

Comandos elétricos

Curso Técnico em Eletroeletrônica - Comandos elétricos

© SENAI-SP, 2005

Trabalho organizado e atualizado a partir de conteúdos extraídos da Intranet por Meios Educacionais da Gerência de Educação e CFPs 1.01, 1.13, 1.18, 2.01, 3.02, 6.02 e 6.03 da Diretoria Técnica do SENAI-SP.

Equipe responsável

Coordenação	Airton Almeida de Moraes
Seleção de conteúdos	Antônio Carlos Serradas Pontes da Costa
Capa	José Joaquim Pecegueiro
Revisão técnica	Sérgio Ferreira Luíz

SENAI Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Departamento Regional de São Paulo
Av. Paulista, 1313 - 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
Home page <http://www.sp.senai.br>

Sumário

Unidade I: Teoria

Dispositivos de proteção e segurança	5
Relês como dispositivos de segurança	13
Seletividade	21
Contatores	29
Defeitos dos contatores	45
Chaves auxiliares tipo botoeira	47
Sinalizadores luminosos	51
Relês temporizadores	55
Transformadores para comando	59
Diagramas de comandos elétricos	63
Reversão de rotação de motores trifásicos	77
Sistemas de partida de motores trifásicos	83
Partida de motor trifásico estrela-triângulo	95
Partida de motor trifásico tipo Dahlander	99
Reversão de motor trifásico tipo Dahlander	103
Partida de motor trifásico de rotor bobinado	107
Partida de motor trifásico com chave compensadora automática	111
Partida consecutiva de motores trifásicos	113
Frenagem de motor trifásico	117

Unidade II: Ensaios

Verificar o funcionamento de dispositivos de segurança	123
Verificar o funcionamento do comando de motor trifásico por contator	125
Verificar o comando para inversão de rotação do motor trifásico	127
Instalar motor trifásico com comando para partida estrela-triângulo	131
Reversão de rotação de motor trifásico	135
Verificar o funcionamento de motor com proteção por transformador de corrente	137

Verificar o funcionamento de motor com partida automática	139
Verificar o funcionamento de motor com partida por autotransformador	141
Verificar o funcionamento de motor Dahlander	145
Verificar o funcionamento de motor Dahlander com reversão de rotação	143
Verificar o funcionamento de motor Dahlander com relés temporizados	145
Verificar o funcionamento de motor trifásico com rotor bobinado	149
Verificar o funcionamento motor trifásico com rotor com comutação automática	151
Verificar o funcionamento de frenagem de motor trifásico por contracorrente	153
Referências bibliográficas	157

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.

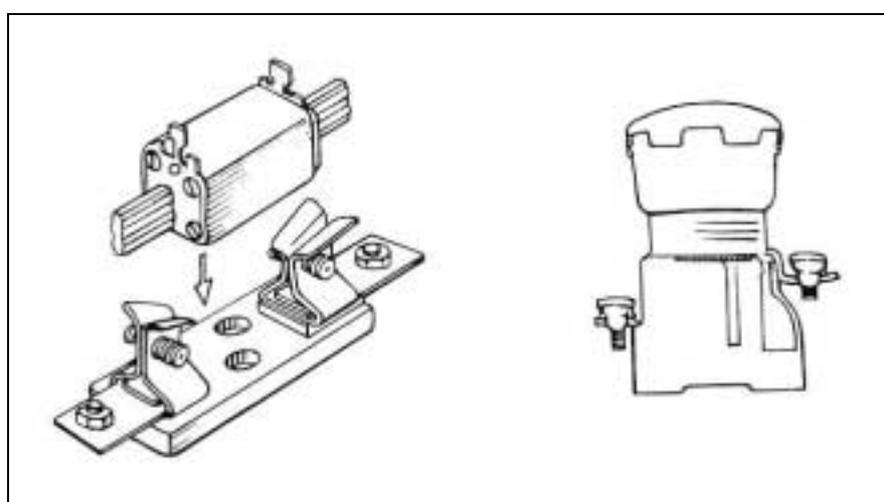
Esses fusíveis são ideais para a proteção de circuitos com semicondutores (diodos e tiristores).

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 corrente durante um certo tempo sem que ocorra fusão.

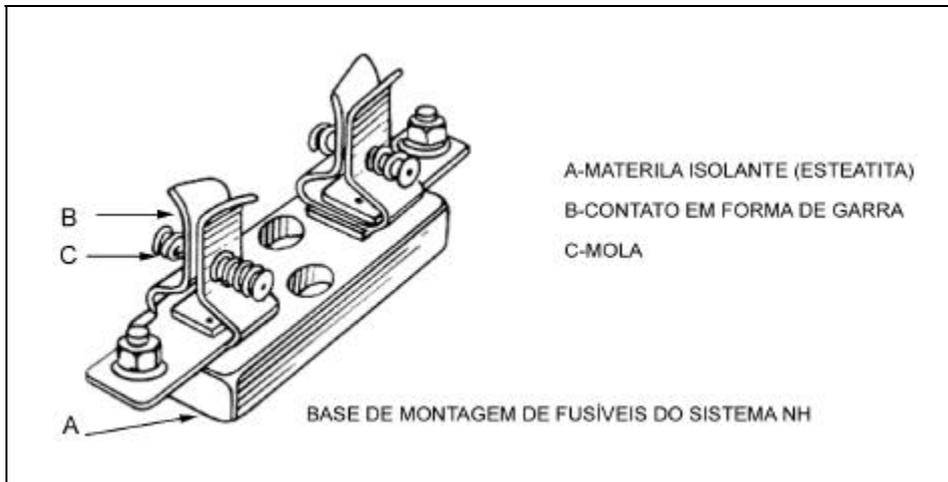
Eles são empregados em circuitos sujeitos a picos de corrente e onde existam cargas indutivas e capacitivas.

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

Construção

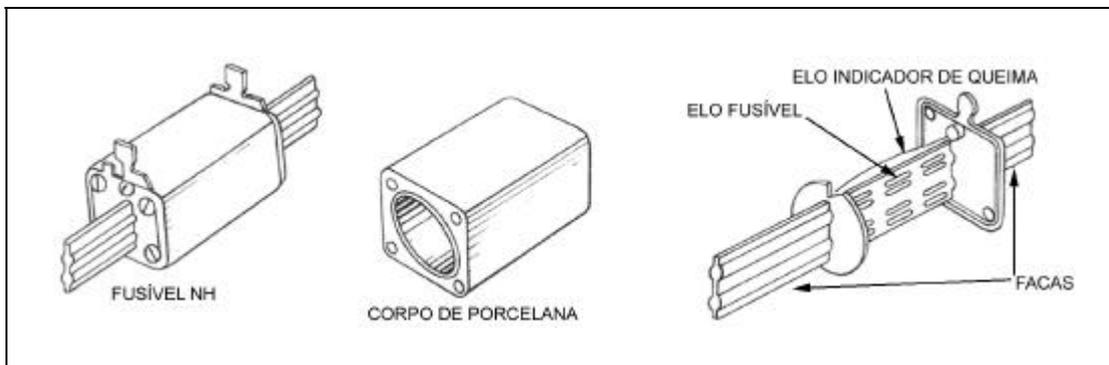
Os fusíveis NH são constituídos por duas partes: base e fusível.

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.

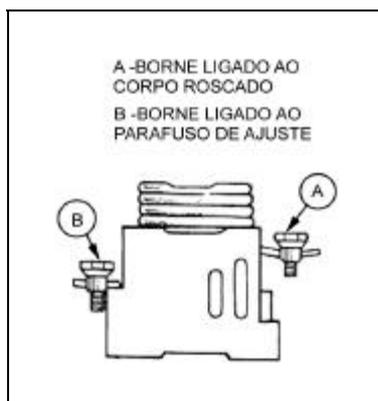
Fusíveis DIAZED

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, 200A. A capacidade de ruptura é de 70kA com uma tensão de 500V.

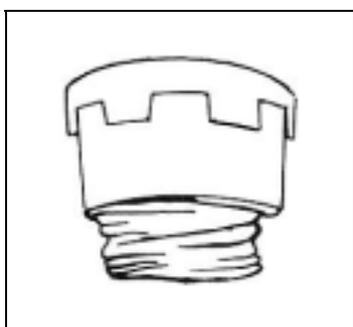
Construção

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.



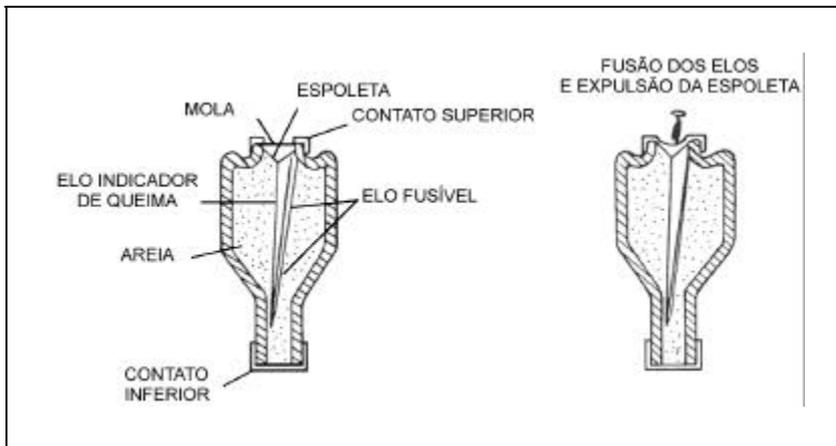
O parafuso de ajuste tem a função de impedir o uso de fusíveis de capacidade superior à desejada para o circuito. A montagem do parafuso é feita por meio de uma chave especial.



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.

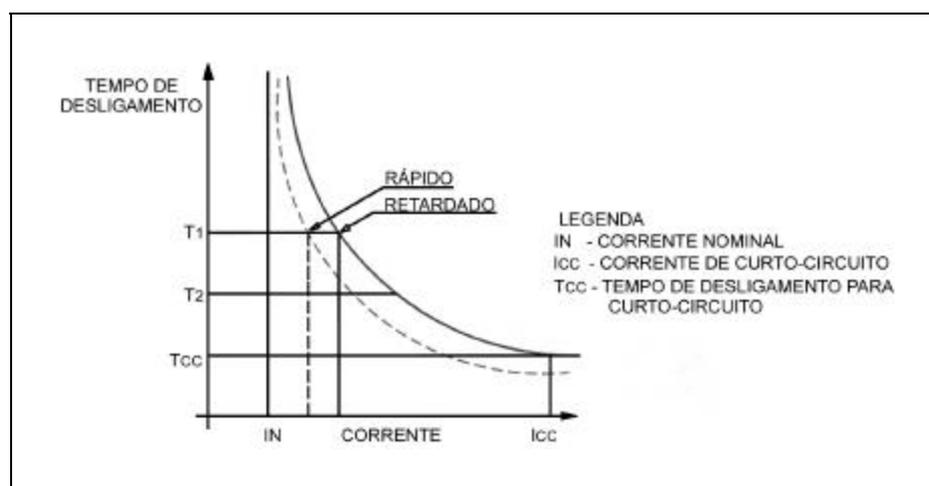
Cor	Intensidade de corrente (A)	Cor	Intensidade de corrente (A)
Rosa	2	Azul	20
Marrom	4	Amarelo	25
Verde	6	Preto	35
Vermelho	10	Branco	50
Cinza	16	Laranja	63

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 500V em CA e 600V 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.

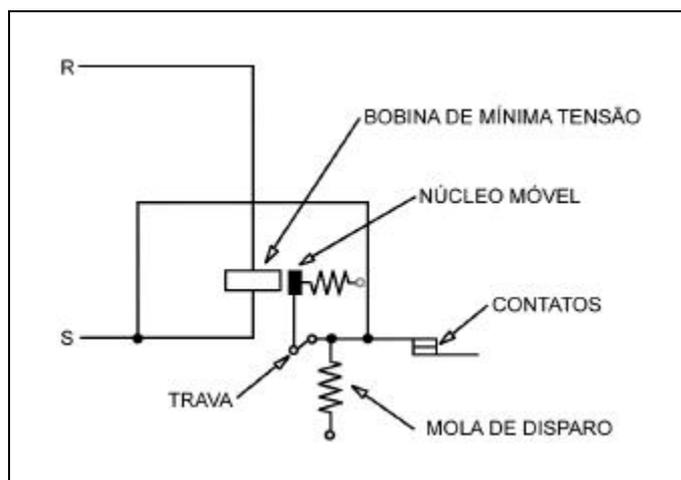
Os relês eletromagnéticos mais comuns são de dois tipos:

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

O relê de mínima tensão recebe uma regulação 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.

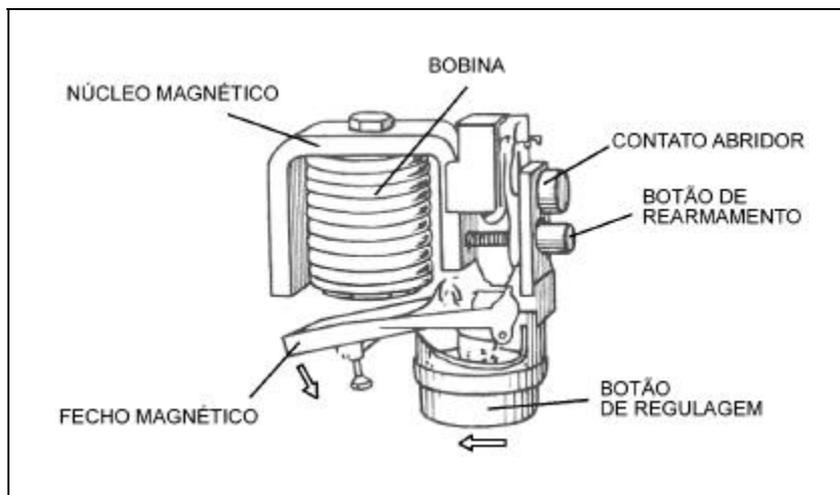
Os relês de mínima tensão são aplicados principalmente em contatores e disjuntores.

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



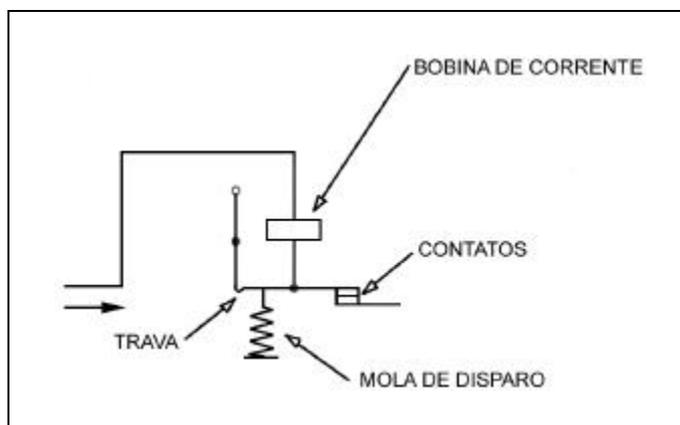
O relê de máxima corrente é regulado para proteger um circuito contra o excesso de corrente. Esse tipo de relê abre, indiretamente, o circuito principal assim que a corrente atingir o limite da regulação.

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.

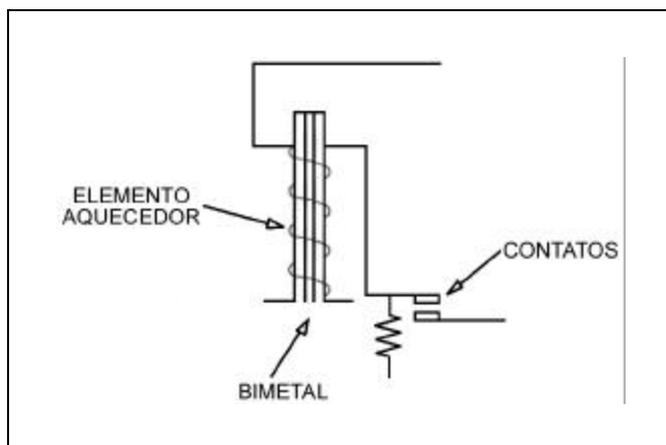
O elemento básico dos relês térmicos é o bimetal.

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.

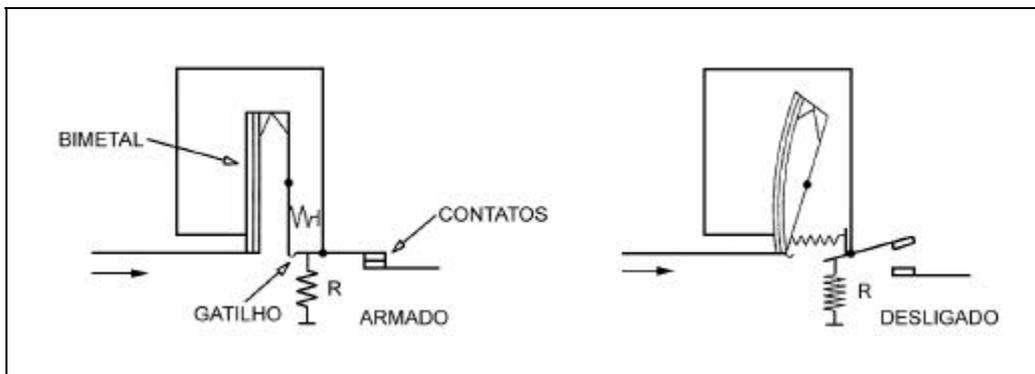
Os relês térmicos para proteção de sobrecarga são:

- Diretos;
- Indiretos;
- Com retenção.

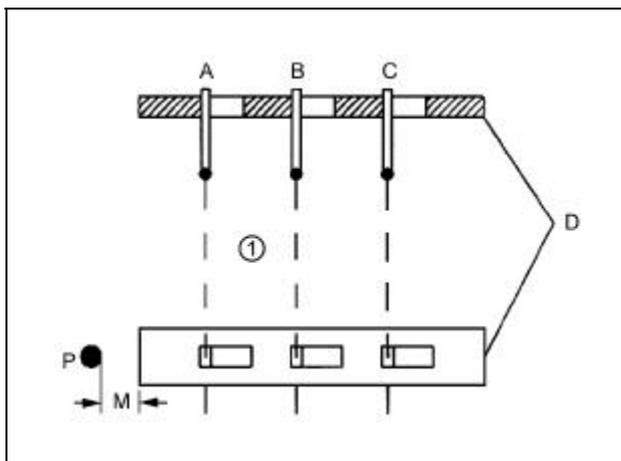
Os relês térmicos diretos são aquecidos pela passagem da corrente de carga pelo bimetal. Havendo sobrecarga, o relê desarma o disjuntor.

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.

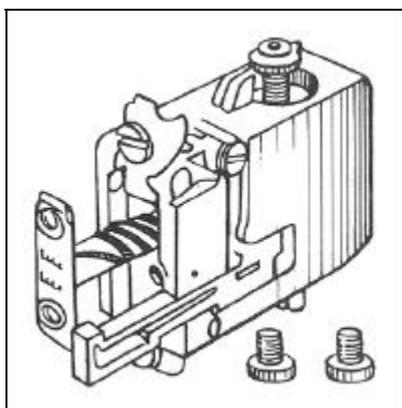
A figura a seguir mostra a representação esquemática de um relê térmico direto nas posições armado e desligado por sobrecarga.



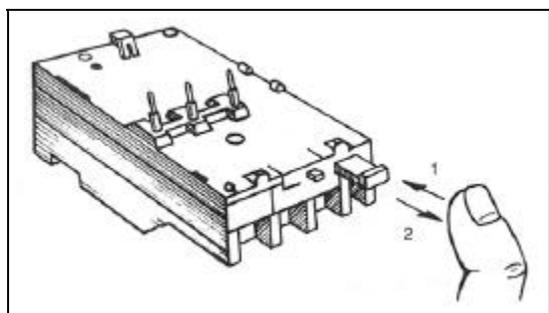
Nos circuitos trifásicos, o relê térmico possui três lâminas bim etálicas (A, B, C), que atuam conjuntamente quando houver sobrecarga equilibrada.



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.

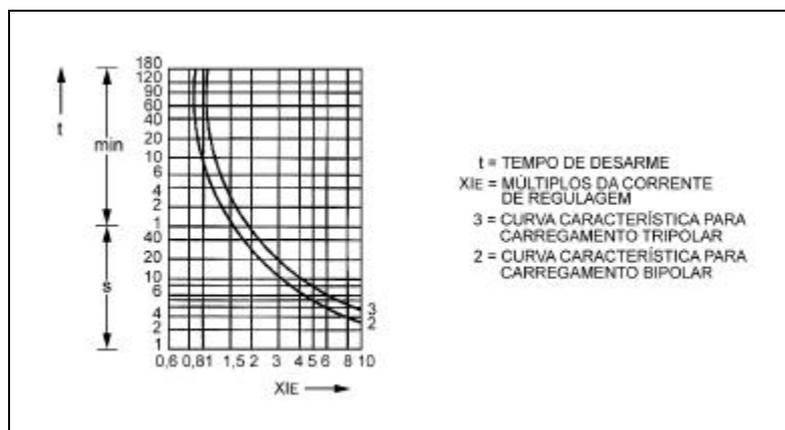
Os relês térmicos podem ser ainda compensados ou diferenciais.

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 10 A, 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.

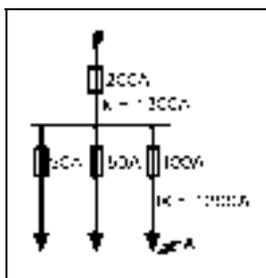
Funcionamento

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

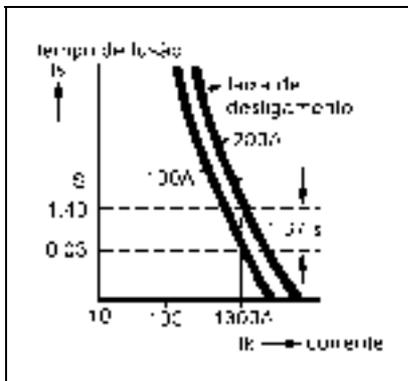
- Fusíveis em série com fusíveis;
- Relés eletromagnéticos de disjuntores em série entre si;
- Relés eletromagnéticos de disjuntores em série com fusíveis;
- Fusíveis em série com relés térmicos de disjuntores;
- Relés térmicos de disjuntor em série com fusíveis.

