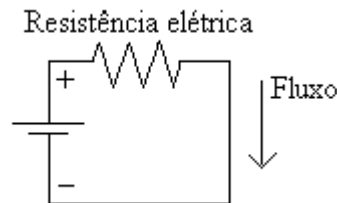
A RESISTÊNCIA ELÉTRICA :

Consideremos agora, para o nosso circuito hidráulico, que ao invés de abrimos o registro rapidamente, façamos isso vagarosamente, até que passe somente um filete de água de um recipiente para outro. O que veremos é uma restrição ao fluxo :



A restrição apresentada ao fluxo representa uma oposição à passagem da água de um compartimento a outro. Analogamente em eletricidade, à **oposição a passagem da corrente elétrica** oferecida por qualquer elemento, denominamos de **resistência elétrica**.

Em um circuito elétrico, a resistência elétrica é representada da seguinte maneira :



A figura anterior denota finalmente um esquema onde todos os elementos essenciais de um circuito elétrico estão presentes : A fonte de tensão que, aplicada a um elemento resistivo, faz fluir uma corrente elétrica.

A **resistência elétrica** , cujo símbolo é a letra **R**, é medida em **Ohm (Ω)**.

A notação dessa grandeza deve ser feita da seguinte maneira :

$$R = 100 \Omega$$

onde :

R - é a grandeza resistência

100 - é o seu valor numérico

Ω - é a unidade em que o valor foi medido (Ohm)

Veremos agora, que um circuito pode apresentar várias resistências, ligadas de diferentes maneiras :

ASSOCIAÇÃO DE RESISTÊNCIAS EM SÉRIE :

A associação de resistências em série é feita de tal modo que o fim de uma resistência fique interligado com o começo da outra. Esse é um tipo de circuito que oferece um só caminho à passagem da corrente elétrica.

Vejamos o esquema :



A resistência total ou equivalente do circuito será a soma das resistências parciais e, portanto, a **resistência total será maior que a maior resistência** :

$$R_{eq} = R1 + R2 + R3 + \dots + Rn$$

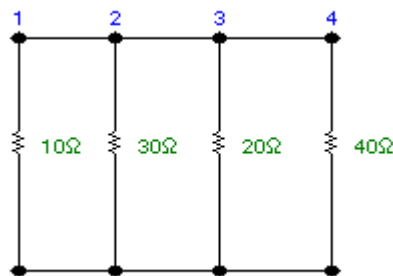
Para o nosso exemplo a resistência equivalente será, portanto :

$$R_{eq} = 10 + 30 + 20 + 40 = 100 \Omega$$

ASSOCIAÇÃO DE RESISTÊNCIAS EM PARALELO :

A associação de resistências em paralelo é feita de tal modo que todas fiquem ligadas a um mesmo ponto ou "nó". Esse é um tipo de circuito que oferece tantos cominhos à corrente elétrica quanto forem as resistências associadas.

Vejamos o esquema :



A resistência equivalente do circuito será igual a soma de suas condutâncias, de modo que a **resistência final seja menor que a menor resistência do circuito** :

$$R_{eq} = 1 / (1/R1 + 1/R2 + 1/R3 + \dots + 1/Rn)$$

Para o nosso exemplo a resistência equivalente será, portanto :

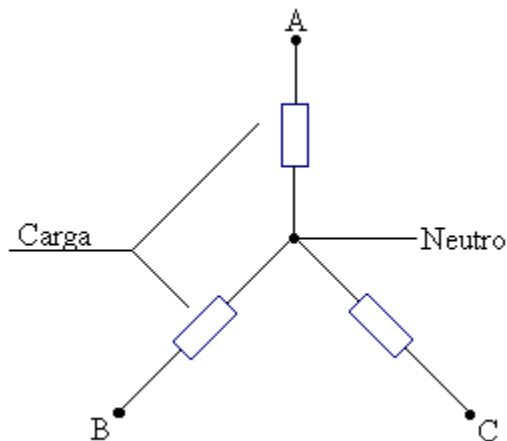
$$R_{eq} = 1 / (1/10 + 1/30 + 1/20 + 1/40) = 4,8 \Omega$$

É importante ressaltar que muitos circuitos podem fazer uma combinação de circuitos série e paralelo. Estes circuitos são os **circuitos mistos**, e uma forma de encontrar a resistência equivalente nestes circuitos é minimizar partes a partir das associações fundamentais.

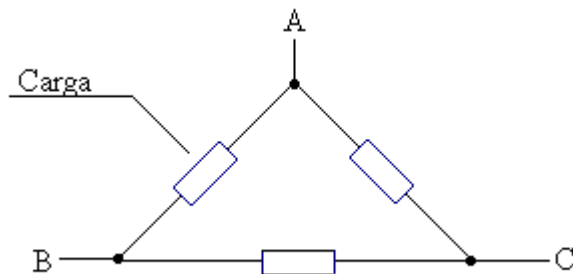
LIGAÇÃO DE CIRCUITOS EM ESTRELA E EM TRIÂNGULO :

Em circuitos trifásicos na indústria, é bastante comum utilizarmos os termos "ligação estrela" e "ligação triângulo". Esses nomes definem, na verdade, o modo de interligação de cargas nos circuitos trifásicos.

Na ligação estrela, as cargas são dispostas de modo a apresentarem uma tensão de linha maior que a tensão de fase, apresentando ainda um ponto chamado "neutro" na interligação. O esquema básico da ligação estrela é o mostrado abaixo :



Na ligação triângulo, as cargas são dispostas de modo que o terminal de início de uma carga fique ligado ao terminal final de outra. Nessa configuração, a tensão de linha aplicada é igual à tensão de carga, e não existem pontos comuns entre as três cargas simultaneamente. O esquema básico de um circuito triângulo é o mostrado a seguir :



Vale lembrar que muito embora as configurações estrela e triângulo sejam extremamente comuns, existem também outras configurações como a configuração "dupla estrela", a configuração "duplo triângulo", etc.

3.4 - A LEI DE OHM :

Na primeira metade do século XX, um cientista chamado Georg Simon Ohm resolveu fazer experimentos para tentar entender as relações entre tensão, corrente e resistência . Do resultado de suas experiências desenvolveu-se a chamada lei de Ohm .

Poderíamos afirmar, sendo medo de sermos contraditórios, que a Lei de Ohm é a **lei fundamental da eletricidade**.

O enunciado da lei de Ohm é o seguinte :

Num circuito elétrico fechado, a intensidade de corrente elétrica é diretamente proporcional à tensão aplicada ao circuito e inversamente proporcional à resistência do mesmo.

Matematicamente essa lei pode ser expressa da seguinte maneira :

$$I = U / R$$

onde :

I = intensidade de corrente em ampéres

U = tensão aplicada ao circuito em volts

R = Resistência equivalente do circuito em ohms

Exemplo :

Em um circuito cuja resistência equivalente é igual a 180 Ω , aplicou-se uma tensão de 24 Vcc. Qual a corrente que flui pelo circuito ?

Se : $U = 24 \text{ Vcc}$

$R = 180 \Omega$

$I = U / R = 24 / 180 = 0,13333 \text{ A}$ ou 133 mA

As variações na fórmula da lei de Ohm podem ajudar a obter qualquer uma das grandezas, tendo-se em mãos as outras duas ; dessa forma :

$$U = I \times R \quad ; \quad R = U / I$$

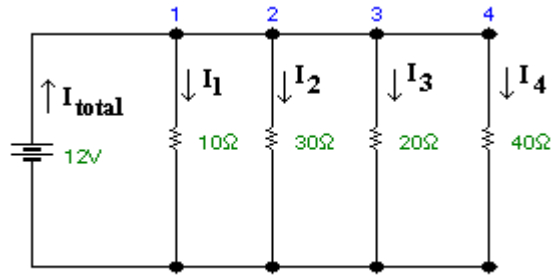
3.5 - AS LEIS DE KIRCHOFF

As leis de Kirchoff, assim como a lei de Ohm, ajudam a fundamentar os princípios básicos da eletrônica e são de vital importância quando se pretende entender e analisar qualquer circuito.

PRIMEIRA LEI DE KIRCHOFF :

Num circuito paralelo, a corrente elétrica total é igual à soma das correntes parciais.

Assim, a soma das correntes que chegam a um nó (ponto de ligação), é igual à soma das correntes que saem . Vejamos o circuito abaixo :



Pela primeira lei de Kirchoff, podemos escrever matematicamente :

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

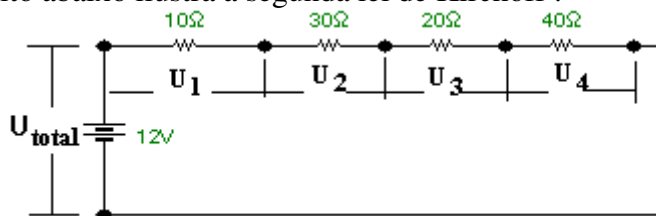
Para o nosso exemplo, podemos provar que a corrente total é 2,5 A, achando-se a resistência equivalente e dividindo-se a mesma pela tensão ou encontrando-se as correntes parciais em cada ramo e aplicando-se a primeira lei de Kirchoff.

Notar que nesse caso, a tensão aplicada é a mesma em qualquer resistência do circuito.

