

## **Eletroeletrônica II**

## Eletroeletrônica II

© SENAI-SP, 2006

Trabalho organizado a partir de conteúdos extraídos da Intranet pelas CFPs 5.03, 5.68 e 6.02 e editorado por Meios Educacionais da Gerência de Educação da Diretoria Técnica do SENAI-SP para o curso Técnico de Manutenção Eletromecânica.

Coordenação técnica	Airton Almeida de Moraes (GED)
Organização de conteúdos	Juliano Vagner Ribeiro (CFP 5.68)
Capa	José Joaquim Pecegueiro (GED)
Coordenação editorial	Gilvan Lima da Silva (GED)

SENAI Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial  
Departamento Regional de São Paulo  
Av. Paulista, 1.313 - Cerqueira César  
São Paulo - SP  
CEP 01311-923

Telefone (0XX11) 3146-7000  
Telefax (0XX11) 3146-7230  
SENAI on-line 0800-55-1000

E-mail [senai@sp.senai.br](mailto:senai@sp.senai.br)  
Home page <http://www.sp.senai.br>

# Sumário

Magnetismo e eletromagnetismo	5
Transformadores	21
Transformador trifásico	45
Identificação de terminais de transformadores	55
Máquinas de corrente contínua	59
Motores de CA monofásicos	75
Motores trifásicos de CA	85
Parâmetros mecânicos de máquinas elétricas	99
Motores de aplicações especiais	107
Ajustes das escovas dos coletores	115
Desmontagem e montagem de máquina elétrica giratória	127
<b>Comandos elétricos – Teoria</b>	
Dispositivos de proteção e segurança	133
Relês como dispositivos de segurança	141
Seletividade	149
Contatores	157
Defeitos de contatores	173
Chaves auxiliares tipo botoeira	175
Sinalizadores luminosos	179
Relês temporizadores	183
Transformadores para comando	187
Diagramas de comandos elétricos	191
Reversão de rotação de motores trifásicos	207
Sistemas de partida de motores trifásicos	213
Partida de motor trifásico estrela-triângulo	223
Partida de motor trifásico tipo Dahlander	227
Reversão de motor trifásico tipo Dahlander	231
Partida de motor trifásico de rotor bobinado	237

Partida de motor trifásico com chave compensadora automática	243
Partida consecutiva de motores trifásicos	245
Frenagem de motor trifásico	249
<b>Comandos elétricos – Ensaios</b>	
Verificar funcionamento de dispositivos de segurança	255
Verificar o funcionamento de comando de motor trifásico por contator	257
Verificar o comando para inversão de rotação do motor trifásico	259
Instalar motor trifásico com comando para partida estrela-triângulo	263
Reversão de rotação de motor trifásico	267
Verificar o funcionamento de motor com proteção por transformador de corrente	269
Verificar o funcionamento de motor com partida automática	271
Verificar o funcionamento de motor Dahlander	273
Verificar o funcionamento de motor Dahlander com reversão de rotação	275
Verificar o funcionamento de motor Dahlander com relés temporizados	277
Verificar o funcionamento de motor trifásico com rotor bobinado	279
Verificar o funcionamento de motor trifásico com rotor com comutação automática	281
Verificar o funcionamento de frenagem de motor trifásico por contracorrente	283
Referências bibliográficas	287

# Magnetismo e eletromagnetismo

O magnetismo impressionou o homem desde a antiguidade, quando foi percebido pela primeira vez. A magnetita instigava a curiosidade porque atraía certos materiais.

Muitos cientistas dedicaram anos ao estudo do magnetismo até que o fenômeno fosse completamente conhecido e pudesse ser aplicado proveitosamente.

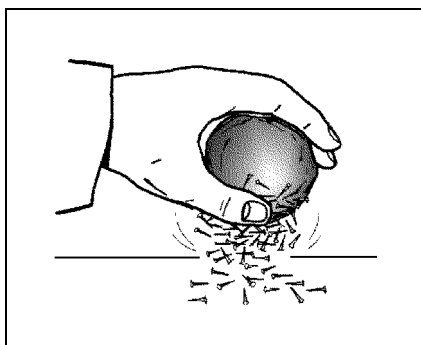
O estudo do magnetismo natural, visa o conhecimento da origem e das características do magnetismo e dos ímãs.

Estudaremos também o eletromagnetismo, que por sua vez, é de fundamental importância para quem quer compreender o funcionamento de motores, geradores, transformadores...

Neste capítulo estudaremos o magnetismo e o eletromagnetismo que explica os fenômenos magnéticos originados pela circulação da corrente elétrica em um condutor.

## Magnetismo

O magnetismo é uma propriedade que certos materiais têm de exercer uma atração sobre materiais ferrosos.



As propriedades dos corpos magnéticos são grandemente utilizadas em eletricidade, em motores e geradores, por exemplo, e em eletrônica, nos instrumentos de medição e na transmissão de sinais.

### **Ímãs**

Alguns materiais encontrados na natureza apresentam propriedades magnéticas naturais. Esses materiais são denominados de ímãs naturais. Como exemplo de ímã natural, pode-se citar a magnetita.

É possível também obter um ímã de forma artificial. Os ímãs obtidos dessa maneira são denominados ímãs artificiais. Eles são compostos por barras de materiais ferrosos que o homem magnetiza por processos artificiais.

Os ímãs artificiais são muito empregados porque podem ser fabricados com os mais diversos formatos, de forma a atender às mais variadas necessidades práticas, como por exemplo, nos pequenos motores de corrente contínua que movimentam os carrinhos elétricos dos brinquedos do tipo “Autorama”.

Os ímãs artificiais em geral têm propriedades magnéticas mais intensas que os naturais.

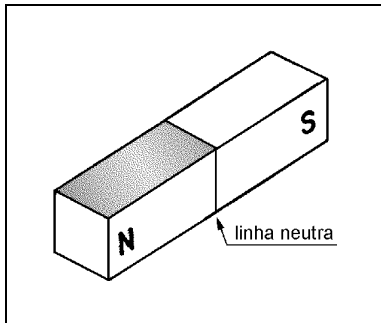
### **Pólos magnéticos de um ímã**

Externamente, as forças de atração magnética de um ímã se manifestam com maior intensidade nas suas extremidades. Por isso, as extremidades do ímã são denominadas de pólos magnéticos.

Cada um dos pólos apresenta propriedades magnéticas específicas. eles são denominados de pólo sul e pólo norte.

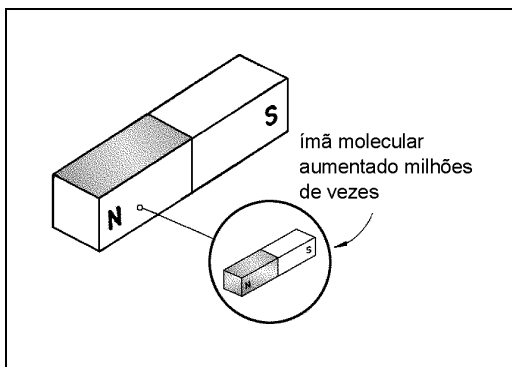
Uma vez que as forças magnéticas dos ímãs são mais concentradas nos pólos, é possível concluir que a intensidade dessas propriedades decresce para o centro do ímã.

Na região central do ímã, estabelece-se uma linha onde as forças de atração magnética do pólo sul e do pólo norte são iguais e se anulam. Essa linha é denominada de linha neutra. A linha neutra é, portanto, a linha divisória entre os pólos do ímã.

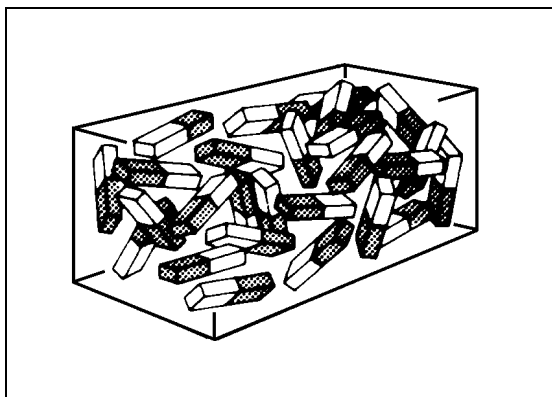


### Origem do magnetismo

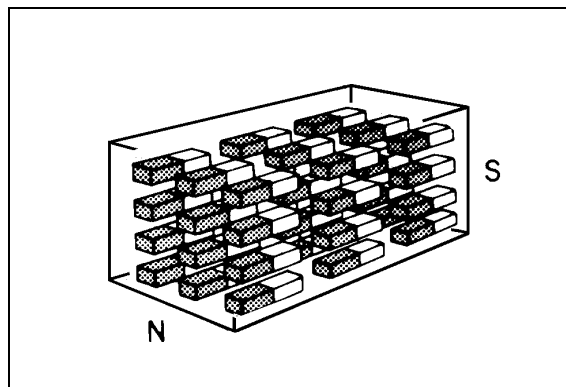
O magnetismo origina-se na organização atômica dos materiais. Cada molécula de um material é um pequeno ímã natural, denominado de ímã molecular ou domínio.



Quando, durante a formação de um material, as moléculas se orientam em sentidos diversos, os efeitos magnéticos dos ímãs moleculares se anulam, resultando em um material sem magnetismo natural.



Se, durante a formação do material, as moléculas assumem uma orientação única ou predominante, os efeitos magnéticos de cada ímã molecular se somam, dando origem a um ímã com propriedades magnéticas naturais.

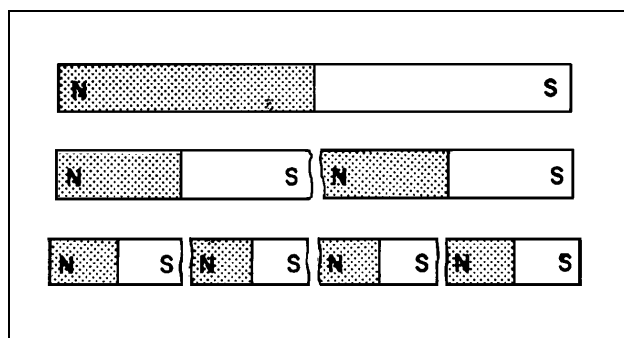


### Observação

Na fabricação de ímãs artificiais, as moléculas desordenadas de um material sofrem um processo de orientação a partir de forças externas.

### Inseparabilidade dos pólos

Os ímãs têm uma propriedade característica: por mais que se divida um ímã em partes menores, as partes sempre terão um pólo norte e um pólo sul.

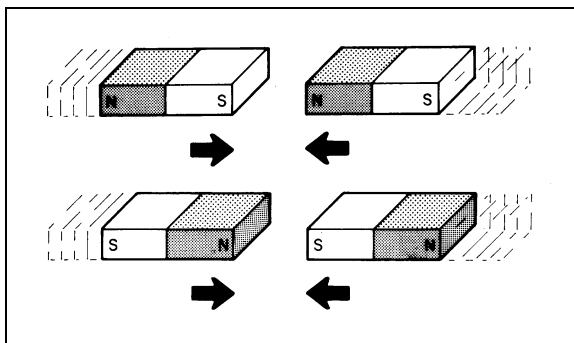


Esta propriedade é denominada de inseparabilidade dos pólos.

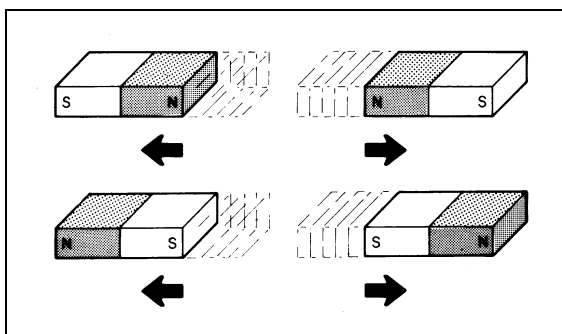


### Interação entre ímãs

Quando os pólos magnéticos de dois ímãs estão próximos, as forças magnéticas dos dois ímãs reagem entre si de forma singular. Se dois pólos magnéticos diferentes forem aproximados (norte de um, com sul de outro), haverá uma atração entre os dois ímãs.



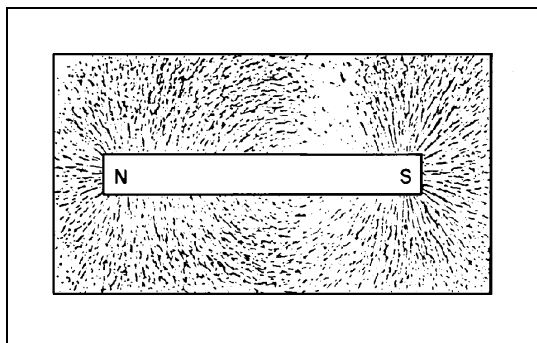
Se dois pólos magnéticos iguais forem aproximados (por exemplo, norte de um próximo ao norte do outro), haverá uma repulsão entre os dois.



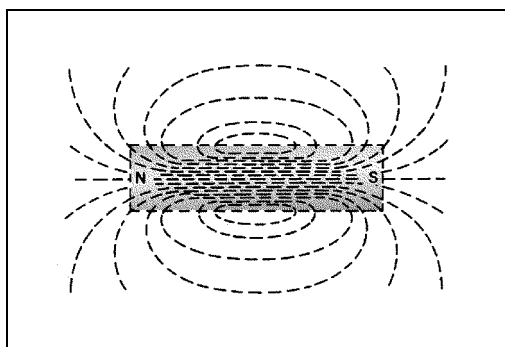
### Campo magnético - linhas de força

O espaço ao redor do ímã em que existe atuação das forças magnéticas é chamado de campo magnético. Os efeitos de atração ou repulsão entre dois ímãs, ou de atração de um ímã sobre os materiais ferrosos se devem à existência desse campo magnético.

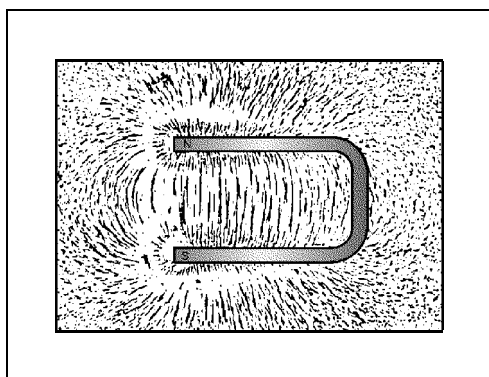
Como artifício para estudar esse campo magnético, admite-se a existência de linhas de força magnética ao redor do ímã. Essas linhas são invisíveis, mas podem ser visualizadas com o auxílio de um recurso. Colocando-se um ímã sob uma lâmina de vidro, e espalhando limalha de ferro sobre essa lâmina, as limalhas se orientam conforme as linhas de força magnética.



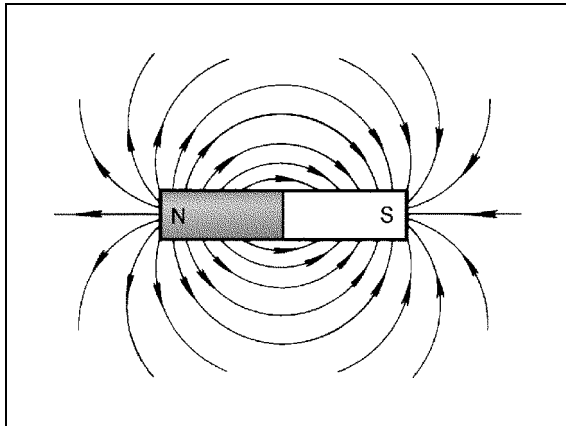
O formato característico das limalhas sobre o vidro, denominado de espectro magnético, é representado na ilustração a seguir.



Essa experiência mostra também a maior concentração de limalhas na região dos pólos do ímã. Isso é devido à maior intensidade de magnetismo nas regiões polares, pois aí se concentram as linhas de força.



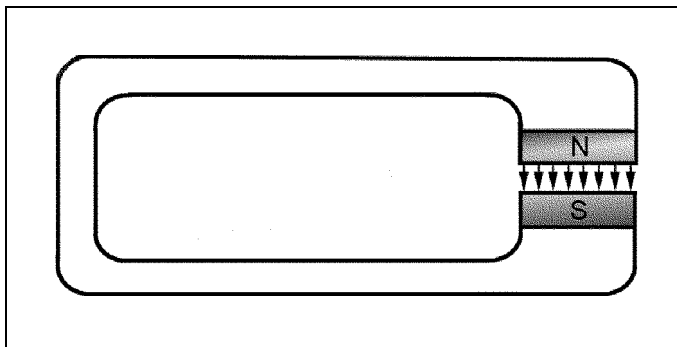
Com o objetivo de padronizar os estudos relativos ao magnetismo e às linhas de força, por convenção estabeleceu-se que as linhas de força de um campo magnético se dirigem do pólo norte para o pólo sul.



### **Campo magnético uniforme**

Campo magnético uniforme é aquele em que o vetor de indução magnética  $B$  tem o mesmo módulo, a mesma direção e o mesmo sentido em todos os pontos do meio, homogêneo por hipótese.

No campo magnético uniforme, as linhas de indução são retas paralelas igualmente espaçadas e orientadas. O campo magnético na região destacada na ilustração a seguir, por exemplo, é aproximadamente uniforme.



Essa convenção se aplica às linhas de força externas ao ímã.

### **Fluxo da indução magnética**

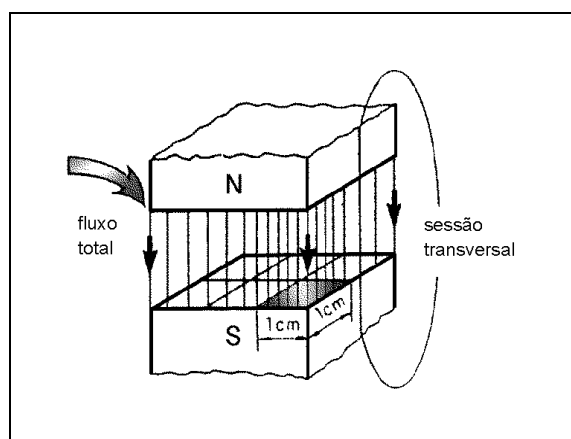
Fluxo da indução magnética é a quantidade total de linhas de um ímã que constituem o campo magnético. É representado graficamente pela letra grega  $\phi$  (lê-se "fi").

O fluxo da indução magnética é uma grandeza e, como tal, pode ser medido. No SI (Sistema Internacional de Medidas), sua unidade de medida é o weber (Wb). No Sistema CGS de medidas, sua unidade é o maxwell (Mx).

Para transformar weber em maxwell, usa-se a seguinte relação:  $1 \text{ Mx} = 10^{-8} \text{ Wb}$

### Densidade de fluxo ou indução magnética

Densidade de fluxo ou indução magnética é o número de linhas por centímetro quadrado de seção do campo magnético em linhas/cm<sup>2</sup>.



A densidade de fluxo ou indução magnética é representada graficamente pela letra maiúscula B e sua unidade de medida no sistema SI é o tesla (T) e no CGS é o Gauss (G).

Para transformar gauss em tesla, usa-se a seguinte relação:  $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$ .

Conhecendo-se o valor da superfície (seção transversal A) em que estão concentradas as linhas de força e a densidade do fluxo magnético B, pode-se enunciar a fórmula do fluxo de indução magnética como o produto da densidade do fluxo B pela seção transversal A. Assim, matematicamente temos:  $\phi = B \times A$

Nessa fórmula,  $\phi$  é o fluxo de indução magnética em Mx; B é a densidade de fluxo magnético em G; e A é a seção transversal em centímetros quadrados.

### Exemplos de cálculos

1. Calcular o fluxo de indução magnética onde a densidade de fluxo é 6.000 G, concentrada em uma seção de 6cm<sup>2</sup>.

Aplicando-se a fórmula  $\phi = B \times A$ , temos:

$$\phi = 6.000 \times 6$$

$$\phi = 36.000\text{Mx}$$

Transformando-se Mx em Wb, temos:

$$36.000 \times 10^{-8} = 0,00036\text{Wb}$$

Se, para calcular o fluxo de indução magnética temos a fórmula  $\phi = B \times A$ , para calcular a densidade do fluxo (B) temos:  $B = \frac{\Phi}{A}$ .

2. Calcular a densidade de fluxo em uma seção de 6cm<sup>2</sup>, sabendo-se que o fluxo magnético é de 36.000 Mx (ou linhas).

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{36.000}{6} = 6.000\text{G}$$

Transformando gauss em tesla, temos:

$$G = 6.000 \times 10^{-4} = 0,6\text{T}$$

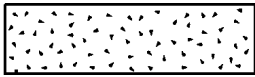
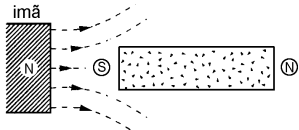
### Imantação ou magnetização

Imantação ou magnetização é o processo pelo qual os ímãs atômicos (ou dipolos magnéticos) de um material são alinhados. Isso é obtido pela ação de um campo magnético externo.

É possível classificar os materiais de acordo com a intensidade com que eles se imantam, isto é, o modo como ordenam seus ímãs atômicos sob a ação de um campo magnético. Assim, esses materiais podem ser classificados em:

- Paramagnéticos;
- Diamagnéticos;
- Ferromagnéticos.

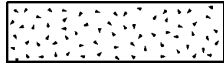
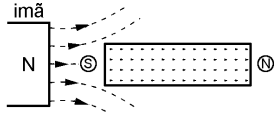
Experimentalmente, é possível verificar que certos materiais, quando colocados no interior de uma bobina (ou indutor) ligada em C.C., ou próximos de um ímã, têm seus átomos fracamente orientados no mesmo sentido do campo magnético. Esses materiais são denominados de paramagnéticos.

Material paramagnético sem a ação de um campo magnético	
Material paramagnético sob a ação de um campo magnético	

Materiais como o ferro, o aço, o cobalto, o níquel, a platina, o estanho, o cromo e suas respectivas ligas são exemplos de materiais paramagnéticos. Eles são caracterizados por possuírem átomos que têm um campo magnético permanente.

Dentre os materiais paramagnéticos, o ferro, o aço, o cobalto, o níquel, e suas ligas constituem uma classe especial. Com efeito, alguns materiais provocam no indutor que os tem como núcleo, um aumento de indutância muito maior que o aumento provocado pelos demais materiais paramagnéticos. Esses materiais, são denominados de ferromagnéticos.

Por serem também paramagnéticos, esses materiais apresentam campo magnético permanente, pois os campos magnéticos de seus átomos estão alinhados de tal forma que produzem um campo magnético mesmo na ausência de um campo externo.

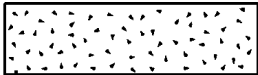
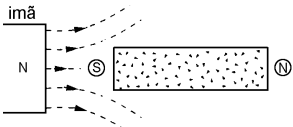
Material ferromagnético sem a ação de um campo magnético	
Material ferromagnético sob a ação de um campo magnético	

Os materiais ferromagnéticos, por serem um caso particular dentre os materiais paramagnéticos, apresentam a densidade do fluxo magnético  $B$ , presente no interior do indutor, maior do que quando há ar ou vácuo no seu interior.

Embora os materiais ferromagnéticos possuam imantação mesmo na ausência de um campo externo (o que os caracteriza como ímãs permanentes), a manutenção de suas

propriedades magnéticas depende muito de sua temperatura. Quando aumenta a temperatura, as propriedades magnéticas se tornam menos intensas.

O ouro, a prata, o cobre, o zinco, o antimônio, o chumbo, o bismuto, a água, o mercúrio, ao serem introduzidos no interior de um indutor, ou próximos de um ímã, provocam a diminuição de seu campo magnético. Esses materiais são denominados de diamagnéticos.

Material diamagnético sem a ação de um campo magnético	
Material diamagnético sob a ação de um campo magnético	

Esses materiais caracterizam-se por possuírem átomos que não produzem um campo magnético permanente, ou seja, o campo resultante de cada átomo é nulo.

Aplicando-se um campo magnético a esses materiais, pequenas correntes são produzidas por indução no interior dos átomos. Essas correntes se opõem ao crescimento do campo externo, de modo que o magnetismo induzido nos átomos estará orientado em sentido oposto ao do campo externo.

A densidade do fluxo magnético  $B$  no interior do indutor é menor do que se não existisse o núcleo, ou seja, é menor do que quando há vácuo ou ar em seu interior.

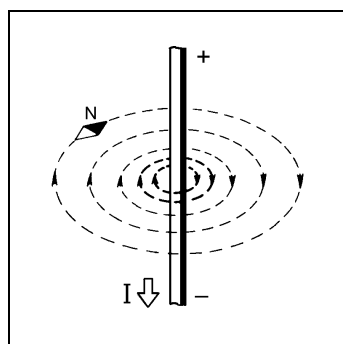
## Eletromagnetismo

Eletromagnetismo é um fenômeno magnético provocado pela circulação de uma corrente elétrica. O termo eletromagnetismo aplica-se a todo fenômeno magnético que tenha origem em uma corrente elétrica.

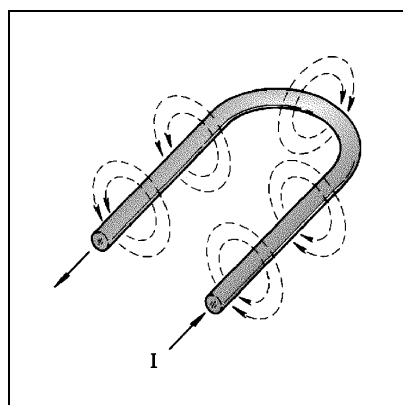
### Campo magnético em um condutor

A circulação de corrente elétrica em um condutor origina um campo magnético ao seu redor.

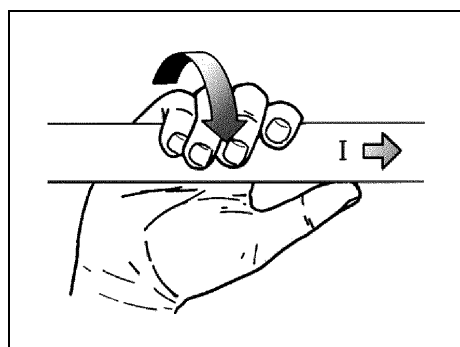
Quando um condutor é percorrido por uma corrente elétrica, ocorre uma orientação no movimento das partículas no seu interior. Essa orientação do movimento das partículas tem um efeito semelhante ao da orientação dos ímãs moleculares. Como consequência dessa orientação, surge um campo magnético ao redor do condutor.



As linhas de força do campo magnético criado pela corrente elétrica que passa por um condutor, são circunferências concêntricas num plano perpendicular ao condutor.

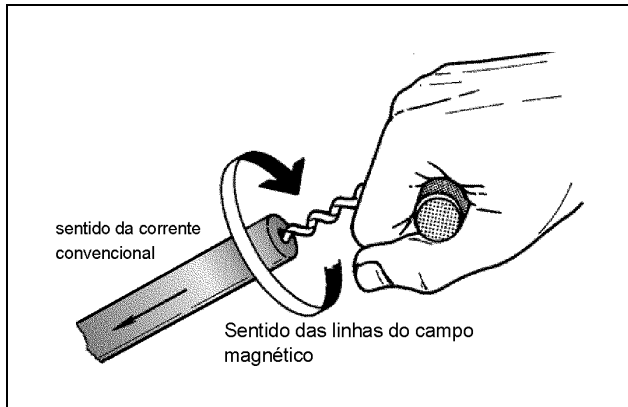


Para o sentido convencional da corrente elétrica, o sentido de deslocamento das linhas de força é dado pela regra da mão direita. Ou seja, envolvendo o condutor com os quatro dedos da mão direita de forma que o dedo polegar indique o sentido da corrente (convencional). O sentido das linhas de força será o mesmo dos dedos que envolvem o condutor.

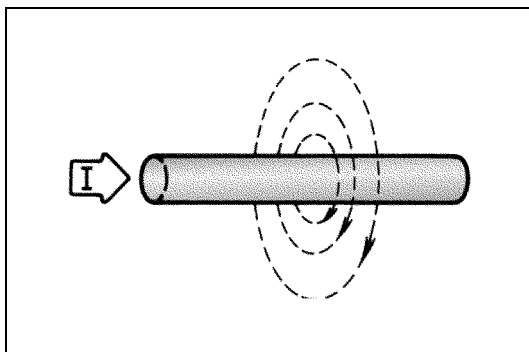




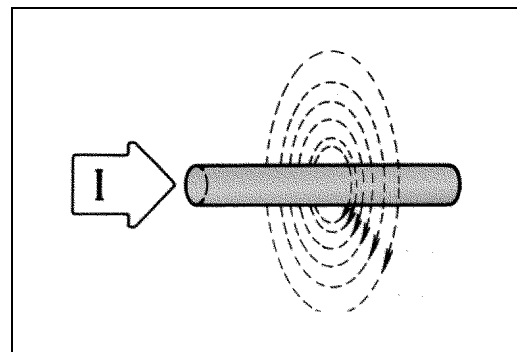
Pode-se também utilizar a regra do saca-rolhas como forma de definir o sentido das linhas de força. Por essa regra, ele é dado pelo movimento do cabo de um saca-rolhas, cuja ponta avança no condutor, no mesmo sentido da corrente elétrica (convencional).



A intensidade do campo magnético ao redor do condutor depende da intensidade da corrente que nele flui. Ou seja, a intensidade do campo magnético ao redor de um condutor é diretamente proporcional à corrente que circula neste condutor.



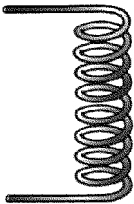


*Corrente pequena, campo magnético fraco*



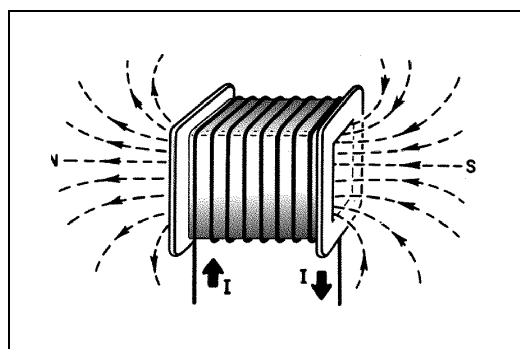
*corrente elevada, campo magnético intenso*

### Campo magnético em uma bobina (ou solenóide)

Para obter campos magnéticos de maior intensidade a partir da corrente elétrica, basta enrolar o condutor em forma de espiras, constituindo uma bobina. A tabela a seguir mostra uma bobina e seus respectivos símbolos conforme determina a NBR 12521.

Bobina, enrolamento ou indutor	Símbolo (forma preferida)	Símbolo (outra forma)
		

As bobinas permitem um acréscimo dos efeitos magnéticos gerados em cada uma das espiras. A figura a seguir mostra uma bobina constituída por várias espiras, ilustrando o efeito resultante da soma dos efeitos individuais.

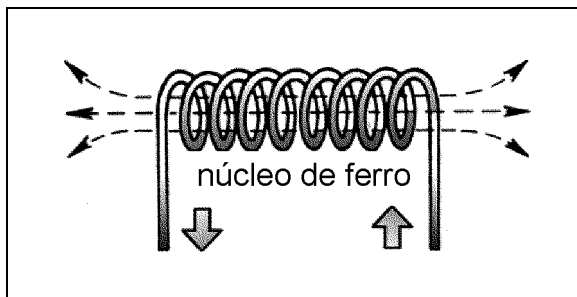


Os pólos magnéticos formados pelo campo magnético de uma bobina têm características semelhantes àsquelas dos pólos de um ímã natural. A intensidade do campo magnético em uma bobina depende diretamente da intensidade da corrente e do número de espiras.

O núcleo é a parte central das bobinas, e pode ser de ar ou de material ferroso. O núcleo é de ar quando nenhum material é colocado no interior da bobina. O núcleo é de material ferroso quando se coloca um material ferroso (ferro, aço...) no interior da bobina. Usa-se esse recurso para obter maior intensidade de campo magnético a partir de uma mesma bobina. Nesse caso, o conjunto bobina-núcleo de ferro é chamado eletroímã.

**Observação**

A maior intensidade do campo magnético nos eletroímãs é devida ao fato de que os materiais ferrosos provocam uma concentração das linhas de força.

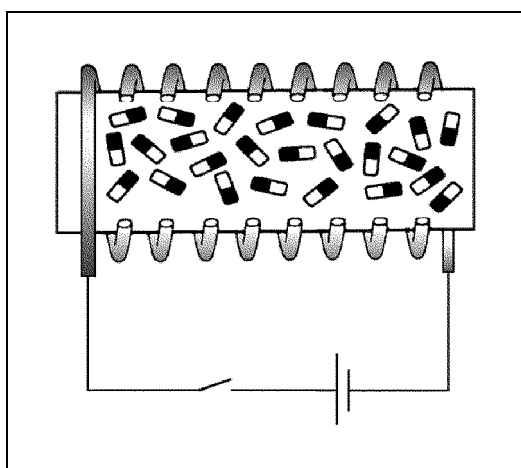


Quando uma bobina tem um núcleo de material ferroso, seu símbolo expressa essa condição (NBR 12521).

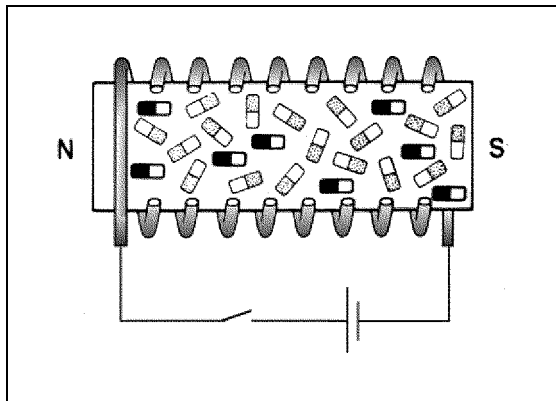
Indutor com núcleo magnético	Núcleo de ferrite com um enrolamento

**Magnetismo remanente**

Quando se coloca um núcleo de ferro em uma bobina, em que circula uma corrente elétrica, o núcleo torna-se imantado, porque as suas moléculas se orientam conforme as linhas de força criadas pela bobina.



Cessada a passagem da corrente, alguns ímãs moleculares permanecem na posição de orientação anterior, fazendo com que o núcleo permaneça ligeiramente imantado.



Essa pequena imantação é chamada magnetismo remanente ou residual.

O magnetismo residual é importante, principalmente para os geradores de energia elétrica.

Este tipo de ímã chama-se ímã temporário.

# Transformadores

Os aparelhos eletroeletrônicos são construídos para funcionar alimentados pela rede elétrica. Todavia, a grande maioria deles usam tensões muito baixas para alimentar seus circuitos: 6V, 12V, 15V. Um dos dispositivos utilizados para fornecer baixas tensões a partir das redes de 110V ou 220V é o transformador.

Por isso, é extremamente importante que os técnicos de eletroeletrônica conheçam e compreendam as características desse componente.

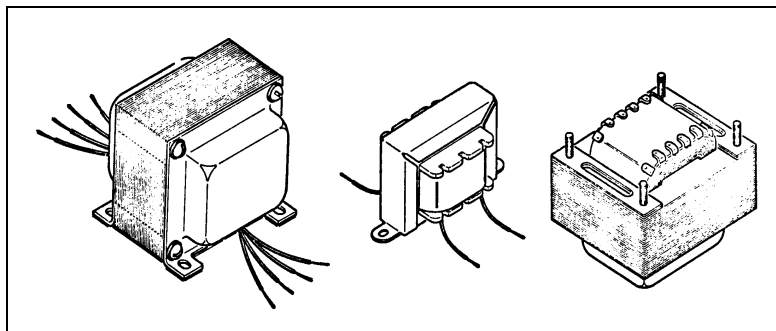
Este capítulo apresenta as especificações técnicas e modo de funcionamento dos transformadores, de modo a capacitá-lo a conectar, testar e especificar corretamente esses dispositivos.

Para ter sucesso no desenvolvimento dos conteúdos e atividades deste capítulo, você deverá ter bons conhecimentos prévios sobre corrente alternada, indutores em CA, relação de fase entre tensões e eletromagnetismo.

## **Transformador**

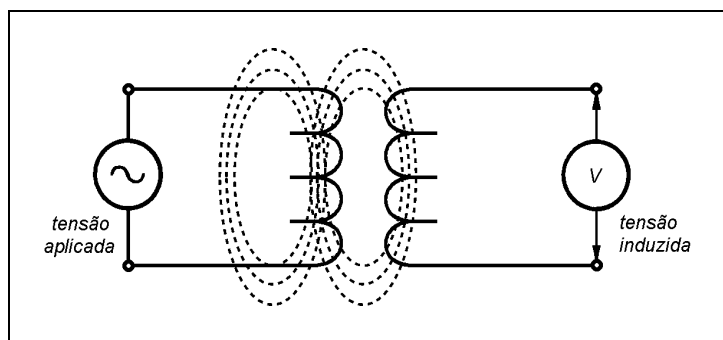
O transformador é um dispositivo que permite elevar ou rebaixar os valores de tensão em um circuito de CA. A grande maioria dos equipamentos eletrônicos emprega transformadores para elevar ou rebaixar tensões.

A figura a seguir mostra alguns tipos de transformadores.



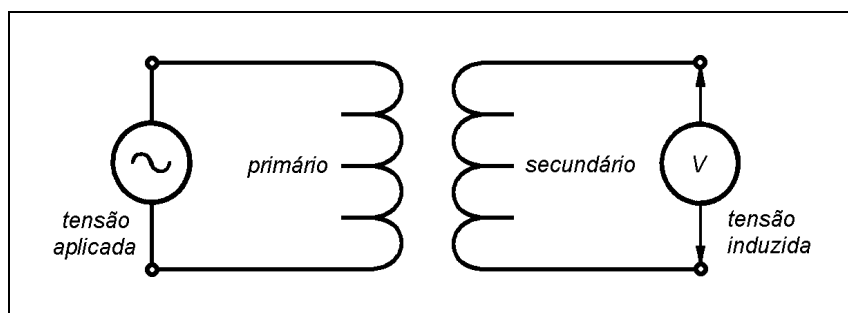
### Funcionamento

Quando uma bobina é conectada a uma fonte de CA, um campo magnético variável surge ao seu redor. Se outra bobina se aproximar da primeira, o campo magnético variável gerado na primeira bobina corta as espiras da segunda bobina.



Em consequência da variação do campo magnético sobre as espiras, surge uma tensão induzida na segunda bobina.

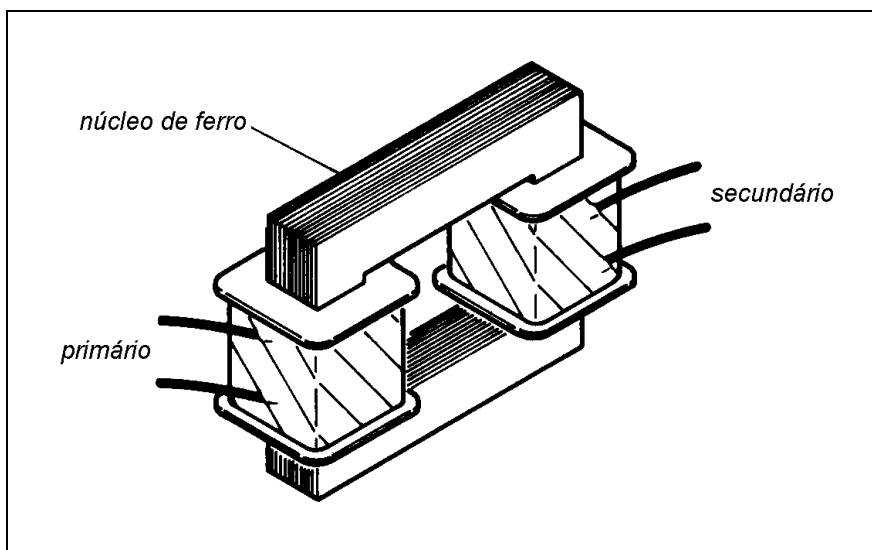
A bobina na qual se aplica a tensão CA é denominada primário do transformador. A bobina onde surge a tensão induzida é denominada secundário do transformador.



### Observação

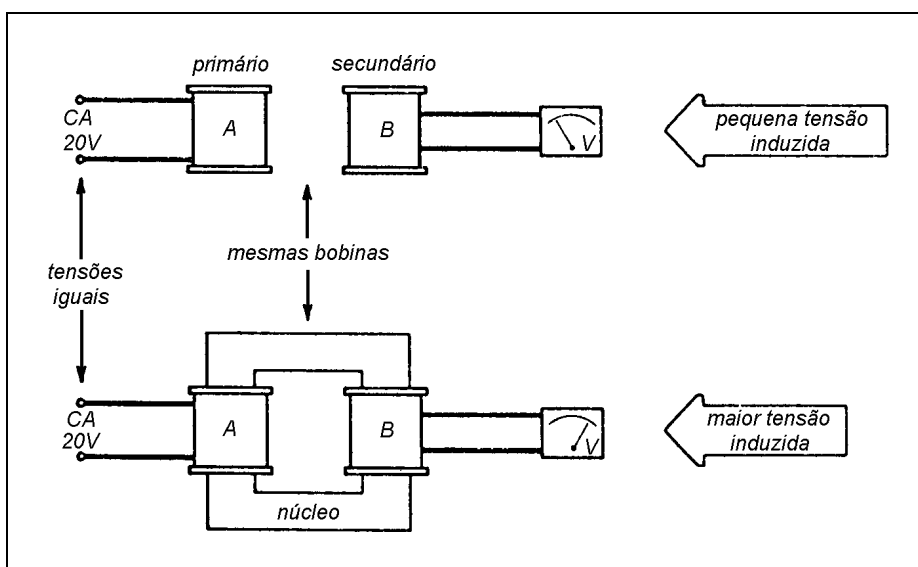
As bobinas primária e secundária são eletricamente isoladas entre si. Isso se chama *isolação galvânica*. A transferência de energia de uma para a outra se dá exclusivamente através das linhas de forças magnéticas.

A tensão induzida no secundário é proporcional ao número de linhas magnéticas que cortam a bobina secundária e ao número de suas espiras. Por isso, o primário e o secundário são montados sobre um núcleo de material ferromagnético.



Esse núcleo tem a função de diminuir a dispersão do campo magnético fazendo com que o secundário seja cortado pelo maior número possível de linhas magnéticas.

Como conseqüência, obtém-se uma transferência melhor de energia entre primário e secundário.



Veja a seguir o efeito causado pela colocação do núcleo no transformador.

Com a inclusão do núcleo, embora o aproveitamento do fluxo magnético gerado seja melhor, o ferro maciço sofre perdas por aquecimento causadas por dois fatores: a **histerese magnética** e as **correntes parasitas**.

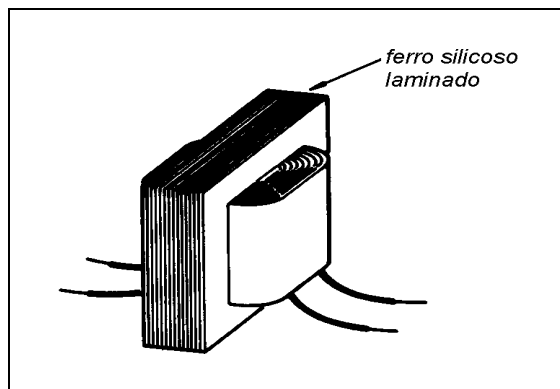
As perdas por histerese magnética são causadas pela oposição que o ferro oferece à passagem do fluxo magnético.

Essas perdas são diminuídas com o emprego de ferro doce na fabricação do núcleo.

As perdas por corrente parasita (ou correntes de Foucault) aquecem o ferro porque a massa metálica sob variação de fluxo gera dentro de si mesma uma força eletromotriz (f.e.m.) que provoca a circulação de corrente parasita.

Para diminuir o aquecimento, os núcleos são construídos com chapas ou lâminas de ferro isoladas entre si.

O uso de lâminas não elimina o aquecimento, mas torna-o bastante reduzido em relação ao núcleo de ferro maciço.


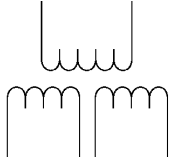
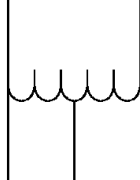
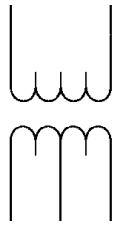


### **Observação**

As chapas de ferro contêm uma porcentagem de silício em sua composição. Isso favorece a condutibilidade do fluxo magnético.

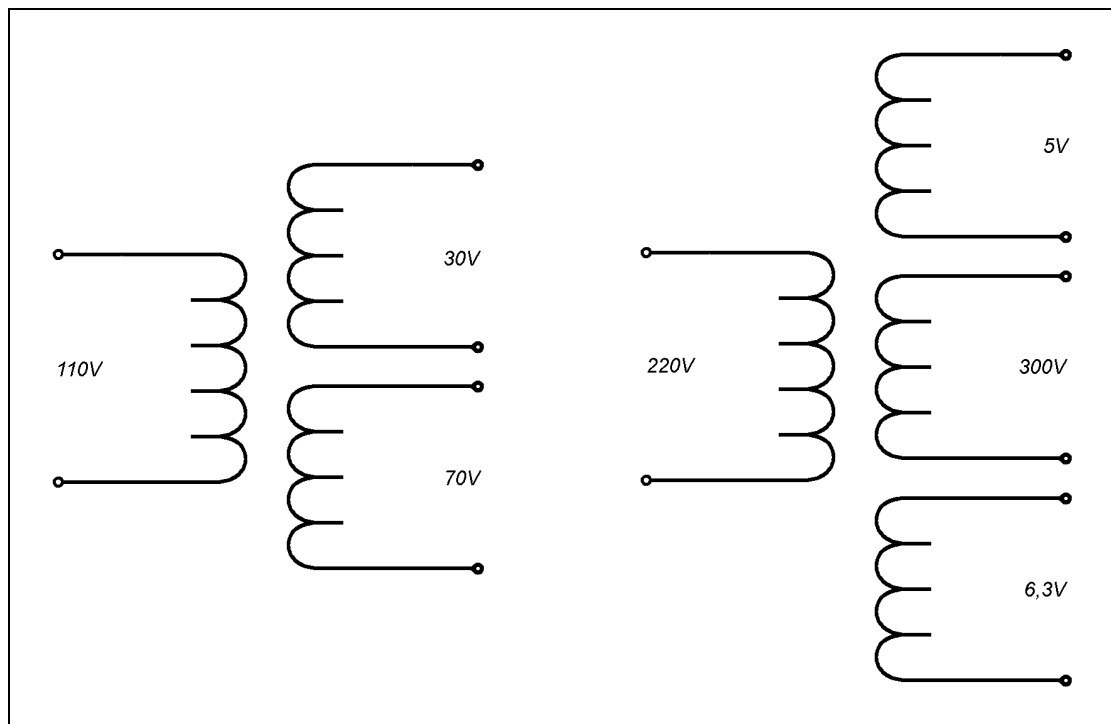


A figura a seguir mostra os símbolos usados para representar o transformador, segundo a norma NBR 12522/92

Transformador com dois enrolamentos	Transformador com três enrolamentos	Autotransformador	Transformador com derivação central em um enrolamento
			

### Transformadores com mais de um secundário

Para se obter várias tensões diferentes, os transformadores podem ser construídos com mais de um secundário, como mostram as ilustrações a seguir.

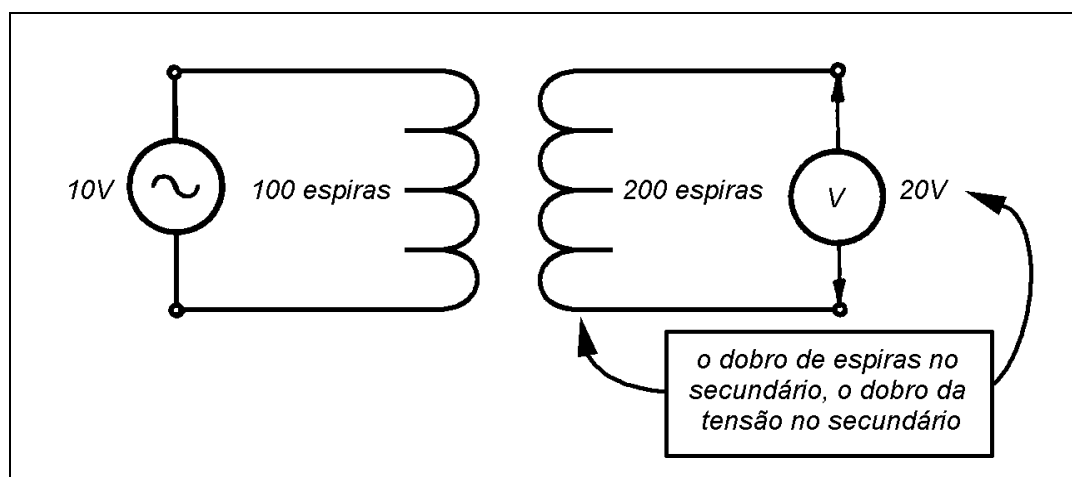


### Relação de transformação

Como já vimos, a aplicação de uma tensão CA ao primário de um transformador causa o aparecimento de uma tensão induzida em seu secundário.

Aumentando-se a tensão aplicada ao primário, a tensão induzida no secundário aumenta na mesma proporção. Essa relação entre as tensões depende fundamentalmente da relação entre o número de espiras no primário e secundário.

Por exemplo, num transformador com primário de 100 espiras e secundário de 200 espiras, a tensão do secundário será o dobro da tensão do primário.



Se chamarmos o número de espiras do primário de  $N_P$  e do secundário de  $N_S$  podemos escrever:  $V_S/V_P = 2$      $N_S/N_P = 2$ .

Lê-se: saem 2 para cada 1 que entra.

O resultado da relação  $V_S/V_P$  e  $N_S/N_P$  é chamado de **relação de transformação** e expressa a relação entre a tensão aplicada ao primário e a tensão induzida no secundário.

Um transformador pode ser construído de forma a ter qualquer relação de transformação que seja necessária. Veja exemplo na tabela a seguir.

Relação de Transformação	Transformação
3	$V_S = 3 \cdot V_P$
5,2	$V_S = 5,2 \cdot V_P$
0,3	$V_S = 0,3 \cdot V_P$

### Observação

A tensão no secundário do transformador aumenta na mesma proporção da tensão do primário até que o ferro atinja seu ponto de saturação.

Quando esse ponto é atingido, mesmo que haja grande variação na tensão de entrada, haverá pequena variação na tensão de saída.

### Tipos de transformadores

Os transformadores podem ser classificados quanto à relação de transformação. Nesse caso, eles são de três tipos:

- Transformador elevador;
- Transformador rebaixador;
- Transformador isolador.

O transformador elevador é aquele cuja relação de transformação é maior que 1, ou seja,  $N_S > N_P$ . Por causa disso, a tensão do secundário é **maior** que a tensão do primário, isto é,  $V_S > V_P$ .

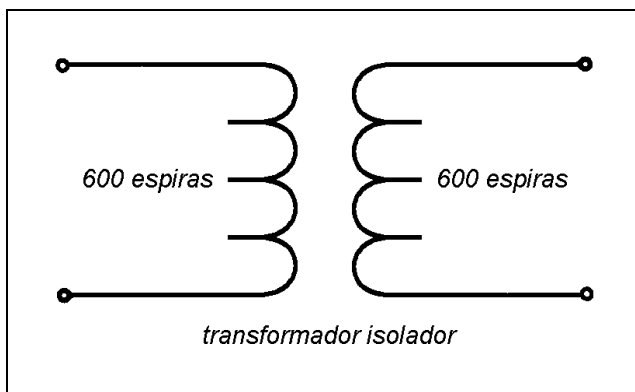
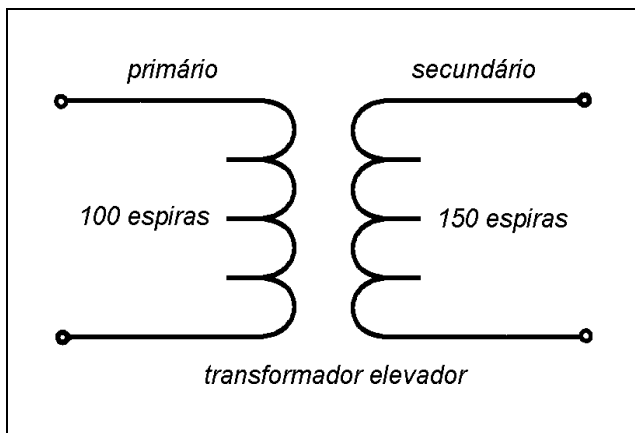
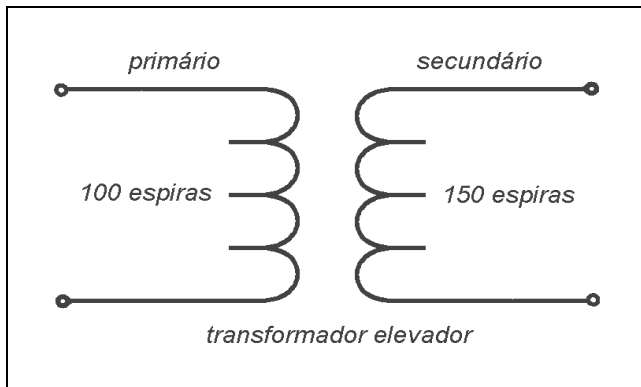
O transformador rebaixador é aquele cuja relação de transformação é menor que 1, ou seja,  $N_S < N_P$ . Portanto,  $V_S < V_P$ .

Os transformadores rebaixadores são os mais utilizados em eletrônica. Sua função é **rebaixar** a tensão das redes elétricas domiciliares (110V/220V) para tensões de 6V, 12V e 15V ou outra, necessárias ao funcionamento dos equipamentos.

O transformador isolador é aquele cuja relação de transformação é de 1 para 1, ou seja,  $N_S = N_P$ . Como consequência,  $V_S = V_P$ .

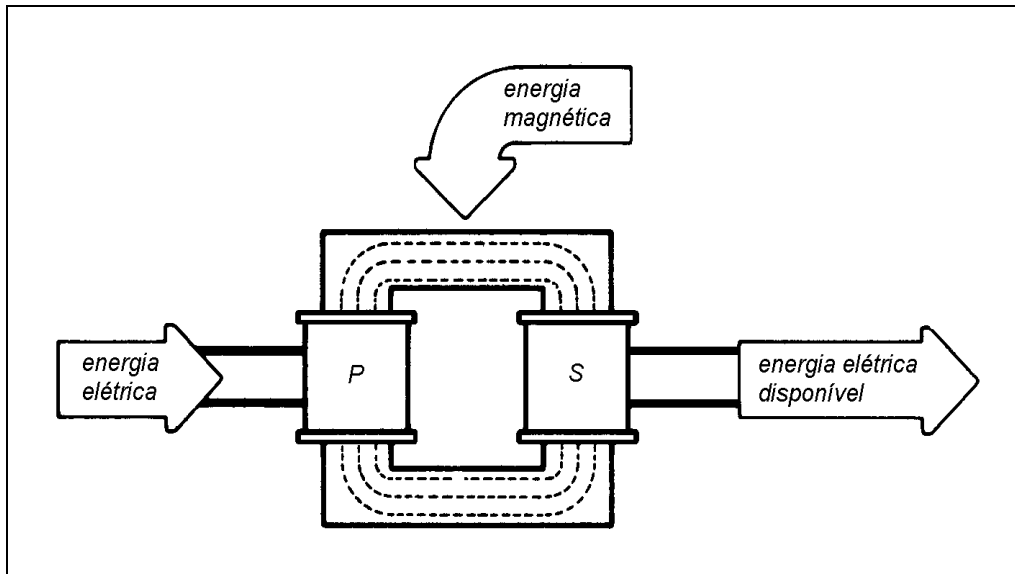
Os transformadores isoladores são usados em laboratórios de eletrônica para isolar eletricamente da rede a tensão presente nas bancadas. Esse tipo de isolamento é chamado de isolamento galvânica.

Veja a seguir a representação esquemática desses três tipos de transformadores.



## Relação de potência

Como já foi visto, o transformador recebe uma quantidade de energia elétrica no primário, transforma-a em campo magnético e converte-a novamente em energia elétrica disponível no secundário.



A quantidade de energia absorvida da rede elétrica pelo primário é denominada de potência do primário, representada pela notação  $P_P$ .

Admitindo-se que não existam perdas por aquecimento do núcleo, pode-se concluir que toda a energia absorvida no primário está disponível no secundário.

A energia disponível no secundário chama-se potência do secundário ( $P_S$ ). Se não existirem perdas, é possível afirmar que  $P_S = P_P$ .

A potência do primário depende da tensão aplicada e da corrente absorvida da rede, ou seja:  $P_P = V_P \cdot I_P$

A potência do secundário, por sua vez, é o produto da tensão e corrente no secundário, ou seja:  $P_S = V_S \cdot I_S$ .

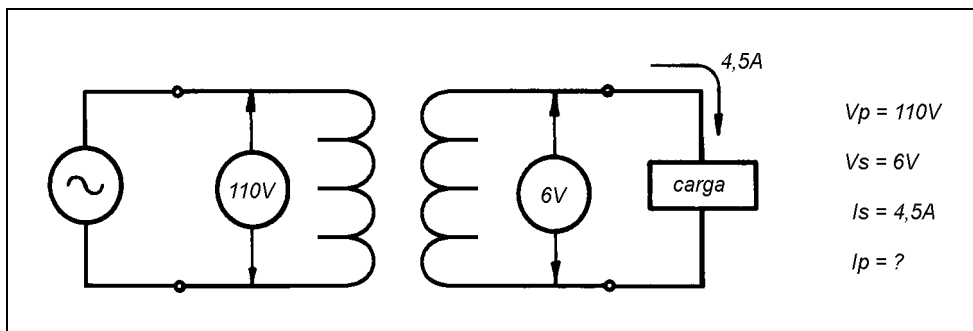
A relação de potência do transformador ideal é, portanto:

$$V_S \cdot I_S = V_P \cdot I_P$$

Esta expressão permite que se determine um dos valores do transformador se os outros três forem conhecidos. Veja exemplo a seguir.

**Exemplo**

Um transformador rebaixador de 110 V para 6 V deverá alimentar no seu secundário uma carga que absorve uma corrente de 4,5 A. Qual será a corrente no primário?



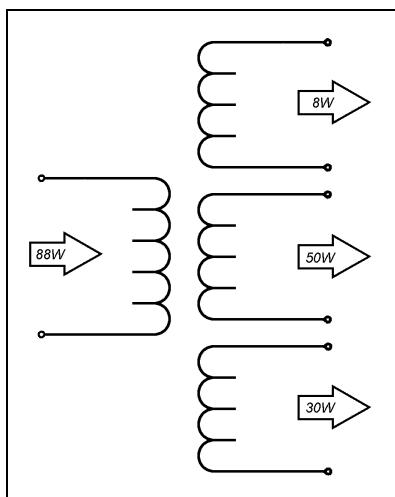
- $V_p = 110V$
- $V_s = 6V$
- $I_s = 4,5$
- $I_p = ?$

Como  $V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$ , então:

$$I_p = \frac{V_s \cdot I_s}{V_p} = \frac{6 \cdot 4,5}{110} = \frac{27}{110} = 0,245 \text{ A ou } 245 \text{ mA}$$

**Potência em transformadores com mais de um secundário**

Quando um transformador tem mais de um secundário, a potência absorvida da rede pelo primário é a soma das potências fornecidas em todos os secundários.



Matematicamente, isso pode ser representado pela seguinte equação:

$$P_P = P_{S1} + P_{S2} + \dots + P_{Sn}$$

Onde:

- $P_P$  é a potência absorvida pelo primário;
- $P_{S1}$  é a potência fornecida pelo secundário 1;
- $P_{S2}$  é a potência fornecida pelo secundário 2;
- $P_{Sn}$  é a potência fornecida pelo secundário n.

Essa expressão pode ser reescrita usando os valores de tensão e corrente do transformador:

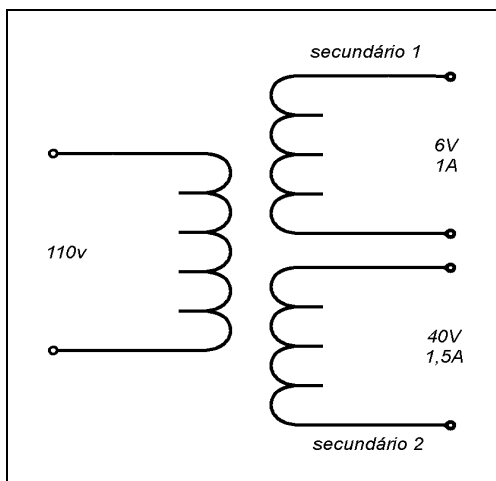
$$V_P \cdot I_P = (V_{S1} \cdot I_{S1}) + (V_{S2} \cdot I_{S2}) + \dots + (V_{Sn} \cdot I_{Sn})$$

Onde:

- $V_P$  e  $I_P$  são respectivamente tensão e corrente do primário;
- $V_{S1}$  e  $I_{S1}$  são respectivamente tensão e corrente do secundário 1;
- $V_{S2}$  e  $I_{S2}$  são respectivamente tensão e corrente do secundário 2;
- $V_{Sn}$  e  $I_{Sn}$  são respectivamente tensão e corrente do secundário n.

### Exemplo

Determinar a corrente do primário do transformador mostrado a seguir:



$$P_P = V_P \cdot I_P$$

$$V_P \cdot I_P = (V_{S1} \cdot I_{S1}) + (V_{S2} \cdot I_{S2}) = (6 \cdot 1) + (40 \cdot 1,5) = 6 + 60 = 66VA$$

$$P_P = 66VA$$

$$I_P = \frac{P_P}{V_P} = \frac{66}{110} = 0,6A$$

$$I_P = 0,6 A \text{ ou } 600mA$$

## Ligação de transformadores em 110V e 220V

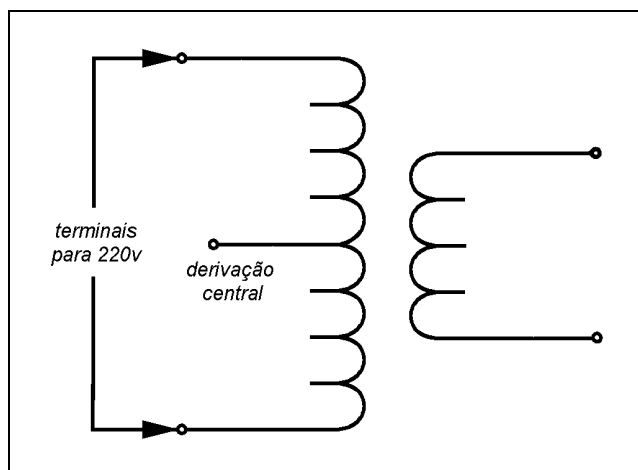
Alguns aparelhos eletrônicos são fabricados de tal forma que podem ser usados tanto em redes de 110V quanto de 220V. Isso é possível através da seleção feita por meio de uma chave situada na parte posterior do aparelho. Na maioria dos casos, essa chave está ligada ao primário do transformador. De acordo com a posição da chave, o primário é preparado para receber 110V ou 220V da rede elétrica e fornece o mesmo valor de tensão ao secundário.

Existem dois tipos de transformadores cujo primário pode ser ligado para 110V e 220V:

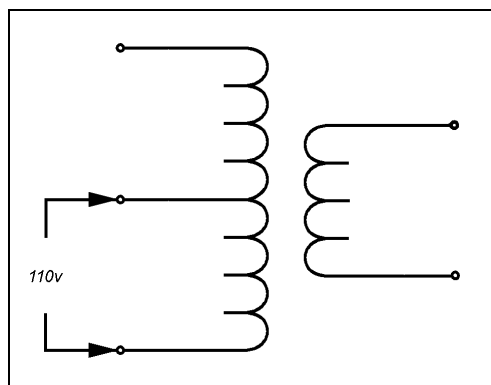
- Transformador 110V/220V com primário a três fios;
- Transformador 110V/220V com primário a quatro fios.

### Transformador com primário a três fios

O primário do transformador a três fios é constituído por uma bobina para 220V com uma derivação central.

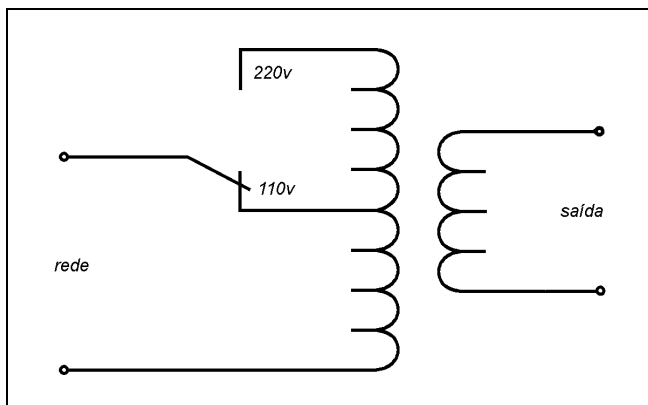


Essa derivação permite que se utilize apenas uma das metades do primário de modo que 110V sejam aplicados entre uma das extremidades da bobina e a derivação central.





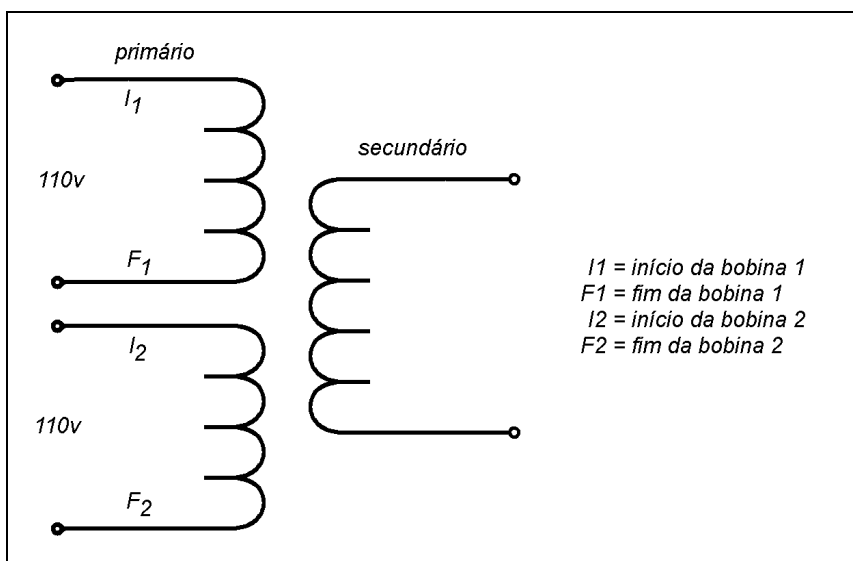
Veja a seguir a representação esquemática dessa ligação.



A chave usada para a seleção 110V/220V é normalmente deslizante, de duas posições e dois pólos. É também conhecida como HH.

### Transformador com primário a quatro fios

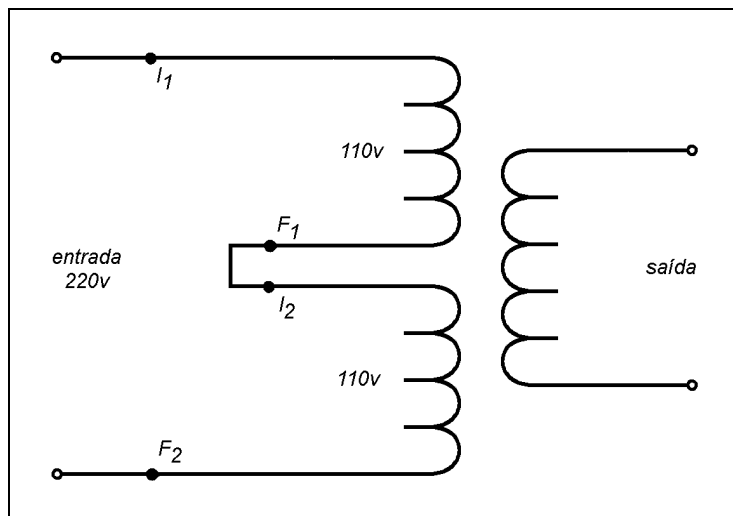
O primário desse tipo de transformador constitui-se de duas bobinas para 110V, eletricamente isoladas entre si.



### Ligação para 220V

Em um transformador para entrada 110V/220V com o primário a quatro fios, a ligação para 220V é feita colocando as bobinas do primário em série.