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. Consequentemente, 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 e2, serão necessários 1,4 segundos, o que garantirá, nesse caso, a seletividade do circuito.

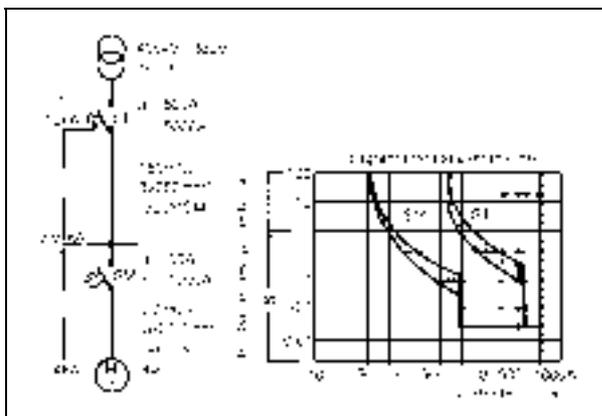


Seletividade de relés eletromagnéticos em série, com disjuntores

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

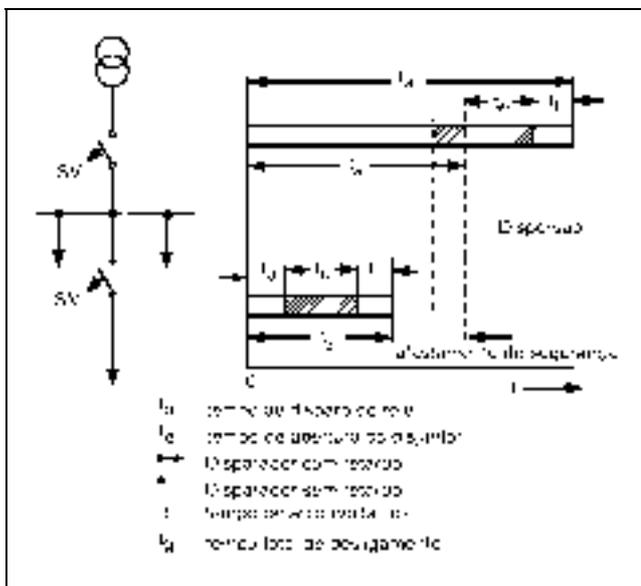
Este método apenas é possível quando as correntes de curto-circuito no local de instalação de cada um dos disjuntores, são suficientemente diferentes entre si. O disjuntor é a única chave que pode abrir um circuito pelo qual passa a corrente de curto-circuito. Consequentemente, o relé eletromagnético 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.

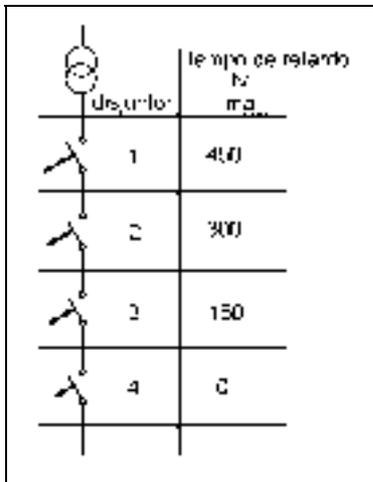


Condição: o tempo de disparo ou abertura (t_a) do disjuntor SV deve ser maior do que o tempo total de desligamento (t_g) do disjuntor SM subsequente.

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.

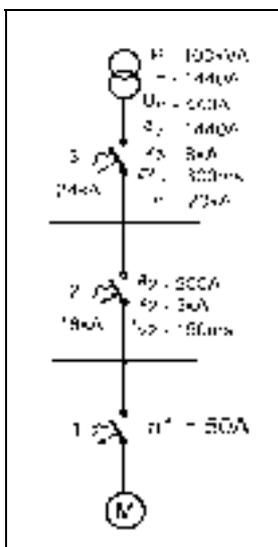
Geralmente, uma faixa de ajuste de tempo de 0,500s admite um escalonamento de até 4 disjuntores com relés em série, dependendo dos tempos próprios de cada disjuntor.

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.

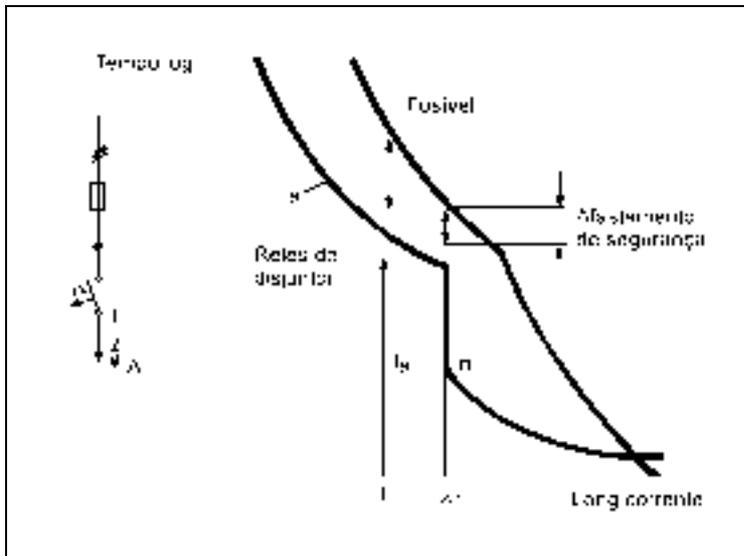


Para reduzir os efeitos de um curto-circuito total de valor muito elevado sobre os disjuntores pré-ligados ao defeito, estes podem ser dotados tanto com relés de ação rápida quanto de ação ultra-rápida. O valor de desligamento destes deve ser escolhido em grau tão elevado que estes relés apenas atuem 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.

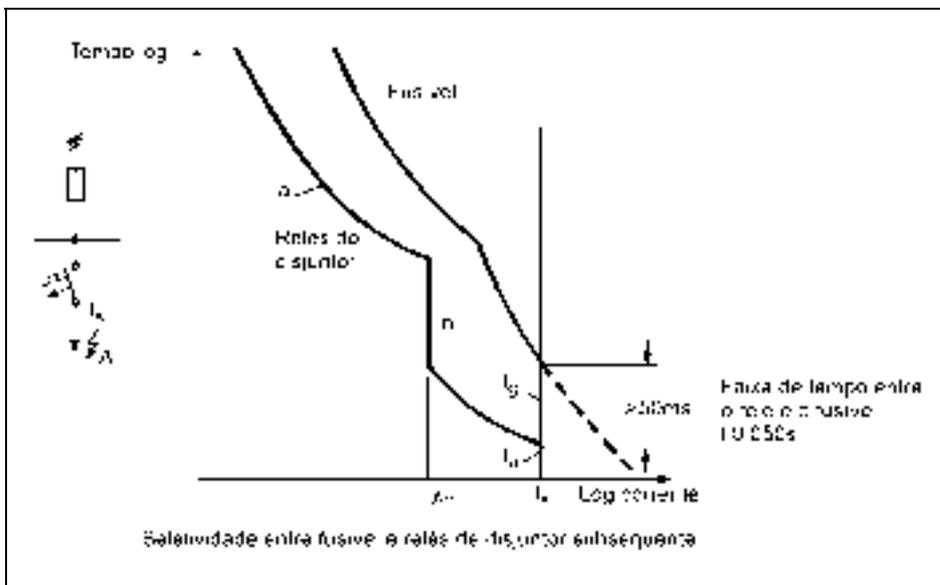
Cada disjuntor possui um relé eletromagnético de pequeno retardo (z) e um relé térmico (a).



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.

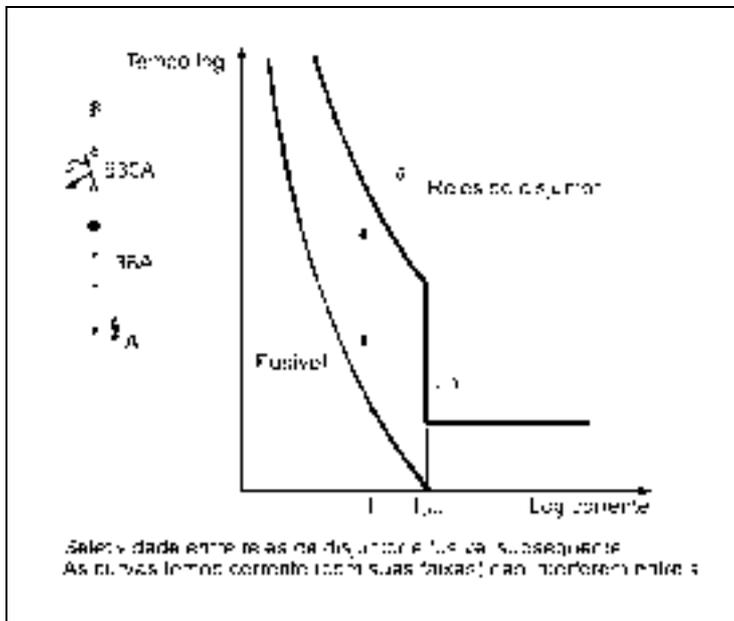


Em caso de curto-circuito, deve-se atentar para o fato de que o fusível continua sendo aquecido pela corrente até o instante em que o arco existente entre as peças de contato do disjuntor se extinga. Para a prática, é suficiente que a característica do fusível se mantenha 0,050s acima da curva de desligamento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

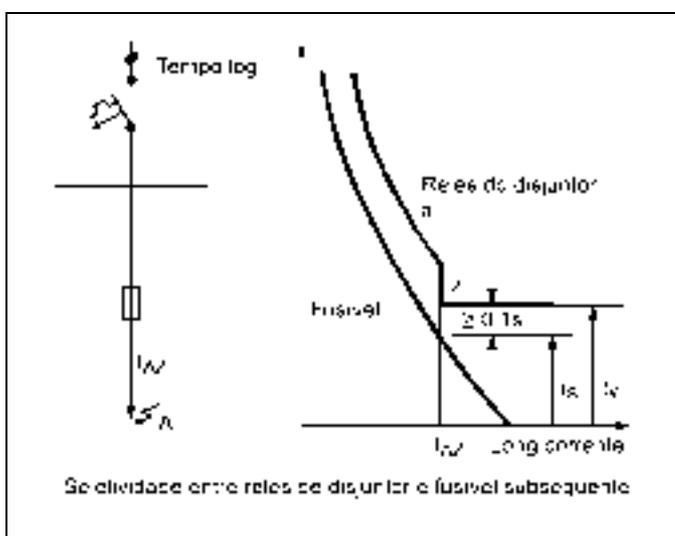


Seletividade entre relé térmico de disjuntor e fusível

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:

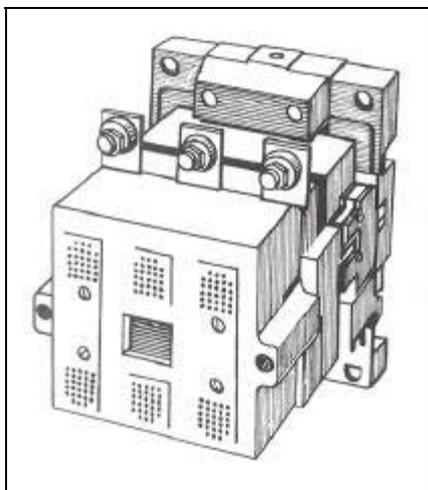
- Contatores para motores;
- Contatores auxiliares.

Esses dois tipos de contatores são semelhantes. O que os diferencia são algumas características mecânicas e elétricas.

Assim, os contatores 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 contator;
- Tamanho físico de acordo com a potência a ser comandada;
- Possibilidade de ter a bobina do eletroímã com secundário.

Veja um contator para motor na ilustração a seguir.



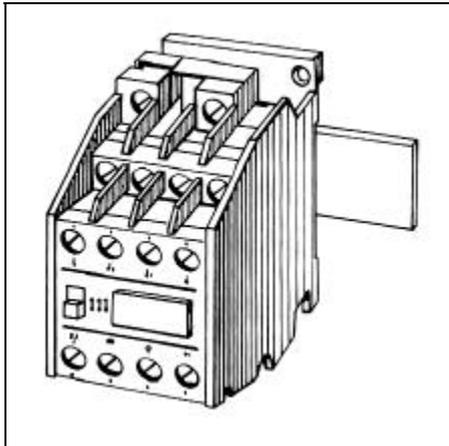
Os contatores auxiliares são usados para:

- Aumentar o número de contatos auxiliares dos contatores de motores,
- Comandar contatores de elevado consumo na bobina,
- Evitar repique,
- Para sinalização.

Esses contatores 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

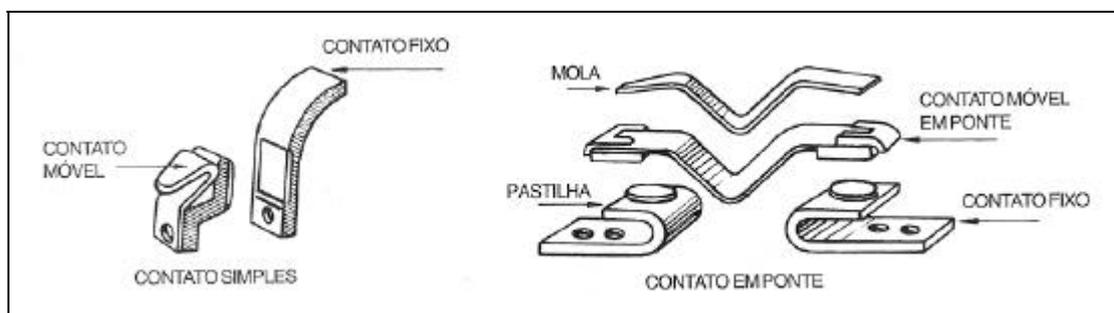
Os principais elementos construtivos de um contator são:

- Contatos;
- Sistema da acionamento;
- Carcaça;
- Câmara de extinção de arco-voltaico.

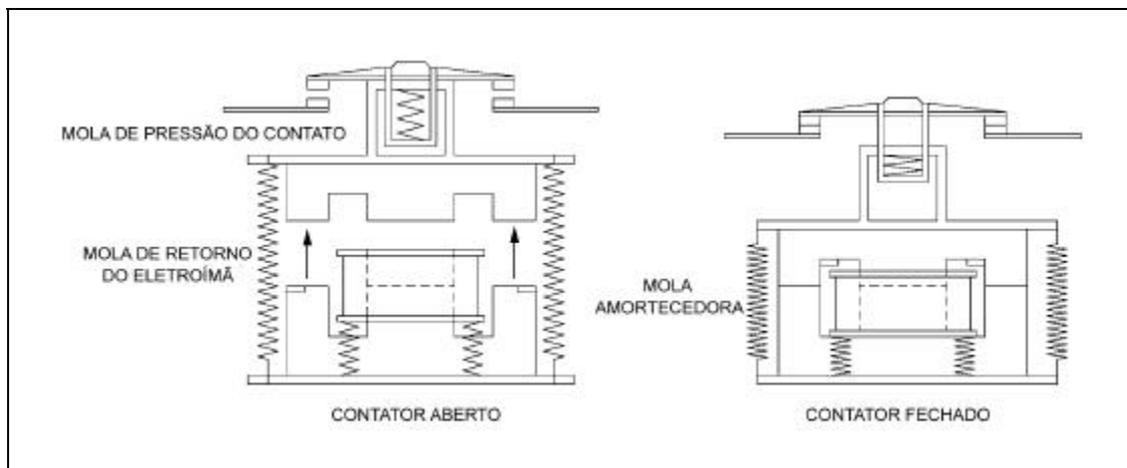
Contatos dos contatores e pastilhas

Os contatos são partes especiais e fundamentais dos contatores, destinados a estabelecer a ligação entre as partes energizadas e não-energizadas de um circuito ou, então, interromper a ligação de um circuito.

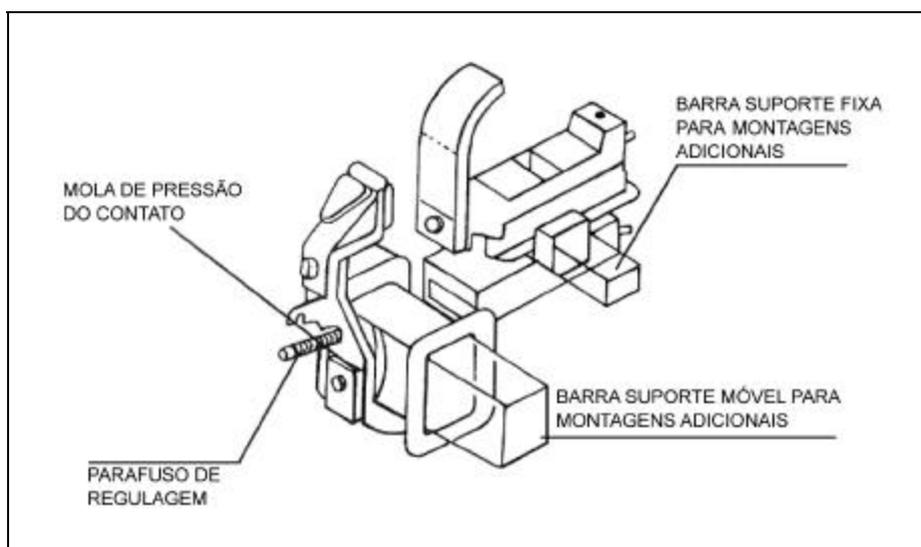
São constituídos de pastilhas e suportes. Podem ser fixos ou móveis, simples ou em ponte.



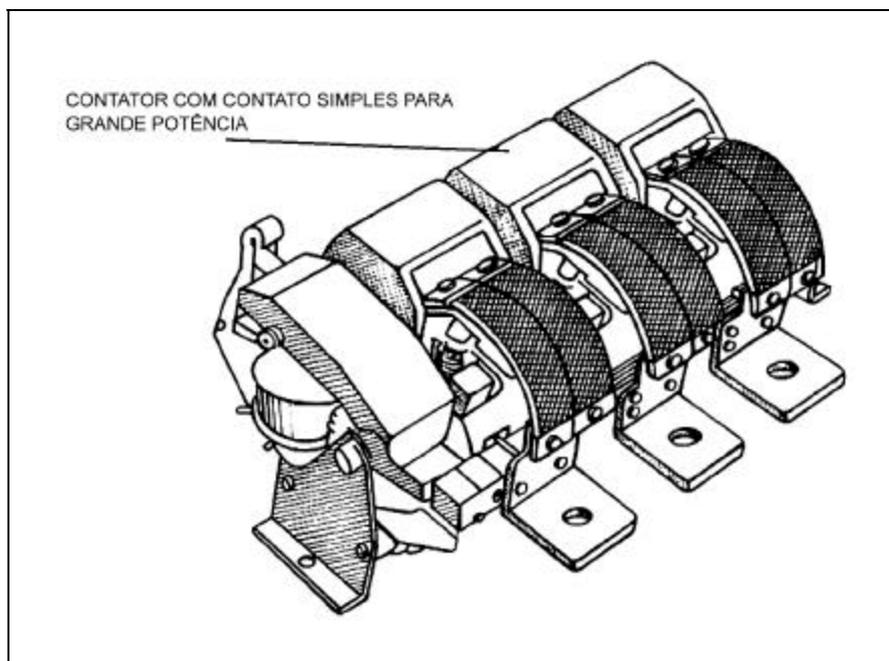
Os contatos móveis são sempre acionados por um eletroímã pressionado por molas. Estas devem atuar uniformemente no conjunto de contatos e com pressão determinada conforme a capacidade para a qual eles foram construídos.



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.

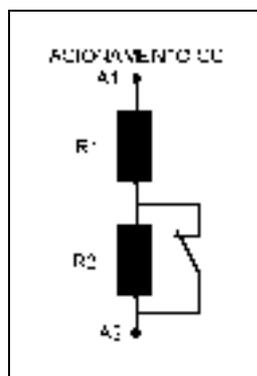
Para o acionamento com CA, existem anéis de curto-circuito que se situam sobre o núcleo fixo do contator e evitam o ruído por meio da passagem da CA por zero.

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

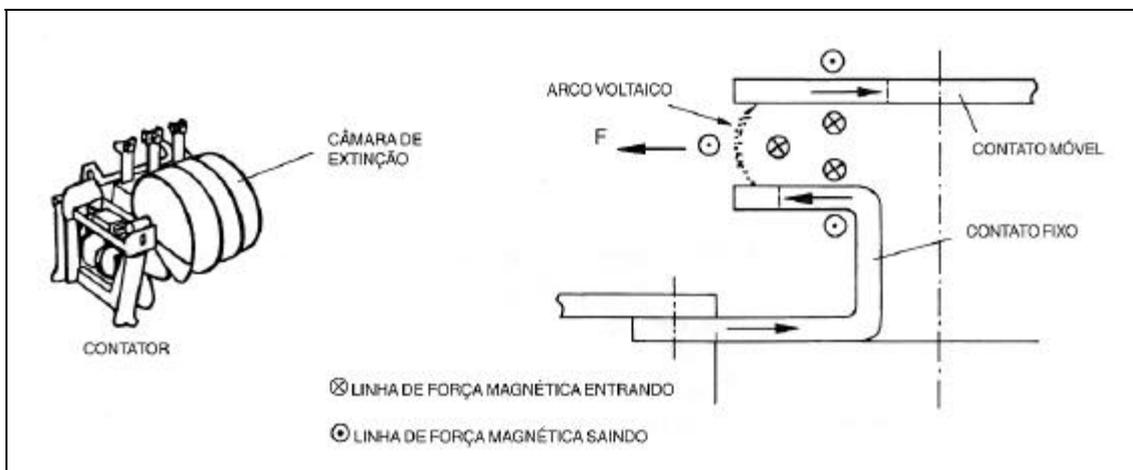
É constituída de duas partes simétricas (tipo macho e fêmea) unidas por meio de grampos.

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.