SEGUNDA LEI DE KIRCHOFF :

No circuito série, a soma das quedas de tensões parciais, é igual à tensão aplicada neste circuito.

O circuito abaixo ilustra a segunda lei de Kirchoff :



Matematicamente pela segunda lei de Kirchoff :

$$U_{total} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

Para o nosso exemplo temos que :

$$U_1 = 1,2 \text{ V} ; U_2 = 3,6 \text{ V} ; U_3 = 2,4 \text{ V} ; U_4 = 4,8 \text{ V}$$

$$U_{total} = 1,2 + 3,6 + 2,4 + 4,8 = 12 \text{ V}, \text{ o que demonstra a segunda lei de Kirchoff.}$$

Notar que nesse tipo de circuito a corrente é a mesma em qualquer ponto do circuito.

3.6 - POTÊNCIA ELÉTRICA

Quando ligados um circuito elétrico, como por exemplo, a lâmpada de nossa casa, nosso objetivo é que ela transforme energia elétrica em energia luminosa, que iluminará o

ambiente, logo a lâmpada realiza um trabalho; a esse trabalho associamos uma outra grandeza elétrica fundamental : a potência elétrica.

Fisicamente podemos definir **potência** como sendo a **energia consumida ou liberada em um intervalo de tempo**.

Em eletricidade, diz-se que a energia de um Joule (1 J) , liberada ou consumida em um segundo (1 s) equivale a um watt . De fato, a **potência elétrica, cujo símbolo é a letra P, é medida em Watt (W)**.

A notação para potência é a seguinte :

$$P = 500 \text{ W} \quad \text{onde :}$$

P - é a grandeza potência
500 - é seu valor numérico
W - é a unidade (Watt)

Existam ainda outras notações de potência bastante utilizadas; entre elas podemos destacar :

$$\begin{array}{ll} \text{O Horse Power} = \text{HP} & 1 \text{ HP} = 746 \text{ W} \\ \text{O Cavalo-vapor} = \text{CV} & 1 \text{ CV} = 736 \text{ W} \end{array}$$

Ainda do ponto de vista elétrico, sempre que um circuito fechado, onde existe uma tensão aplicada, tem uma corrente circulante, a potência "gasta" na circuito será diretamente proporcional ao produto da tensão pela corrente no circuito.

Matematicamente, a potência elétrica é definida da seguinte maneira :

$$P = U \times I \quad \text{onde :}$$

P = Potência em Watts
U = Tensão em Volts
I = Corrente em Ampéres.

Exemplo :

Em um circuito alimentado por uma tensão de 220 V, circula uma corrente de 35 A. Qual a potência total do circuito ?

$$\text{Sendo : } U = 220 \text{ V}$$

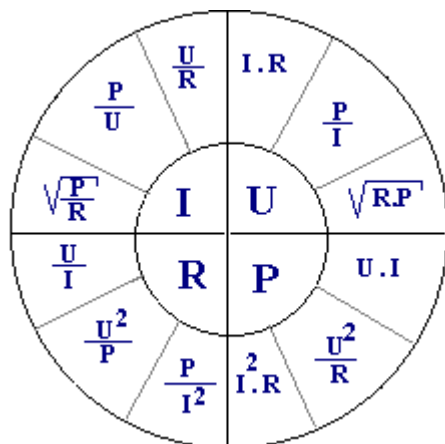
$$I = 35 \text{ A}$$

$$P = U \times I = 220 \times 35 = 7700 \text{ W} \text{ ou } 7,7 \text{ Kw}$$

RELAÇÃO ENTRE POTÊNCIA E A LEI DE OHM :

Finalmente, vamos procurar unir todas as grandezas fundamentais da eletricidade em um conjunto que possa expressar qualquer valor de tensão, corrente, resistência ou potência.

O círculo de fórmulas abaixo expressa todas as relações :



Nota : o cálculo de potência para circuitos trifásicos é muito distinto do cálculo para potência em circuitos simples de corrente contínua, logo as relações apresentadas acima não se aplicam a circuitos trifásicos.

4 - MAGNETISMO E ELETROMAGNETISMO

Em uma época bastante remota os gregos descobriram que um certo tipo de rocha, encontrada na cidade de magnésia, na Ásia Menor, tinha o poder de atrair pequenos pedaços de ferro.

A rocha era constituída por um tipo de minério de ferro chamado magnetita e por isso seu poder de atração foi chamado magnetismo. As rochas, por sua vez, receberam o nome de imã.

Na verdade, **magnetismo pode ser definido como a propriedade que certos corpos têm de atrair pedaços de materiais ferrosos.**

O maior imã natural que se conhece é justamente o planeta Terra. O pólo norte geográfico da Terra corresponde ao pólo sul magnético e o pólo sul geográfico corresponde ao pólo norte magnético.

Existem também além dos imãs naturais os imãs artificiais, ou seja, imãs produzidos pelo homem.

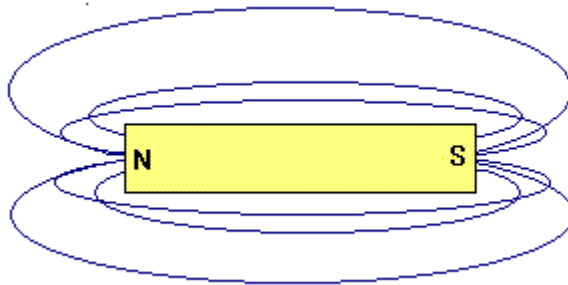
Quando se imanta um pedaço de aço temperado, seja pondo-o em contato com outro imã ou pela influência de uma corrente elétrica, observa-se que o aço adquiriu uma considerável quantidade de magnetismo e é capaz de o reter indefinidamente. Esses são chamados imãs artificiais permanentes.

Esses imãs possuem uma vantagem sobre os naturais, pois além de possuírem uma força de atração maior, podem ser produzidos com tamanhos e formatos de acordo com cada necessidade.

As ligas de aço contendo cobalto e níquel constituem os melhores imãs.

PÓLOS DOS IMÃS E LINHAS DE FORÇA :

Os pólos dos imãs localizam-se em suas extremidades, locais onde há maior concentração de linhas magnéticas. Os pólos são chamados de norte e sul. A figura abaixo mostra um imã e seus pólos :



As linhas que aparecem em torno do imã na figura são as chamadas **linhas de força magnética**.

Linha de força magnética é uma linha invisível que fecha o circuito magnética de um imã. Essas linhas é que determinam o campo de ação do imã. Quanto mais próximo do pólo, maior é a concentração de linhas magnéticas e conseqüentemente maior é a força de atração e, quanto mais distante do pólo menor a concentração de linhas magnéticas, de modo que a força de atração é menor.

Ao número de linhas do campo magnético de um imã associa-se normalmente uma grandeza denominada **fluxo magnético**.

Ao espaço ocupado pelas linhas de força damos o nome de **campo magnético**.

LEI DA ATRAÇÃO E REPULSÃO :

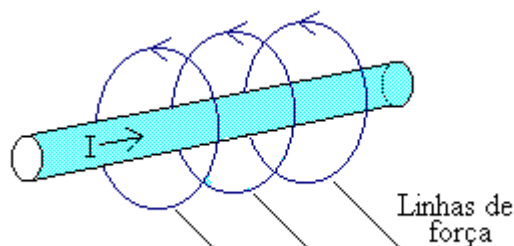
Nos imãs, assim como nas cargas elétricas, observa-se um princípio de atração e repulsão entre pólos de imãs. Ao aproximarmos um imã de outro, observa-se que os pólos de nomes **iguais** se **repelem** e pólos de nomes **diferentes** se **atraem**.

ELETROMAGNETISMO :

Após estudarmos os conceitos fundamentais de eletricidade e conhecermos o princípio de magnetismo, uma questão pode vir a tona : qual a relação entre magnetismo e eletricidade ?

Essa relação é mais profunda do que possa parecer a primeira vista.

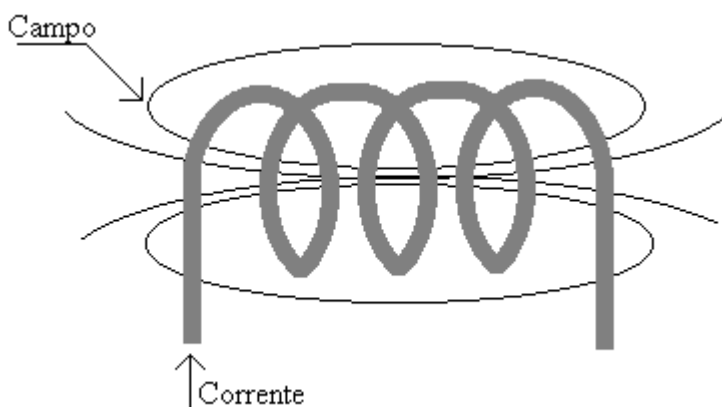
Quando os elétrons se deslocam por um condutor, esses geram uma força eletrostática e um campo magnético concêntrico ao condutor, ou seja, quando um condutor é percorrido por uma corrente elétrica, esse gera em torno de si um campo magnético. A figura a seguir ilustra o efeito :



Como podemos observar, quando o condutor é percorrido por uma corrente elétrica cria-se um campo em torno do condutor, de maneira perpendicular. O inverso desse fenômeno também ocorre, ou seja, se induzirmos em um condutor um campo magnético, fluirá através desse uma corrente proporcional ao campo induzido.