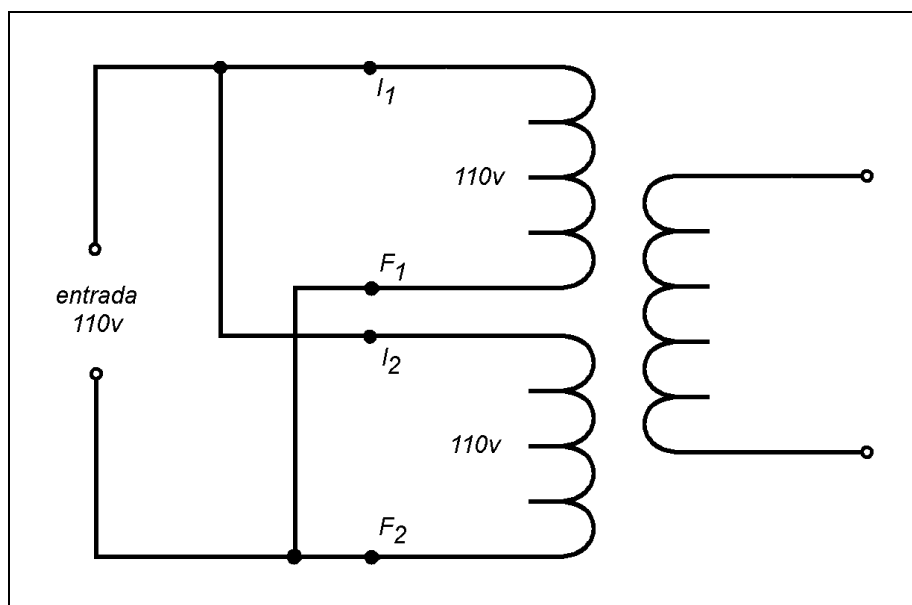
Deve-se observar a identificação dos fios, ou seja,  $I_1$  para a rede,  $I_2$  e  $F_1$  interligados e  $F_2$  para a rede.

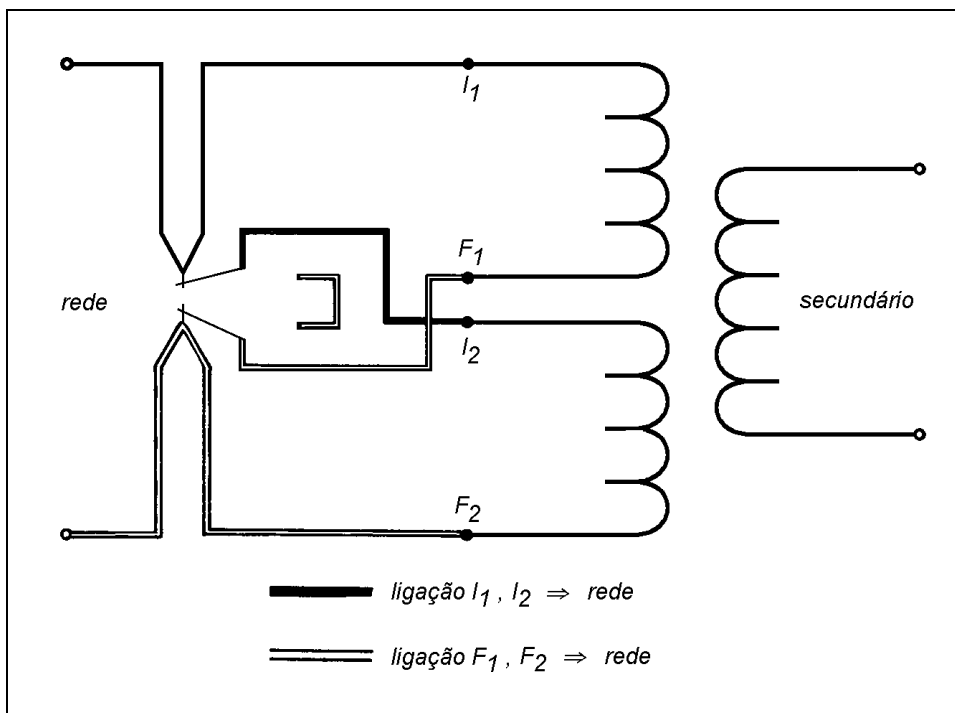


### Ligação para 110V

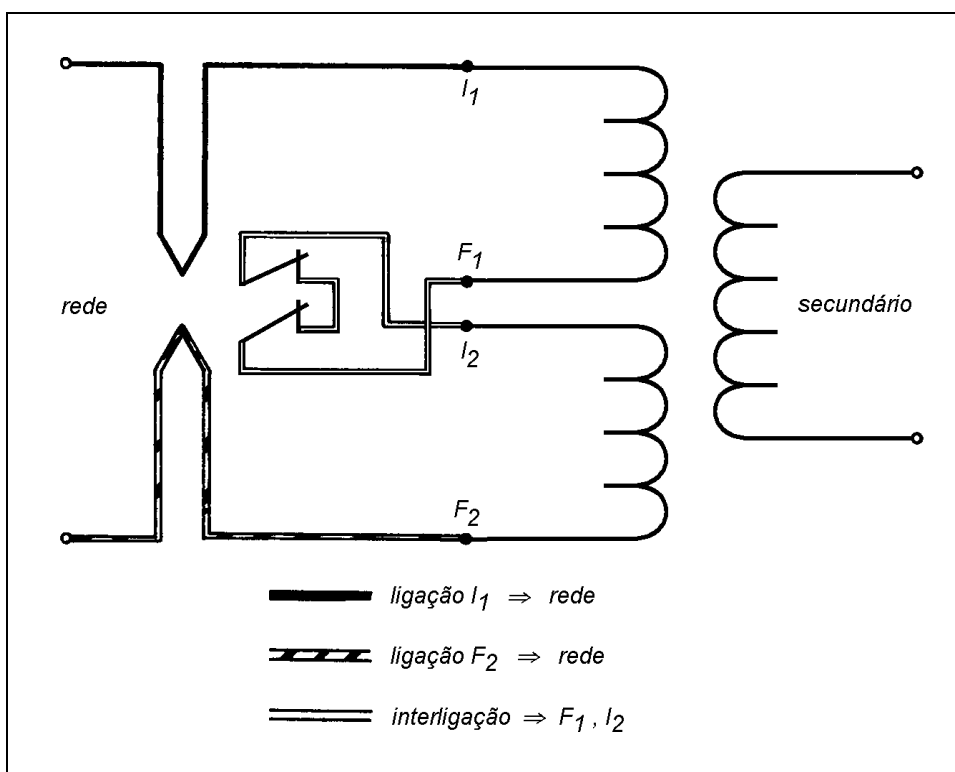
Em um transformador para entrada 110V/220V com primário a quatro fios, a ligação para 110V é feita colocando as duas bobinas primárias em paralelo respeitando a identificação dos fios, ou seja,  $I_1$  em ponte com  $I_2$  na rede,  $F_1$  em ponte com  $F_2$  na rede.

Quando a chave HH está na posição 110V, os terminais  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $F_1$  e  $F_2$  são conectados em paralelo à rede.





Quando a chave HH está na posição 220V, os terminais  $I_1$  e  $F_2$  ficam ligados à rede por meio da chave.



## Instalação de dispositivos de controle e proteção

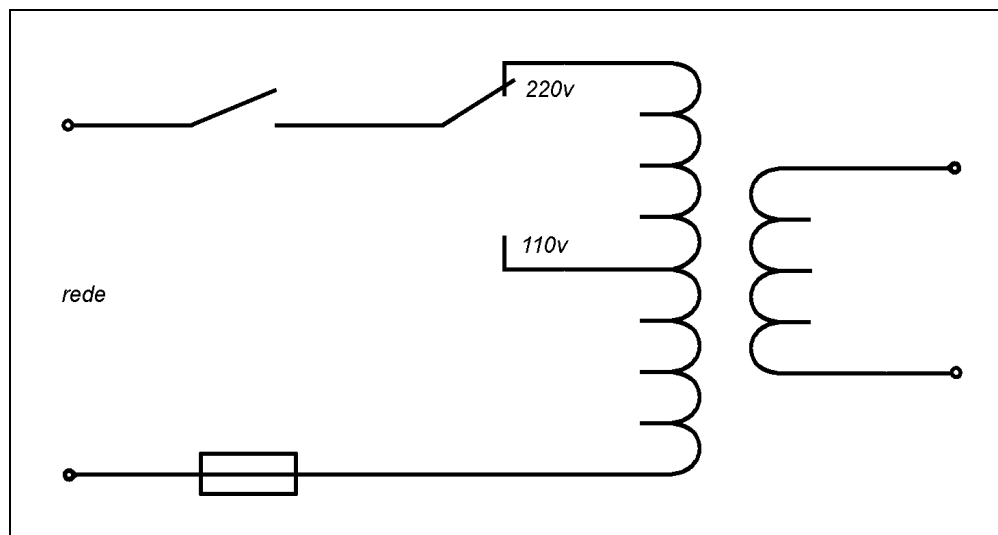
Em todo o equipamento elétrico ou eletrônico, é necessário dispor de dispositivos de comando do tipo liga/desliga e de dispositivos de proteção que evitam danos maiores em caso de situações anormais.

Normalmente, tanto os dispositivos de controle quanto os de proteção são instalados na entrada de energia do circuito, antes do transformador.

Para a proteção do equipamento, geralmente um fusível é usado. Sua função é romper-se caso a corrente absorvida da rede se eleve. Isso corta a entrada de energia do transformador.

O fusível é dimensionado para um valor de corrente um pouco superior à corrente necessária para o primário do transformador.

Alguns equipamentos têm mais de um fusível: um "geral", colocado antes do transformador e outros colocados dentro do circuito de acordo com as necessidades do projeto.

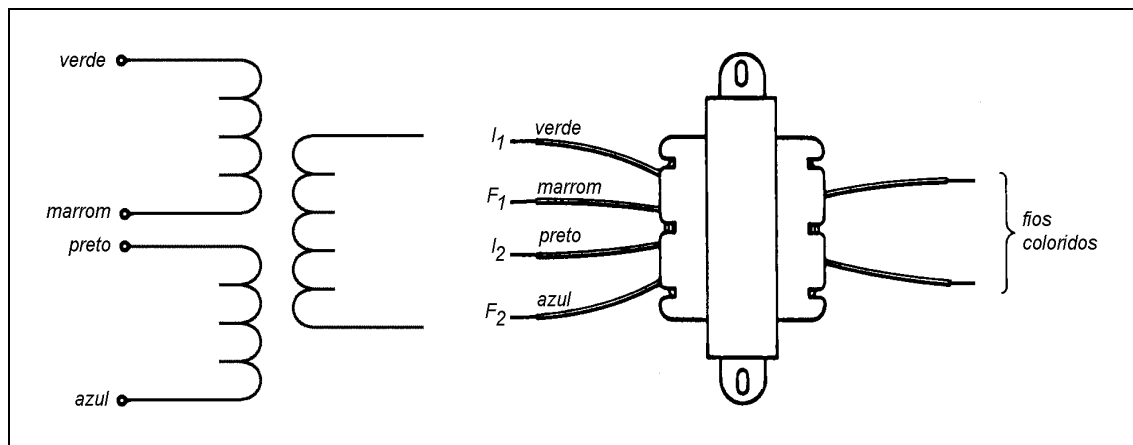


Veja a seguir a representação esquemática da ligação do fusível e chave liga/desliga no circuito.

**(FALTA FIGURA)**

### Observação

Tanto na ligação para 110 V quanto para 220 V, a ordem de início e fim das bobinas é importante. Normalmente, os quatro fios do primário são coloridos e o esquema indica os fios.



I<sub>1</sub> - início da bobina 1;

F<sub>1</sub> - fim da bobina 1;

I<sub>2</sub> - início da bobina 2;

F<sub>2</sub> - fim da bobina 2.

### Identificação dos terminais

Quando não se dispõe, no esquema do transformador, da identificação do início ou fim dos terminais da bobina, é necessário realizar um procedimento para identificá-los. Isso é necessário porque se a ligação for realizada incorretamente, o primário pode ser danificado irreversivelmente.

O procedimento é o seguinte:

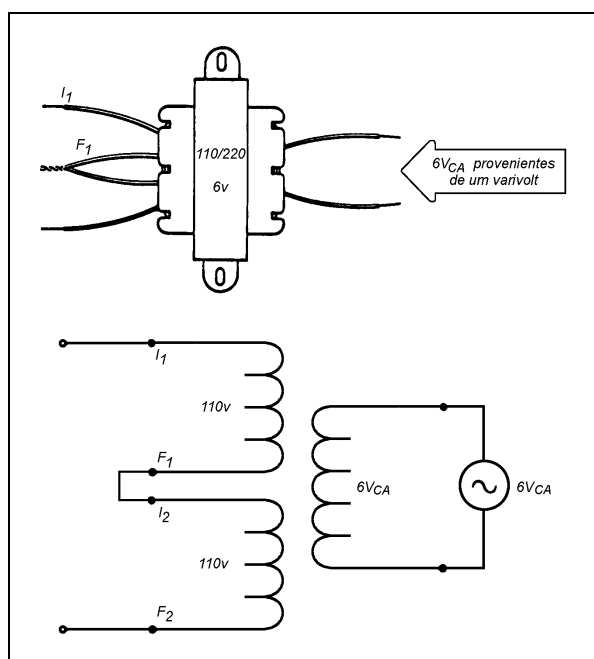
Identificar, com o ohmímetro, o par de fios que corresponde a cada bobina. Sempre que o instrumento indicar continuidade, os dois fios medidos são da mesma bobina.

Além de determinar os fios de cada bobina, esse procedimento permite testar se as bobinas estão em boas condições;

- Separar os pares de fios de cada bobina;
- Identificar os fios de cada uma das bobinas com início e fim  $i_1$ ,  $f_1$  e  $i_2$ ,  $f_2$ .

A identificação de início e fim pode ser feita aleatoriamente em cada bobina da seguinte forma:

- Interligar as bobinas do primário em série;
- Aplicar, no secundário, uma tensão CA de valor igual à tensão nominal do secundário. Por exemplo: em um transformador 110V/220V x 6V, deve-se aplicar uma tensão de 6V no secundário.



No transformador usado como exemplo, se 220V forem aplicados ao primário, serão obtidos 6V no secundário.

Da mesma forma, se forem aplicados 6V no secundário, deve-se obter 220V no primário (em série). Assim, é possível verificar se a identificação está correta, medindo a tensão nas extremidades do primário.

Medir a tensão das extremidades do primário. Se o resultado da medição for 220V, a identificação está correta.

Se o resultado for 0V, a identificação está errada. Nesse caso, para corrigir a identificação, deve-se trocar apenas a identificação de uma das bobinas ( $I_1$  por  $F_1$  ou  $I_2$  por  $F_2$ ).

### Observação

É conveniente repetir o teste para verificar se os 220V são obtidos no primário.

## Especificação de transformadores

A especificação técnica de um transformador deve fornecer:

- a potência em VA (pequenos transformadores);
- As tensões do primário;
- As tensões do secundário.

A especificação 110V/220V 6V - 1A 30V-0,5A indica um transformador com as seguintes características:

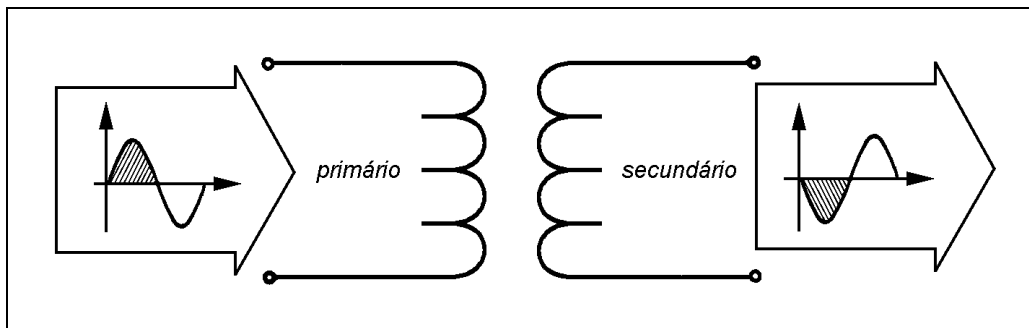
- Primário - entrada para 110V ou 220V;
- 2 secundários - um para 6V-1A e um para 30V-0,5 A.

A especificação técnica de um transformador em que o secundário tenha derivação central é feita da seguinte maneira: 12VA, de potência; 110V/220V, características do primário; 6 + 6V, secundário com 6 + 6V, ou seja, 6V entre as extremidades e a derivação central; 1A, corrente no secundário.

## Relação de fase entre as tensões do primário e do secundário

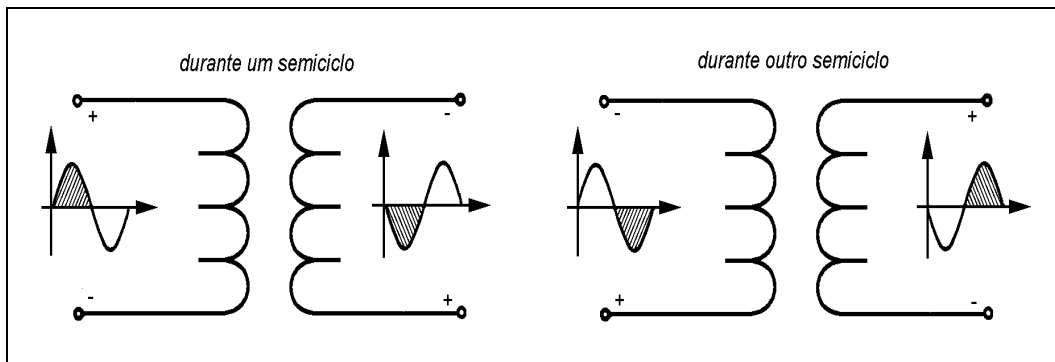
A tensão no secundário é gerada quando o fluxo magnético variável corta as espiras do secundário. Como a tensão induzida é sempre oposta à tensão indutora, a tensão no secundário tem sentido contrário à do primário.

Isso significa que a tensão no secundário está defasada  $180^\circ$  da tensão no primário, ou seja, quando a tensão no primário aumenta num sentido, a tensão do secundário aumenta no sentido oposto.



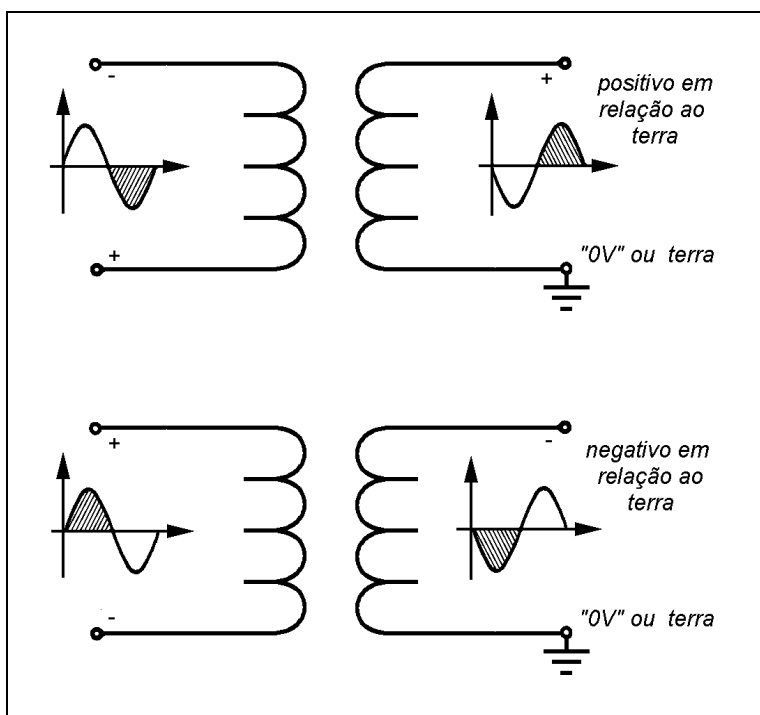
### Ponto de referência

Considerando-se a bobina do secundário de um transformador ligado em CA, observa-se que a cada momento um terminal é positivo e o outro é negativo. Após algum tempo, existe uma troca de polaridade. O terminal que era positivo torna-se negativo e vice-versa.



Nos equipamentos eletrônicos é comum um dos terminais do transformador ser usado como referência, ligado ao terra do circuito. Nesse caso, o potencial do terminal aterrado é considerado como sendo 0V, não apresentando polaridade.

Isto porém não significa que não ocorra a troca de polaridade no secundário. Em um semiciclo da rede, o terminal livre é positivo em relação ao terminal aterrado (referência). No outro semiciclo, o terminal livre é negativo em relação ao potencial de referência.





## Rendimento ( $\eta$ )

Entre todas as máquinas elétricas, o transformador é uma das que apresentam maior rendimento. Mesmo assim, ocorrem perdas na transformação de tensão.

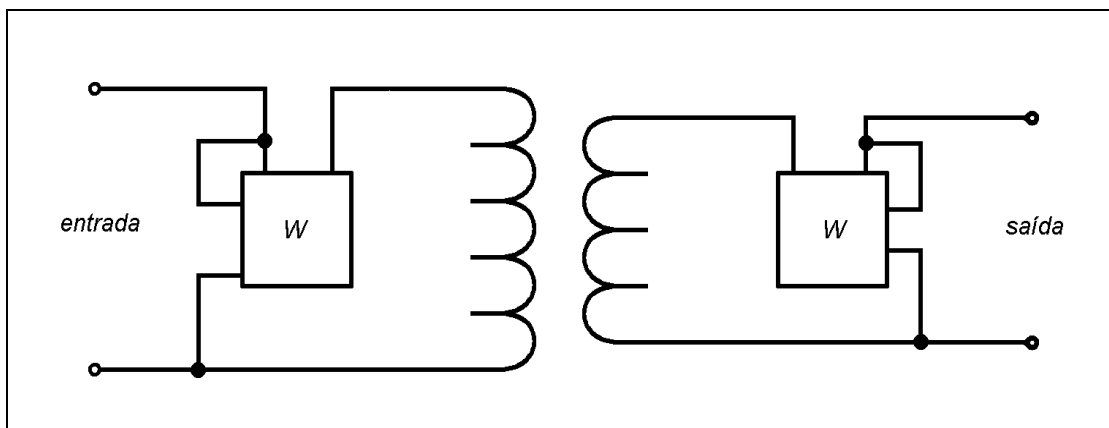
O rendimento expressa a potência que realmente está sendo utilizada, pois, parte da potência é dissipada em perdas no ferro e no cobre.

A relação entre a potência medida no primário e a potência consumida no secundário é que define o rendimento de um transformador:

$$\eta = \frac{P_S}{P_P} \cdot 100\%$$

Nessa igualdade  $\eta$  é o rendimento do transformador em porcentagem;  $P_S$  é a potência dissipada no primário em volt ampère;  $P_P$  é a potência dissipada no secundário em volt ampère, e **100%** é o fator que transforma a relação em porcentagem.

Por exemplo, ao medir as potência do primário e secundário de um transformador chegou-se ao seguinte resultado:



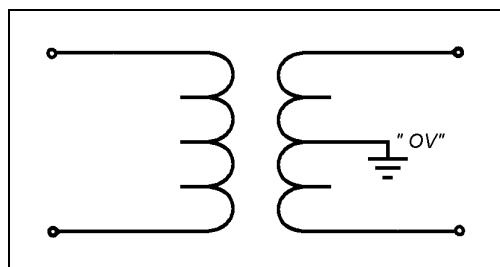
O rendimento desse transformador pode ser determinado utilizando a equação:

$$\eta = \frac{P_S}{P_P} = \frac{150}{162} \cdot 100\% = 92,6\%$$

O rendimento desse transformador é de **92,6%**.

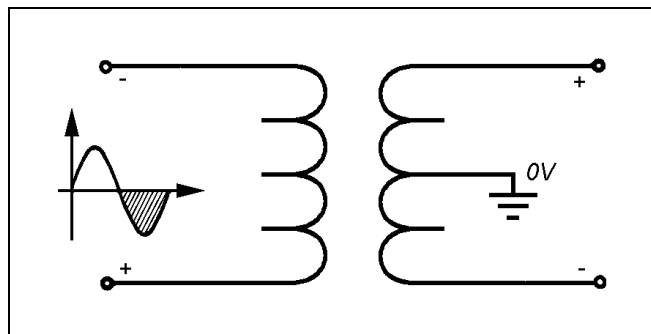
### Transformador com derivação central no secundário

O transformador com derivação central no secundário ("*center tap*") tem ampla aplicação em eletrônica. Na maioria dos casos, o terminal central é utilizado como referência e é ligado ao terra do circuito eletrônico.



Durante seu funcionamento, ocorre uma formação de polaridade bastante singular. Num dos semiciclos da rede, um dos terminais livres do secundário tem potencial positivo em relação à referência.

O outro terminal tem potencial negativo e a inversão de fase ( $180^\circ$ ) entre primário e secundário ocorre normalmente.

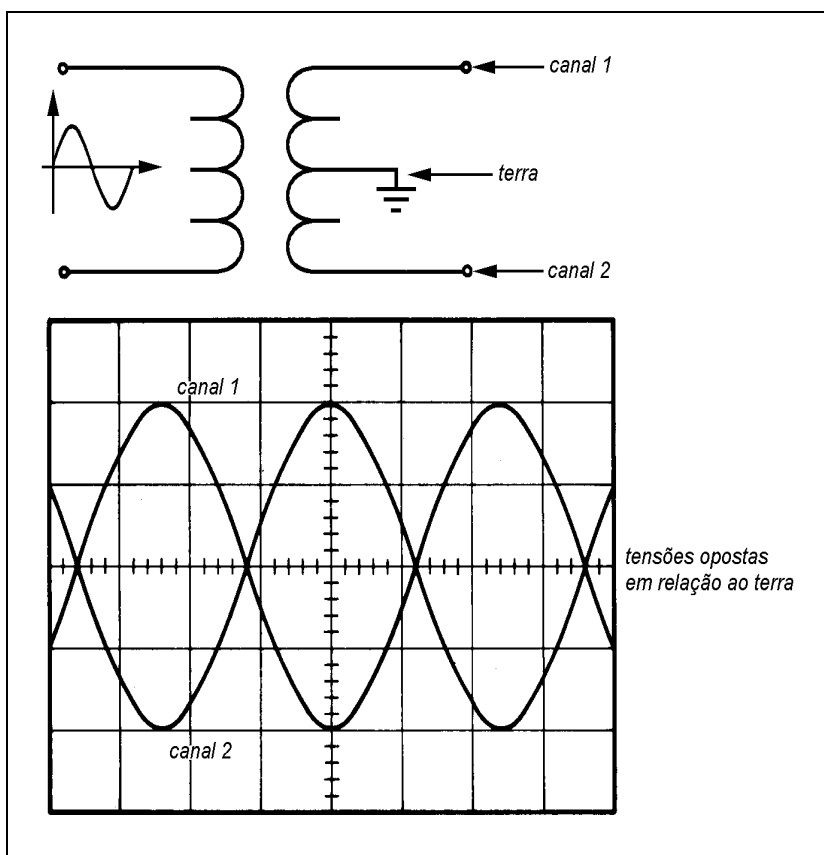


No outro semiciclo há uma troca entre as polaridades das extremidades livres do transformador, enquanto o terminal central permanece em 0V e acontece novamente a defasagem de  $180^\circ$  entre primário e secundário.

Assim, verificamos que, com esse tipo de transformador, é possível conseguir tensões negativas e positivas instantaneamente, usando o terminal central como referência.

Isso pode ser observado com o auxílio de um osciloscópio.

Veja ilustração a seguir.





# Transformador trifásico

Já aprendemos que a energia elétrica em corrente alternada é a mais comumente usada, porque seus valores de tensão podem ser alterados com facilidade. Esse fato facilita bastante a geração, a transmissão e a distribuição da energia elétrica, desde a usina geradora até os consumidores.

A transmissão de energia elétrica só é economicamente viável se realizada em altas tensões, e para obter níveis adequados de tensão são utilizados os transformadores trifásicos.

Neste capítulo, estudaremos o que é um transformador trifásico e os tipos possíveis de suas ligações.

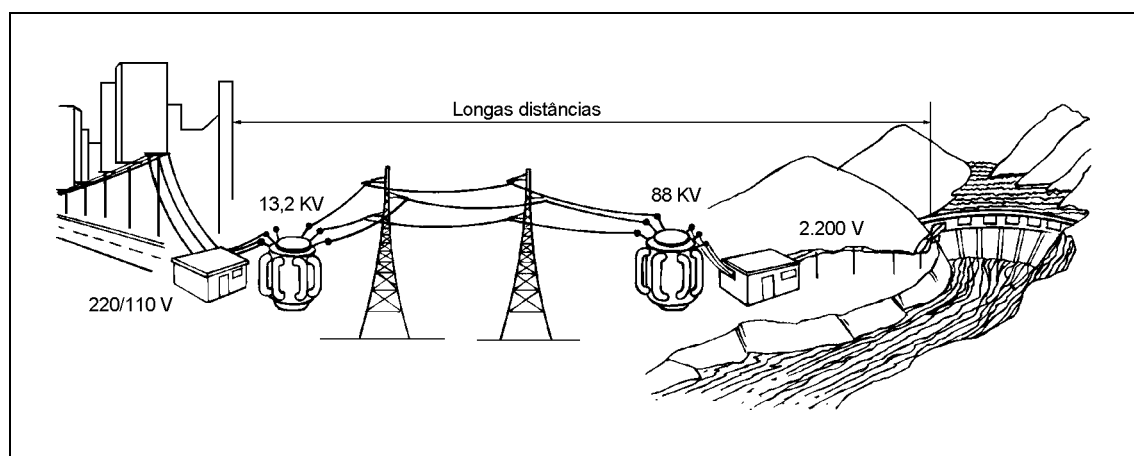
Para aprender esses conteúdos com mais facilidade, você deve ter conhecimentos anteriores sobre corrente alternada, ligação em estrela, ligação em triângulo e transformadores monofásicos.

## **Distribuição de energia elétrica**

A transmissão de energia elétrica só é economicamente viável se feita em tensões elevadas.

Primeiramente, através de transformadores, a tensão é elevada a 88kV. Então, ela é transportada por meio de linhas de transmissão até uma subestação central.

Nessa subestação, com o auxílio de transformadores, a tensão é de novo reduzido para 13,2kV ou 23kV, ou outro valor adequado.



Consumo de energia se faz, pois, em baixa tensão. Assim, antes de ser distribuída, a tensão é reduzida outra vez nas subestações.

A distribuição em baixa tensão se processa nas tensões de 110/220V e 220V, variando de cidade para cidade, dependendo da concessionária fornecedora de energia. Cada um desses valores requer um tipo de transformador apropriado para essa distribuição.

Isso significa que a distribuição das tensões de 110/220V é realizada por transformadores monofásicos. Já a distribuição das tensões de 127/220V se faz por transformadores trifásicos com o secundário ligado em estrela.

A distribuição das tensões de 127/220V se faz por transformadores trifásicos com o secundário ligado em triângulo.

## Transformadores trifásicos

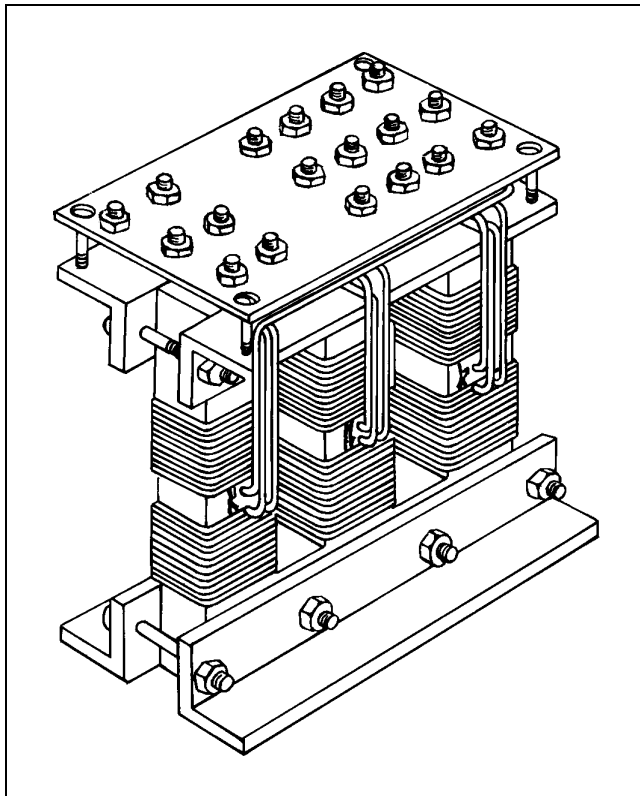
Como já sabemos, o transformador é o equipamento que permite rebaixar ou elevar os valores de tensão ou corrente de CA de um circuito. Seu princípio de funcionamento baseia-se no fato de que uma tensão é induzida no secundário, quando este é percorrido pelo fluxo magnético variável gerado no primário.

O transformador é formado basicamente pelo núcleo e pelas bobinas (primária e secundária).

O núcleo constitui o circuito magnético do transformador. É peça metálica construída com chapas de ferro-silício isoladas entre si e sobre a qual são montadas as bobinas.

Os transformadores trifásicos, usados na distribuição de eletricidade, têm as mesmas funções que o transformador monofásico: abaixar ou elevar a tensão.

Trabalham com três fases e são de porte grande e mais potentes que os monofásicos.



O núcleo dos transformadores trifásicos também é constituído de chapas de ferro-silício. Essas chapas possuem três colunas que são unidas por meio de duas armaduras. Cada coluna serve de núcleo para uma fase onde estão localizadas duas bobinas, uma primária e outra secundária. Por essa razão, esses transformadores têm, no mínimo, seis bobinas: três primárias e três secundárias, isoladas entre si.

As bobinas das três fases devem ser exatamente iguais.

Na figura acima está a representação esquemática do núcleo do transformador trifásico.

Num transformador trifásico, cada fase funciona independentemente das outras duas, como se fossem três transformadores monofásicos em um só. Isso significa que três

transformadores monofásicos exatamente iguais podem substituir um transformador trifásico.

Esse sistema é mais econômico, pois facilita os serviços de manutenção, reparação e aumento de capacidade do banco de transformadores. A ligação inicial de dois transformadores monofásicos em triângulo aberto permite que um terceiro transformador seja acrescentado quando houver um aumento de carga.

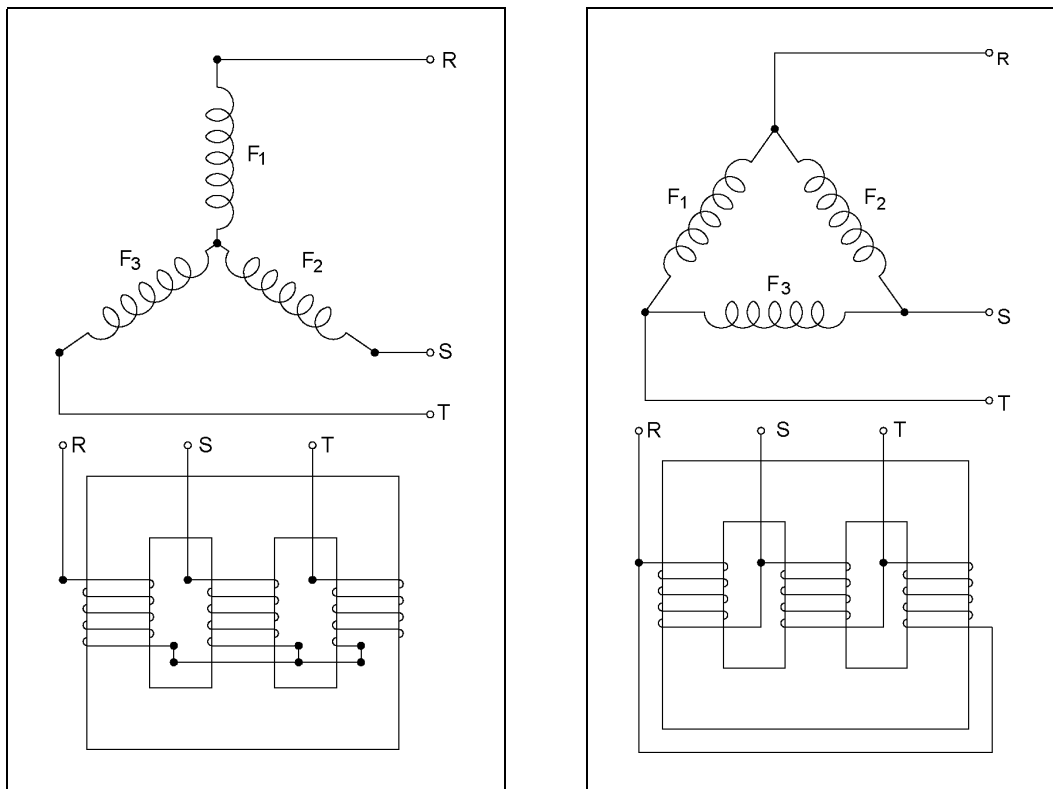
### Tipos de ligação de transformadores trifásicos

As ligações internas entre as três fases do transformador trifásico podem ser feitas de duas maneiras:

- Ligação em estrela (Y);
- Ligação em triângulo ( $\Delta$ ).

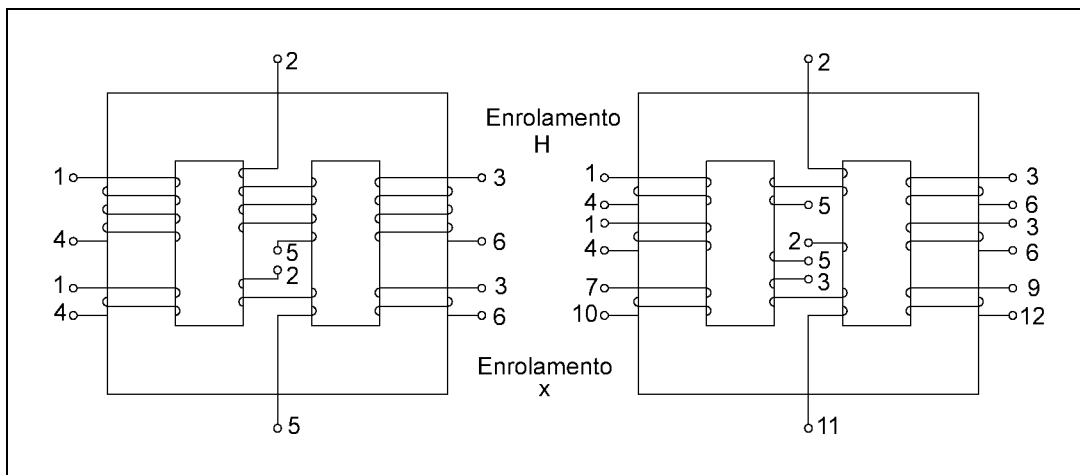
Tudo o que já foi estudado sobre as ligações em estrela e em triângulo vale também para os transformadores trifásicos.

A figura abaixo mostra as representações esquemáticas possíveis para esses tipos de ligação.





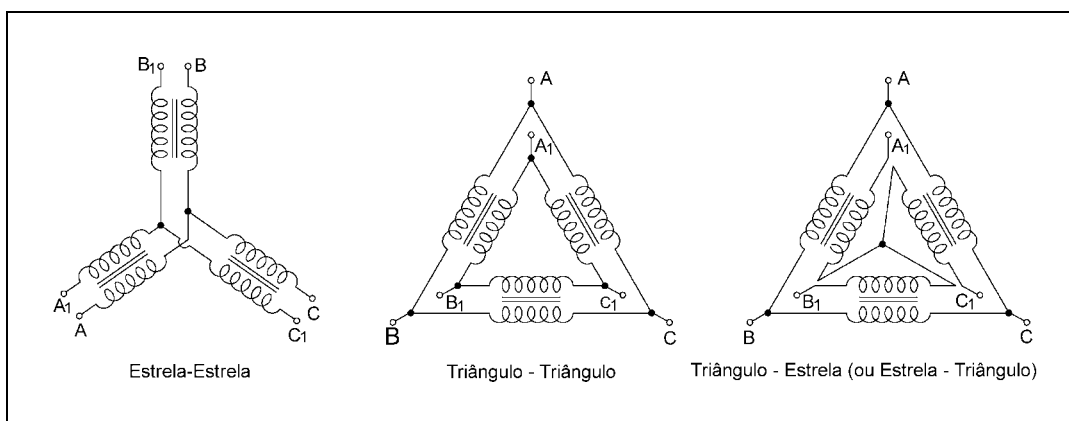
As ligações em estrela e em triângulo são executadas tanto no primário quanto no secundário do transformador. Nos diagramas, as letras H e X representam, respectivamente, o primário e o secundário, enquanto as extremidades dos enrolamentos são identificados por números.



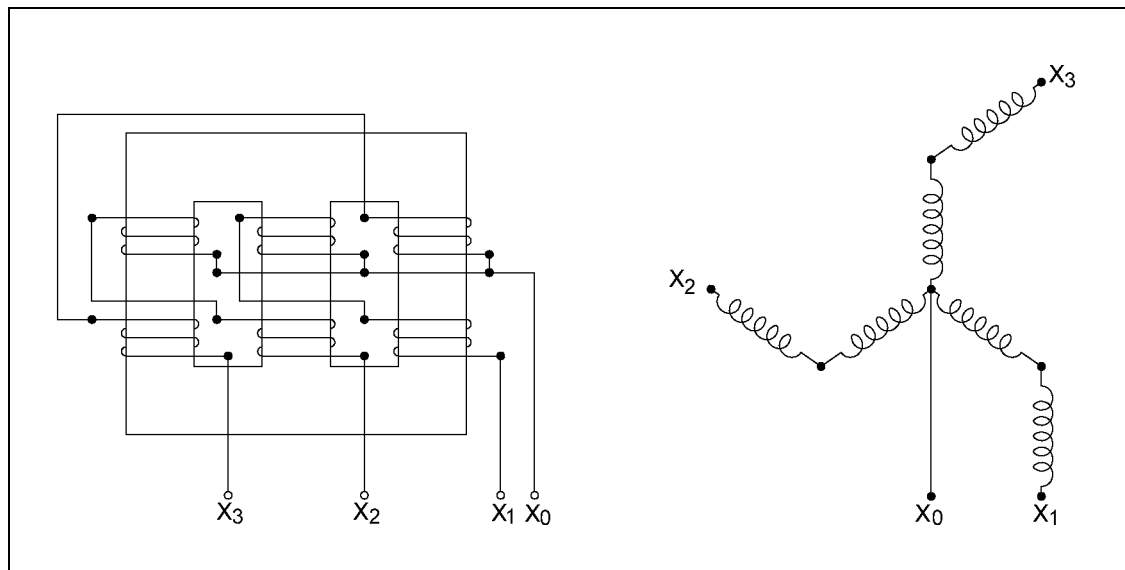
As ligações do primário e do secundário podem ser combinadas de várias formas:

- Em estrela no primário e em estrela no secundário;
- Em triângulo no primário e em triângulo no secundário;
- Em estrela no primário e em triângulo no secundário e vice-versa.

A figura abaixo mostra, de modo esquemático, esses tipos de combinações.



Quando é necessário equilibrar as cargas entre as fases do secundário, emprega-se a ligação em zigzague.



Se, por exemplo, a fase 1 do secundário estiver recebendo mais carga, esse desequilíbrio será compensado pela indução das duas colunas onde a fase 1 está distribuída.

Para que as combinações de ligações sejam realizadas, os transformadores são divididos em dois grupos:

- Grupo A: quando a tensão do secundário está em fase com a tensão do primário;
- Grupo B: quando a tensão do secundário está defasada em  $30^\circ$ .

Dois transformadores de um pequeno grupo podem ser ligados em paralelo, desde que exista entre eles correspondência de tensão e impedância.

Transformadores de grupos diferentes não podem ser ligados em paralelo.

Na tabela abaixo são apresentadas as interligações dos enrolamentos, a relação de transformação e os tipos de ligação que podem ser feitos com os transformadores do grupo A.

<b>Tipos de ligação de transformadores trifásicos do grupo A</b>			
Símbolo e denominação	Diagramas		Relação de transformação (tensão entre fases)
	Enrolamento de mais alta tensão	Enrolamento de mais baixa tensão	
$\Delta/Y$ triângulo - triângulo			$E_x = \frac{N_{X'}}{N_H} \cdot E_H$
$Y/\Delta$ estrela - estrela			$E_x = \frac{N_x}{N_H} \cdot E_H$
$Y/$ triângulo - zigzague			$E_x = \frac{N_x \cdot E_H \cdot \sqrt{3}}{2N_H}$

Para verificar se as ligações estão corretas, alimenta-se o transformador pelos lides ou terminais de tensão mais elevada com uma fonte de corrente trifásica apropriada. Em seguida, ligam-se os terminais H<sub>1</sub> e X<sub>1</sub> entre si (curto-circuito).

Finalmente, mede-se a tensão entre os vários pares de terminais. O resultado deve ser o seguinte:

- Tensão entre H2 e X3 igual à tensão entre H3 e X2;
- Tensão entre H2 e X2 menor que a tensão entre H1 e X2;
- Tensão entre H2 e X2 menor que a tensão entre H2 e X3.

Na tabela a seguir, são apresentadas as interligações dos enrolamentos, a relação de transformação e os tipos de ligação que podem ser feitos com os transformadores do grupo B.

Tipos de ligação de transformadores trifásicos do grupo B			
Símbolo e Denominação	Diagramas		Relação de transformação (tensão entre fases)
	Enrolamento de mais alta tensão	Enrolamento de mais baixa tensão	
$\Delta/\Delta$ triângulo - estrela			$EX = \frac{NX \cdot 1,73 \cdot EH}{NH}$
$\Delta/Y$ estrela - triângulo			$EX = \frac{NX \cdot EH}{NH \cdot \sqrt{3}}$
$\Delta/\Delta$ estrela - zigzag			$EX = \frac{NX \cdot EH \cdot \sqrt{3}}{2NH}$

**Observação**

NH = número de espiras do primário

NX = número de espiras do secundário

Para verificar se as ligações estão corretas, alimenta-se o transformador pelos terminais de tensão mais elevada com uma corrente trifásica apropriada. Em seguida, ligam-se os terminais H1 e X1 entre si.

Finalmente, mede-se a tensão entre os vários pares de terminais. O resultado deve ser o seguinte:

- Tensão entre H3 e X2 igual à tensão entre H3 e X3;
- Tensão entre H3 e X2 menor que a tensão entre H1 e X3;
- Tensão entre H2 e X2 menor que a tensão entre H2 e X3;
- Tensão entre H2 e X2 menor que a tensão entre H1 e X3.

### **Resfriamento de transformadores trifásicos**

Os transformadores, quando em funcionamento, apresentam uma pequena perda que também se manifesta sob a forma de calor. Assim, quanto maior a potência consumida, maior é a geração de calor dentro do transformador.

Como a temperatura elevada traz danos irreparáveis ao funcionamento do transformador, deve-se mantê-la dentro de limites seguros.

Segundo a norma da ABNT (EB91), existem dois tipos de resfriamento:

- A seco;
- Com líquido isolante.

#### **Transformador com resfriamento a seco**

Segundo a norma EB91, “transformador a seco é o transformador cujos núcleo e enrolamento estão envoltos e refrigerados pelo ar do ambiente”.

Dentro desse grupo estão todos os pequenos transformadores e os de baixa potência nos quais a troca de calor é feita com o ar.

Para os transformadores desse grupo que necessitem de maior refrigeração, usam-se ventiladores que forcem a circulação do ar. Isso acontece em aparelhos eletrônicos como os microcomputadores, por exemplo.

#### **Transformador em líquido isolante**

De acordo com a norma EB91, transformador em líquido isolante “é o transformador cujos núcleo e enrolamento são imersos em líquido isolante”.

Esse líquido isolante exerce duas funções: isolamento e resfriamento, pois transfere para as paredes do tanque o calor produzido.

Para cumprir essas funções, o óleo refrigerante deve possuir:

- Elevada rigidez dielétrica;
- Boa fluidez;
- Capacidade de funcionamento em temperaturas elevadas.

O líquido isolante que possui essa característica é o óleo mineral.

### **Observação**

Existe também um óleo chamado de ascarel, mas seu uso é proibido por ser altamente tóxico e, portanto, prejudicial à saúde.

Os transformadores que necessitam desse tipo de resfriamento são os trifásicos de grande potência, usados na rede de distribuição de energia elétrica.

# Identificação de terminais de transformadores

Muitas vezes, ao ter que realizar testes ou trabalhos de manutenção em transformadores, o profissional se encontra diante de máquinas que não apresentam numeração nos bornes ou identificação nas bobinas.

Este capítulo apresenta os procedimentos para a identificação tanto dos bornes quanto das bobinas do transformador. Para tornar mais fácil essa tarefa, é necessário possuir conhecimentos anteriores sobre ligação estrela e triângulo e continuidade de enrolamentos.

## **Numeração de bornes e identificação de bobinas**

Você aprendeu que o transformador é a máquina que permite rebaixar ou elevar os valores de tensão ou corrente CA de um circuito. Seu princípio de funcionamento baseia-se no fato de que uma tensão é induzida no secundário, quando este é cortado pelo fluxo magnético variável gerado no primário.

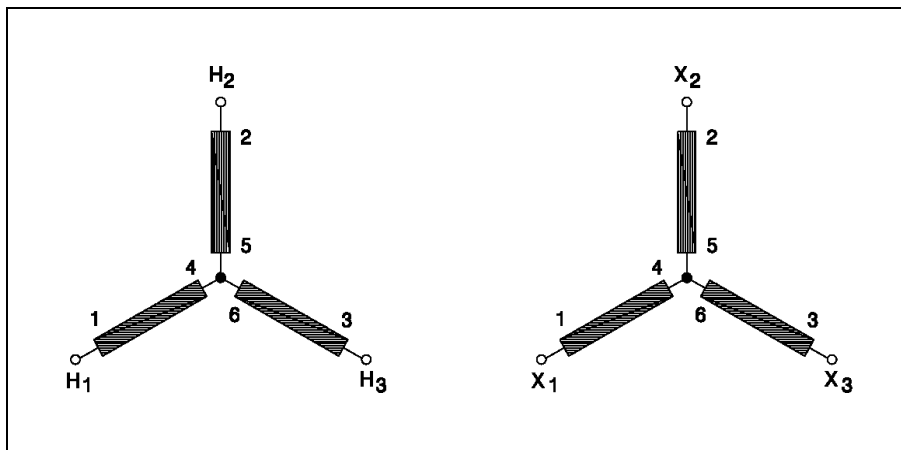
As bobinas do primário e do secundário são montadas sobre um núcleo de ferro silicioso laminado. O núcleo permite um melhor acoplamento magnético com pequenas perdas por aquecimento.

Os bornes de um transformador geralmente localizam-se sobre a tampa da máquina. Os bornes de maior tensão estão colocados de um lado e os de menor tensão, de outro.

Os terminais dos diversos enrolamentos devem ser marcados com as letras H, X, Y e Z.

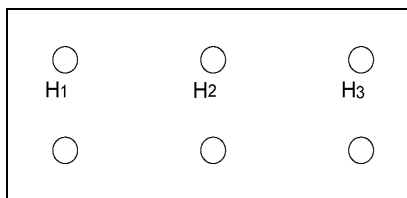
A letra H é reservada ao enrolamento de maior tensão. A seqüência das demais letras é baseada na ordem decrescente das tensões nominais dos enrolamentos.

As letras devem ser acompanhadas pelos números 0, 1, 2, 3... etc. para indicar o primeiro terminal neutro e os terminais restantes do circuito. Veja exemplo abaixo.



*Y/Y estrela - estrela*

A norma relativa à seqüência das letras que identificam os bornes exige que os de maior tensão sejam marcados da esquerda para a direita de quem olha o transformador do lado dos bornes de menor tensão. Veja diagrama da figura abaixo.



A marcação dos bornes de menor tensão é feita obedecendo à relação de fase existente entre as altas e as baixas tensões.

A defasagem depende das conexões internas do transformador. Nos transformadores monofásicos, esta defasagem é nula ou de 180°. Nos transformadores trifásicos, essa defasagem é nula ou múltipla de 30°.



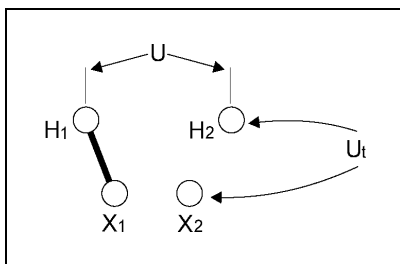
## Polaridade

As bobinas em um transformador podem ser enroladas com o primário e o secundário no mesmo sentido ou em sentido contrário. Com isso, a tensão de saída no secundário pode apresentar a mesma polaridade da tensão de entrada ou polaridade inversa.

Esse detalhe é muito importante, quando se deve identificar os fios (ou “*taps*”) do transformador trifásico.

Na prática, a polaridade de um transformador é definida pelas palavras subtrativa e aditiva.

Para identificar o tipo de polaridade, conecta-se o terminal de maior tensão ao terminal de menor tensão adjacente, como mostra o diagrama da figura abaixo.

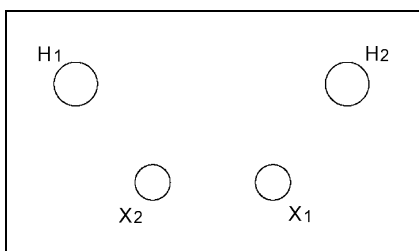


$U_t > U \rightarrow$  *Aditiva*

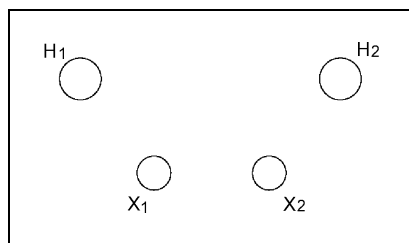
$U_t < U \rightarrow$  *Subtrativa*

Então, aplica-se tensão em um dos circuitos. Por exemplo, a tensão U no circuito de maior tensão. Se a tensão total ( $U_t$ ) existente entre os outros terminais (H2 e X2) dos circuitos for maior que U, diz-se que a polaridade é aditiva. Se  $U_t$  for menor que U, a polaridade é subtrativa.

Nos transformadores com polaridade aditiva, a placa deve estar com os terminais dispostos, conforme mostra a figura abaixo.



Nos transformadores com polaridade subtrativa, a placa deve apresentar os terminais dispostos, conforme o diagrama da figura abaixo.



# Máquinas de corrente contínua

As máquinas de corrente contínua resultaram do desenvolvimento tecnológico e das exigências cada vez maiores dos processos automáticos de produção. Essas máquinas, por sua grande versatilidade, são largamente usadas na indústria moderna.

Neste capítulo vamos estudar os tipos e princípios de funcionamento das máquinas de CC empregadas na indústria.

Para melhor assimilar esses conteúdos, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre magnetismo, eletromagnetismo e indutores.

## **Geradores e motores**

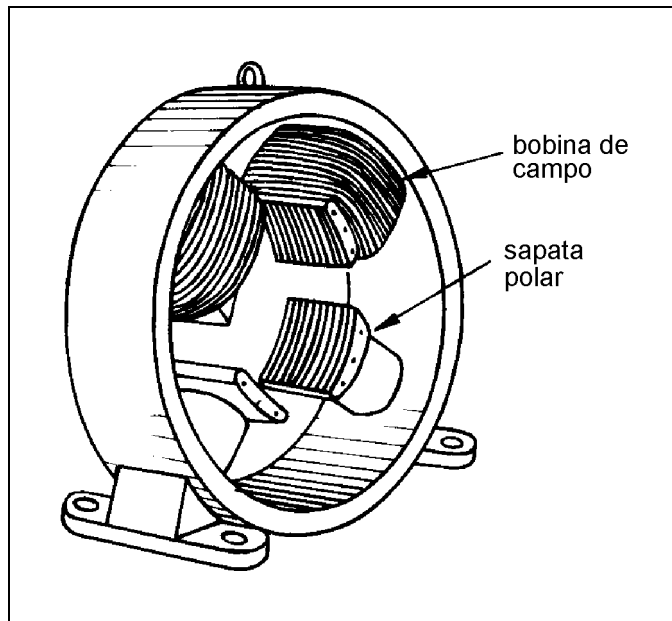
A máquina é um motor, quando transforma energia elétrica em energia mecânica. Quando transforma energia mecânica em energia elétrica, ela é um gerador.

Do ponto de vista da construção, motores e geradores de CC são iguais. Assim, um motor de CC pode funcionar como gerador de CC e vice-versa.

## **Construção**

As máquinas de CC são compostas basicamente por duas partes: o estator e o rotor.

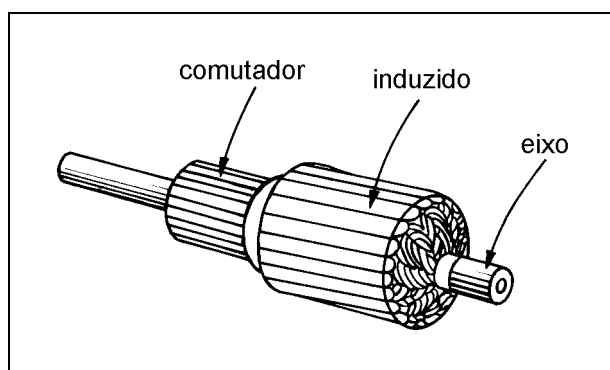
O estator (ou carcaça) é a parte fixa da máquina. Nele alojam-se as bobinas de campo cuja finalidade é conduzir o fluxo magnético.



O estator é formado por:

- Pólos de excitação (ou sapatas polares) - constituídos por condutores enrolados sobre o núcleo de chapas de aço laminadas;
- Pólos de comutação - têm a função de evitar o deslocamento da linha neutra em carga e reduzir a possibilidade de centelhamento. Localizam-se na região interpolar e por eles passa a corrente da armadura (rotor);
- Conjunto porta-escova - aloja as escovas feitas de material condutor e tem a função de realizar a ligação elétrica entre a armadura e o exterior.

O rotor é a parte móvel que abriga as bobinas ligadas ao comutador.



É formado pelas seguintes partes:

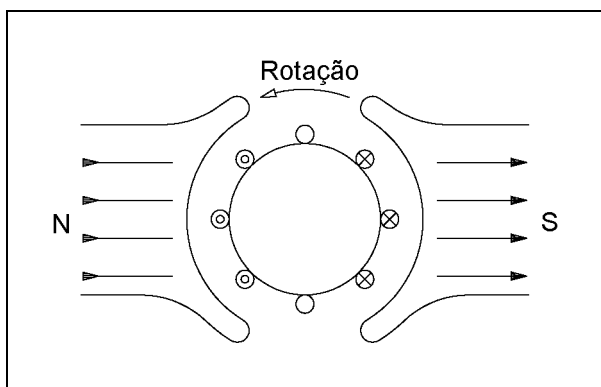
- Induzido (ou armadura) - fica dentro do estator. O mais usado é o do tipo tambor. É constituído por chapas de aço laminadas em cujas ranhuras se acomoda o enrolamento;
- Comutador - constituído por lâminas de cobre isoladas uma da outra por lâminas de mica; sua função é transferir a energia do enrolamento da armadura para o exterior;
- Eixo - é o elemento que transmite a potência mecânica convertida pela máquina.

### Gerador de CC - princípio de funcionamento

O funcionamento do gerador de CC baseia-se no princípio da indução eletromagnética, ou seja, quando um condutor elétrico é submetido a um campo magnético, surge no condutor uma tensão induzida.

Além disso, a magnitude dessa tensão induzida é diretamente proporcional à intensidade do fluxo magnético e à taxa de sua variação.

O gerador de CC funciona segundo esses dois princípios. Assim, ao ser girado com velocidade ( $n$ ), o induzido (rotor) faz os condutores cortarem as linhas de força magnética que formam o campo de excitação do gerador CC.



Nos condutores da armadura aparece, então, uma força eletromotriz induzida. Essa força depende da velocidade de rotação ( $n$ ) e do número de linhas magnéticas que tais condutores irão cortar, ou do fluxo magnético ( $f$ ) por pólo do gerador.

Representando a tensão induzida por  $E_f$  (quando o gerador está em vazio), conclui-se:

$$E_f = k \cdot n \cdot \phi$$

Onde:

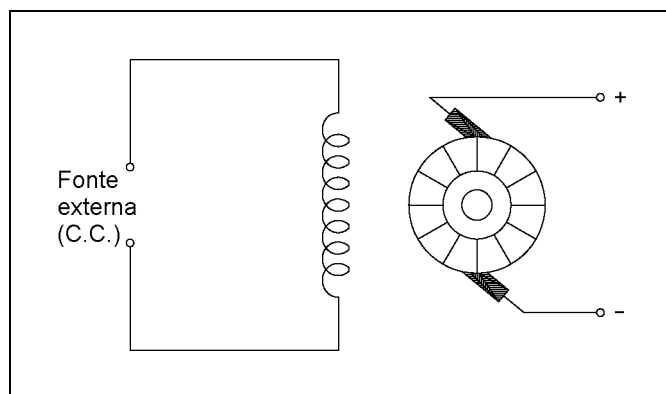
- $k$  é uma constante que depende das características construtivas da máquina
- $n$  é a velocidade de rotação
- $\phi$  é o fluxo magnético

### Classificação dos geradores de CC

Os geradores de CC são classificados de acordo com o tipo de ligação (excitação) para a alimentação de suas bobinas de campo. Assim, temos:

- Geradores de CC com excitação independente, quando a corrente de alimentação vem de uma fonte externa;
- Geradores com auto-excitação, quando a corrente de excitação vem do próprio gerador.

No gerador de CC com excitação independente, as bobinas de campo são construídas com várias espiras de fio relativamente fino. Essas espiras são alimentadas (excitadas) por uma fonte externa, como mostra a representação esquemática da figura abaixo.



Quando esse gerador começa a funcionar, mesmo sem excitação, aparece uma força eletromotriz (fem) de pequeno valor devido ao magnetismo residual.

Durante a excitação gradativa do gerador, ocorre também um aumento gradativo do fluxo magnético. Conseqüentemente, a tensão gerada eleva-se de modo gradual. Isso ocorre até que haja a saturação magnética. Quando isso acontece, o acréscimo da corrente excitadora não aumenta o fluxo magnético.

Quando o gerador é posto em carga, a tensão por ele fornecida diminui. Isto se deve a três fatores:

- Resistência do enrolamento do induzido;
- Resistência de contato nas escovas;
- Diminuição do fluxo indutor pela reação do induzido.

Nesses tipos de geradores, para que a tensão se mantenha constante, a cada aumento de carga deve haver, manual ou automaticamente, um aumento da excitação.

Um exemplo desse tipo de gerador de CC é o dínamo do automóvel.

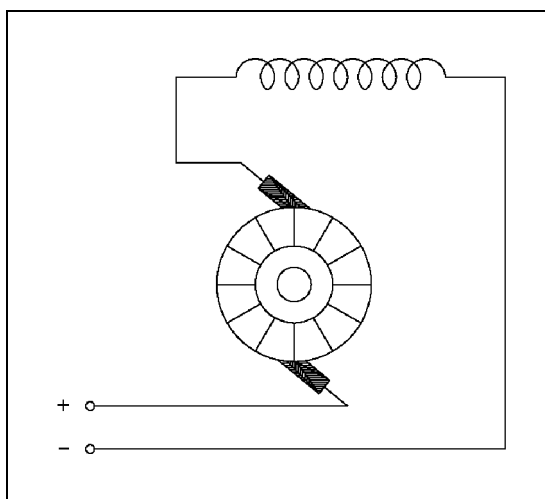
No gerador de CC auto-excitado, as bobinas de campo são ligadas ao induzido. Assim, o próprio gerador se auto-alimenta.

### **Tipos de geradores**

Conforme o tipo de ligação entre as bobinas de campo e o induzido, os geradores são classificados como:

- Gerador de CC em série;
- Gerador de CC em paralelo;
- Gerador de CC misto.

No gerador de CC em série, as bobinas de campo são constituídas por poucas espiras de fio relativamente grosso, ou seja, com bitola suficiente para suportar a corrente de armadura. As espiras são ligadas em série com o induzido, como mostra a figura abaixo.



É preciso notar que nesse gerador a corrente de carga é a própria corrente de excitação. No trabalho em vazio a fem é gerada apenas pelo magnetismo residual das sapatas polares.

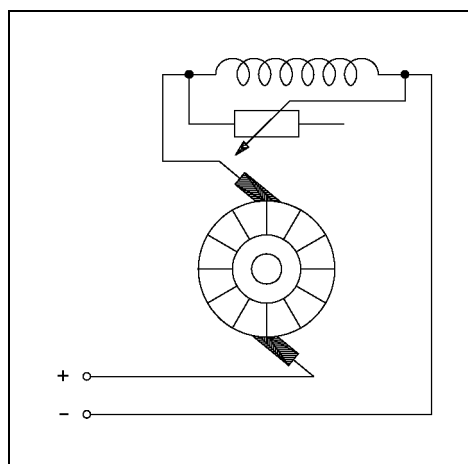
Ao acrescentar carga ao gerador, uma corrente circula pela carga e pela bobina de excitação, fazendo com que aumente o fluxo indutor e, por conseguinte, a tensão gerada.

Ao elevar-se a tensão, a corrente aumenta e, conseqüentemente, aumenta também o fluxo indutor. Isso se repete até que se verifique a saturação magnética, quando a tensão se estabiliza.

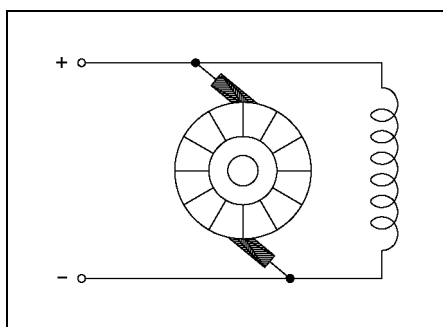
**Observação**

Antes da saturação magnética, a tensão pode alcançar valores perigosos.

Para evitar que a tensão se eleve, quando se acrescenta uma carga ao circuito, coloca-se um reostato em paralelo com a excitação.



No gerador de CC em paralelo, as bobinas de campo são ligadas em paralelo com o induzido. Elas são formadas por várias espiras de fio relativamente fino, cuja bitola varia de acordo com a potência do motor. Essa bitola deve ser suficiente para suportar a corrente do campo paralelo.





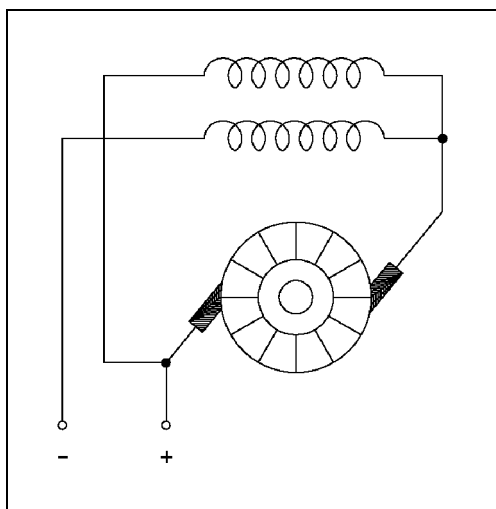
A corrente de excitação provém de uma pequena parcela da corrente do gerador e pode ser controlada por um reostato ligado em série com o campo magnético.

Assim que o gerador entra em funcionamento, a tensão geradora em vazio é devida ao magnetismo residual. Essa tensão faz circular uma corrente pela bobina de excitação, o que, por sua vez, reforça o fluxo magnético e eleva a tensão gerada até o ponto de saturação do fluxo. É neste momento que a tensão se estabiliza.

A corrente do gerador deve alimentar tanto a carga como a bobina de campo, pois ambas estão em paralelo. Assim, a tensão gerada diminui com o aumento de carga.

A cada aumento de carga há uma diminuição na excitação e, conseqüentemente, uma queda na tensão. Se ocorrer um curto, ocorre também uma elevação instantânea da corrente. Em seguida, o gerador deixa de gerar energia, pois a tensão nos terminais será nula, não havendo, portanto, excitação.

No gerador de CC misto, a excitação é efetuada por dois enrolamentos. Um deles é constituído por poucas espiras de fio grosso ligadas em série com o induzido. O outro é formado por várias espiras de fio fino ligadas em paralelo com o induzido.



Nesse gerador, a tensão mantém-se constante tanto em carga como em vazio, já que ele reúne as características dos geradores em série e em paralelo.

A tensão gerada é controlada através de reostato em série com a bobina de campo em paralelo e de reostato em paralelo com a bobina de campo em série.

### Observação

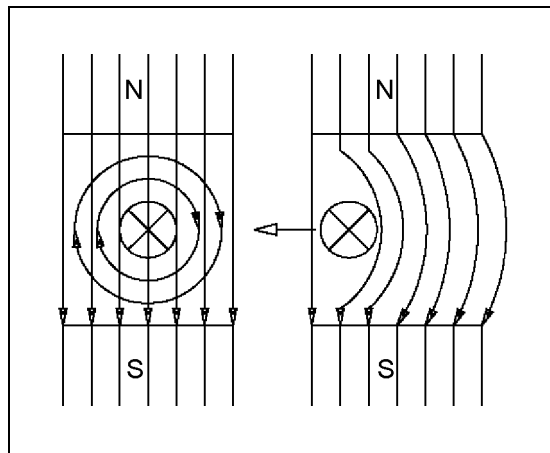
A relação entre as tensões em vazio e em carga de qualquer tipo de gerador é denominada de tensão de regulação e é dada em porcentagem pela seguinte fórmula:

$$V_R = \frac{E_o - E_t}{E_t}$$

### Motor de CC - funcionamento

O funcionamento do motor de corrente contínua baseia-se no princípio da reação de um condutor, colocado num campo magnético fixo, ao ser percorrido por uma corrente elétrica.