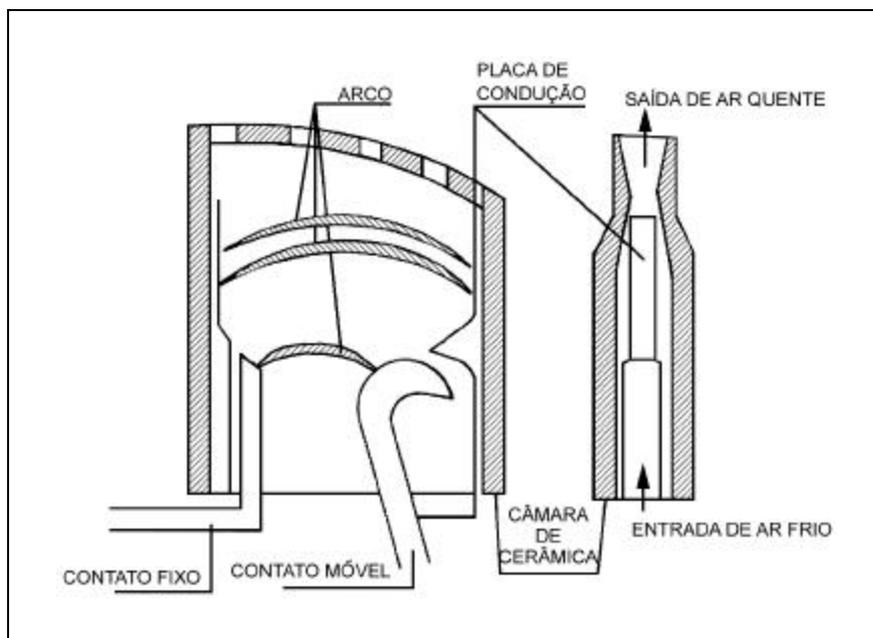
A substituição da bobina é feita pela parte superior do contator, através da retirada de quatro parafusos de fixação para o suporte do núcleo.

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 as bobinas.

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 contatores

Os contatores 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 contatores

Os contatores 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 contatores abertos, o espaço livre em frente à câmara deve ser de, no mínimo, 45mm.

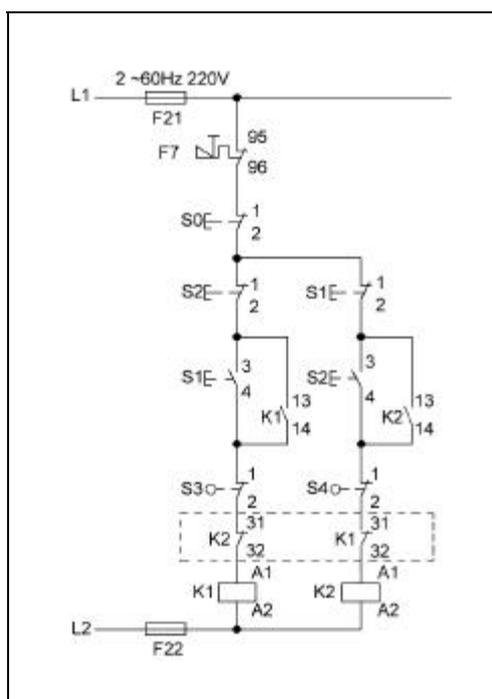
Intertravamento de contatores

O intertravamento é um sistema de segurança elétrico ou mecânico destinado a evitar que dois ou mais contatores 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.

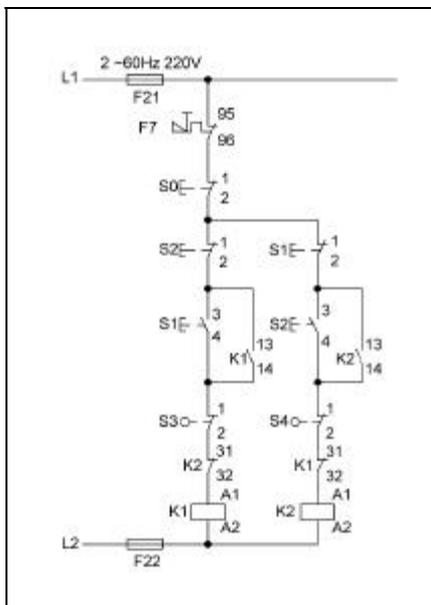


Os botões conjugados são inseridos no circuito de comando de modo que, ao ser acionado um botão para comandar um contator, haja a interrupção do funcionamento do outro contator.

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 S₁: fechador de K₁ conjugado com S₁, abridor de K₂.
- Botão S₂: fechador de K₂ conjugado com S₂, abridor de K₁.

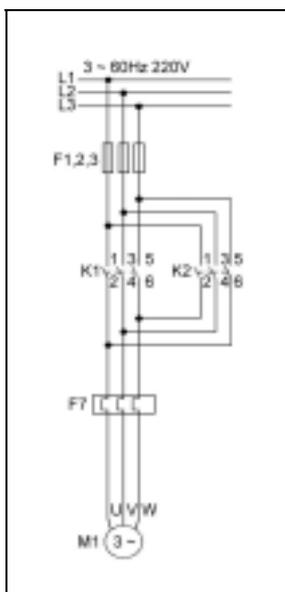


Observação

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 contatores.

Quando um dos contatores 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 contadores

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 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 contadores conforme a categoria.

Categoria de emprego	Exemplos de uso
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.

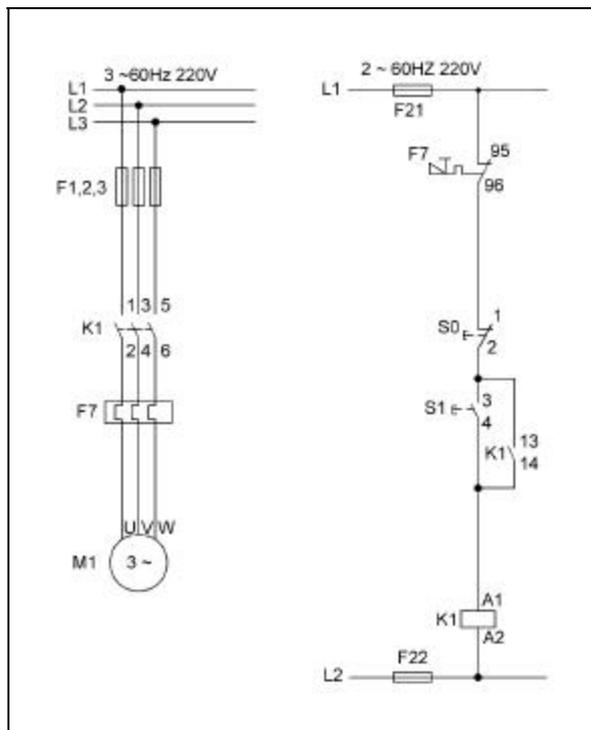
Observação

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.

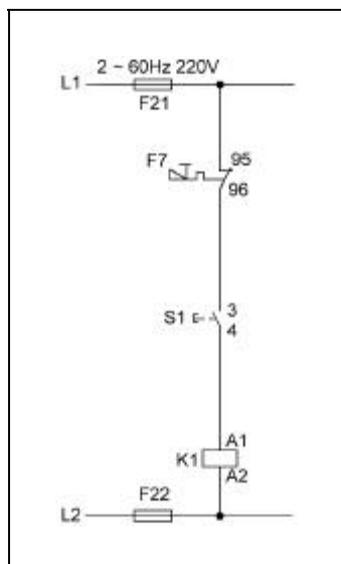


Na condição inicial, os bornes R, S e T estão sob tensão. Quando o botão S_1 é acionado, a bobina do contator K_1 é energizada. Esta ação faz fechar o contato de selo K_1 (13, 14) que manterá a bobina energizada. Os contatos principais se fecharão e o motor funcionará.

Para interromper o funcionamento do contator e, conseqüentemente, do motor, aciona-se o botão S_0 . Isso interrompe a alimentação da bobina, provoca a abertura do contato de selo K_1 (13, 14) 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 S_0 e S_1 e o contato de selo K_1 (13, 14). Em seu lugar, coloca-se a chave S_1 como mostra a figura 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.
Fisicamento excessivo	Instabilidade da tensão de comando por: <ul style="list-style-type: none"> • Regulação pobre da fonte; • Linhas extensas e de pequena seção; • Correntes de partida muito altas; • Subdimensionamento do transformador de comando com diversos contadores operando simultaneamente. For Fornecimento irregular de comando por: <ul style="list-style-type: none"> • Botoeiras com defeito; • Chaves fim-de-curso com defeito.

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 0,5 ms. 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.

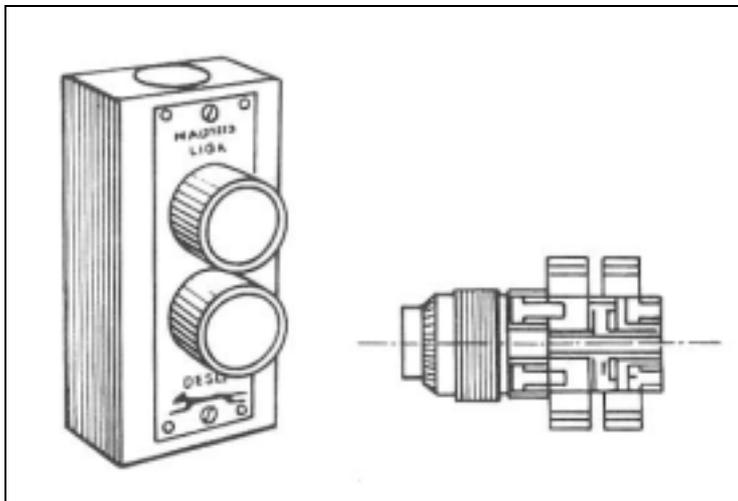
Os contatores modernos são praticamente livres de ricochete. Na ligação, eles acusam um desgaste de material de contato equivalente a 1/10 do desgaste para desligamento sob corrente nominal. Assim, a corrente de partida de motores não tem influência na durabilidade dos contatos.

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.

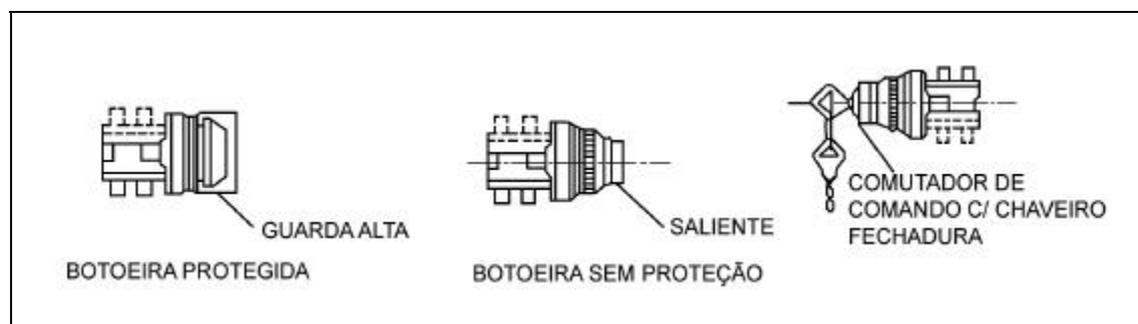
Em alguns tipos de botoeiras, o contato móvel tem um movimento de escorregamento que funciona como automanutenção, pois retira a oxidação que aparece na superfície do contato.

Os contatos são recobertos de prata e suportam elevado número de manobras.

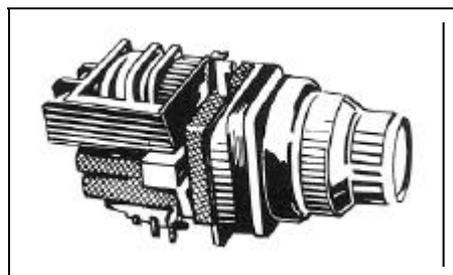
As chaves auxiliares são construídas com proteção contra ligação acidental; sem proteção ou com chave tipo fechadura.

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.

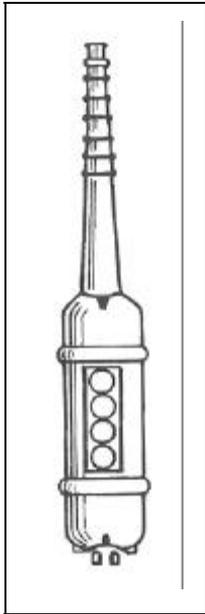


As botoeiras podem ainda conjugar a função de sinaleiro, ou seja, possuem em seu interior uma lâmpada que indica que o botão foi acionado. Elas não devem ser usadas para desligar circuitos e nem como botão de emergência.



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.

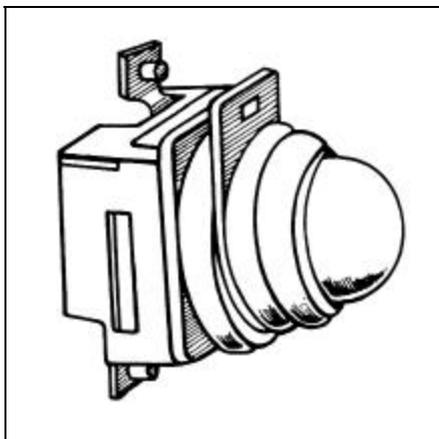
Sinalização

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.	

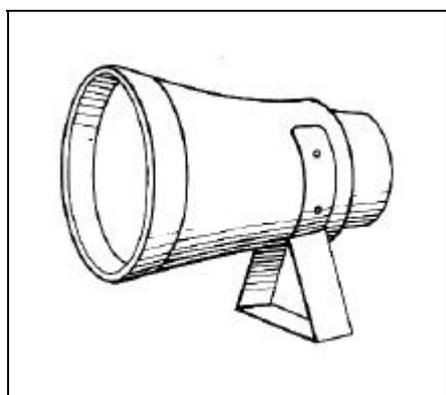
A sinalização intermitente é usada para indicar situações que exigem atenção mais urgente.

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 1000 e 3000Hz. Deve conter harmônicos que o tornarão distinto do ruído local.

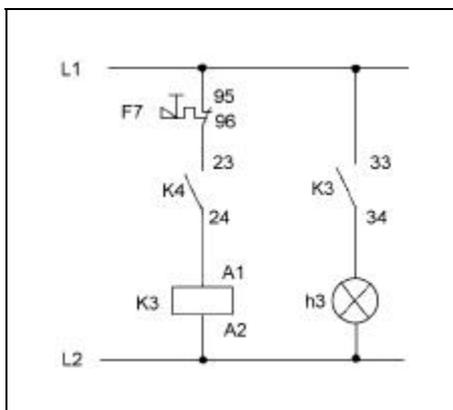
As campainhas são usadas para indicar anomalias em máquinas. Assim, se um motor com sobrecarga não puder parar de imediato, o alarme chamará a atenção do operador para as providências necessárias.

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:

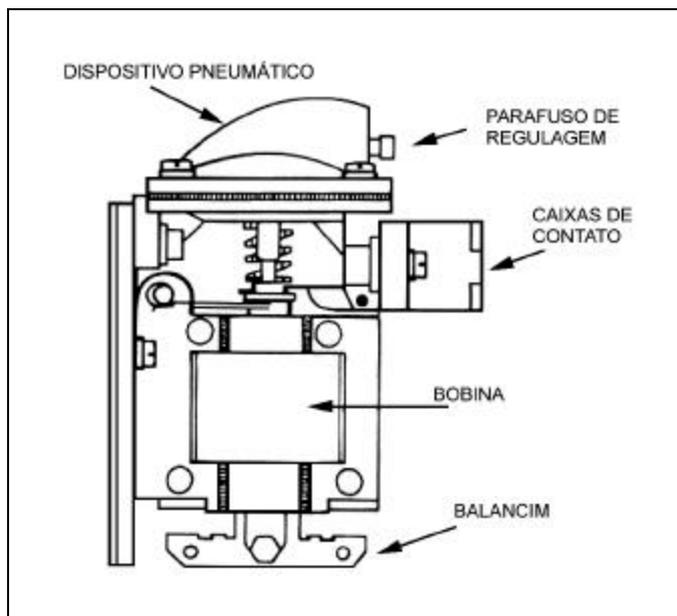
- Relê pneumático de tempo;
- Relê mecânico de tempo;
- Relê eletrônico de tempo.

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.

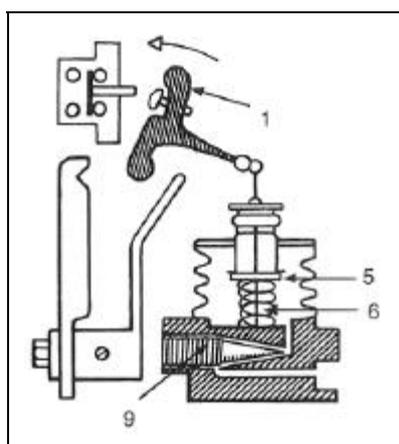
Veja ilustração a seguir.



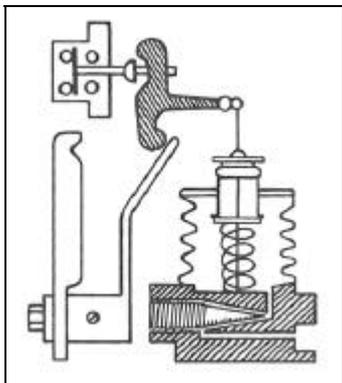
Esse tipo de relê é usado em chaves de partida estrela-triângulo ou compensadoras, na comutação de contatores ou na temporização em circuitos seqüenciais. O retardo fornecido varia de um a sessenta segundos, porém não é muito preciso.

Funcionamento

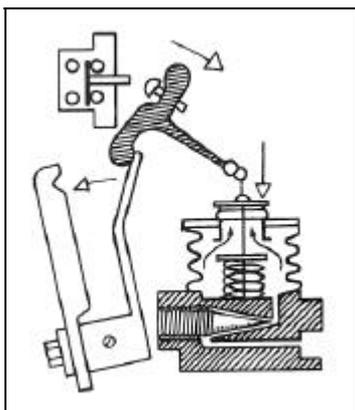
Na condição inicial, o eletroímã é energizado e libera a alavanca (1). A mola (6) tende a abrir a sanfona, mantendo a válvula (5) fechada. A velocidade de abertura depende diretamente da vazão permitida pelo parafuso (9) que controla a admissão do ar.



Após um tempo " t ", que depende da regulagem do parafuso, a sanfona está completamente aberta e aciona os contatos fechadores e abridores.

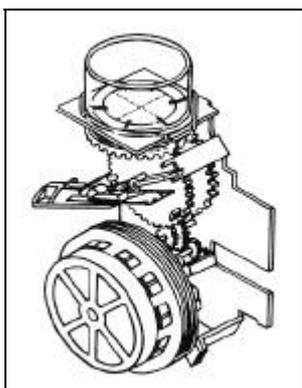


Quando o contato é desenergizado, o braço de acionamento age sobre a alavanca e provoca a abertura da válvula (5), liberando o contato. O conjunto volta instantaneamente à posição inicial.



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;

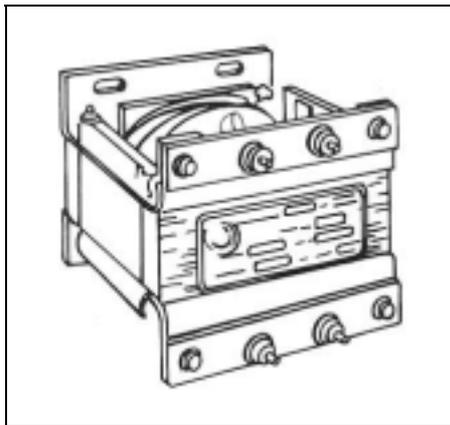
- Transformadores para chaves compensadoras;
- Transformadores de corrente.

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:

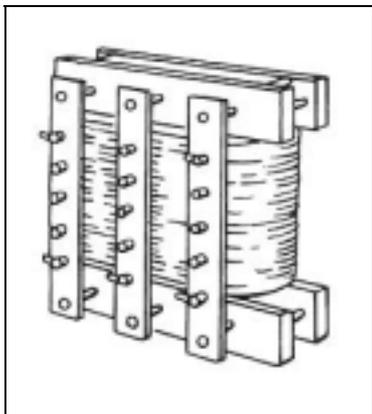


Transformadores para chaves compensadoras

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.

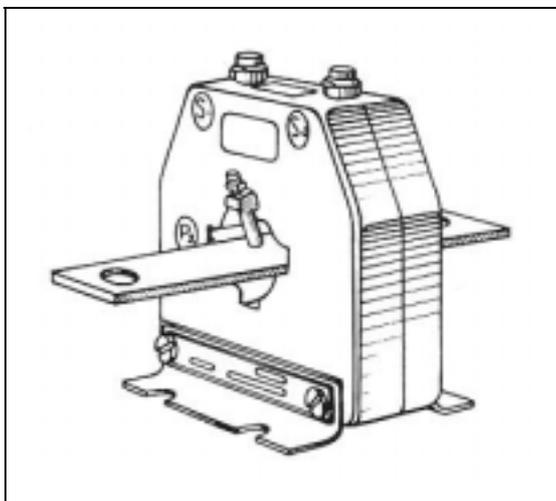
São construídos com duas colunas com ligações em triângulo; ou com três colunas com ligação em estrela.



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 200 A na rede principal, a corrente do relê será de 5 A.

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.

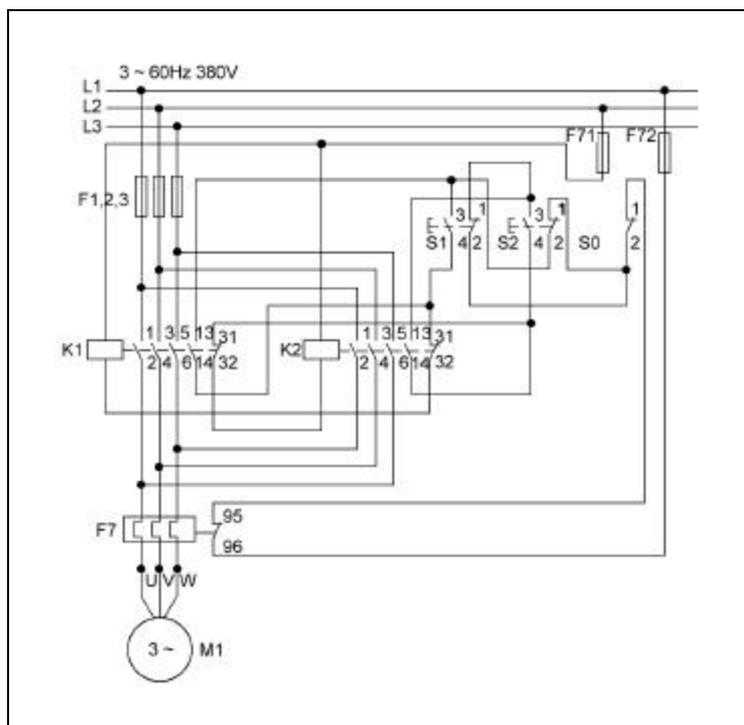
Essas informações estão padronizadas por normas técnicas que estabelecem a maneira pela qual devem ser elaborados os desenhos técnicos para a eletroeletrônica.