É através do processo de indução magnética que funcionam, por exemplo, os geradores de energia das usinas hidroelétricas.

Uma maneira eficaz de aumentarmos o campo magnética de um indutor, sem a necessidade de aumentarmos a corrente de circulação é o de se dispor o condutor em forma de espiras. Se colocarmos um condutor retilíneo na forma de anel ou espira, as linhas magnéticas concêntricas dão uma resultante perpendicular ao plano da espira e, dispondo-se várias espiras em um mesmo plano, as linhas somam-se resultando em um campo magnético mais intenso que o verificado para apenas uma espira isolada. A figura abaixo ilustra o fenômeno :



Para determinarmos os pólos norte e sul do campo magnético, existem algumas regras, que obedecem a forma das espiras e o sentido da corrente. O método mais popular de se determinar os pólos de um indutor é através da chamada "regra da mão esquerda".

Quando dispomos um condutor elétrico na forma de espiras, ao componente criado damos o nome de bobina.

Uma bobina é um condutor elétrico disposto em formas de espiras.

Essa bobina pode estar disposta, por exemplo, em torno de um material ferroso, de modo que as linhas do campo magnético percorram o material. Ao material ferroso colocado no plano do campo magnético damos o nome de núcleo. Uma bobina que tem um núcleo ferroso pode ser denominado de eletroímã ou ainda de "solenóide" .

A propriedade magnética é largamente empregada em eletricidade. Como veremos mais adiante, podemos desenvolver e utilizar dispositivos dos mais variados tipos utilizando-se do eletromagnetismo, como por exemplo, os motores elétricos e as eletroválvulas.

5 - DISPOSITIVOS ELÉTRICOS

5.1 - DIFERENÇA ENTRE CONDUTOR E ISOLANTE

Como já foi citado anteriormente, os materiais em eletricidade podem ser classificados conforme a sua capacidade de conduzir ou não uma determinada corrente elétrica.

Aos materiais que têm a propriedade de permitir a livre circulação de elétrons em sua estrutura, damos o nome de material condutor.

Os materiais metálicos de um modo geral são bons condutores de eletricidade, por apresentarem normalmente uma estrutura atômica cristalina rica em elétrons livres, que podem se deslocar pela estrutura sem que para isso tenhamos que nos valer de uma diferença de potencial elevada. Quanto aos materiais condutores, podemos dizer que sua resistência elétrica é muito baixa.

Muitas vezes, quando se pretende que um material condutor produza uma resistência elétrica mais elevada, adiciona-se a ele outro tipo de material menos condutor. Um exemplo de mistura de materiais que tem por objetivo aumentar a resistência elétrica de um material é a liga de níquel-cromo, muito utilizada na fabricação de resistências de aquecimento.

Aos materiais que têm a propriedade de não permitir que elétrons se desloquem pela estrutura atômica, damos o nome de material isolante.

De fato, nos materiais isolantes os elétrons estão fortemente ligados aos núcleos, de modo que não permitem que elétrons permaneçam livres na estrutura e se desloquem. São exemplos de materiais isolantes a borracha, a mica e o vidro, entre outros. Quanto aos materiais isolantes, podemos dizer que sua resistência elétrica é muito alta.

É importante lembrar, contudo, que para um elétron se deslocar ao longo de uma estrutura, deve haver algum tipo de energia que o impulse a isso. A tensão elétrica é o mecanismo impulsor nos circuitos elétricos e essa força de impulsão depende da diferença de potencial aplicada ao material. Sendo assim, um material chamado isolante poderá permitir o fluxo de elétrons em sua estrutura se a diferença de potencial aplicada ao material produzir uma força suficientemente grande para "arrancar" o elétrons da força de atração do núcleo.

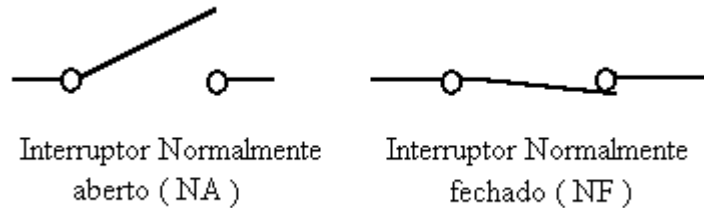
À tensão máxima que cada isolante suporta antes de permitir um fluxo significativo de corrente elétrica damos o nome de tensão de isolação.

Sempre que instalamos um dispositivo elétrico em um circuito, é de vital importância que se observe qual a tensão de isolação do mesmo, para que o circuito não fique comprometido.

Além dos materiais isolantes e condutores, existe em eletricidade um terceiro material que denominamos semicondutor. Um material semicondutor é um elemento que tem propriedades intermediárias entre um isolante e um condutor. Esses materiais semicondutores é que propiciaram o surgimento da eletrônica, revolucionando a segunda metade do século XX. Como a abordagem mais profunda desse material não está dentro do trabalho proposto, nosso tratamento se limitará ao estudo somente dos condutores e isolantes.

5.2 - DISPOSITIVO SIMPLES DE COMANDO (O INTERRUPTOR)

Como já sabemos, para que um circuito elétrico funcione, a corrente elétrica deve circular por um caminho fechado, saindo de um pólo da fonte de tensão e chegando ao outro. Logo, um modo de controlarmos o funcionamento de um circuito elétrica é através de dispositivos que possam controlar a passagem da corrente elétrica pelo circuito. O dispositivo elétrica de comando mais simples que existe é o interruptor , cujo símbolo é o mostrado a seguir :



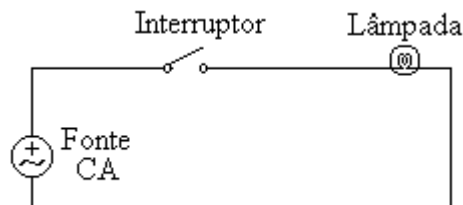
O interruptor NA é aquele que, na condição de repouso, está aberto interrompendo a passagem de corrente pelo circuito.

O interruptor NF funciona ao contrário do NA , ou seja, na condição de repouso ele apresenta condições para a passagem da corrente.

Os interruptores em um circuito podem ser associados de diferentes maneiras e montados das mais diversas formas, como por exemplo, alojando-se em um mesmo botão um contato NA e um NF.

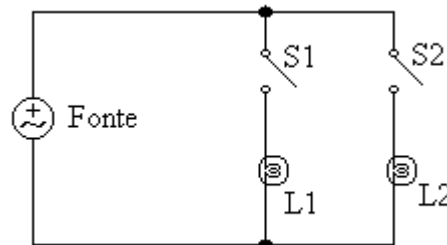
Vejamos agora alguns circuitos que utilizam interruptores :

Circuito 1 : Comando simples de lâmpada :

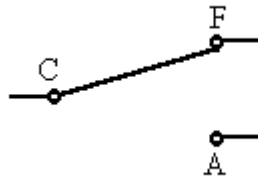


Neste primeiro exemplo temos uma lâmpada ligada a uma fonte de corrente alternada (a rede elétrica de nossa casa) . O interruptor controla o acendimento.

Circuito 2 : Comando individual de duas lâmpadas :

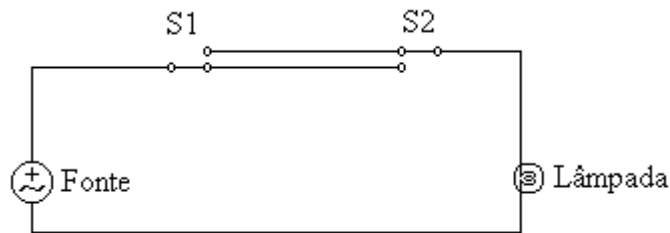


Existe ainda, entre o grupo de contatos, um tipo chamado de contato "reversível", que nada mais é do que um contato NA e um NF associados por um ponto comum. O símbolo de um contato reversível é o mostrado a seguir :



Como podemos observar, o contato reversível é realmente a associação de dois contatos.

Um tipo comum de circuito que utiliza o contato reversível é o mostrado a seguir, conhecido pelos instaladores como ligação com "interruptor paralelo", que comanda o acendimento de uma lâmpada de dois pontos distintos e individualmente :



Nesse exemplo, se acionarmos S1 ou S2 a lâmpada deverá acender. Novamente, com o acionamento de qualquer um dos interruptores a lâmpada deverá apagar.

Notar que de um modo geral os interruptores estão sempre em série com um ramo do circuito.

Vimos que a utilização de interruptores é imensa no ramo da eletricidade, quando se pretende controlar qualquer dispositivo, seja ele uma simples lâmpada ou uma sofisticada máquina de processo.

É importante lembrar que além de variarem as formas de configuração dos contatos, variam também o modo de atuação dos mesmos, sendo que podem ser acionados por ação muscular (interruptor ; botão), ação mecânica (fim de cursos ; pressostatos), ação térmica (termostatos), entre outros.

Com relação à especificação de um contato para um determinado circuito, devemos sempre nos lembrar que é muito importante que se especifique a máxima capacidade de corrente que o contato suporta, de modo que não se ultrapasse estas limitações.