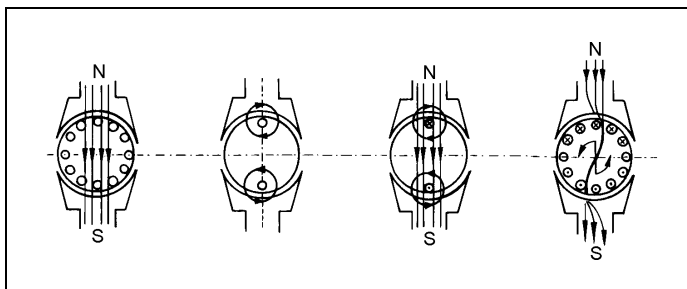
A interação entre o campo magnético fixo e o campo magnético produzido pela corrente, que circula no condutor, provoca o aparecimento de uma força. É essa força que expulsa o condutor para fora do campo magnético fixo. A figura abaixo ilustra esse princípio.



De acordo com a figura, de um lado do condutor há uma diminuição das linhas magnéticas. Do lado oposto há um acúmulo dessas linhas. Estas provocam o aparecimento da força magnética que é a responsável pelo movimento do condutor.

O motor de corrente contínua funciona sob o mesmo princípio. Nele existe um campo magnético fixo formado pelas bobinas de campo. Há também condutores instalados nesse campo (no rotor), os quais são percorridos por correntes elétricas.

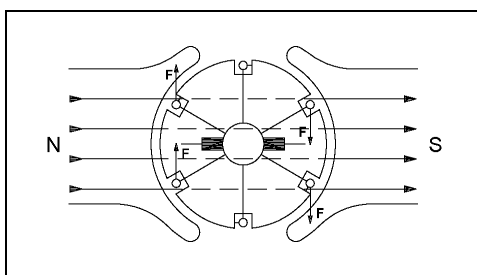
A figura abaixo mostra como aparece o movimento girante em motores de CC.



Podemos observar que a corrente que circula pela espira faz este movimento nos dois sentidos: por um lado, a corrente está entrando e, por outro, saindo. Isso provoca a formação de duas forças contrárias de igual valor (binário), das quais resulta um movimento de rotação (conjugado), uma vez que a espira está presa à armadura e suspensa por mancal.

Essas forças não são constantes em todo giro. À medida que o condutor vai se afastando do centro do pólo magnético, a intensidade das forças vai diminuindo.

Nos motores, para que haja força constante, as espiras colocadas nas ranhuras da armadura devem estar defasadas entre si e interligadas ao circuito externo através do coletor e escova.



Quando o rotor do motor de CC começa a girar, condutores de cobre cortam as linhas magnéticas do campo. Em conseqüência, uma força eletromotriz induzida força a circulação de corrente no circuito da armadura, no sentido contrário à corrente de alimentação do motor.

A força eletromotriz induzida, por ser de sentido contrário à tensão aplicada, recebe o nome de força contra-eletromotriz (fcem).

O valor da força contra-eletromotriz induzida ( $E_o$ ) é dado por:

$$E_o = n \cdot \phi \cdot k$$

Onde:

- $n$  é a rotação
- $\phi$  é o fluxo magnético
- $k$  é a constante da máquina

A corrente total que circulará pela armadura ( $I_a$ ) será dada por:

$$I_a = \frac{E - E_o}{R_a}$$

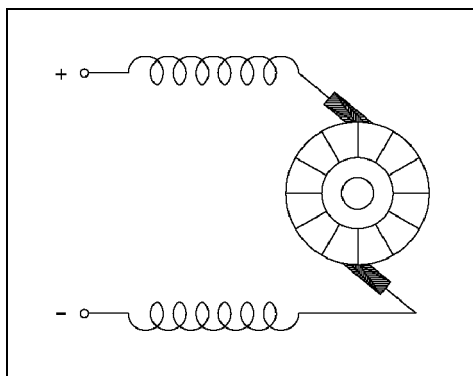
Onde:

- $E$  é a tensão aplicada
- $E_o$  é a força contra-eletromotriz
- $R_a$  é a resistência

### Tipos de motores

Como acontece com os geradores, os motores também são classificados segundo o tipo de ligação de seus campos, ou seja: motor de CC em série, motor de CC em paralelo, motor de CC misto.

No motor de CC em série, as bobinas são constituídas por espiras de fio relativamente grosso ligadas em série com o rotor (induzido).



Por causa da ação magnética, nesse motor, o conjugado é diretamente proporcional ao fluxo indutor e à corrente que circula pelo induzido.

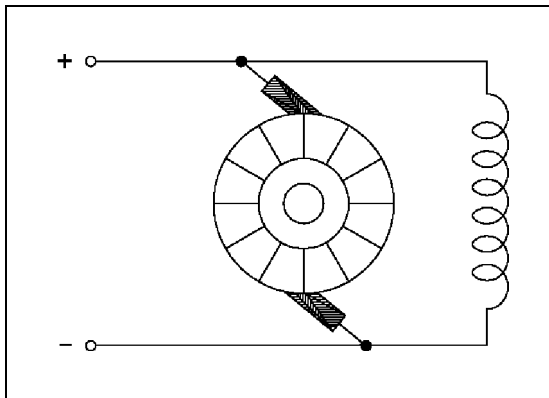
Esses motores possuem arranque vigoroso. A partida e a regulação de velocidade podem ser feitas por meio do reostato intercalado no circuito.

No arranque, o valor da corrente e, por conseqüência, o fluxo magnético são elevados. Isso fornece um alto conjugado ao motor.

Esse tipo de motor é indicado para casos em que é necessário partir com toda a carga.

Por isso, eles são usados em guindastes, elevadores e locomotivas, por exemplo. Como tendem a disparar (aumentar a rotação), não é recomendável que esses motores funcionem a vazio, ou seja, sem carga.

No motor de CC em paralelo, as bobinas de campo são constituídas por muitas espiras de fio relativamente fino e ligadas em paralelo com o induzido.

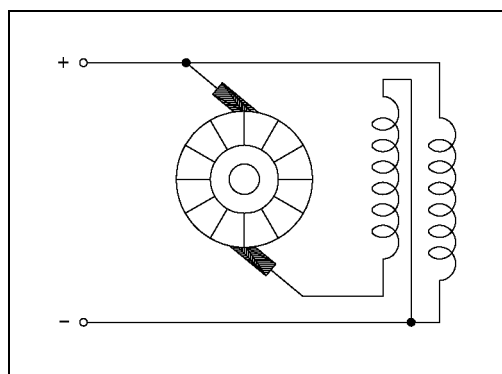


O reostato de armadura ( $R_a$ ), ligado em série com o induzido, limita a corrente no momento da partida. E o reostato de campo ( $R_c$ ), ligado em série com as bobinas do campo magnético, regula a velocidade dentro de determinado limite. Na partida, o cursor do reostato  $R_c$  deve estar no ponto médio para possibilitar o ajuste de velocidade. A resistência do reostato  $R_a$ , por sua vez, deve estar intercalada no circuito.

Pela ação eletromagnética, o conjugado é proporcional ao fluxo e à corrente. No momento da partida, a corrente no induzido deve ser limitada pelo reostato, o que diminui o conjugado. Por isso, recomenda-se que esse tipo de motor inicie seu funcionamento em vazio, ou seja, sem carga.

O motor de CC em paralelo é empregado, por exemplo, em máquinas-ferramentas.

No motor de CC misto, as bobinas de campo são constituídas por dois enrolamentos montados na mesma sapata polar. Um desses enrolamentos é de fio relativamente grosso e se liga em série com o induzido. O outro, de fio relativamente fino, se liga em paralelo com o induzido.



Esse tipo de motor apresenta características comuns ao motor em série e ao motor em paralelo.

Assim, seu arranque é vigoroso e sua velocidade estável em qualquer variação de carga. Pode também partir com carga.

Na partida, a resistência do reostato do campo paralelo (RC) deve estar totalmente intercalada no circuito. Isso permite que o motor se comporte como motor em série sem o perigo de disparar, mesmo quando a carga é pequena ou nula.

Por sua vez, o reostato da armadura (Ra), ligado em série com o induzido, limita a corrente no momento da partida. Após a partida, o cursor RC é deslocado para ajuste da velocidade.

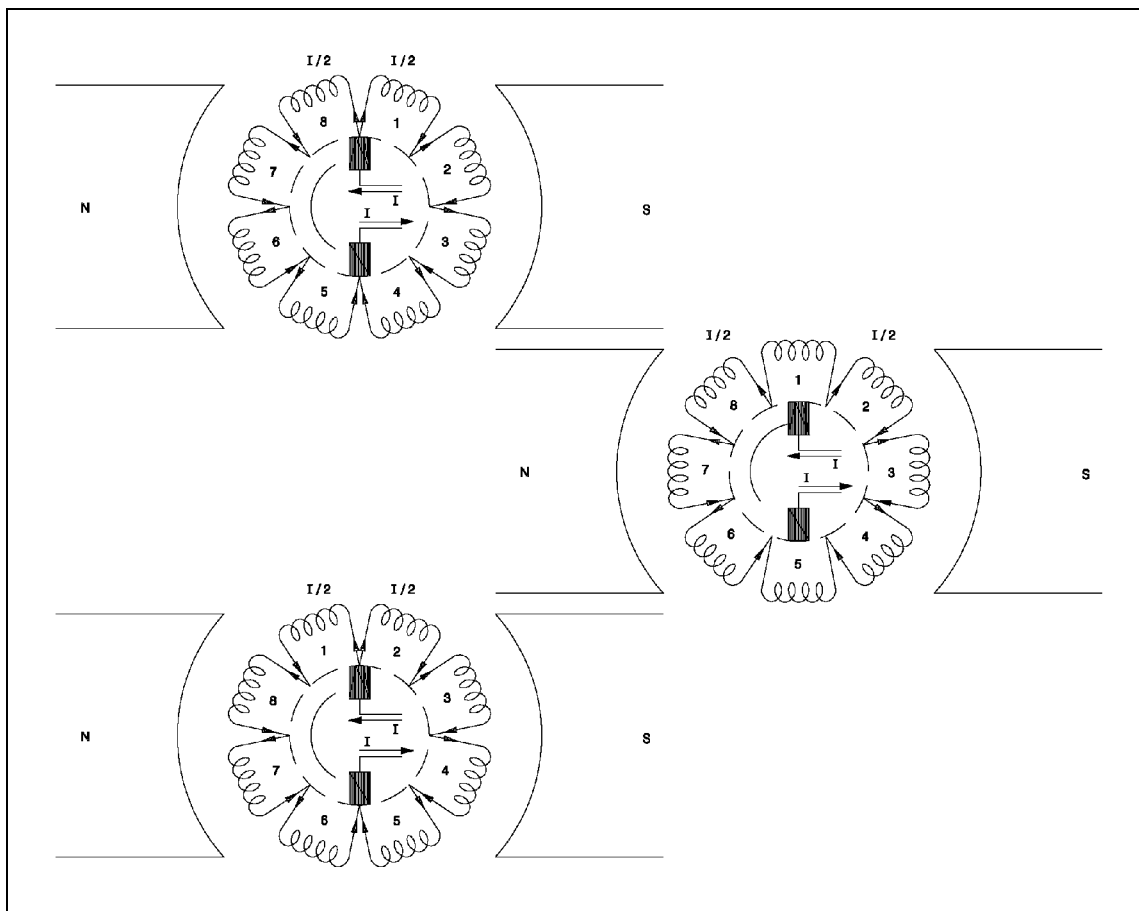
Esses motores são empregados em prensas, estamparia etc.

## Comutação

Nos motores e geradores de corrente contínua, a ligação da armadura com o circuito externo é feita por meio de escovas que se apoiam sobre as lâminas do coletor.

Quando se alimenta o motor ou se retira a corrente gerada pelo gerador, as escovas fecham, durante a rotação, no mínimo, duas lâminas do coletor em curto. Isso provoca um faiscamento.

Esse faiscamento acontece porque, no momento em que a escova está comutando de uma lâmina para outra, a corrente que circula na bobina tem seu sentido invertido. A figura abaixo ilustra esta situação.

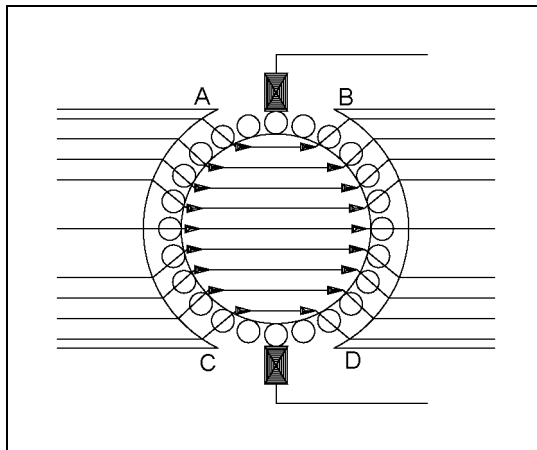


Para que o motor ou o gerador não sejam danificados, devido ao faiscamento, o curto deverá ocorrer quando a bobina estiver passando pela zona neutra do campo magnético, já que neste ponto não há tensão induzida.

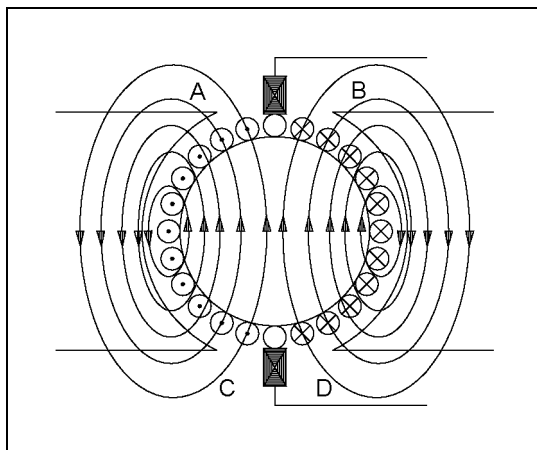
Por causa da reação do induzido, o ponto de comutação no motor e no gerador é móvel e varia de acordo com a carga.

### Reação do induzido

Nas máquinas de CC, quando não circula corrente no induzido, o campo magnético produzido pelas bobinas do estator é constituído por linhas retas, e a densidade do fluxo é praticamente uniforme.

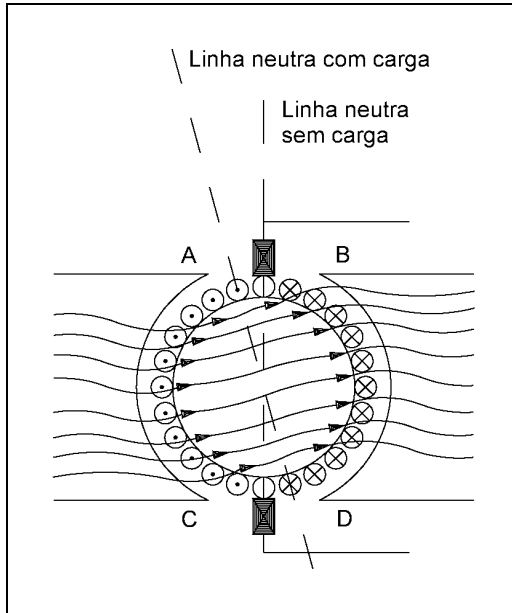


Quando uma corrente é aplicada ao induzido com uma fonte externa qualquer e se interrompe a corrente das bobinas do estator, o campo magnético produzido no induzido será constituído por linhas concêntricas.





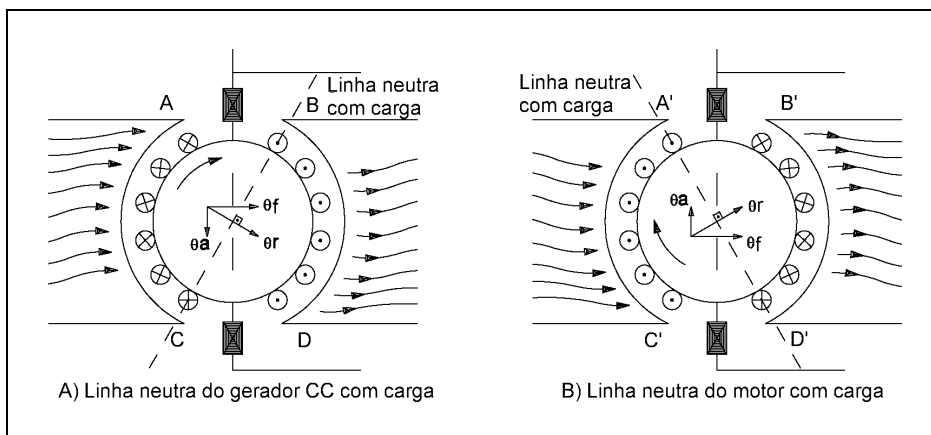
Quando a máquina estiver em funcionamento e com carga, ou seja, quando a máquina estiver com corrente circulando nas bobinas do estator e nos condutores do induzido, seus campos magnéticos interagem formando um novo campo magnético com as linhas destorcidas e sem uniformidade.



Nas extremidades polares A e D, as linhas do campo magnético, criado pela corrente que circula no induzido, têm sentido oposto ao campo produzido pela corrente que flui do estator.

O inverso acontece nas extremidades B e C, onde as linhas do campo magnético, criado pelo induzido, têm o mesmo sentido das linhas produzidas pelo estator.

Isto pode ser observado, quando analisamos a figura 6.19 que indica os sentidos dos campos magnéticos do estator do rotor.



Em conseqüência, ocorre uma redução das linhas nos campos magnéticos das extremidades A' e D' e uma intensificação nas extremidades B' e C'. Todavia, a intensificação em B' e C' não compensa a redução que se verifica em A' e D'. Isto se deve à saturação magnética que provoca a redução do fluxo magnético total.

Assim, para evitar o faiscamento, a reação da armadura ou induzido provoca a redução do fluxo total, o deslocamento da linha neutra e a necessidade de deslocamento das escovas.

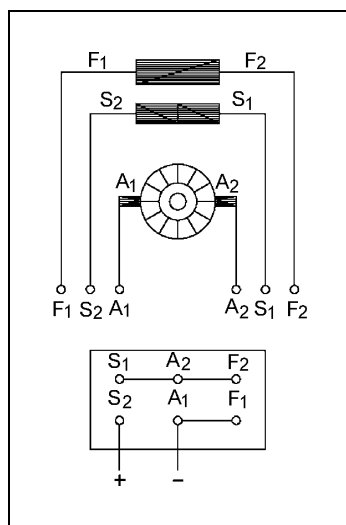
### Identificação dos terminais das máquinas de CC

Os bornes da placa de ligação das máquinas de CC obedecerão a uma nomenclatura normalizada.

A tabela a seguir mostra as designações dos elementos da máquina com seus correspondentes para a norma DIN (alemã) e para a norma ASA (americana).

Elemento	Normas	
	DIN	ASA
Armadura ou induzido	A.B.	A1 A2
Campo de derivação	C.D.	F1 F2
Campo de série	E.F.	S1 S2

Veja agora um exemplo da placa de máquina de CC conectada para funcionar como motor misto de acordo com a norma ASA.



# Motores de CA monofásicos

Os motores de CA podem ser monofásicos ou polifásicos. Neste capítulo estudaremos os motores monofásicos alimentados por uma única fase de CA.

Para melhor entender o funcionamento desse tipo de motor, você deverá ter bons conhecimentos sobre os princípios de magnetismo e eletromagnetismo, indução eletromagnética e corrente alternada.

## Motores monofásicos

Os motores monofásicos possuem apenas um conjunto de bobinas, e sua alimentação é feita por uma única fase de CA. Dessa forma, eles absorvem energia elétrica de uma rede monofásica e transformam-na em energia mecânica.

Os motores monofásicos são empregados para cargas que necessitam de motores de pequena potência como, por exemplo, motores para ventiladores, geladeiras, furadeiras portáteis, Etc.

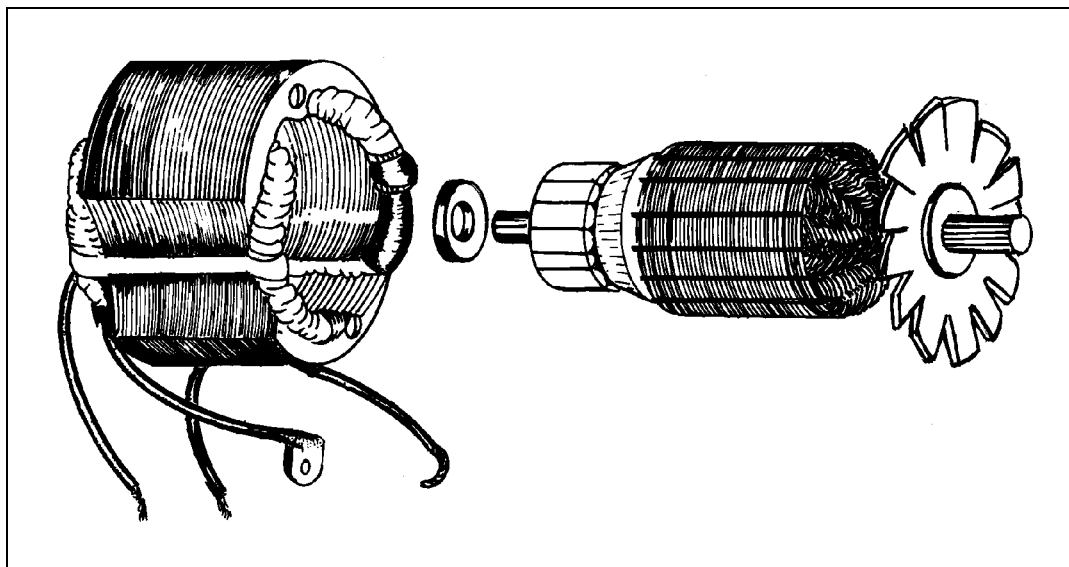
## Tipos de motores monofásicos

De acordo com o funcionamento, os motores monofásicos podem ser classificados em dois tipos: universal e de indução.

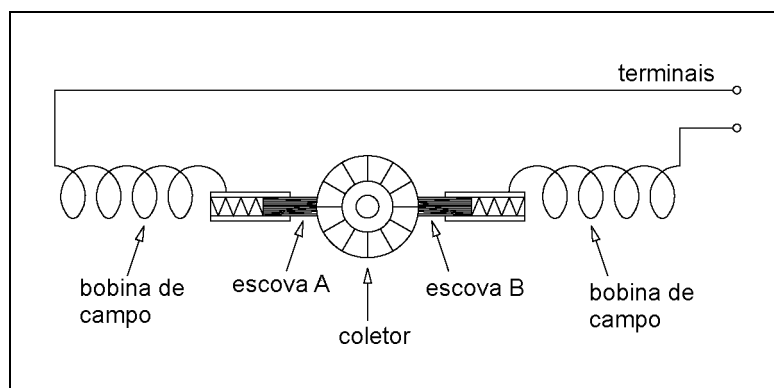
### Motor universal

Os motores do tipo universal podem funcionar tanto em CC como em CA; daí a origem de seu nome.

A figura abaixo mostra o rotor (parte que gira) e o estator (parte fixa) de um motor universal.



O motor universal é o único motor monofásico cujas bobinas do estator são ligadas eletricamente ao rotor por meio de dois contatos deslizantes (escovas). Esses dois contatos, por sua vez, ligam em série o estator e o rotor.



**Observação**

É possível inverter o sentido do movimento de rotação desse tipo de motor, invertendo-se apenas as ligações das escovas, ou seja, a bobina ligada à escova A deverá ser ligada à escova B e vice-versa.

Os motores universais apresentam conjugado de partida elevado e tendência a disparar, mas permitem variar a velocidade quando o valor da tensão de alimentação varia. Sua potência não ultrapassa a 500W ou 0,75cv e permite velocidade de 1.500 a 15.000rpm.

Esse tipo de motor é o motor de CA mais empregado e está presente em máquinas de costura, liquidificadores, enceradeiras e outros eletrodomésticos, e também em máquinas portáteis, como furadeiras, lixadeiras e serras.

### Funcionamento do motor universal

A construção e o princípio de funcionamento do motor universal são iguais ao do motor em série de CC.

Quando o motor universal é alimentado por corrente alternada, a variação do sentido da corrente provoca variação no campo, tanto do rotor quanto do estator. Dessa forma, o conjugado continua a girar no mesmo sentido inicial, não havendo inversão do sentido da rotação.

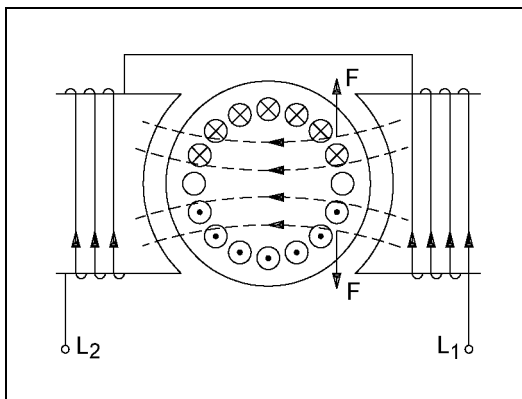
### Motor de indução

Os motores monofásicos de indução possuem um único enrolamento no estator. Esse enrolamento gera um campo magnético que se alterna juntamente com as alternâncias da corrente. Neste caso, o movimento provocado não é rotativo.

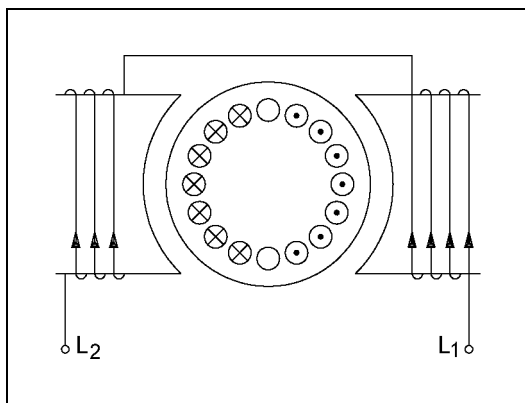
### Funcionamento do motor de indução

Quando o rotor estiver parado, o campo magnético do estator, ao se expandir e se contrair, induz correntes no rotor.

O campo gerado no rotor é de polaridade oposta à do estator. Assim, a oposição dos campos exerce um conjugado nas partes superior e inferior do rotor, o que tenderia a girá-lo 180° de sua posição original. Como o conjugado é igual em ambas as direções, pois as forças são exercidas pelo centro do rotor e em sentidos contrários, o rotor continua parado.



Se o rotor estiver girando, ele continuará o giro na direção inicial, já que o conjugado será ajudado pela inércia do rotor e pela indução de seu campo magnético. Como o rotor está girando, a defasagem entre os campos magnéticos do rotor e do estator não será mais que  $180^\circ$ .



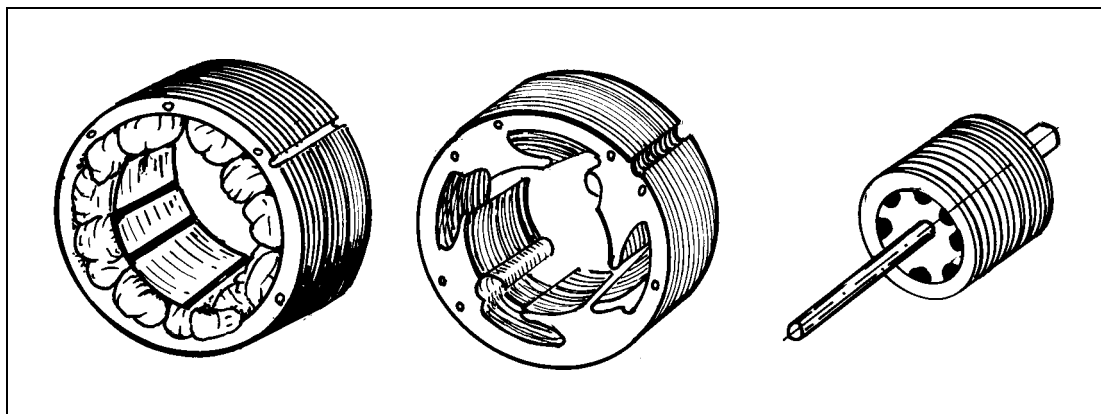
### Tipos de motores de indução

- a) Motor de campo distorcido;
- b) Motor monofásico de fase auxiliar.

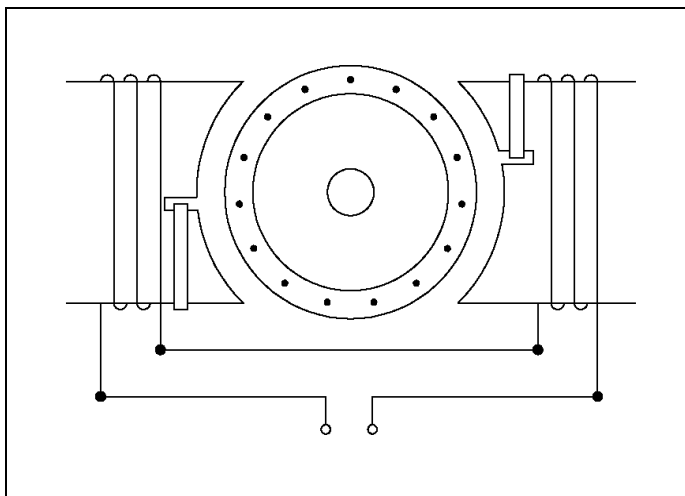
Para dar o giro inicial do rotor, são usados comumente dois tipos de partida:

- De campo distorcido - motor de campo distorcido;
- De fase auxiliar com capacitor - motor de fase auxiliar.

a) O motor de campo distorcido constitui-se por um rotor do tipo gaiola de esquilo e por um estator semelhante ao do motor universal. Contudo, no motor de campo distorcido, existe na sapata polar uma ranhura onde fica alojado um anel de cobre ou espira em curto-circuito. Por isso, este motor é conhecido também como motor de anel ou de espira em curto-circuito.



Uma vez que, no motor de campo destorcido, o rotor é do tipo gaiola de esquilo, todas as ligações encontram-se no estator.

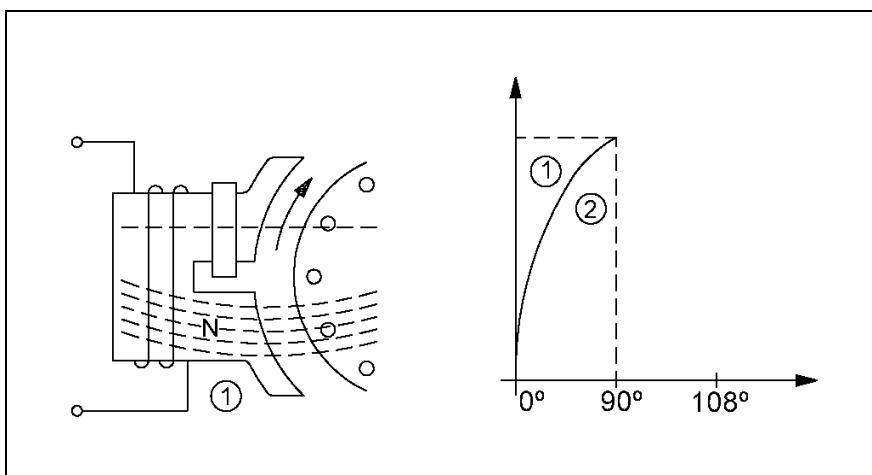


Esse tipo de motor não é reversível. Sua potência máxima é de 300W ou 0,5cv; a velocidade é constante numa faixa de 900 a 3.400rpm, de acordo com a frequência da rede e o número de pólos do motor.

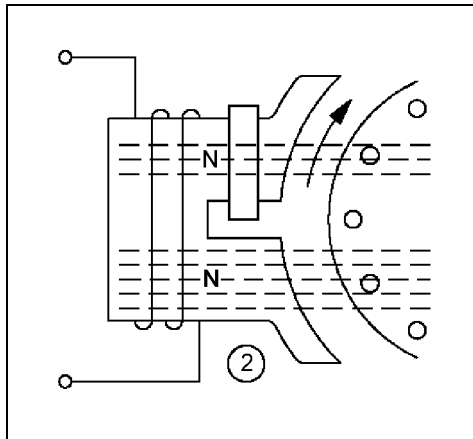
Esses motores são usados, por exemplo, em ventiladores, toca-discos, secadores de cabelo etc.

### Funcionamento

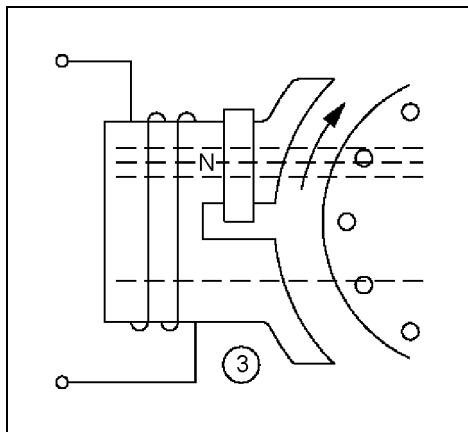
Quando o campo magnético do estator começa a aumentar (a partir de zero) as linhas de força cortam o anel em curto. A corrente induzida no anel gera um campo magnético que tende a se opor ao campo principal.



Com o aumento gradativo do campo até  $90^\circ$ , a maior parte das linhas de força fica concentrada fora da região do anel. Quando o campo atinge o máximo, ou seja, os  $90^\circ$ , não há campo criado pela bobina auxiliar, formada pelo anel, e ele se distribui na superfície da peça polar.



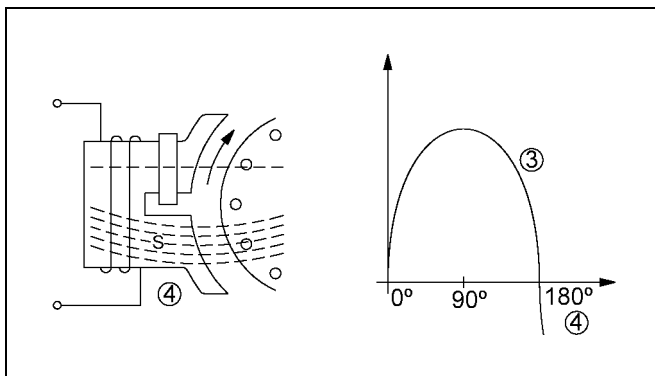
De  $90^\circ$  a  $180^\circ$  o campo vai se contraindo, e o campo da bobina auxiliar tende a se opor a essa contração, concentrando as linhas de força na região da bobina auxiliar.



De  $0^\circ$  a  $180^\circ$  o campo se movimenta ao longo da superfície polar, definindo assim o sentido de rotação.



De 180° a 360° o campo varia do mesmo modo que de 0° a 180°, porém em direção oposta.



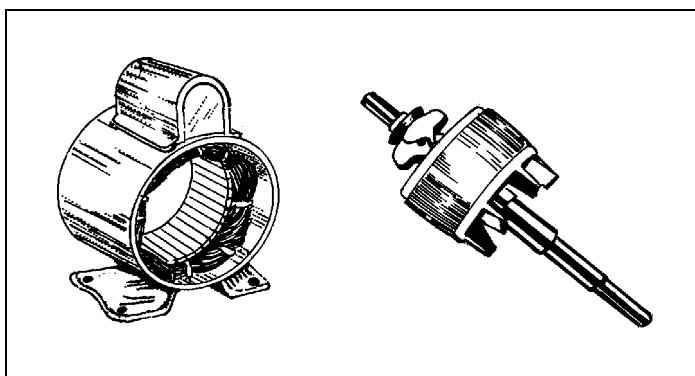
O movimento do campo produz um conjugado fraco, mas suficiente para dar partida ao motor. Como o conjugado é pequeno, esse tipo de motor é usado para alimentar cargas leves.

O motor monofásico de fase auxiliar é o de mais larga aplicação. Sua construção mecânica é igual à dos motores trifásicos de indução.

Assim, no estator há dois enrolamentos: um de fio mais grosso e com grande número de espiras (enrolamento principal ou de trabalho), e outro de fio mais fino e com poucas espiras (enrolamento auxiliar ou de partida).

O enrolamento principal fica ligado durante todo o tempo de funcionamento do motor, mas o enrolamento auxiliar só atua durante a partida. Esse enrolamento é desligado ao ser acionado um dispositivo automático localizado parte na tampa do motor e parte no rotor.

Geralmente, um capacitor é ligado em série com o enrolamento auxiliar, melhorando desse modo o conjugado de partida do motor.

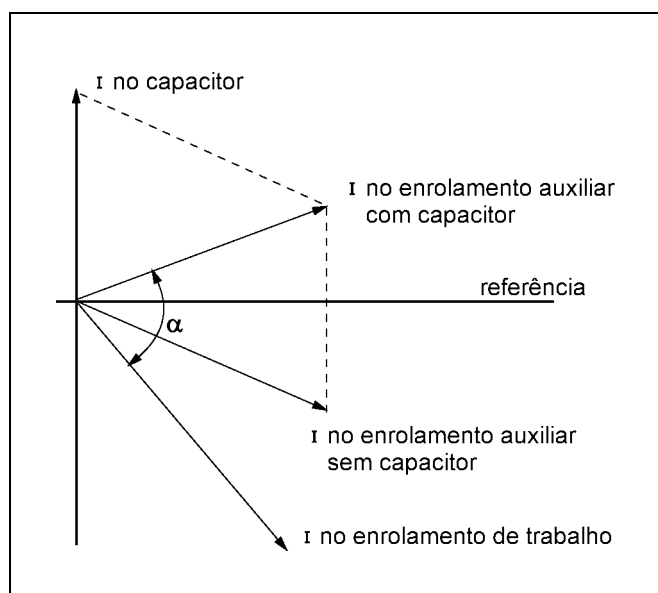


### Funcionamento

O motor monofásico de fase auxiliar funciona em função da diferença entre as indutâncias dos dois enrolamentos, uma vez que o número de espiras e a bitola dos condutores do enrolamento principal são diferentes em relação ao enrolamento auxiliar.

As correntes que circulam nesses enrolamentos são defasadas entre si. Devido à maior indutância no enrolamento de trabalho (principal), a corrente que circula por ele se atrasa em relação à que circula no enrolamento de partida (auxiliar), cuja indutância é menor.

O capacitor colocado em série com o enrolamento tem a função de acentuar ainda mais esse efeito e aumentar o conjugado de partida. Isso aumenta a defasagem, aproximando-a de  $90^\circ$  e facilitando a partida do motor.



Depois da partida, ou seja, quando o motor atinge aproximadamente 80% de sua rotação nominal, o interruptor automático se abre e desliga o enrolamento de partida. O motor, porém, continua funcionando normalmente.

### Ligação dos motores monofásicos

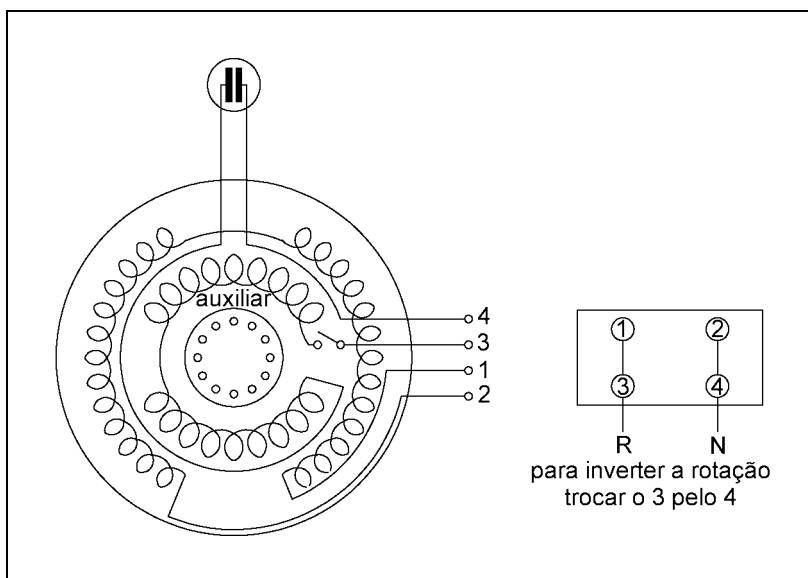
Os motores monofásicos de fase auxiliar podem ser construídos com dois, quatro ou seis terminais de saída.

Os motores de dois terminais funcionam em uma tensão (110 ou 220V) e em um sentido de rotação.

Os de quatro terminais são construídos para uma tensão (110 ou 220V) e dois sentidos de rotação, os quais são determinados conforme a ligação efetuada entre o enrolamento principal e o auxiliar.

De modo geral, os terminais do enrolamento principal são designados pelos números 1 e 2 e os do auxiliar, por 3 e 4.

Para inverter o sentido de rotação, é necessário inverter o sentido da corrente no enrolamento auxiliar, isto é, trocar o 3 pelo 4.

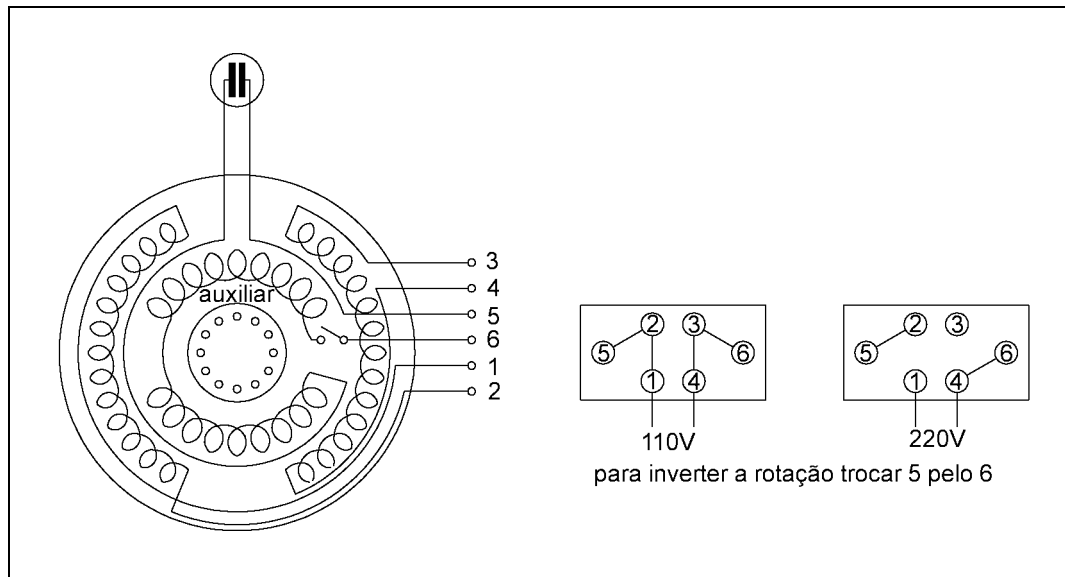


Os motores de seis terminais são construídos para duas tensões (110 e 220V) e para dois sentidos de rotação.

Para a inversão do sentido de rotação, inverte-se o sentido da corrente no enrolamento auxiliar.

O enrolamento principal é designado pelos números 1, 2, 3 e 4 e o auxiliar por 5 e 6. Para a inversão do sentido de rotação, troca-se o terminal 5 pelo 6.

As bobinas do enrolamento principal são ligadas em paralelo, quando a tensão é de 110V e, em série, quando a tensão é de 220V.



O motor de fase auxiliar admite reversibilidade quando retiram-se os terminais do enrolamento auxiliar para fora com cabos de ligação. Admite também chave de reversão, mas nesse caso, a reversão só é possível com o motor parado.

A potência desse motor varia de 1/6cv até 1cv, mas para trabalhos especiais existem motores de maior potência.

A velocidade desse tipo de motor é constante e, de acordo com a frequência e o número de pólos, pode variar de 1.425 a 3.515rpm.

# Motores trifásicos de CA

A maior parte da energia elétrica produzida é distribuída em corrente alternada (CA), o que justifica o largo emprego dos motores de CA.

A construção mecânica dos motores de CA é mais simples que a dos motores de CC. Por isso, eles são mais comumente usados na indústria.

Neste capítulo estudaremos a estrutura, os tipos e as características de funcionamento dos motores trifásicos de corrente alternada.

Para isso é necessário que você tenha conhecimentos anteriores sobre magnetismo e eletromagnetismo, indução eletromagnética e corrente alternada.

## **Motores trifásicos de CA**

Os motores trifásicos de CA são menos complexos que os motores de CC. Além disso, a inexistência de contatos móveis em sua estrutura garante seu funcionamento por um grande período, sem a necessidade de manutenção.

A velocidade dos motores de CA é determinada pela frequência da fonte de alimentação, o que propicia excelentes condições para seu funcionamento a velocidades constantes.

Os motores trifásicos de CA funcionam sob o mesmo princípio dos motores monofásicos, ou seja, sob a ação de um campo magnético rotativo gerado no estator, provocando com isto uma força magnética no rotor. Esses dois campos magnéticos agem de modo conjugado, obrigando o rotor a girar.

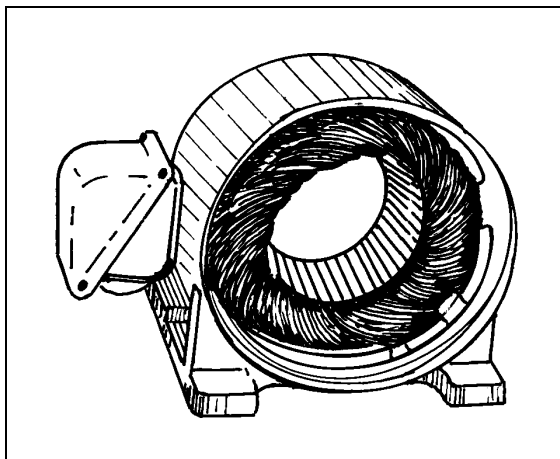
## Tipos de motores trifásicos de CA

Os motores trifásicos de CA são de dois tipos: motores assíncronos (ou de indução) e motores síncronos.

### Motor assíncrono de CA

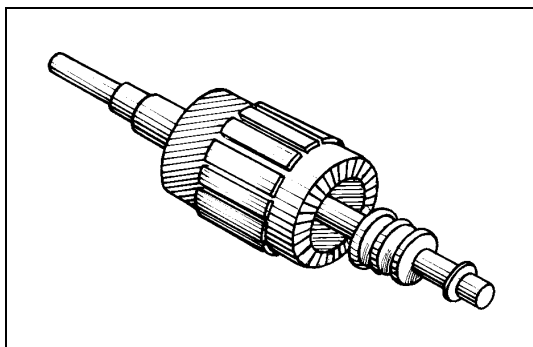
O motor assíncrono de CA é o mais empregado por ser de construção simples, resistente e de baixo custo. O rotor desse tipo de motor possui uma parte auto-suficiente que não necessita de conexões externas.

Esse motor também é conhecido como motor de indução, porque as correntes de CA são induzidas no circuito do rotor pelo campo magnético rotativo do estator.



No estator do motor assíncrono de CA estão alojados três enrolamentos referentes às três fases. Estes três enrolamentos estão montados com uma defasagem de  $120^\circ$ .

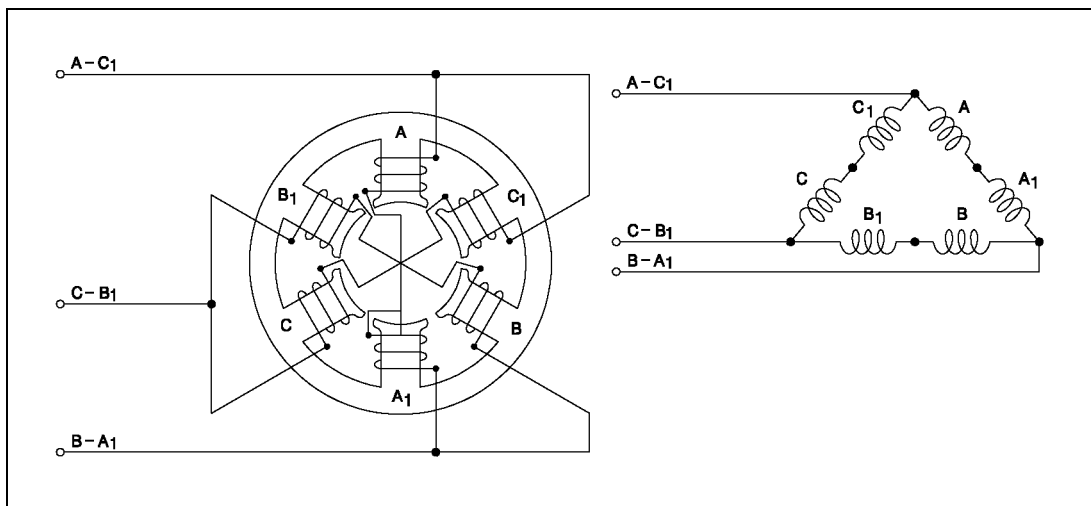
O rotor é constituído por um cilindro de chapas em cuja periferia existem ranhuras onde o enrolamento rotórico é alojado.



### Funcionamento

Quando a corrente alternada trifásica é aplicada aos enrolamentos do estator do motor assíncrono de CA, produz-se um campo magnético rotativo (campo girante).

A figura abaixo mostra a ligação interna de um estator trifásico em que as bobinas (fases) estão defasadas em  $120^\circ$  e ligadas em triângulo.

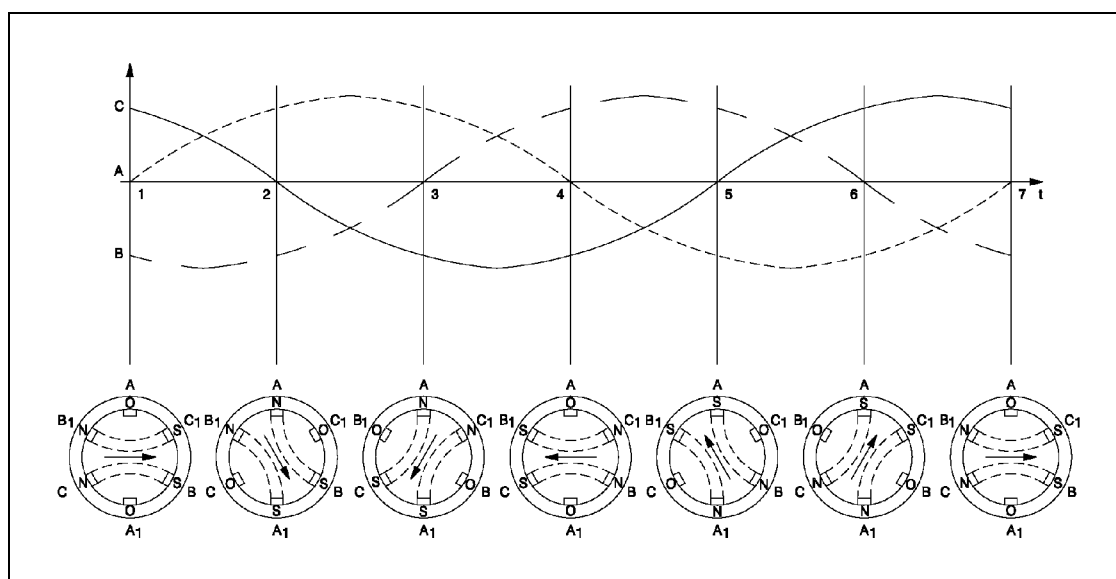


O campo magnético gerado por uma bobina depende da corrente que no momento circula por ela. Se a corrente for nula, não haverá formação de campo magnético; se ela for máxima, o campo magnético também será máximo.

Como as correntes nos três enrolamentos estão com uma defasagem de  $120^\circ$ , os três campos magnéticos apresentam também a mesma defasagem.

Os três campos magnéticos individuais combinam-se e disso resulta um campo único cuja posição varia com o tempo. Esse campo único, giratório, é que vai agir sobre o rotor e provocar seu movimento.

O esquema a seguir mostra como agem as três correntes para produzir o campo magnético rotativo num motor trifásico.



No esquema vemos que no instante 1, o valor da corrente A é nulo e, portanto, não há formação de campo magnético. Isto é representado pelo 0 (zero) colocado no pólo do estator.

As correntes B e C possuem valores iguais, porém sentidos opostos.

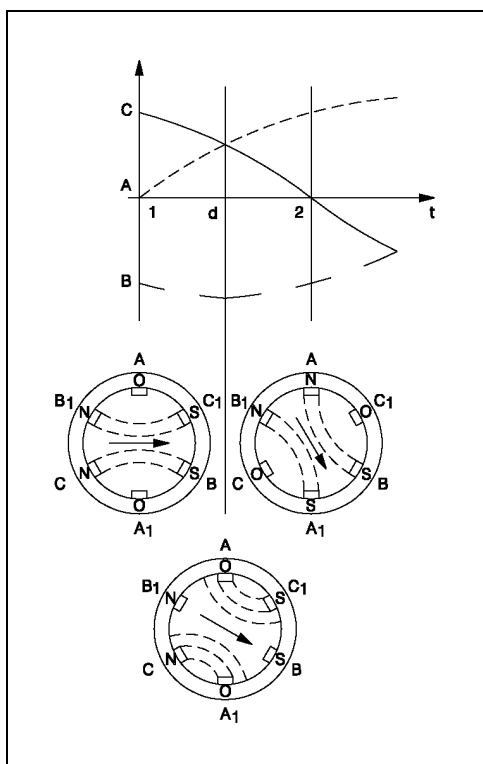
Como resultante, forma-se no estator, no instante 1, um campo único direcionado no sentido  $N \rightarrow S$ .

No instante 2, os valores das correntes se alteram. O valor de C é nulo. A e B têm valores iguais, mas A é positivo e B é negativo.

O campo resultante desloca-se em  $60^\circ$  em relação à sua posição anterior.



Quando um momento intermediário (d) é analisado, vemos que nesse instante as correntes C e A têm valores iguais e o mesmo sentido positivo. A corrente B, por sua vez, tem valor máximo e sentido negativo. Como resultado, a direção do campo fica numa posição intermediária entre as posições dos momentos 1 e 2.



Se analisarmos, em todos os instantes, a situação da corrente durante um ciclo completo, verificaremos que o campo magnético gira em torno de si. A velocidade de campo relaciona-se com a frequência das correntes conforme já foi demonstrado.

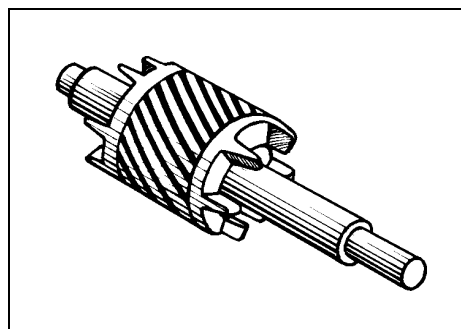
### Tipos de motores assíncronos

Os motores assíncronos diferenciam-se pelo tipo de enrolamento do rotor. Assim, temos:

- Motor com rotor em gaiola de esquilo;
- Motor de rotor bobinado.

#### Motor com rotor em gaiola de esquilo

O motor com rotor em gaiola de esquilo tem um rotor constituído por barras de cobre ou de alumínio colocadas nas ranhuras do rotor. As extremidades são unidas por um anel também de cobre ou de alumínio.



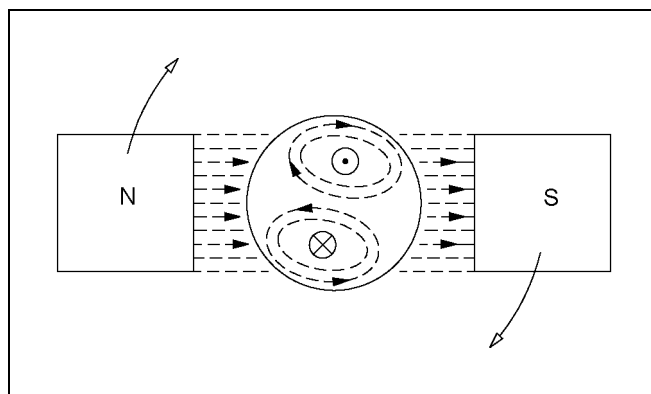
Entre o núcleo de ferro e o enrolamento de barras não há necessidade de isolamento, pois as tensões induzidas nas barras do rotor são muito baixas.

Esse tipo de motor apresenta as seguintes características:

- Velocidade que varia de 3 a 5% à vazio até a plena carga;
- Ausência de controle de velocidade;
- Possibilidade de ter duas ou mais velocidades fixas;
- Baixa ou média capacidade de arranque, dependendo do tipo de gaiola de esquilo do rotor (simples ou dupla).

Esses motores são usados para situações que não exigem velocidade variável e que possam partir com carga. Por isso são usados em moinhos, ventiladores, prensas e bombas centrífugas, por exemplo.

No funcionamento do motor com rotor em gaiola de esquilo, o rotor, formado por condutores de cobre, é submetido ao campo magnético giratório, já explicado anteriormente. Como consequência, nesses condutores (barras da gaiola de esquilo) circulam correntes induzidas, devido ao movimento do campo magnético.



Segundo a Lei de Lenz, as correntes induzidas tendem a se opor às variações do campo original. Por esse motivo, as correntes induzidas que circulam nos condutores formam um campo magnético de oposição ao campo girante.

Como o rotor é suspenso por mancais no centro do estator, ele girará juntamente com o campo girante e tenderá a acompanhá-lo com a mesma velocidade. Contudo, isso não acontece, pois o rotor permanece em velocidade menor que a do campo girante.

Se o rotor alcançasse a velocidade do campo magnético do estator, não haveria sobre ele tensão induzida, o que o levaria a parar.

Na verdade, é a diferença entre as velocidades do campo magnético do rotor e a do campo do estator que movimenta o rotor. Essa diferença recebe o nome de escorregamento e é dada percentualmente por:

$$S = \frac{V_S - V_R}{V_S} \cdot 100$$

Onde:

- $V_S$  é a velocidade de sincronismo
- $V_R$  é a velocidade real do rotor

Quando a carga do motor é aumentada, ele tende a diminuir a rotação e a aumentar o escorregamento. Conseqüentemente, aumenta a corrente induzida nas barras da gaiola de esquilo e o conjugado do motor.

Desse modo, o conjugado do motor é determinado pela diferença entre a velocidade do campo girante e a do rotor.

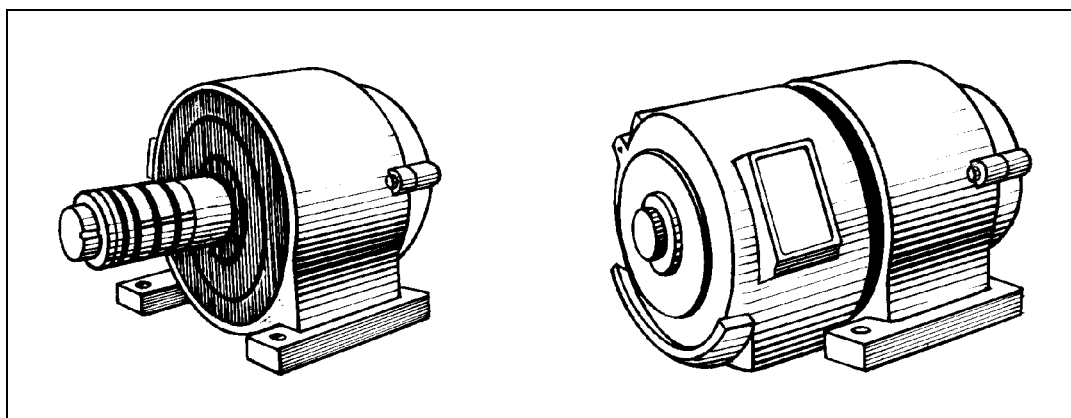
### **Motor de rotor bobinado**

O motor com rotor bobinado trabalha em rede de corrente alternada trifásica. Permite um arranque vigoroso com pequena corrente de partida.

Ele é indicado quando se necessita de partida com carga e variação de velocidade, como é o caso de compressores, transportadores, guindastes e pontes rolantes.

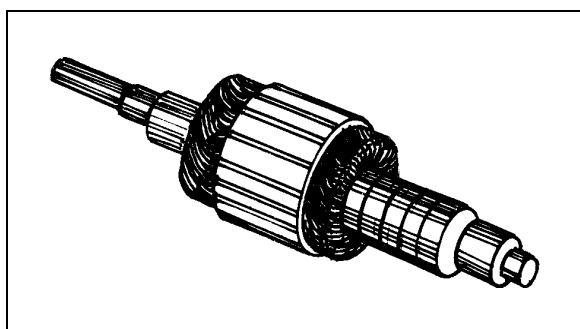
O motor de rotor bobinado é composto por um estator e um rotor.

O estator é semelhante ao dos motores trifásicos já estudados. Apresenta o mesmo tipo de enrolamentos, ligações e distribuição que os estatores de induzido em curto.



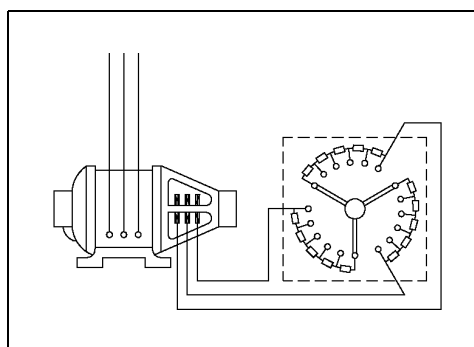
O rotor bobinado usa enrolamentos de fios de cobre nas ranhuras, tal como o estator.

O enrolamento é colocado no rotor com uma defasagem de  $120^\circ$ , e seus terminais são ligados a anéis coletores nos quais, através das escovas, tem-se acesso ao enrolamento.



Ao enrolamento do rotor bobinado deve ser ligado um reostato (reostato de partida) que permitirá regular a corrente nele induzida. Isso torna possível a partida sem grandes picos de corrente e possibilita a variação de velocidade dentro de certos limites.

O reostato de partida é composto de três resistores variáveis, conjugados por meio de uma ponte que liga os resistores em estrela, em qualquer posição de seu curso.



O motor trifásico de rotor bobinado é recomendado nos casos em que se necessita de partidas a plena carga. Sua corrente de partida apresenta baixa intensidade: apenas uma vez e meia o valor da corrente nominal.

É também usado em trabalhos que exigem variação de velocidade, pois o enrolamento existente no rotor, ao fazer variar a intensidade da corrente que percorre o induzido, faz variar a velocidade do motor.

Deve-se lembrar, porém, que o motor de rotor bobinado é mais caro que os outros devido ao elevado custo de seus enrolamentos e ao sistema de conexão das bobinas do rotor, tais como: anéis, escovas, porta-escovas e reostato.

Em pleno regime de marcha, o motor de rotor bobinado apresenta um deslizamento maior que os motores comuns.

É importante saber que há uma relação entre o enrolamento do estator e o do rotor. Essa relação é de 3:1, ou seja, se a tensão do estator for 220V, a do rotor em vazio será de  $220 \div 3$ , ou 73V aproximadamente.

A mesma relação pode ser aplicada às intensidades da corrente. Se a intensidade no estator for 10A, o rotor será percorrido por uma corrente de  $10 \cdot 3 = 30A$ .

Conseqüentemente, a seção do fio do enrolamento deve ser calculada para essa corrente. Por isso, os enrolamentos dos induzidos têm fios de maior seção que os do indutor.

### **Observação**

É importante verificar na plaqueta do motor as correntes do estator e do rotor.

### **Funcionamento**

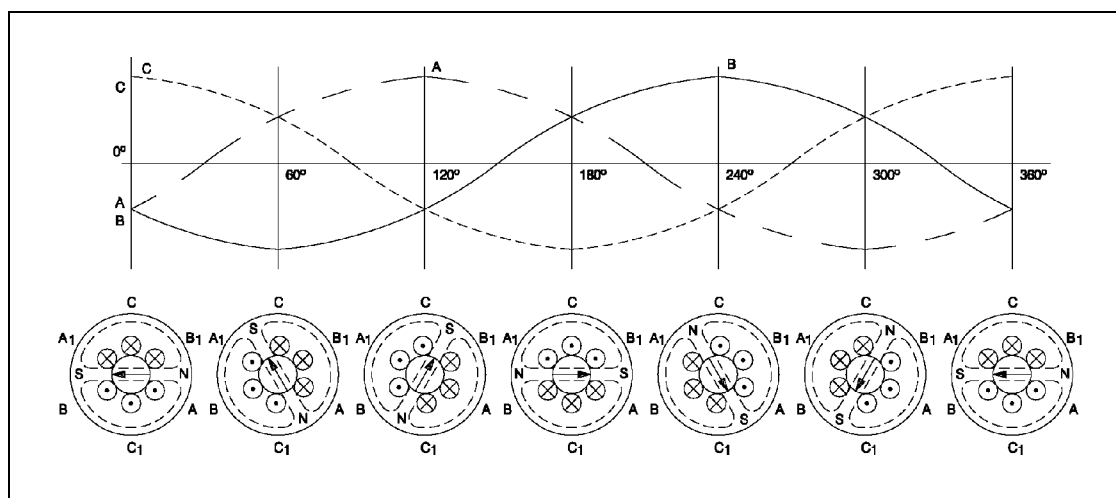
O princípio de funcionamento do motor com rotor bobinado é o mesmo que o do motor com rotor em gaiola de esquilo.

A única diferença é que a resistência do enrolamento do rotor bobinado pode ser alterada, pois esse tipo de rotor é fechado em curto na parte externa, através de reostatos. Isso permite o controle sobre o valor da corrente que circula no enrolamento do rotor e, portanto, a variação de velocidade, dentro de certos limites, mantém o conjugado constante.

Em resumo, pode-se dizer que, para a formação de um campo girante homogêneo, devem existir duas condições:

- Estator deve ser dotado de três bobinas deslocada entre si de 120°;
- Nas três bobinas do estator devem circular três correntes alternadas senoidais defasadas em 120°, ou seja, 1/3 do período.

Na figura abaixo, vemos que o campo magnético no estator gira em sentido horário, porque as três correntes alternadas tornam-se ativas, seqüencialmente, nos três enrolamentos do estator, também em sentido horário.



Se invertermos a seqüência de fase nos enrolamentos do estator, por meio de dois terminais de ligação, o campo gira em sentido contrário, isto é, em sentido anti-horário.

É desta maneira que se inverte o sentido de rotação do campo girante e, conseqüentemente, a rotação dos motores trifásicos.

Para determinar a velocidade de rotação do campo girante, é necessário estabelecer a relação entre freqüência (f) e o número de pares de pólos (p) pela seguinte fórmula:

$$n = \frac{f \cdot 60}{p} \text{ (rpm)}$$

## Motor síncrono de CA

O motor síncrono de CA apresenta a mesma construção de um alternador, e ambos têm o rotor alimentado por CC. A diferença é que o alternador recebe energia mecânica no eixo e produz CA no estator; o motor síncrono, por outro lado, recebe energia elétrica trifásica CA no estator e fornece energia mecânica ao eixo.

Esse tipo de motor apresenta as seguintes características:

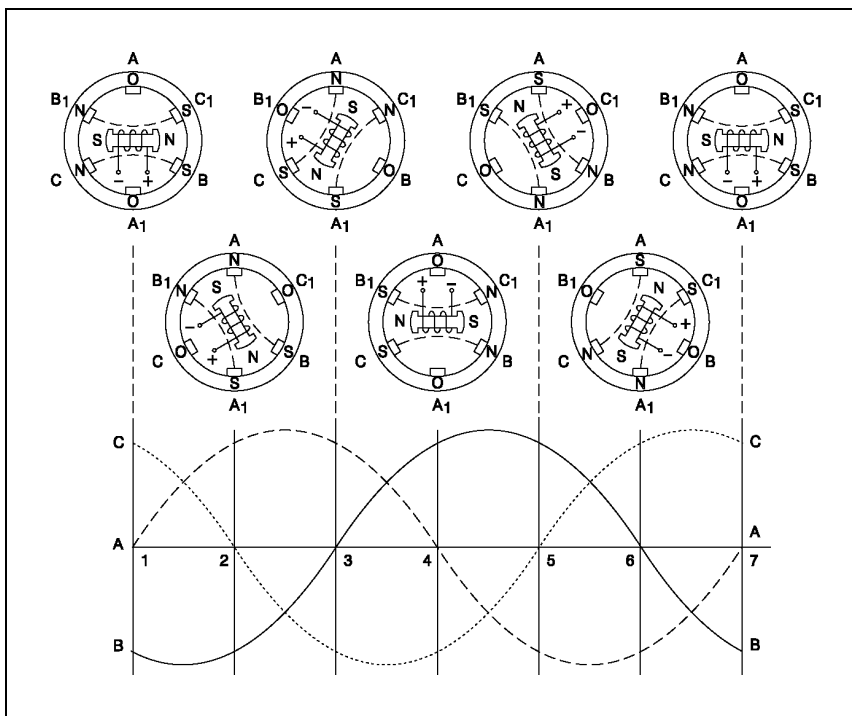
- Velocidade constante (síncrona);
- Velocidade dependente da frequência da rede;
- Baixa capacidade de arranque.

Por essas características, o motor síncrono é usado quando é necessária uma velocidade constante.

### Funcionamento

A energia elétrica de CA no estator cria o campo magnético rotativo, enquanto o rotor, alimentado com CC, age como um ímã.

Um ímã suspenso num campo magnético gira até ficar paralelo ao campo. Quando o campo magnético gira, o ímã gira com ele. Se o campo rotativo for intenso, a força sobre o rotor também o será. Ao se manter alinhado ao campo magnético rotativo, o rotor pode girar uma carga acoplada ao seu eixo.