Tipos de diagramas

Os diagramas podem ser:

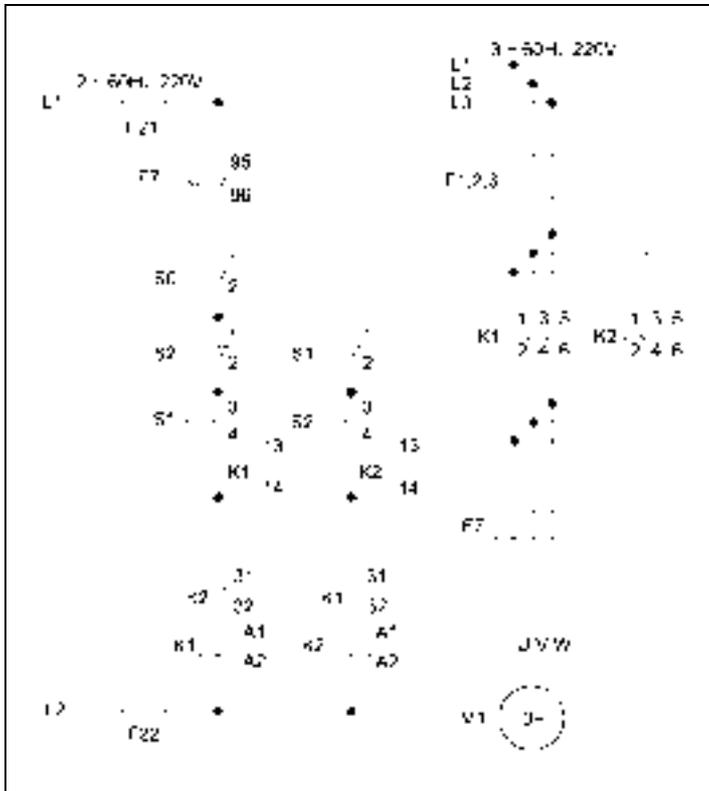
- Multifilar completo (ou tradicional),
- Funcional, e
- De execução.

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.

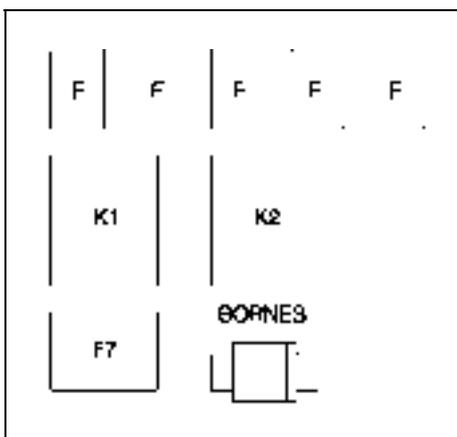


Em razão das dificuldades de interpretação desse tipo de diagrama, os três elementos básicos dos diagramas, ou seja, os caminhos da corrente, os elementos e suas funções e a seqüência funcional são separados em duas partes representadas por diagramas diferentes.

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.

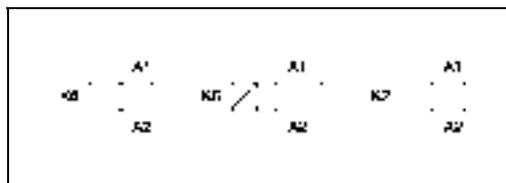
Exemplos

- PVI - voltímetro para tensões de 0 mV - 10 mV
- PA3 - amperímetro para correntes de 0 mA - 100 mA
- R15 - resistor de 1 M Ω

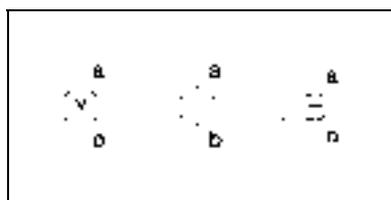
Os símbolos literais têm a função de facilitar a identificação dos elementos do circuito, ou seja, componentes, equipamentos, conjuntos, subconjuntos, quando relacionados em uma lista de materiais. Sua utilização ajuda na interpretação de esquemas e diagramas de circuitos. Eles são utilizados somente em projetos novos.

A seguir são apresentados alguns exemplos de representação e identificação de componentes.

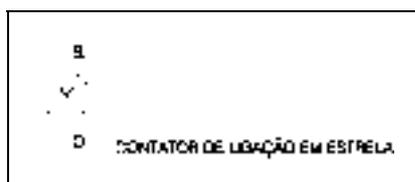
Identificação por letras e números:



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.



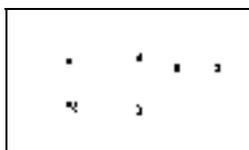
Quando o contator é identificado por meio de letras, sua função só é conhecida quando o diagrama de potência é analisado.

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 (shunts), termistores.
S	Seletores, chaves	Chaves de controle, "push buttons" 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.	"Jumpers", 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 ("compandors").

Identificação de bornes de bobinas e contatos

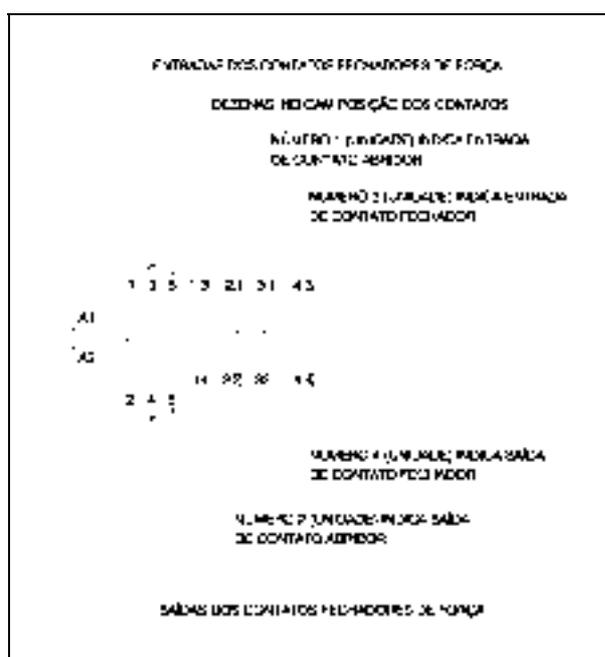
As bobinas têm os bornes indicados pelas letras a e b, como mostram os exemplos a seguir.



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.

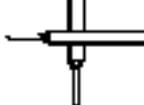
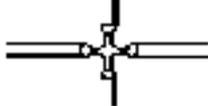
No esquema a seguir são mostradas as identificações de função e posição dos contatos.



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.

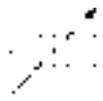
Designação	Figura	Símbolo
Condutor		
Cruzamento sem conexão		
Cruzamento com conexão		
Fonte, gerador ou bateria		
Lâmpada		
Interruptor		

Símbolos gráficos de componentes passivos

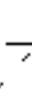
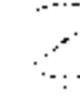
Outro grupo de símbolos importantes para a desenho, leitura e interpretação de esquemas elétricos, é o grupo referente aos componentes passivos (resistores, capacitores, indutores, etc.) contido na NBR 12521/91.

As tabelas a seguir apresentam os símbolos para resistores, capacitores e indutores.

Resistores

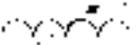
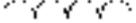
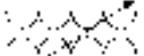
Símbolo	Descrição
<p>Forma preferida</p>  <p>Outra forma</p> 	Resistor, símbolo geral
	Resistor variável
	Resistor dependente da tensão Varistor (Resistor com variabilidade intrínseca, não linear, dependente de tensão) Nota: U pode ser substituído por V
	Resistor a contato móvel
	Resistor a contato móvel 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. Nota Se necessário, para identificar os eletrodos do capacitor, o elemento curvo deve representar: Eletrodo externo, em capacitores de dielétrico cerâmico e de dielétrico de papel fixo A armadura móvel, em capacitores variáveis a ajustáveis Elemento de baixo potencial, em capacitores de passagem
		Capacitor de passagem
		Capacitor polarizado, por exemplo, eletrolítico
		Capacitor variável
		Capacitor com ajuste predeterminado
		Capacitor diferencial variável
		Capacitor variável a dupla armadura móvel

Símbolo		
		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 Nota U pode ser substituído por V

Indutores

Símbolo	Descrição
<p>Forma preferida</p> 	<p>Indutor Bobina Enrolamento</p>
<p>Outra forma</p>  	<p>Notas Para enrolamentos de transformadores ver a SB-110. 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: θ pode ser substituído por t°
	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

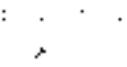
Tiristores

Símbolo	Descrição
	Tiristor diodo de bloqueio inverso
	Tiristor diodo de condução inversa
	Tiristor diodo bidirecional
	Tiristor triodo, tipo não especificado Nota 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 tetrodo 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
	Transistor de efeito de campo de junção, com canal tipo N Nota As conexões da porta e da fonte devem estar alinhadas.
	Porta Fonte
	Transistor de efeito de campo de junção, com canal tipo P
	Transistor de efeito de campo à porta isolada (IGFET), tipo a enriquecimento, uma porta, com canal tipo P, sem conexão ao substrato Nota: Para um exemplo com múltiplas portas, ver símbolo 2.5.17.

	<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>Nota 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 óptico Isolador óptico 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.

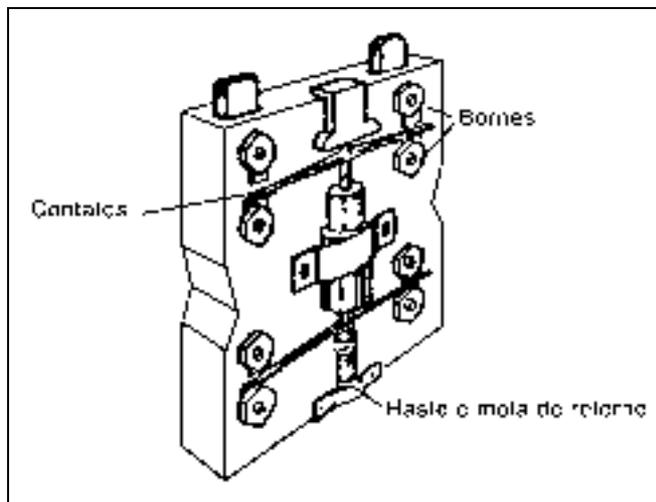
Para aprender esse conteúdo com mais facilidade, você deve ter conhecimentos anteriores relativos a contatores.

Chaves auxiliares tipo fim de curso

Para estudar a reversão de rotação de motores trifásicos, estudaremos inicialmente as chaves tipo fim de curso.

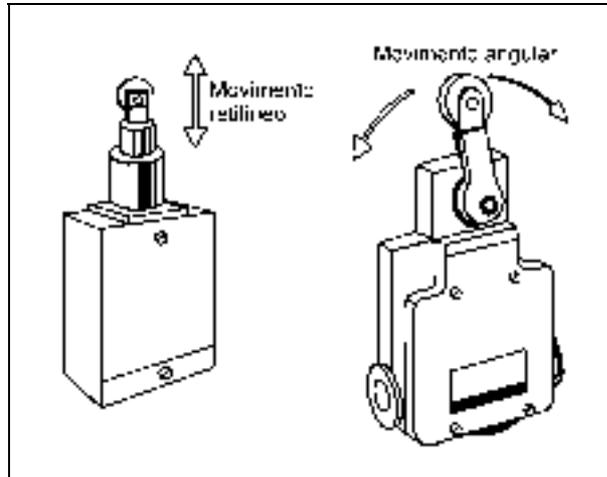
Essas chaves são dispositivos auxiliares de comando usadas para comandar contatores, válvulas solenóides e circuitos de sinalização.

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.

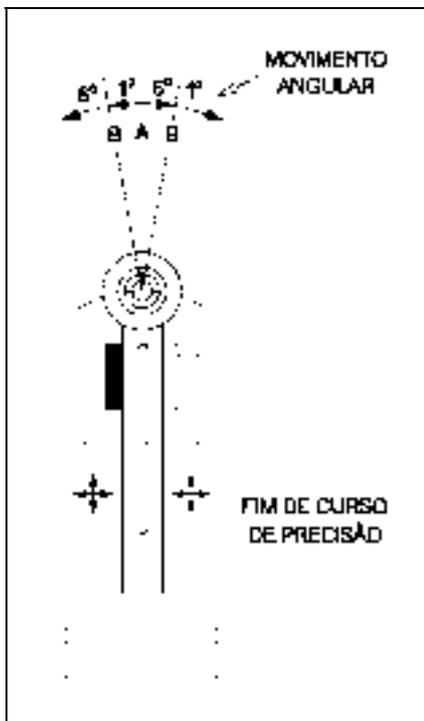
A chave fim de curso mecânica depende de uma ação mecânica para acionar seus contatos. Seu movimento pode ser retilíneo ou angular.



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.

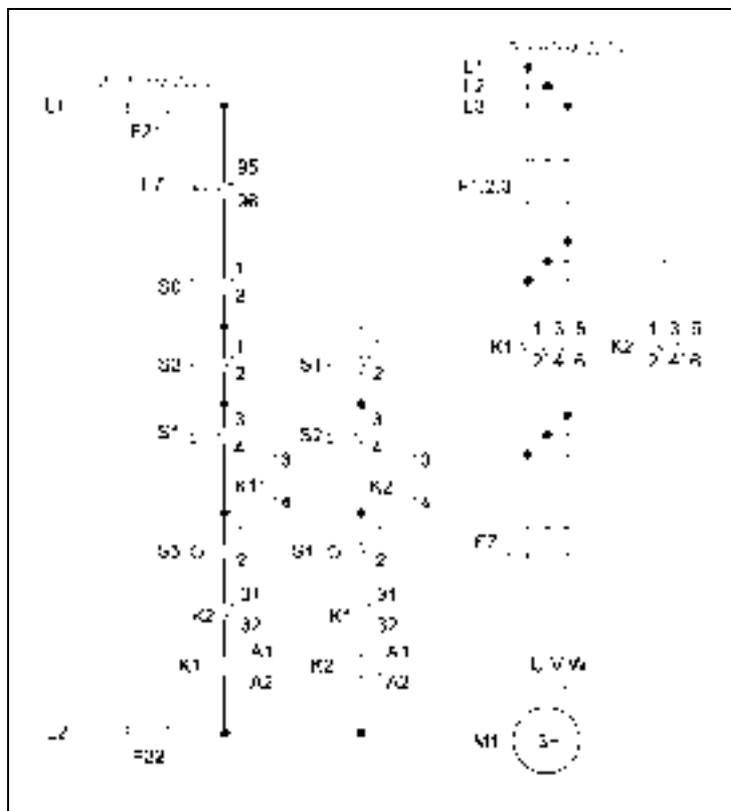
A chave fim de curso eletromagnética funciona por indução eletromagnética, ou seja, uma bobina atravessando o campo magnético recebe a indução de uma corrente elétrica que aciona os contatos através de um relé.

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 aberto de S_2 , por sua vez, alimenta a bobina de K_2 fechando o contato de selo 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.

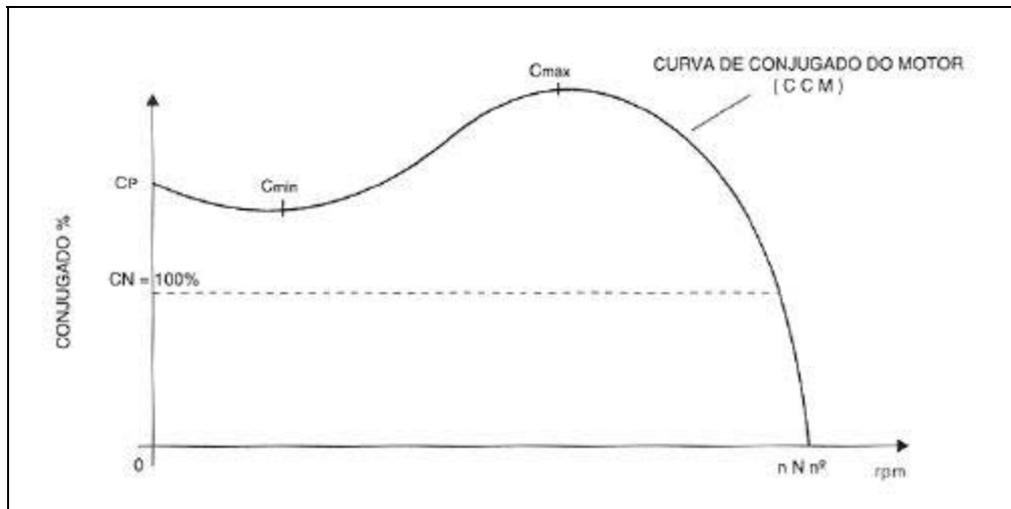
Cada motor tem sua própria curva de conjugado. Essa curva varia com a potência e a velocidade do motor. Assim, em motores de velocidade e potência iguais, mas de fabricantes diferentes, geralmente a curva do conjugado é diferente.

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.

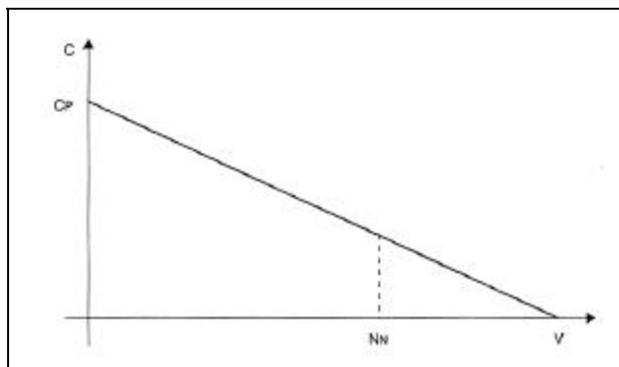
A curva típica do conjugado motor (CCM) é mostrado a seguir.



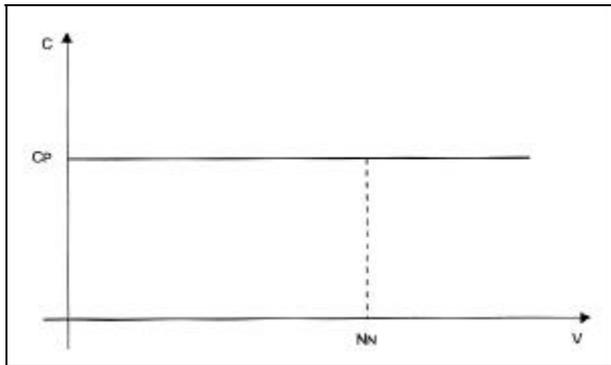
Para a carga, temos a curva do conjugado resistente (CCR), que varia segundo o tipo de carga.

Veja a seguir as curvas do conjugado resistente para alguns tipos de carga:

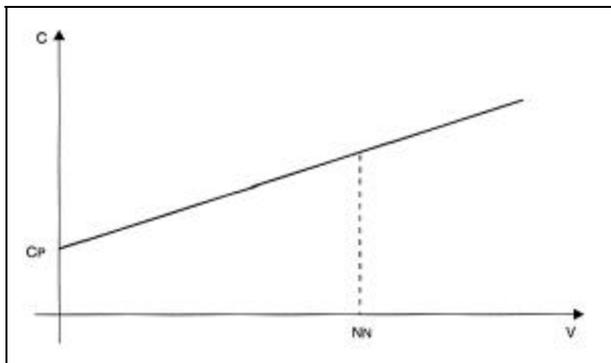
- Conjugado resistente diminui com o aumento da velocidade



- Conjugado resistente se mantém constante com o aumento da velocidade

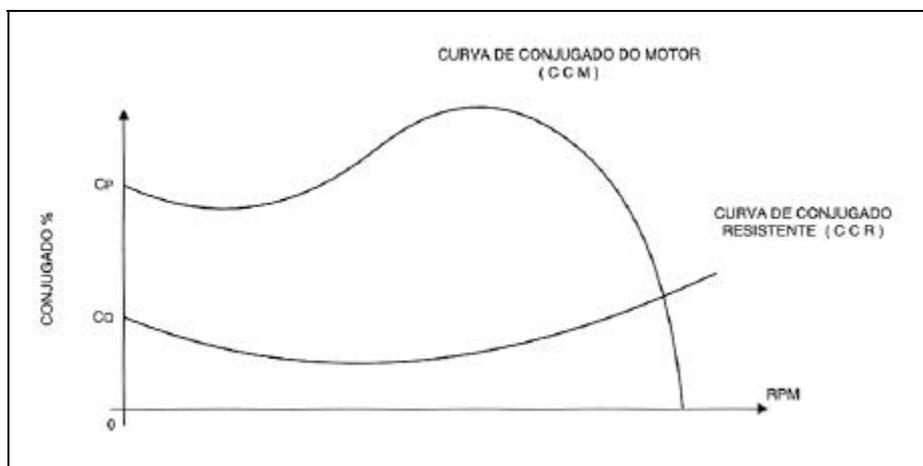


- Conjugado resistente aumenta com o aumento da velocidade



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.