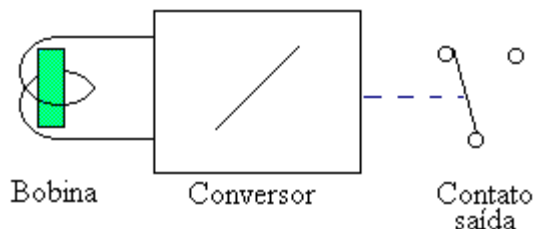
5.3 - SENSORES DE PROXIMIDADE INDUTIVOS

Um sensor de proximidade indutivo nada mais é que um interruptor eletrônico atuado pela proximidade de um metal ferroso em sua superfície sensora, ou seja, sempre que aproximamos um material ferroso da superfície do sensor onde existe um dispositivo sensível, esse atua de modo a comandar um contato que irá acionar algo no circuito elétrico.

Esquemáticamente, podemos dividir o sensor de proximidade indutivo em três partes distintas a saber : a superfície sensora, formada basicamente por uma bobina envolta

em um núcleo de ferro doce ; o circuito eletrônico de conversão que monitora os desvios do campo magnético produzidos pela proximidade de um material ferroso junto à superfície sensora ativando ou não a saída ; o circuito de saída, constituído basicamente de um contato NA, NF ou reversível, dependendo de tipo de sensor.

A figura a seguir ilustra o diagrama em blocos simplificado do sensor :



Muitas vezes é possível substituir em um circuito elétrico um fim-de-curso mecânico por um sensor indutivo, a fim de se reduzir quebras e problemas de desgaste, entre outros.

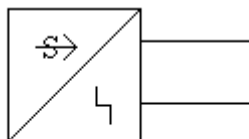
De fato, a principal vantagem da utilização de sensores indutivos na substituição de interruptores comuns está no fato de eliminar-se a necessidade de contato mecânico entre os dispositivos e a superfície sensora diminuindo-se a necessidade de manutenção por desgaste ou quebra. Ressalva-se, contudo, que existem situações onde a utilização desses componentes não é sempre vantajosa, dependendo do tipo de aplicação e do sensor utilizado.

Quando se dimensiona um sensor desse tipo para uma aplicação qualquer, alguns pontos devem ser observados; entre eles destacamos :

- O tipo de sensor
- A forma da superfície sensora
- O alcance da superfície sensora
- A tensão de trabalho
- O tipo de sinal de saída
- A máxima capacidade de corrente de saída.

Se um dos valores citados acima se encontrar fora das condições ideais ao circuito, o bom funcionamento do componente ficará comprometido.

SIMBOLOGIA : Os sensores indutivos, assim como qualquer outro componente em eletricidade, podem assumir diversos símbolos, dependendo da norma utilizada. Um símbolo bastante comum do sensor indutivo é o mostrado a seguir :



Símbolo do sensor indutivo

5.4 - LÂMPADAS ELÉTRICAS / ILUMINAÇÃO

Podemos definir lâmpadas elétricas como dispositivos de conversão de energia elétrica em energia luminosa.

Em termos quantitativos, a energia elétrica empregada por uma lâmpada é medida pela grandeza de potência elétrica, o Watt , e a intensidade luminosa da energia transformada é medida em uma grandeza chamada Lumem. Quanto melhor a relação Lumem/Watt melhor é o rendimento da lâmpada.

Dentre os tipos de lâmpadas existem vários tipos, formas e modelos, que combinam preço, tecnologia e eficiência em diferentes proporções. Veremos agora quais são e como funcionam os principais tipos de lâmpadas utilizadas na empresa :

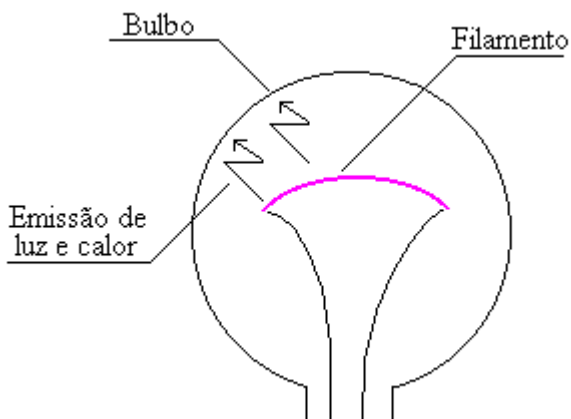
LÂMPADA INCANDESCENTE :

É o tipo de lâmpada mais simples e barata que existe.

Seu princípio de funcionamento é baseado em um efeito elétrico chamado efeito Joule.

A lâmpada incandescente é formada basicamente de um bulbo de vidro hermeticamente fechado onde se fez vácuo ou injetou-se um gás inerte, onde fica sustentado um filamento (fio muito fino disposto em espiral) composto de tungstênio. O tungstênio é um elemento altamente resistivo.

Quando a corrente elétrica percorre o filamento, a resistência elétrica produz um obstáculo à passagem da corrente elétrica, que nesse caso converte grande parte da energia fornecida pela fonte em forma de calor e luz. Nas lâmpadas incandescentes normais 95% da energia entregue é convertida em calor e apenas 5% é convertida em luz. O desenho abaixo ilustra o funcionamento da lâmpada incandescente :



Como grande parte da energia fornecida é perdida na forma de calor, dizemos que uma lâmpada incandescente tem um baixo rendimento luminoso em relação à sua potência elétrica.

Para melhorar o rendimento das lâmpadas é que foram desenvolvidas várias outras técnicas de conversão de energia elétrica em luminosa.

LÂMPADAS FLUORESCENTES :

As lâmpadas fluorescentes foram dispositivos desenvolvidos para melhorar o rendimento luminoso em relação às incandescentes. Nas lâmpadas fluorescentes, quase toda a energia consumida é convertida na forma de luz visível .

O princípio de funcionamento de uma lâmpada fluorescente é baseado no processo de produção de luz ultravioleta pela descarga de energia em um tubo rico em gases metálicos (mercúrio), e depois convertido em luz visível através da parede do tubo por uma camada de material especial (material fluorescente).

Muito embora as lâmpadas fluorescentes tenham a vantagem de possuírem um rendimento luminoso maior, apresentam ainda algumas desvantagens como a necessidade do uso de reatores e a limitada capacidade de potência. As lâmpadas fluorescentes têm potências inferiores a 110 W, com dimensões físicas extremamente exageradas.

LÂMPADAS A VAPOR DE MERCÚRIO E A VAPOR DE SÓDIO :

Uma sofisticação das lâmpadas mais comuns são as chamadas lâmpadas a vapor de mercúrio. Essas lâmpadas têm normalmente uma potência relativamente elevada com um rendimento luminoso superior às lâmpadas incandescentes. Também necessitam de reatores para o seu funcionamento e produzem luz de tom azul.

Um dos mais modernos tipos de lâmpadas são as lâmpadas a vapor de sódio. As lâmpadas a vapor de sódio apresentam um rendimento luminoso altíssimo, com conseqüente diminuição do consumo de energia e melhores resultados nos sistemas de iluminação. Um dos "preconceitos" que a lâmpada a vapor de sódio enfrenta, no entanto, é com relação a cor da luz emitida, que tende a tons de amarelo. Pessoas acostumadas em ambientes iluminados com lâmpadas de tom azul muitas vezes rejeitam eventuais modificações de iluminação que contrastem o amarelo.

Além dos tipo de lâmpadas apresentadas existem uma infinidade de outros tipos, e a cada dia o mercado nos coloca a disposição novas lâmpadas e novas tecnologias de modo que o abordado é apenas uma fração de um universo bastante amplo e interessante.

SIMBOLOGIA :

O símbolo mais usual da lâmpada é o mostrado abaixo (como já vimos em capítulos anteriores) :



É importante ressaltar que a simbologia pode variar, dependendo da norma utilizada.

5.5 - DISPOSITIVOS DE AQUECIMENTO (RESISTÊNCIAS)

Assim como definimos as lâmpadas como dispositivos de conversão de energia elétrica em luminosa, podemos definir que um dispositivo de aquecimento, muito conhecido como resistência de aquecimento, é um dispositivo que converte energia elétrica em energia térmica.

Embora o termo "resistência" venha definir uma grandeza elétrica e não um determinado componente, utilizaremos o termo "resistência elétrica" para definirmos um

resistor de aquecimento, pelo fato de serem utilizados muito freqüentemente pelos profissionais da área, apesar de entendermos ser uma expressão relativamente errônea em termos conceituais.

As resistências de aquecimento nada mais são que resistores de elevada potência otimizados para converterem a energia elétrica em térmica através de efeito Joule.

As resistências podem ser fabricadas de diversas maneiras, mas basicamente são fabricadas com fios de níquel-cromo em material refratário .

O princípio de funcionamento é análogo ao das lâmpadas incandescentes, ou seja, um fio de níquel-cromo (cuja a resistência à passagem da corrente elétrica é considerável) é percorrido por uma corrente elétrica que, encontrando uma oposição ao fluxo, libera energia no material em forma de calor. O calor produzido está relacionado à potência elétrica da resistência dado por :

$$P = I^2 \times R$$

onde :

P = Potência elétrica em Watts

I = Corrente elétrica em Ampéres

R = Resistência elétrica em Ohms

É essa relação entre o quadrado da corrente que percorre uma certa resistência que damos o nome de efeito Joule.