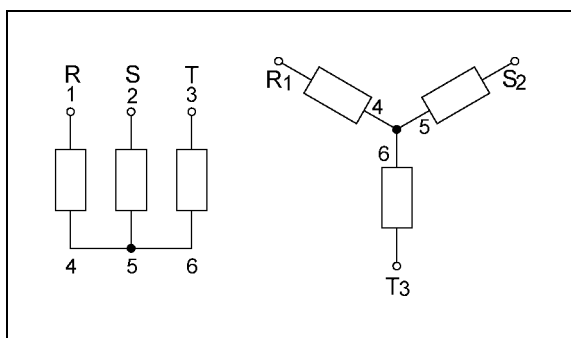
Quando parado, o motor síncrono não pode partir com aplicação direta de corrente CA trifásica no estator, o que é uma desvantagem. De modo geral, a partida é feita como a do motor de indução (ou assíncrono). Isso porque o rotor do motor síncrono é constituído, além do enrolamento normal, por um enrolamento em gaiola de esquilo.

### Ligação dos motores trifásicos

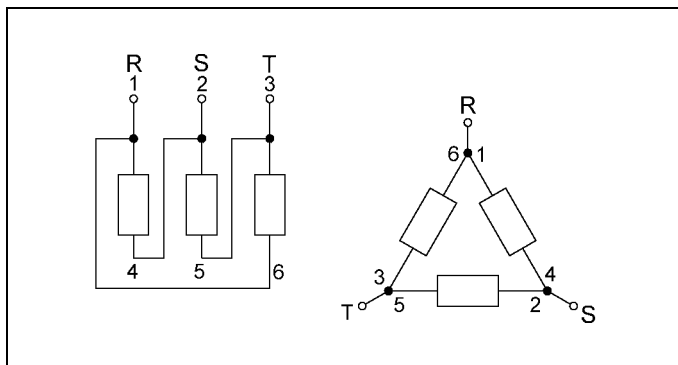
Como já foi estudado, o motor trifásico tem as bobinas distribuídas no estator e ligadas de modo a formar três circuitos distintos, chamados de fases de enrolamento.

Essas fases são interligadas formando ligações em estrela (Y) ou em triângulo ( $\Delta$ ), para o acoplamento a uma rede trifásica. Para isso, deve-se levar em conta a tensão que irão operar.

Na ligação em estrela, o final das fases se fecha em si, e o início se liga à rede.



Na ligação em triângulo, o início de uma fase é fechado com o final da outra, e essa junção é ligada à rede.



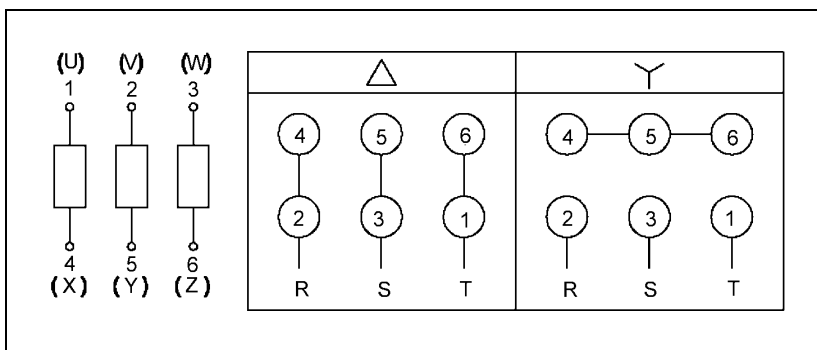


Os motores trifásicos podem dispor de 3, 6, 9 ou 12 terminais para a ligação do estator à rede elétrica. Assim, eles podem operar em uma, duas, três ou quatro tensões, respectivamente. Todavia, é mais comum encontrar motores com 6 e 12 terminais.

Os motores trifásicos com 6 terminais só podem ser ligados em duas tensões uma a uma  $2\sqrt{3}$  maior do que a outra. Por exemplo: 220/380V ou 440/760V.

Esses motores são ligados em triângulo na menor tensão e, em estrela, na maior tensão.

A figura abaixo mostra uma placa de ligação desse tipo de motor.



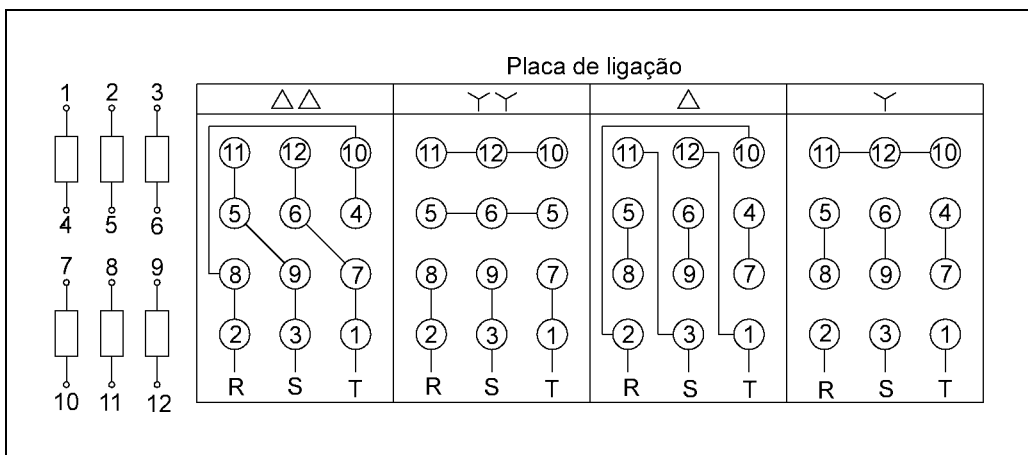
Os motores com 12 terminais, por sua vez, têm possibilidade de ligação em quatro tensões: 220V, 380V, 440V e 760V.

A ligação à rede elétrica é feita da seguinte maneira:

ΔΔ para 220V                      Δ para 440V

YY para 380V                      Y para 760V

Veja a representação da placa de ligação desse tipo de motor.



## **Padronização da tensão e da dimensão dos motores trifásicos assíncronos e síncronos**

Os motores trifásicos são fabricados com diferentes potências e velocidades para as tensões padronizadas da rede, ou seja, 220V, 380V, 440V e 760V, nas frequências de 50 e 60Hz.

No que se refere às dimensões, os fabricantes seguem as normas NEMA, IEC e da ABNT.

# Parâmetros mecânicos de máquinas elétricas

Para usar uma máquina elétrica, é necessário conhecer, além de suas propriedades elétricas, seus parâmetros mecânicos, tais como, a rpm, o torque e a potência mecânica.

Este será o assunto do presente capítulo.

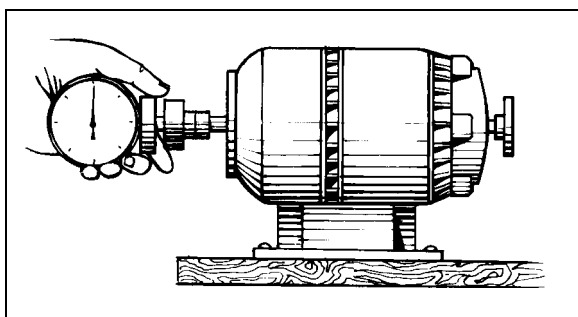
## Rpm

A rpm “n” de uma máquina é igual ao número de revoluções do rotor em um minuto.

### Instrumentos de medição de rpm

Em aplicações técnicas, empregam-se diversos dispositivos para medir a rotação. O mais simples é o tacômetro manual.

Com ele, é possível medir diretamente a rotação aplicando o instrumento ao eixo da máquina. A rotação é transmitida mediante uma embreagem de borracha.



Outro instrumento para a medição da rpm é o gerador taquimétrico (ou tacométrico) que se aplica diretamente à máquina cuja rotação se quer medir.

Dependendo do tipo de gerador usado, este pode:

- Gerar uma tensão contínua cujo valor depende da rotação; ou
- Gerar uma tensão alternada cuja frequência depende da rotação e, embora nesse caso meça-se a frequência, o resultado que aparece no mostrador é a rpm.

Para obter tensão alternada dependente da rotação, podem ser usadas barreiras óticas (células fotoelétricas) em lugar do gerador taquimétrico. Essas células são usadas em combinação com discos perfurados ou geradores *Hall* juntamente com ímãs.

### Cálculo da rpm

Para realizar o cálculo da rpm, é necessário conhecer a frequência da rede e a quantidade de pólos do motor. A fórmula para esse cálculo é:

$$n = \frac{f \cdot 60}{p}$$

Onde:

- n é a rpm
- f é a frequência
- p são os pares de pólos

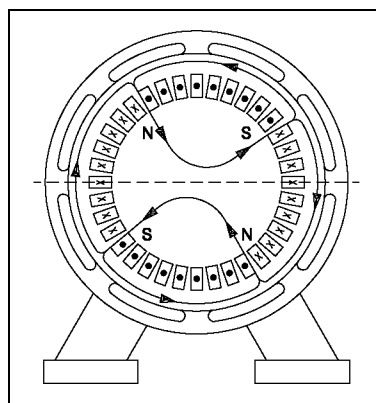
### Exemplo

Calcular as rpm de um motor de 2 pólos, ligado a uma rede de 60Hz.

$$n = \frac{60 \cdot 60}{1} = 3.600 \text{ rpm}$$

### Cálculo de rotação do campo girante

Se em um estator forem colocadas 6 bobinas defasadas de 60° uma da outra, ao ligá-las à rede trifásica, obtém-se um campo giratório de 4 pólos.



Quando se trata de um motor de 2 pólos, o campo giratório precisa do tempo de um período para dar uma volta completa, ou seja, 360°.

O motor de 4 pólos precisa de um tempo que equivale ao dobro do de 2 pólos, ou seja, dois períodos de 360°.

Isto significa que a rotação do campo girante depende da frequência da corrente e do número de pares de pólos do campo.

A fórmula para esse cálculo é a mesma da rpm, ou seja:

$$n = \frac{f \cdot 60}{p}$$

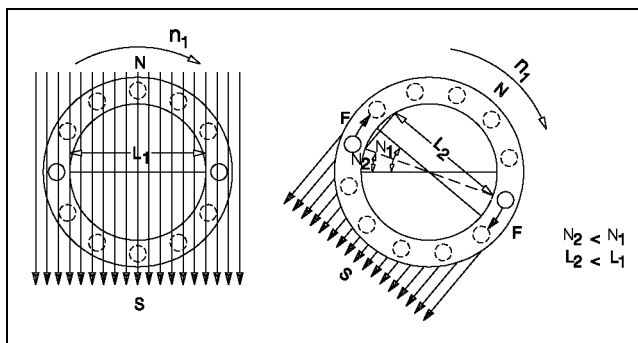
### Exemplo

Calcular a rotação do campo girante de um motor de quatro pólos ligado a uma rede de 60Hz.

$$n = \frac{60 \cdot 60}{2} = \frac{3.600}{2} = 1.800$$

### Cálculo de deslizamento ou escorregamento (s)

Sobre o rotor de um motor trifásico assíncrono aparece um torque que atua no sentido do campo giratório. O rotor gira com uma velocidade menor que o campo giratório.



Assim, velocidade de deslizamento ( $n_s$ ) é a velocidade relativa entre o rotor  $n$  e o campo girante  $n_f$ , ou seja,  $N_s = n_f - n$

Deslizamento ( $s$ ) (ou escorregamento) é o quociente entre a velocidade de deslizamento e a velocidade do campo giratório:

$$s = \frac{n_f - n}{n_f}$$

O deslizamento pode ser indicado em percentual da velocidade do campo giratório:

$$s = \frac{nf - n}{nf} \cdot 100\%$$

### Exemplo

Calcular o deslizamento percentual de um motor assíncrono trifásico de 4 pólos que recebe uma freqüência de excitação de 60Hz, se o rotor gira a uma velocidade de 1.440rpm.

$$nf = \frac{f \cdot 60}{p} = \frac{60 \cdot 60}{2} = \frac{3.600}{2} = 1.800 \text{ ou } 1.800\text{rpm}$$

$$ns = nf - n = 1.800 - 1.440 = 360$$

$$s = \frac{nf - n}{nf} = \frac{1.800 - 1.440}{1.800} = \frac{360}{2} = 0,2$$

$$s\% = \frac{nf - n}{nf} \cdot 100 = 20\%$$

### Observação

Quando o rotor está em repouso, podemos considerar o motor assíncrono trifásico como um transformador trifásico.

O valor da tensão induzida no enrolamento do rotor em repouso, ou seja, a tensão com rotor travado só depende do quociente entre os números de espiras do rotor e do estator. Quando o rotor gira, sua tensão vai reduzindo proporcionalmente ao deslizamento.

Para a velocidade de sincronismo, ou seja, quando as duas velocidades são iguais, até a tensão induzida será nula.

Com o rotor travado, a freqüência da tensão no rotor é igual à freqüência da tensão do estator. Quando o rotor gira, a freqüência de sua tensão também decresce proporcionalmente ao deslizamento até fazer-se nula para a velocidade de sincronismo.

### Torque ou momento

Torque (M) (ou momento) é a força (F) atuando sobre um corpo e causando seu movimento através de uma distância (s).

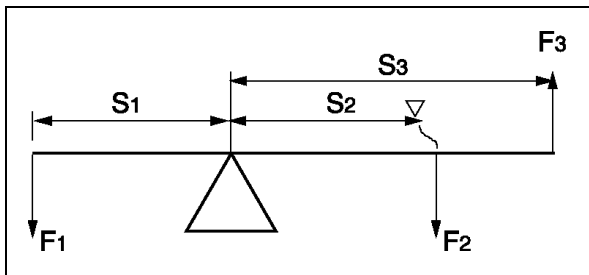
Mesmo que esse corpo não gire, o torque existe como produto daquela força pela distância radial em relação ao centro do eixo da rotação, ou seja, torque é o produto da força pelo comprimento do braço da alavanca. Matematicamente isso significa:

$$M = F \cdot s$$

Onde:

- M é o torque ou momento em Newtons por metro;
- F é a força em Newtons;
- s é o comprimento em metros.

Quando os torques de giro à direita e à esquerda são iguais, a alavanca se encontra em equilíbrio ou repouso. Se os torques são diferentes, a alavanca gira no sentido do torque maior.



Torques de giro à esquerda = torque de giro à direita  $F_1S_1 = S_2F_2 - S_3F_3$  (torque)  $M = F.S$

Já sabemos que um campo magnético de fluxo  $f$  origina-se no estator das máquinas elétricas rotativas.

Sabemos também que o rotor compõe-se de um tambor de ferro doce magnético com ranhuras nas quais são colocados os condutores. Esses condutores dentro de um campo magnético e percorridos por uma corrente elétrica estão submetidos a uma força. O valor dessa força é:

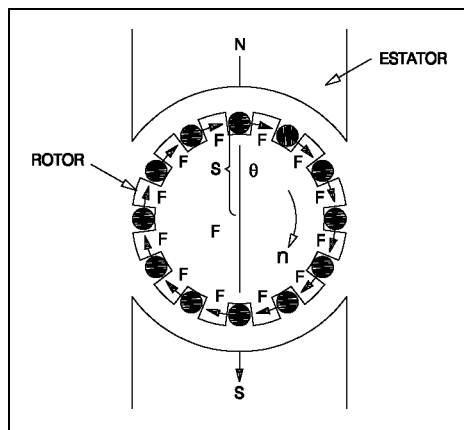
$$F = \phi \cdot l \cdot I$$

Onde:

- F é a força em Newtons;
- $\phi$  é a indução magnética em teslas;

- $I$  é a corrente em ampères;
- $l$  é o comprimento do condutor em metros.

Essa força é aplicada ao condutor a uma distância ( $s$ ) do eixo do rotor.



Quando esse torque for igual ou suficiente para que o rotor (que possui um movimento resistente) gire, obtém-se uma rotação constante.

### Obtenção do torque

Nas máquinas elétricas, o torque se mede com a ajuda de freios, como, por exemplo, o freio de corrente de Foucault.

No motor elétrico, o torque ( $M$ ) e as rotações ( $n$ ) estão relacionados, pois a rotação diminui quando se aumenta o torque.

Na partida, a rotação é zero, e o torque, que atua sobre o eixo nesse instante, é chamado de torque de arranque.

Para se obter o torque, faz-se o seguinte:

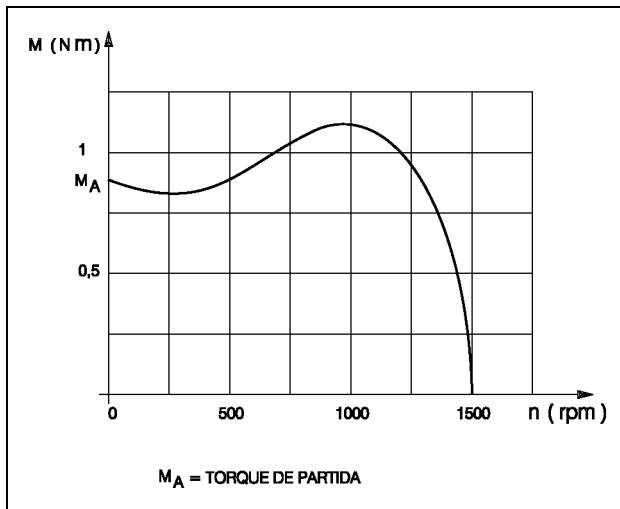
1. Dá-se partida no motor sem carga;
2. Coloca-se carga partindo do zero. À medida que a carga aumenta, anota-se o torque e a rotação.

### Exemplo

<b>Torque:</b>	0	0,25	0,5	0,75	1	1,1...	0,85	0,9
<b>Rotação:</b>	1.500	1.470	1.430	1.375	1.200	1.000...	100	0



3. Monta-se o gráfico.



**Observação**

Para qualquer motor CA de indução tipo gaiola, o torque de partida é apenas função da tensão aplicada ao enrolamento do estator. Quando se reduz à metade a tensão nominal aplicada por fase durante a partida, o torque de partida produzido é  $\frac{1}{4}$  do que seria produzido a plena tensão.

**Potência**

A potência está relacionada com a rotação e o torque desenvolvidos pela máquina.

O eixo de uma máquina que gira com uma rotação n transmite um torque.

Com estes dois parâmetros, calcula-se a potência mecânica da máquina a partir da seguinte fórmula:

$$P = \frac{2}{60.100} \cdot n \cdot M$$

Onde:

- P é a potência
- 2 é a constante
- n são as rotações em rpm
- M é o torque em Nm
- Ou:  $P = \frac{n \cdot M \cdot 10^{-3}}{3}$



# Motores de aplicações especiais

Neste capítulo estudaremos dois motores que apresentam características especiais: o motor sem escovas e o motor de passo.

O desenvolvimento da tecnologia moderna no campo dos semicondutores e das ligas magnéticas especiais levou ao aparecimento de motores não-convencionais, ou seja, com acionamento elétrico sem escovas (em inglês “*brushless*”).

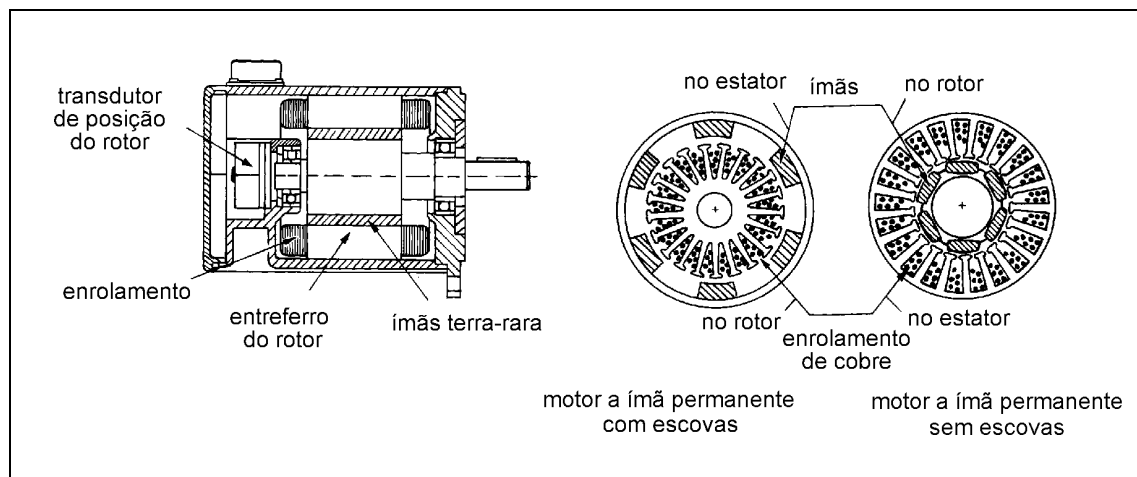
Esse motor com controle de corrente e velocidade é usado principalmente em servo-acionamentos e atende a uma ampla faixa de potências.

O motor de passo, por sua vez, é um motor usado em equipamentos onde é necessário um posicionamento de parte da máquina. Esse é o caso de impressoras, registradores gráficos em geral, sistemas de controle em servomecanismos.

## **Motor sem escovas**

O motor de corrente contínua sem escovas, além da ausência de escovas, apresenta como características diferenciadas do motor com escovas a localização do enrolamento no estator e os ímãs permanentes engastados no rotor. Apresenta também um transdutor de posição angular acoplado ao rotor.

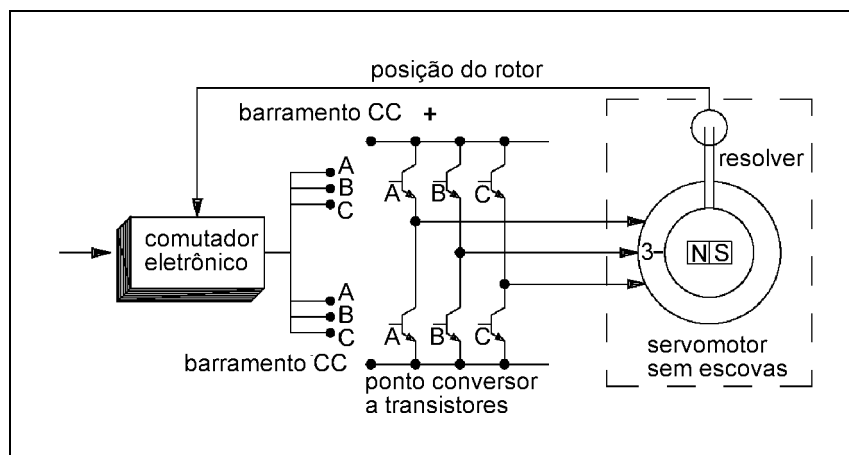
A figura abaixo mostra um corte transversal de um motor sem escovas e a comparação dos princípios de construção de motores com e sem escovas.



Além dessas características, um motor sem escovas será sempre composto por:

- Distribuidor de energização dos enrolamentos (comutador);
- Conversor de pulsos eletrônicos.

O diagrama a seguir representa a construção do acionamento sem escovas. Nele, foram omitidas as malhas de realimentação em corrente e velocidade.



### Funcionamento

No motor com escovas, a comutação e distribuição das correntes aos enrolamentos é realizada pelo comutador.

No motor sem escovas, essa tarefa é realizada pelo estágio de controle e pelo comutador de potência (conversor) eletrônico.

Os motores sem escovas, quando acionados com controle de malha de corrente e de velocidade, combinados com as caixas de transmissão de folga reduzida, permitem a obtenção de servoacionamentos de alta precisão.

### Vantagens

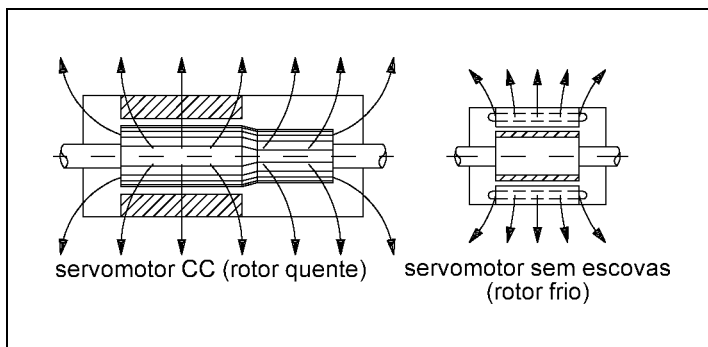
O motor sem escovas apresenta uma série de vantagens, a saber:

- Peso e volume reduzidos;
- Inexistência de coletor mecânico;
- Maior vida útil;
- Melhores propriedades dinâmicas;
- Menor inércia do motor;
- Torques elevados.

### Peso e volume reduzidos

A construção do motor sem escovas permite uma redução em seu peso e volume entre 35 e 65% se comparado com motor com escovas de mesma potência.

Isso traz melhor dissipação de calor, pois o motor sem escovas, com seu rotor “frio”, gera calor na região em que este é melhor dissipado, ou seja, no estator. Esse fato permite que o motor opere em regime muito elevado.

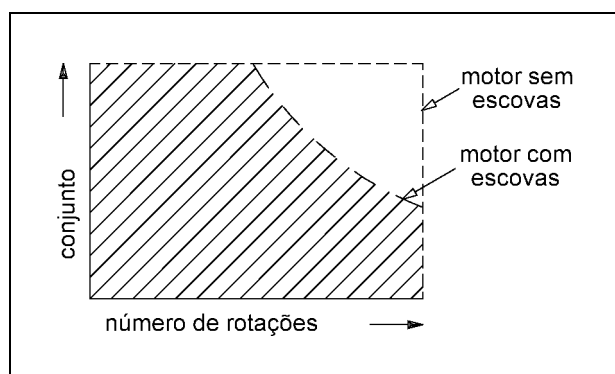


### Inexistência de coletor mecânico

O motor sem escovas não apresenta curva de limitação de potência, que é produto da rotação pela corrente de coletor.

Acima dessa curva-limite ocorre a queima das escovas e isso destrói o coletor.

Como esse tipo de motor não possui coletor mecânico, altos conjugados ao longo de todo o espectro de rotações podem ser alcançados por ele.



*Curvas teóricas de limitação em potência nos motores sem e com escovas*

### Maior vida útil

Esse tipo de motor não possui escovas que se desgastam e necessitam ser trocadas.

### Melhores propriedades dinâmicas

Nos motores sem escovas, onde a comutação de corrente é realizada eletronicamente, existe ainda a possibilidade de se optar pelo emprego de uma tensão eletromotriz de formato quase senoidal.

A forma de onda senoidal tem a vantagem de permitir que sejam satisfeitas as mais altas exigências com relação à baixa rotação, homogeneidade de movimento e exatidão de posicionamento.

### Menor inércia do motor

O motor sem escovas possui ímãs permanentes ao invés de enrolamento de rotor. Por isso, existe um reduzido momento de inércia, e disso depende a escolha da melhor velocidade de rotação de um motor a ser usado em um determinado acionamento.

Um momento de inércia pequeno significa menor tempo de resposta do sistema e, portanto, melhor dinâmica.

### Torques elevados

Com a finalidade de atingir um torque tão alto quanto possível nos motores com ou sem escovas, efetua-se a comutação dos enrolamentos de tal forma que o campo magnético do estator mantenha com o campo magnético do rotor um ângulo tão próximo de 90° quanto possível.

Essa característica limita a rotação máxima através da fcm nos enrolamentos.

Nos motores em excitação separada, pode-se reduzir essa limitação da rotação através do enfraquecimento do campo de excitação.

O motor sem escovas com ímã permanente permite que se efetue uma variação das constantes de motor, mediante uma defasagem no tempo da energização das correntes nos enrolamentos em relação à posição do rotor.

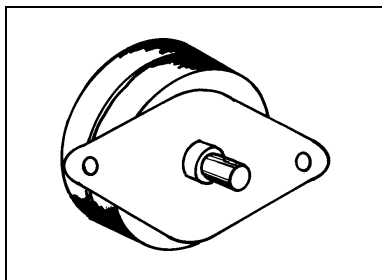
### **Motor de passo**

O motor de passo permite que seu eixo sofra deslocamentos precisos sem que seja necessária uma realimentação externa feita por algum dispositivo a ele acoplado. Isso caracteriza um sistema aberto.

Essa característica de funcionamento em malha aberta é uma das mais importantes, pois permite a rotação e a parada em pontos predeterminados.

Se, por exemplo, é necessário que o eixo gire meia volta ( $180^\circ$ ), basta fornecer sinais adequados e ele fornece esse deslocamento com precisão.

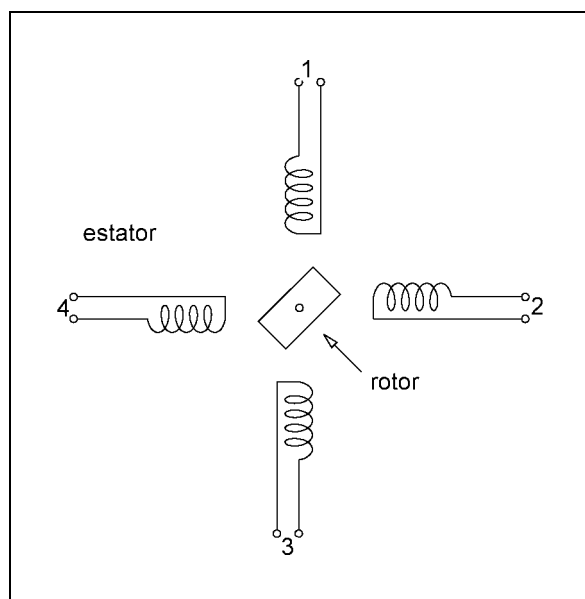
Na figura abaixo, é ilustrado um motor de passo de pequenas dimensões que apresenta como característica um passo de 7,5. Isso significa que, para que seu eixo dê uma volta completa, são necessários 48 passos (ou deslocamentos).



### **Funcionamento**

Normalmente, os motores de passo possuem enrolamentos que, na sua forma mais simples, constituem-se de quatro bobinas dispostas no estator em ângulos de  $90^\circ$ , uma em relação a outra.

O rotor é uma pequena peça de material ferromagnético que se constitui num ímã.



Ao se energizar a bobina 1 do estator, o rotor é submetido à força do campo magnético e se posiciona na condição de menor relutância, ou seja, alinhada com o eixo da bobina.

Se, na seqüência, a bobina 1 é desligada, e a bobina 2 energizada, o rotor gira 90° e se posiciona em linha com a segunda bobina. O mesmo acontece com as bobinas 3 e 4 até se completar uma volta de 360°.

### Observação

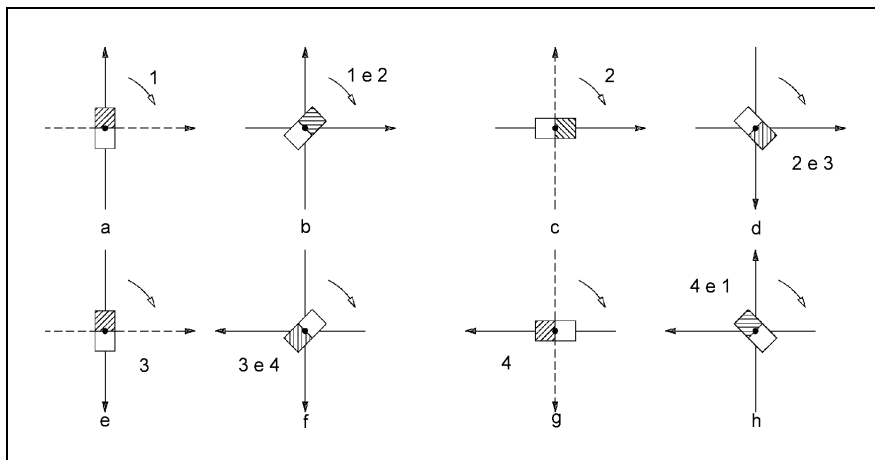
A descrição acima refere-se a um motor de passo de 4 passos por revolução e 90 por passo. Verifica-se, assim, que um dos fatores determinantes do número de passos por volta corresponde ao número de bobinas no estator.

Se existirem  $n$  bobinas, o rotor completará uma volta em  $n$  passos. Se, ao invés de um elemento ferromagnético, o rotor for constituído de  $n'$  elementos (rotor dentado), o número de passos será  $n \cdot n'$ .

Outro fator que determina o número de passos é a seqüência de comutação das bobinas. No exemplo mostrado, foi excitada uma bobina de cada vez. Se, ao invés disso, forem excitadas duas bobinas contíguas de cada vez, o rotor tomará posições intermediárias. Isso dá origem a um conjunto de novas posições intermediárias e a um conjunto de novas posições ou passos.



Veja na figura abaixo, como é possível obter o dobro dos passos, excitando-se as bobinas da seguinte maneira:



Essa seqüência faria o motor girar em sentido horário, completando uma volta em 8 passos.

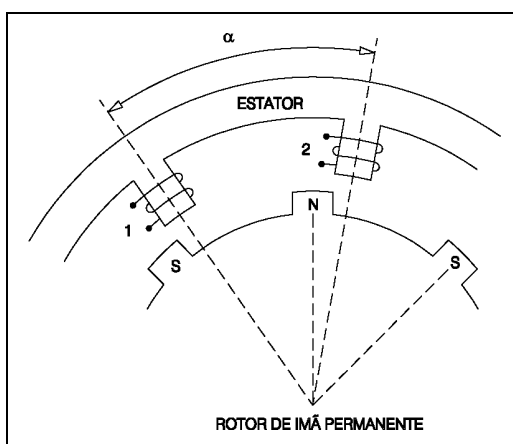
As bobinas do estator são também denominadas fases. Muitas vezes, cada fase é subdividida num conjunto de bobinas ao longo do estator. Dessa forma, mesmo que existam muitas bobinas no estator, eles normalmente constituem 8 fases.

### Tipos de rotor

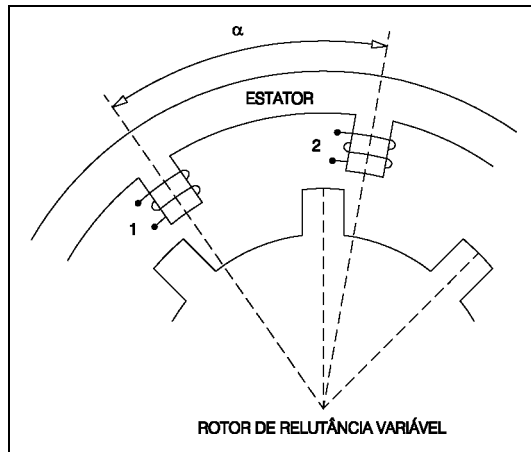
Os rotores do motor de passo são divididos em dois tipos:

- Ímã permanente;
- Relutância variável.

O rotor de ímã permanente permite obter maior força de atração entre o estator e o rotor. Todavia, é tecnologicamente mais difícil obter um grande número de elementos do rotor previamente magnetizados e cuja magnetização seja estável. Por causa disso, o número de passos é geralmente menor nesse tipo de motor.



O rotor do tipo relutância variável, embora normalmente apresente menor torque, possui, em contrapartida, características mais estáveis. O rotor de relutância variável é apenas uma peça de material ferromagnético não imantado.



### Circuitos de acionamento

Os circuitos de comando para motor de passo são circuitos de chaveamento seqüencial, geralmente seguidos de amplificadores cuja potência é determinada pelas dimensões do motor.

Experimentalmente, pode-se realizar a rotação do motor por meio de chaves comutando as bobinas.

# Ajustes das escovas dos coletores

As escovas são responsáveis pelo contato elétrico entre a parte fixa (carcaça) e a parte móvel (induzido ou armadura) da máquina.

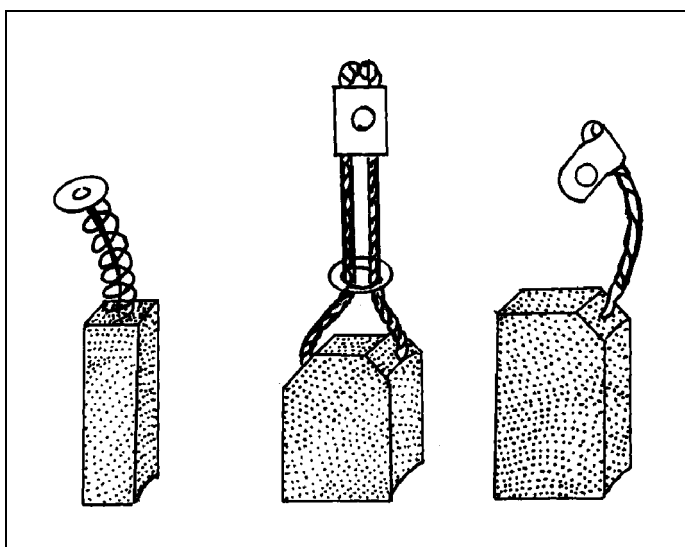
O bom funcionamento da máquina depende da qualidade desse contato e esse, por sua vez, depende do perfeito ajuste das escovas sobre o coletor.

Quando há necessidade de substituição das escovas, por exemplo, são necessários alguns ajustes.

Assim, neste capítulo, estudaremos a escova, o porta-escovas, o coletor e os ajustes que se fazem nesse conjunto.

## A escova

A escova é uma peça que estabelece o contato elétrico deslizante entre uma parte fixa e uma parte móvel das máquinas elétricas giratórias.



Essa peça é fabricada com uma mistura de pó de carvão e grafite. Em alguns casos, junta-se também pó de cobre.

Para assegurar um bom funcionamento da máquina com um mínimo de desgaste, deve-se levar em consideração a resistência elétrica, a dureza e a abrasividade das escovas.

### **Tipos de escovas**

As escovas são classificadas de acordo com a mistura empregada em sua fabricação.

Assim, temos:

- Escovas à base de carvão;
- Escovas com agregado de pó de cobre;
- Escovas à base de grafite.

As escovas à base de carvão são compostas por uma mistura de carvão (em maior proporção) e de grafite. São usadas em máquinas de corrente contínua para tensões entre 110 e 440V.

As escovas com agregado de pó de cobre são compostas por uma mistura de carvão e grafite, à qual se agrega o pó de cobre. Isso é feito para diminuir a resistência elétrica das escovas e aumenta sua capacidade de condução de corrente.

Esse tipo de escova é empregado geralmente em máquinas de baixa tensão, como, por exemplo, os motores de arranque para automóveis.

As escovas à base de grafite são fabricadas a partir de uma mistura de carvão e grafite, com uma proporção maior de grafite.

Essas escovas têm pouca resistência elétrica e melhores características lubrificantes. Dessa forma, elas diminuem o desgaste do coletor.

Para selecionar o tipo mais adequado de escova a ser empregado, deve-se levar em conta os seguintes aspectos:

- A corrente que ela pode conduzir;
- A velocidade do coletor;
- A pressão do contato;
- A resistência elétrica.

## Manutenção

O cuidado com as escovas deve constar da verificação periódica das seguintes condições:

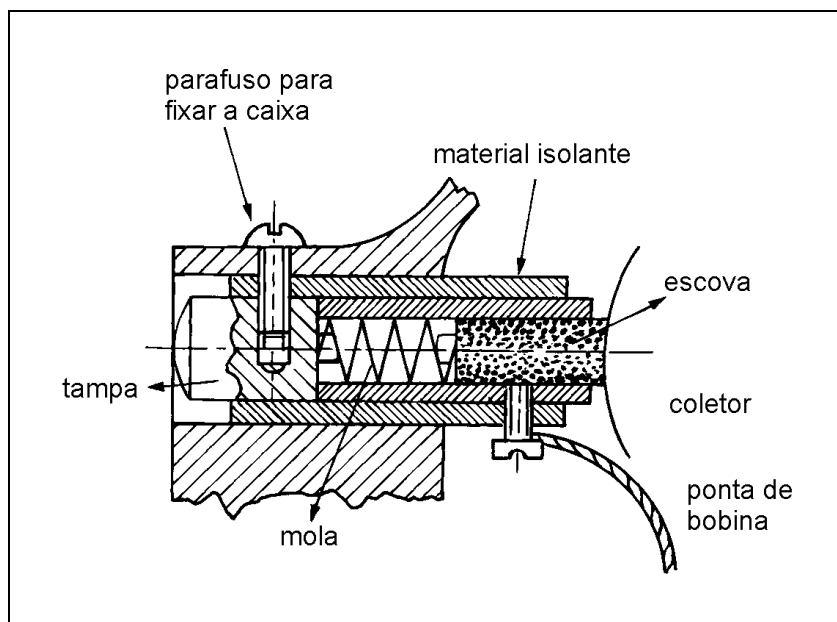
- Superfície de contato;
- Pressão da mola;
- Conexão elétrica;
- Desgaste natural.

Além disso, deve-se também eliminar graxa, pó e óleo aderidos às escovas.

## O porta-escovas

O porta-escovas é o elemento que mantém as escovas firmemente seguras na sua posição correta em relação ao coletor. Ele é usado em todos os tipos de máquinas giratórias cujo induzido tenha coletor.

O porta-escovas é constituído por uma caixa onde estão alojadas uma ou mais escovas e uma mola ou lâmina curvada que pressiona as escovas, mantendo-as em contato com o coletor. É fabricado de latão, cobre, baquelite ou plástico.

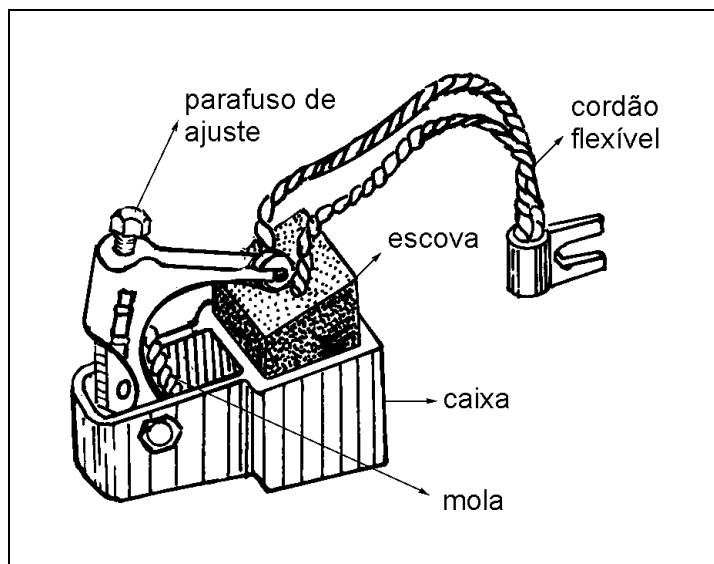


Existem várias formas de porta-escovas, segundo o tipo de máquina e de corrente que circula por essa máquina.

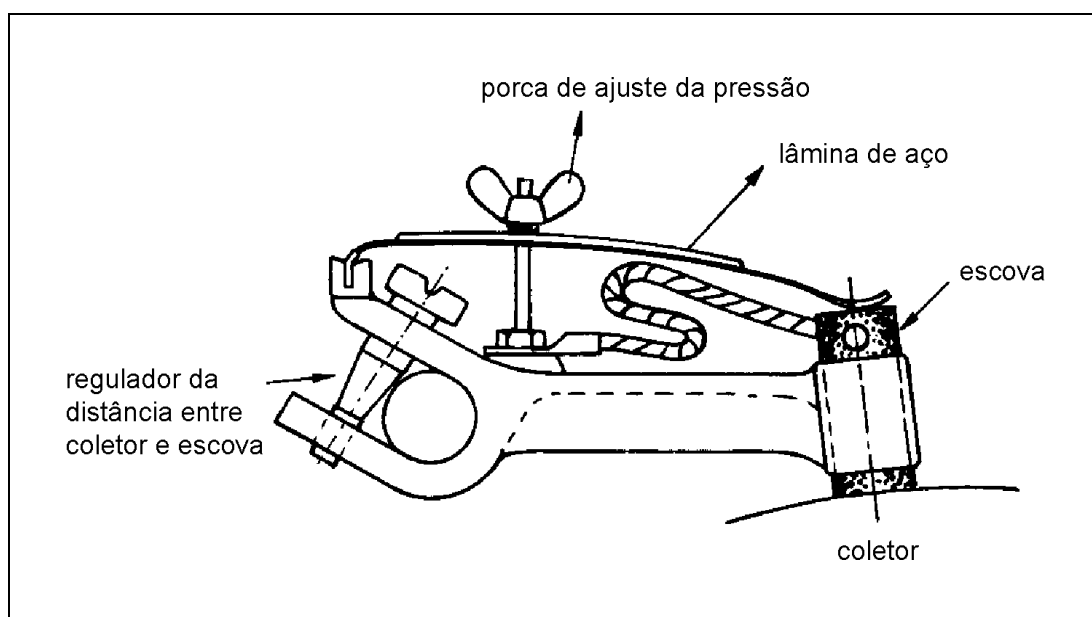
### Tipos de porta-escovas

Os porta-escovas podem ser:

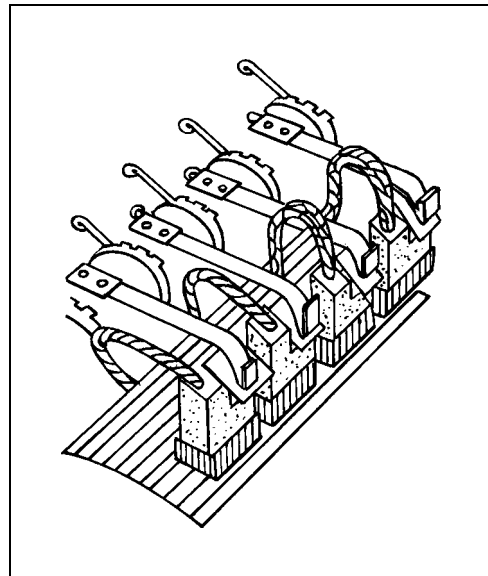
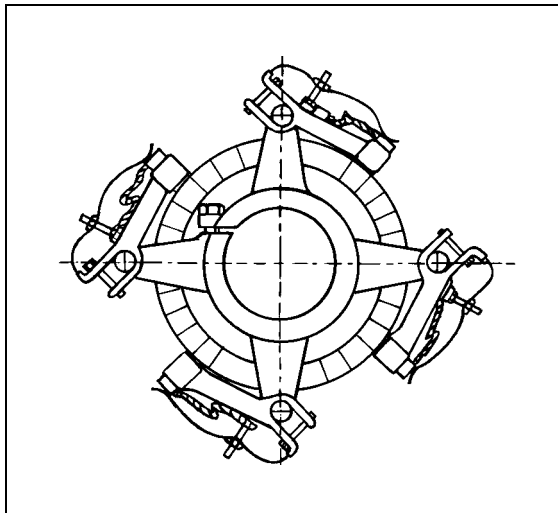
- Fixo;



- Regulável.



Nas máquinas grandes, os porta-escovas são montados e isolados sobre um anel ou coroa. A coroa, por sua vez, é montada na parte inferior de uma das tampas. Desse modo, os porta-escovas podem se ajustar sobre os passadores no sentido lateral e no sentido vertical. Figuras abaixo.



### **Manutenção**

Ao se fazer a manutenção, além da limpeza de poeira ou de graxa, é necessário verificar o estado da caixa, do suporte, dos parafusos e rebites e do isolamento elétrico com relação à massa da máquina.

### **O coletor**

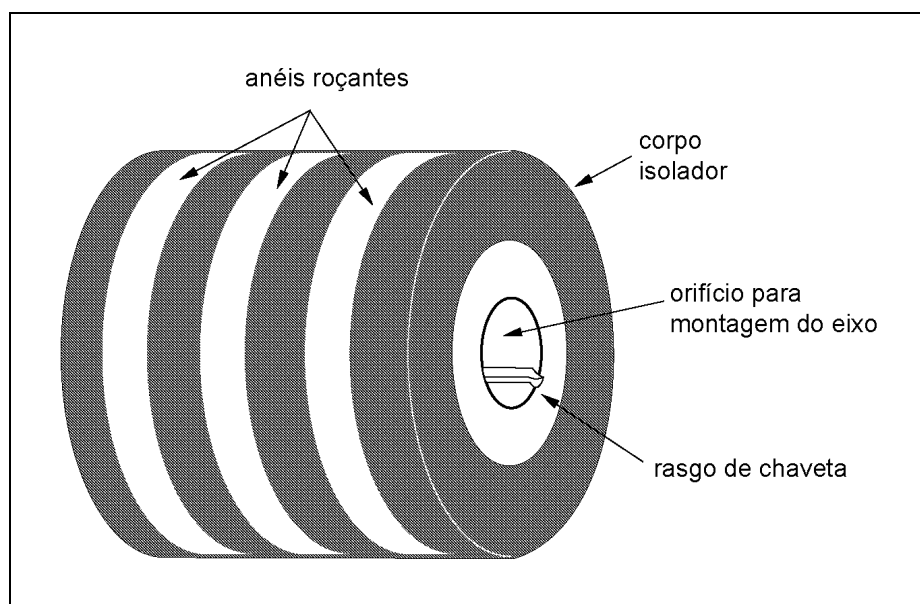
O coletor é uma peça metálica, de formato circular, utilizado em todos os rotores bobinados. Serve para ligar eletricamente, através das escovas, o bobinado móvel do rotor com os bobinados e/ou circuitos externos.

### **Tipos de coletores**

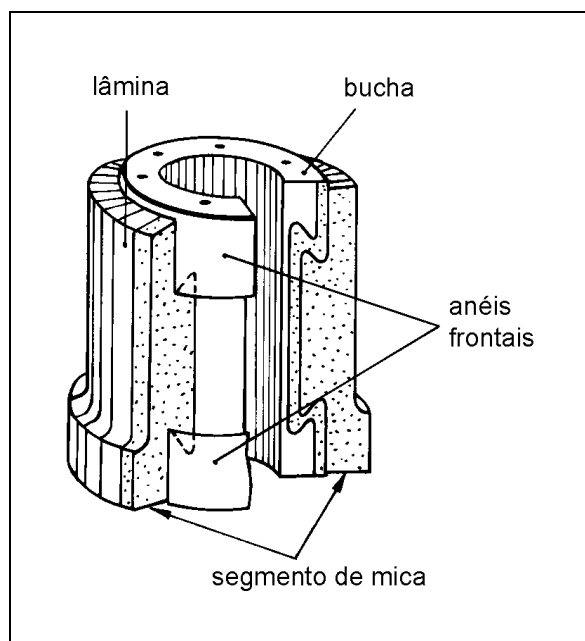
Os coletores podem ser classificados de duas maneiras: quanto à construção e quanto ao formato.

Quanto à construção, os coletores podem ser de anéis ou laminados.

Os coletores de anéis são formados por dois ou três anéis, isolados entre si e montados sobre o eixo da máquina, da qual estão eletricamente isolados.

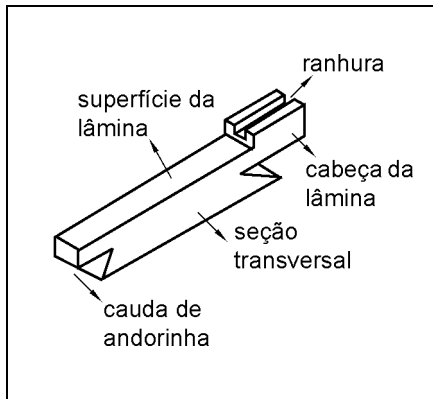


Os coletores laminados são formados por diversas lâminas de cobre, isolados entre si e do eixo do induzido. São construídos montando-se certo número de lâminas e igual número de segmentos de mica sobre uma bucha de ferro formada por um conjunto com dois anéis frontais.

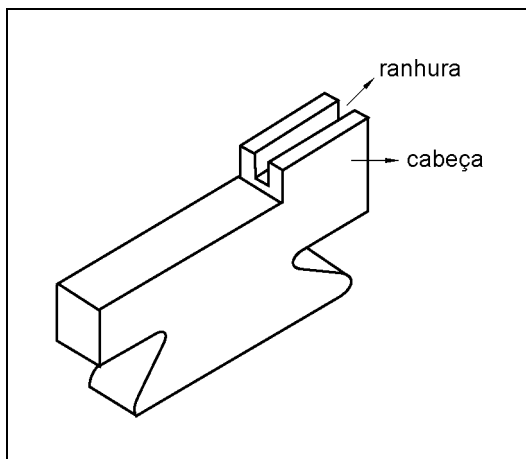




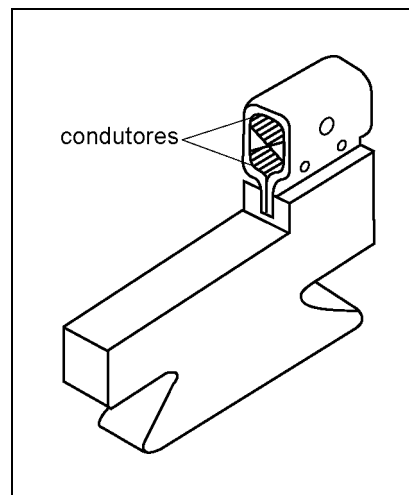
A lâmina é de seção transversal, em forma de cunha, com dois entalhes em V nas extremidades (formato de cauda de andorinha). Os anéis frontais encaixam-se nesses dois entalhes.



Nas máquinas de pequena potência, as conexões entre as lâminas e as pontas das bobinas são feitas através da soldagem do condutor diretamente no entalhe existente na cabeça da lâmina.



Nas máquinas de maior potência, as lâminas têm suportes de metal rígido, nos quais são soldadas as pontas dos bobinados.



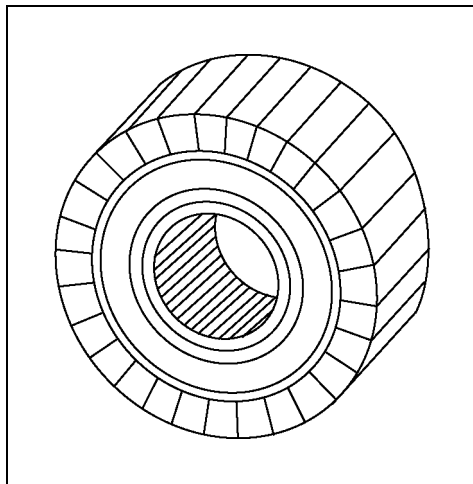
Os segmentos isolantes são feitos de mica, intercalados entre as lâminas.

Os anéis frontais são de ferro, isolados com arruelas cônicas de mica ou micanite. A bucha ou casquilho é de ferro.

As características de um coletor são dadas pelo diâmetro externo, pelo diâmetro do ferro interno, pelo tamanho e quantidade das lâminas, pelo formato de suas cabeças e também pelo tipo de isolamento que comumente é feito com mica, baquelite ou outro isolante.

Quanto ao formato, os coletores podem ser de dois tipos: tambor axial e frontal radial.

Os coletores de tipo tambor axial formam a maioria dos coletores laminados.



Os coletores do tipo frontal radial são usados nos motores de repulsão indução e também nos motores de ferramentas portáteis, em motores de limpadores de pára-brisas e em qualquer máquina na qual o espaço ocupado pelo coletor é importante.

### **Manutenção**

A superfície do coletor, onde estão assentadas as escovas, deve estar lisa e centrada em relação ao eixo do rotor.

Os isolamentos de mica estão geralmente abaixo das lâminas, e as ranhuras devem estar livres de pó de carvão, para que cada lâmina fique eletricamente isolada das demais.

Os coletores devem ser mantidos limpos, livres de óleo, graxa e umidade, para evitar arcos elétricos prejudiciais.

Periodicamente, é necessário polir as superfícies do coletor com lixa bem fina.

Quando essas superfícies apresentarem riscos, afundamentos ou estiverem ovalados, deve-se retificar o coletor no torno mecânico.

### **Teste do conjunto e circuito entre lâminas**

Esse tipo de teste deve ser realizado de acordo com a tensão da máquina onde está colocado o coletor.

Nas máquinas de 6, 12, ou 24 volts, o teste é realizado através de uma lâmpada em série com uma tensão duas ou três vezes o valor dessa tensão. Essa recomendação vale tanto para o teste entre as lâminas quanto para a prova entre as lâminas e a massa.

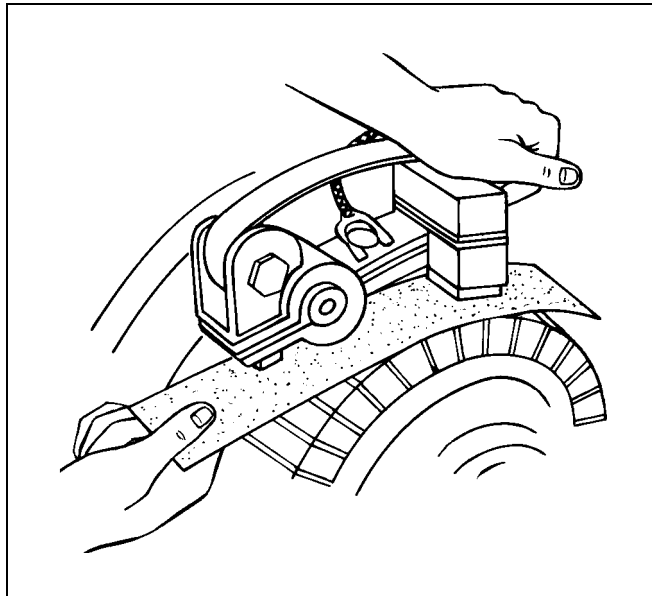
Para máquinas de maior tensão, como as de 220 volts, o teste entre coletor, conjunto e lâminas é realizado com uma lâmpada em série de pouca potência, como a de 25 watts. Esta lâmpada é usada para evitar a passagem de correntes altas e a formação de arcos elétricos prejudiciais.

### **Ajustes das escovas**

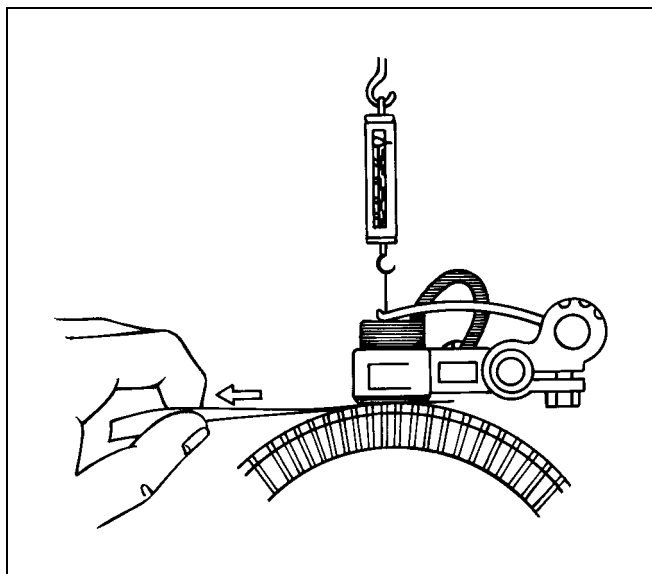
Para fazer o ajuste das escovas, deve-se:

- Colocar a escova no porta-escova;
- Colocar uma lixa entre o coletor e a escova, com a face áspera voltada para a escova;
- Fixar a mola, dando a necessária pressão à escova;

- Lixar a escova, puxando a lixa no sentido da rotação do induzido, forçando a escova com a mão. O trabalho deve ser iniciado com lixa grossa e terminado com lixa fina, para que a superfície de contato da escova fique o mais lisa possível;



- Limpar a escova, o porta-escova e o coletor;
- Ajustar a pressão da mola, verificando se a escova desliza levemente no porta-escova;
- Montar a mola e prender um dinamômetro no carvão;
- Colocar um papel entre a escova e o coletor;
- Para verificar a força da pressão da mola, puxar o papel e fazer a leitura do dinamômetro no momento em que o papel começar a se movimentar. A pressão da mola deve ser de 150 gramas por centímetro quadrado de escova;



- Colocar o rotor com os lados da bobina marcados no ponto central dos pólos auxiliares;
- Afrouxar o colar de fixação do porta-escova e deslocar o conjunto até que uma das escovas toque as duas barras do coletor onde são ligadas as pontas da bobina condensada.

### **Observação**

Nas máquinas sem pólos auxiliares, o posicionamento das escovas em relação ao coletor (calagem) é feito um pouco avançado no sentido da rotação para os geradores e atrasado para os motores. Nessas máquinas, geralmente, há uma marca no colar do porta-escova, indicando a posição exata da calagem.

Nem sempre a lâmina do coletor fica no centro geométrico da bobina. Quando a escova é mal calada, produz-se um intenso faiscamento no coletor.



# Desmontagem e montagem de máquina elétrica giratória

Nesta prática você irá aprender todos os passos necessários à desmontagem e à montagem de máquinas giratórias.

## Material necessário

- Extrator para polia
- Martelo de bola
- Punção de bico
- Jogo de chaves apropriadas à máquina a ser desmontada
- Saca-rolamento
- Tarugo de cobre
- Pincel
- Solvente para graxa
- Graxa para o rolamento

## Procedimento

1. Antes de desmontar a máquina giratória, anote os seguintes dados retirados da placa do fabricante.

Marca \_\_\_\_\_ Tipo \_\_\_\_\_  
Tensão \_\_\_\_\_ Corrente \_\_\_\_\_  
RPM \_\_\_\_\_ Potência \_\_\_\_\_  
Nº de fabricação \_\_\_\_\_  
Outros \_\_\_\_\_

2. Solte e retire o parafuso da polia.
3. Retire a polia com o auxílio de um extrator apropriado.
4. Retire a chaveta.

### **Observação**

Guarde todas as peças em recipiente destinado a esse fim.

5. Com um punção de bico, dê um golpe leve, de modo a marcar a tampa do lado da ponta de eixo. Marque a carcaça do motor na mesma direção e usando o mesmo procedimento.

### **Observação**

É importante marcar o lado da saída do eixo para que, após a montagem, o motor fique com as características originais.

6. Marque a outra tampa da mesma forma em outros dois pontos distintos.
7. Com o auxílio de uma chave adequada, remova os parafusos de fixação das tampas e solte-as.

### **Observação**

Se a máquina tiver mancais de rolamentos, remova os parafusos e solte a tampa do mancal.

8. Remova todas as peças que unem as tampas ao rotor.
9. Retire as escovas.
10. Para soltar o porta-escovas, bata na ponta do eixo através de um tarugo de alumínio, bronze ou madeira, a fim de soltar a tampa traseira.

### **Observação**

Ao retirar o conjunto da tampa traseira e rotor, tome cuidado para não danificar o enrolamento.

11. Golpeie os ressaltos da tampa com um calço de madeira ou tarugo de bronze e martelo e afrouxe-a.

### **Precaução**

Cuidado para não danificar o encaixe.



**Observação**

Alguns motores dispõem de orifícios rosqueados nas tampas para facilitar a remoção. Nesse caso não bata na tampa para afrouxá-la, solte os parafusos.

Se houver interruptor centrífugo com acoplamento mecânico, solte-o ou desfaça a ligação. Faça um diagrama das ligações para facilitar a religação na montagem.

12. Retire a tampa cuidadosamente.

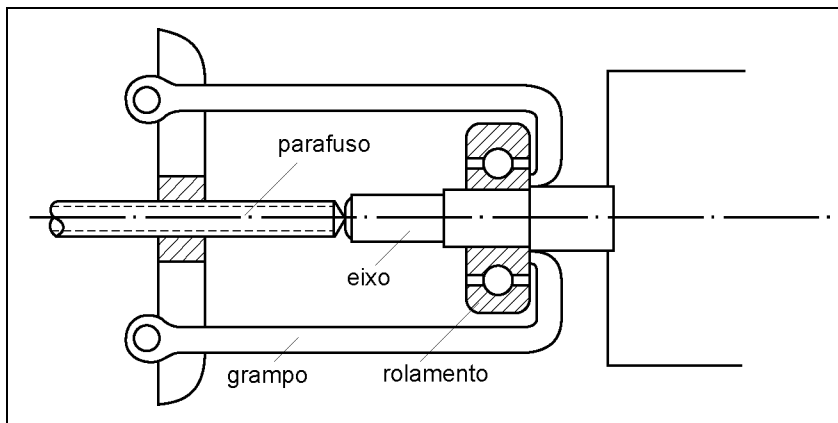
13. Segure o rotor com as duas mãos e retire-o com cuidado para não roçar o enrolamento.

14. Remova os mancais.

**Observação**

Se os mancais forem de buchas, verifique o lado do encosto e aqueça-o pelo lado oposto ao encosto. Use um tarugo de bronze e martelo.

Se os mancais forem de rolamento, ajuste o saca-rolamento do anel interno do rolamento. Gire o parafuso até que o rolamento se solte, como mostra a figura abaixo.



15. Faça uma limpeza e verificação do enrolamento como é mostrado no capítulo “Componentes mecânicos de máquinas elétricas”.

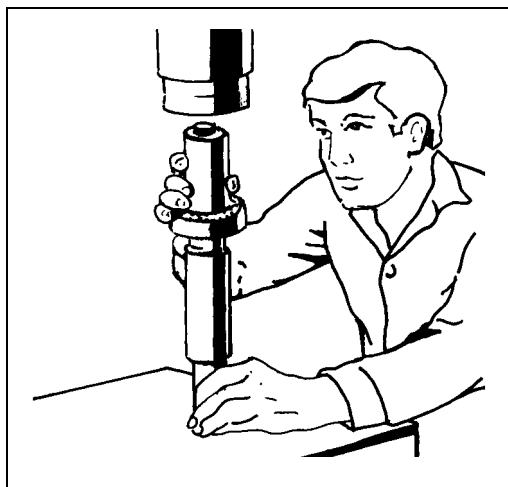
16. Avalie o estado do enrolamento do motor.

17. Para montar a máquina giratória, inicialmente limpe e lubrifique o eixo que irá receber o rolamento.

**Observação**

Verifique se o eixo está retificado em toda a sua extensão, pois ele pode ter sido danificado durante a desmontagem. Providencie a retificação, caso isso seja necessário.

18. Introduza o rolamento com o auxílio de um balancim e um tubo entre o balancim e o anel interno do rolamento.



19. Introduza o outro rolamento, repetindo os passos anteriores.

20. Coloque o rotor defronte à carcaça.

**Observação**

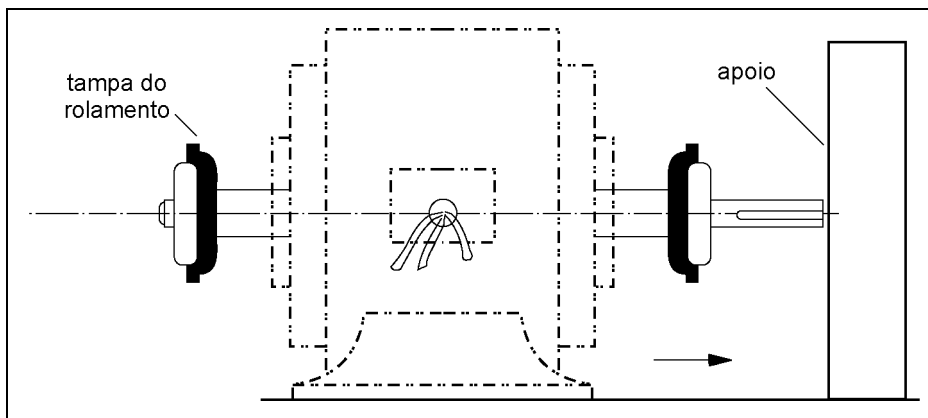
Certifique-se de que a ponta do eixo esteja do lado correto, de acordo com a marcação efetuada durante a desmontagem.

21. Levante o rotor com ambas as mãos e introduza-o na carcaça sem roçar nas bobinas.

**Precaução**

Quando os rotores são muito pesados, deve-se pedir auxílio a outra pessoa, ou então, usar uma talha apropriada.

22. Encoste uma das pontas do eixo do rotor em um apoio firme.



23. Coloque uma das tampas batendo levemente com macete de borracha sobre diversos pontos da borda onde o enrolamento está alojado.

**Observação**

Verifique se essa tampa está colocada no lado e na posição correta, conferindo com a marcação feita com o punção durante a desmontagem.

24. Coloque os parafusos e aperte-os alternadamente até que a tampa se encaixe no rebaixo da carcaça.

**Observação**

Não aperte os parafusos totalmente.

25. Coloque a outra tampa, repetindo os passos anteriores.

26. Posicione uma das tampas externas do rolamento.

27. Gire o rotor manualmente para que os orifícios da tampa e contratampa do rolamento e da tampa da carcaça se alinhem.

28. Introduza um parafuso e gire-o suavemente até conseguir rosá-lo na contratampa.

29. Coloque os outros parafusos da mesma maneira.

30. Aperte os parafusos suave e alternadamente até que a tampa do enrolamento seja introduzida em seu encaixe.

31. Coloque a outra tampa do enrolamento, repetindo os passos anteriores.

32. Aperte os parafusos.

33. Aperte os parafusos das tampas da carcaça alternadamente.

34. Verifique manualmente se o eixo gira livremente.

35. Aperte alternadamente os parafusos das tampas dos enrolamentos.

# Dispositivos de proteção e segurança

Os dispositivos de segurança e proteção são componentes que, inseridos nos circuitos elétricos, servem para interrompê-los quando alguma anomalia acontece.

Neste capítulo, veremos os dispositivos empregados para proteção dos motores.

Para aprender esse conteúdo com mais facilidade, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre corrente elétrica, picos de correntes dos motores e sistemas de partida.