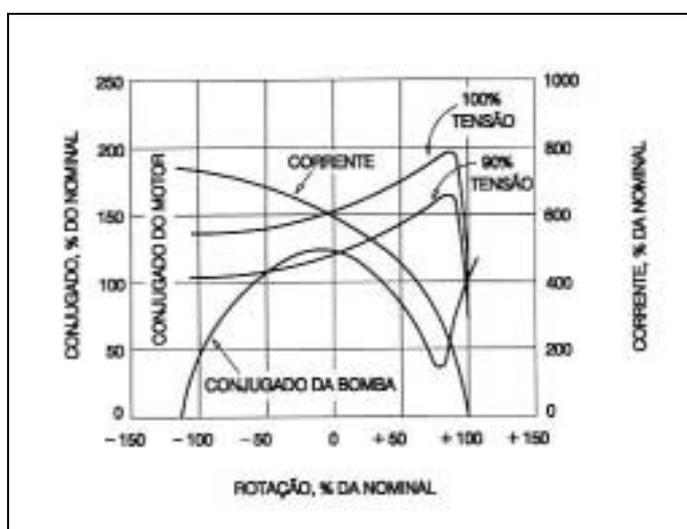
Assim, podemos escolher um tipo de partida mais adequado à curva do conjugado da máquina, diminuindo a corrente de partida do motor.

Partida direta

A partida direta é realizada por meio de chaves de partida direta ou de contadores 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.

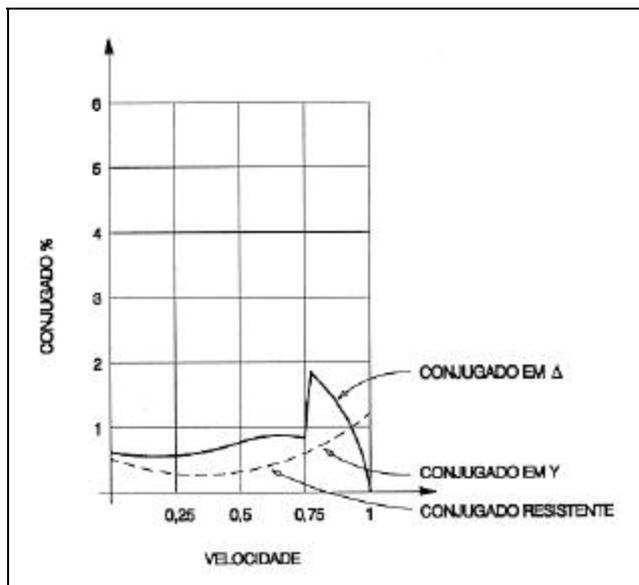
Partida por ligação estrela-triângulo

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 (220/380 V, 380/660 V, ou 440/760 V) 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 (2° estágio).

Veja figura abaixo.



Assim, o conjugado e a corrente de partida serão, também, reduzidos a $1/3$ do valor.

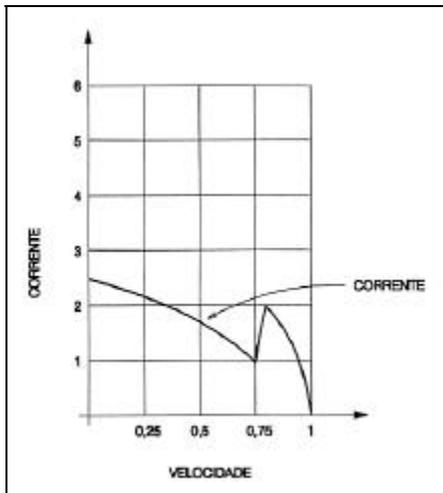
Observação

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: $0,65 \cdot 100 A = 65A$;

- 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 42,25 A, conforme é demonstrado a seguir:

$$220V \cdot I_E = 143 V \cdot 65A$$

$$I_E = \frac{143 V \cdot 65 A}{220 V} = 42,25 A$$

- 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

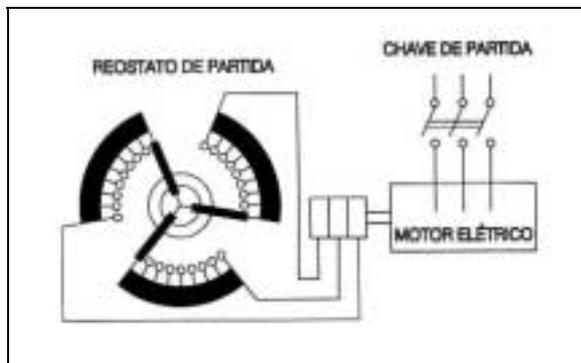
As desvantagens desse sistema de partida são as seguintes:

- 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, conforma 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.

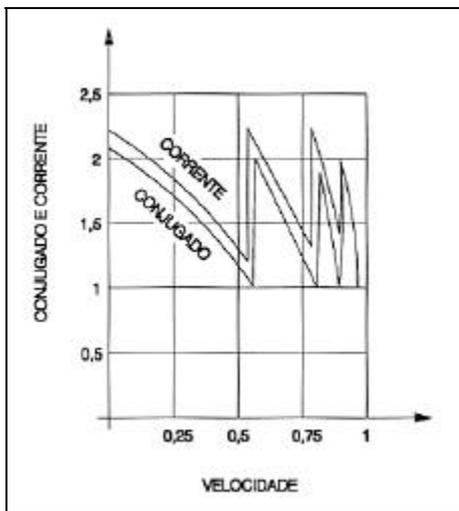
Durante a partida, a resistência rotórica adicional é mantida no circuito para diminuir a corrente de partida e aumentar os conjugados.

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 contadores 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 contadores comandados por botões. O sistema é usado para reduzir a tensão de fase do motor durante a partida.

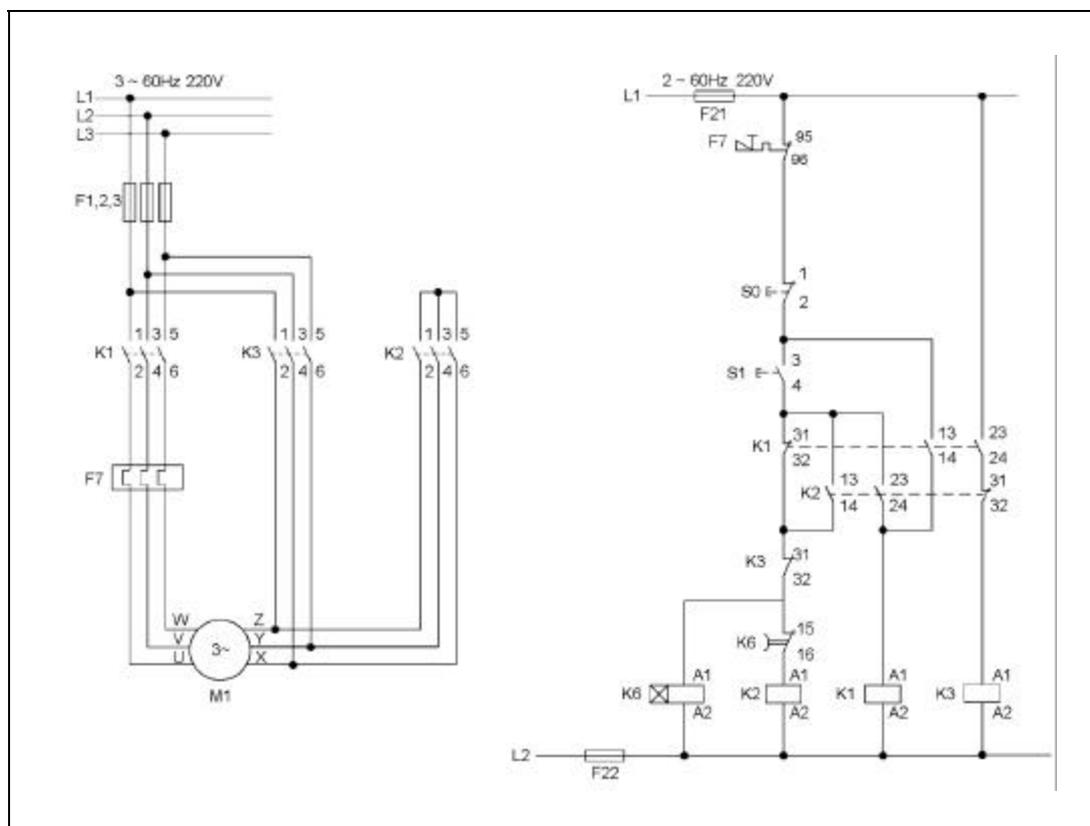
Observação

A tensão de fase do motor é:

$$U_F = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = 0,58 U_L$$

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), K_1 , K_2 e K_3 estão desligados e a rede RST está sob tensão.

Pulsando-se o botão S_1 , a bobina do contator K_2 e o relé temporizado K_6 serão alimentados, fechando os contatos de selo e o fechador de K_2 , que mantêm energizadas as bobinas dos contadores K_1 e K_2 e o relé K_6 .

Uma vez energizadas as bobinas de K_2 e K_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 K_6 se desligue, desenergizando a bobina de K_2 e abrindo seus contatos principais.

Com a bobina K_2 desenergizada, o contato abridor K_2 é acionado, energizando a bobina K_3 , que acionará o motor na ligação triângulo.

Parada do motor

Para parar o motor que está funcionando em triângulo, aciona-se o botão S_0 , interrompendo a energização da bobina K_1 . Este abrirá os contatos K_1 (13 - 14) e K_1 (23 - 24), interrompendo a corrente da bobina K_3 . Com isso, o motor está desenergizado.

Segurança do sistema

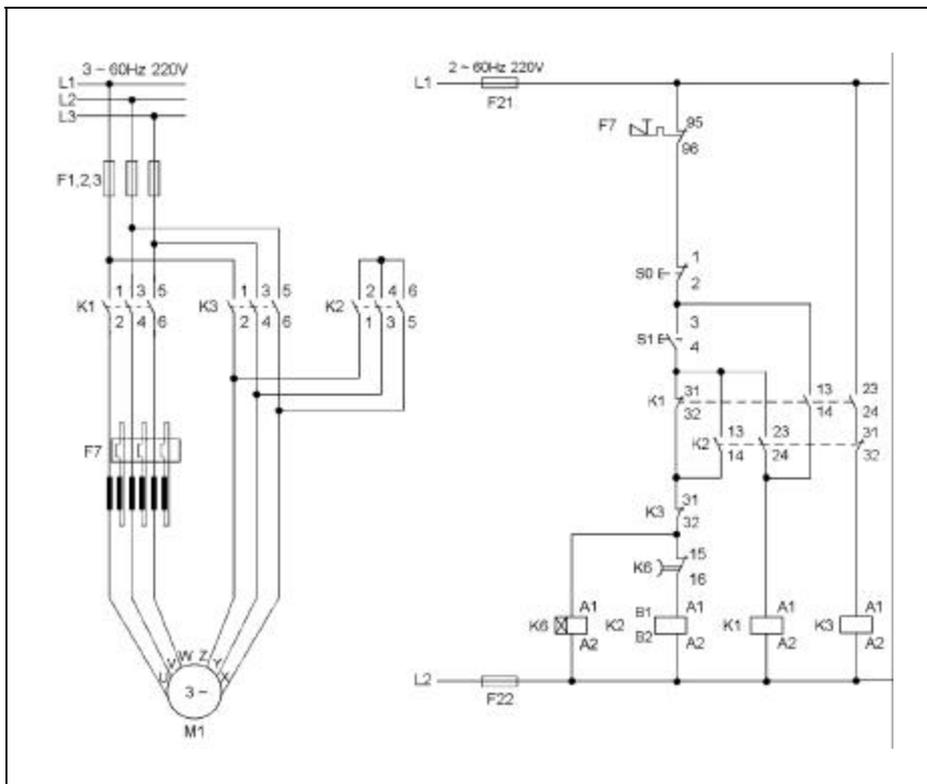
Na ligação triângulo, quando o motor está em movimento, o contato K_3 (31 - 32) fica aberto e impede a energização acidental da bobina K_2 .

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 S_1 que energiza K_2 . Este alimenta K_6 e permite a energização de K_1 .

O motor parte com rotação reduzida (ligação em estrela), e K_1 e K_2 ligados.

Decorrido o tempo de ajuste do relé temporizado, K_6 dispara, desligando K_2 e energizando K_3 .

O motor está ligado a plena tensão e velocidade normal (ligação em triângulo), com K_1 e K_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.

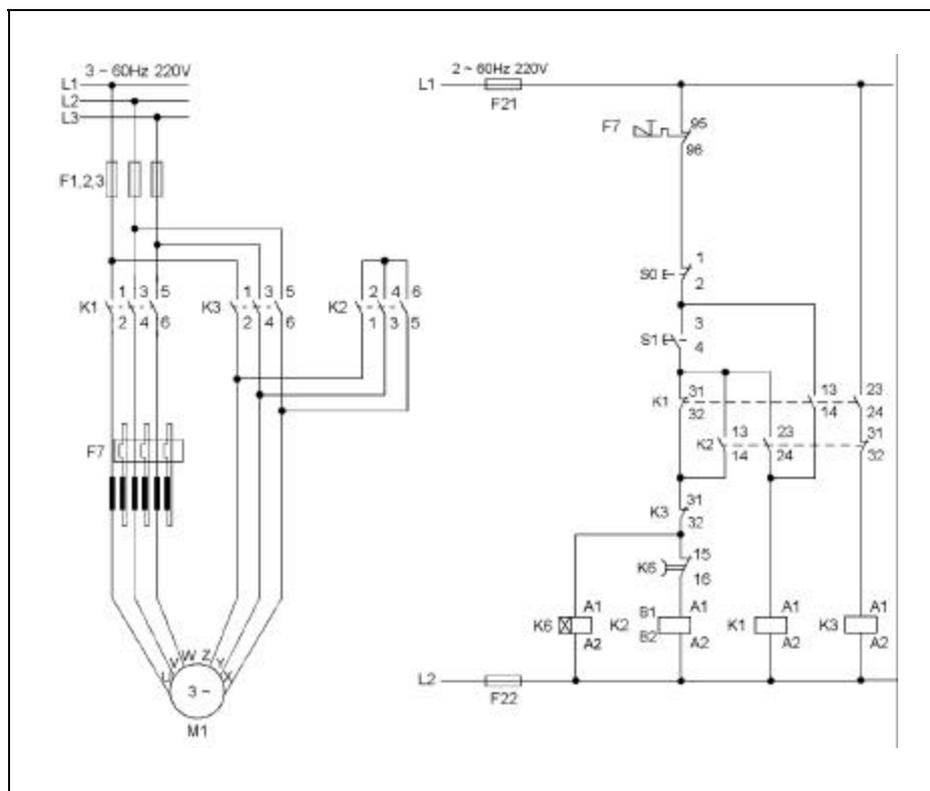
A comutação polar automática é um sistema de comando elétrico aplicado a um motor com enrolamento único tipo Dahlander. Suas pontas de saída permitem ligação em triângulo com n pólos, ou ligação em dupla estrela com $n/2$ pólos.

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.



Acionando-se o botão S_1 , energiza-se K_1 . O motor parte e gira em baixa rotação.

Na reversão, pulsa-se S e desliga-se K_1 . Este, em repouso, permite a entrada de K_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 K_3 e K_5 . O motor parte e gira em alta rotação.

Na reversão em alta rotação, pulsa-se S_4 que desliga K_3 . Este, em repouso, permite a entrada de K_4 . K_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 S_4 com o motor em baixa rotação. Isso interrompe o circuito de baixa rotação e energiza K_4 e K_5 . O motor é freado por contracorrente, inverte o sentido e gira em alta rotação.

Observação

K_1 , K_2 , K_3 , K_4 e S_1 , S_2 , S_3 e S_4 se intertravam.

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.

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*.

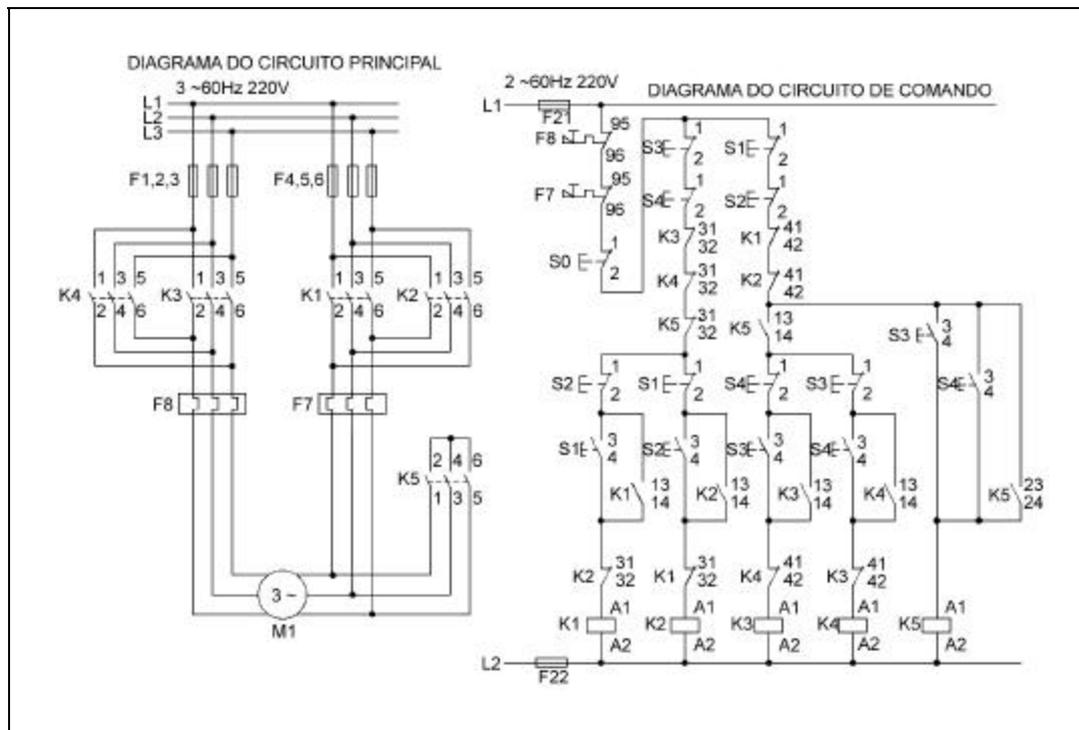
Suas pontas de saída permitem ligação em triângulo com n pólos, ou ligação em dupla estrela com $n/2$ pólos.

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.



Acionando-se o botão S_1 , energiza-se K_1 . O motor parte e gira em baixa rotação.

Na reversão, pulsa-se S_2 e desliga-se K_1 . Este, em repouso, permite a entrada de K_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 S_3 , energiza-se K_3 e K_5 . O motor parte e gira em alta rotação.

Na reversão em alta rotação, pulsa-se S_4 que desliga K_3 . Este, em repouso, permite a entrada de K_4 . K_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 S_4 com o motor em baixa rotação. Isso interrompe o circuito de baixa rotação e energiza K_4 e K_5 . O motor é frenado por contracorrente, inverte o sentido e gira em alta rotação.

Observação

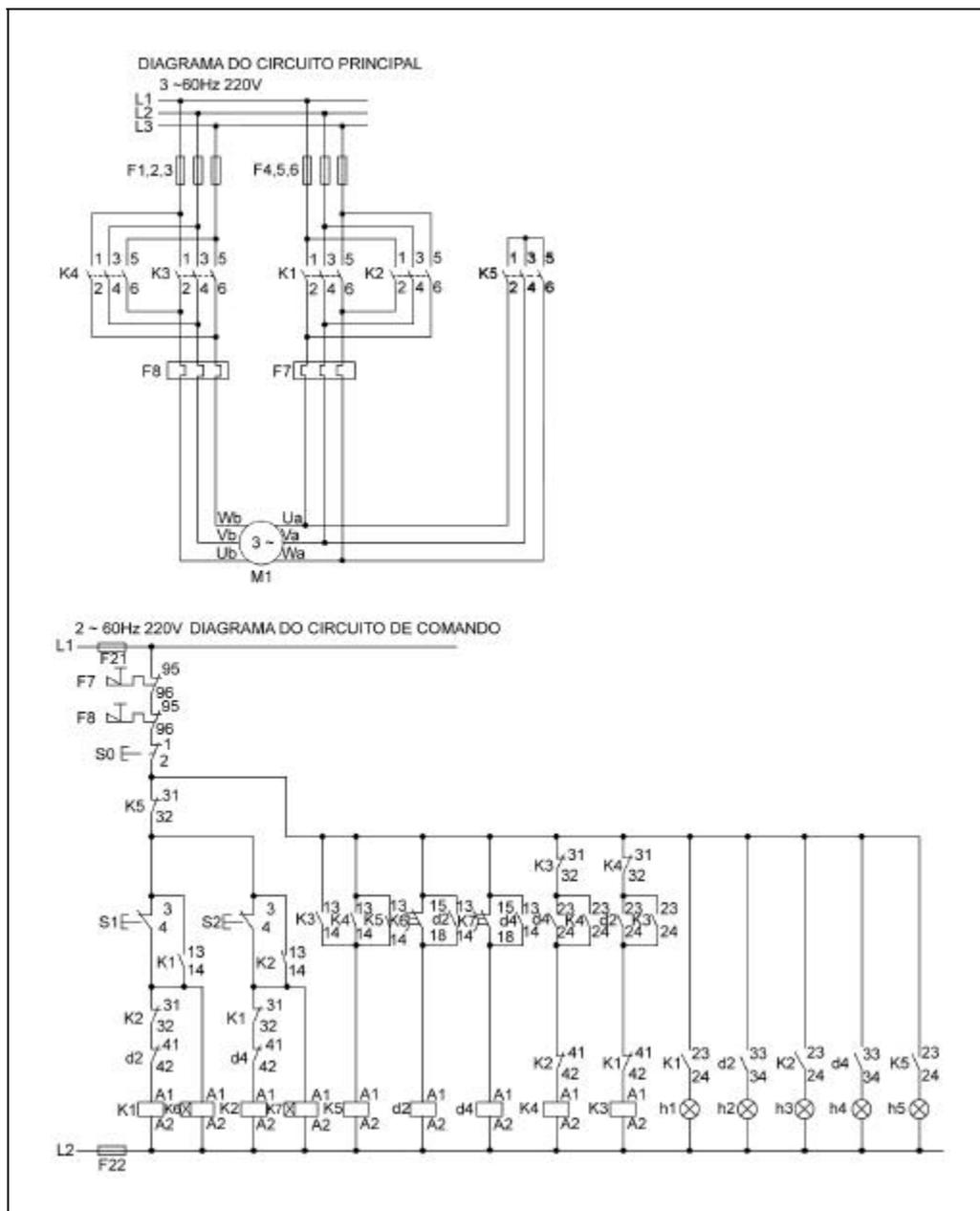
K_1 , K_2 , K_3 , K_4 e S_1 , S_2 , S_3 e S_4 se intertravam.