SIMBOLOGIA :

O símbolo da uma resistência de aquecimento é o mesmo que o apresentado para os resistores, podendo sofrer variações, dependendo da norma utilizada :

Resistência elétrica



Ao especificarmos uma resistência elétrica, temos que ter em vista principalmente suas características mecânicas, a classe de isolamento, a tensão de trabalho nominal e a potência elétrica nominal.

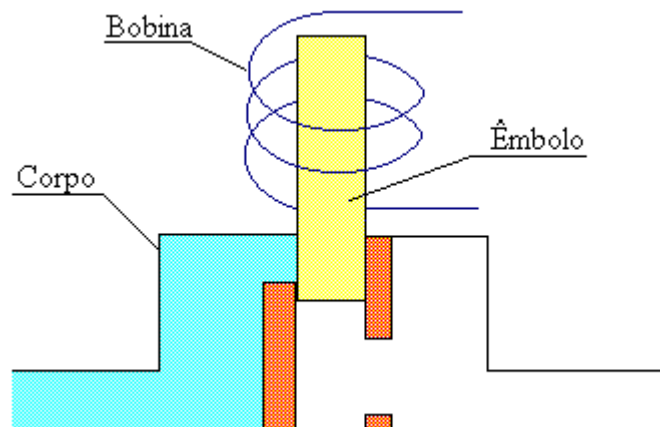
5.6 - DISPOSITIVOS ELETROMAGNÉTICOS (BOBINAS)

Como vimos no capítulo 4, dispositivos eletromagnéticos são aqueles que convertem energia elétrica em energia magnética ou uma força de magnetização. Dentre os dispositivos eletromagnéticos mais comuns em eletricidade estudaremos basicamente dois : as bobinas solenóides de um modo geral e os transformadores.

BOBINAS SOLENÓIDES :

As bobinas tem por finalidade criar um campo magnético quando percorridas por uma corrente elétrica, seja constante ou alternada. Normalmente essas bobinas estão associadas a um núcleo ferroso, que será atraído ou não, conforme o caso. Um exemplo típico de bobinas solenóides são as usadas no controle de válvulas pneumáticas e

hidráulicas. No desenho abaixo retratamos um esquema básico de uma válvula controlada por bobina solenóide :



Como podemos notar pelo exemplo, quando a bobina for energizada, o êmbolo será atraído, deslocando-se para cima e liberando a passagem para o fluido entre as câmaras. Esse é um típico exemplo de uma válvula normalmente fechada.

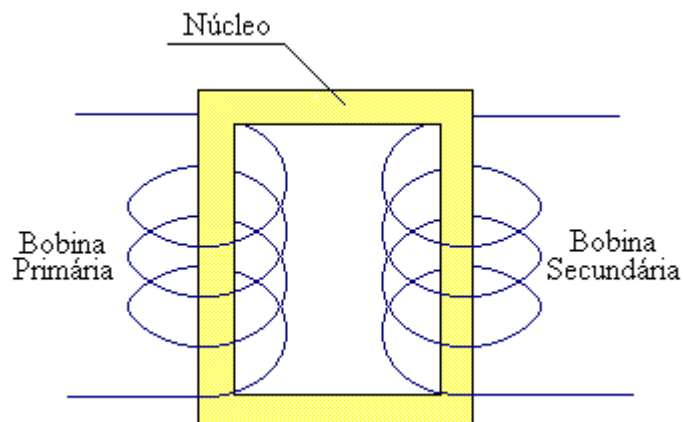
Um outro tipo de bobina bastante comum são aquelas utilizadas em freios de motores. Essas bobinas são normalmente instaladas junto ao eixo do motor, presas na carcaça. Junto à bobina, distanciada por alguns décimos de milímetro fica um disco ferroso que gira junto ao eixo do motor. Tanto o núcleo da bobina fixa como o disco girante têm suas faces revestidas como um material adequado, como lonas de freio.

Quando o motor é desligado, a bobina de freio recebe uma tensão contínua e atrai o disco girante que se atrita com a parte fixa, freando o motor.

TRANSFORMADORES E AUTOTRANSFORMADORES :

Um transformador, no sentido mais simples, é constituído basicamente de duas bobinas dispostas em um mesmo núcleo.

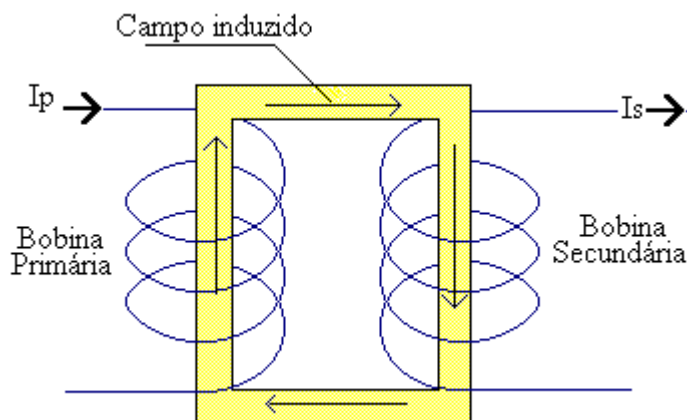
Seu papel é o de transformar valores de tensão e corrente em um circuito elétrico. Esquemáticamente podemos representar :



Como podemos ver, um transformador é composto basicamente por duas bobinas, uma denominada bobina primária e outra bobina secundária e um núcleo ferroso.

O funcionamento de um transformador é relativamente simples, vejamos :

Ao circular uma **corrente alternada** pela bobina primária, essa induz um campo magnético que, propagado pelo núcleo ferroso, gera na bobina secundária uma corrente elétrica induzida. Assim sendo, aparecerá uma diferença de potencial nos terminais das bobinas, que são proporcionais ao número de espiras da bobina, observe :



Matematicamente a relação entre tensão e espira em um **transformador ideal** pode ser expressa :

$$V2 / V1 = N2 / N1$$

Onde :

V1 = tensão em volts na bobina 1

V2 = tensão em volts na bobina 2

N1 = Número de espiras da bobina 1

N2 = Número de espiras da bobina 2

Dessa maneira, um transformador pode elevar ou abaixar a tensão a ser usada em um circuito.

A corrente que circula no enrolamento também está relacionada com o número de espiras na forma :

$$I1 / I2 = N2 / N1$$

Onde :

I1 = corrente na bobina 1

I2 = corrente induzida na bobina 2

N1 = Número de espiras da bobina 1

N2 = Número de espiras da bobina 2

Dessas duas equações podemos concluir, portanto, que enquanto a tensão induzida é diretamente proporcional ao número de espiras, a corrente induzida é inversamente proporcional ao número de espiras.

É importante ressaltar novamente que as relações acima se aplicam ao transformador ideal. No transformador real, contudo, existem perdas de potência no núcleo, o que acaba acarretando valores ligeiramente diferentes do exposto.

Finalmente vale lembrar que para se especificar um transformador é necessário que se tenha em mãos ao menos os dados da tensão de entrada e de saída e a potência aparente necessária.

UTILIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES :

Pode-se utilizar um transformador basicamente para duas aplicações :

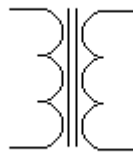
- Elevar ou abaixar a tensão em um circuito
- Isolar dois circuitos eletricamente .

O primeiro caso foi o discutido anteriormente, onde vimos que a relação de transformação está relacionada ao número de espiras de cada bobina e à tensão aplicada.

O segundo caso, que pode não parecer tão típico, é o de utilizarmos um transformador para isolar um circuito de outro ou um circuito da rede elétrica . É fácil de se entender que se um transformador não possuiu contato elétrico entre o primário e o secundário, os circuitos que estão neles conectados também estão isolados entre si.

SIMBOLOGIA :

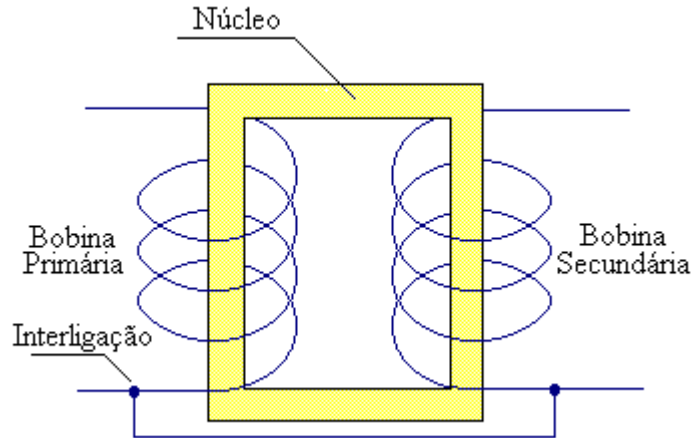
O símbolo mais comum de um transformador monofásico é o mostrado a seguir :



Símbolo do transformador

AUTOTRANSFORMADORES :

Um autotransformador, de um modo geral , diferencia-se de um transformador por apresentar o primário interligado eletricamente ao secundário :



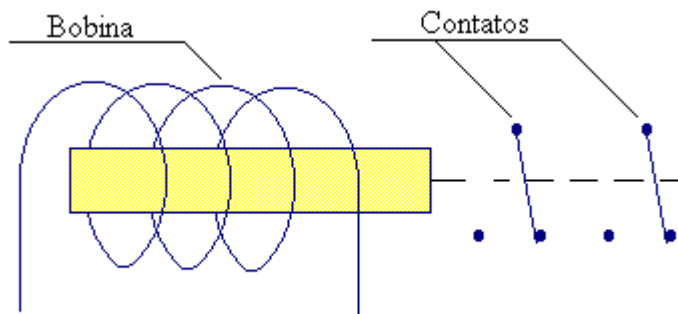
Esse tipo de dispositivo é largamente empregado, por ser de construção mais barata, apresentar um rendimento de transformação superior ao transformador isolado além de maiores potências para um mesmo núcleo, se comparado ao transformador isolado.