## Seguranças fusíveis

As seguranças fusíveis são elementos inseridos nos circuitos para interrompê-los em situações anormais de corrente, como curto-circuito ou sobrecargas de longa duração.

De modo geral, as seguranças fusíveis são classificadas segundo a tensão de alimentação em alta ou baixa tensão; e, também, segundo as características de desligamento em efeito rápido ou retardado.

## Fusíveis de efeito rápido

Os fusíveis de efeito rápido são empregados em circuitos em que não há variação considerável de corrente entre a fase de partida e a de regime normal de funcionamento.

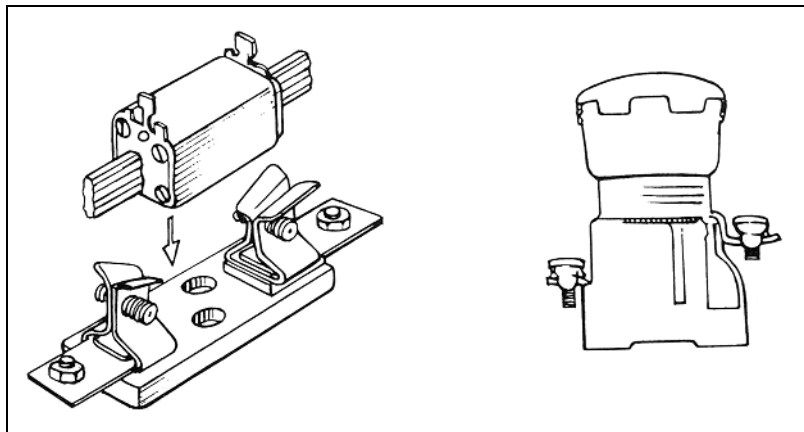
Esses fusíveis são ideais para a proteção de circuitos com semicondutores (diodos e tiristores).

## Fusíveis de efeito retardado

Os fusíveis de efeito retardado são apropriados para uso em circuitos cuja corrente de partida atinge valores muitas vezes superiores ao valor da corrente nominal e em circuitos que estejam sujeitos a sobrecargas de curta duração.

Como exemplo desses circuitos podemos citar motores elétricos, as cargas indutivas e as cargas capacitivas em geral.

Os seguros fusíveis de efeito retardado mais comumente usados são os NH e DIAZED



## Fusíveis NH

Os fusíveis NH suportam elevações de tensão durante um certo tempo sem que ocorra fusão.

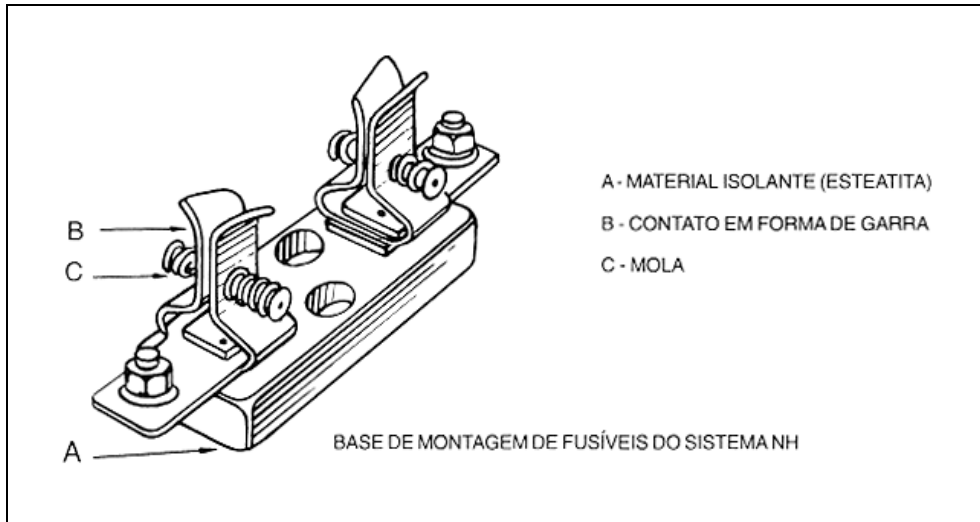
Eles são empregados em circuitos sujeitos a picos de corrente e onde existam cargas indutivas e capacitivas.

Sua construção permite valores padronizados de corrente que variam de 6 a 1000 A. Sua capacidade de ruptura é sempre superior a 70 kA com uma tensão máxima de 500 V.

## Construção

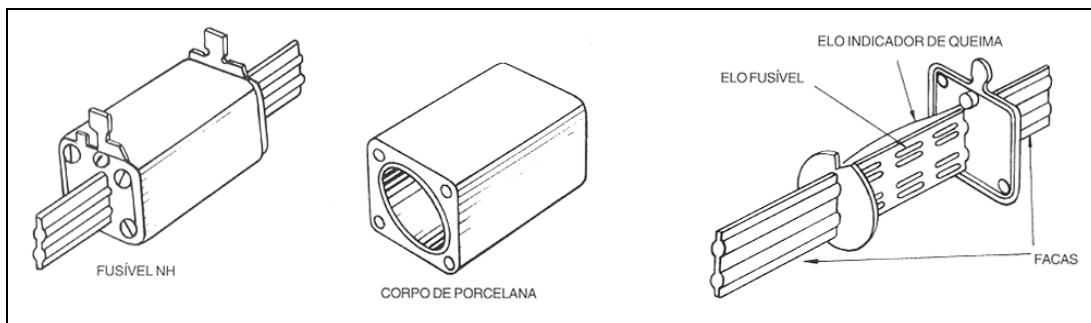
Os fusíveis NH são constituídos por duas partes: base e fusível.

A base é fabricada de material isolante como a esteatita, o plástico ou o termofixo. Nela são fixados os contatos em forma de garras às quais estão acopladas molas que aumentam a pressão de contato.



O fusível possui corpo de porcelana de seção retangular. Dentro desse corpo, estão o elo fusível e o elo indicador de queima imersos em areia especial.

Nas duas extremidades do corpo de porcelana existem duas facas de metal que se encaixam perfeitamente nas garras da base.



O elo fusível é feito de cobre em forma de lâminas vazadas em determinados pontos para reduzir a seção condutora. O elo fusível pode ainda ser fabricado em prata.

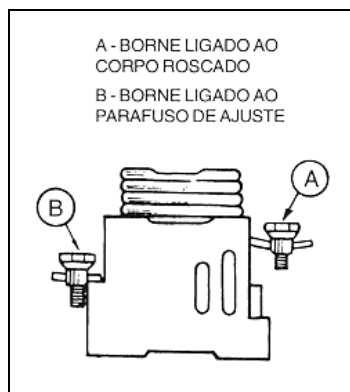
### Fusíveis DIAZED

Os fusíveis DIAZED podem ser de ação rápida ou retardada. Os de ação rápida são usados em circuitos resistivos, ou seja, sem picos de corrente. Os de ação retardada são usados em circuitos com motores e capacitores, sujeitos a picos de corrente. Esses fusíveis são construídos para valores de, no máximo, 200 A. A capacidade de ruptura é de 70 kA com uma tensão de 500 V.

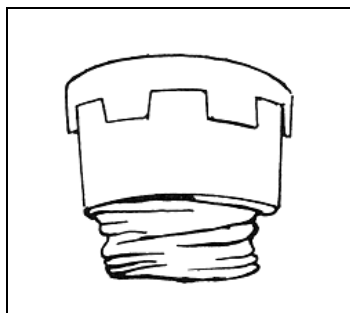
### Construção

O fusível DIAZED (ou D) é composto por: base (aberta ou protegida), tampa, fusível, parafuso de ajuste e anel.

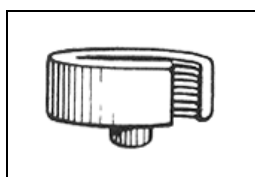
A base é feita de porcelana dentro da qual está um elemento metálico roscado internamente e ligado externamente a um dos bornes. O outro borne está isolado do primeiro e ligado ao parafuso de ajuste, como mostra a figura a seguir.



A tampa, geralmente de porcelana, fixa o fusível à base e não é inutilizada com a queima do fusível. Ela permite inspeção visual do indicador do fusível e sua substituição mesmo sob tensão.



O parafuso de ajuste tem a função de impedir o uso de fusíveis de capacidade superior à desejada para o circuito. A montagem do parafuso é feita por meio de uma chave especial.

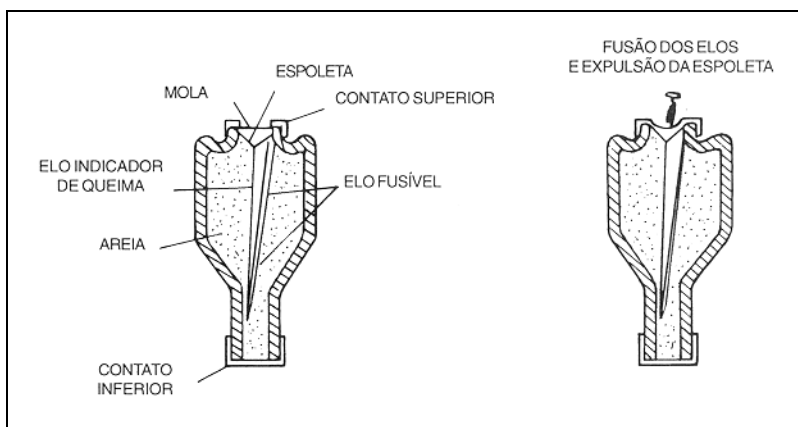




O anel é um elemento de porcelana com rosca interna, cuja função é proteger a rosca metálica da base aberta, pois evita a possibilidade de contatos acidentais na troca do fusível.



O fusível é um dispositivo de porcelana em cujas extremidades é fixado um fio de cobre puro ou recoberto por uma camada de zinco. Ele fica imerso em areia especial cuja função é extinguir o arco voltaico e evitar o perigo de explosão quando da queima do fusível.



O fusível possui um indicador, visível através da tampa, cuja corrente nominal é identificada por meio de cores e que se desprende em caso de queima. Veja na tabela a seguir, algumas cores e suas correntes nominais correspondentes.

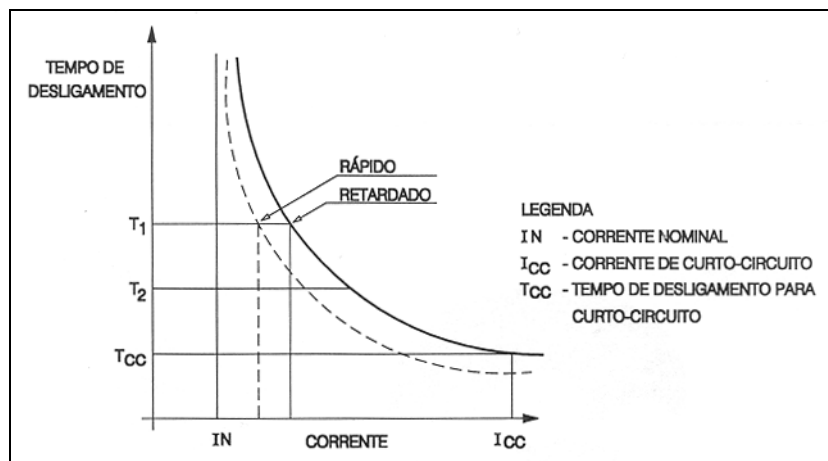
Cor	Intensidade de corrente (A)	Cor	Intensidade de corrente (A)
Rosa	2	Azul	20
Marrom	4	Amarelo	25
Verde	6	Preto	35
Vermelho	10	Branco	50
Cinza	16	Laranja	63

O elo indicador de queima é constituído de um fio muito fino ligado em paralelo com o elo fusível. Em caso de queima do elo fusível, o indicador de queima também se funde e provoca o desprendimento da espoleta.

### Características dos fusíveis NH e DIAZED

As principais características dos fusíveis DIAZED e NH são:

- Corrente nominal - corrente máxima que o fusível suporta continuamente sem interromper o funcionamento do circuito. Esse valor é marcado no corpo de porcelana do fusível;
- Corrente de curto-circuito - corrente máxima que deve circular no circuito e que deve ser interrompida instantaneamente;
- Capacidade de ruptura (kA) - valor de corrente que o fusível é capaz de interromper com segurança. Não depende da tensão nominal da instalação;
- Tensão nominal - tensão para a qual o fusível foi construído. Os fusíveis normais para baixa tensão são indicados para tensões de serviço de até 500 V em CA e 600 V em CC;
- Resistência elétrica (ou resistência ôhmica) - grandeza elétrica que depende do material e da pressão exercida. A resistência de contato entre a base e o fusível é a responsável por eventuais aquecimentos que podem provocar a queima do fusível;
- Curva de relação tempo de fusão x corrente - curvas que indicam o tempo que o fusível leva para desligar o circuito. Elas são variáveis de acordo com o tempo, a corrente, o tipo de fusível e são fornecidas pelo fabricante. Dentro dessas curvas, quanto maior for a corrente circulante, menor será o tempo em que o fusível terá que desligar. Veja curva típica a seguir.



### Instalação

Os fusíveis DIAZED e NH devem ser colocados no ponto inicial do circuito a ser protegido.

Os locais devem ser arejados para que a temperatura se conserve igual à do ambiente. Esses locais devem ser de fácil acesso para facilitar a inspeção e a manutenção.

A instalação deve ser feita de tal modo que permita seu manejo sem perigo de choque para o operador.

### **Dimensionamento do fusível**

A escolha do fusível é feita considerando-se a corrente nominal da rede, a malha ou circuito que se pretende proteger. Os circuitos elétricos devem ser dimensionados para uma determinada carga nominal dada pela carga que se pretende ligar.

A escolha do fusível deve ser feita de modo que qualquer anormalidade elétrica no circuito fique restrita ao setor onde ela ocorrer, sem afetar os outros.

Para dimensionar um fusível, é necessário levar em consideração as seguintes grandezas elétricas:

- Corrente nominal do circuito ou ramal;
- Corrente de curto-circuito;
- Tensão nominal.



# Relês como dispositivos de segurança

O relê é um dispositivo de comando, ou seja, é empregado na partida de motores, no processamento de solda de ponto, no comando de laminadoras e prensas e no controle de iluminação de edifícios.

Neste capítulo, estudaremos os relês como dispositivos de segurança.

Para compreender com mais facilidade o funcionamento desse dispositivo, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre eletromagnetismo.

## Relês

Diferentemente dos fusíveis, que se autodestroem, os relês abrem os circuitos em presença de sobrecarga, por exemplo, e continuam a ser usados após sanada a irregularidade.

Em relação aos fusíveis, os relês apresentam as seguintes vantagens:

- Ação mais segura;
- Possibilidade de modificação do estado ligado para desligado (e vice-versa);
- Proteção do usuário contra sobrecargas mínimas dos limites predeterminados;
- Retardamento natural que permite picos de corrente próprios às partidas de motores.

## Tipos de relês

Os relês que são usados como dispositivos de segurança podem ser:

- Eletromagnéticos;
- Térmicos.

### Relês eletromagnéticos

Os relês eletromagnéticos funcionam com base na ação do eletromagnetismo por meio do qual um núcleo de ferro próximo de uma bobina é atraído quando esta é percorrida por uma corrente elétrica.

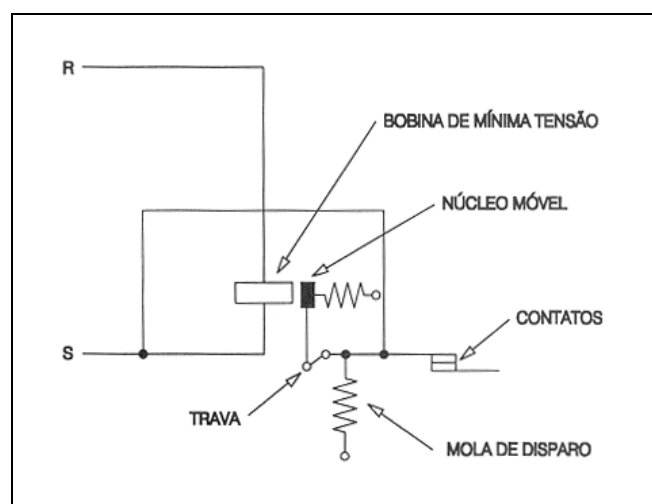
Os relês eletromagnéticos mais comuns são de dois tipos:

- Relê de mínima tensão;
- Relê de máxima corrente.

O relê de mínima tensão recebe uma regulagem aproximadamente 20% menor do que a tensão nominal. Se a tensão abaixar a um valor prejudicial, o relê interrompe o circuito de comando da chave principal e, conseqüentemente, abre os contatos dessa chave.

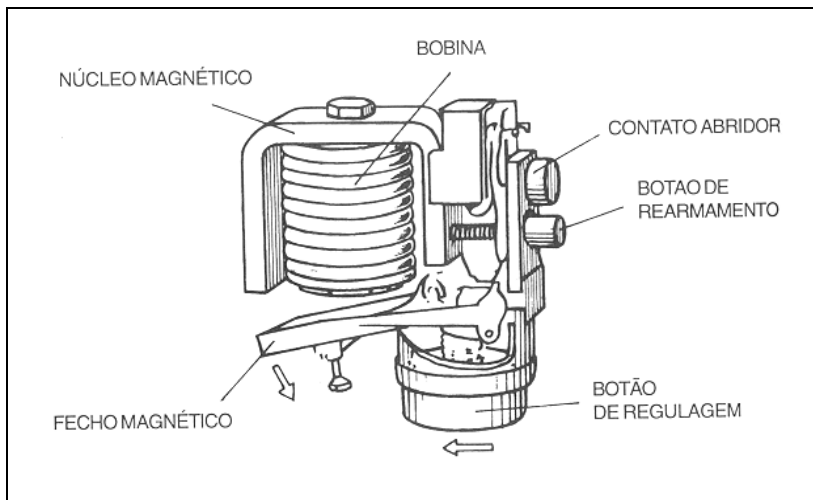
Os relês de mínima tensão são aplicados principalmente em contatores e disjuntores.

Veja na ilustração a seguir o esquema simplificado de um relê de mínima tensão.



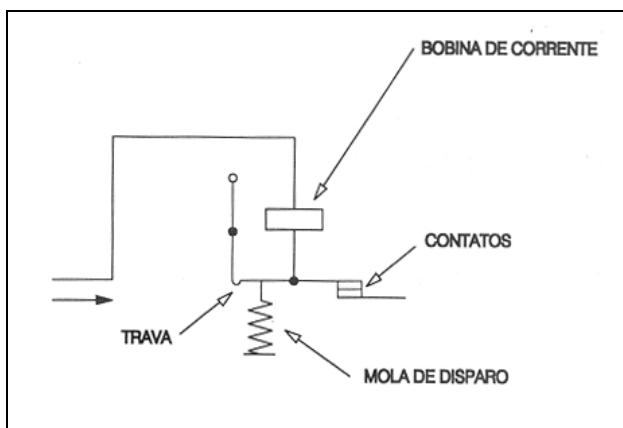
O relê de máxima corrente é regulado para proteger um circuito contra o excesso de corrente. Esse tipo de relê abre, indiretamente, o circuito principal assim que a corrente atingir o limite da regulagem.

A corrente elevada, ao circular pela bobina, faz com que o núcleo do relê atraia o fecho. Isto provoca a abertura do contato abridor e interrompe o circuito de comando.



A regulagem desse tipo de relê é feita aproximando-se ou afastando-se o fecho do núcleo. Quando o fecho é afastado, uma corrente mais elevada é necessária para acionar o relê.

Veja na figura a seguir o esquema simplificado de um relê de máxima corrente.



### Relês térmicos

Esse tipo de relê, como dispositivo de proteção, controle ou comando do circuito elétrico, atua por efeito térmico provocado pela corrente elétrica.

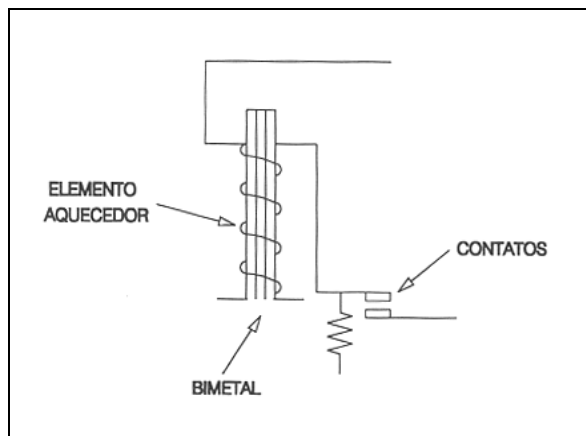
O elemento básico dos relês térmicos é o bimetal.

O bimetal é um conjunto formado por duas lâminas de metais diferentes (normalmente ferro e níquel), sobrepostas e soldadas.

Esses dois metais, de coeficientes de dilatação diferentes, formam um par metálico. Por causa da diferença de coeficiente de dilatação, se o par metálico for submetido a uma temperatura elevada, um dos metais do par vai se dilatar mais que o outro.

Por estarem fortemente unidos, o metal de menor coeficiente de dilatação provoca o encurvamento do conjunto para o seu lado, afastando o conjunto de um ponto determinado.

Veja representação esquemática desse fenômeno a seguir.



Esse movimento é usado para disparar um gatilho ou abrir um circuito, por exemplo. Portanto, essa característica do bimetal permite que o relê exerça o controle de sobrecarga para proteção dos motores.

Os relês térmicos para proteção de sobrecarga são:

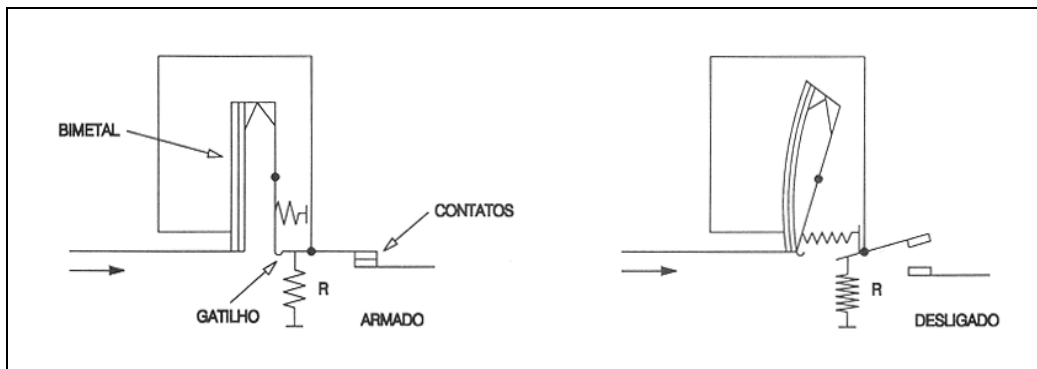
- Diretos;
- Indiretos;
- Com retenção.

Os relês térmicos diretos são aquecidos pela passagem da corrente de carga pelo bimetal. Havendo sobrecarga, o relê desarma o disjuntor.

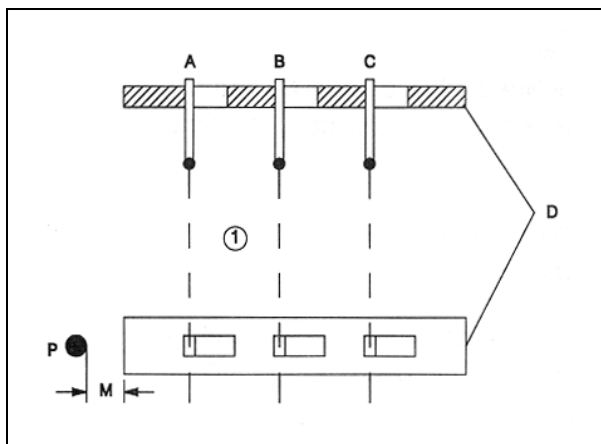
Embora a ação do bimetal seja lenta, o desligamento dos contatos é brusco devido à ação do gatilho. Essa abertura rápida impede a danificação ou soldagem dos contatos.



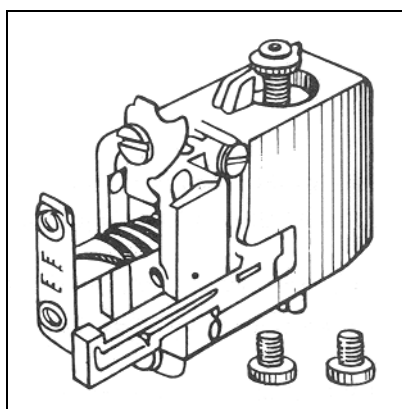
A figura a seguir mostra a representação esquemática de um relê térmico direto nas posições armado e desligado por sobrecarga.



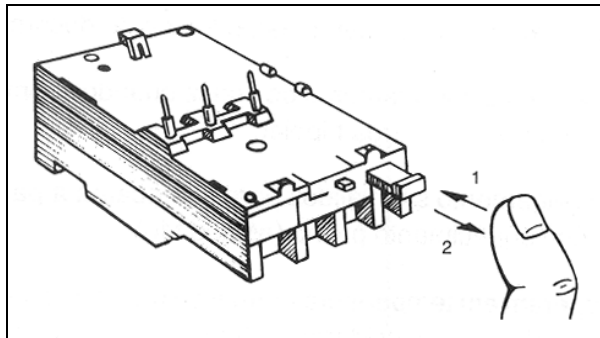
Nos circuitos trifásicos, o relê térmico possui três lâminas bimetálicas (A, B, C), que atuam conjuntamente quando houver sobrecarga equilibrada.



Os relês térmicos indiretos são aquecidos por um elemento aquecedor indireto que transmite calor ao bimetal e faz o relê funcionar. Veja representação esquemática a seguir.



Os relês térmicos com retenção possuem dispositivos que travam os contatos na posição desligado após a atuação do relê. Para que os contatos voltem a operar, é necessário soltar manualmente a trava por meio de um botão específico. O relê, então, estará pronto para funcionar novamente.



**Observação**

É necessário sempre verificar o motivo por que o relê desarmou, antes de desarmá-lo.

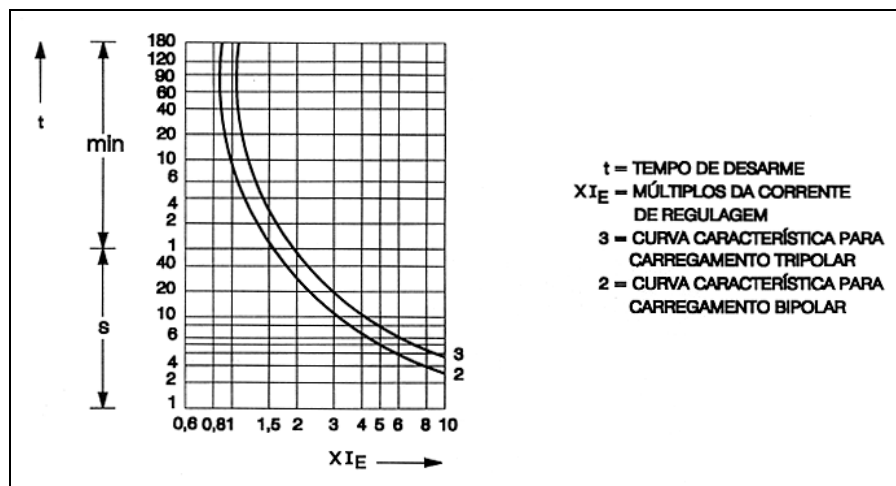
Os relês térmicos podem ser ainda compensados ou diferenciais.

O relê térmico compensado possui um elemento interno que compensa as variações da temperatura ambiente.

O relê térmico diferencial (ou de falta de fase) dispara mais rapidamente que o normal quando há falta de uma fase ou sobrecarga em uma delas. Assim, um relê diferencial, regulado para disparar em cinco minutos com carga de 10A, disparará antes, se faltar uma fase.

**Curva característica de disparo do relê térmico**

A relação tempo/corrente de desarme é representada por uma curva característica semelhante à mostrada a seguir.



No eixo horizontal (abcissas), encontram-se os valores múltiplos da corrente de regulação ( $XI_e$ ) e no eixo vertical (ordenadas), o tempo de desarme ( $t$ ).

A curva 3 representa o comportamento dos relês quando submetidos a sobrecarga tripolar e a curva 2 para sobrecarga bipolar.

Os valores de desligamento são válidos para sobrecarga a partir da temperatura ambiente, ou seja, sem aquecimento prévio (estado frio).

Para relês que operam em temperatura normal de trabalho e sob corrente nominal (relês pré-aquecidos), deve-se considerar os tempos de atuação em torno de 25 a 30% dos valores das curvas.

Isso acontece porque os bimetálicos já terão sofrido um deslocamento de aproximadamente 70% do deslocamento necessário para o desarme, quando pré-aquecidos pela passagem da corrente nominal.



# Seletividade

É a operação conjunta de dispositivos de proteção, que atuam sobre os de manobra ligados em série, para a interrupção escalonada de correntes anormais (por exemplo de curto-circuito). Um dispositivo de manobra deve interromper a parte do circuito conectada imediatamente após ele próprio, e os demais dispositivos de manobra devem permanecer ligados.

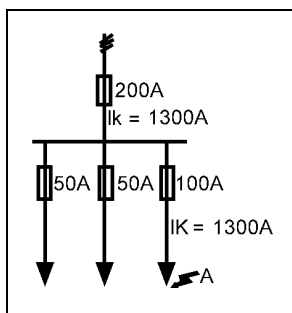
## Funcionamento

Nos circuitos de baixa-tensão os fusíveis e relés de disjuntores podem ser encontrados nas seguintes combinações:

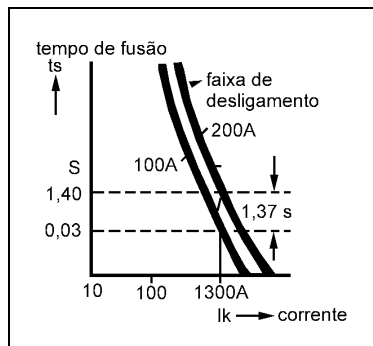
- Fusíveis em série com fusíveis;
- Relés eletromagnéticos de disjuntores em série entre si;
- Relés eletromagnéticos de disjuntores em série com fusíveis;
- Fusíveis em série com relés térmicos de disjuntores;
- Relés térmicos de disjuntor em série com fusíveis.

## Seletividade entre fusíveis em série

O alimentador geral e os condutores de cada alimentação conduzem correntes diferentes e têm, por isto mesmo, seções transversais diferentes. Conseqüentemente, os valores nominais dos fusíveis serão diferentes também havendo, portanto, um escalonamento seletivo natural.



As curvas de desligamento tempo-corrente não se tocam. Por exemplo, uma corrente de 1300A interromperá e1 em 0,03 segundos, e, para interromper e 2, serão necessários 1,4 segundos, o que garantirá, nesse caso, a seletividade do circuito.

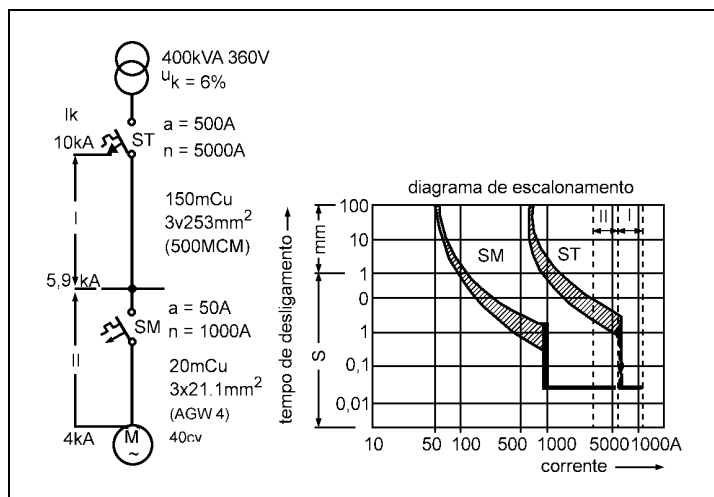


### Seletividade de relés eletromagnéticos em série, com disjuntores

O disjuntor é apenas um dispositivo de comando. O efeito de proteção é dado pelos relés (ou fusíveis, eventualmente). Em caso de curto-circuito, a atuação cabe ao relé eletromagnético, que atua sem retardo, num intervalo de tempo que oscila, geralmente, entre 0,003 e 0,010s. Este tempo deve ser suficientemente curto para não afetar (térmica e eletrodinamicamente) os demais componentes do circuito.

### Seletividade através do escalonamento das correntes de atuação

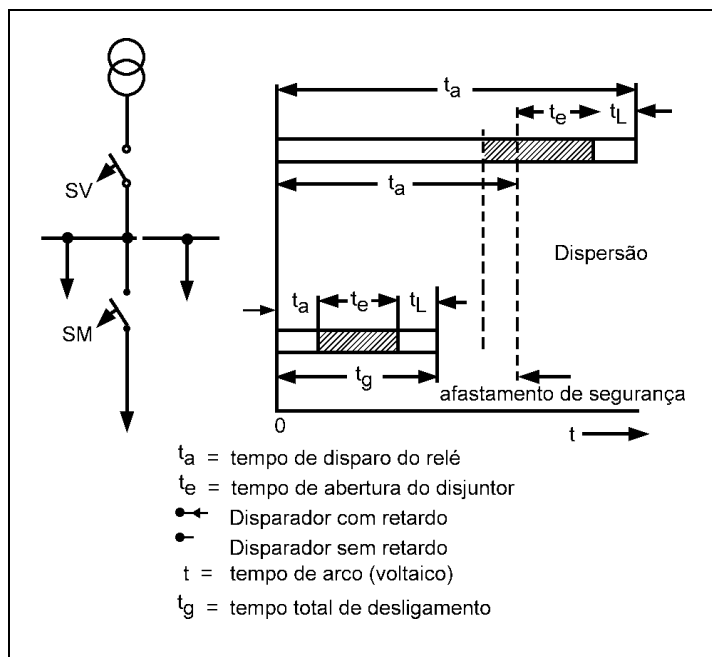
Este método apenas é possível quando as correntes de curto-circuito no local de instalação de cada um dos disjuntores, são suficientemente diferentes entre si. O disjuntor é a única chave que pode abrir um circuito pelo qual passa a corrente de curto-circuito. Conseqüentemente, o relé eletromagnético somente é ligado a disjuntores. A corrente de desligamento do primeiro disjuntor (visto do gerador para o consumidor) deve ser estabelecida de tal maneira que seu valor seja superior ao máximo valor de curto-circuito admissível no local do disjuntor subsequente, o qual deve atuar em caso de defeito.



### Seletividade entre relés eletromagnéticos de curto-circuito

Se a diferença entre as correntes de curto-circuito entre o local do defeito e a alimentação geral é apenas pequena, então a seletividade apenas é obtida através de um retardo nos tempos de atuação do relés eletromagnético de ação rápida do disjuntor principal.

O tempo de desligamento deste relé é retardado ao ponto de se ter garantia de que o disjuntor mais próximo do consumidor tenha atuado. Um tempo constante de escalonamento entre dispositivos de proteção de 0,150s entre as chaves, é suficiente para levar em consideração qualquer dispersão.

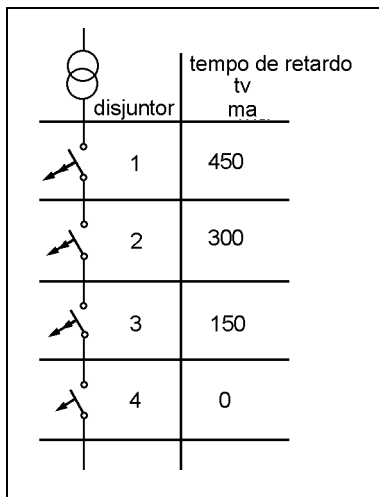


Condição: o tempo de disparo ou abertura ( $t_a$ ) do disjuntor SV deve ser maior do que o tempo total de desligamento ( $t_g$ ) do disjuntor SM subsequente.

Além disto, a corrente de atuação do relé de ação rápida deve ser ajustada a pelo menos 1,25 vezes o valor de desligamento do disjuntor subsequente.

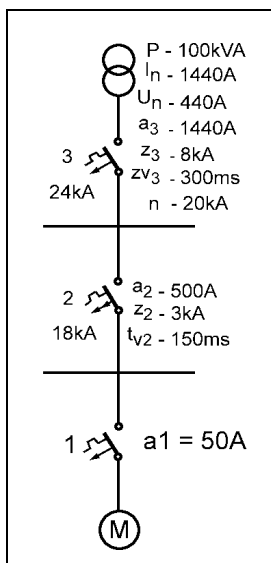
Geralmente, uma faixa de ajuste de tempo de 0,500s admite um escalonamento de até 4 disjuntores com relés em série, dependendo dos tempos próprios de cada disjuntor.

A figura abaixo representa o escalonamento seletivo entre os relés de 4 disjuntores ligados em série, dotados de disparadores eletromagnéticos de sobrecorrente com pequeno retardo, de valor ajustável.

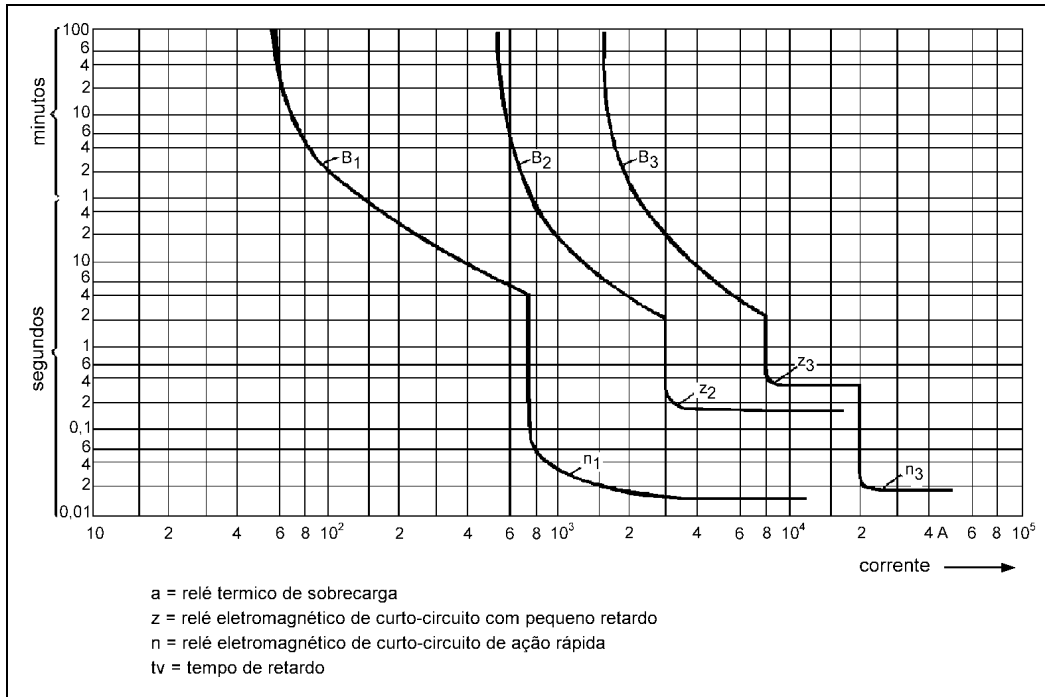


Para reduzir os efeitos de um curto-circuito total de valor muito elevado sobre os disjuntores pré-ligados ao defeito, estes podem ser dotados tanto com relés de ação rápida quanto de ação ultra-rápida. O valor de desligamento destes deve ser escolhido em grau tão elevado que estes relés apenas atuem perante curto-circuito total sem interferir no escalonamento normal. Estes relés de ação instantânea evitariam danos à aparelhagem em casos de curtos-circuitos muito elevados. As figuras abaixo representam o escalonamento seletivo entre os relés de 3 disjuntores ligados em série.

Cada disjuntor possui um relé eletromagnético de pequeno retardo (z) e um relé térmico (a).







Dessa forma, um curto-circuito entre a1 e a2 afetará a2 e a3.

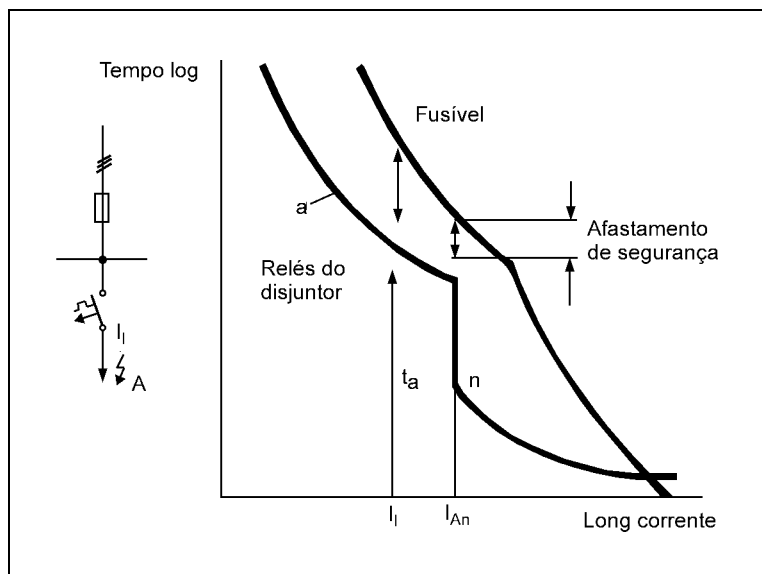
Se a corrente presumível e curto-circuito for da ordem de  $10^3 \cdot 4$ , por exemplo, não fará atuar o relé eletromagnético ultra-rápido (n3), e sim o relé eletromagnético ( $z^2$ ).

Porém, se as proporções de um curto-circuito franco no mesmo ponto entre a1 e a2 atingirem presumivelmente valores até  $10^4 \cdot 2$ , os disjuntores afetados serão também a2 e a3, porém, ao contrário do caso anterior, o relé eletromagnético de a2 não atuará, e sim o do disjuntor a3 que se abrirá pelo relé eletromagnético ultra-rápido (n3). Dessa forma, a2 será resguardado porque a corrente de curto-circuito ultrapassou a sua capacidade de ruptura.

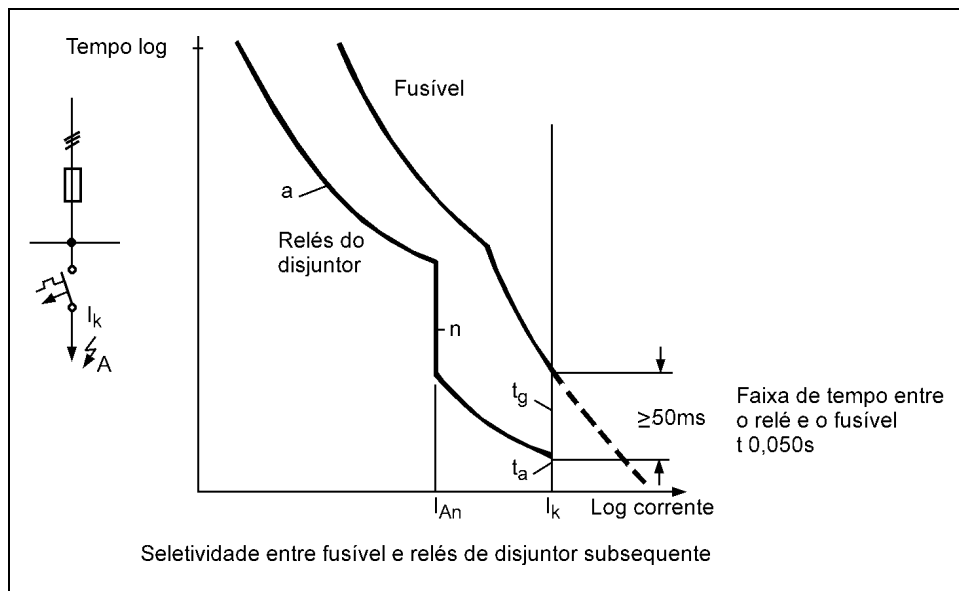
### Seletividade entre fusível e relés de um disjuntor subsequente

Na faixa de sobrecarga, a curva “a” representa as condições dadas no item 1, isto é, as curvas não se devem cruzar para haver seletividade. O mesmo ocorre na curva “n”, todavia, a partir do ponto P nota-se, que a proteção será efetuada pelo fusível.

A figura a seguir representa a seletividade entre fusível e relés de disjuntor subsequente. As curvas tempo-corrente (com suas faixas) não interferem entre si.

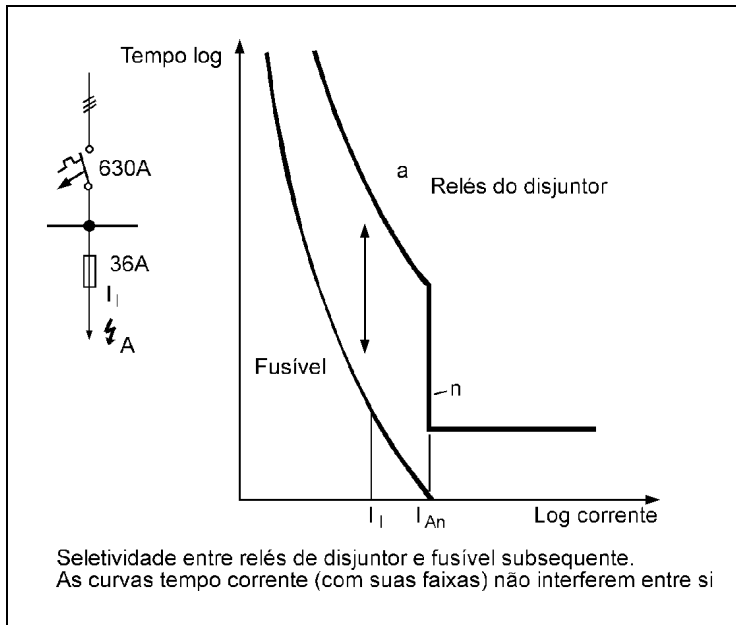


Em caso de curto-circuito, deve-se atentar para o fato de que o fusível continua sendo aquecido pela corrente até o instante em que o arco existente entre as peças de contato do disjuntor se extingue. Para a prática, é suficiente que a característica do fusível se mantenha 0,050s acima da curva de desligamento do relé eletromagnético de curto-circuito .

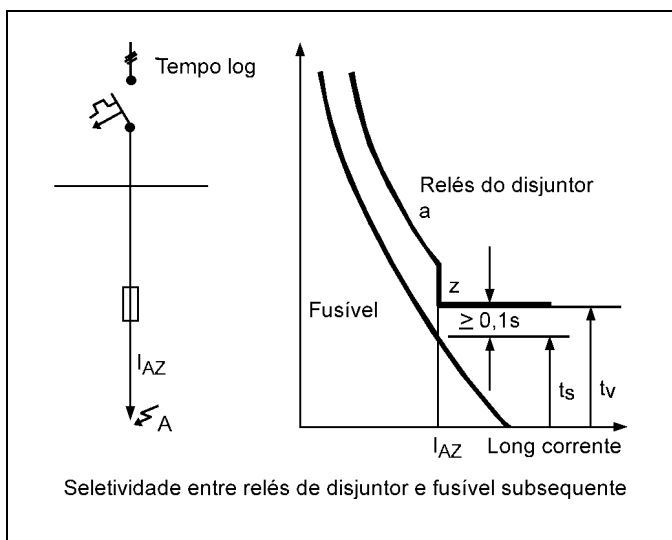


### Seletividade entre relé térmico de disjuntor e fusível

Na faixa de sobrecarga, a seletividade é garantida quando a característica de desligamento do relé térmico não corta a do fusível curva “a”.



Perante correntes de curto-circuito, que alcançam ou mesmo ultrapassam os valores de atuação do relé térmico, a seletividade apenas é mantida se o fusível limita a corrente a tal valor que a corrente passante não atinge os valores de atuação do relé. Esta situação apenas ocorre nos casos em que a corrente nominal do fusível é bastante baixa em relação à corrente nominal do disjuntor. A seletividade perante curto-circuito é garantida, se o tempo de retardo do relé eletromagnético de sobrecorrente com pequeno retardo tem um valor de disparo ou de atuação de ao menos 0,100s acima da curva característica de desligamento do fusível.





# Contatores

Neste capítulo, estudaremos um dispositivo de manobra mecânica usado no comando de motores e na proteção contra sobrecorrente, quando acoplado a relês de sobrecarga.

Esse dispositivo chama-se contator. Suas características, utilização e funcionamento são aqui apresentados para que você possa utilizá-lo corretamente.

## Contatores

Contatores são dispositivos de manobra mecânica, acionados eletromagneticamente, construídos para uma elevada frequência de operação.

De acordo com a potência (carga), o contator é um dispositivo de comando do motor e pode ser usado individualmente, acoplado a relês de sobrecarga, na proteção de sobrecorrente. Há certos tipos de contatores com capacidade de estabelecer e interromper correntes de curto-circuito.

## Tipos de contatores

Basicamente, existem dois tipos de contatores:

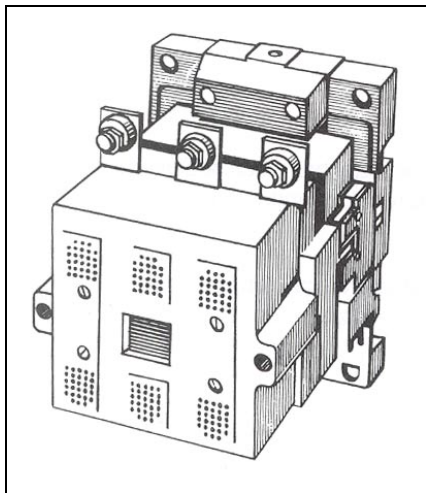
- Contatores para motores;
- Contatores auxiliares.

Esses dois tipos de contatores são semelhantes. O que os diferencia são algumas características mecânicas e elétricas.

Assim, os contadores para motores caracterizam-se por apresentar:

- Dois tipos de contatos com capacidade de carga diferentes chamados principais e auxiliares;
- Maior robustez de construção;
- Possibilidade de receberem relês de proteção;
- Câmara de extinção de arco voltaico;
- Variação de potência da bobina do eletroímã de acordo com o tipo do contador;
- Tamanho físico de acordo com a potência a ser comandada;
- Possibilidade de ter a bobina do eletroímã com secundário.

Veja um contador para motor na ilustração a seguir.



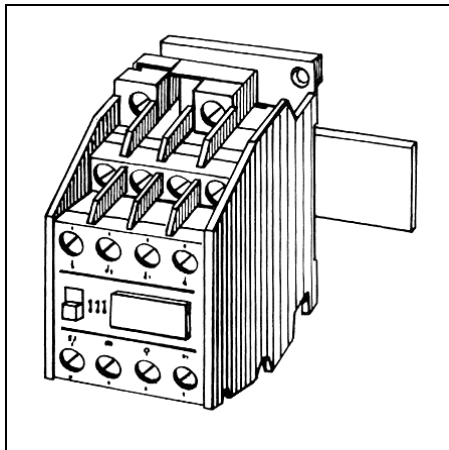
Os contadores auxiliares são usados para:

- Aumentar o número de contatos auxiliares dos contadores de motores;
- Comandar contadores de elevado consumo na bobina;
- Evitar repique;
- Para sinalização.

Esses contadores caracterizam-se por apresentar:

- Tamanho físico variável conforme o número de contatos;
- Potência do eletroímã praticamente constante;
- Corrente nominal de carga máxima de 10 A para todos os contatos;
- Ausência de necessidade de relê de proteção e de câmara de extinção.

Um contator auxiliar é mostrado na ilustração a seguir.



### Construção

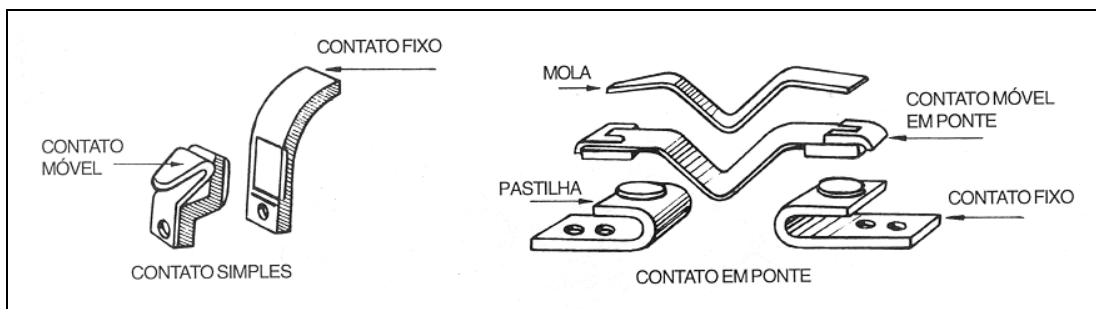
Os principais elementos construtivos de um contator são:

- Contatos;
- Sistema da acionamento;
- Carcaça;
- Câmara de extinção de arco-voltaico.

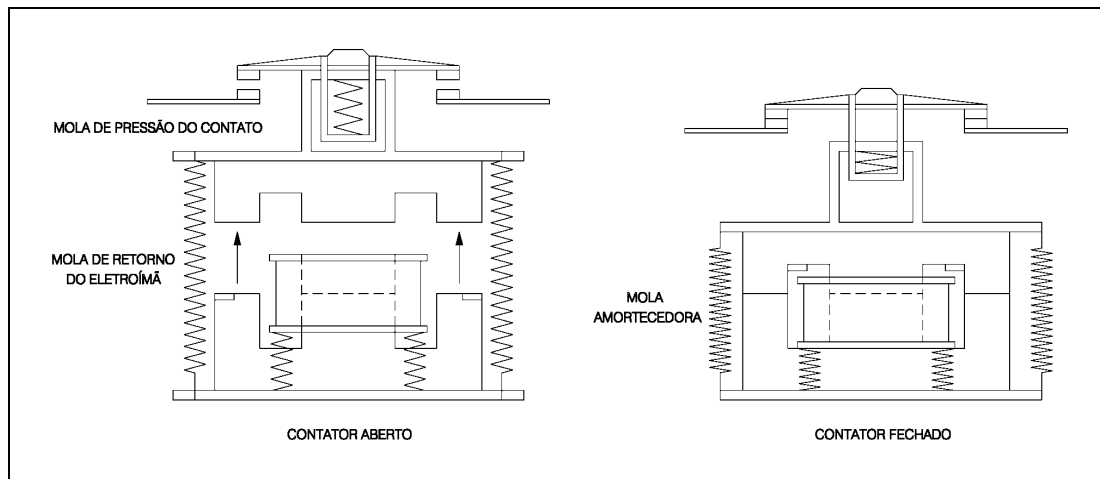
### Contatos dos contadores e pastilhas

Os contatos são partes especiais e fundamentais dos contadores, destinados a estabelecer a ligação entre as partes energizadas e não-energizadas de um circuito ou, então, interromper a ligação de um circuito.

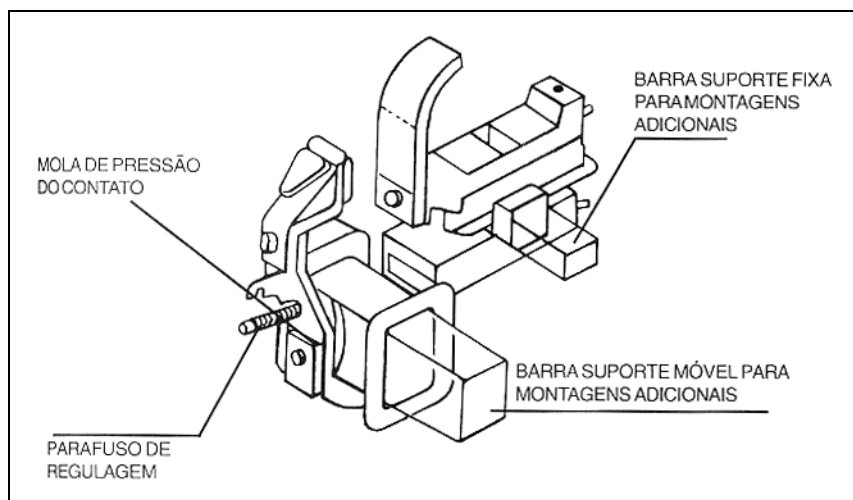
São constituídos de pastilhas e suportes. Podem ser fixos ou móveis, simples ou em ponte.



Os contatos móveis são sempre acionados por um eletroímã pressionado por molas. Estas devem atuar uniformemente no conjunto de contatos e com pressão determinada conforme a capacidade para a qual eles foram construídos.

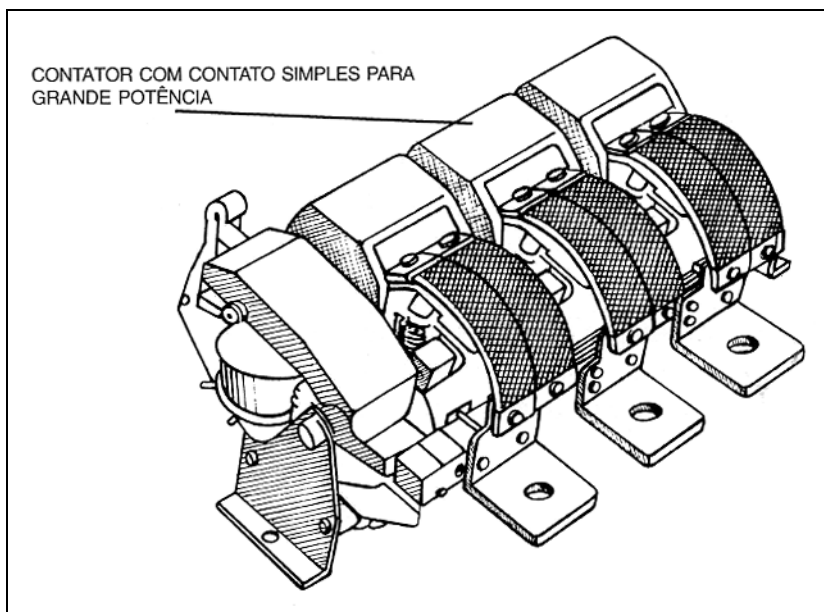


Para os contatos simples a pressão da mola é regulável e sua utilização permite a montagem de contatos adicionais.





Os contatos simples têm apenas uma abertura. Eles são encontrados em contatores de maior potência.



Os contatos são construídos em formatos e tamanhos determinados pelas características técnicas do contatores. São classificados em principal e auxiliar.

Os contatos principais têm a função de estabelecer e interromper correntes de motores e chavear cargas resistivas ou capacitivas.

O contato é realizado por meio de placas de prata cuja vida útil termina quando elas estão reduzidas a 1/3 de seu volume inicial.

Os contatos auxiliares são dimensionados para a comutação de circuitos auxiliares para comando, para sinalização e para intertravamento elétrico. São dimensionados apenas para a corrente de comando e podem ser de abertura retardada para evitar perturbações no comando.

Eles podem ser do tipo NA (normalmente aberto) ou NF (normalmente fechado) de acordo com sua função.

## Sistema de acionamento

O acionamento dos contatores pode ser feito com corrente alternada ou com corrente contínua.

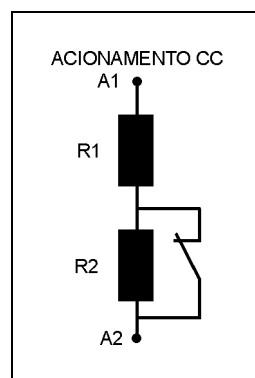
Para o acionamento com CA, existem anéis de curto-circuito que se situam sobre o núcleo fixo do contator e evitam o ruído por meio da passagem da CA por zero.

Um entreferro reduz a remanência após a interrupção da tensão de comando e evita o colamento do núcleo.

Após a desenergização da bobina de acionamento, o retorno dos contatos principais (bem como dos auxiliares) para a posição original de repouso é garantido pelas molas de compressão.

O acionamento com CC não possui anéis de curto-circuito. Além disso, possui uma bobina de enrolamento com derivação na qual uma das derivações serve para o atracamento e a outra para manutenção.

Um contato NF é inserido no circuito da bobina e tem a função de curto-circuitar parte do enrolamento durante a etapa do atracamento. Veja representação esquemática a seguir.



O enrolamento com derivação tem a função de reduzir a potência absorvida pela bobina após o fechamento do contator, evitando o superaquecimento ou a queima da bobina.

O núcleo é maciço pois, sendo a corrente constante, o fluxo magnético também o será. Com isso, não haverá força eletromotriz no núcleo e nem circulação de correntes parasitas.

O sistema de acionamento com CC é recomendado para aplicação em circuitos onde os demais equipamentos de comando são sensíveis aos efeitos das tensões induzidas pelo campo magnético de corrente alternada. Enquadram-se nesse caso os componentes CMOS e os microprocessadores, presentes em circuitos que compõem acionamentos de motores que utilizam conversores e/ou CPs (controladores programáveis).

### Carcaça

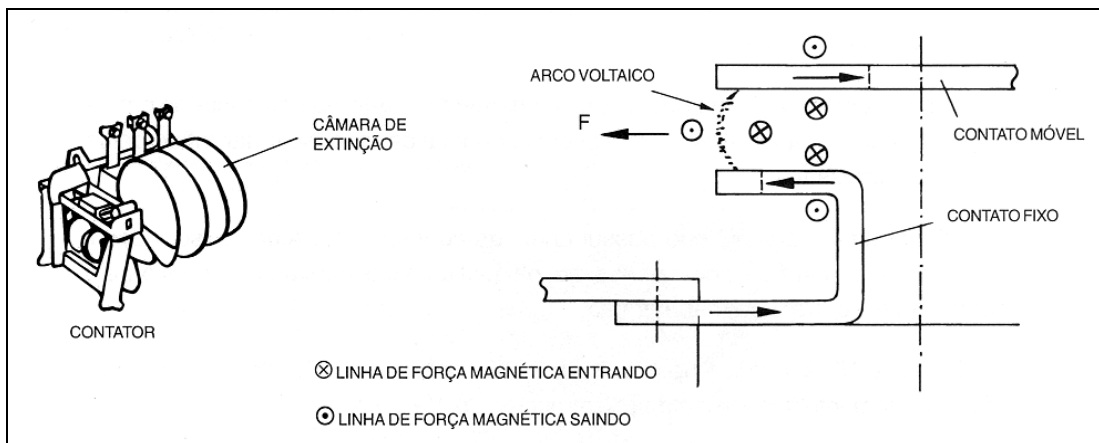
É constituída de duas partes simétricas (tipo macho e fêmea) unidas por meio de grampos.

Retirando-se os grampos de fechamento a tampa frontal do contator, é possível abri-lo e inspecionar seu interior, bem como substituir os contatos principais e os da bobina.

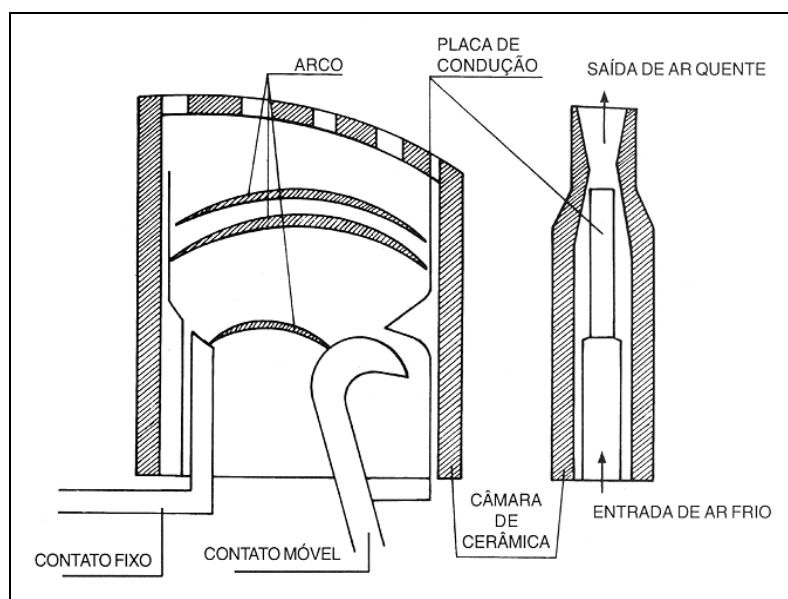
A substituição da bobina é feita pela parte superior do contator, através da retirada de quatro parafusos de fixação para o suporte do núcleo.

### Câmara de extinção de arco voltaico

É um compartimento que envolve os contatos principais. Sua função é extinguir a faísca ou arco voltaico que surge quando um circuito elétrico é interrompido.



Com a câmara de extinção de cerâmica, a extinção do arco é provocada por refrigeração intensa e pelo repuxo do ar.



### Funcionamento do contator

Como já sabemos, uma bobina eletromagnética quando alimentada por uma corrente elétrica, forma um campo magnético. No contator, ele se concentra no núcleo fixo e atrai o núcleo móvel.

Como os contatos móveis estão acoplados mecanicamente com o núcleo móvel, o deslocamento deste no sentido do núcleo fixo movimenta os contatos móveis.

Quando o núcleo móvel se aproxima do fixo, os contatos móveis também devem se aproximar dos fixos de tal forma que, no fim do curso do núcleo móvel, as peças fixas e móveis do sistema de comando elétrico estejam em contato e sob pressão suficiente.

O comando da bobina é efetuado por meio de uma botoeira ou chave-bóia com duas posições, cujos elementos de comando estão ligados em série com a bobina.

A velocidade de fechamento dos contatores é resultado da força proveniente da bobina e da força mecânica das molas de separação que atuam em sentido contrário.

As molas são também as únicas responsáveis pela velocidade de abertura do contator, o que ocorre quando a bobina magnética não estiver sendo alimentada ou quando o valor da força magnética for inferior à força das molas.

### **Vantagens do emprego de contadores**

Os contadores apresentam as seguintes vantagens:

- Comando à distância;
- Elevado número de manobras;
- Grande vida útil mecânica;
- Pequeno espaço para montagem;
- Garantia de contato imediato;
- Tensão de operação de 85 a 110% da tensão nominal prevista para o contator.

### **Montagem dos contadores**

Os contadores devem ser montados de preferência verticalmente em local que não esteja sujeito a trepidação.

Em geral, é permitida uma inclinação máxima do plano de montagem de 22,5° em relação à vertical, o que permite a instalação em navios.

Na instalação de contadores abertos, o espaço livre em frente à câmara deve ser de, no mínimo, 45mm.

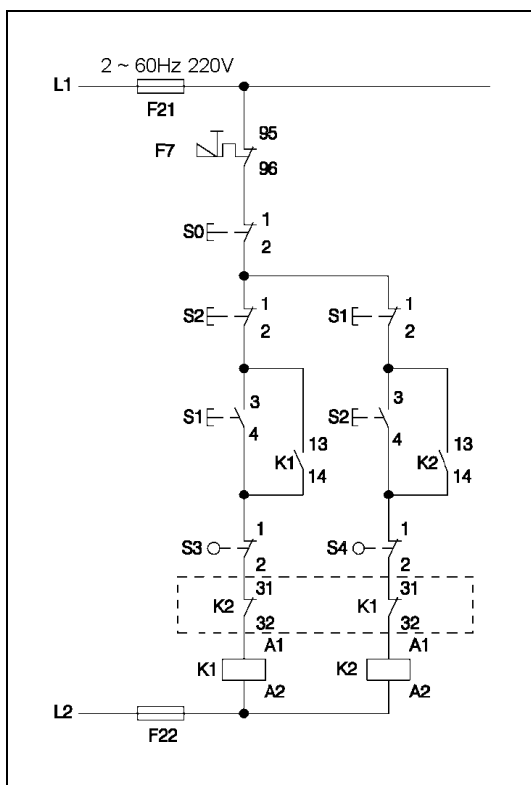
### **Intertravamento de contadores**

O intertravamento é um sistema de segurança elétrico ou mecânico destinado a evitar que dois ou mais contadores se fechem acidentalmente ao mesmo tempo provocando curto-circuito ou mudança na seqüência de funcionamento de um determinado circuito.

O intertravamento elétrico é feito por meio de contatos auxiliares do contator e por botões conjugados.

Na utilização dos contatos auxiliares ( $K_1$  e  $K_2$ ), estes impedem a energização de uma das bobinas quando a outra está energizada.

Nesse caso, o contato auxiliar abridor de outro contator é inserido no circuito de comando que alimenta a bobina do contator. Isso é feito de modo que o funcionamento de um contator dependa do funcionamento do outro, ou seja, contato  $K_1$  (abridor) no circuito do contator  $K_2$  e o contato  $K_2$  (abridor) no circuito do contator  $K_1$ . Veja diagrama a seguir.

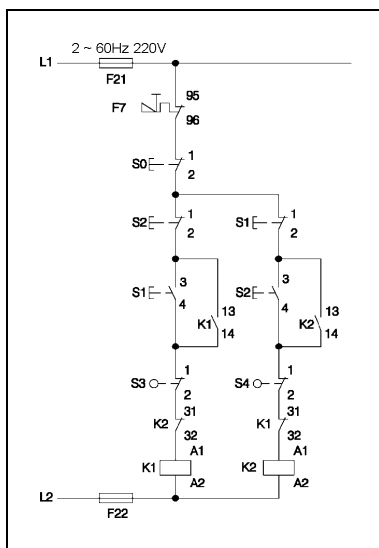


Os botões conjugados são inseridos no circuito de comando de modo que, ao ser acionado um botão para comandar um contator, haja a interrupção do funcionamento do outro contator.