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.



Para a marcha em sentido horário em baixa velocidade, aciona-se o botão S_1 , energiza-se o contator K_1 e o relé temporizador S_1 que fica ativado. Nessa condição, o motor marcha em baixa rotação, acionado por K_1 .

Decorrido o tempo ajustado para K_6 , esse relé dispara e aciona o contator auxiliar K_7 , que desliga K_1 e alimenta K_3 . Este energiza K_5 e o motor marcha em alta rotação no sentido anti-horário, acionado por K_3 e K_5 .

O circuito é interrompido acionando-se S_0 .

Para a marcha no sentido anti-horário, em baixa velocidade, aciona-se o botão S_2 que energiza o contator K_2 e o relé temporizador K_7 que fica ativado. O motor marcha em baixa rotação acionado por K_2 .

Decorrido o tempo ajustado para K_7 , este dispara e aciona o contator auxiliar d_4 que desliga K_2 e alimenta K_4 que, por sua vez, energiza K_5 . O motor marcha no sentido anti-horário em alta rotação, acionado por K_4 e K_5 .

Observações

- O contator K_5 (31-32) bloqueia os contadores K_1 , K_6 , K_2 e K_7 .
- Os contadores K_1 - K_2 - K_4 se intertavam por K_1 (31-32), K_1 (41-42), K_2 (31-32), K_2 (41-42), K_5 (31-32) e K_4 (31-32).
- Os sinalizadores indicam:
 - V_1 - marcha à direita, em baixa rotação;
 - V_2 - disparo do relé K_6 ;
 - V_3 - marcha à esquerda, em baixa rotação;
 - V_4 - disparo do relé K_7 ;
 - V_5 - marcha em alta rotação, em ambos os sentidos.

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:

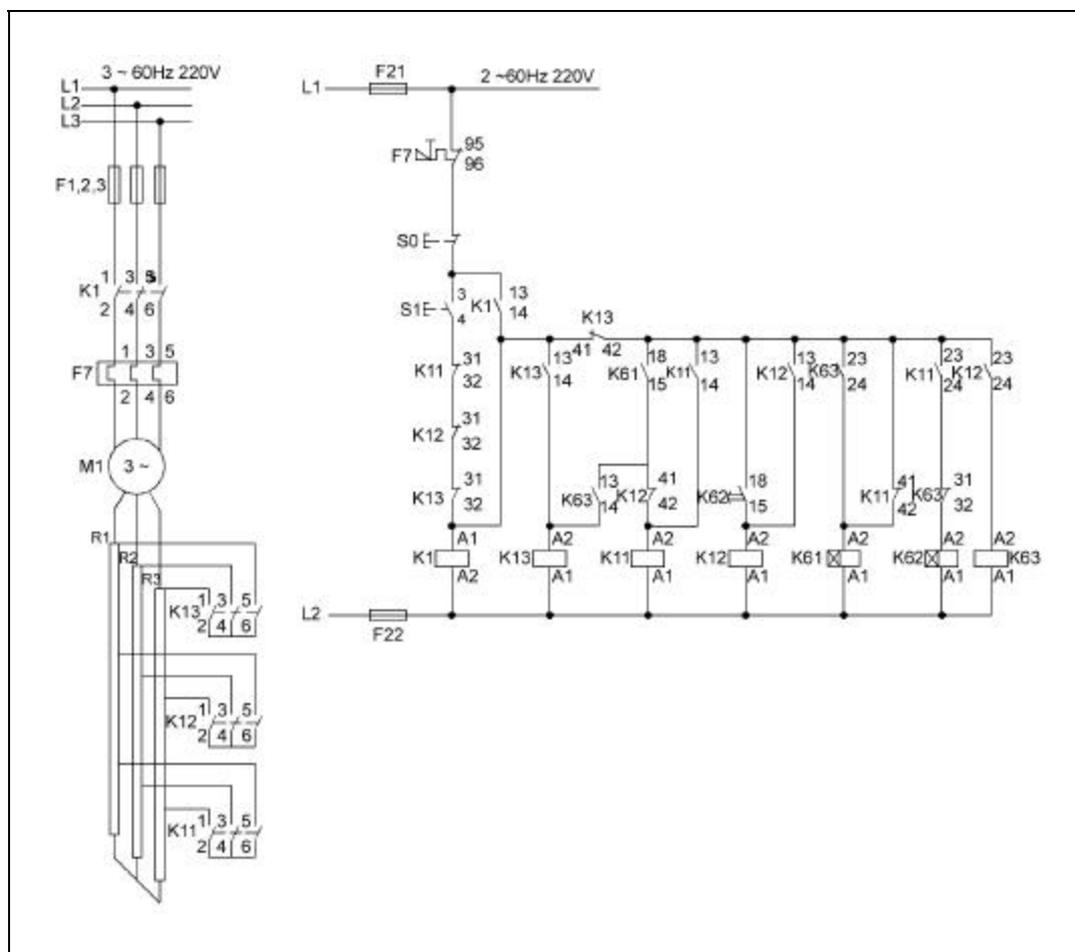
- Com comutação semi-automática de resistores;
- Com comutação automática de resistores.

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.

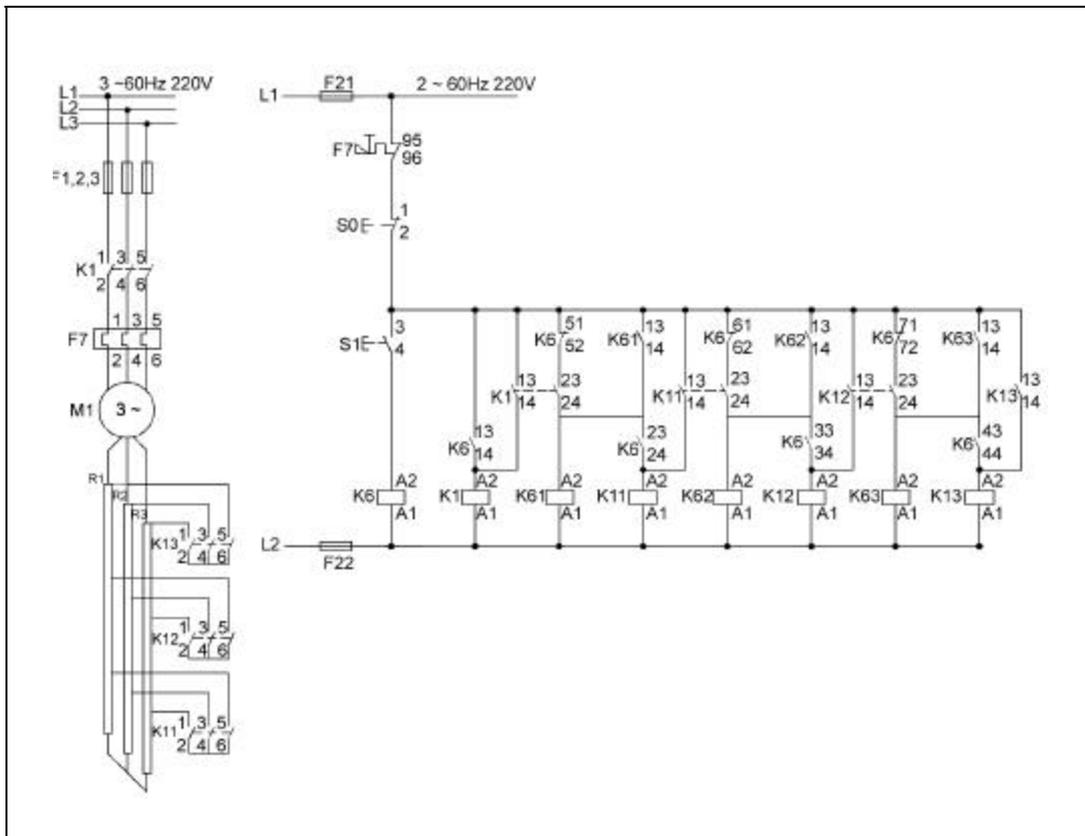


Seqüência operacional

A partida pelo sistema com comutação automática acontece na seqüência descrita a seguir.

- Primeiro estágio - Na condição inicial, os contadores K_1 , K_{11} , K_{12} e K_{13} , os relés temporizadores K_{61} e K_{62} e o relé 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.



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.

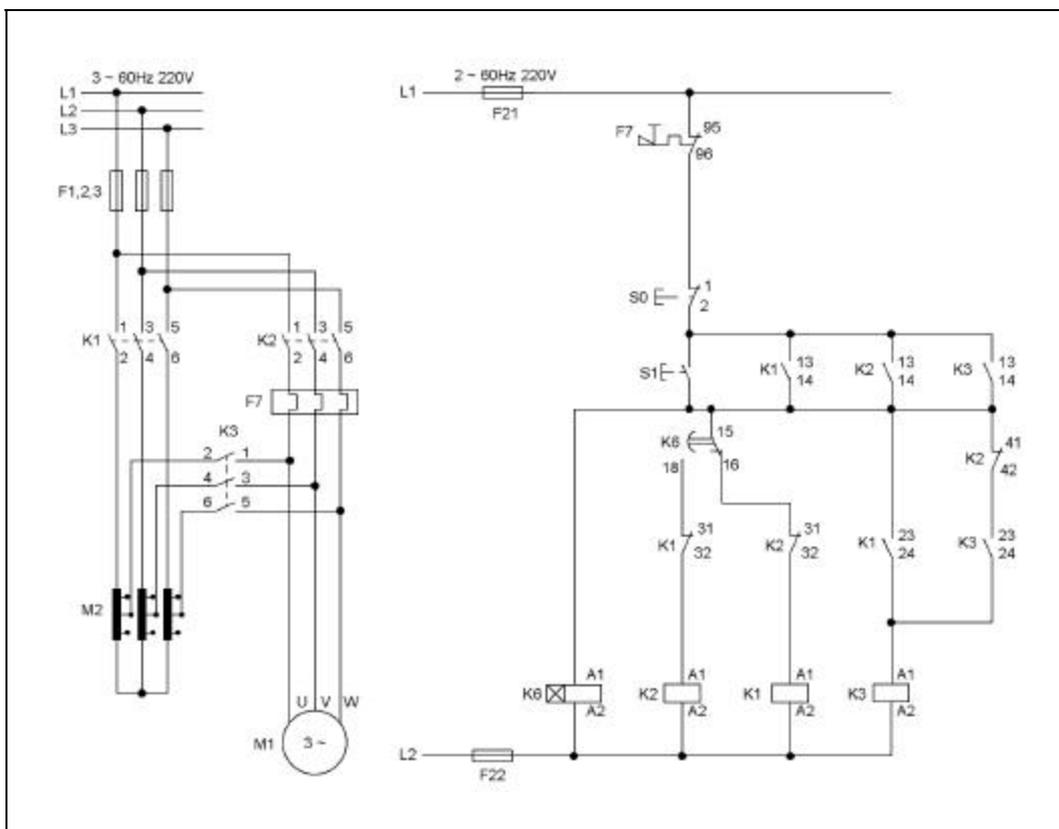
O tempo necessário entre a partida e as sucessivas retiradas dos resistores do circuito do rotor bobinado até que este seja curto-circuitado, é determinado por relês temporizados.

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 contatores K_1 , K_2 , K_3 e relé de tempo (K_6) estão desligados.

Quando o botão S_1 é acionado, a bobina do contator K_1 fica energizada e o relé do tempo K_6 também.

Os contatos K_1 (13-14) e K_1 (23-24) se fecham e mantêm as bobinas de K_1 e K_6 energizadas e energizam a bobina de K_3 .

Com o fechamento da bobina de K_3 , os contatos de K_3 (13-14) e K_3 (23-24) se fecham, tornando a bobina de K_3 independente do contato K_1 (13-14).

Como as bobinas de K_1 e K_3 estão energizadas, os contatos principais de K_1 e K_3 se fecharão e o motor será alimentado com tensão reduzida iniciando a partida.

Decorrido o tempo pré-ajustado, o relé temporizado K_6 comuta, desenergizando a bobina de K_1 e energizando a bobina de K_2 .

Com a bobina de K_2 energizada, os contatos K_2 (13-14) se fecham e os K_2 (41-42) se abrem, provocando a desenergização da bobina de K_3 . Os contatos principais de K_3 se abrem e os de K_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.

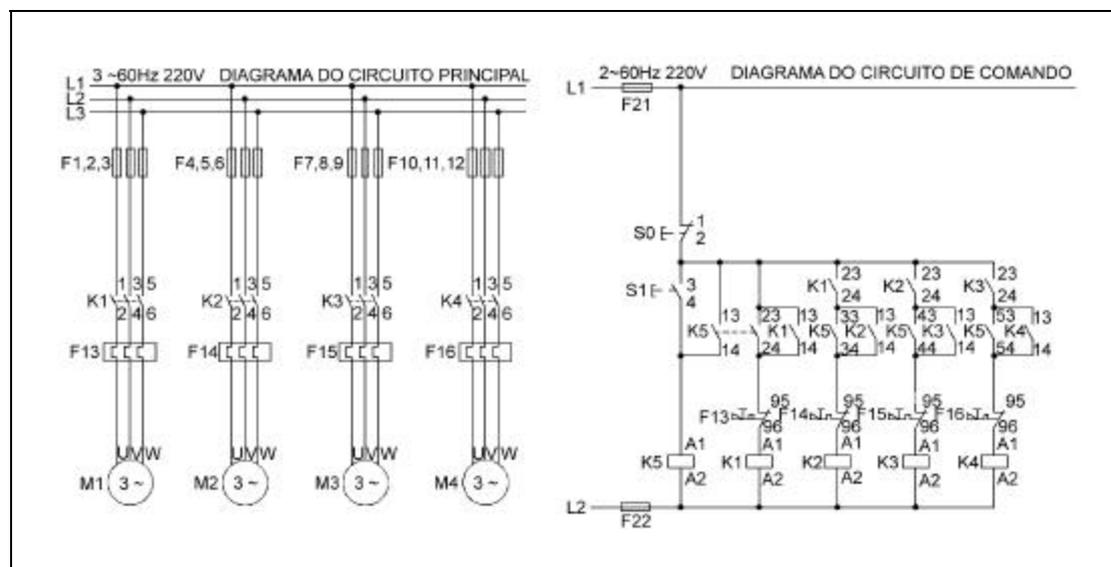
Partida consecutiva de motores

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 0 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 S_1 (3-4) é acionado, energiza-se K_5 (a-b), que fecha instantânea e simultaneamente todos os contatos fechadores K_5 e conserva K_5 (a-b) energizada.

K_1 , energizada por K_5 (23-24), fecha K_1 (23-24), energizando K_2 (a-b) e assim sucessivamente até energizar K_4 (a-b). Os motores partem seqüencialmente.

Observação

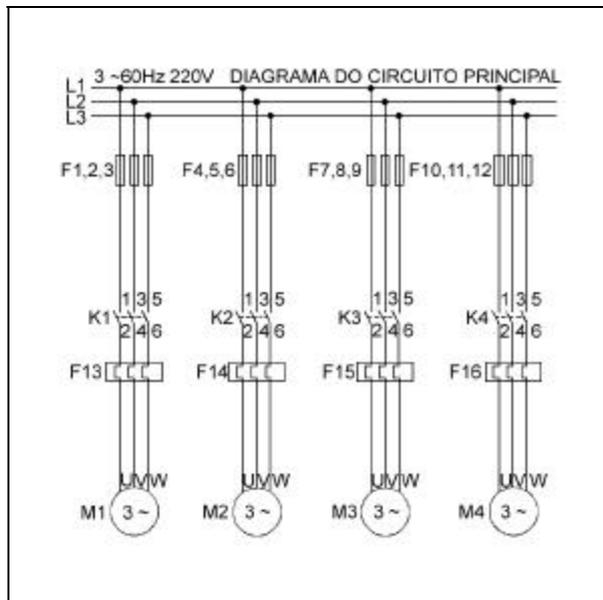
Essas energizações são muito rápidas o que torna difícil a percepção dos intervalos entre uma e outra.

Partida consecutiva de motores com relés temporizados

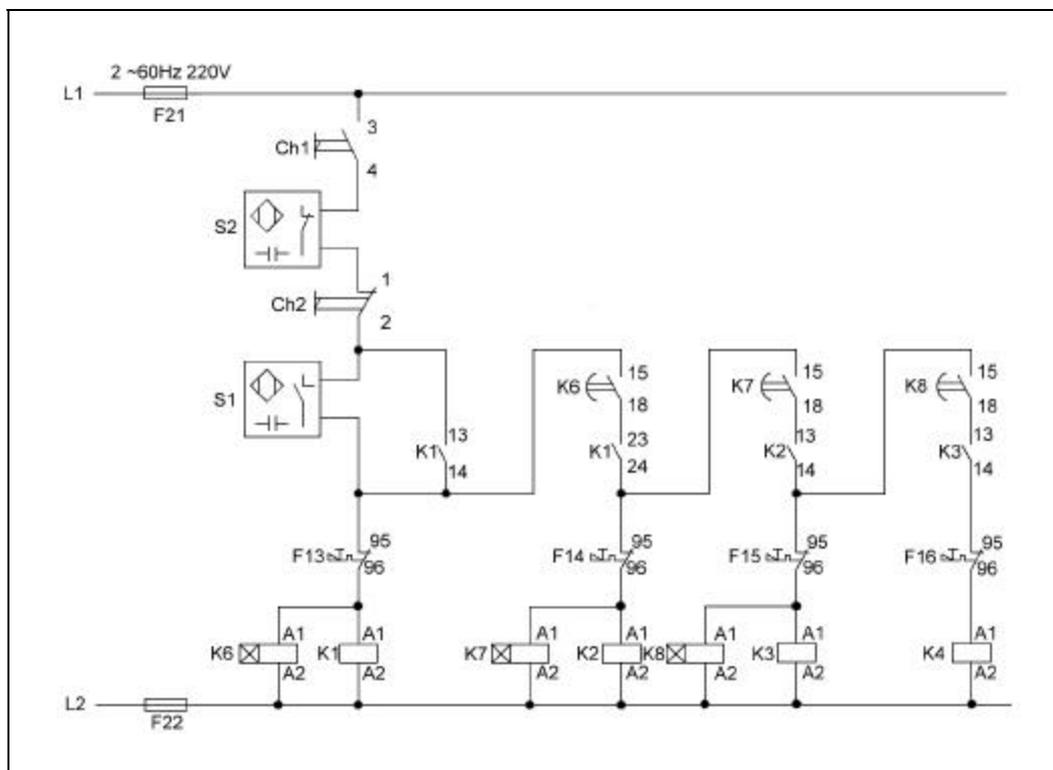
A partida consecutiva de motores com relés temporizadores permite a partida de dois ou mais motores, obedecendo a uma seqüência pré-estabelecida. Os intervalos de tempo entre as sucessivas partidas são determinados pela regulagem de relés temporizadores.

Seqüência operacional

Observe a seguir o circuito composto por quatro motores que devem partir em seqüência.



A circuito de comando para o circuito acima é mostrado a seguir.



Quando o botão CH_1 é acionado, e estando desacionado os sensores S_1 e S_2 , o contador K_1 e o relé K_6 são energizados. O motor M_1 parte.

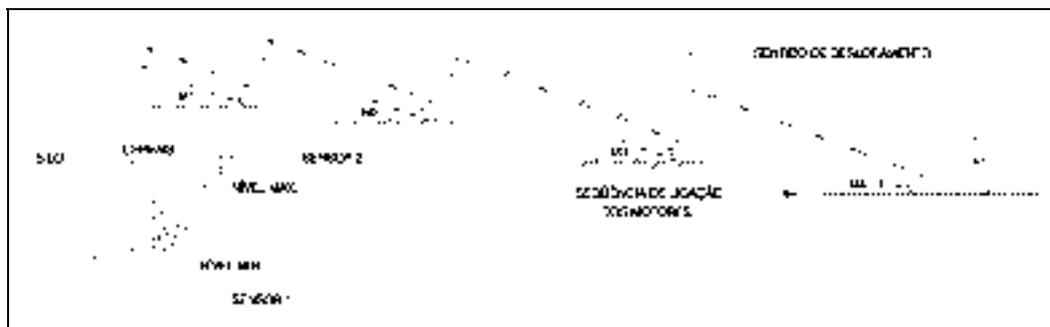
Decorrido o tempo ajustado para K_6 , este energiza K_2 e K_7 . O motor M_2 parte.

Decorrido o tempo ajustado para K_7 , este energiza K_3 e K_8 . O motor M_3 parte.

Após o tempo ajustado para K_8 , este energiza K_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.

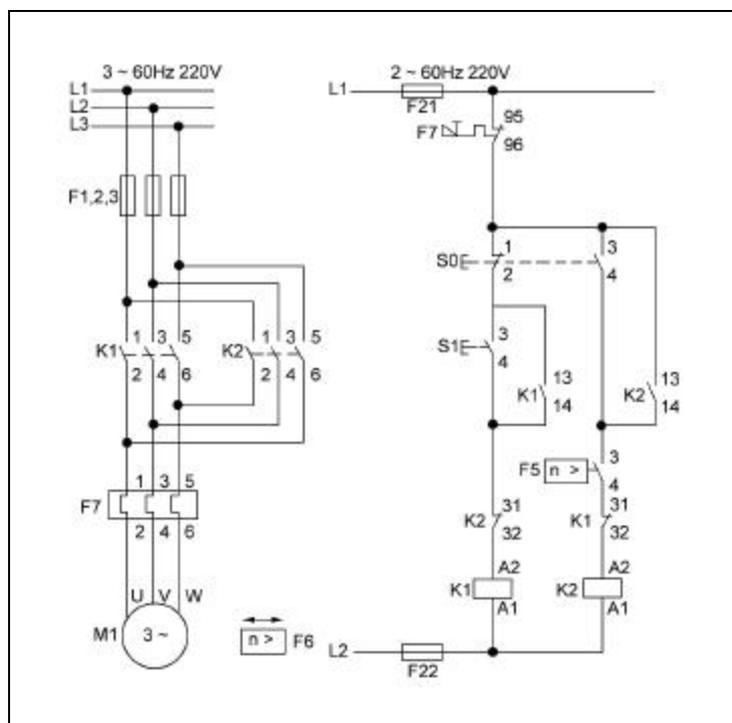
Frenagem de motor trifásico por contracorrente

Frenagem de motor trifásico por contracorrente é um sistema eletromagnético de frenagem que consiste na inversão do campo do motor. É comandado por contadores 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_1 . Isso energiza K_1 (A_1 - A_2), que é mantida por K_1 (13-14). O motor é acionado e ativa o dispositivo de controle de frenagem F_5 .