A grande desvantagem dos autotransformadores é que eles não isolam eletricamente o circuito primário do circuito secundário.

5.7 - CONTADORES E RELÉS

Em comandos elétricos, um dos elementos mais comuns são os contadores e os relés.

Basicamente, um contador é um dispositivo de acionamento eletromagnético que comuta um grupo de contatos. Esquematicamente :



Como ilustra a figura acima, existe uma bobina que quando energizada atrai para si um núcleo ferroso. O núcleo, por sua vez, está preso a um jogo de contatos que são deslocados, abrindo ou fechando um determinado circuito.

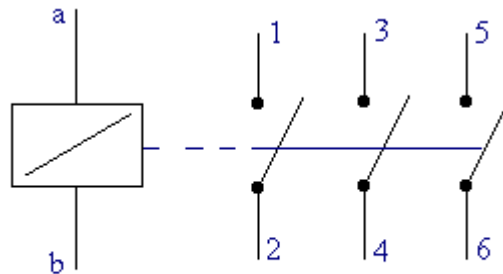
Tanto o contador como o relé funcionam baseados nesse princípio. A diferença entre um contador e um relé está mais relacionada à sua função no circuito elétrico do que com suas características funcionais e construtivas.

Chamamos de contador o componente que opera na maioria das vezes como elemento controlador de circuitos de potência como, por exemplo, os motores elétricos. Os contadores apresentam normalmente jogos de contato do tipo NA ou NF ou ainda uma combinação de ambos.

São chamados de relés os dispositivos comutadores de pequeno porte que controlam normalmente circuitos auxiliares de pequena potência. Os relés apresentam normalmente jogos de contato reversíveis.

SIMBOLOGIA :

Muito embora a simbologia desses componentes podem ser diferenciadas e devem seguir uma mesma norma, apresentaremos aqui um símbolo genérico aos componentes em questão sem nos prendermos demais à simbologia técnica. O símbolo adotado é o seguinte :



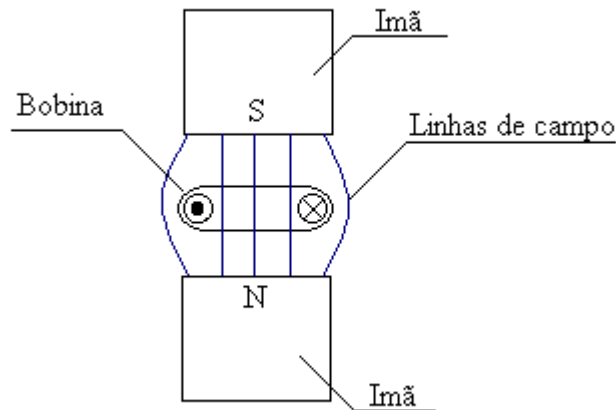
Símbolo básico de um contator

Um contator como o mostrado acima pode ser utilizado por exemplo para controlar qualquer carga trifásica.

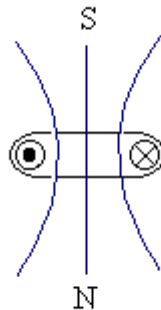
5.8 - MOTORES ELÉTRICOS

Podemos definir motor elétrico como sendo um dispositivo que recebe energia elétrica e a converte em energia mecânica para produzir trabalho útil.

O motor elétrico funciona devido às ações eletrodinâmicas que resultam no rotor girando, devido a uma série de atrações e repulsões produzidas pelos campos magnéticos criados pela passagem da corrente elétrica em bobinas. De fato, um motor simples de corrente contínua pode ser produzido por dois ímãs e uma bobina presa a um rotor. Observemos o desenho abaixo :



No exemplo, a corrente entra pela bobina disposta perpendicularmente ao plano dos ímãs no ponto marcado com um X e sai do outro lado. Sendo assim, o campo criado pela bobina tem o polo norte voltado para baixo e o polo sul voltado para cima :



Estando os pólos da bobina com o mesmo sinal dos pólos dos ímãs, a tendência é que haja uma repulsão entre os pólos de modo que a bobina desloque-se ao longo de seu eixo em movimento circular. quando os pólos opostos se encontram, comuta-se o sentido da corrente para que o ciclo reinicie. Esse princípio de atração e repulsão é que define basicamente o funcionamento de qualquer motor elétrico de indução magnética.

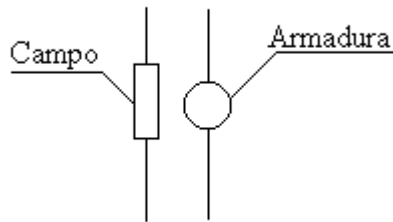
Em nossa empresa, utilizamos basicamente somente dois tipos de motor : o motor de CC e o motor trifásico de CA com rotor tipo "gaiola de esquilo" .

MOTORES DE CC :

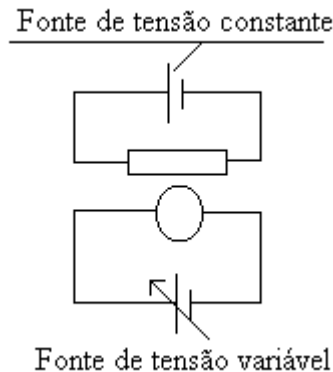
Os motores de corrente contínua são formados basicamente por um conjunto de bobinas fixas à carcaça conhecidas como **campo** e uma bobina enrolada sobre o eixo, **no rotor**, conhecida simplesmente pelo nome de **armadura**.

Tanto o campo quanto a armadura podem ser excitados em conjunto ou individualmente. No nosso caso, a excitação do motor é feita individualmente.

Simbolicamente um motor CC pode ser expresso da seguinte maneira :



Um esquema básico para a excitação de um motor de CC é o mostrado abaixo :



A fonte de tensão variável para excitação do campo é utilizada quando se pretende variar a velocidade de rotação do motor de CC.

VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DO MOTOR DE CC :

Principais vantagens :

- Possui torque constante para qualquer rotação
- Bom rendimento
- Facilidade para variar a velocidade

Principais desvantagens :

- Alto custo
- Necessitada de dispositivos de comando sofisticados e caros
- Alto índice de manutenção (escovas e coletor).

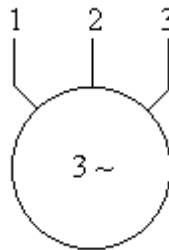
MOTORES DE CA COM ROTOR EM CURTO :

Os motores trifásicos mais utilizados na empresa são os motores de corrente alternada com rotor de espiras em curto, também conhecido como motor com rotor tipo "gaiola de esquilo".

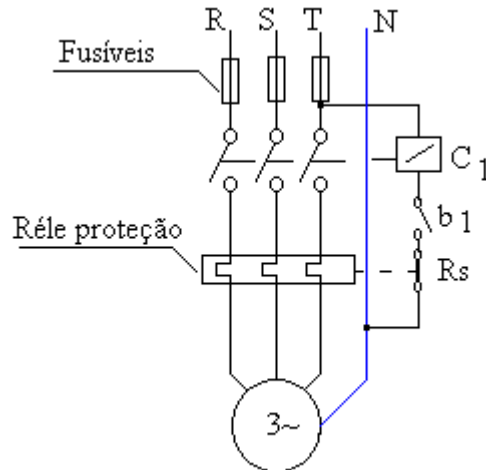
Esses motores são compostos basicamente de um rotor formado por um aglomerado de chapas de ferro-silício em uma estrutura de barras curto-circuitadas na forma de uma gaiola circular e além de uma carcaça (também de ferro-silício) onde estão dispostas em canais um conjunto de bobinas.

Quando uma corrente elétrica circula pelas bobinas, essas induzem uma força no rotor de modo a deslocá-lo, fazendo com que esse gire em torno de seu eixo.

Esquemáticamente um motor trifásico pode ser representado da seguinte maneira :



Para acionamento de um motor trifásico utilizamos de um modo geral os contatores. O esquema abaixo ilustra o acionamento simples de um motor trifásico :



No circuito acima, ao acionarmos b1, o contator C1 é acionado, fechando os contatos do circuito principal e energizando o motor . Os fusíveis o e relé de proteção serão assunto para o capítulo posterior.

ESPECIFICAÇÃO DE UM MOTOR CA :

Para especificarmos a utilização de um motor qualquer a uma dada especificação, devemos ter em mente os seguintes dados :

- Potência nominal exigida em HP ou CV;
- Especificações mecânicas (fixação, diâmetro do eixo, etc);
- Rotação nominal do eixo (RPM);
- Tensão de trabalho;
- Tipo de acionamento.

VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DO MOTOR DE CA :

Principais desvantagens :

- Difícil variar a rotação do motor
- O torque cai com a rotação
- Corrente de partida muito elevada

Principais vantagens :

- Baixo custo

- Necessitada de dispositivos de comando simples e baratos
- Pouca manutenção.

6 - DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

6.1 - FUSÍVEIS

Os fusíveis são os dispositivos de proteção mais simples que existem. Sua principal função em um circuito é a de interromper a passagem da corrente elétrica caso essa exceda um nível pré determinado, por exemplo, no caso de um curto-circuito quando a corrente tende a valores altíssimos. Sem a proteção do fusível em um caso sinistro, o circuito elétrico pode ser totalmente danificado culminando em um incêndio ou uma explosão.

Um fusível é basicamente constituído por um condutor dimensionado para suportar uma determinada corrente. A esse condutor que constitui o fusível damos o nome de "**elo**".

O elo fusível pode ser feito de diversos materiais como cobre, prata, platina, ouro, etc.

ESPECIFICAÇÕES DE UM FUSÍVEL :

Para especificarmos qual o melhor fusível para ser utilizado em um circuito, devemos verificar os seguintes critérios :

- A corrente nominal do circuito
- A tensão de isolamento
- O tipo de carga a ser protegida

Com relação à corrente do circuito, o **fusível deve ser especificado de acordo com sua curva característica, fornecida pelo fabricante**. A especificação de um fusível nunca deve ser feita "no chute", pois o circuito corre o risco de ficar desprotegido em determinadas circunstâncias.

Na substituição de um fusível que se queimou, nunca utilizar outro de maior valor, pois isso pode ser perigoso ! Antes de substituí-lo deve-se ainda apurar a causa da queima .

Com relação à tensão de isolamento, o fusível deve ser especificado com folga, para não sofrer avarias.

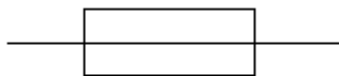
Ao tipo de carga a ser protegida está relacionado o tipo de fusível a ser utilizado. Os tipos de fusíveis podem ser :

- Fusível de ação retardada - são fusíveis cuja resposta à subida brusca de corrente é relativamente lenta. Esses fusíveis são utilizados principalmente na proteção de elementos reativos como os motores elétricos, que apresentam picos de partida elevados.

- Fusível de ação rápida e ultra-rápida - são fusíveis cuja resposta à subida brusca de corrente é extremamente rápida. Esses fusíveis são utilizados na proteção de equipamentos sensíveis, como cargas resistivas e equipamentos eletrônicos.

SIMBOLOGIA :

O símbolo mais usual do fusível é o mostrado a seguir :



Símbolo do fusível

6.2 - RELÉS DE SOBRECARGA

O EFEITO DE SOBRECARGA :

Dizemos que um elemento qualquer está sobrecarregado quando sua corrente de trabalho excede a corrente nominal, demonstrando que circunstâncias anormais estão ocorrendo de modo a exigir mais potência do que aquela dimensionada para o trabalho.

Um interessante exemplo se refere aos motores elétricos : suponhamos por exemplo que um dado motor, depois de muito tempo de trabalho normal tem um de seus rolamentos travados; o que vai ocorrer é que o travamento do rolamento irá exigir que o motor faça "mais força" para conseguir virar o eixo. Esse acréscimo de força resulta no acréscimo da demanda de potência. Se o motor já trabalhava dentro de seus valores nominais de potência, é evidente que a potência "extra" exigida irá representar uma sobrecarga ao equipamento. Como o motor, nesse caso, não pode fornecer mais potência útil ele começa a aquecer-se e pode até queimar-se.

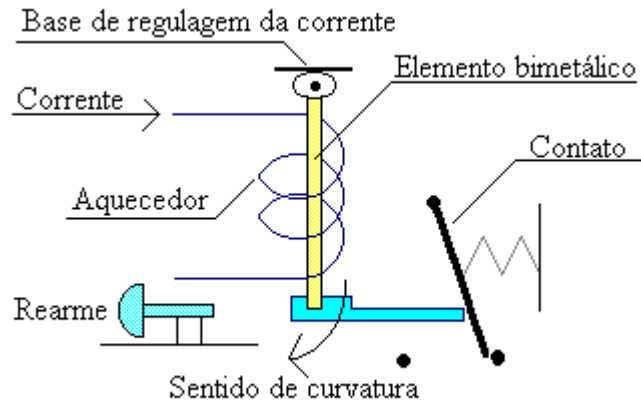
Para evitar-se que certos equipamentos possam ser danificados por circunstâncias de sobrecarga é que utilizamos os relés de sobrecarga.

RELÉS BIMETÁLICOS :

Os relés de proteção contra sobrecarga, como o próprio nome sugere, são dispositivos que protegem os motores elétricos contra sobrecargas, desligando um circuito e/ou acionando um alarme para alertar sobre um eventual problema .

A maioria desses relés funcionam baseados em um princípio de ação térmica sobre um elemento bimetálico que se dobra em uma curvatura proporcional ao calor . O calor produzido, por sua vez, é através de um condutor levemente resistivo ligado em série com a carga, de modo a aquecer-se de maneira proporcional à corrente circulante.

O desenho a seguir é uma analogia simples do funcionamento do relé :



Quando uma corrente de sobrecarga percorrer o aquecedor, o elemento bimetalico irá curvar-se, fazendo com que o contato mude de estado. Para retornar o contato ao estado de repouso, deve-se atuar no botão de rearme. Na base de regulação de corrente ajusta-se o valor da corrente de referência para a proteção do equipamento.

ATENÇÃO !

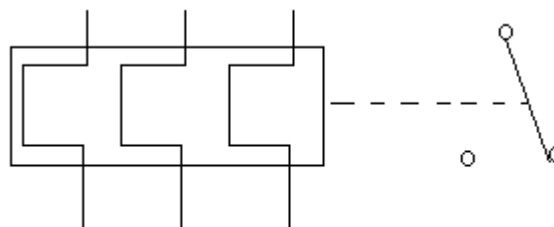
Nunca rearme um relé de sobrecarga sem antes apurar a causa do desarme e eliminá-la, pois isso poderá causar danos irreversíveis ao equipamento.

Como podemos verificar, o relé de sobrecarga é um elemento importante na preservação de motores elétricos e equipamentos sujeitos a sobrecargas e é por isso que seu uso é bastante difundido.

Um relé de sobrecarga pode, ainda, atuar indiretamente como relé de falta de fase em motores trifásicos (se o relé estiver convenientemente regulado), pois a falta de uma das fases em um motor em funcionamento acrescenta uma certa corrente nas outras fases, e o motor pode ser danificado, se o circuito não for desligado a tempo.

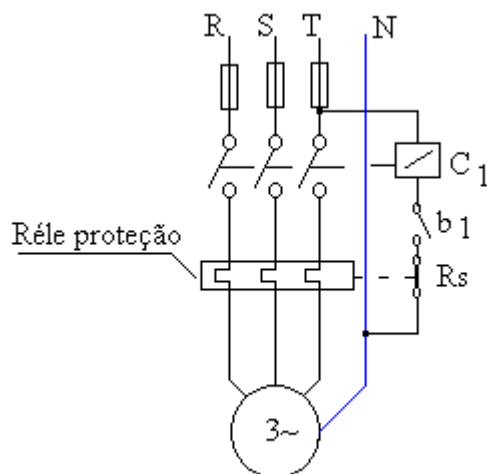
SIMBOLOGIA :

O símbolo mais usual dos relés contra sobrecarga, é o mostrado a seguir :



Símbolo do relé contra sobrecargas

Um exemplo de ligação é o mesmo que o mostrado no capítulo sobre acionamento de motores, vejamos :



6.3 - DISJUNTORES

Os disjuntores termomagnéticos constituem um dos dispositivos de proteção mais utilizados na indústria. Ele incorpora em um único elemento funções parecidas ao dos fusíveis através de atuação por ação eletromagnética e funções similares aos relés térmicos, através de atuação por ação térmica em um elemento bimetálico.

De fato, um disjuntor é um dispositivo de proteção contra curto-circuitos e sobrecargas.

A proteção contra curto-circuitos ocorre através da atuação de uma bobina de corrente incorporada ao circuito e em série com a carga. Quando a corrente eleva-se bruscamente, o campo magnético criado na bobina é suficientemente intenso para atrair um núcleo ferroso, que irá desarmar o dispositivo, interrompendo o circuito.

A proteção contra sobrecargas é similar à apresentada nos relés térmicos, e ocorre quando a corrente da carga excede em um intervalo de tempo a corrente nominal do disjuntor.

É importante ressaltar que o disjuntor incorpora ainda todo um dispositivo mecânico apropriado para o acionamento da alavanca liga/desliga.

O uso dos disjuntores é apropriado para a proteção de máquinas e equipamentos não reativos, redes de distribuição, iluminação, etc.

ESPECIFICAÇÕES :

Para especificarmos um disjuntor apropriado a uma determinada instalação, devemos observar uma série de circunstâncias e grandezas, como por exemplo :

- Tensão nominal : é a tensão aplicada entre os pólos do disjuntor .
- Corrente nominal : é o valor da corrente que poderá percorrer continuamente o disjuntor sem desligá-lo.
- Capacidade de interrupção : é a especificação da maior corrente de curto-circuito que o disjuntor poderá interromper de danos.