Quando se utilizam botões conjugados, pulsa-se simultaneamente  $S_1$  e  $S_2$ . Nessa condição, os contatos abridor e fechador são acionados. Todavia, como o contato abridor atua antes do fechador, isso provoca o intertravamento elétrico.

Assim, temos:

- Botão S<sub>1</sub>: fechador de K<sub>1</sub> conjugado com S<sub>1</sub>, abridor de K<sub>2</sub>.
- Botão S<sub>2</sub>: fechador de K<sub>2</sub> conjugado com S<sub>2</sub>, abridor de K<sub>1</sub>.

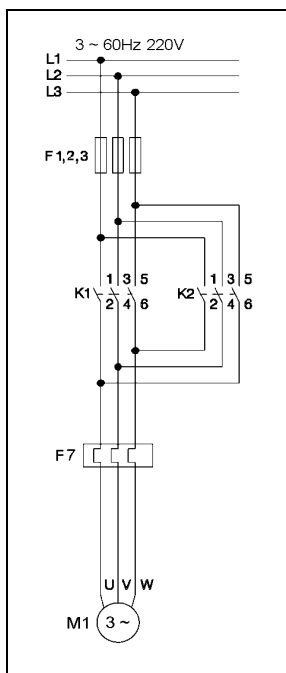


### Observação

Quando possível, no intertravamento elétrico, devemos usar essas duas modalidades.

O intertravamento mecânico é obtido por meio da colocação de um balancim (dispositivo mecânico constituído por um apoio e uma régua) nos contactores.

Quando um dos contactores é acionado, este atua sobre uma das extremidades da régua, enquanto que a outra impede o acionamento do outro contator.



Esta modalidade de intertravamento é empregada quando a corrente é elevada e há possibilidade de soldagem dos contatos.

### Escolha dos contatores

A escolha do contator para uma dada corrente ou potência deve satisfazer a duas condições:

- Número total de manobras sem a necessidade de trocar os contatos;
- Não ultrapassar o aquecimento admissível.

O aquecimento admissível depende da corrente circulante e interrompida, da frequência de manobras e do fator de marcha.

O número total de manobras é expresso em manobras por hora (man/h), mas corresponde à cadência máxima medida num período qualquer que não exceda 10 minutos.

O fator de marcha (fdm) é a relação percentual entre o tempo de passagem da corrente e a duração total de um ciclo de manobra.

A tabela a seguir indica o emprego dos contatores conforme a categoria.

<b>Categoria de emprego</b>	<b>Exemplos de uso</b>
AC1	Cargas fracamente indutivas ou não-indutivas. Fornos de resistência.
AC2	Partida de motores de anel sem frenagem por contracorrente.
AC3	Partida de motores de indução tipo gaiola. Desligamento do motor em funcionamento normal. Partida de motores de anel com frenagem por contracorrente.
AC4	Partida de motores de indução tipo gaiola. Manobras de ligação intermitente, frenagem por contracorrente e reversão.
DC1	Cargas fracamente indutivas ou não-indutivas. Fornos de resistência.
DC2	Motores em derivação. Partida e desligamento durante a rotação.
DC3	Partida, manobras intermitentes, frenagem por contracorrente, reversão.
DC4	Motores série. Partida e desligamento durante a rotação.
DC5	Partida, manobras intermitentes, frenagem por contracorrente, reversão.



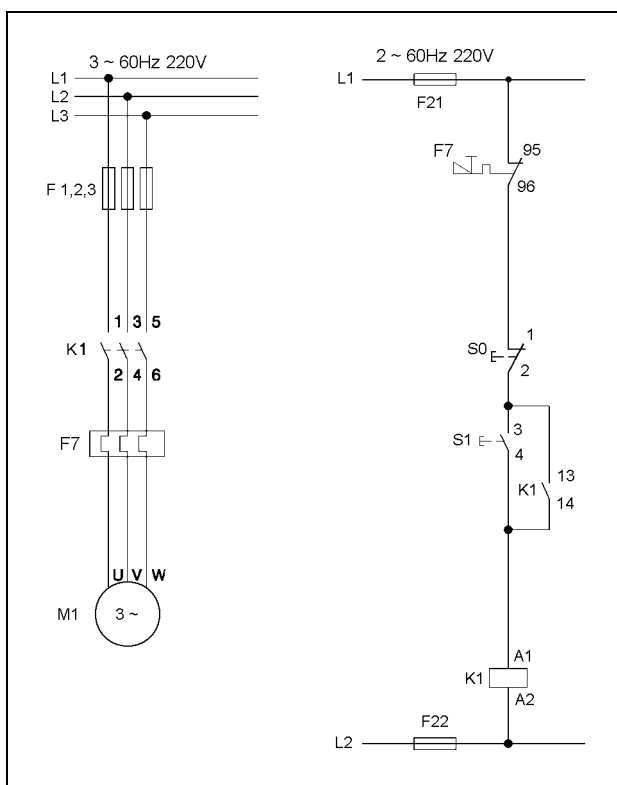
### Observação

Na tabela anterior:

- AC = corrente alternada
- DC = corrente contínua.

### Partida direta de um motor comandada por contator

O circuito de partida direta de motor comandada por contator é mostrado a seguir.

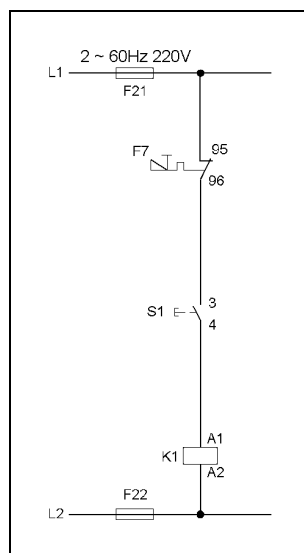


Na condição inicial, os bornes R, S e T estão sob tensão. Quando o botão  $b_1$  é acionado, a bobina do contator  $c_1$  é energizada. Esta ação faz fechar o contato de selo  $c_1$  que manterá a bobina energizada. Os contatos principais se fecharão e o motor funcionará.

Para interromper o funcionamento do contator e, conseqüentemente, do motor, aciona-se o botão  $b_0$ . Isso interrompe a alimentação da bobina, provoca a abertura do contato de selo  $C_1$  e dos contatos principais e faz o motor parar.

### Observação

O contator também pode ser comandado por uma chave de um pólo. Neste caso, eliminam-se os botões  $b_0$  e  $b_1$  e o contato de selo  $C_1$ . Em seu lugar, coloca-se a chave  $b_1$  como mostra afigura a seguir.



### Defeitos dos contadores

A tabela a seguir mostra uma lista dos defeitos elétricos mais comuns apresentados pelos contadores e suas prováveis causas.

Defeito	Causas
Contator não liga	Fusível de comando queimado. Relê térmico desarmado. Comando interrompido. Bobina queimada.
Contator não desliga	Linhas de comando longas (efeito de "colamento" capacitivo). Contatos soldados.
Faiscamento excessivo	Instabilidade da tensão de comando por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulação pobre da fonte;</li> <li>• Linhas extensas e de pequena seção;</li> <li>• Correntes de partida muito altas;</li> <li>• Subdimensionamento do transformador de comando com</li> <li>• diversos contadores operando simultaneamente.</li> </ul> Fornecimento irregular de comando por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Botões com defeito;</li> <li>• Chaves fim-de-curso com defeito.</li> </ul>

Contator zumba	Corpo estranho no entreferro. Anel de curto-circuito quebrado. Bobina com tensão ou frequência errada. Superfície dos núcleos (móvel e fixo) sujas ou oxidadas, especialmente após longas paradas. Fornecimento oscilante de contato no circuito de comando. Quedas de tensão durante a partida de motores.
Relê térmico atua e o motor não atinge a rotação normal (contator com relê)	Relê inadequado ou mal regulado. Tempo de partida muito longo. Frequência muito alta de ligações. Sobrecarga no eixo.
Bobina magnética se aquece	Localização inadequada da bobina. Núcleo móvel preso às guias. Curto-circuito entre as espiras por deslocamento ou remoção de capa isolante (em CA). Curto-circuito entre bobina e núcleo por deslocamento da camada isolante. Saturação do núcleo cujo calor se transmite à bobina.
Bobina se queima	Sobretensão. Ligação em tensão errada. Subtensão (principalmente em CC). Corpo estranho no entreferro.
Contatos sobreaquecem	Carga excessiva. Pressão inadequada entre contatos. Dimensões inadequadas dos contatos. Sujeira na superfície dos contatos. Superfície insuficiente para a troca de calor com o meio-ambiente. Oxidação (contatos de cobre). Acabamento e formato inadequados das superfícies de contato.
Contatos se fundem	Correntes de ligação elevadas (como na comutação de transformadores a vazio) Comando oscilante. Ligação em curto-circuito. Comutação estrela-triângulo defeituosa.
Contatos se desgastam excessivamente	Arco voltaico. Sistema de desligamento por deslizamento (remove certa quantidade de material a cada manobra).
Isolação é deficiente	Excessiva umidade do ar. Dielétrico recoberto ou perfurado por insetos, poeira e outros corpos. Presença de óxidos externos provenientes de material de solda.

### Defeitos mecânicos

Os defeitos mecânicos são provenientes da própria construção do dispositivo, das condições de serviço e do envelhecimento do material.

Salientam-se nesse particular:

- Lubrificação deficiente;
- Formação de ferrugem;
- Temperaturas muito elevadas;
- Molas inadequadas;
- Trepidações no local da montagem.

### **Ricochete entre contatos**

Ricochete é a abertura ou afastamento entre contatos após o choque no momento da ligação. Isso é consequência da energia cinética presente em um dos contatos.

O ricochete reduz sensivelmente a durabilidade das peças de contato, especialmente no caso de cargas com altas correntes de partida. Isso acontece porque o arco que se estabelece a cada separação sucessiva dos contatos vaporiza o material das pastilhas.

Com vistas a redução de custos, o tempo de ricochete deve ser reduzido para 0,5ms. Baixa velocidade de manobra, reduzida massa de contato móvel e forte pressão nas molas são algumas condições que diminuem o tempo do ricochete.

Os contatores modernos são praticamente livres de ricochete. Na ligação, eles acusam um desgaste de material de contato equivalente a 1/10 do desgaste para desligamento sob corrente nominal. Assim, a corrente de partida de motores não tem influência na durabilidade dos contatos.

# Defeitos dos contatores

Já sabemos que os contatores são dispositivos de manobra mecânica acionados eletromagneticamente, utilizados como dispositivos de comando de motores ou como dispositivos de proteção contra sobrecarga, se acoplados a relés.

Nesta unidade, estudaremos os defeitos mais comuns que acontecem nos contatores e os problemas causados nos circuitos elétricos por eles comandados.

## Defeitos nos contatores

A tabela a seguir mostra uma lista dos defeitos elétricos mais comuns apresentados pelos contatores e suas prováveis causas.

Defeito	Causas
Contator não liga	Fusível de comando queimado. Relé térmico desarmado. Comando interrompido. Bobina queimada.
Contator não desliga	Linhas de comando longas (efeito de “colamento” capacitivo). Contatos soldados.
Contator zumbe	Corpo estranho no entreferro. Anel de curto-circuito quebrado. Bobina com tensão ou frequência errada. Superfície dos núcleos (móvel e fixo) sujas ou oxidadas, especialmente após longas paradas. Fornecimento oscilante de contato no circuito de comando. Quedas de tensão durante a partida de motores.
Relé térmico atua e o motor não atinge a rotação normal (contator com relé)	Relé inadequado ou mal regulado. Tempo de partida muito longo. Frequência muito alta de ligações. Sobrecarga no eixo.
Bobina magnética se aquece	Localização inadequada da bobina. Núcleo móvel preso às guias. Curto-circuito entre as espiras por deslocamento ou remoção de capa isolante (em CA). Curto-circuito entre bobina e núcleo por deslocamento da camada isolante. Saturação do núcleo cujo calor se transmite à bobina.
Bobina se queima	Sobretensão. Ligação em tensão errada.

	Subtensão (principalmente em CC). Corpo estranho no entreferro.
Contatos sobreaquecem	Carga excessiva. Pressão inadequada entre contatos. Dimensões inadequadas dos contatos. Sujeira na superfície dos contatos. Superfície insuficiente para a troca de calor com o meio-ambiente. Oxidação (contatos de cobre). Acabamento e formato inadequados das superfícies de contato.
Contatos se fundem	Correntes de ligação elevadas (como na comutação de transformadores a vazio). Comando oscilante. Ligação em curto-circuito. Comutação estrela-triângulo defeituosa.
Contatos se desgastam excessivamente	Arco voltaico. Sistema de desligamento por deslizamento (remove certa quantidade de material a cada manobra).
Isolação é deficiente	Excessiva umidade do ar. Dielétrico recoberto ou perfurado por insetos, poeira e outros corpos. Presença de óxidos externos provenientes de material de solda.

### Defeitos mecânicos

Os defeitos mecânicos são provenientes da própria construção do dispositivo, das condições de serviço e do envelhecimento do material.

Salientam-se nesse particular:

- Lubrificação deficiente;
- Formação de ferrugem;
- Temperaturas muito elevadas;
- Molas inadequadas;
- Trepidações no local da montagem.

### Ricochete entre contatos

Ricochete é a abertura ou afastamento entre contatos após o choque no momento da ligação. Isso é consequência da energia cinética presente em um dos contatos.

O ricochete reduz sensivelmente a durabilidade das peças de contato, especialmente no caso de cargas com altas correntes de partida. Isso acontece porque o arco que se estabelece a cada separação sucessiva dos contatos vaporiza o material das pastilhas.

Com vistas a redução de custos, o tempo de ricochete deve ser reduzido para 0,5ms. Baixa velocidade de manobra, reduzida massa de contato móvel e forte pressão nas molas são algumas condições que diminuem o tempo do ricochete.

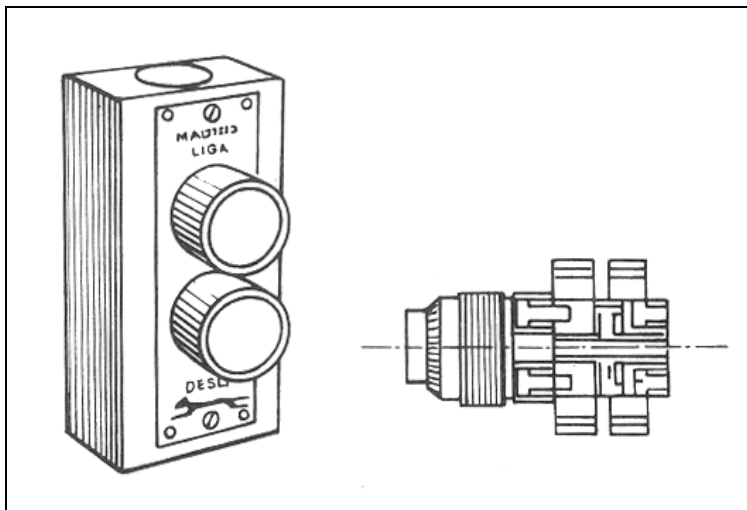
Os contatores modernos são praticamente livres de ricochete. Na ligação, eles acusam um desgaste de material de contato equivalente a 1/10 do desgaste para desligamento sob corrente nominal. Assim, a corrente de partida de motores não tem influência na durabilidade dos contatos.

# Chaves auxiliares tipo botoeira

Neste capítulo, estudaremos um tipo de chave que comanda circuitos por meio de pulsos. Ela é usada em equipamentos industriais em processos de automação.

## Chaves auxiliares tipo botoeira.

As chaves auxiliares, ou botões de comando, são chaves de comando manual que interrompem ou estabelecem um circuito de comando por meio de pulsos. Podem ser montadas em painéis ou em caixas para sobreposição. Veja ilustração a seguir.



As botoeiras podem ter diversos botões agrupados em painéis ou caixas e cada painel pode acionar diversos contatos abridores ou fechadores.

## Construção

As chaves auxiliares tipo botoeira são constituídas por botão, contatos móveis e contatos fixos.

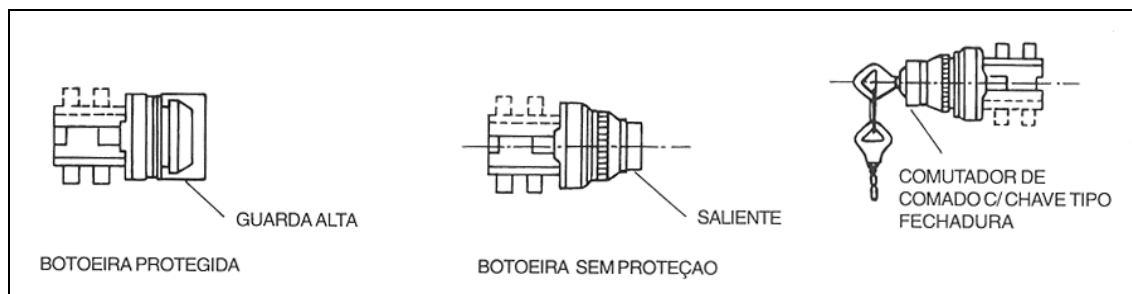
Em alguns tipos de botoeiras, o contato móvel tem um movimento de escorregamento que funciona como automanutenção, pois retira a oxidação que aparece na superfície do contato.

Os contatos são recobertos de prata e suportam elevado número de manobras.

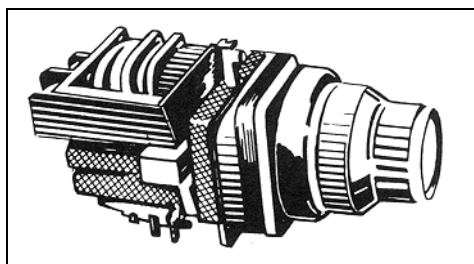
As chaves auxiliares são construídas com proteção contra ligação acidental; sem proteção ou com chave tipo fechadura.

As chaves com proteção possuem longo curso para ligação, além de uma guarnição que impede a ligação acidental.

As botoeiras com chave tipo fechadura são do tipo comutador. Têm a finalidade de impedir que qualquer pessoa ligue o circuito.



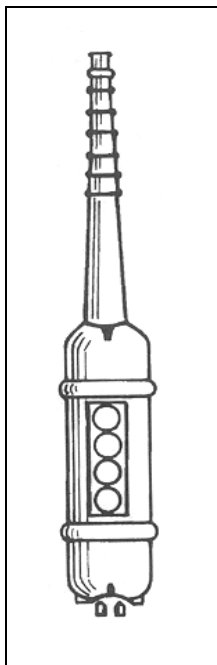
As botoeiras podem ainda conjugar a função de sinaleiro, ou seja, possuem em seu interior uma lâmpada que indica que o botão foi acionado. Elas não devem ser usadas para desligar circuitos e nem como botão de emergência.





### **Botoeiras do tipo pendente**

As botoeiras do tipo pendente destinam-se ao comando de pontes rolantes e máquinas operatrizes nas quais o operador tem que acionar a botoeira enquanto em movimento ou em pontos diferentes.





# Sinalizadores luminosos

Para que um operador saiba o que está acontecendo com o equipamento que ele está operando, é necessário que ele possa visualizar rápida e facilmente mensagens que indiquem que a operação está se realizando dentro dos padrões esperados.

Isso é feito por meio da sinalização, que é o assunto deste capítulo.

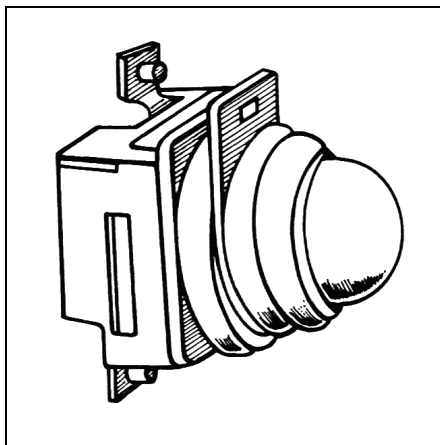
## Sinalização

Sinalização é a forma visual ou sonora de se chamar a atenção do operador para uma situação determinada em um circuito, máquina ou conjunto de máquinas.

Ela é realizada por meio de buzinas e campainhas ou por sinalizadores luminosos com cores determinadas por normas.

## Sinalização luminosa

A sinalização luminosa é a mais usada por ser de mais rápida identificação.



A tabela a seguir mostra o significado das cores de sinalização de acordo com a norma VDE.

Cor	Condição de operação	Exemplos de aplicação
Vermelho	Condição anormal	Indicação de que a máquina está paralisada por atuação de um dispositivo de proteção. Aviso para a paralisação da máquina devido a sobrecarga, por exemplo.
Amarelo	Atenção ou cuidado	O valor de uma grandeza (corrente, temperatura) aproxima-se de seu valor-limite.
Verde	Máquina pronta para operar	Partida normal: todos os dispositivos auxiliares funcionam e estão prontos para operar. A pressão hidráulica ou a tensão estão nos valores especificados. O ciclo de operação está concluído e a máquina está pronta para operar novamente.
Branco (incolor)	Circuitos sob tensão em operação normal	Circuitos sob tensão Chave principal na posição LIGA. Escolha da velocidade ou do sentido de rotação. Acionamentos individuais e dispositivos auxiliares estão operando. Máquina em movimento.
Azul	Todas as funções para as quais não se aplicam a cores acima.	

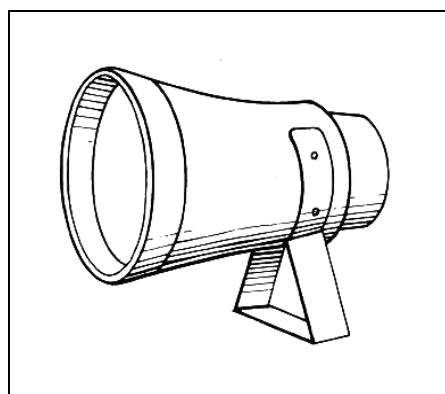
A sinalização intermitente é usada para indicar situações que exigem atenção mais urgente.

A lente do sinalizador deve propiciar bom brilho e, quando a lâmpada está apagada, deve apresentar-se completamente opaca em relação à luz ambiente.

### Sinalização sonora

A sinalização sonora pode ser feita por meio de buzinas ou campainhas.

As buzinas são usadas para indicar o início de funcionamento de uma máquina ou para ficar à disposição do operador, quando seu uso for necessário. Elas são usadas, por exemplo, na sinalização de pontes rolantes.



O som deve estar entre 1.000 e 3.000Hz. Deve conter harmônicos que o tornarão distinto do ruído local.

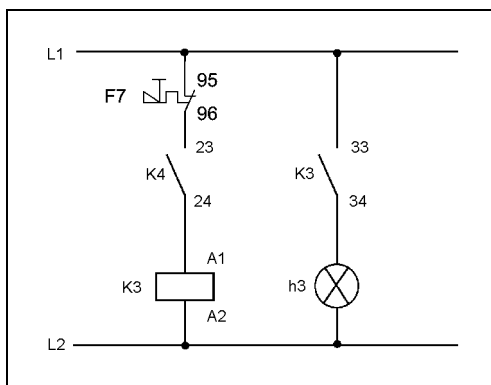
As campainhas são usadas para indicar anomalias em máquinas. Assim, se um motor com sobrecarga não puder parar de imediato, o alarme chamará a atenção do operador para as providências necessárias.

### Instalações de sinalizadores

Na instalação de sinalizadores para indicar a abertura ou o fechamento de contator, é importante verificar se a tensão produzida por auto-indução não provocará a queima da lâmpada.

Nesse caso, a lâmpada deverá ser instalada por meio de um contato auxiliar, evitando-se a elevada tensão produzida na bobina do contator.

Veja na figura abaixo o circuito de sinalização.





# Relês temporizadores

Neste capítulo estudaremos os relês de tempo ou relês temporizadores que atuam em circuitos de comando para a comutação de dispositivos de acionamento de motores, chaves estrela-triângulo, partidas em seqüência e outros circuitos que necessitem de temporização para seu funcionamento.

Conhecer esse componente é muito importante para a manutenção de equipamentos industriais.

## Relês temporizadores

Nos relês temporizadores, a comutação dos contatos não ocorre instantaneamente. O período de tempo (ou retardo) entre a excitação ou a desexcitação da bobina e a comutação pode ser ajustado.

Essa possibilidade de ajuste cria dois tipos de relês temporizadores:

- Relê de ação retardada por atração (ou relê de excitação);
- Relê de ação retardada por repulsão (ou relê de desexcitação).

Os retardos, por sua vez, podem ser obtidos por meio de:

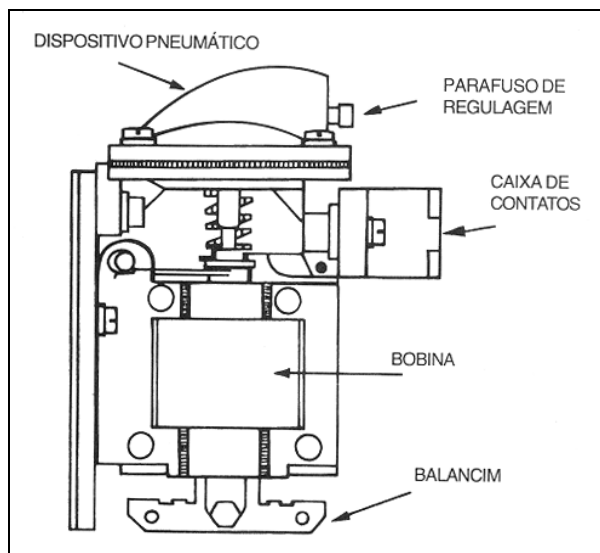
- Relê pneumático de tempo;
- Relê mecânico de tempo;
- Relê eletrônico de tempo.

## Relê pneumático de tempo

O relê pneumático de tempo é um dispositivo temporizador que funciona pela ação de um eletroímã que aciona uma válvula pneumática.

O retardo é determinado pela passagem de uma certa quantidade de ar através de um orifício regulável. O ar entra no dispositivo pneumático que puxa o balancim para cima, fornecendo corrente para os contatos.

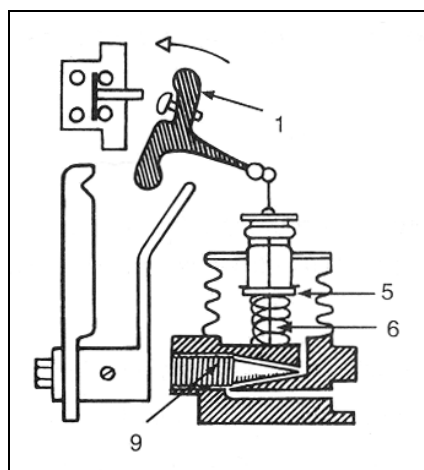
Veja ilustração a seguir.



Esse tipo de relê é usado em chaves de partida estrela-triângulo ou compensadoras, na comutação de contadores ou na temporização em circuitos seqüenciais. O retardo fornecido varia de um a sessenta segundos, porém não é muito preciso.

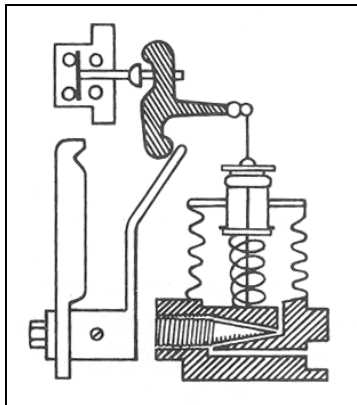
### Funcionamento

Na condição inicial, o eletroímã é energizado e libera a alavanca (1). A mola (6) tende a abrir a sanfona, mantendo a válvula (5) fechada. A velocidade de abertura depende diretamente da vazão permitida pelo parafuso (9) que controla a admissão do ar.

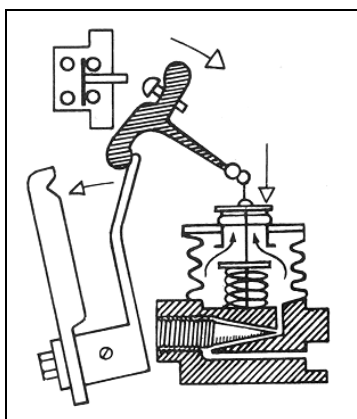




Após um tempo " t ", que depende da regulagem do parafuso, a sanfona está completamente aberta e aciona os contatos fechadores e abridores.

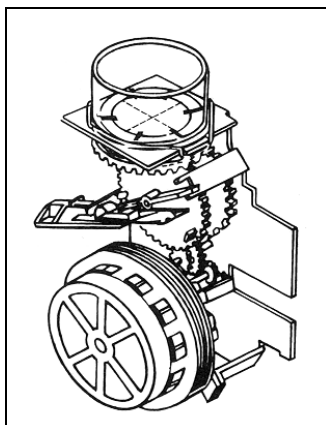


Quando o contato é desenergizado, o braço de acionamento age sobre a alavanca e provoca a abertura da válvula (5), liberando o contato. O conjunto volta instantaneamente à posição inicial.



### Relê mecânico de tempo

O relê mecânico de tempo é constituído por um pequeno motor, um jogo de engrenagens de redução, um dispositivo de regulagem, contatos comutadores e mola de retorno. Veja ilustração a seguir.



### **Funcionamento**

No relê de retardo mecânico, um came regulável é acionado pelo redutor de um motor. Após um tempo determinado, o came abre ou fecha o contato.

Se for necessário, o motor poderá permanecer ligado e os contatos do relê ficarão na posição inversa à da posição normal.

Os relês de tempo motorizados podem ser regulados para fornecer retardo desde 0 a 15 segundos até 30 horas.

Quando um contator tiver elevado consumo e a corrente de sua bobina for superior à capacidade nominal do relê, é necessário usar um contator para o temporizador.

### **Relê eletrônico de tempo**

O relê eletrônico de tempo é acionado por meio de circuitos eletrônicos. Esses circuitos podem ser constituídos por transistores, por circuitos integrados como o CI 555 ou por um UJT. Estes funcionam como um monoestável e comandam um relê que acionará seus contatos no circuito de comando.

# Transformadores para comando

Quando é necessário reduzir a corrente de linha e a tensão a valores que possibilitem a utilização de relês de pequena capacidade em circuitos de comando de motores, usam-se transformadores.

Transformadores também são usados junto a chaves compensadoras para evitar o arranque direto.

Este é o assunto deste capítulo. Para aprendê-lo com mais facilidade, é necessário que você tenha conhecimentos anteriores sobre tensão, corrente e transformadores.

## **Transformadores para comando**

Transformadores para comando são dispositivos empregados em comandos de máquinas elétricas para modificar valores de tensão e corrente em uma determinada relação de transformação.

Sua instalação transformadores exige que se considere algumas características elétricas. Elas são:

- Tipo de transformador;
- Índice de saturação para relês temporizados;
- Relação de transformação;
- Tensões de serviço;
- Tensões de prova;
- Classe de precisão;
- Frequência.

Os transformadores de comando podem ser de vários tipos, a saber:

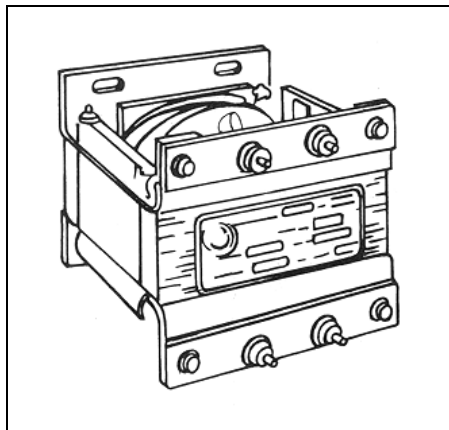
- Transformadores de tensão;
- Transformadores para chaves compensadoras;
- Transformadores de corrente.

### **Transformadores de tensão**

Os transformadores de tensão são usados para:

- Reduzir a tensão a níveis compatíveis com a tensão dos componentes do comando (relês, bobinas);
- Fornecer proteção nas manobras e nas correções de defeitos;
- Separar o circuito principal do circuito de comando, restringindo e limitando possíveis curto-circuitos a valores que não afetem o circuito de comando;
- Amortecer as variações de tensões, evitando possíveis ricochetes e prolongando, portanto, a vida útil do equipamento.

Um transformador de tensão é mostrado a seguir:

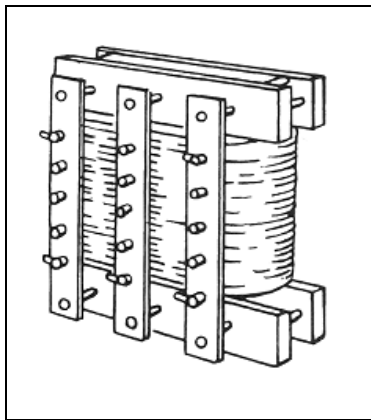


### **Transformadores para chaves compensadoras**

Esse tipo de transformador é usado para evitar o arranque direto do motor.

Suas derivações permitem partidas com 65 a 80% da tensão nominal, conforme o torque necessário para a partida.

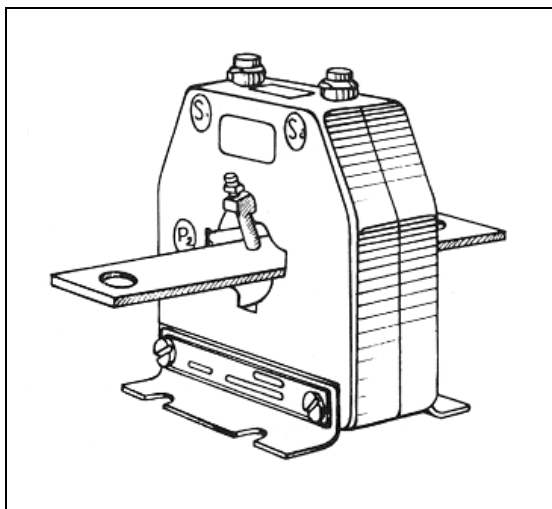
São construídos com duas colunas com ligações em triângulo; ou com três colunas com ligação em estrela.



Um único transformador pode ser usado para a partida em seqüência de vários motores. Nesse caso, a partida será automática, realizada por meio de relês temporizadores e contatores.

### **Transformador de corrente**

O transformador de corrente atua com relês térmicos de proteção contra sobrecarga. Ele é associado a relês térmicos cuja corrente nominal é inferior à da rede.



Sua relação de transformação é indicada na placa. Por exemplo, uma indicação 200/5 indica que, quando houver uma corrente de 200A na rede principal, a corrente do relê será de 5A.

Na proteção contra sobrecarga, esse transformador permite longos picos de corrente de partida dos motores de grande porte. Nesse caso, ele estabiliza a corrente secundária pela saturação do núcleo o que permite um controle mais efetivo.

Além disso, o tamanho reduzido do relê torna possível uma regulação mais eficiente com a redução dos esforços dinâmicos produzidos pela corrente elétrica.

# Diagramas de comandos elétricos

Seja qual for o tipo de projeto da área eletroeletrônica que se queira realizar, seja instalação, montagem ou reparo, a maneira adequada de representar a disposição dos componentes e o modo como eles se relacionam entre si é por meio do diagrama esquemático.

Neste capítulo, estudaremos os diagramas de comando cuja finalidade é representar os circuitos elétricos. Esse conhecimento é importante quando se necessita analisar o esquema de uma máquina desconhecida para realizar sua manutenção. Essa análise permite solucionar problemas "difíceis" e essa experiência é indispensável para o profissional de manutenção eletroeletrônica.

## Diagrama elétrico

O diagrama elétrico é um desenho que mostra a maneira como as várias partes de um dispositivo, rede, instalação, grupo de aparelhos ou itens de um aparelho são interrelacionados e/ou interconectados. É a representação de uma instalação elétrica ou parte dela por meio de símbolos gráficos, definidos nas normas NBR 5259, NBR 5280, NBR 5444, NBR 12519, NBR 12520 e NBR 12523.

## Diagrama de comando

O diagrama de comando faz a representação esquemática dos circuitos elétricos. Ele mostra os seguintes aspectos:

- Funcionamento seqüencial dos circuitos;
- Representação dos elementos, suas funções e as interligações, conforme as normas estabelecidas;
- Visão analítica das partes ou do conjunto;

- Possibilidade de rápida localização física dos componentes.

Para que o profissional da área eletroeletrônica possa “ler” o esquema, ele tem que saber reconhecer os símbolos e os modos de dispô-los dentro do esquema.

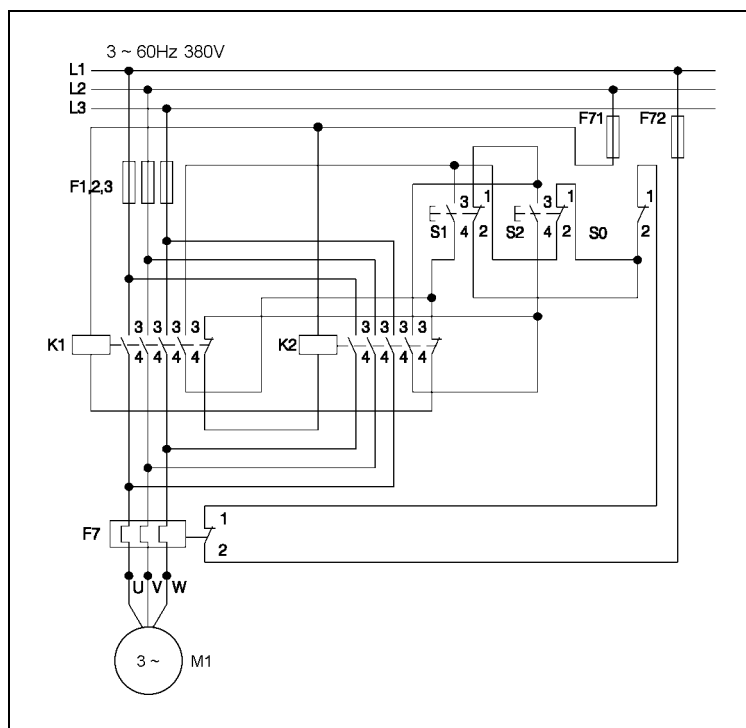
Essas informações estão padronizadas por normas técnicas que estabelecem a maneira pela qual devem ser elaborados os desenhos técnicos para a eletroeletrônica.

### Tipos de diagramas

Os diagramas podem ser:

- Multifilar completo (ou tradicional),
- Funcional, e
- De execução.

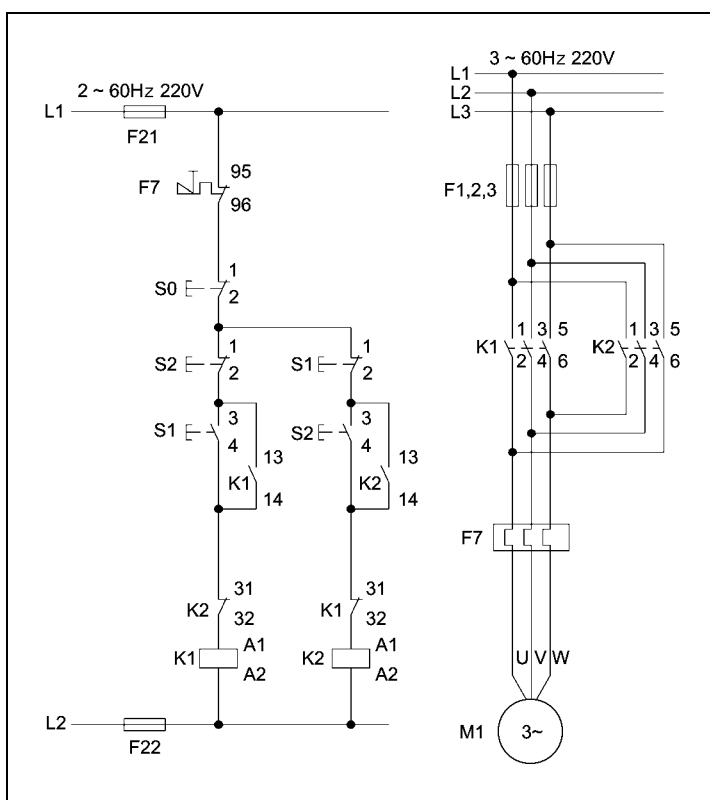
O diagrama multifilar completo (ou tradicional) representa o circuito elétrico da forma como é montado e no qual todos os elementos componentes e todas as ligações dos circuitos são representados por símbolos gráficos. Esse tipo de diagrama é difícil de ser interpretado e elaborado, principalmente quando os circuitos a serem representados são complexos. Veja exemplo a seguir.



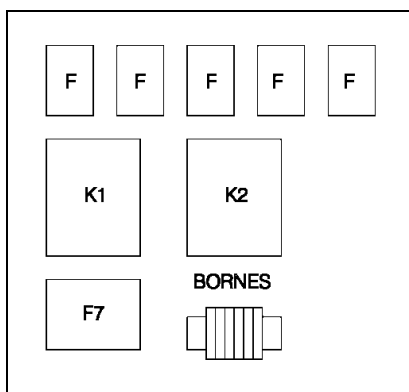


Em razão das dificuldades de interpretação desse tipo de diagrama, os três elementos básicos dos diagramas, ou seja, os caminhos da corrente, os elementos e suas funções e a seqüência funcional são separados em duas partes representadas por diagramas diferentes.

O diagrama simplificado no qual os aspectos básicos são representados de forma prática e de fácil compreensão é chamado de diagrama funcional. Veja exemplo na ilustração a seguir.



A representação, a identificação e a localização física dos elementos tornam-se facilmente compreensíveis com o diagrama de execução (ou de disposição) mostrado a seguir.



## Símbolos literais

De acordo com a norma NBR 5280 de abril de 1983, símbolos literais para elementos de circuitos são representações em forma de uma letra maiúscula inicial, podendo ser seguida por números, outras letras ou combinações alfanuméricas para particularizar cada elemento do circuito.

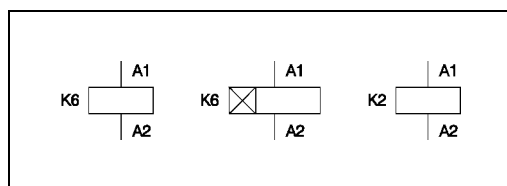
### Exemplos

- PVI - voltímetro para tensões de 0mV - 10mV
- PA3 - amperímetro para correntes de 0 mA - 100 mV
- R15 - resistor de 1 M  $\Omega$

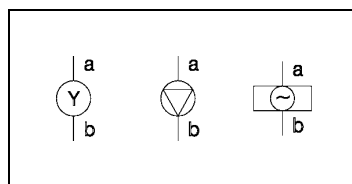
Os símbolos literais têm a função de facilitar a identificação dos elementos do circuito, ou seja, componentes, equipamentos, conjuntos, subconjuntos, quando relacionados em uma lista de materiais. Sua utilização ajuda na interpretação de esquemas e diagramas de circuitos. Eles são utilizados somente em projetos novos.

A seguir são apresentados alguns exemplos de representação e identificação de componentes.

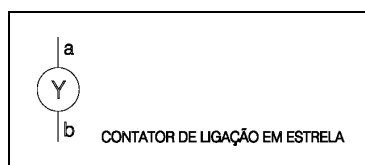
Identificação por letras e números:



Identificação por símbolos gráficos



Os retângulos ou círculos representam os componentes e as letras ou símbolos indicam um determinado contator e sua função no circuito.



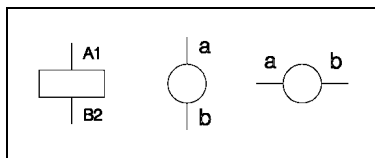
Quando o contator é identificado por meio de letras, sua função só é conhecida quando o diagrama de potência é analisado.

A seguir, está a tabela referente à norma da ABNT NBR 5280 que apresenta as letras maiúsculas iniciais para designar elementos do circuito.

Letra	Tipos de elementos	Exemplos
A	Conjuntos, subconjuntos	Amplificadores com válvulas ou transistores, amplificadores magnéticos laser, maser.
B	Transdutores de grandezas não-elétricas, pára-elétricas e vice-versa.	Sensores termoeletrônicos, células fotoelétricas, dinamômetros, transdutores a cristal, microfones, alto-falantes.
C	Capacitores	
D	Elementos binários, dispositivos de atraso, dispositivos de memória	Elementos combinatórios, linhas de atraso, elementos biestáveis, monoestáveis, núcleo de memória, fitas magnéticas de gravação.
E	Miscelânea.	Dispositivos luminosos, de aquecimento ou outros não especificados nesta tabela.
F	Dispositivos de proteção.	Fusíveis, pára-raios, dispositivos de descarga de sobre-tensão.
G	Geradores, fontes de alimentação	Geradores rotativos, conversores de frequência rotativos, baterias, fontes de alimentação, osciladores.
H	Dispositivos de sinalização	Indicadores óticos e acústicos.
K	Relés, contadores.	
L	Indutores.	
M	Motores	
P	Equipamento de medição e ensaio	Dispositivos de medição, integra-dores, indicadores, geradores de sinal, relógios.
Q	Dispositivos mecânicos de conexão para circuitos de potência.	Abridor, isolador.
R	Resistores	Resistores ajustáveis, potenciô-metros reostatos, derivadores ( <i>shunts</i> ), termistores.
S	Seletores, chaves	Chaves de controle, " <i>push buttons</i> " chaves limitadoras, chaves seletoras, seletores.
T	Transformadores	Transformadores de tensão, de corrente.
U	Moduladores	Discriminadores, demoduladores, codificadores, inversores, conversores.
V	Válvulas, semicondutores.	Válvulas, tubos de descarga de gás, diodos, transistores, tiristores
W	Elemento de transmissão, guias de onda, antenas.	" <i>Jumpers</i> ", cabos, guias de onda, acopladores direcionais, dipolos, antenas parabólicas.
X	Terminais, plugues, soquetes.	Tomadas macho e fêmea, pontos de prova, quadro de terminais, barra de terminais.
Y	Dispositivos mecânicos operados eletricamente	Válvulas pneumáticas, freios, em-breagens.
Z	Transformadores híbridos, equalizadores, limitadores, cargas de terminação	Filtros a cristal, circuitos de balan-ceamento, compressores expanso- sores (" <i>compandors</i> ").

### Identificação de bornes de bobinas e contatos

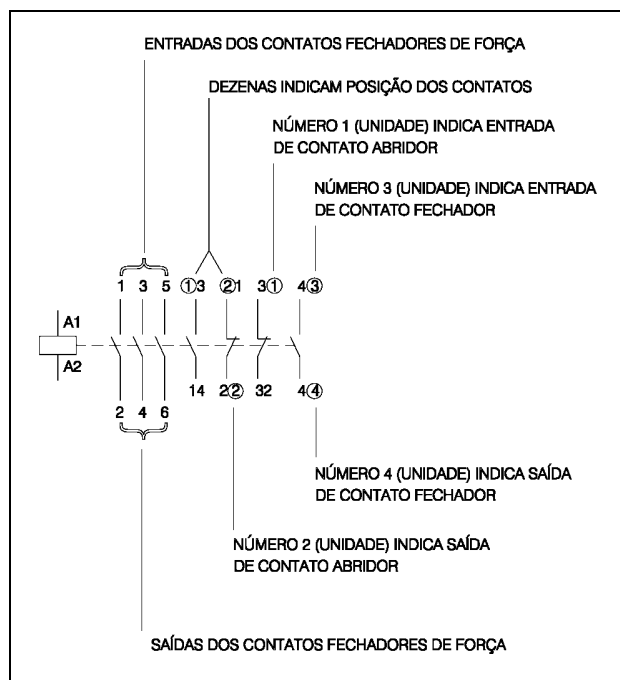
As bobinas têm os bornes indicados pelas letras a e b, como mostram os exemplos a seguir.



Nos contatores e relés, os contatos são identificados por números que indicam:

- Função - contatos abridores e fechadores do circuito de força ou de comando; contatos de relés temporizados ou relés térmicos;
- Posição - entrada ou saída e a posição física dos contatores. Nos diagramas funcionais, essa indicação é acompanhada da indicação do contator ou elemento correspondente.

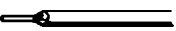

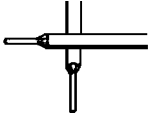
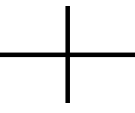
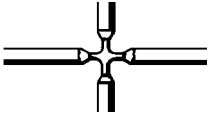
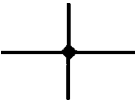

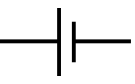
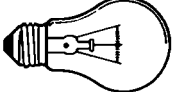



No esquema a seguir são mostradas as identificações de função e posição dos contatos.



### Simbologia dos componentes de um circuito

Por facilitar a elaboração de esquemas ou diagramas elétricos, criou-se uma simbologia para representar graficamente cada componente num circuito elétrico.

A tabela a seguir mostra alguns símbolos utilizados e os respectivos componentes.

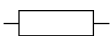

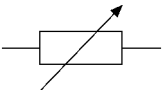
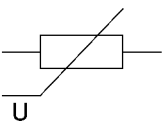
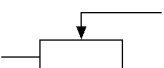
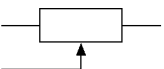

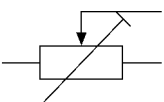
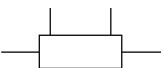
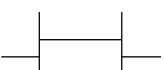
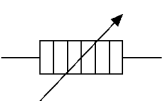
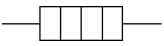
Designação	Figura	Símbolo
Condutor		
Cruzamento sem conexão		
Cruzamento com conexão		
Fonte, gerador ou bateria		
Lâmpada		
Interruptor		

### Símbolos gráficos de componentes passivos

Outro grupo de símbolos importantes para a desenho, leitura e interpretação de esquemas elétricos, é o grupo referente aos componentes passivos (resistores, capacitores, indutores, etc.) contido na NBR 12521/91

As tabelas a seguir apresentam os símbolos para resistores, capacitores e indutores.




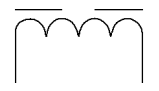
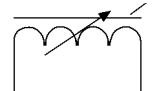

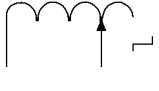

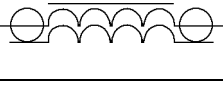

## Resistores

Símbolo	Descrição
<p>Forma preferida </p> <p>Outra forma </p>	Resistor, símbolo geral
	Resistor variável
	Resistor dependente da tensão Varistor (Resistor com variabilidade intrínseca, não linear, dependente de tensão) Nota: U pode ser substituído por V
	Resistor a contato móvel
	Resistor a contato móvel com posição de desligamento
	Potenciômetro a contato móvel
	Potenciômetro com ajuste predeterminado
	Resistor com derivações fixas, duas derivações mostradas
	Resistor utilizado como derivador ( <i>shunt</i> ) Resistor com terminais de corrente e tensão separados
	Resistor variável a disco de carbono
	Elemento de aquecimento

## Capacitores

Símbolo		
Forma preferida	Outra forma	
		Capacitor, símbolo geral  <b>Nota</b> Se necessário, para identificar os eletrodos do capacitor, o elemento curvo deve representar: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eletrodo externo, em capacitores de dielétrico cerâmico e de dielétrico de papel fixo</li> <li>• A armadura móvel, em capacitores variáveis a ajustáveis</li> <li>• Elemento de baixo potencial, em capacitores de passagem</li> </ul>
		Capacitor de passagem
		Capacitor polarizado, por exemplo, eletrolítico
		Capacitor variável
		Capacitor com ajuste predeterminado
		Capacitor diferencial variável
		Capacitor variável a dupla armadura móvel
<b>Símbolo</b>		
		Capacitor polarizado variável não linear, dependente da temperatura, quando usa deliberadamente essa característica, por exemplo decapitor cerâmico.
		Capacitor polarizado variável não linear, dependente da tensão, quando usa deliberadamente essa característica, por exemplo: capacitor semiconductor  <b>Nota</b> U pode ser substituído por V







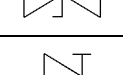


## Indutores

Símbolo	Descrição
<p>Forma preferida</p>  <p>Outra forma</p>  	<p>Indutor Bobina Enrolamento</p> <p><b>Notas</b></p> <p>a. Para enrolamentos de transformadores ver a SB-110.</p> <p>b. Se desejado indicar que o indutor tem um núcleo magnético, uma linha deve ser traçada sobre o símbolo. A linha pode conter uma indicação complementar se o núcleo for não-magnético e pode ser interrompido para indicar um entreferro.</p>
	Indutor com entreferro em seu núcleo magnético
	Indutor variável continuamente, mostrado com núcleo magnético
	Indutor com duas derivações
	Indutor com contato móvel, variação em escalões
	Variômetro (variometer)
	Cabo coaxial com núcleo magnético
	Pérola de ferrite, representada num condutor



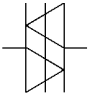







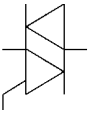




As tabelas a seguir apresentam alguns símbolos gráficos de semicondutores segundo a NBR 12526/1992.

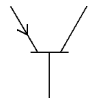

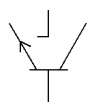
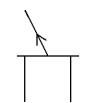
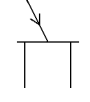

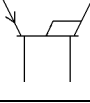

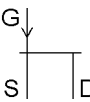
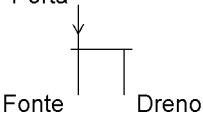
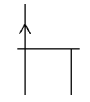
### Diodos semicondutores

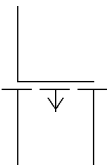
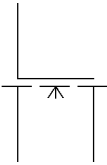
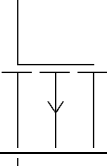
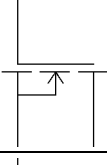
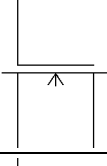
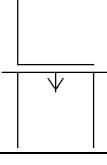
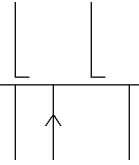
Símbolo	Descrição
	Diodo semicondutor, símbolo geral
	Diodo emissor de luz, símbolo geral
	Diodo dependente da temperatura Nota: $\theta$ pode ser substituído por $t^\circ$
	Diodo usado como dispositivo capacitivo (varactor ou varicap)
	Diodo túnel
	Diodo de avalanche, ou Zener, unidirecional (diodo regulador de tensão)
	Diodo de avalanche, ou Zener, bidirecional
	Diodo unitúnel
	Diodo bidirecional (varistor) Diac

## Tiristores

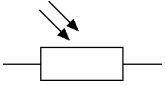

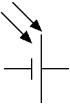

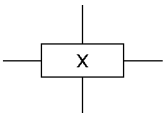
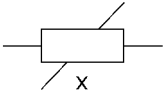
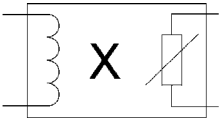
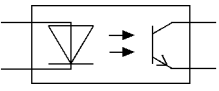
Símbolo	Descrição
	Tiristor diodo de bloqueio inverso
	Tiristor diodo de condução inversa
	Tiristor diodo bidirecional
	Tiristor triodo, tipo não especificado  <b>Nota</b> Este símbolo é usado para representar um tiristor triodo de bloqueio inverso, se não for necessário especificar o tipo da porta.
	Tiristor triodo de bloqueio inverso, porta N (anodo controlado)
	Tiristor triodo de bloqueio inverso, porta P (catodo controlado)
	Tiristor triodo bloqueável, porta não especificada
	Tiristor triodo bloqueável pela porta N (anodo controlado)
	Tiristor triodo bloqueável pela porta P (catodo controlado)
	Tiristor tetraodo de bloqueio inverso
	Tiristor triodo bidirecional (Triac)
	Tiristor triodo de condução inversa, porta não especificada
	Tiristor triodo de condução inversa, porta N (anodo controlado)

**Exemplos de transistores**

Símbolo	Descrição
	Transistor PNP
	Transistor NPN com coletor conectado à envoltória
	Transistor NPN de avalanche
	Transistor de unijunção, com base tipo P
	Transistor de unijunção, com base tipo N
	Transistor NPN, com base polarizada transversalmente
	Transistor PNIP, com conexão à região intrínseca
	Transistor PNIN, com conexão à região intrínseca
	<p>Transistor de efeito de campo de junção, com canal tipo N</p> <p><b>Nota</b> As conexões da porta e da fonte devem estar alinhadas.</p> 
	Transistor de efeito de campo de junção, com canal tipo P

	<p>Transistor de efeito de campo à porta isolada (IGFET), tipo a enriquecimento, uma porta, com canal tipo P, sem conexão ao substrato</p> <p>Nota: Para um exemplo com múltiplas portas, ver símbolo 2.5.17.</p>
	<p>Transistor de efeito de campo à porta isolada (IGFET), tipo a enriquecimento, uma porta, com canal tipo N, sem conexão ao substrato</p>
	<p>Transistor de efeito de campo, porta isolada, tipo a enriquecimento, uma porta, com canal tipo P, com substrato conectado separadamente (IGFET)</p>
	<p>Transistor de efeito de campo, porta isolada, tipo a enriquecimento, uma porta, com canal tipo N, com substrato conectado internamente à fonte (IGFET)</p>
	<p>Transistor de efeito de campo, porta isolada, tipo à depleção, uma porta, com canal tipo N, sem conexão ao substrato (IGFET)</p>
	<p>Transistor de efeito de campo, porta isolada, tipo à depleção, uma porta, com canal tipo P, sem conexão ao substrato (IGFET)</p>
	<p>Transistor de efeito de campo, duas portas isoladas, tipo à depleção, com canal tipo N, com substrato conectado separadamente</p> <p><b>Nota</b> No caso de múltiplas portas, a conexão da porta primária e da fonte deve estar alinhada.</p>

### Dispositivos fotossensíveis e magnetossensíveis

Símbolo	Descrição
	Resistor dependente da luz Célula fotocondutora com condutividade simétrica
	Fotodiodo Célula fotocondutora com condutividade assimétrica
	Célula fotovoltaica
	Fototransistor PNP
	Gerador Hall, com quatro conexões
	Magnetorresistor, tipo linear
	Dispositivo de acoplamento magnético Isolador magnético
	Dispositivo de acoplamento ótico Isolador ótico com diodo emissor de luz e fototransistor



# Reversão de rotação de motores trifásicos

Quando há necessidade de controlar o movimento de avanço ou retrocesso de um dispositivo motorizado de uma máquina, empregam-se contatores comandados por botões e por chaves fim de curso.

A reversão é feita pela inversão das fases de alimentação. Esse trabalho é realizado por dois contatores comandados por dois botões cujo acionamento fornece rotações nos sentidos horário e anti-horário.

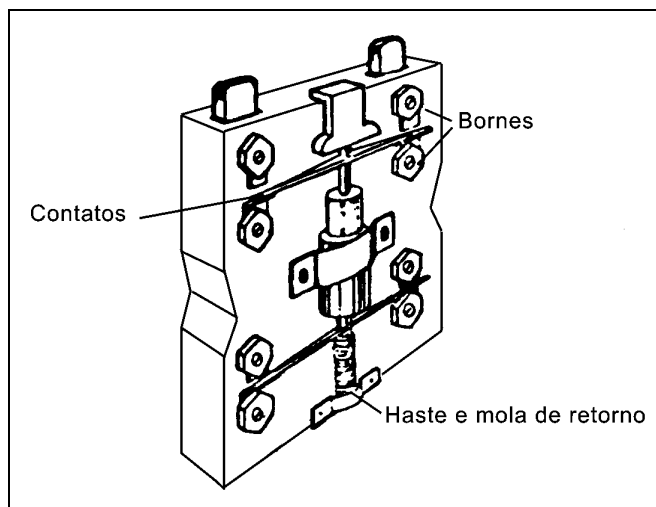
Para aprender esse conteúdo com mais facilidade, você deve ter conhecimentos anteriores relativos a contatores.

## **Chaves auxiliares tipo fim de curso**

Para estudar a reversão de rotação de motores trifásicos, estudaremos inicialmente as chaves tipo fim de curso.

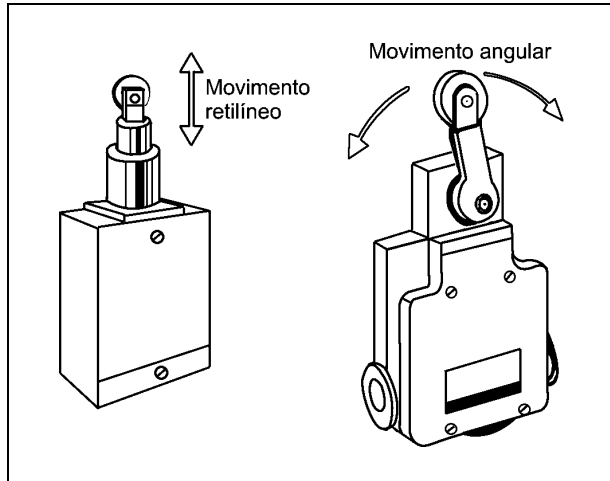
Essas chaves são dispositivos auxiliares de comando usadas para comandar contatores, válvulas solenóides e circuitos de sinalização.

São constituídas por uma alavanca ou haste, com ou sem roldanas na extremidade, cuja função é transmitir movimento aos contatos a fim de abri-los ou fechá-los.



Essas chaves podem ser: mecânica; de precisão e eletromagnética.

A chave fim de curso mecânica depende de uma ação mecânica para acionar seus contatos. Seu movimento pode ser retilíneo ou angular.

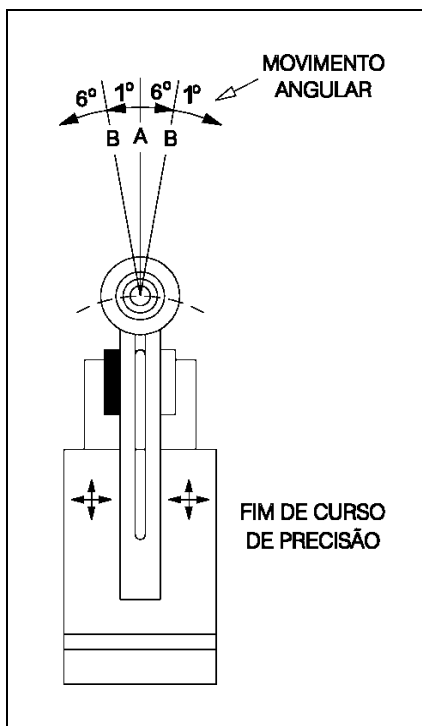


Elas são usadas para:

- Controle
  - aceleração de movimentos; determinação de pontos de parada de elevadores; produção de seqüência e controle de operação; sinalização;
- Comando
  - inversão de curso ou sentido de rotação; parada;
- Segurança
  - paradas de emergência, alarme e sinalização.



A chave fim de curso de precisão atua com um mínimo de movimento: mais ou menos 0,5mm de curso de haste ou 6° de deslocamento angular de alavanca.



### Observação

Existe uma chave fim de curso de manobra rápida, cuja haste ou alavanca tem movimento lento, mas cujo disparo do contato é rápido, já que acionado por mola de disparo.

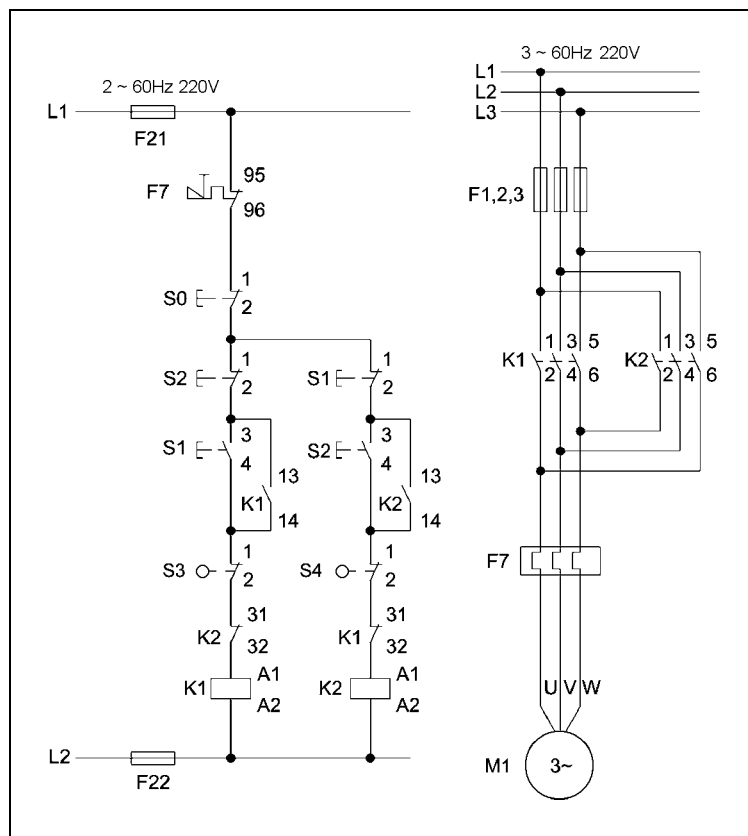
A chave fim de curso eletromagnética funciona por indução eletromagnética, ou seja, uma bobina atravessando o campo magnético recebe a indução de uma corrente elétrica que aciona os contatos através de um relé.

### Observação

Para mais informações sobre essa chave, consulte o manual do fabricante.

## Reversão de rotação de motor trifásico

O circuito que realiza essa operação é mostrado a seguir.



Na condição inicial,  $K_1$  e  $K_2$  estão desligados e RST estão sob tensão.

Ao pulsar o botão conjugado  $S_1$ , a bobina do contator  $K_1$  é alimentada. Isso provoca o fechamento do contato de selo (que mantém a bobina energizada) e dos contatos principais.

O acionamento do motor em um sentido movimenta uma parte da máquina até que esta atinja o limite da chave de fim de curso, acionando o contato  $S_3$  e desligando a bobina  $K_1$ .

Quando a bobina é desenergizada, os contatos principais se abrem, cortando a alimentação do motor.

Para reverter o sentido do movimento do motor temos, na condição inicial,  $K_1$  ligado e  $K_2$  desligado.

Ao pulsar o botão conjugado  $S_2$ , o seu contato fechado se abre e interrompe a alimentação de  $K_1$ . Isso permite a energização de  $K_2$ . O contato fechado de  $s_2$ , por sua vez, alimenta a bobina de  $K_2$  fechando o contato de selo  $S_2$  que mantém a bobina energizada.

Com a bobina energizada, ocorrerá o fechamento dos contatos principais. Como consequência, o motor e o dispositivo de máquina são acionados até que seja atingido o limite do fim de curso.

Quando a chave fim de curso é atingida,  $S_4$  se abre e desliga a bobina  $K_2$ . Com isso, os contatos principais se abrem e cortam a alimentação do motor.

### **Observação**

Quando o motor está em movimento, ao pulsar o botão  $S_0$ , interrompe-se seu movimento em qualquer ponto do percurso. A retomada do movimento é possível em qualquer sentido pois isso depende apenas do botão que for acionado ( $S_1$  ou  $S_2$ ).



# Sistemas de partida de motores trifásicos

Os motores trifásicos podem fazer uso de diversos sistemas de partida. A escolha de cada um depende das condições exigidas pela rede, das características da carga e da potência do motor.

Para iniciar o estudo dos comandos das máquinas elétricas, veremos neste capítulo os tipos e os sistemas de partida para motores trifásicos.

Para isso, é necessário que você domine os conceitos sobre corrente alternada, transformadores e ligações estrela e triângulo.

## **Conjugado ou momento**

Conjugado, ou momento, é o conjunto de forças (binário) produzido pelo eixo do rotor que provoca o movimento de rotação.

O conjugado não é constante do momento da partida até que a velocidade nominal seja alcançada. Essa variação chama-se curva de conjugado, cujos valores são expressos em porcentagem em relação ao conjugado nominal, ou seja, com relação ao conjugado na velocidade a plena carga.

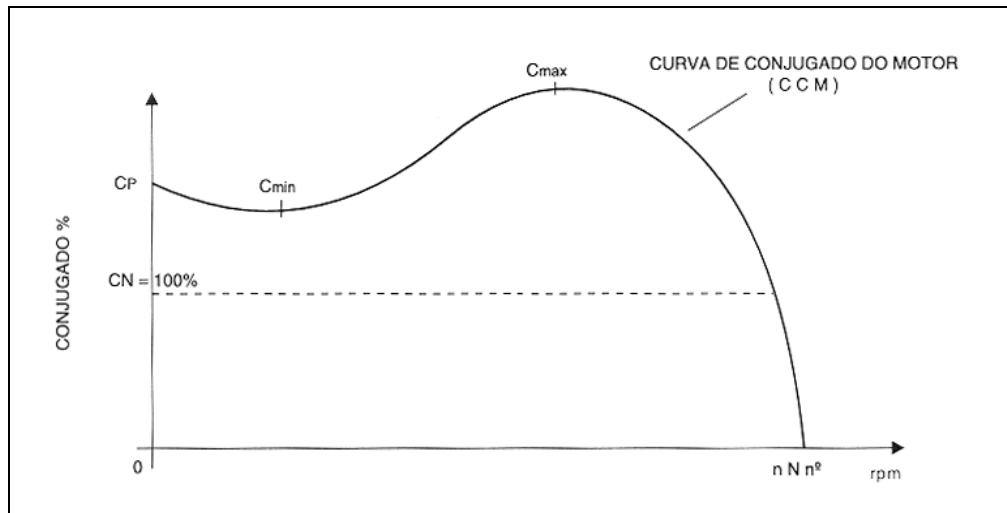
Cada motor tem sua própria curva de conjugado. Essa curva varia com a potência e a velocidade do motor. Assim, em motores de velocidade e potência iguais, mas de fabricantes diferentes, geralmente a curva do conjugado é diferente.