Para iniciar o processo de frenagem, pulsa-se o botão S_0 , K_1 é desenergizado (A_1 - A_2) fechando o contato abridor K_1 (31-32). Isso possibilita a K_2 (A_1 - A_2) ser alimentado por S_0 (3-4). O motor começa a ser freado.

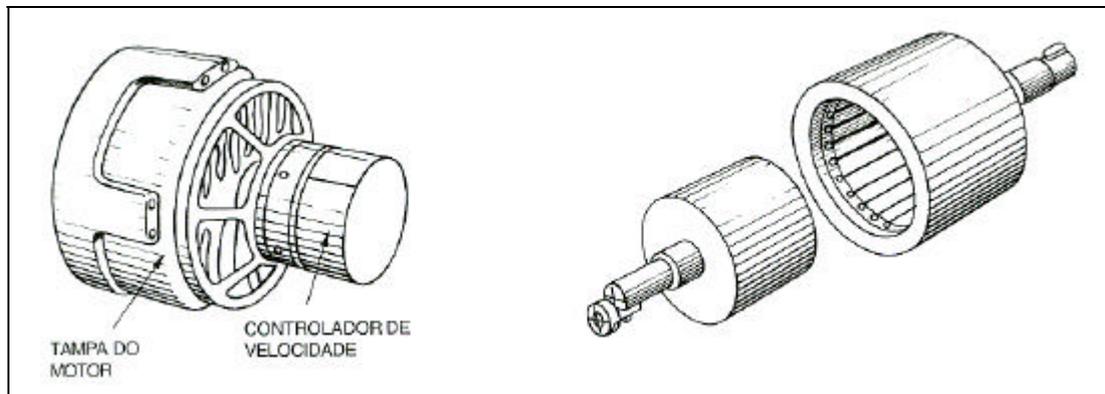
Quando a rotação do motor diminui, o dispositivo de controle de frenagem (relê Alnico) pré-ajustado abre o contato f_5 (3-4), desligando K_2 . O processo de frenagem é interrompido.

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.

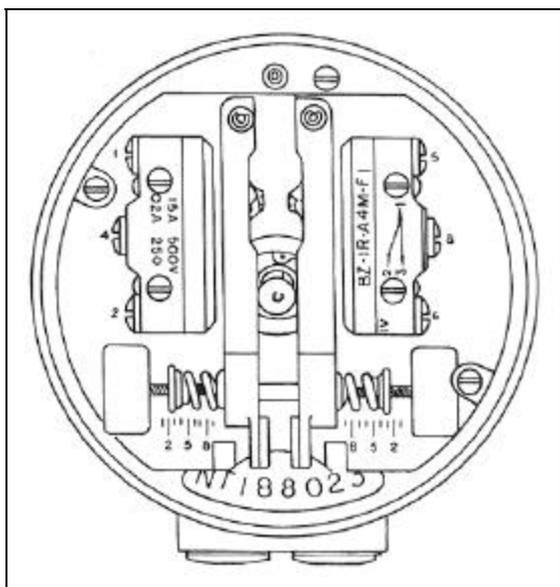


O rotor externo é composto de um enrolamento curto-circuitado (gaiola de esquilo) alojado em um corpo cilíndrico constituído por chapas de aço silício.

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.

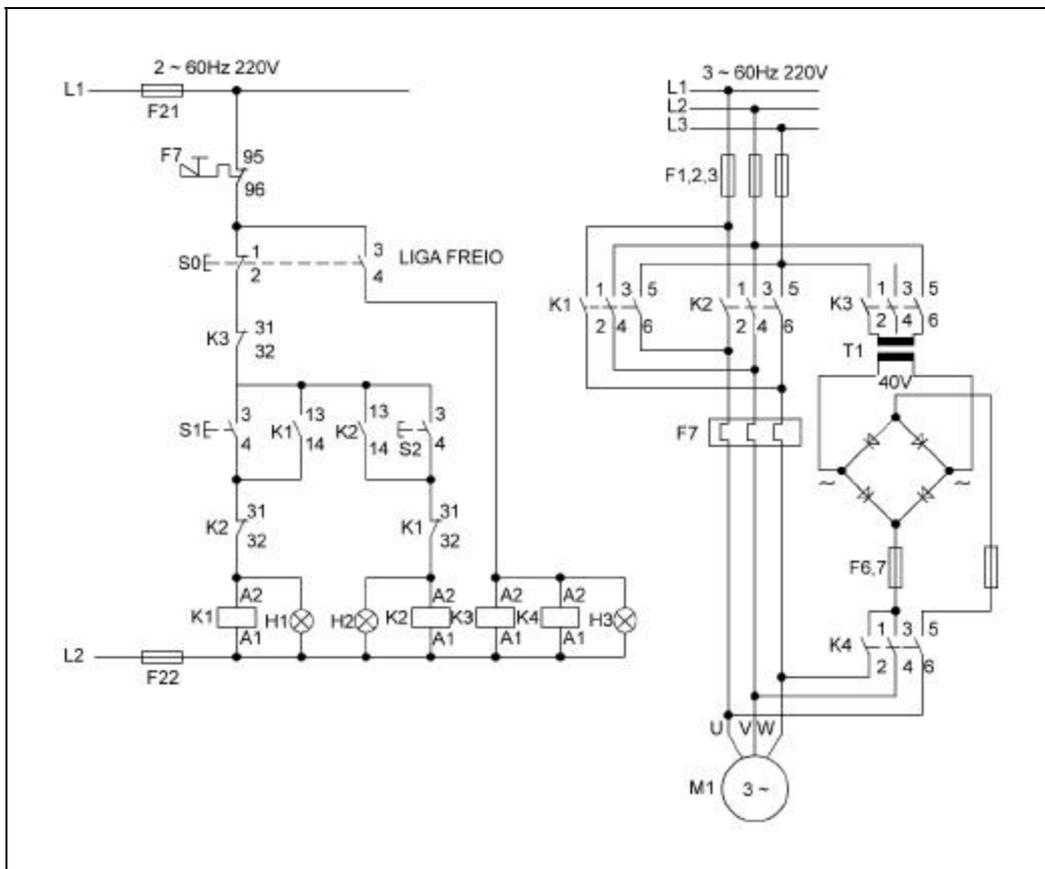
Frenagem eletromagnética

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.



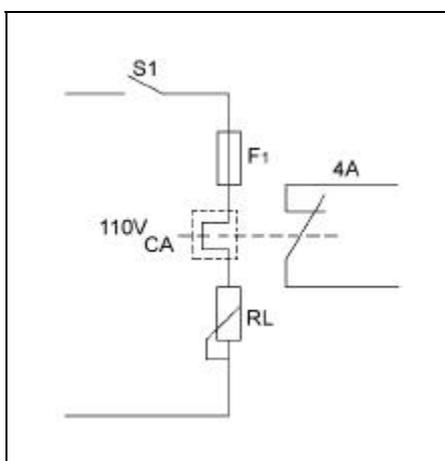
Verificar o funcionamento de dispositivos de segurança

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?

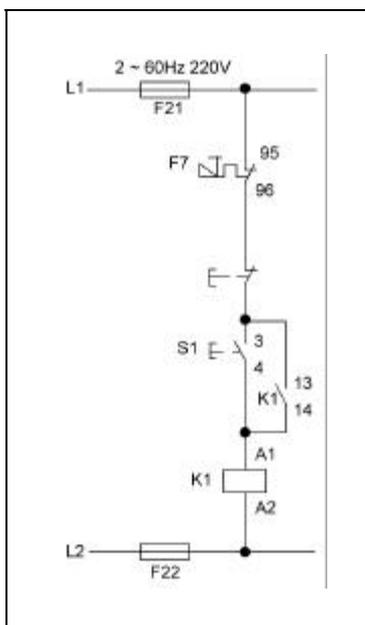
Verificar o funcionamento do comando de motor trifásico por contator

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.

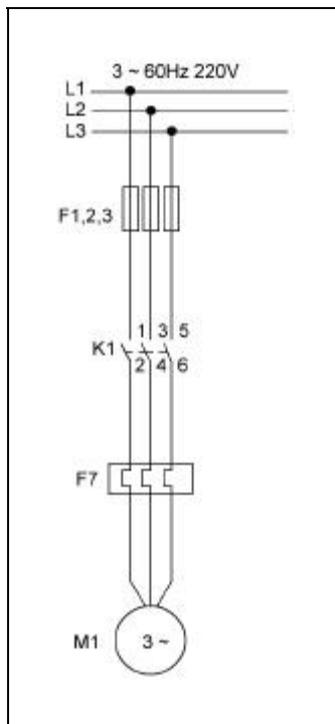
Procedimentos

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.

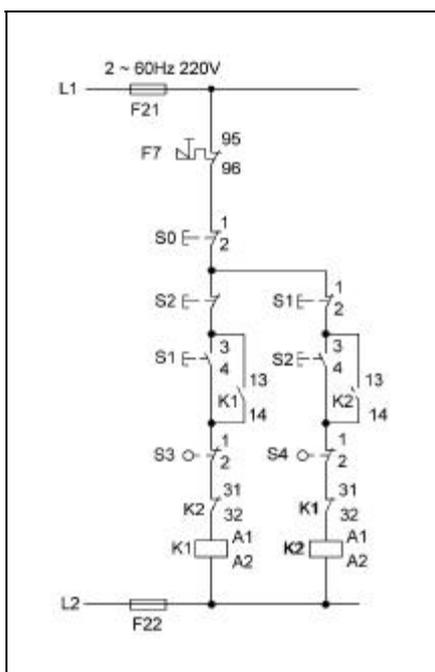
Verificar o comando para inversão de rotação do motor trifásico

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.

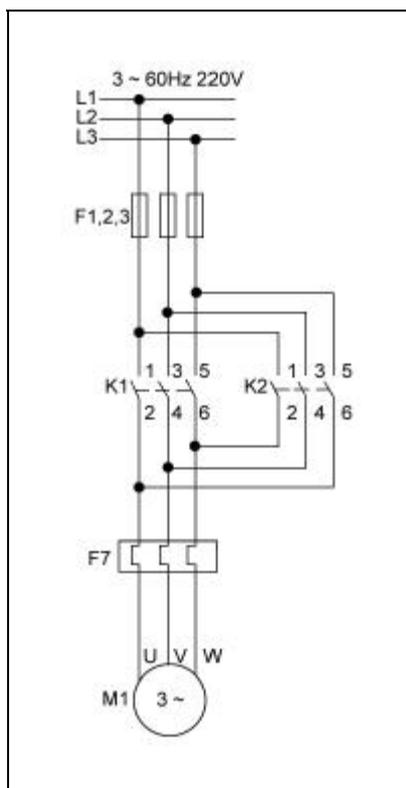
As chaves auxiliares fim de curso comandam os contatores. Estes, por sua vez, comandam as correntes de acionamento dos motores.

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.

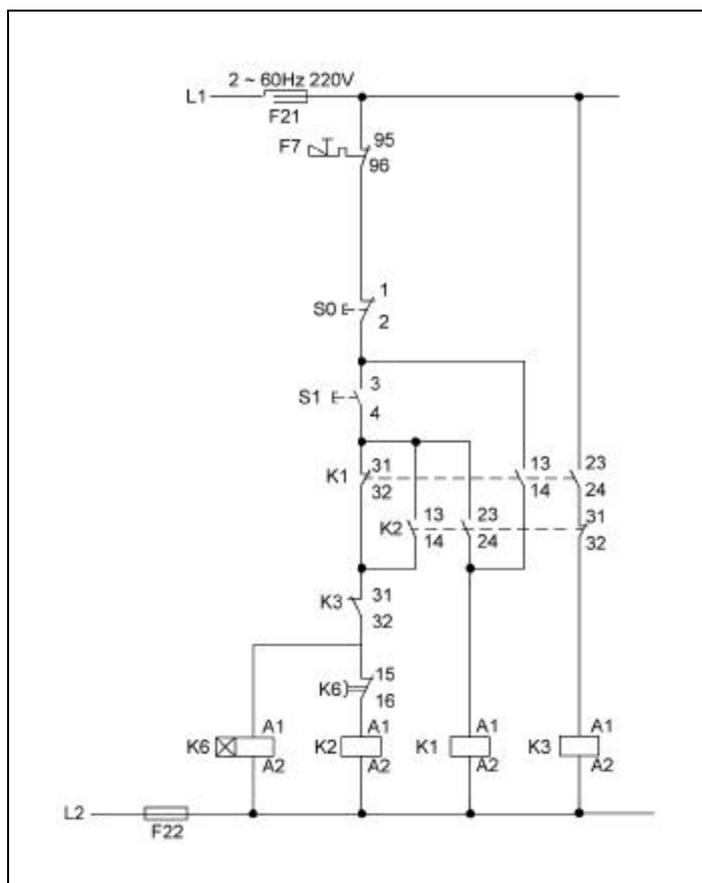
Procedimentos

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.

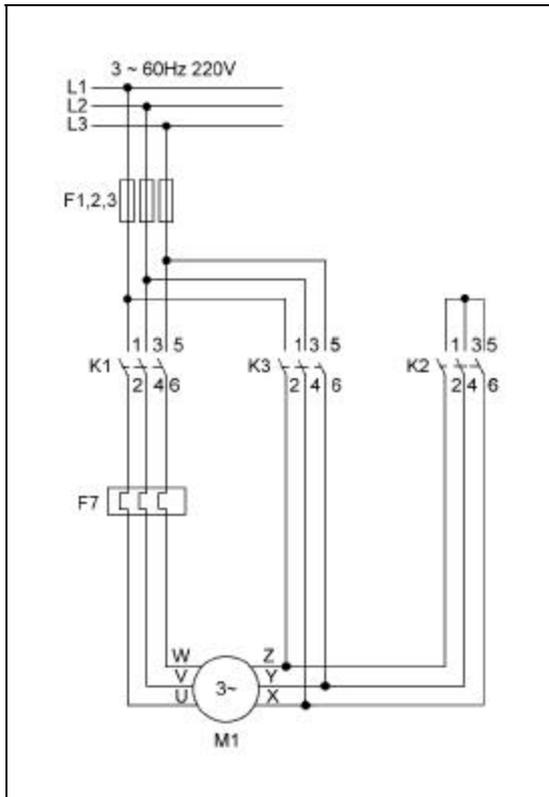
12. Desenergize o motor e desfaça as ligações.

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.



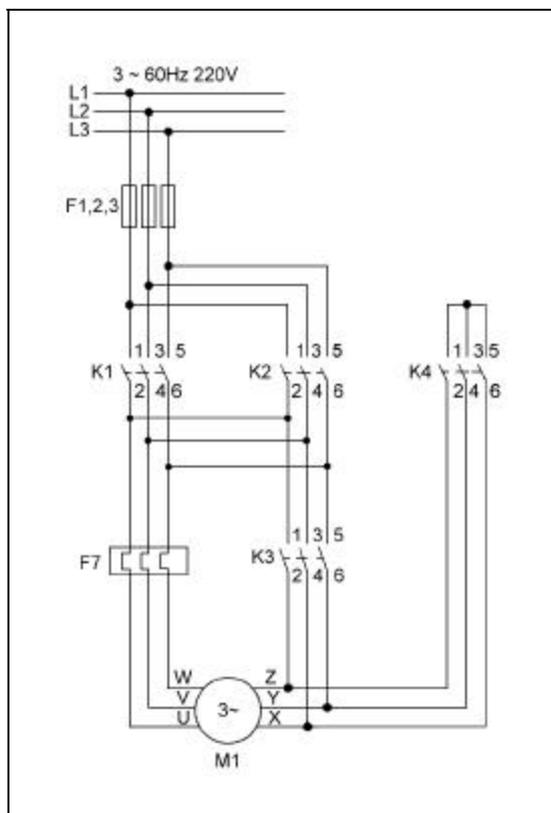
16. Energize o circuito e comprove seu funcionamento.

Reversão de rotação de motor trifásico

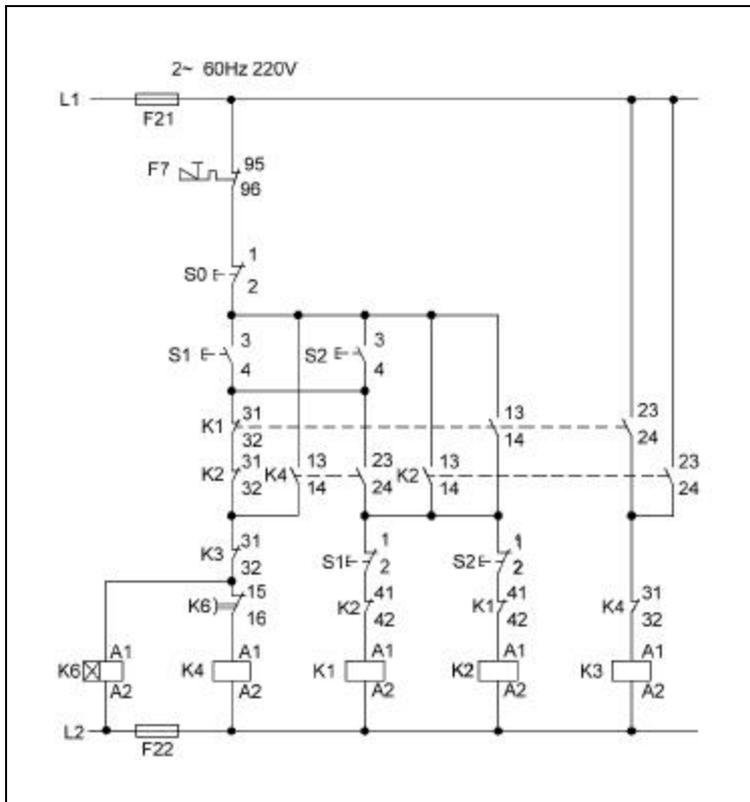
Neste ensaio, você vai comandar a reversão de rotação do motor trifásico por meio de botões e relés temporizadores. A partida desse motor é em estrela-triângulo com contatores.

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.

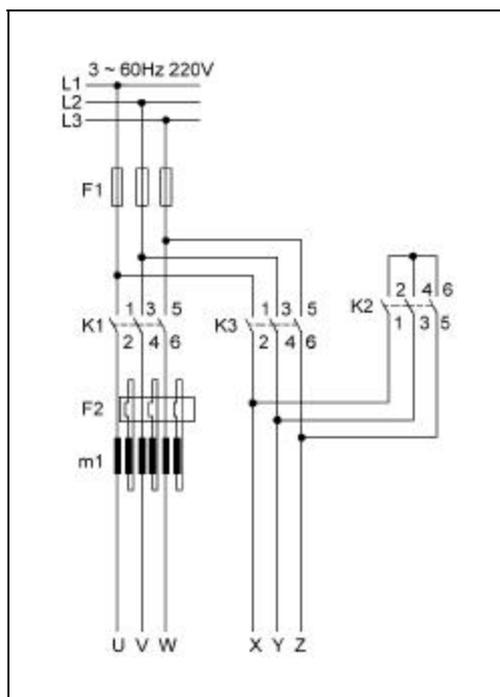
Procedimentos

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.

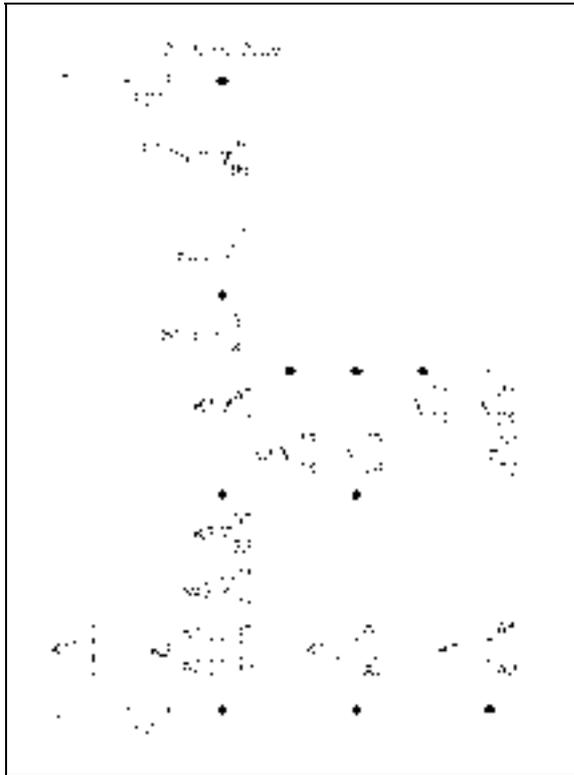
2. Monte e teste o circuito de comando conforme diagrama a seguir.



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.