Os valores obtidos sempre devem estar dentro das circunstâncias apresentadas pelo fabricante.

TIPOS DE DISJUNTORES :

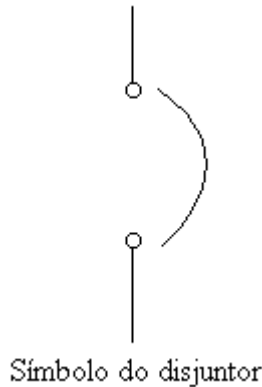
Os disjuntores podem variar, além das especificações elétricas, quanto ao modelo e número de pólos.

Existem os disjuntores monopolares, bipolares e tripolares, utilizados para proteger circuitos monofásicos, bifásicos e trifásicos respectivamente.

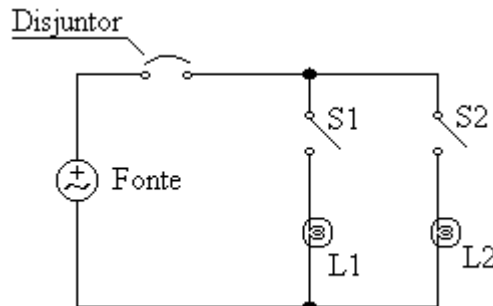
Quanto ao modelo, esses podem variar de acordo com cada fabricante.

SIMBOLOGIA :

Dependendo do tipo de diagrama e da norma escolhida, o disjuntor pode apresentar um determinado símbolo. Um dos símbolos mais usuais é o seguinte :



Um exemplo de utilização de disjuntores é na proteção de circuitos de iluminação :



Vale a pena ressaltar que não se deve utilizar disjuntores em circuitos como se fossem simples interruptores. **Um disjuntor é um dispositivo de proteção e não de comando .**

Nota : muito embora os disjuntores normais incorporem em um único elemento as características de fusível e relé de sobrecarga, não se deve substituir em um circuito com motores os fusíveis e o relé de sobrecarga pelo disjuntor. Caso se pretenda uma substituição desse tipo, deve-se recorrer a disjuntores especiais, especialmente projetados para esse fim.

7 - RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO (ASPECTOS FISIOLÓGICOS)

Muito embora a energia elétrica seja um tipo de energia muito boa, relativamente barata, simples e limpa, ela apresenta uma desvantagem extremamente grande : ela é muito perigosa !

De fato , a corrente elétrica oferece um grande risco a qualquer organismo vivo, pois produz efeitos térmicos e nervosos no organismo que podem ir de uma simples sensação de desconforto até a morte.

O efeito da corrente elétrica no organismo humano depende basicamente de sua intensidade, do tempo de duração, da frequência e do percurso pelo organismo.

Os efeitos são tão mais fatais quanto maior a intensidade e o tempo de duração da corrente que percorre o organismo.

Quanto ao percurso, o mais perigoso é o que tiver pelo caminho o coração .

Para efeito de estudos, existe uma curva chamada "curva de periculosidade da corrente elétrica" que ilustra os efeitos da corrente elétrica no organismo humano. A seguir vejamos alguns efeitos extraídos a partir dessa curva :

	<i>CORRENTE (mA)</i>	<i>EFEITOS</i>
☺	até 1	Não é percebida
☺	2 a 3	Sensação de formigamento
☹	3 a 10	Não é fatal ; indivíduo pode soltar-se
⊗	10 a 50	Dependendo do tempo de duração podem produzir cãibras fatais nos músculos respiratórios
⊗	50 a 500	Quase sempre perigosa, podendo causar problemas cardíacos fatais
⊗	Acima de 500	Morte por problemas cardíacos e paralisia dos centros nervosos

Note, por exemplo, que a resistência ôhmica de uma pessoa pode variar de 500 Ω a 1500 Ω . A partir daí, considerando-se que uma corrente de 50 mA já pode ser fatal, podemos determinar a partir de que tensão podemos sofrer ameaça de morte : Fazendo-se as contas chega-se ao seguinte valor : _____ . (*calcular em sala de aula*)

Como podemos observar, é importante que se tenha isso em mente, que não é o nível de tensão que pode matar, mas a intensidade e a duração do efeito da **corrente elétrica** no organismo. Portanto, dizer-se que o contato com uma tensão de 110V é "menos perigoso" que o contato com uma fonte de tensão de 220V é no mínimo contraditório.

Lembre-se sempre :

ELETRICIDADE MATA !

Portanto previna-se sempre, porque no caso de um acidente, não há como remediar. Nunca manipule circuitos elétricos energizados e sempre que estiver em dúvida procure um profissional qualificado.

8 - CONSERVAÇÃO E ECONOMIA DE ENERGIA

Hoje em dia, uma das grandes preocupações do setor de energético no Brasil é o consumo excessivo de energia elétrica.

Tendo em vista que a capacidade produtiva do setor já atingiu seu limite e que não existem recursos disponíveis para ampliar o sistema, as próprias concessionárias de energia vêm investindo na conscientização dos consumidores para economizarem. Muito embora a grande parte do empresariado e do consumidor doméstico não tenham ainda se empenhado nessa tarefa, é certo que um dia o farão, quando os recursos energéticos ficarem ainda mais escassos e mais caros.

Vamos agora, discutir alguns tópicos relacionados à economia e conservação de energia elétrica na indústria e no lar :

ILUMINAÇÃO :

A iluminação é um grande consumidor de energia, donde podemos extrair alguns procedimentos para economia :

- Procure aproveitar ao máximo a iluminação natural antes de ligar lâmpadas ;
- Apague as luzes antes de sair do ambiente. Ambiente vazio e iluminado é desperdício .
- Procure utilizar lâmpadas mais modernas, que além de economizarem energia ainda iluminam melhor e duram mais.
- A boa distribuição da iluminação, seguindo-se critérios conservativos é um dos fatores que mais contribuem na economia de energia elétrica. A simples mudança de alguns pontos de iluminação podem trazer economia.

AR CONDICIONADO :

- Somente ligue o ar condicionado quando necessário .
- Todo ambiente que utiliza ar condicionado não deve ficar trocando calor com o ambiente externo, portanto todas as portas e janelas devem permanecer fechadas.
- Procure regular a temperatura de condicionamento para um valor ameno, quanto mais próximo possível da temperatura ambiente.
- Deixe o ar ligado somente enquanto estiver no local.

- Limpe os filtros de ar periodicamente.

AR COMPRIMIDO :

- O vazamento de ar é um dos principais "inimigos" da economia de energia elétrica. É imprescindível que se procure detectar e eliminar vazamentos de ar .

- Procure otimizar o sistema para que os motores dos compressores não trabalhem por muito tempo em alívio. Com o compressor em alívio o motor desperdiça energia e abaixa seu fator de potência.

- A falta de manutenção em sistemas de ar comprimido e a má distribuição contribuem para o aumento do consumo de energia elétrica.

- A energia do ar comprimido é uma energia conservativa, ou seja, pode ser produzida e armazenada. Na indústria, a energia elétrica é tarifada de modo diferente em diferentes horários do dia, logo pode-se produzir ar comprimido nos horários em que a energia é mais barata, armazená-lo e distribuí-lo nos horários onde a energia elétrica é mais cara.

- Manter um diferencial de pressão no máximo possível a fim de se utilizar por menos tempos os compressores a plena carga pode ser uma medida de economia.

- Procurar utilizar equipamentos eficientes, que ofereçam maior rendimento energético.

- Procurar manter a temperatura do ar na admissão do compressor o mais baixo possível. Um aumento de 5°C na temperatura do ar inspirado significa um aumento de consumo de energia elétrica da ordem de 1% .

MOTORES ELÉTRICOS :

- Para não desperdiçar energia elétrica os motores devem estar, principalmente, bem dimensionados. Motores superdimensionados acarretam em aumento do consumo de energia elétrica e na diminuição do fator de potência.

- Os rolamentos dos motores elétricos devem sofrer uma manutenção periódica (substituição) a fim de se evitar problemas de sobrecarga e aumento de consumo.

- A ventilação sobre os motores deve ser adequada.

- Deve-se procurar dimensionar os sistemas de partida e parada adequada para os motores. Uma reversão brusca no sentido de rotação de um motor para freá-lo (por exemplo em um torno) representa, a grosso modo, o custo equivalente a três partidas.

Como pudemos observar pelos exemplos apresentados, existem uma série de procedimentos cabíveis que podem ser utilizados, principalmente pelo profissional de manutenção que pode (e deve) cuidar desses aspectos. A conservação de energia é necessária e pode ser aplicada em inúmeros casos não só nos citados acima, mas ainda no tratamento de gases, vapores de caldeiras elétricas, tratamentos de efluentes, na conservação, manutenção e bom dimensionamento de máquinas e equipamentos, etc.

9 - BIBLIOGRAFIA

- Curso Básico de Eletrônica Analógica - Gerson R. Luqueta - 1994
- Comandos Elétricos (Eletrotécnica básica) - SENAI
- Manual de Instalações Elétricas - Ademaro Cotrim - Pirelli
- Procedimentos de Manutenção para Economia de Energia - Agência para Aplicação de Energia

CURSO BÁSICO DE ELETRICIDADE E DISPOSITIVOS DE COMANDO
AUTOR : GERSON ROBERTO LUQUETA
Edição : 02 /95