O conjugado pode ser calculado pela fórmula:

$$M = 9,55 \cdot \frac{P(w)}{n} \text{ (em newton/ metro)}$$

Nessa igualdade, M é o momento ou conjugado; P é a potência; n é a rotação.

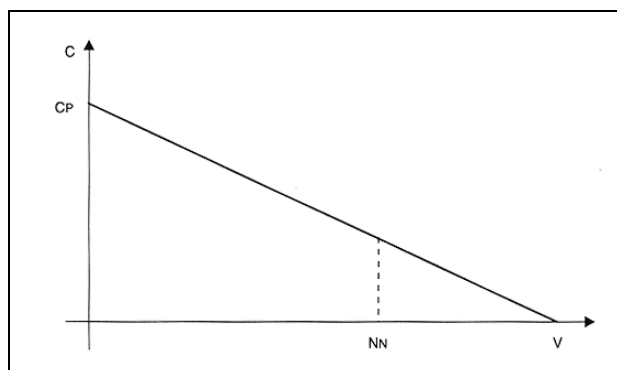
A curva típica do conjugado motor (CCM) é mostrado a seguir.



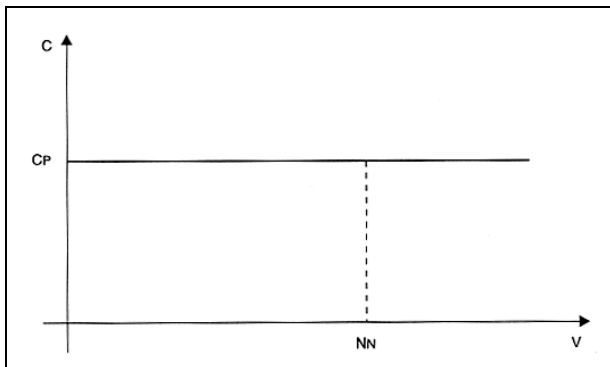
Para a carga, temos a curva do conjugado resistente (CCR), que varia segundo o tipo de carga.

Veja a seguir as curvas do conjugado resistente para alguns tipos de carga:

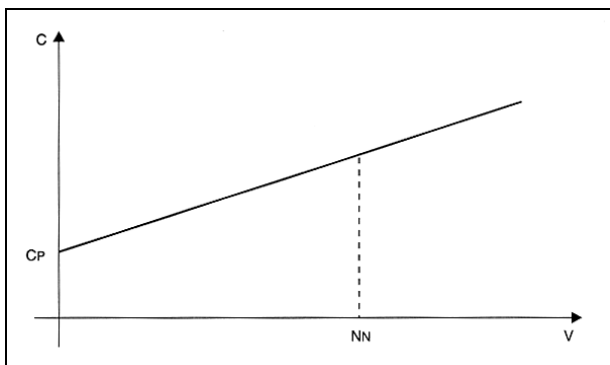
- Conjugado resistente diminui com o aumento da velocidade



- Conjugado resistente se mantém constante com o aumento da velocidade

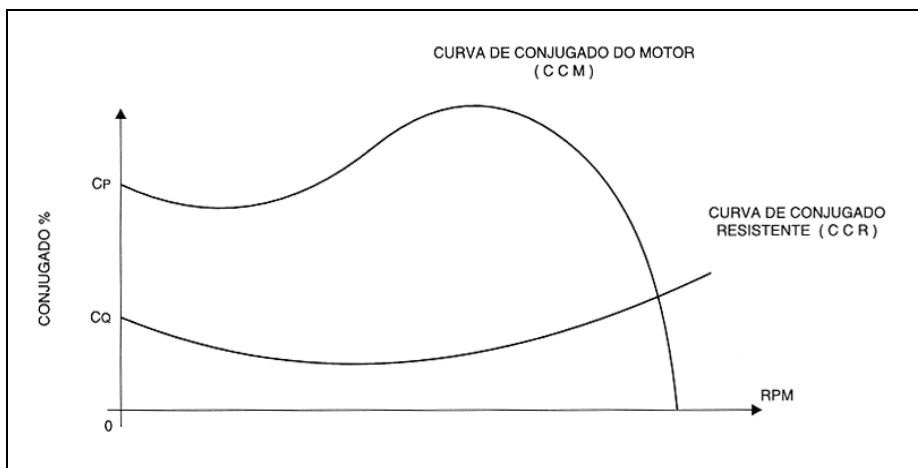


- Conjugado resistente aumenta com o aumento da velocidade



A curva do conjugado motor (CCM) deve situar-se sempre acima da curva do conjugado resistente (CCR), para garantir a partida do motor e sua aceleração até a velocidade nominal.

De modo geral, quanto mais alta a curva do conjugado do motor em relação ao conjugado resistente, melhor será o desempenho do motor.



## Tipos de partida

Os motores podem ser submetidos à partida direta ou a diversas modalidades de partida indireta que fornecerão curvas de conjugados diferentes.

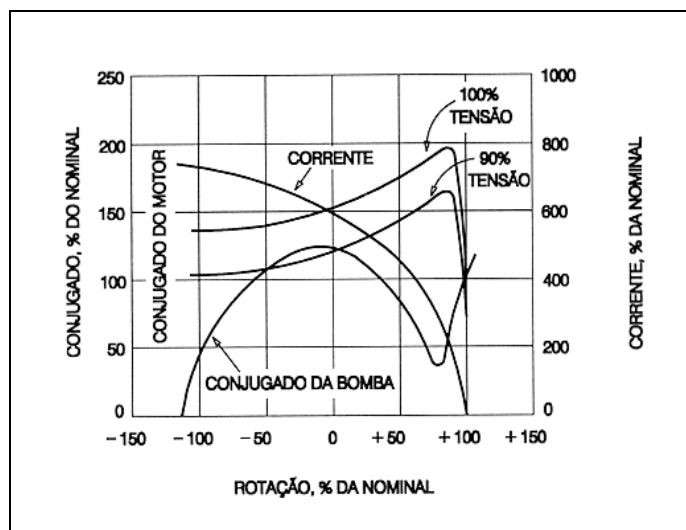
Assim, podemos escolher um tipo de partida mais adequado à curva do conjugado da máquina, diminuindo a corrente de partida do motor.

### Partida direta

A partida direta é realizada por meio de chaves de partida direta ou de contatores e se presta a motores trifásicos de rotor tipo gaiola.

Nesse tipo de partida a plena tensão, o motor pode partir a plena carga e com corrente se elevando de cinco a seis vezes o valor da corrente nominal, conforme o tipo ou número de pólos do motor.

O gráfico a seguir mostra a relação entre a rotação e o conjugado e a corrente. A curva a mostra que a corrente de partida é seis vezes o valor da corrente nominal. A curva b mostra que o conjugado na partida atinge aproximadamente 1,5 vezes o valor do conjugado nominal.



Para cargas diferentes, as curvas características do motor permanecem constantes, pois a carga não exerce influência no comportamento do motor. A influência da carga se limita ao tempo de aceleração do motor. Assim, se a carga colocada no eixo do motor for grande, ele levará mais tempo para alcançar a velocidade nominal.



O motor não atinge a rotação em duas situações:

- Conjugado de partida do motor é menor que o conjugado de partida de carga;
- Conjugado mínimo do motor é menor que o conjugado da carga na velocidade nominal;

Se uma situação dessas ocorrer, o motor terá o rotor travado e poderá ser danificado se as altas correntes que circulam em seu enrolamento não forem eliminadas.

### **Desvantagens da partida direta**

A utilização da partida direta apresenta as seguintes desvantagens:

- Aquecimento nos condutores da rede devido aos picos de corrente;
- Elevada queda de tensão no sistema de alimentação da rede, o que provoca interferência em equipamentos instalados no sistema;
- Custo elevado devido à necessidade de superdimensionamento do sistema de proteção (cabos e condutores).

### **Partida indireta**

Quando não é possível o emprego da partida direta, deve-se usar a partida indireta, cuja finalidade é reduzir o pico de corrente na partida do motor.

A redução do pico de corrente somente é possível se a tensão de alimentação do motor for reduzida, ou se for alterada a característica do motor, mudando as ligações dos seus terminais.

A queda da corrente de partida é diretamente proporcional à queda de tensão. E a queda do conjugado é diretamente proporcional ao quadrado da relação entre a tensão aplicada e a tensão nominal.

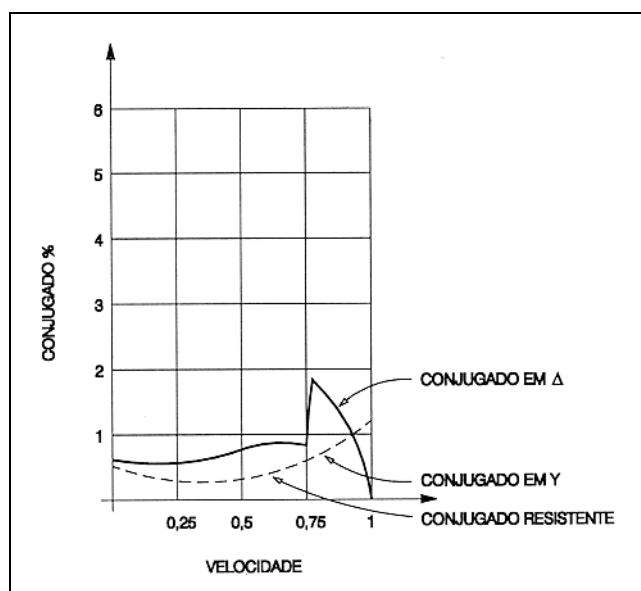
### **Partida por ligação estrela-triângulo**

A partida por ligação estrela-triângulo é um tipo de partida indireta. É usada quando a curva do conjugado do motor é suficientemente elevada para poder garantir a aceleração da máquina com a corrente reduzida. Isso acontece nos motores para serras circulares, torno ou compressores que devem partir com válvulas abertas.

Além disso, é necessário que o motor tenha a possibilidade de ligação em dupla tensão (220/380V, 380/660V, ou 440/760V) e que tenha, no mínimo, seis bornes de ligação.

O motor parte em dois estágios. No primeiro estágio, ele está ligado em estrela e pronto para receber uma tensão  $\sqrt{3}$  vezes maior que a tensão da rede. Com isso, a corrente que circulará nos enrolamentos será três vezes menor, ou seja, será 1/3 da corrente para a ligação triângulo (2º estágio).

Veja figura abaixo.



Assim, o conjugado e a corrente de partida serão, também, reduzidos a 1/3 do valor.

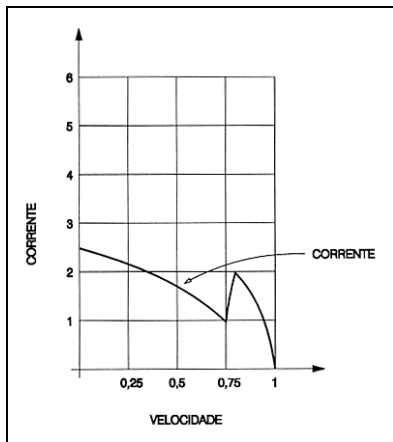
### Observação

Como a curva do conjugado reduz-se a 1/3 do valor, sempre que se usar esse tipo de partida, deve-se empregar um motor com curva de conjugado elevada.

No segundo estágio, o motor é ligado em triângulo. Isso acontece quando a rotação atinge cerca de 80% da rotação nominal.

Essa comutação leva a um segundo pico de corrente, mas de pouca intensidade, já que o motor está girando.

Dessa forma, o motor parte em dois pequenos picos de corrente, ao invés de um pico de grande intensidade como na partida direta.



### Vantagens da partida estrela-triângulo

As vantagens da partida estrela-triângulo são:

- Custo reduzido;
- Ilimitado número de manobras;
- Componentes de tamanho compacto;
- Redução da corrente de partida para aproximadamente 1/3 da corrente de partida da ligação triângulo.

### Desvantagens

As desvantagens da partida estrela-triângulo são:

- Necessidade da existência de seis bornes ou terminais acessíveis para a ligação da chave;
- Necessidade de coincidência da tensão da rede com a tensão em triângulo do motor;
- Redução do momento de partida para 1/3 como consequência da redução da corrente de partida para 1/3;
- Pico de corrente na comutação quase correspondente a uma partida direta caso o motor não atinja pelo menos 85% de sua velocidade nominal. Como consequência, aparecem problemas nos contatos dos contatores bem como na rede elétrica.

Em geral, esse tipo de partida só pode ser empregado em partidas de máquinas em vazio, ou seja, sem carga. Somente depois de o motor atingir 95% da rotação, a carga poderá ser ligada.

### Partida por autotransformador

Esse sistema de partida é usado para dar partida em motores sob carga, como por exemplo, motores para calandras, bombas, britadores.

Ele reduz a corrente de partida e, por isso, evita a sobrecarga na rede de alimentação, embora deixe o motor com um conjugado suficiente para a partida e a aceleração.

A partida efetua-se em dois estágios. No primeiro, a alimentação do motor é feita sob tensão reduzida por meio do autotransformador.

Na partida, o pico de corrente e o conjugado são reduzidos proporcionalmente ao quadrado da relação de transformação. Conforme o "tap" do transformador, esta relação de transformação pode ser 65 ou 85%.

Desse modo, o conjugado do motor atinge, ainda no primeiro estágio, maior velocidade do que a atingida no sistema de ligação estrela-triângulo.

No segundo estágio, decorrido o tempo inicial da partida, o ponto neutro do autotransformador é aberto, o motor é ligado sob plena tensão, retomando suas características nominais.

A tensão no motor é reduzida através dos "taps" de 65% ou de 80% do autotransformador.

No "tap" de 65%, a corrente de linha é aproximadamente igual à do sistema de partida estrela-triângulo. Entretanto, na passagem da tensão reduzida para a plena tensão, o motor não é desligado.

O segundo pico de corrente é bastante reduzido porque o autotransformador, por um curto período de tempo, se torna uma reatância ligada em série com o motor.

Ao utilizar um autotransformador para um motor ligado a uma rede 220V e que absorva 100A, observamos que:

- Se o autotransformador for ligado no "tap" de 65%, a tensão aplicada nos bornes do motor será de:  $0,65 \cdot 220 = 143V$ ;
- Com a tensão reduzida em 65%, a corrente nos bornes do motor também será reduzida de 65%, e será de:  $0,65 \cdot 100A = 65 A$ ;
- Como o produto da tensão pela corrente na entrada do autotransformador é igual ao produto da tensão pela corrente na saída, a corrente na rede será de 42,25A, conforme é demonstrado a seguir:

$$220V \cdot I_E = 143V \cdot 65A$$

$$I_E = \frac{143V \cdot 65A}{220V} = 42,25A$$

- Conjugado no "tap" de 65% será então de 42%, ou seja:

$$M = V^2$$

$$M = 0,65 \cdot 0,65 = 0,42$$

Calculando da mesma maneira, encontraremos que o conjugado no "tap" de 80% será de aproximadamente 64% do conjugado nominal, ou seja:  $M = 0,80 \cdot 0,80 = 0,64$

Vantagens da partida com autotransformador - As vantagens desse tipo de partida são:

- Corrente de linha semelhante à da partida estrela-triângulo no "tap" de 65%;
- Possibilidade de variação do "tap" de 65% para 80% ou até 90% da tensão da rede.

### Desvantagens

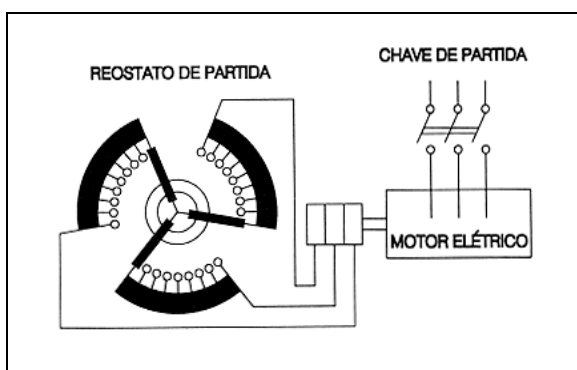
As desvantagens desse sistema de partida são as seguintes:

- Limitação da frequência de manobra;
- Custo mais elevado quando comparado ao da partida estrela-triângulo;
- Necessidade de quadros maiores devido ao tamanho do autotransformador.

### Partida por resistência rotórica

A partida por resistência rotórica (ou partida do motor com rotor bobinado e reostato) pode ser feita, conforme o caso, em dois, três, quatro ou mais estágios.

Em cada um desses casos, a partida é feita por diminuição sucessiva de resistências previamente inseridas no circuito do rotor, enquanto o estator permanece sob tensão plena. Isso é feito por meio de um reostato externo conectado ao circuito rotórico por meio de um conjunto de escovas e anéis deslizantes.



O pico de corrente e o conjugado de partida são reguláveis em função do número de estágios, ou à medida que a resistência do reostato diminui.

Esse sistema de partida é o que apresenta melhor resultado, pois permite adaptar o conjugado durante a partida e os picos de corrente correspondentes às necessidades da instalação.

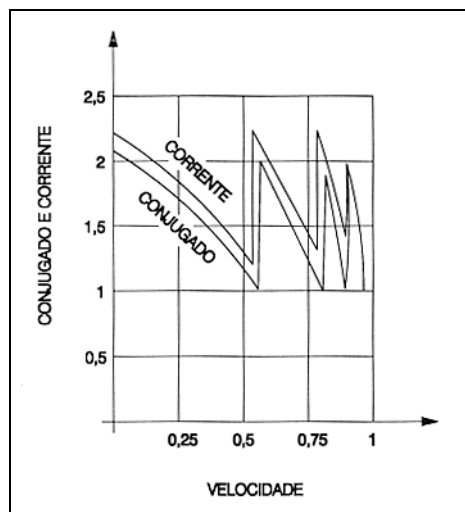
Durante a partida, a resistência rotórica adicional é mantida no circuito para diminuir a corrente de partida e aumentar os conjugados.

A resistência externa pode ser regulada de forma que o conjugado de partida seja igual ou próximo do valor do conjugado máximo.

À medida que a velocidade do motor aumenta, a resistência externa é reduzida gradualmente.

Quando o motor atinge a velocidade nominal, a resistência externa é totalmente retirada do circuito, o enrolamento rotórico é curto-circuitado e o motor passa a funcionar como um motor de gaiola.

O gráfico a seguir mostra os picos de corrente para uma partida de motor com rotor bobinado em quatro estágios.



### Partida de motores síncronos trifásicos

Os rotores dos motores síncronos podem ser construídos apenas com o enrolamento em que será aplicada a corrente contínua.

Neste caso, o motor não é dotado de partida. Para funcionar, necessita ser impulsionado até a velocidade próxima à do sincronismo, ou seja, até o momento em que o estator seja ligado à rede e que seja aplicada corrente contínua ao rotor.

# Partida de motor trifásico estrela-triângulo

Nesta unidade, estudaremos o sistema de partida para motor trifásico com comutação automática estrela-triângulo com contatores e com relé de proteção conjugado a um transformador de corrente.

## Partida de motor trifásico

Este sistema permite a comutação da ligação estrela para triângulo. Possibilita também a inversão do sentido de rotação do motor.

A partida é feita por meio de três contatores comandados por botões. O sistema é usado para reduzir a tensão de fase do motor durante a partida.

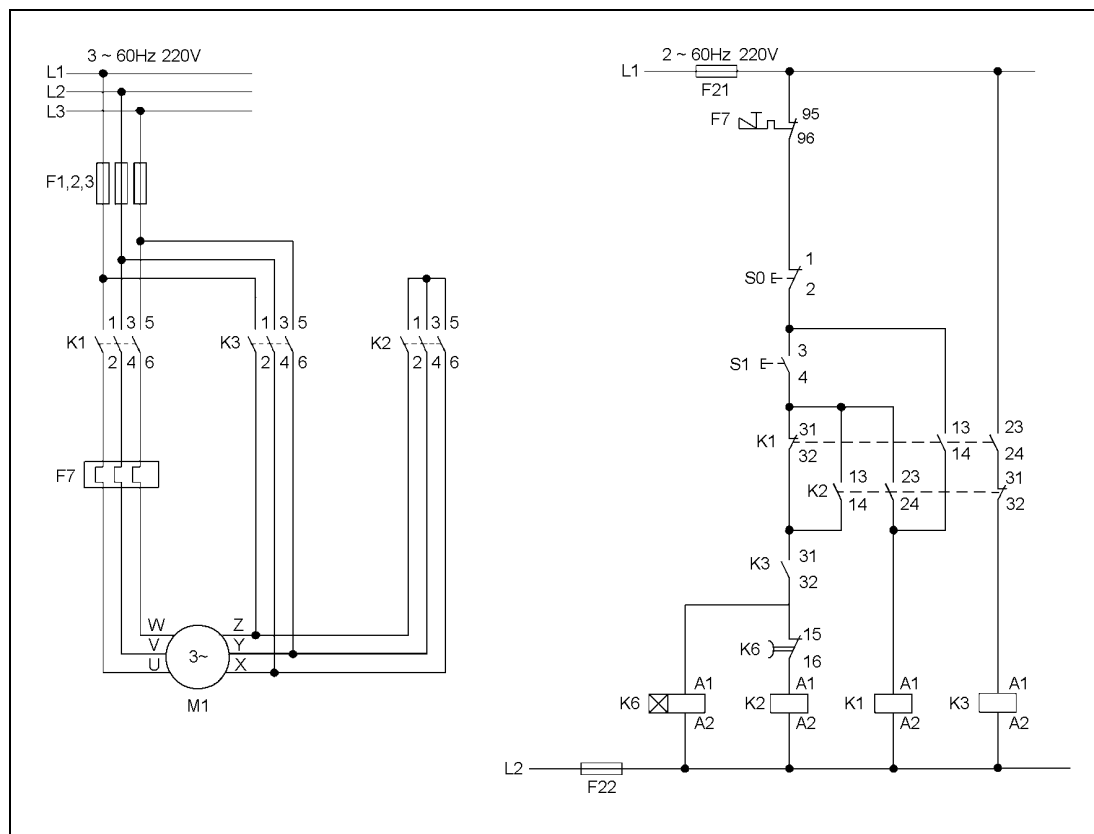
## Observação

A tensão de fase do motor é:

$$U_F = \frac{U_L}{3} = 0,58U_L$$

## Seqüência operacional

Observe a seguir os diagramas referentes ao circuito principal e ao circuito de comando.



Na condição inicial de partida do motor (em estrela),  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  estão desligados e a rede RST está sob tensão.

Pulsando-se o botão  $b_1$ , a bobina do contator  $C_2$  e o relé temporizado  $d_1$  serão alimentados, fechando os contatos de selo e o fechador de  $C_2$ , que mantêm energizadas as bobinas dos contatores  $C_1$  e  $C_2$  e o relé  $d_1$ .

Uma vez energizadas as bobinas de  $C_2$  e  $C_1$ , fecham-se os contatos principais e o motor é acionado na ligação estrela.

Decorrido o tempo para o qual o relé temporizado foi ajustado, este atua fazendo com que o contato abridor de  $d_1$  se desligue, desenergizando a bobina de  $C_2$  e abrindo seus contatos principais.

Com a bobina  $C_2$  desenergizada, o contato abridor  $C_2$  é acionado, energizando a bobina  $C_3$ , que acionará o motor na ligação triângulo.



### Parada do motor

Para parar o motor que está funcionando em triângulo, aciona-se o botão  $b_0$ , interrompendo a energização da bobina  $C_1$ . Este abrirá os contatos  $C_1$  (13 - 14) e  $C_1$  (23 - 24), interrompendo a corrente da bobina  $C_3$ . Com isso, o motor está desenergizado.

### Segurança do sistema

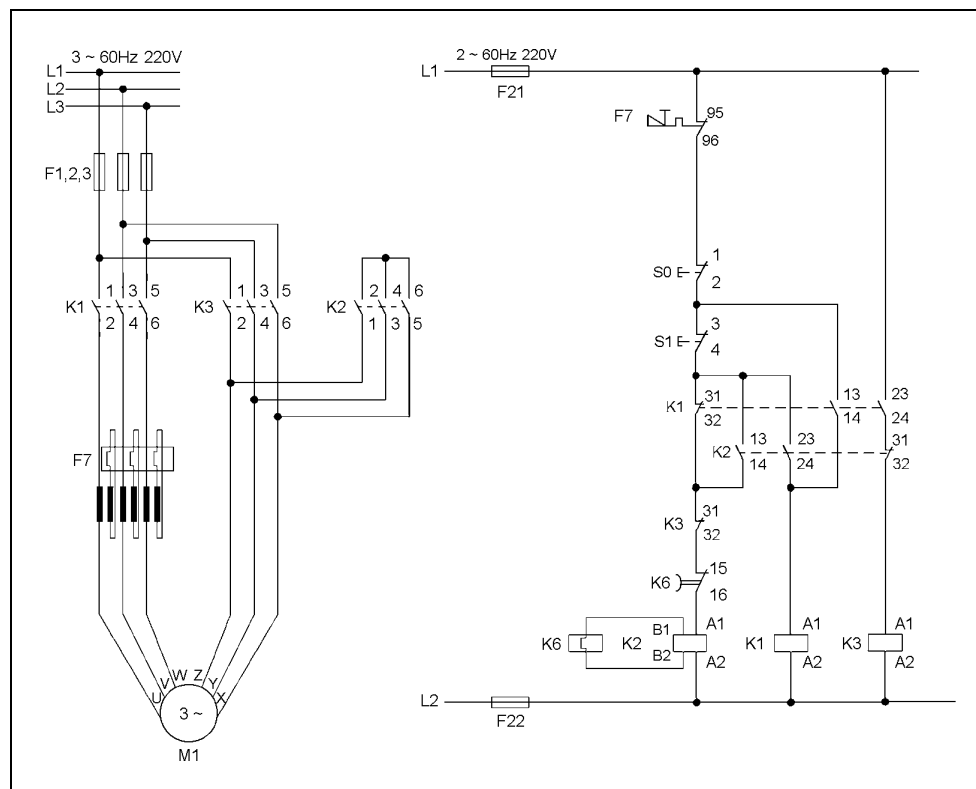
Na ligação triângulo, quando o motor está em movimento, o contato  $C_3$  (31 - 32) fica aberto e impede a energização acidental da bobina  $C_2$ .

### Partida com relé de proteção e transformador de corrente

Esse sistema permite a partida do motor com tensão de fase e corrente de partida reduzidas.

O uso de transformadores de corrente possibilita o emprego de relés de pequena capacidade de corrente para motores de grande potência, porque ele reduz a corrente de linha.

Os esquemas a seguir mostram o circuito principal e o circuito de comando desse sistema.



Para a partida, pulsa-se o botão  $b_1$  que energiza  $C_2$ . Este alimenta  $d_1$  e permite a energização de  $C_1$ .

O motor parte com rotação reduzida (ligação em estrela), e  $C_1$  e  $C_2$  ligados.

Decorrido o tempo de ajuste do relé temporizado,  $d_1$  dispara, desligando  $C_2$  e energizando  $C_3$ .

O motor está ligado a plena tensão e velocidade normal (ligação em triângulo), com  $C_1$  e  $C_3$  ligados.

# Partida de motor trifásico tipo Dahlander

Neste capítulo veremos que há duas maneiras de se fazer a reversão de motor trifásico tipo Dahlander: por comutação automática e por botões.

Para aprender esse conteúdo com facilidade, você deverá ter conhecimentos anteriores sobre ligação de motores tipo Dahlander.

## Reversão de motor trifásico tipo Dahlander

Existem dois sistemas de reversão de motor trifásico tipo Dahlander:

- Comutação polar automática;
- Comutação polar por botões.

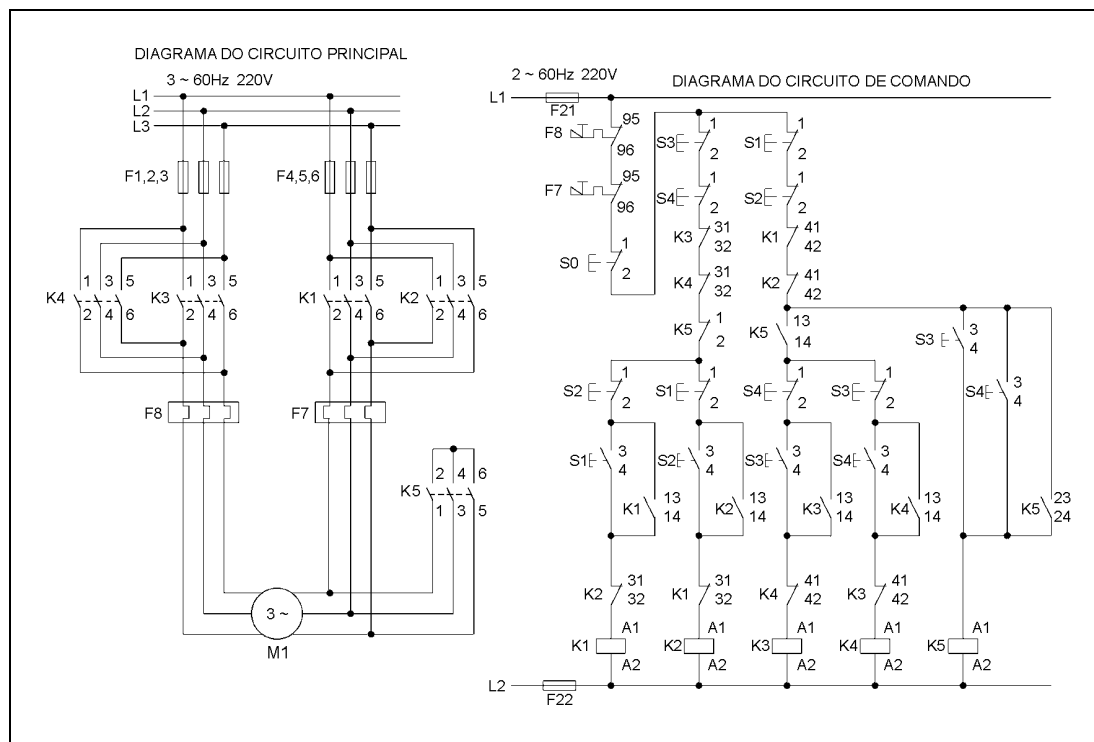
A comutação polar automática é um sistema de comando elétrico aplicado a um motor com enrolamento único tipo Dahlander. Suas pontas de saída permitem ligação em triângulo com  $n$  pólos, ou ligação em dupla estrela com  $n/2$  pólos.

Isso possibilita a obtenção de duas velocidades diferentes ( $V_1$  e  $V_2$ ). Nesse caso a comutação polar processa-se automaticamente.

Permite também duplo sentido de rotação tanto para  $V_1$  quanto para  $V_2$ . Para a inversão de rotação, é necessário pulsar o botão correspondente ao sentido de rotação desejado.

### Funcionamento

O circuito principal e o circuito de comando são mostrados a seguir.



Para a marcha em sentido horário em baixa velocidade, aciona-se o botão  $b_1$ , energiza-se o contator  $C_1$  e o relê temporizador  $d_1$  que fica ativado. Nessa condição, o motor marcha em baixa rotação, acionado por  $C_1$ .

Decorrido o tempo ajustado para  $d_1$ , esse relê dispara e aciona o contator auxiliar  $d_2$ , que desliga  $C_1$  e alimenta  $C_3$ . Este energiza  $C_5$  e o motor marcha em alta rotação no sentido anti-horário, acionado por  $C_3$  e  $C_5$ .

O circuito é interrompido acionando-se  $b_0$ .

Para a marcha no sentido anti-horário, em baixa velocidade, aciona-se o botão  $b_2$  que energiza o contator  $C_2$  e o relê temporizador  $d_3$  que fica ativado. O motor marcha em baixa rotação acionado por  $C_2$ .

Decorrido o tempo ajustado para  $d_3$ , este dispara e aciona o contator auxiliar  $d_4$  que desliga  $C_2$  a alimenta  $C_4$  que, por sua vez, energiza  $C_5$ . O motor marcha no sentido anti-horário em alta rotação, acionado por  $C_4$  e  $C_5$ .

**Observações**

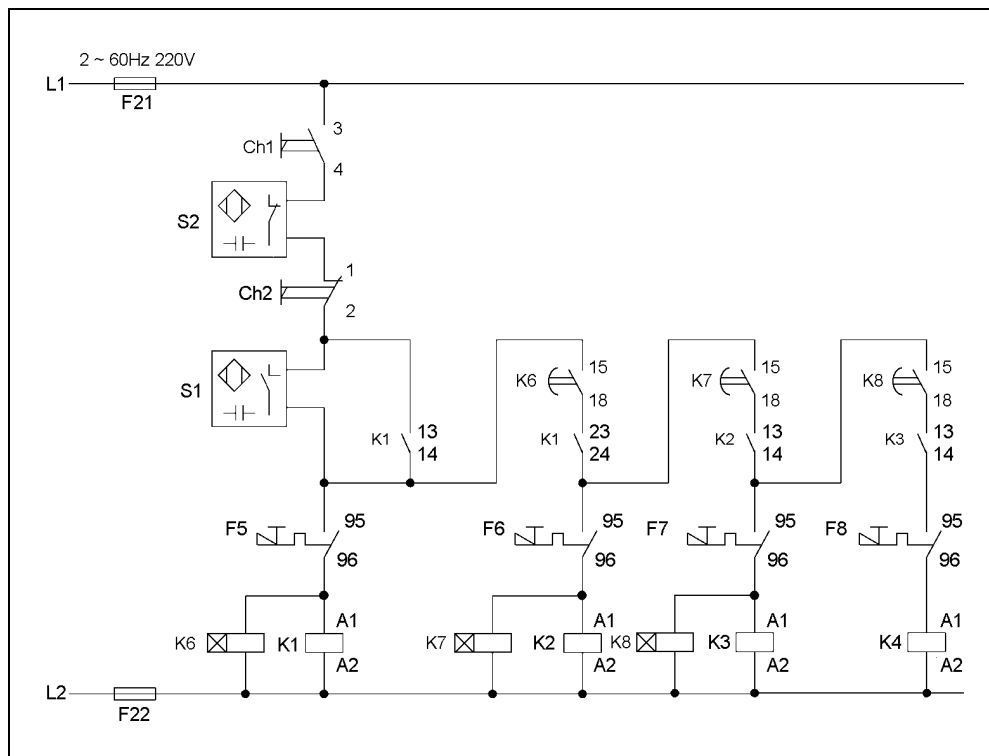
- Contator C<sub>5</sub> (31-32) bloqueia os contatores C<sub>1</sub>, d<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e d<sub>3</sub>.
- Os contatores C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> se intertravam por C<sub>1</sub> (31-32), C<sub>1</sub> (41-42), C<sub>2</sub> (31-32), C<sub>2</sub> (41-42), C<sub>3</sub> (31-32) e C<sub>4</sub> (31-32).
- Os sinalizadores indicam:
  - V<sub>1</sub> - marcha à direita, em baixa rotação;
  - V<sub>2</sub> - disparo do relê d<sub>1</sub>;
  - V<sub>3</sub> - marcha à esquerda, em baixa rotação;
  - V<sub>4</sub> - disparo do relê d<sub>3</sub>;
  - V<sub>5</sub> - marcha em alta rotação, em ambos os sentidos.

**Comutação polar para duas velocidades e reversão comandadas por botões**

Nesse sistema, é necessário pulsar o botão de comando específico para cada uma das operações.

**Funcionamento**

Observe a seguir os diagramas dos circuitos principal e de comando com esse sistema de reversão.



Acionando-se o botão b<sub>1</sub>, energiza-se C<sub>1</sub>. O motor parte e gira em baixa rotação.

Na reversão, pulsa-se  $b_2$  e desliga-se  $C_1$ . Este, em repouso, permite a entrada de  $C_2$ . O motor é freado por contracorrente e inverte o sentido da rotação.

Para a partida em alta rotação (sentido horário, por exemplo), pulsa-se  $b_3$ , energiza-se  $C_3$  e  $C_5$ . O motor parte e gira em alta rotação.

Na reversão em alta rotação, pulsa-se  $b_4$  que desliga  $C_3$ . Este, em repouso, permite a entrada de  $C_4$ .  $C_5$  permanece no circuito. O motor é freado por contracorrente, inverte o sentido e passa a girar em alta rotação.

Com o motor em baixa rotação e girando no sentido horário, é possível fazer a inversão e a comutação para alta rotação. Para isso, aciona-se  $b_4$  com o motor em baixa rotação. Isso interrompe o circuito de baixa rotação e energiza  $C_4$  e  $C_5$ . O motor é freado por contracorrente, inverte o sentido e gira em alta rotação.

### **Observação**

$C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  e  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  e  $b_4$  se intertravam.

# Reversão de motor trifásico tipo Dahlander

Nesta unidade veremos que há duas maneiras de se fazer a reversão de motor trifásico tipo *Dahlander*: por comutação automática e por botões.

Para aprender esse conteúdo com facilidade, você deverá ter conhecimentos anteriores sobre ligação de motores tipo *Dahlander*.

## Reversão de motor trifásico tipo *Dahlander*

Existem dois sistemas de reversão de motor trifásico tipo *Dahlander*:

- Comutação polar automática;
- Comutação polar por botões.

### Comutação polar automática

A comutação polar automática é um sistema de comando elétrico aplicado a um motor com enrolamento único tipo *Dahlander*.

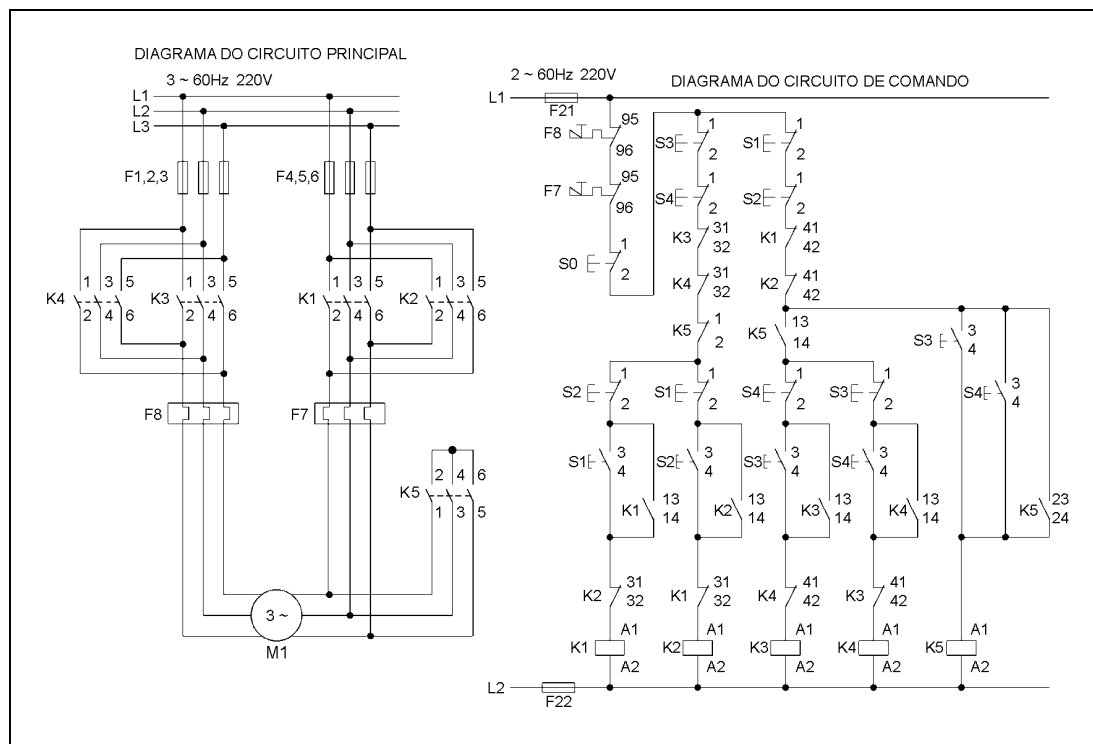
Suas pontas de saída permitem ligação em triângulo com  $n$  pólos, ou ligação em dupla estrela com  $n/2$  pólos.

Isso possibilita a obtenção de duas velocidades diferentes ( $V_1$  e  $V_2$ ). Nesse caso a comutação polar processa-se automaticamente.

Permite também duplo sentido de rotação tanto para  $V_1$  quanto para  $V_2$ . Para a inversão de rotação, é necessário pulsar o botão correspondente ao sentido de rotação desejado.

## Funcionamento

O circuito principal e o circuito de comando são mostrados a seguir.



Para a marcha em sentido horário em baixa velocidade, aciona-se o botão  $b_1$ , energiza-se o contator  $C_1$  e o relé temporizador  $d_1$  que fica ativado. Nessa condição, o motor marcha em baixa rotação, acionado por  $C_1$ .

Decorrido o tempo ajustado para  $d_1$ , esse relé dispara e aciona o contator auxiliar  $d_2$ , que desliga  $C_1$  e alimenta  $C_3$ . Este energiza  $C_5$  e o motor marcha em alta rotação no sentido anti-horário, acionado por  $C_3$  e  $C_5$ .

O circuito é interrompido acionando-se  $b_0$ .

Para a marcha no sentido anti-horário, em baixa velocidade, aciona-se o botão  $b_2$  que energiza o contator  $C_2$  e o relé temporizador  $d_3$  que fica ativado. O motor marcha em baixa rotação acionado por  $C_2$ .



Decorrido o tempo ajustado para  $d_3$ , este dispara e aciona o contator auxiliar  $d_4$  que desliga  $C_2$  e alimenta  $C_4$  que, por sua vez, energiza  $C_5$ . O motor marcha no sentido anti-horário em alta rotação, acionado por  $C_4$  e  $C_5$ .

### **Observações**

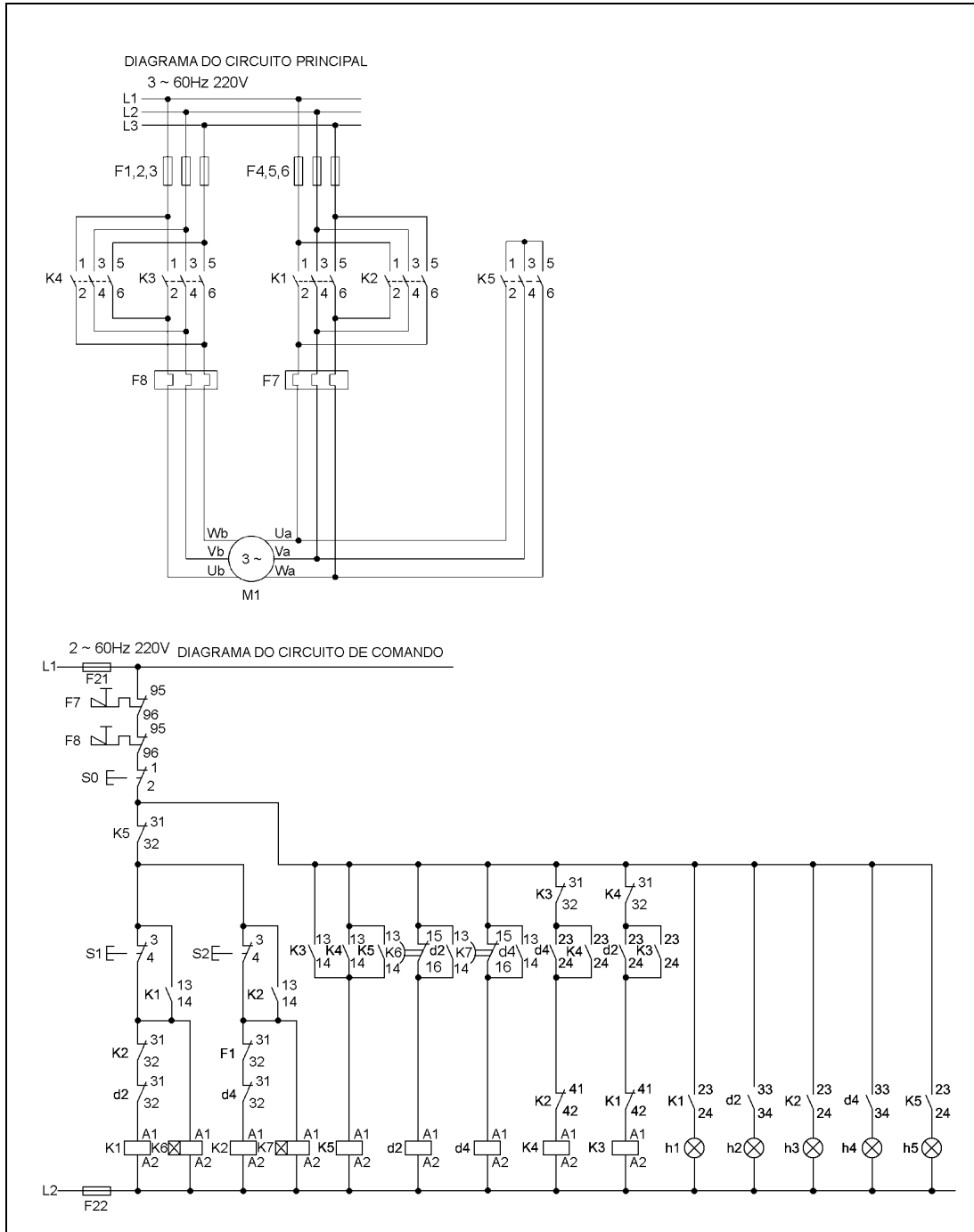
- O contator  $C_5$  (31-32) bloqueia os contatores  $C_1$ ,  $d_1$ ,  $C_2$  e  $d_3$ .
- Os contatores  $C_1$ - $C_2$ - $C_4$  se intertavam por  $C_1$  (31-32),  $C_1$  (41-42),  $C_2$  (31-32),  $C_2$  (41-42),  $C_5$  (31-32) e  $C_4$  (31-32).
- Os sinalizadores indicam:
  - $V_1$  - marcha à direita, em baixa rotação;
  - $V_2$  - disparo do relé  $d_1$ ;
  - $V_3$  - marcha à esquerda, em baixa rotação;
  - $V_4$  - disparo do relé  $d_3$ ;
  - $V_5$  - marcha em alta rotação, em ambos os sentidos.

### **Comutação polar para duas velocidades e reversão comandadas por botões**

Nesse sistema, é necessário pulsar o botão de comando específico para cada uma das operações.

### Funcionamento

Observe a seguir os diagramas dos circuitos principal e de comando com esse sistema de reversão.



Acionando-se o botão  $b_1$ , energiza-se  $C_1$ . O motor parte e gira em baixa rotação.

Na reversão, pulsa-se  $b_2$  e desliga-se  $C_1$ . Este, em repouso, permite a entrada de  $C_2$ . O motor é frenado por contracorrente e inverte o sentido da rotação.

Para a partida em alta rotação (sentido horário, por exemplo), pulsa-se  $b_3$ , energiza-se  $C_3$  e  $C_5$ . O motor parte e gira em alta rotação.

Na reversão em alta rotação, pulsa-se  $b_4$  que desliga  $C_3$ . Este, em repouso, permite a entrada de  $C_4$ .  $C_5$  permanece no circuito. O motor é frenado por contracorrente, inverte o sentido e passa a girar em alta rotação.

Com o motor em baixa rotação e girando no sentido horário, é possível fazer a inversão e a comutação para alta rotação. Para isso, aciona-se  $b_4$  com o motor em baixa rotação. Isso interrompe o circuito de baixa rotação e energiza  $C_4$  e  $C_5$ . O motor é frenado por contracorrente, inverte o sentido e gira em alta rotação.

### **Observação**

$C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  e  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  e  $b_4$  se intertravam.



# Partida de motor trifásico de rotor bobinado

Dentre os sistemas de partida para motor trifásico está o sistema de partida de motor trifásico de rotor bobinado. Esse tipo de motor, como já vimos, mantém o torque constante mesmo com rotação reduzida e é utilizado em elevadores e pontes rolantes.

Neste capítulo estudaremos os circuitos de comando eletromagnético que executam a partida para esse motor de forma semi-automática e automática.

## Partida de motor trifásico de rotor bobinado

O motor trifásico de rotor bobinado pode ter dois tipos de partida:

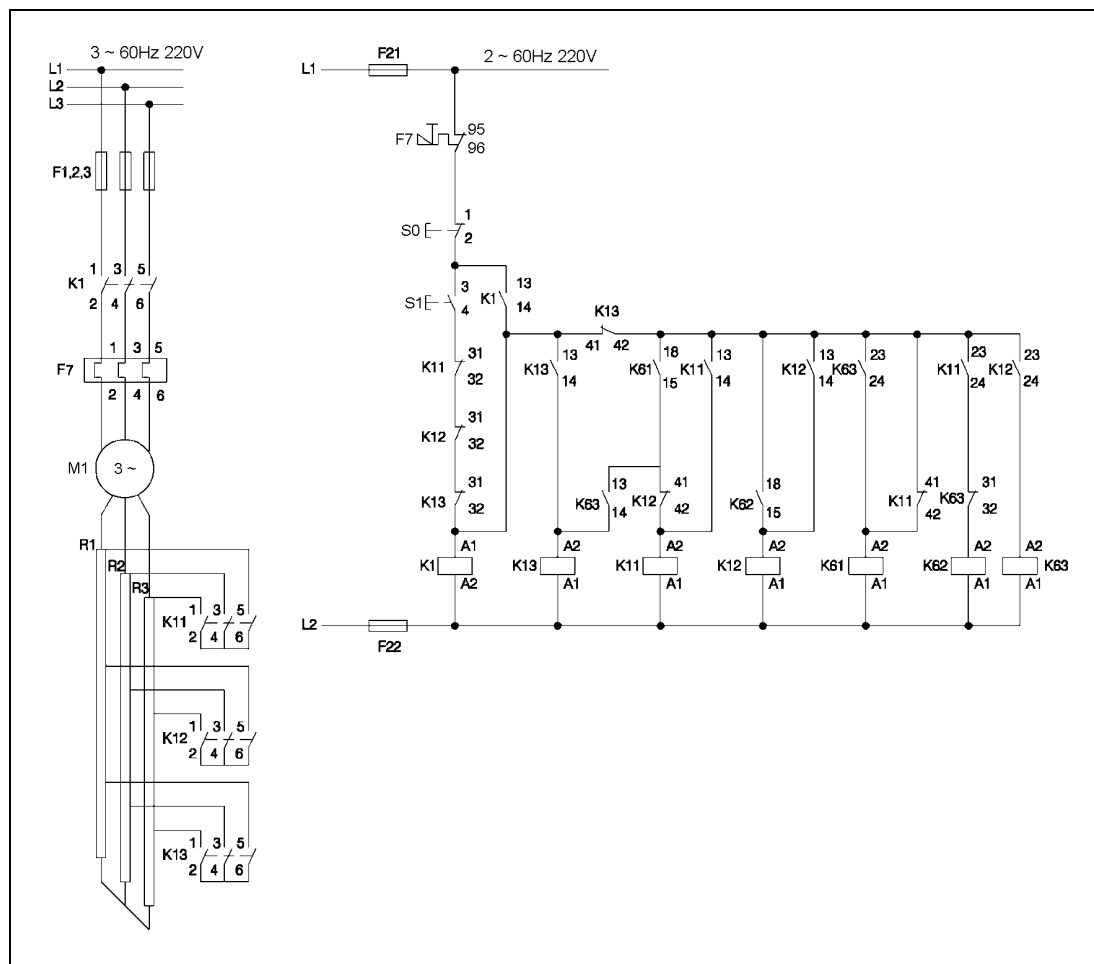
- Com comutação semi-automática de resistores;
- Com comutação automática de resistores.

O sistema de partida de motor trifásico de rotor bobinado com comutação semi-automática é um sistema de partida cuja instalação de comando proporciona a eliminação gradativa (seqüencial) dos resistores inicialmente inseridos no circuito do rotor bobinado.

A eliminação é feita por estágios sucessivos dos resistores até que o motor fique totalmente em curto-circuito.

### Seqüência operacional

Os diagramas a seguir mostram o circuito principal e o circuito de comando do sistema de partida com comutação semi-automática.



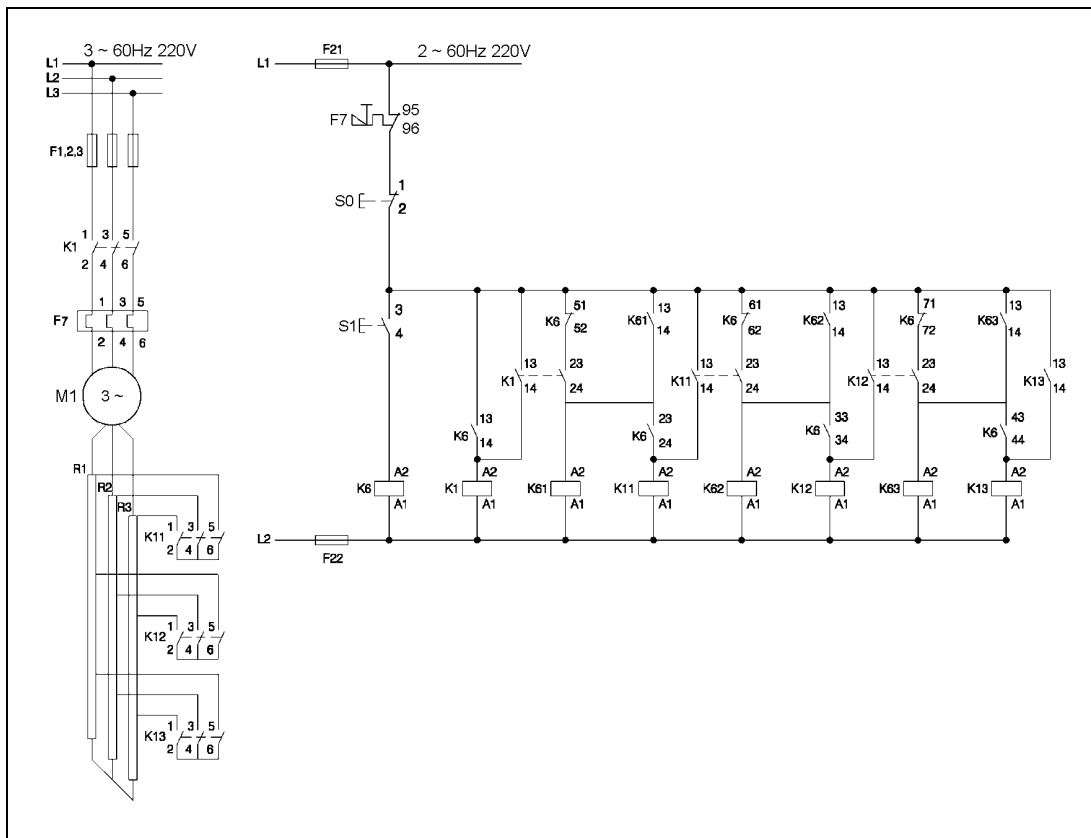
Esse sistema de partida se dá em quatro estágios e na seqüência descrita a seguir.

- Primeiro estágio - Na condição inicial, com os contatores  $K_1$ ,  $K_{11}$ ,  $K_{12}$  e  $K_{13}$  e os contatores auxiliares  $K_6$  desenergizados, a partida é dada por meio de  $S_1$  e a seqüência de entrada dos contatores  $K_{11}$ ,  $K_{12}$ ,  $K_{13}$  é dada a cada pulso de  $S_1$ .
- Com os bornes  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  energizados, aperta-se  $S_1$  e energiza-se a bobina do relê auxiliar  $K_6$  que fecha o contato  $K_6$  (13-14) e energiza a bobina do contator  $K_1$ .

- Ao mesmo tempo, o contato  $K_6$  (51-52) se abre, impossibilitando a entrada de  $K_{61}$ . A bobina de contato  $K_1$  e seus contatos principais, já fechados, energizam o motor com todos os resistores ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) intercalados no circuito do induzido. O motor inicia seu movimento com resistência total no rotor. Com o contator  $K_1$  e o relê auxiliar  $K_6$  energizados, ao se liberar o botão  $S_1$ , a bobina do relê  $K_6$  fica desenergizada, fechando o contato  $K_6$  (51-52). Como  $K_1$  já está fechado, a bobina do relê auxiliar  $K_{61}$  se energiza e se mantém nessa condição por meio do contato de selo  $K_6$  (13-14).
- Segundo estágio - Quando  $S_1$  é acionado novamente, a bobina do relê  $K_6$  energiza-se e fecha o contato  $K_6$  (23-24). Esse contato alimenta a bobina do contator  $K_{11}$ , que fecha o contato de selo  $K_{11}$  (23-24). A bobina do contator  $K_{11}$  permanece energizada e seus contatos principais se fecham, retirando o estágio  $R_1$  da resistência total. O motor aumenta sua velocidade, ficando os resistores  $R_2$  e  $R_3$  intercalados no rotor. Ao se liberar novamente o botão  $S_1$ , cessa a alimentação da bobina do relê  $K_6$  e seu contato  $K_6$  (61-62) se fecha. Como  $K_{11}$  (23-24) já está fechado,  $K_{62}$  fica energizado através de  $K_6$  (61-62) e de  $K_{11}$  (23-24) e permanece nessa condição através de  $K_{62}$  (13-14).
- Terceiro estágio - Apertando-se novamente o botão  $S_1$ , a bobina do contator  $K_6$  se energiza e seu contato  $K_6$  (33-34) energiza a bobina do contator  $K_{12}$ , que se conserva energizada através de  $K_{12}$  (13-14), fechando  $K_{12}$  para energizar  $K_{63}$ . A bobina do contato  $K_{12}$  permanece energizada e seus contatos principais dão novo impulso ao motor, fazendo sua velocidade crescer com a retirada do estágio  $R_2$  da resistência total. O rotor permanece somente com  $R_3$ . Liberando-se o botão  $S_1$ , a bobina  $K_6$  se desenergiza e  $K_6$  (71-72) energiza a bobina  $K_{63}$  (13-14), deixando-a energizada.
- Quarto estágio - Quando  $S_1$  é pulsado, energiza-se novamente a bobina  $K_6$  e o contato  $K_6$  (43-44) energiza a bobina  $K_{13}$ . Esta fecha o contato de selo  $K_{13}$  (13-14), fechando então seus contatos principais. O motor atinge a rotação nominal com a eliminação dos resistores e, através das ligações dos bornes do contator  $K_{13}$ , o rotor fica curto-circuitado.

No sistema de partida de motor trifásico de rotor bobinado com comutação automática de resistores, o circuito de comando faz, automaticamente, a eliminação seqüencial dos estágios de resistores.

O tempo necessário entre a partida e as sucessivas retiradas dos resistores do circuito do rotor bobinado até que este seja curto-circuitado, é determinado por relês temporizados. Veja diagrama a seguir.



### Seqüência operacional

A partida pelo sistema com comutação automática acontece na seqüência descrita a seguir.

- Primeiro estágio - Na condição inicial, os contatores  $K_1$ ,  $K_{11}$ ,  $K_{12}$  e  $K_{13}$ , os relês temporizadores  $K_{61}$  e  $K_{62}$  e o relê auxiliar  $K_{63}$  estão desenergizados. Pulsando-se o botão  $S_1$ , as bobinas  $K_1$  e  $K_{61}$  são energizadas simultaneamente e permanecem ligadas pelo contato de selo comum  $K_1$  (13-14). Com a bobina  $K_1$  energizada, seus contatos principais se fecham e o motor começa a funcionar com todos os resistores intercalados no circuito do induzido ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ).



- $K_{62}$  (15-18) energiza  $K_{12}$ . Este permanece nessa condição por meio de seu contato de selo  $K_{12}$  (13-14). Nesse instante,  $K_{11}$  é desenergizado e tem seus contatos de volta à posição de repouso. O contato  $K_{12}$  (23-24) se fecha e alimenta  $K_{63}$  que fechará  $K_{63}$  (23-24) e energizará novamente  $K_{61}$ . Uma vez energizada a bobina  $K_{12}$ , seus contatos principais se fecham e retiram do circuito o resistor  $R_2$ .
- Quarto estágio - Decorrido o tempo ajustado para  $K_{61}$ , ocorre o disparo e seu contato  $K_{61}$  (15-18) se fecha, alimentando  $K_{13}$  que permanece energizado por seu contato de selo e abre o contato  $K_{13}$  (41-42). Este anula os demais.  $K_{13}$ , uma vez energizado, tem seus contatos principais fechados o que elimina o resistor  $R_3$  e curto-circuita o rotor.

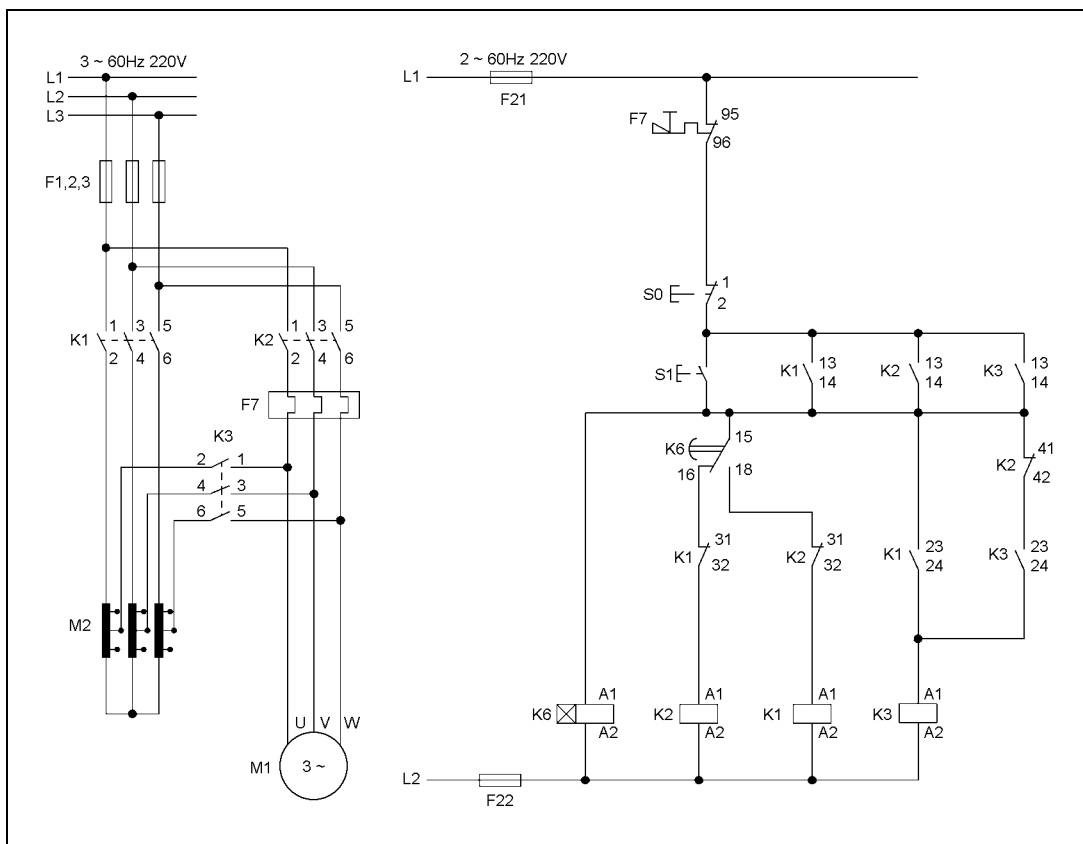


# Partida de motor trifásico com chave compensadora automática

Nesta unidade, estudaremos mais um sistema de partida para motores trifásicos. E o que utiliza uma chave compensadora automática. Esse tipo de partida permite que o motor parta com tensão reduzida e, após um tempo determinado, passe automaticamente para a plena tensão.

## Seqüência operacional

Observe a seguir os diagramas do circuito principal e de comando do sistema de partida de motor trifásico com chave compensadora automática.



Na condição inicial, os contadores C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> e relé de tempo estão desligados.

Quando o botão  $B_1$  é acionado, a bobina do contator  $C_1$  fica energizada e o motor do relé motorizado é acionado.

Os contatos  $C_1$  (13-14) e  $C_1$  (23-24) se fecham e mantêm as bobinas de  $C_1$  e  $D_1$  energizadas e energizam a bobina de  $C_3$ .

Com o fechamento da bobina de  $C_3$ , os contatos de  $C_3$  (13-14) e  $C_3$  (23-24) se fecham, tornando a bobina de  $C_3$  independente do contato  $C_1$  (14-14).

Como as bobinas de  $C_1$  e  $C_3$  estão energizadas, os contatos principais de  $C_1$  e  $C_3$  se fecharão e o motor será alimentado com tensão reduzida iniciando a partida.

Decorrido o tempo pré-ajustado, o relé temporizado  $d_1$  comuta, desenergizando a bobina de  $C_1$  e energizando a bobina de  $C_2$ .

Com a bobina de  $C_2$  energizada, os contatos  $C_2$  (13-14) se fecham e os  $C_2$  (41-42) se abrem, provocando a desenergização da bobina de  $C_3$ . Os contatos principais de  $C_3$  se abrem e os de  $C_2$  se fecham. Dessa forma, o motor é alimentado com tensão plena (tensão nominal).

### **Vantagens do sistema**

Esse sistema tem as seguintes vantagens em relação à partida manual:

- Não exige esforço físico do operador;
- Permite comando à distância;
- A comutação da tensão reduzida para plena tensão realiza-se no tempo previsto, independentemente da ação do operador.

# Partida consecutiva de motores trifásicos

Nesta unidade estudaremos um sistema de comando automático de motor que permite a partida de dois ou mais motores obedecendo a uma seqüência pré-estabelecida.

Veremos que há necessidade de uma temporização entre as partidas dos motores para proteger o circuito contra os altos picos de corrente se todos partissem ao mesmo tempo.

Para aprender este conteúdo com mais facilidade, você deve conhecer motores trifásicos e relés.

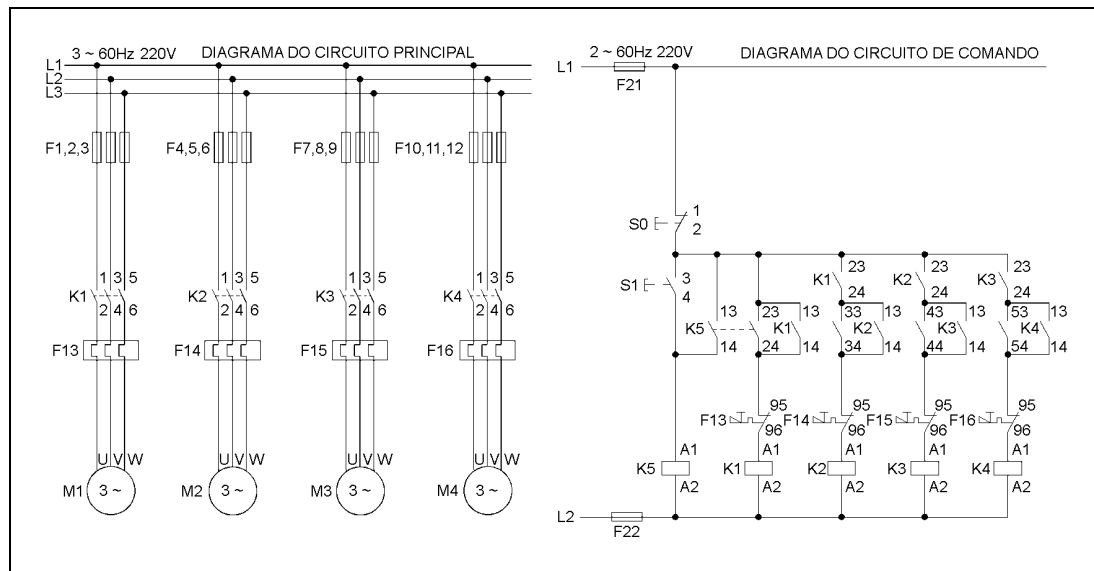
## **Partida consecutiva de motores**

A partida consecutiva de motores trifásicos é a série de operações desencadeadas por um sistema de comandos elétricos. Esse sistema introduz no circuito dois ou mais motores com suas partidas em seqüência.

Esse tipo de partida pode ser realizado por meio de comandos elétricos e com o auxílio de relés temporizadores.

### Seqüência operacional

Os diagramas a seguir mostram o circuito principal e o circuito de comando de um sistema de partida consecutiva de motores trifásicos.



Quando o botão  $b_1$  (3-4) é acionado, energiza-se  $d_1$  (a-b), que fecha instantânea e simultaneamente todos os contatos fechadores  $d_1$  e conserva  $d_1$  (a-b) energizada.

$C_1$ , energizada por  $d_1$  (23-24), fecha  $C_1$  (23-24), energizando  $C_2$  (a-b) e assim sucessivamente até energizar  $C_4$  (a-b). Os motores partem seqüencialmente.

### Observação

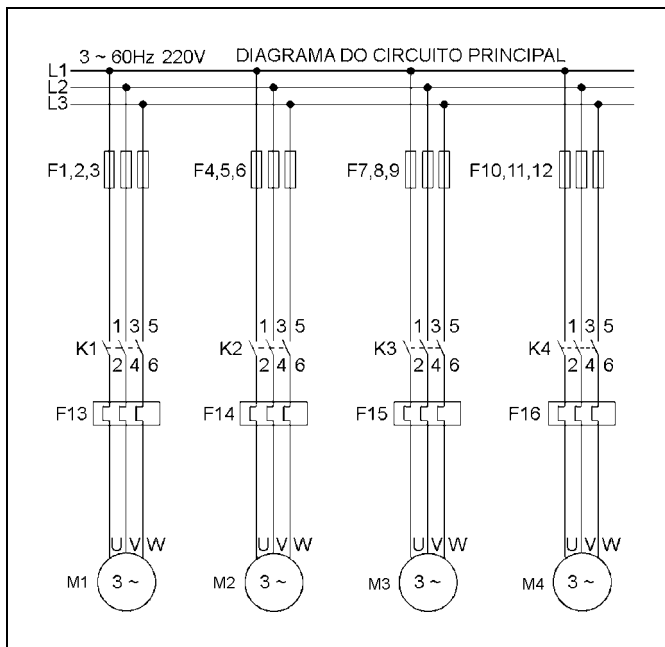
Essas energizações são muito rápidas o que torna difícil a percepção dos intervalos entre uma e outra.

### Partida consecutiva de motores com relés temporizados

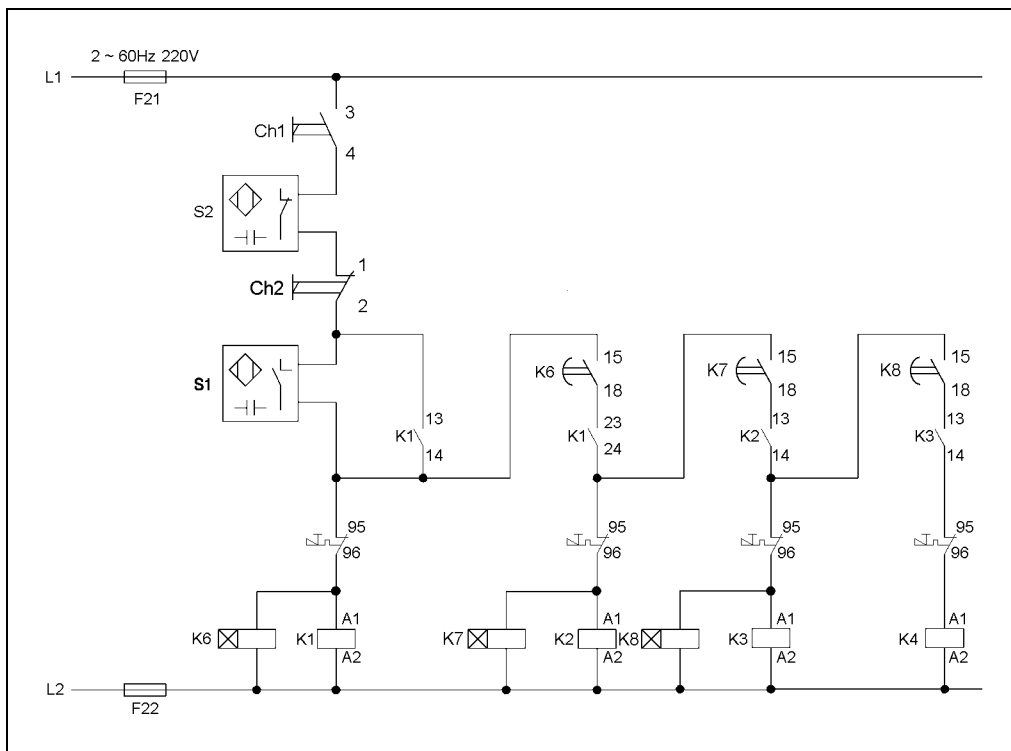
A partida consecutiva de motores com relés temporizadores permite a partida de dois ou mais motores, obedecendo a uma seqüência pré-estabelecida. Os intervalos de tempo entre as sucessivas partidas são determinados pela regulagem de relés temporizadores.

### Seqüência operacional

Observe a seguir o circuito composto por quatro motores que devem partir em seqüência.



O circuito de comando para o circuito acima é mostrado a seguir.



Quando o botão  $b_1$  é acionado, o contador  $C_1$  e o relé  $d_1$  são energizados. O motor  $M_1$  parte.

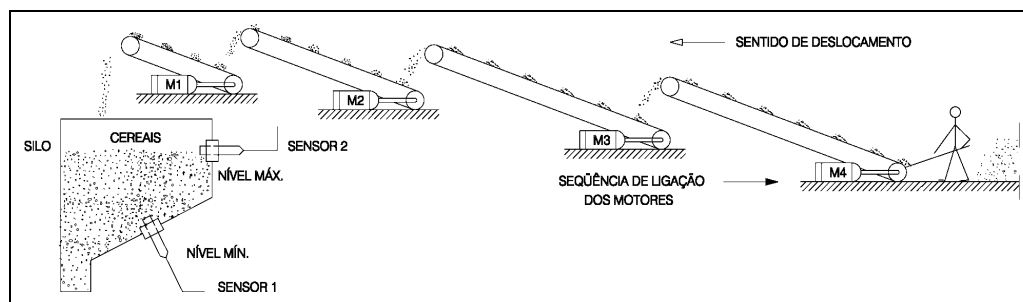
Decorrido o tempo ajustado para  $d_1$ , este energiza  $C_2$  e  $d_2$ . O motor  $M_2$  parte.

Decorrido o tempo ajustado para  $d_2$ , este energiza  $C_3$  e  $d_3$ . O motor  $M_3$  parte.

Após o tempo ajustado para  $d_3$ , este energiza  $C_4$ , dando partida a  $M_4$ , o último motor da seqüência.

**Aplicação**

O sistema de partida consecutiva é aplicado no acionamento de correias transportadoras.



Os quatro motores devem acionar as esteiras e seu sentido de condução é  $M_4, M_3, M_2, M_1$ . Assim, as ligações dos motores devem obedecer a seguinte ordem:  $M_1, M_2, M_3$  e  $M_4$ , ou seja, no sentido inverso.

Se um dos motores é desligado em razão de sobrecarga, por exemplo, todos os motores à frente dele no sentido da condução serão desligados.

O fornecimento de carga às esteiras é interrompido e os motores montados anteriormente continuam a funcionar até o descarregamento das respectivas esteiras.

Veja o resumo seqüencial na tabela a seguir.

Defeito no circuito comandado por:	Conseqüência		
	Desliga	Desliga	Continua ligado
$C_4$	$M_4$		$M_1, M_2$ e $M_3$
$C_3$	$M_3$	$M_4$	$M_1$ e $M_2$
$C_2$	$M_2$	$M_3$ e $M_4$	$M_1$
$C_1$	$M_1$	$M_2, M_3$ e $M_4$	



# Frenagem de motor trifásico

Quando se necessita parar o motor de uma máquina, usa-se a frenagem.

Os motores trifásicos podem ser freados por contracorrente e por frenagem eletromagnética.

Para a frenagem por contracorrente, é necessário o auxílio de dispositivo denominado relê Alnico.

O funcionamento desses sistemas e seu dispositivo auxiliar é o assunto deste capítulo.

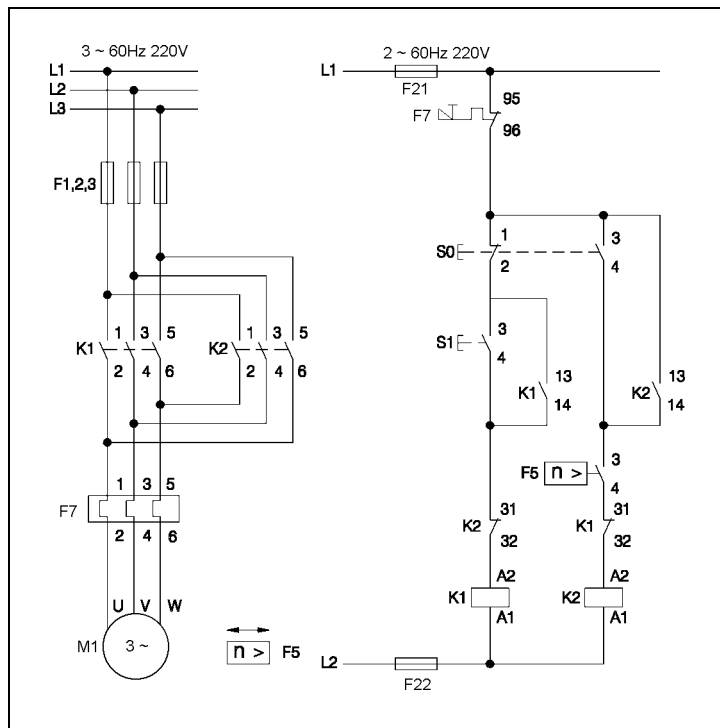
## **Frenagem de motor trifásico por contracorrente**

Frenagem de motor trifásico por contracorrente é um sistema eletromagnético de frenagem que consiste na inversão do campo do motor. É comandado por contatores e por um dispositivo de frenagem (relê Alnico), acoplado ao eixo do motor.

Esse sistema é usado quando há necessidade de frear o motor de uma máquina. Seu uso é mais ou menos limitado pela potência do motor, pois no ato da frenagem há uma grande demanda de corrente da rede.

### Seqüência operacional

Observe a seguir o circuito principal e o circuito de comando com o dispositivo de frenagem.



A partida é dada pulsando-se S<sub>1</sub>. Isso energiza K<sub>1</sub> (a-b), que é mantida por K<sub>1</sub> (13-14). O motor é acionado e ativa o dispositivo de controle de frenagem f<sub>5</sub>.

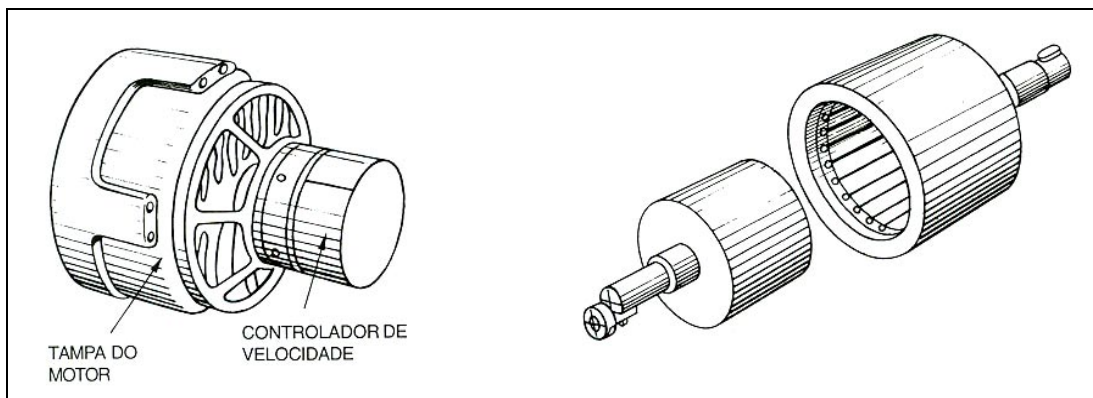
Para iniciar o processo de frenagem, pulsa-se o botão S<sub>0</sub>, K<sub>1</sub> é desenergizado (a-b) fechando o contato abridor K<sub>1</sub> (31-32). Isso possibilita a K<sub>2</sub> (a-b) ser alimentado por S<sub>0</sub> (3-4). O motor começa a ser freado.

Quando a rotação do motor diminui, o dispositivo de controle de frenagem (relê Alnico) pré-ajustado abre o contato f<sub>5</sub> (3-4), desligando K<sub>2</sub>. O processo de frenagem é interrompido.

### Dispositivo de frenagem

O relê Alnico é um dispositivo usado no sistema de frenagem por contracorrente. É acoplado ao motor e proporciona a parada em menor espaço de tempo. As chaves do relê cortam a corrente de freio antes que a máquina pare.

A ilustração a seguir mostra um relê Alnico.



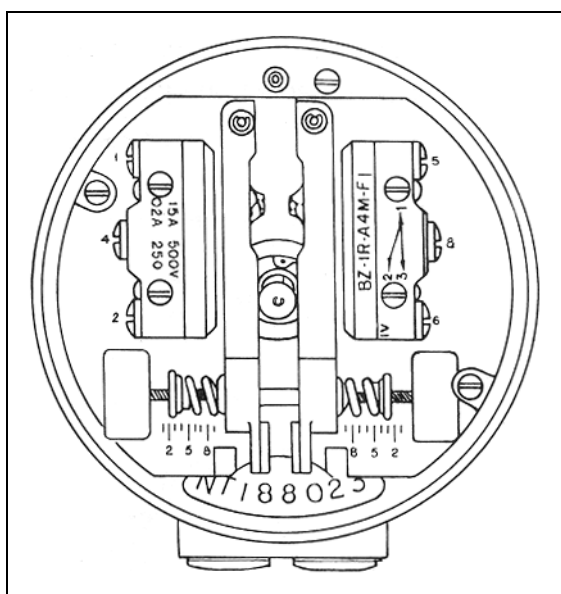
O relê Alnico é constituído essencialmente por um rotor externo e um rotor interno.

O rotor externo é composto de um enrolamento curto-circuitado (gaiola de esquilo) alojado em um corpo cilíndrico constituído por chapas de aço silício.

Sobre um mancal está um eixo por meio do qual é feito o acoplamento com o motor.

O rotor interno é constituído por um ímã permanente, montado em um eixo sobre mancal. Nesse disco há um disco excêntrico com roldana que aciona uma das chaves, conforme o sentido de rotação, através de um sistema de alavancas.

O acionamento da chave é controlado por meio de mola e parafuso de ajuste que atua sobre a alavanca.



### **Funcionamento do relê**

O enrolamento curto-circuitado (rotor externo) ao girar sobre o ímã (rotor interno), é percorrido por uma corrente elétrica que produz um campo magnético.

A interação entre os campos magnéticos produz uma força cujo valor e direção dependem da velocidade e do sentido de rotação do motor. Essa força é aplicada ao disco excêntrico.

Uma força oposta, ajustável, que é aplicada ao eixo da alavanca é produzida pela interação da chave comutadora e da mola.

Se a força produzida pela velocidade de rotação no disco excêntrico for maior que a força oposta determinada pelo ajuste da mola sobre a alavanca, esta será movimentada acionando a chave comutadora e ligando ou interrompendo determinado circuito.

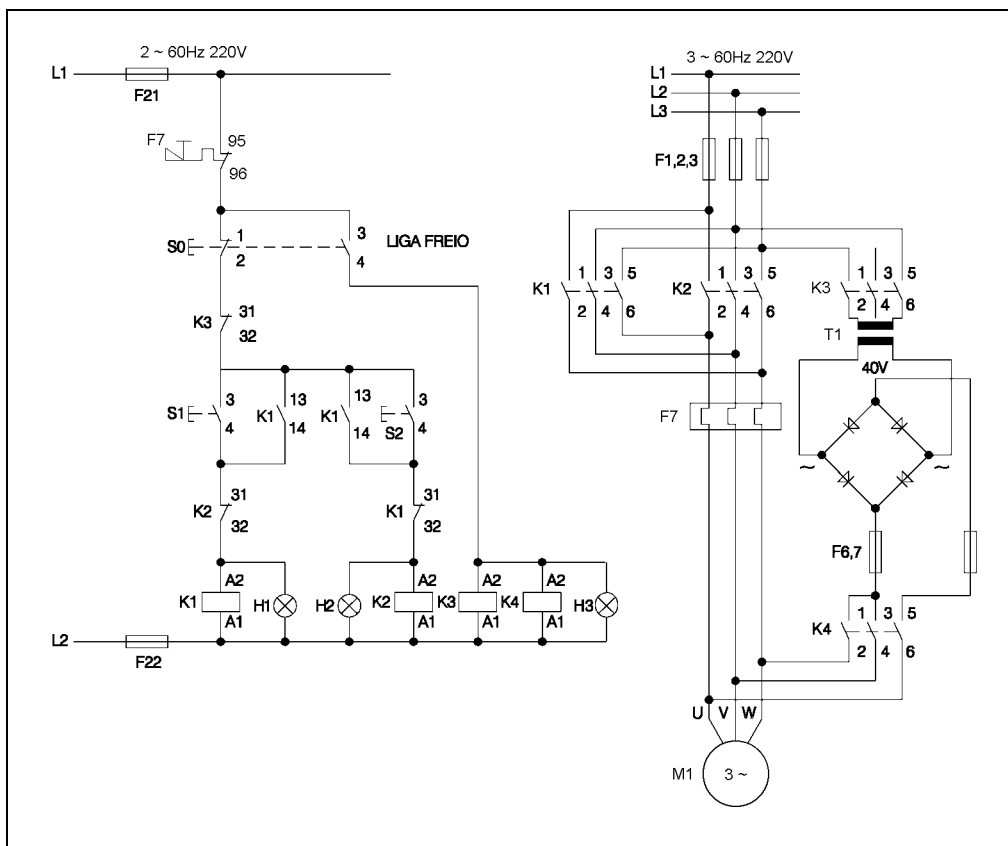
O ajuste da velocidade do relê é feito pelo parafuso de ajuste.

### **Frenagem eletromagnética**

Um outro processo para frenagem de motor trifásico é a frenagem eletromagnética. Esse sistema de frenagem consiste em retirar a alimentação alternada do estator e, em seu lugar, injetar uma alimentação de corrente contínua. Com isso, o campo magnético do estator estaciona e provoca a frenagem do motor.

O nível de tensão CC usado para a frenagem é de aproximadamente 20% da tensão de alimentação do motor.

A figura a seguir mostra um esquema de circuito de comando para um motor trifásico com reversão e frenagem eletromagnéticas.





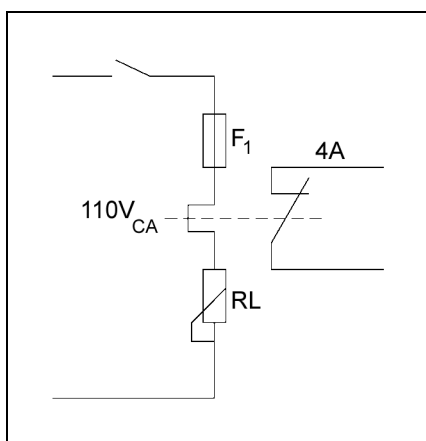
# Verificar o funcionamento de dispositivos de segurança

Fusíveis e relés são dispositivos de segurança colocados em circuitos elétricos para protegê-los dos efeitos de sobrecargas.

Através deste ensaio, você poderá comprovar como se comportam fusíveis e relés em situações em que a corrente é maior que a corrente nominal para a qual o circuito foi montado.

## Procedimentos

1. Monte o conjunto de segurança utilizando um parafuso de ajuste para 25A e um fusível também de 25A.
2. Verifique o conjunto de segurança com o multímetro se ele apresenta continuidade.
3. Substitua, no conjunto, o parafuso de ajuste de 25A por um de 4A e verifique se o ajuste da tampa é perfeito.
4. Monte o circuito abaixo.



- $S_1$  inicialmente aberta;
  - O relé de sobrecarga está ajustado para 0,6A;
  - $R_L$  é o reostato ajustado para 100M.
5. A corrente do circuito é aproximadamente duas vezes a corrente ajustada. Consulte as curvas de disparo do relé e indique o tempo previsto para o disparo do relé do circuito.
  6. Feche  $S_1$  e registre o tempo de disparo do relé.
  7. Abra  $S_1$ . Espere cerca de 10 minutos, ou seja, até que o relé retorne à temperatura normal.
  8. Ajuste  $R_L$  para 60. Rearme o relé.
  9. Agora a corrente do circuito é cerca de três vezes maior que a corrente anteriormente ajustada. Consulte as curvas de disparo do relé e indique o tempo previsto para o disparo.
  10. Feche  $S_1$ . Registre o tempo de disparo do relé.
  11. Abra  $S_1$  e espere cerca de 10 minutos até que o relé retorne à temperatura normal.
  12. Regule o relé de sobrecarga para 1A.
  13. Repita os passos 5 a 10 e anote o tempo previsto para o disparo e tempo real de disparo.
  14. Abra  $S_1$ . Compare os tempos de disparo medidos com os indicados na curva tempo/corrente. Como o relé atuou?



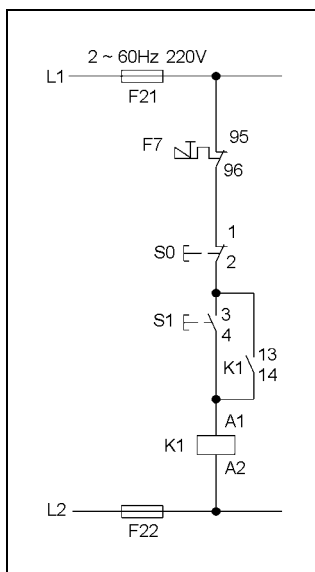
# Verificar o funcionamento do comando de motor trifásico por contator

Num circuito de acionamento eletromagnético, é o contator que comanda a corrente que coloca em funcionamento as máquinas.

Neste ensaio, você vai verificar o funcionamento do circuito de um motor trifásico comandado por contator.

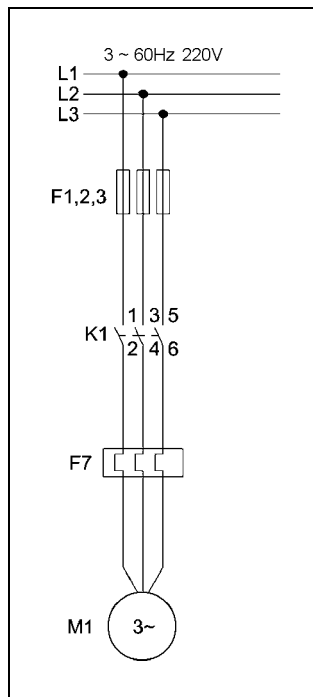
## Procedimentos

1. Monte o circuito de comando conforme o diagrama a seguir.



2. Acione o botão  $S_1$  e comprove o funcionamento do circuito de comando.
3. Acione  $S_0$ , desligando o circuito.
4. Desligue o contato  $K_1$  (13, 14). Acione  $S_1$ , e observe o que acontece com o circuito.

- Religue o contato  $K_1$  (13, 14). Monte o circuito principal conforme o diagrama a seguir.



- Acione o botão  $S_1$  e comprove o funcionamento do circuito principal.
- Acione  $S_0$ , desligando o circuito.
- Descreva o funcionamento do circuito.

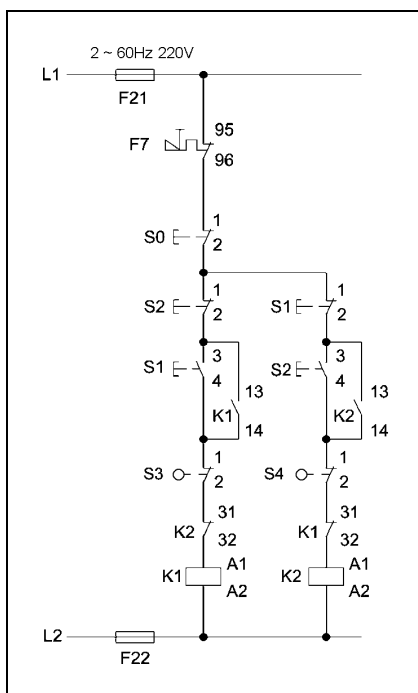
# Verificar o comando para inversão de rotação do motor trifásico

Neste ensaio você vai montar e verificar o funcionamento de um circuito de comando que inverterá o sentido da rotação de um motor trifásico utilizando chaves auxiliares fim de curso.

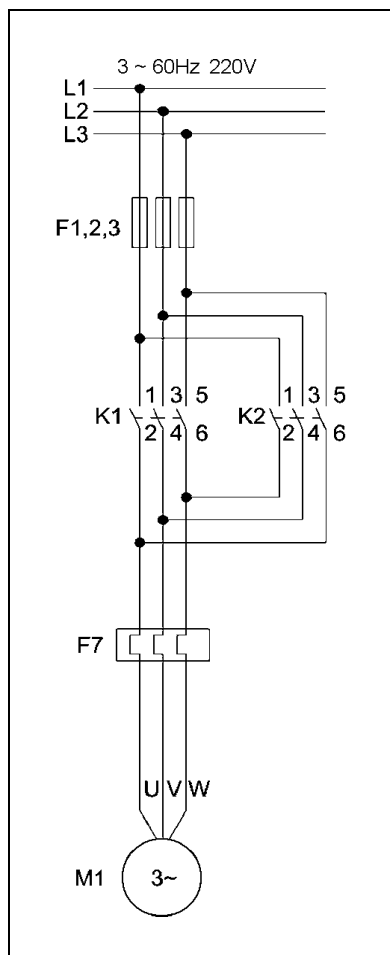
As chaves auxiliares fim de curso comandam os contatores. Estes, por sua vez, comandam as correntes de acionamento dos motores.

## Procedimentos

1. Com auxílio de catálogos de fabricantes, faça a especificação de todos os componentes necessários à montagem do circuito, simulando a capacidade do motor indicada por seu instrutor.
2. Monte o circuito de comando conforme diagrama a seguir.



3. Acione  $S_1$ . Verifique o que acontece.
4. Acione  $S_0$ . Verifique o que acontece
5. Acione  $S_2$ . Verifique o que acontece.
6. Desligue o circuito.
7. Teste o intertravamento por botões: pulse  $S_1$ , depois  $S_2$  e torne a pulsar  $S_1$ .
8. Teste o funcionamento das chaves fim de curso: seguindo a ordem, pulse  $S_1$ ,  $S_3$ ,  $S_2$  e  $S_4$ .
9. Monte o circuito principal conforme o diagrama a seguir.



10. Teste o funcionamento do circuito principal, repetindo os passos 2 a 7.
11. Pulse  $S_2$  mantendo  $S_4$  pressionado. Observe o que aconteceu.

12. Pulse  $S_1$  mantendo  $S_4$  pressionado. Verifique o que aconteceu.
13. Se o contato 13.14 de  $K_1$  não ligar quando  $S_1$  for acionado, o que acontece com o funcionamento do circuito? Simule essa situação e explique o que acontece.
14. Meça e anote a corrente de partida, a corrente na reversão e a corrente em funcionamento normal.



# Instalar motor trifásico com comando para partida estrela-triângulo

Neste ensaio, em que você vai instalar um motor trifásico com comando para partida estrela-triângulo, será possível comprovar as variações das correntes desse sistema de partida.

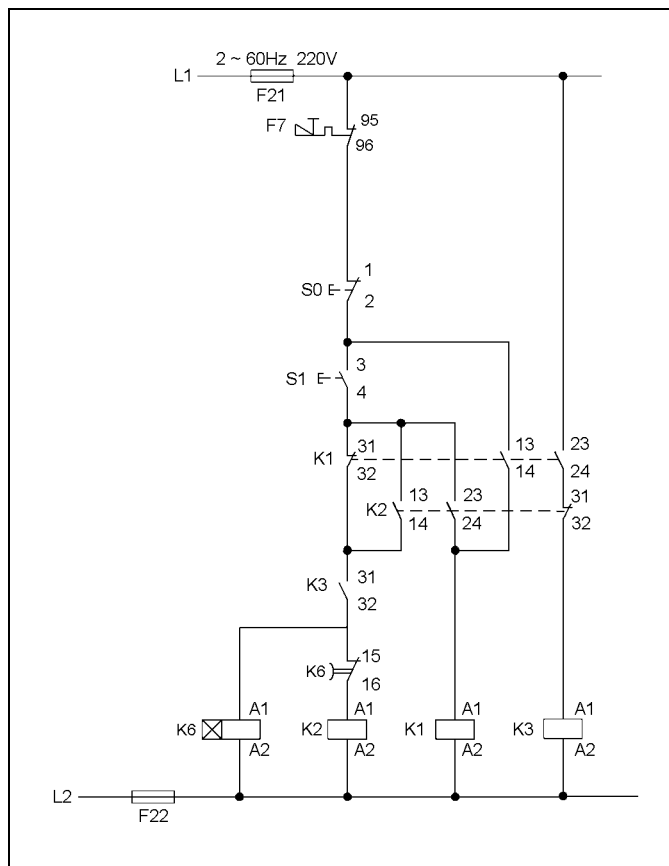
## Procedimentos

1. Ligue o motor trifásico fechado em estrela e coloque o amperímetro em série com uma das fases de modo a medir a corrente de linha. Não energize o circuito.
2. Faça a representação esquemática do circuito montado.
3. Energize o circuito.
4. Anote os valores de correntes de partida e motor sem carga.
5. Indique quais são os valores de corrente de linha e corrente de fase que o motor proporciona.
6. Desenergize o motor e desfaça as ligações.
7. Ligue o motor trifásico em triângulo e coloque o amperímetro em série com uma das fases de modo a medir a corrente de linha. Não energize o circuito.
8. Faça a representação esquemática do circuito montado.
9. Energize o circuito.
10. Anote os valores da correntes de partida e do motor sem carga.

11. Indique quais são os valores de corrente de linha e de corrente de fase que o motor proporciona.

12. Desenergize o motor e desfaça as ligações.

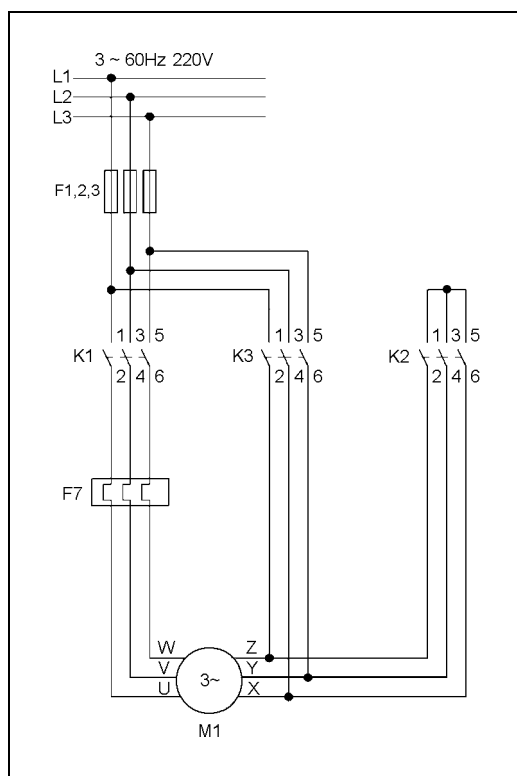
13. Teste os elementos e monte o circuito de comando conforme o diagrama a seguir.



14. Teste o circuito e faça as correções necessárias.



15. Monte o circuito principal conforme o diagrama a seguir.



16. Energize o circuito e comprove seu funcionamento.

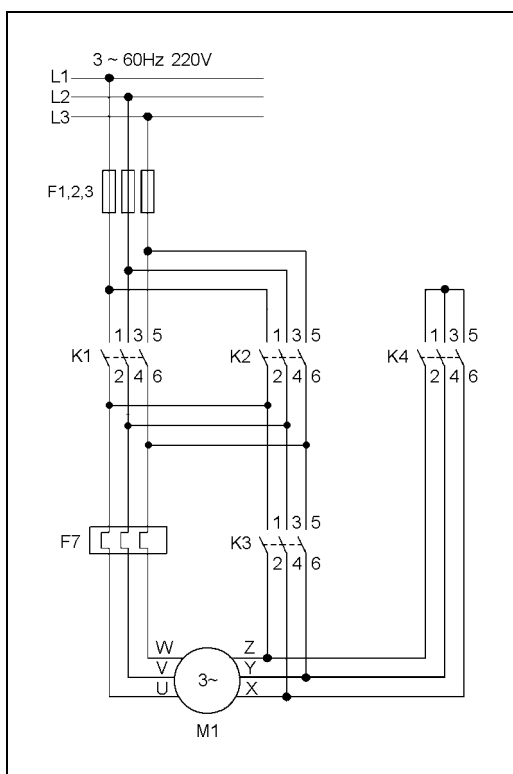


# Reversão de rotação de motor trifásico

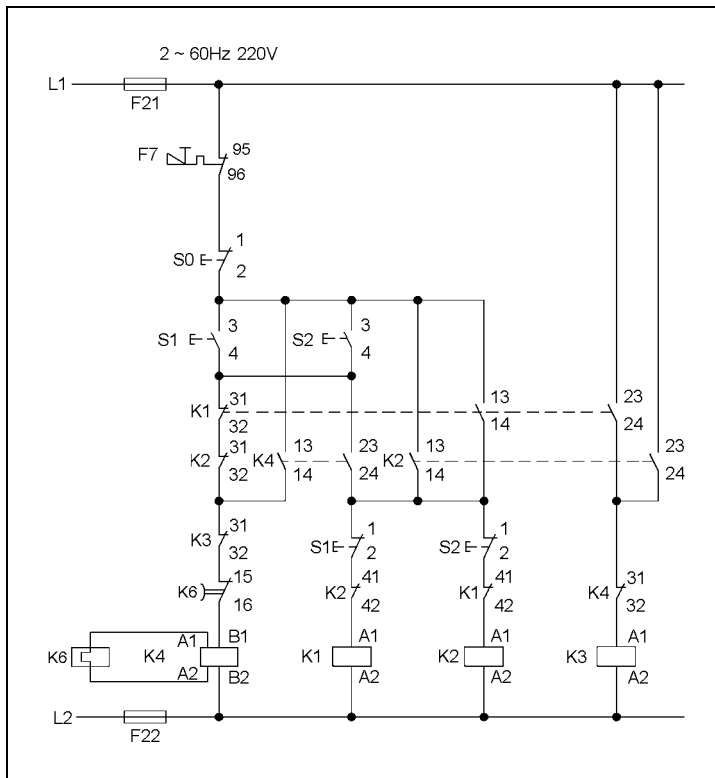
Neste ensaio, você vai comandar a reversão de rotação do motor trifásico por meio de botões e relés temporizadores. A partida desse motor é em estrela-triângulo com contadores.

## Procedimentos

1. Com o auxílio de catálogos de fabricantes dimensione os componentes do circuito de acordo com a potência de motor fornecida pelo instrutor.
2. Teste todos os dispositivos que serão utilizados e disponha-os no painel.
3. Monte e teste o circuito de comando conforme o diagrama a seguir.



4. Monte e teste o circuito principal segundo o diagrama a seguir.



# Verificar o funcionamento de motor com proteção por transformador de corrente

Neste ensaio você vai verificar o comportamento de um transformador de corrente como proteção de um circuito com motor trifásico com contatores para partida automática estrela-triângulo.

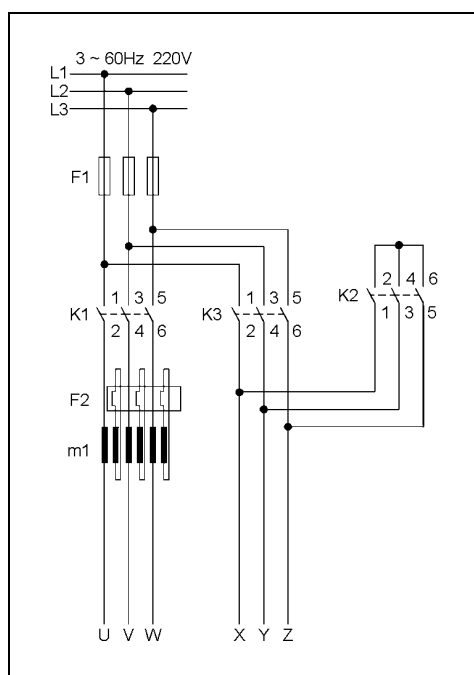
## Procedimentos

1. Com o auxílio de catálogos de fabricante, especifique o material necessário para a realização desse ensaio e simule os valores para um motor de grande potência.

## Observação

Para dimensionar o relé térmico, não esqueça da relação de transformação do transformador de corrente.

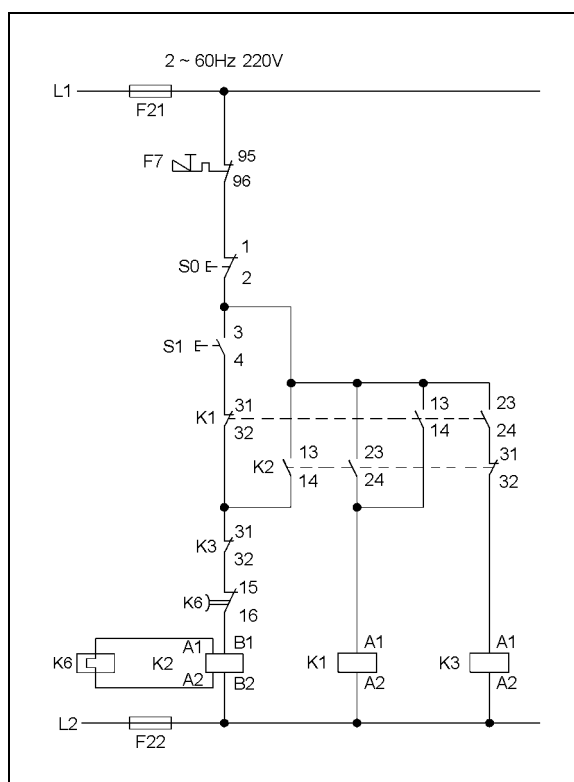
2. Monte e teste o circuito de comando conforme diagrama a seguir.



**Observação**

Certifique-se de que o secundário do transformador está curto-circuitado, pois se o circuito for ligado com ele aberto, isso causará a queima do transformador.

3. Monte o circuito principal conforme o diagrama a seguir e verifique seu funcionamento.



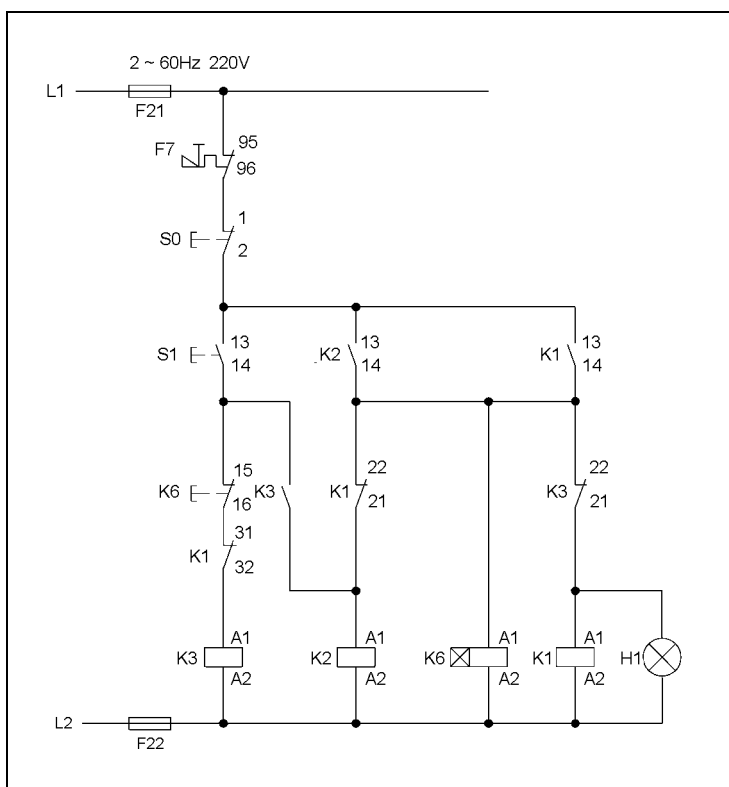
# Verificar o funcionamento de motor com partida automática

O emprego do autotransformador na partida de motor trifásico é muito difundido, pois possibilita diminuição do pico de corrente e razoável conjugado na partida.

A montagem do circuito de comando de acionamento de motor que você vai fazer, terá um autotransformador que permite a partida de motor trifásico com tensão reduzida.

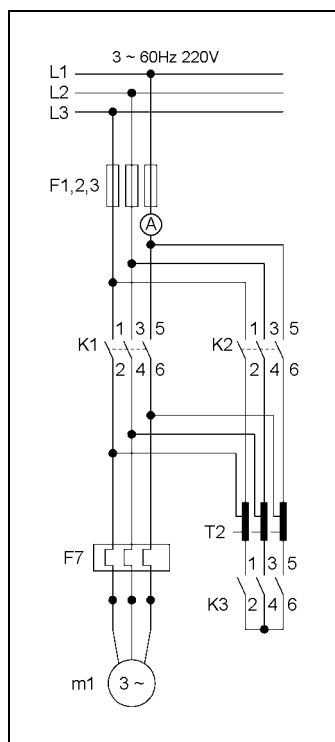
## Procedimentos

1. Conecte o circuito de comando, conforme o diagrama abaixo.



2. Ajuste o relé temporizador  $K_6$  para 10 segundos.

3. Acione o botão  $S_1$ . Comprove a seqüência de funcionamento:
  - Energização de  $K_3$  e  $K_6$ ;
  - Energização de  $K_2$  através de  $K_3$ ;
  - Desenergização de  $K_3$  através de  $K_6$  e energização de  $C_1$ .
4. Acione  $S_0$  desligando o circuito.
5. Conecte o circuito principal conforme diagrama a seguir.



6. Acione o botão  $S_1$  e observe atentamente o amperímetro.
7. Elabore o gráfico da variação da corrente observada durante a partida.
8. Desligue o circuito.

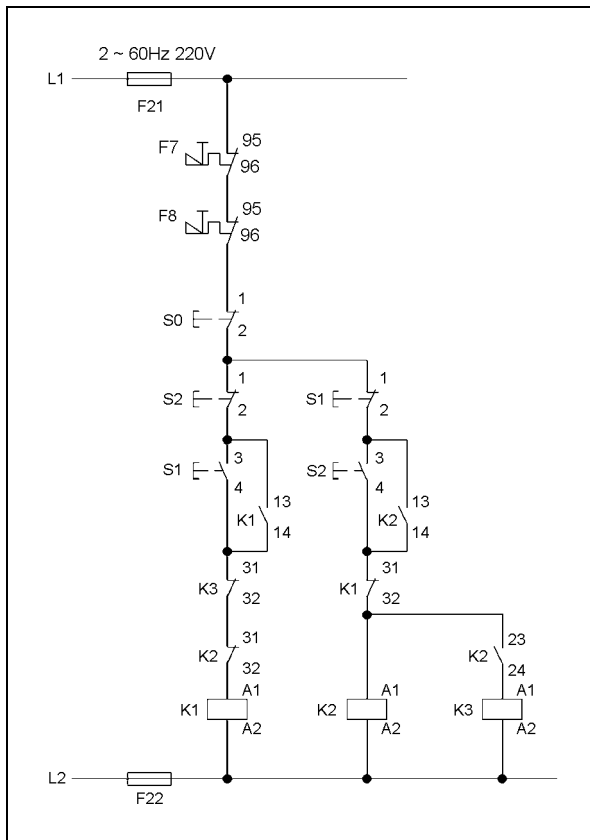


# Verificar o funcionamento de motor Dahlander

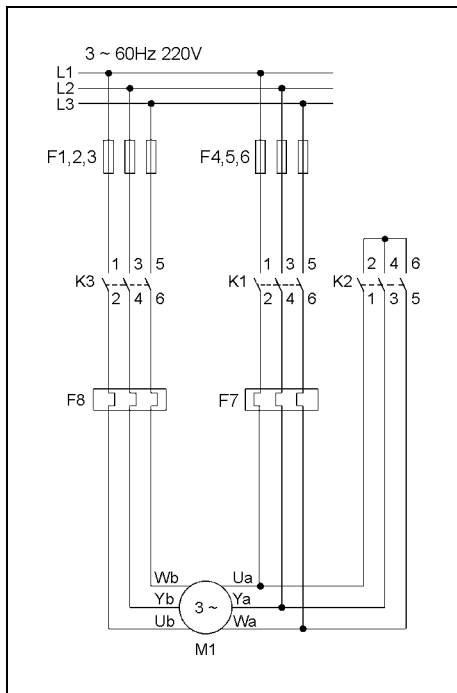
Neste ensaio, você vai montar um circuito com contatores para motor Dahlander para comutação polar comandada por botões.

## Procedimentos

1. Com o auxílio de catálogo e manuais de fabricantes, faça a especificação dos componentes necessários à montagem do circuito, de acordo com uma potência simulada fornecida pelo docente.
2. Monte e teste o circuito de comando de acordo com o diagrama a seguir.



3. Monte e teste o circuito principal.



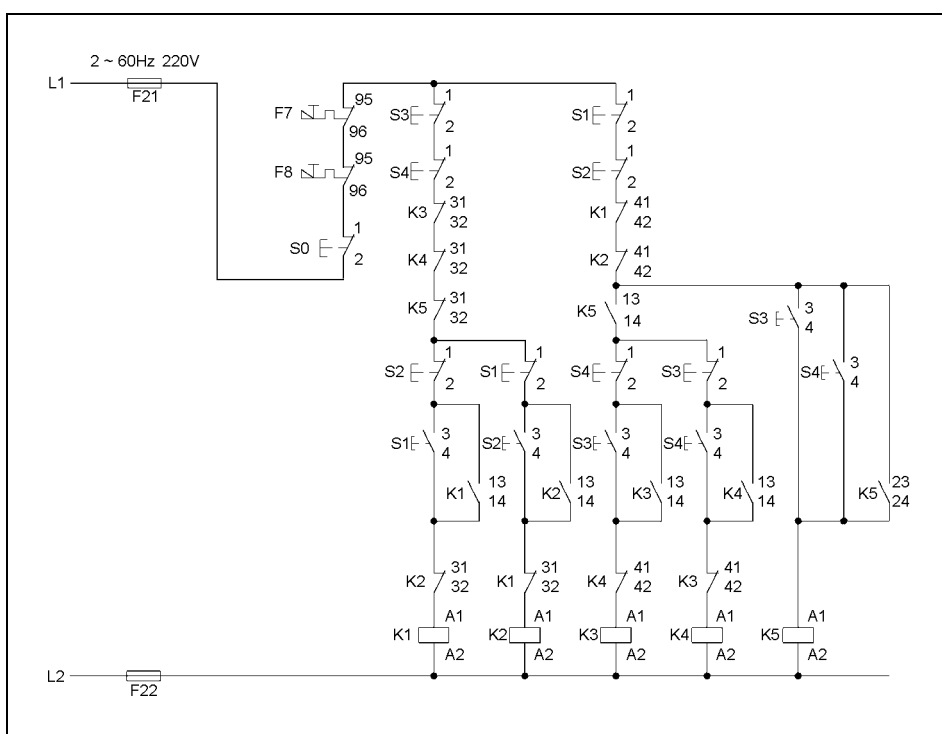
4. Teste o circuito e meça as velocidades.

# Verificar o funcionamento de motor Dahlander com reversão de rotação

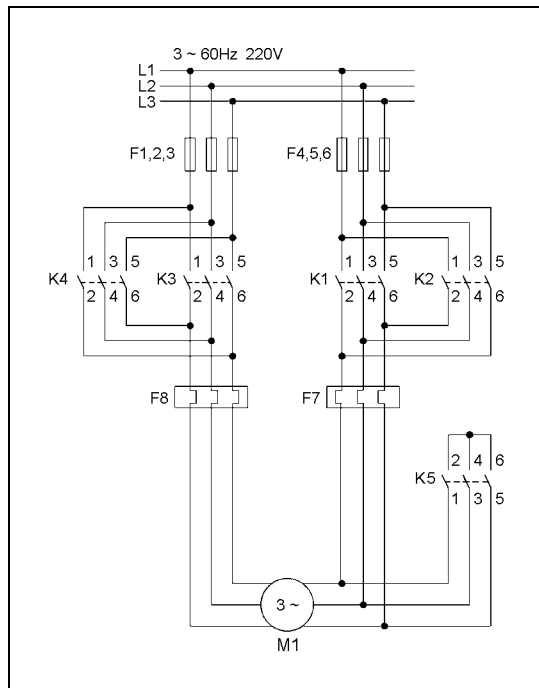
Neste ensaio, você vai montar um circuito para motor tipo Dahlander com contadores. Esse circuito permite a comutação polar e a reversão comandada por botões.

## Procedimentos

1. Monte e teste o circuito de comando de acordo com o diagrama a seguir.



2. Monte e teste o circuito principal de acordo com o diagrama a seguir.



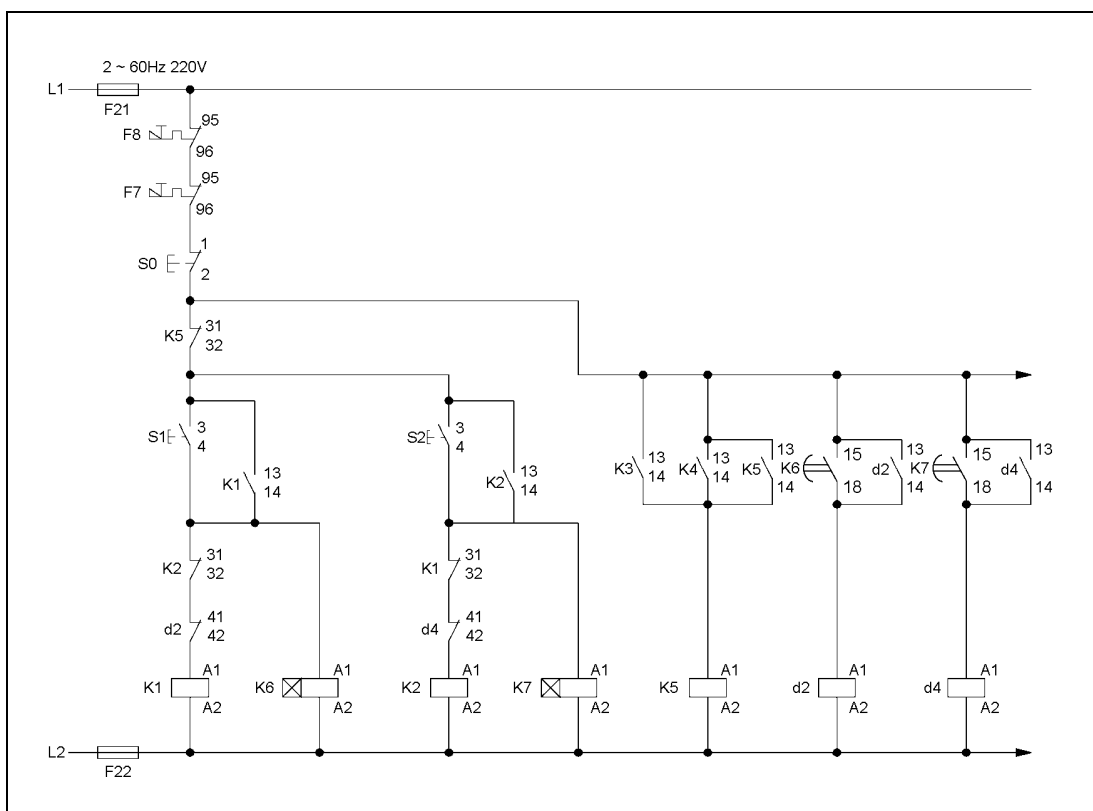
3. Ligue o motor em velocidade baixa e meça a corrente de pico e a corrente nominal.
4. Desligue o motor e aguarde sua desaceleração. Ligue-o novamente em alta velocidade e meça a corrente de pico e a corrente nominal.
5. Ligue o motor em velocidade baixa e depois passe para a velocidade alta, no mesmo sentido. Meça a corrente de pico.
6. Compare o valor da corrente de pico do passo 4 e do passo 6. Por que o valor do passo 4 é maior?
7. Ligue o motor em alta velocidade em um sentido e inverta a rotação, medindo o pico de corrente.
8. Por que o pico de corrente na reversão é maior?
9. Que modificações devem ser feitas no circuito de comando que impeçam que a reversão seja feita sem que o circuito seja desligado antes?
10. Implemente sua modificação no circuito e veja se funciona.

# Verificar o funcionamento de motor Dahlander com relés temporizados

Neste ensaio, você vai montar um circuito de comando de motor trifásico Dahlander, com contadores para comutação polar e reversão comandada por botões e relé temporizadores.

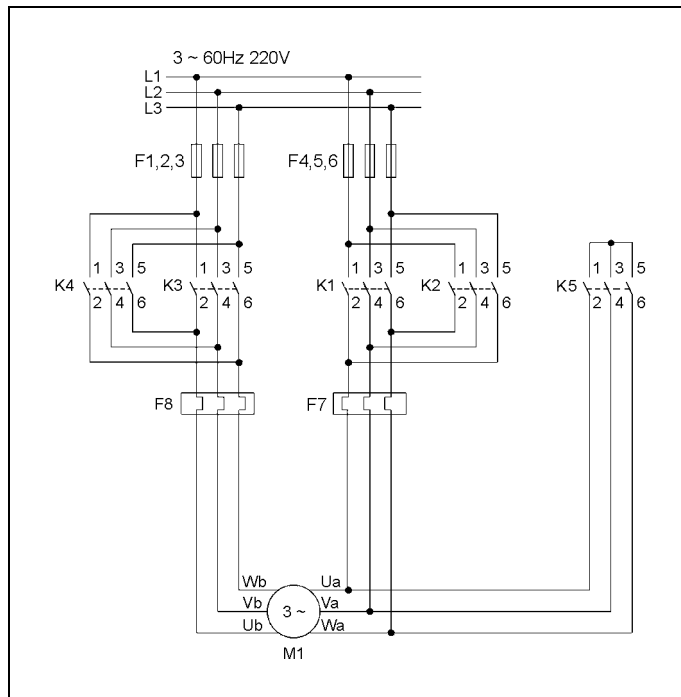
## Procedimentos

1. Analise o circuito de comando a seguir, verifique a função dos sinalizadores e determine suas cores.



2. Monte e teste o circuito de comando da figura anterior.

3. Monte o circuito principal de acordo com o diagrama a seguir.



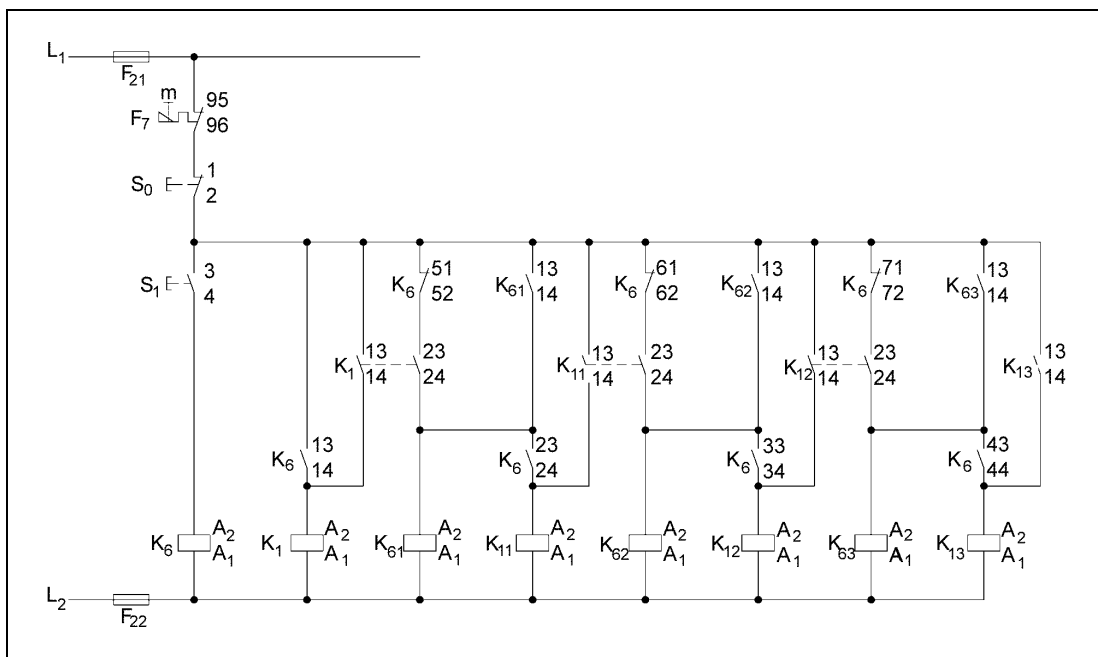
4. Ajuste os temporizadores para 5 segundos. Ligue o circuito e meça a corrente de partida.
5. Compare a corrente de partida medida com a corrente de partida de alta velocidade do ensaio anterior. Por que a corrente de partida deste circuito é menor?
6. Determine a cor e instale uma lâmpada sinalizadora de sobrecarga.
7. Faça um novo diagrama de comando utilizando a programação de contatos.

# Verificar o funcionamento de motor trifásico com rotor bobinado

Neste ensaio, você vai instalar um motor trifásico de rotor bobinado com comutação semi-automática de resistores comandada por botões.

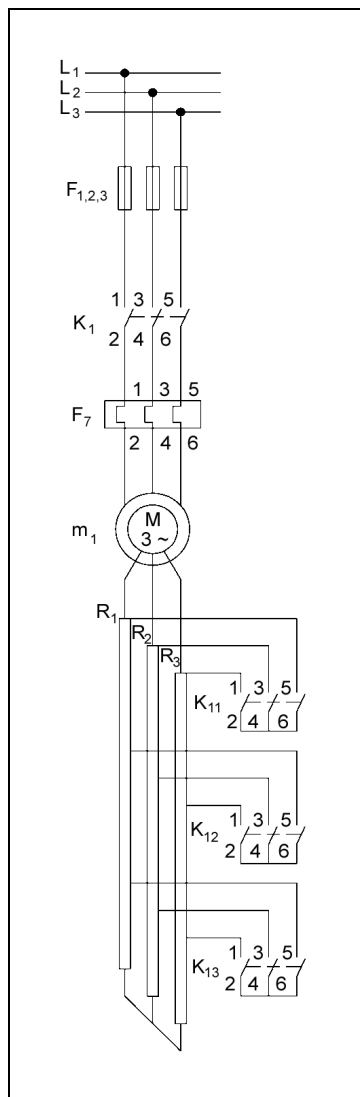
## Procedimentos

1. Consultando catálogos e manuais dos fabricantes, especifique os componentes necessários à montagem do circuito a seguir.



2. Teste os componentes e monte o circuito de comando conforme o diagrama do passo 1.
3. Teste o circuito de comando e faça correções, se necessário.
4. Descreva a seqüência operacional de funcionamento do circuito.

5. Monte o circuito principal conforme diagrama a seguir.



6. Pulse o botão  $S_1$  uma vez. Meça e anote a velocidade do motor e a corrente de partida.
7. Pulse o botão  $S_1$  novamente. Meça e anote a velocidade do motor.
8. Pulse o botão  $S_1$  mais uma vez. Meça e anote a velocidade do motor.
9. Pulse o botão  $S_1$ . Meça e anote a velocidade do motor e a corrente nominal.
10. Verifique quantas vezes a corrente de partida do passo 6 é maior que a corrente nominal (passo 9).

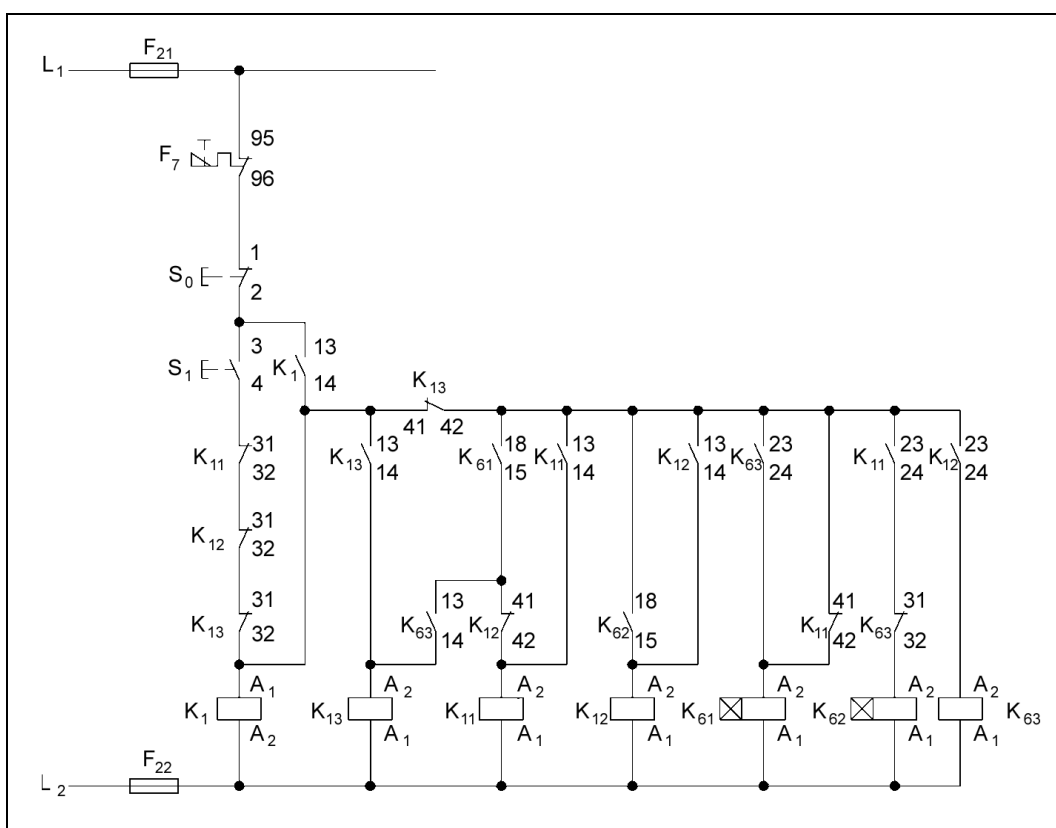


# Verificar o funcionamento de motor trifásico com rotor com comutação automática

Neste ensaio, você vai instalar um motor trifásico de rotor bobinado com comutação automática de resistores.

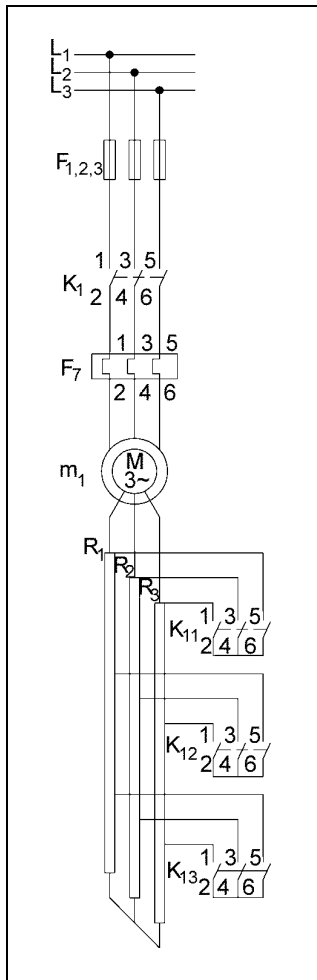
## Procedimentos

1. Teste os componentes e monte o circuito de comando conforme diagrama a seguir.



2. Teste o circuito de comando. Se necessário, faça correções e descreva a seqüência operacional de funcionamento do circuito.

3. Monte o circuito principal conforme diagrama a seguir.



4. Teste o funcionamento do circuito.

5. Regule os relés temporizados para aproximadamente 10 segundos e meça a velocidade do motor em cada estágio da partida.

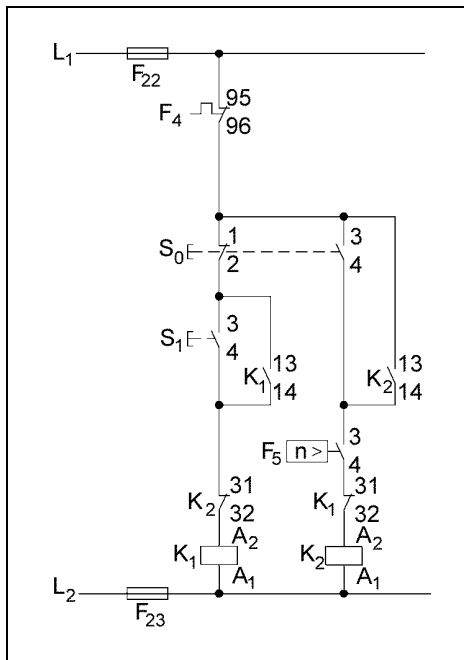
6. Qual a vantagem deste tipo de partida em relação à partida do ensaio anterior?

# Verificar o funcionamento de frenagem de motor trifásico por contracorrente

Neste ensaio, você vai montar e verificar o funcionamento de um circuito de frenagem por contracorrente utilizando o relé Alnico e de outro circuito de frenagem eletromagnética.

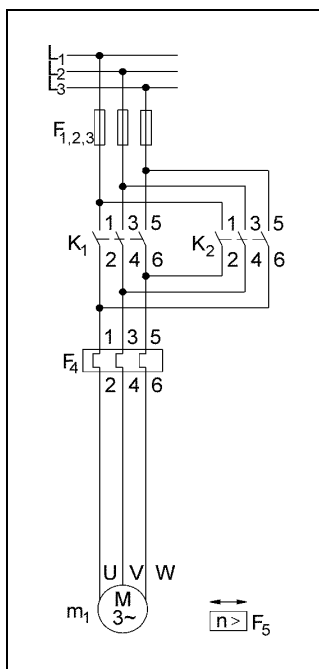
## Procedimentos

1. Teste todos os dispositivos que serão utilizados na montagem e disponha-os no painel.
2. Execute as conexões do circuito de comando conforme o esquema abaixo.

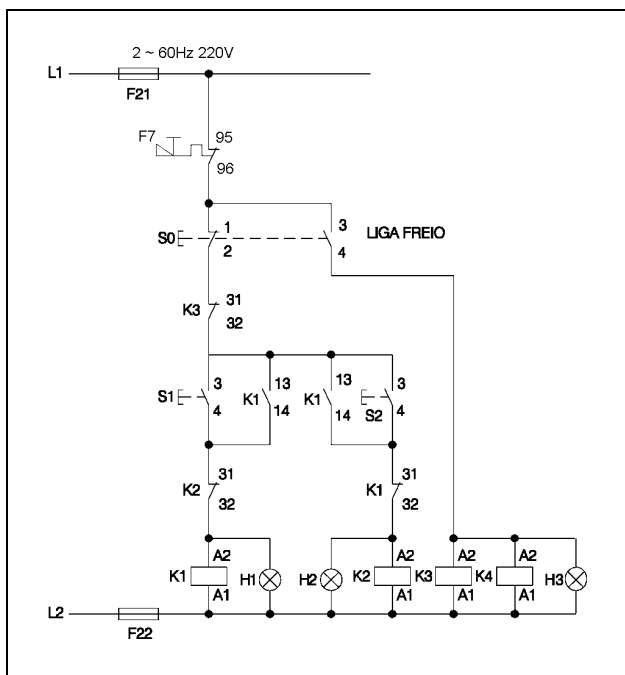


3. Teste o funcionamento do circuito de comando. Para o teste, simule o relé  $F_5$  com um curto-circuito.

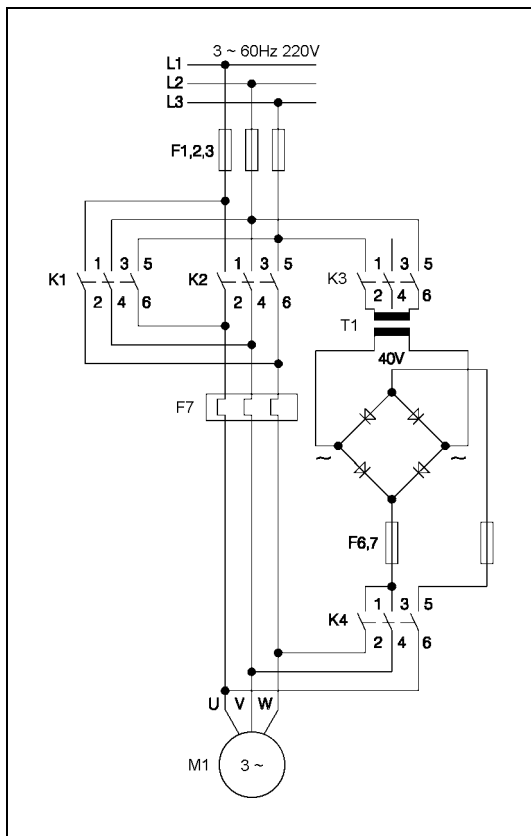
4. Monte o circuito principal segundo o diagrama abaixo.



5. Verifique o funcionamento do circuito acionando  $S_1$ . Após o motor estabilizar a rotação, pulse  $S_0$  e observe a frenagem.
6. Meça e anote a corrente de frenagem do motor.
7. Para verificar o funcionamento do circuito com frenagem eletromagnética, execute as conexões do circuito de comando conforme o diagrama a seguir.



8. Teste o funcionamento do circuito de comando.
9. Monte o circuito principal segundo o diagrama a seguir.



10. Verifique o funcionamento do circuito principal.

**Observação**

Antes de inverter o sentido de rotação do motor, mantenha  $S_0$  pressionado até a frenagem total do motor.

11. Meça o tempo de frenagem total do motor e instale um temporizador que mantenha o motor sob frenagem durante esse tempo.
12. Compare os dois tipos de frenagem e relacione suas vantagens e desvantagens.



---

# Referências bibliográficas

SENAI-SP. **Eletricista de manutenção II - Eletrotécnica.** Por Irandi Dutra, José Geraldo Belato, Regina Célia Roland Novaes. São Paulo, 1993.

SENAI-SP. **Eletricista de manutenção III - Comandos eletroeletrônicos.** Por Regina Célia Roland Novaes. São Paulo, 1994.