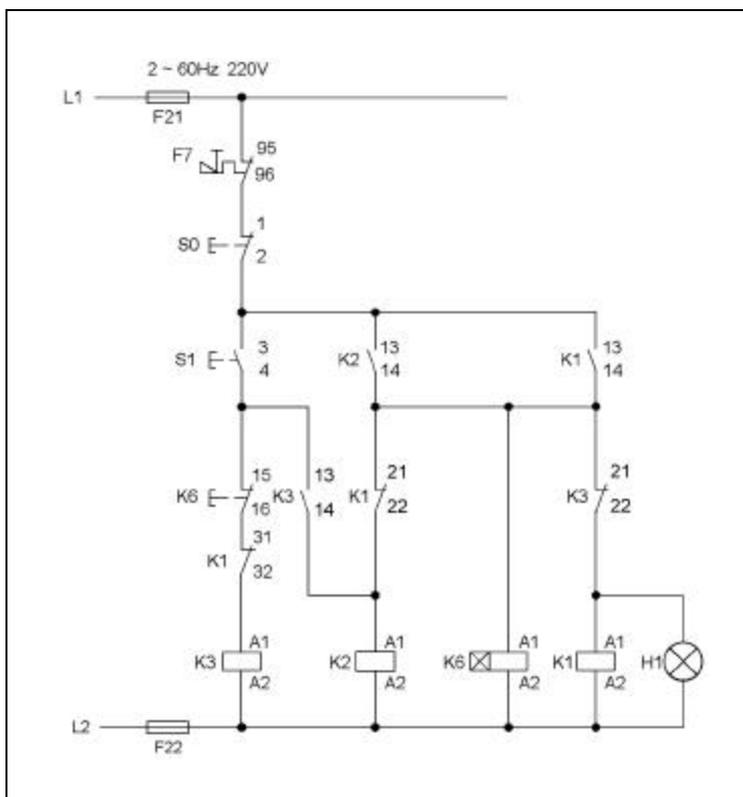
Verificar o funcionamento de motor com partida automática

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.

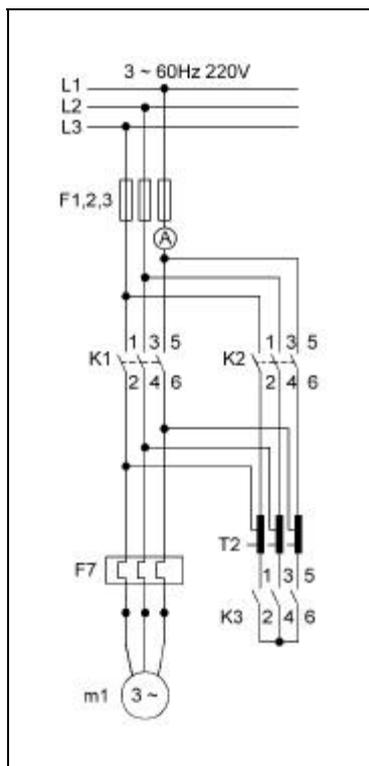
Procedimentos

1. Conecte o circuito de comando, conforme o diagrama abaixo.



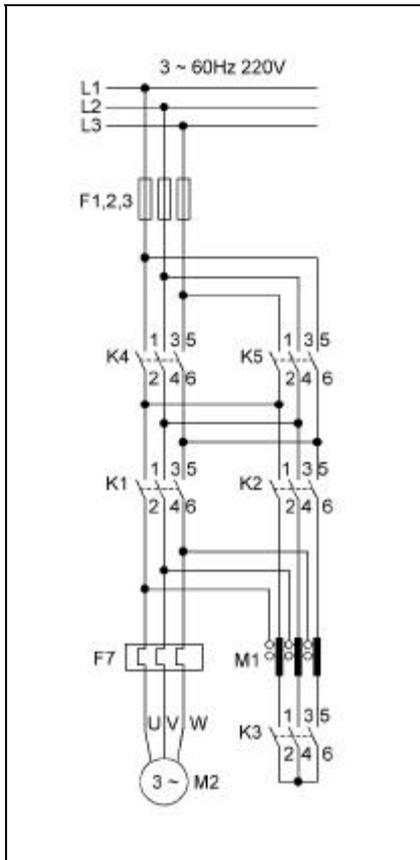
2. Ajuste o relé temporizador K₆ para 10 segundos.

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 K_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.

3. Monte e teste o circuito principal de acordo com o diagrama a seguir.

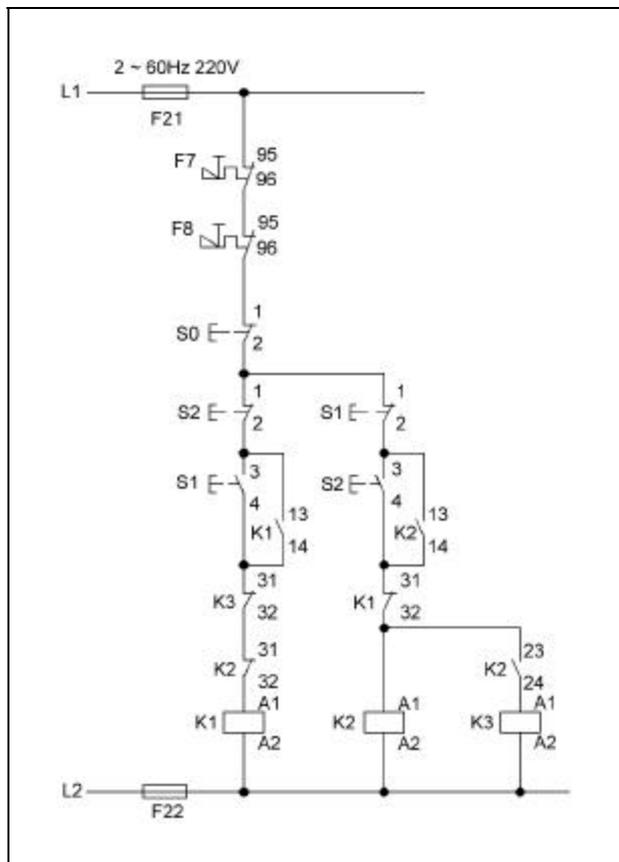


Verificar o funcionamento de motor Dahlander

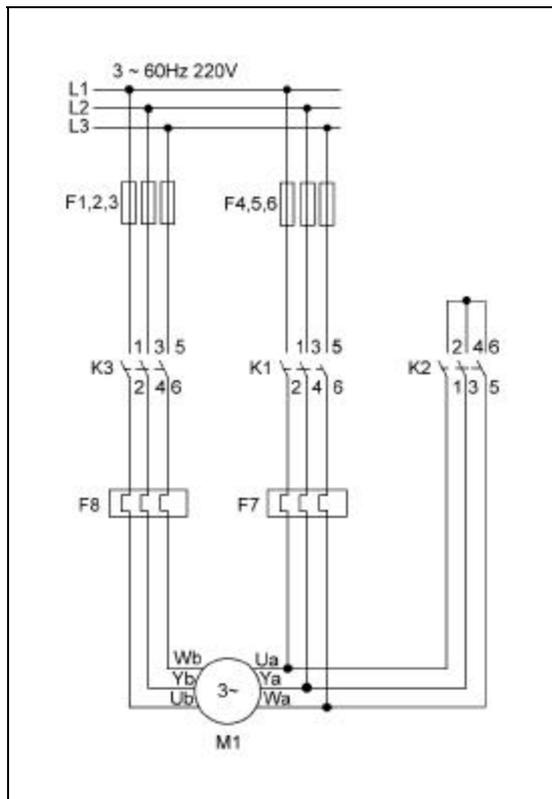
Neste ensaio, você vai montar um circuito com contatores para motor Dahlander para comutação polar comandada por botões.

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.



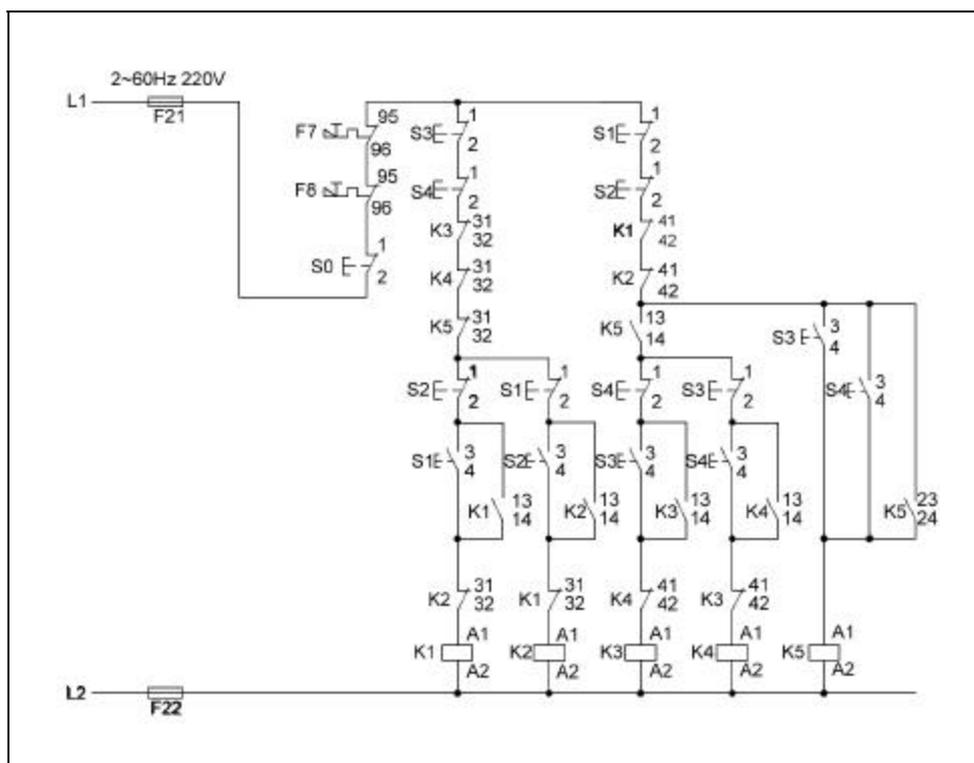
4. Teste o circuito e meça as velocidades.

Verificar o funcionamento de motor Dahlander com reversão de rotação

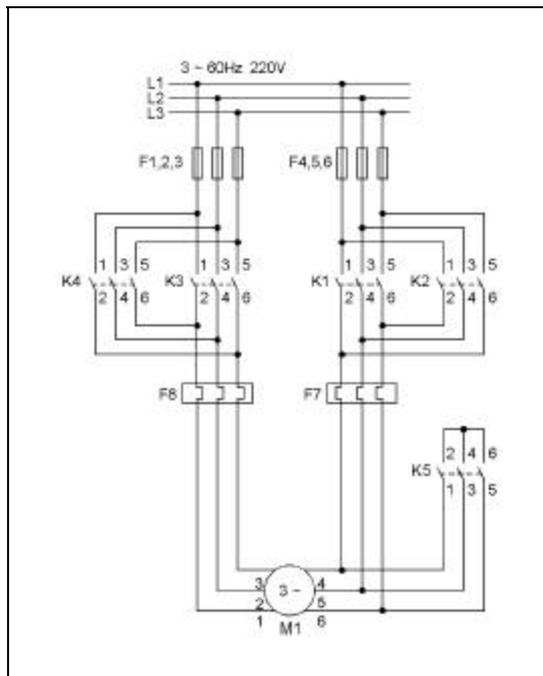
Neste ensaio, você vai montar um circuito para motor tipo Dahlander com contadores. Esse circuito permite a comutação polar e a reversão comandada por botões.

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.



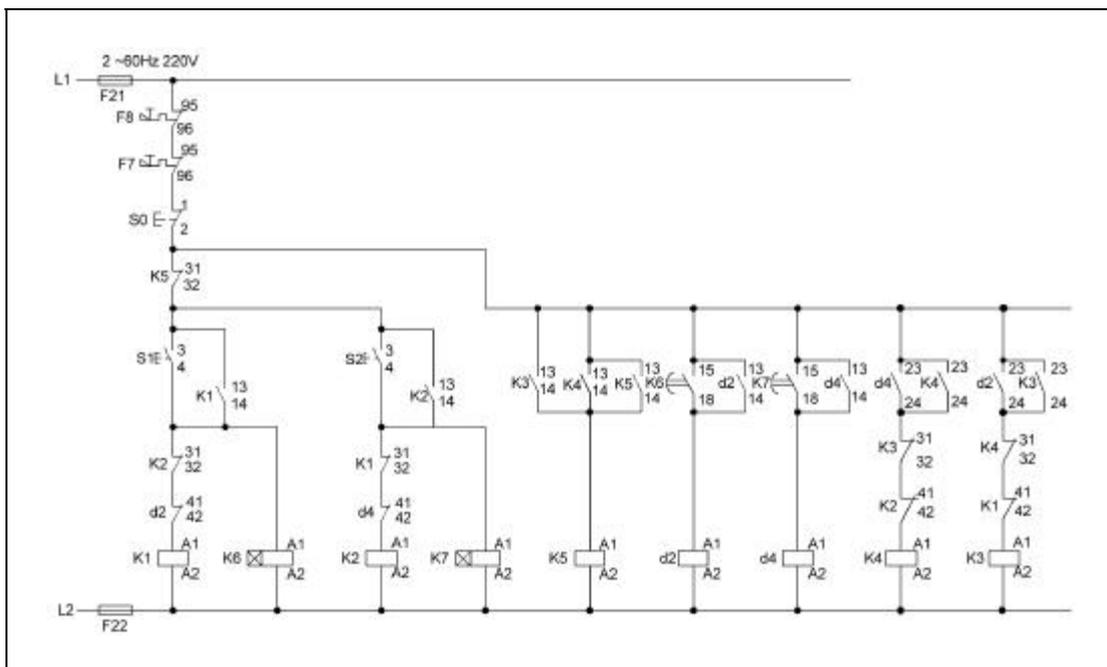
3. Ligue o motor em velocidade baixa e meça a corrente de pico e a corrente nominal.
4. Desligue o motor e aguarde sua desaceleração. Ligue-o novamente em alta velocidade e meça a corrente de pico e a corrente nominal.
5. Ligue o motor em velocidade baixa e depois passe para a velocidade alta, no mesmo 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.

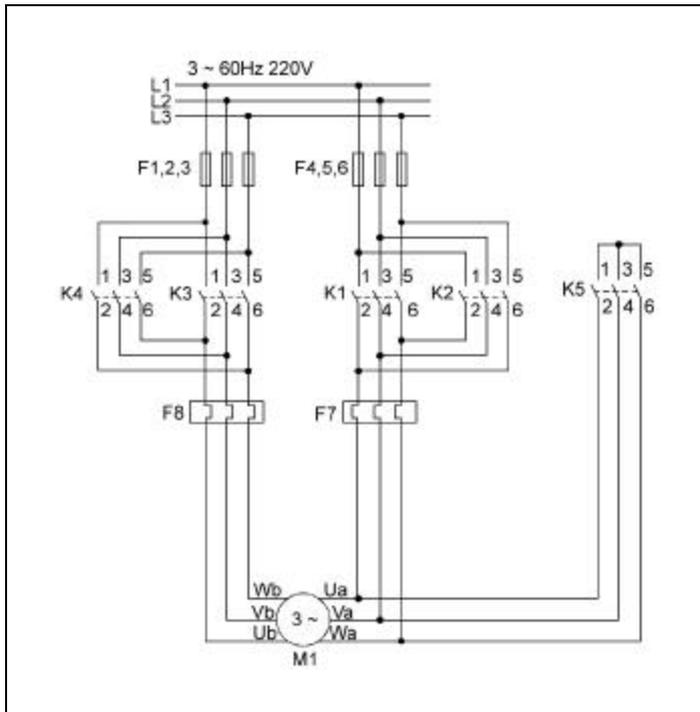
Procedimentos

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.



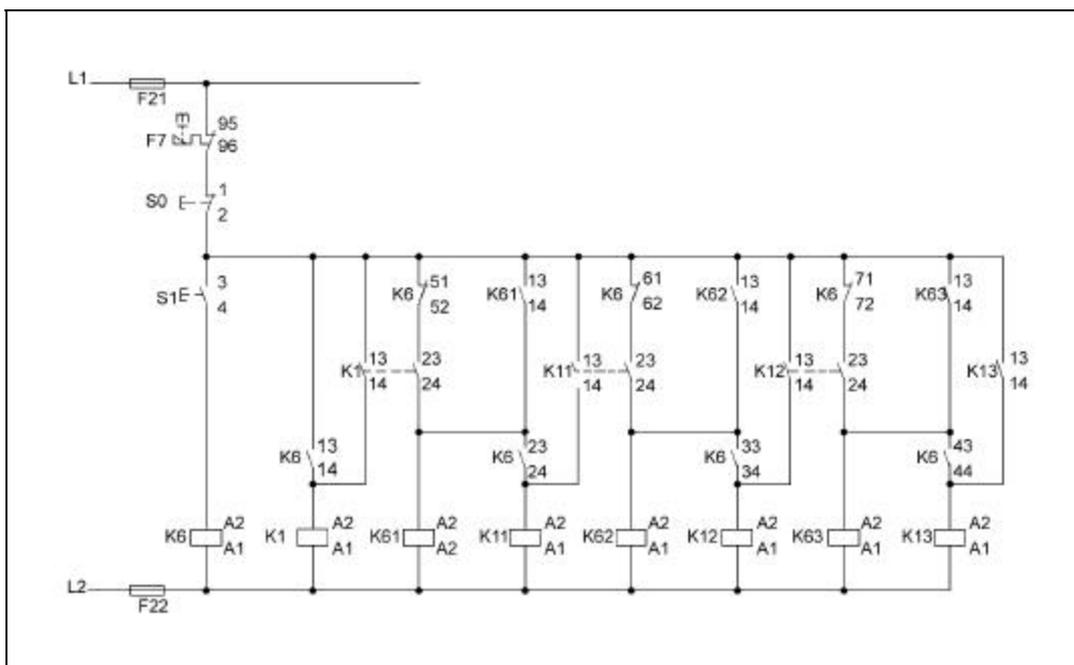
4. Ajuste os temporizadores para 5 segundos. Ligue o circuito e meça a corrente de partida.
5. Compare a corrente de partida medida com a corrente de partida de alta velocidade do ensaio anterior. Por que a corrente de partida deste circuito é menor?
6. Determine a cor e instale uma lâmpada sinalizadora 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.

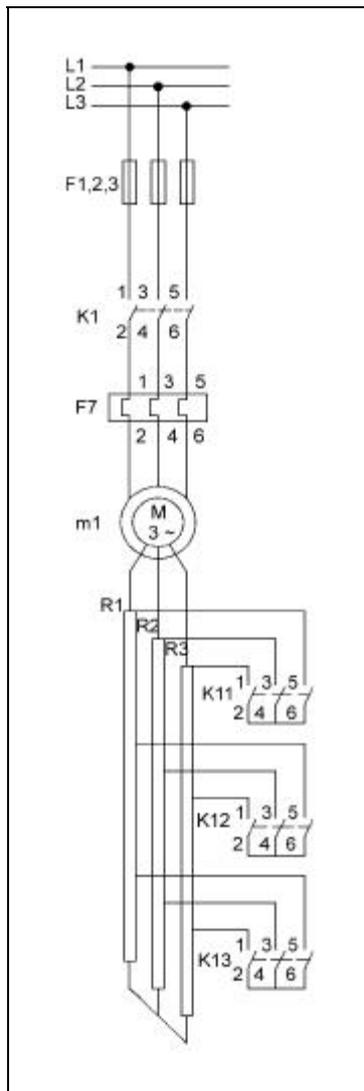
Procedimentos

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.



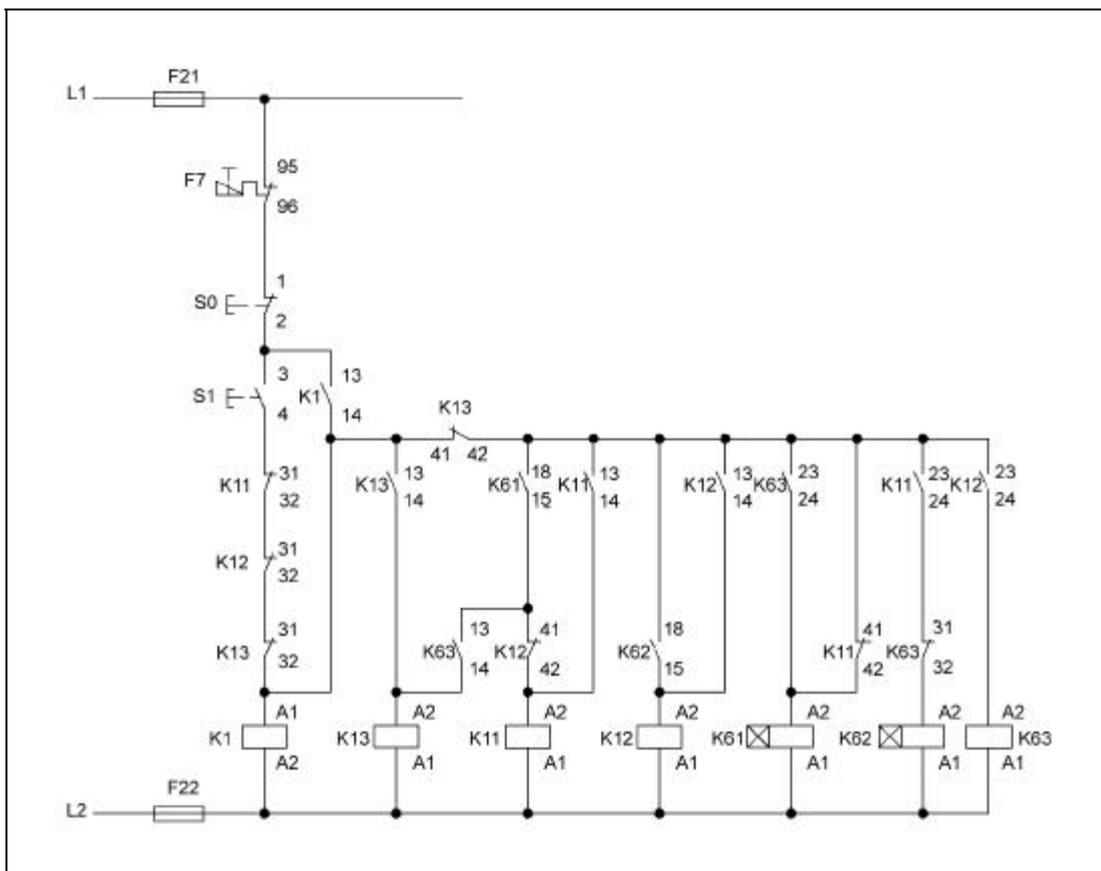
6. Pulse o botão S_1 uma vez. Meça e anote a velocidade do motor e a corrente de partida.
7. Pulse o botão S_1 novamente. Meça e anote a velocidade do motor.
8. Pulse o botão S_1 mais uma vez. Meça e anote a velocidade do motor.
9. Pulse o botão S_1 . Meça e anote a velocidade do motor e a corrente nominal.
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.

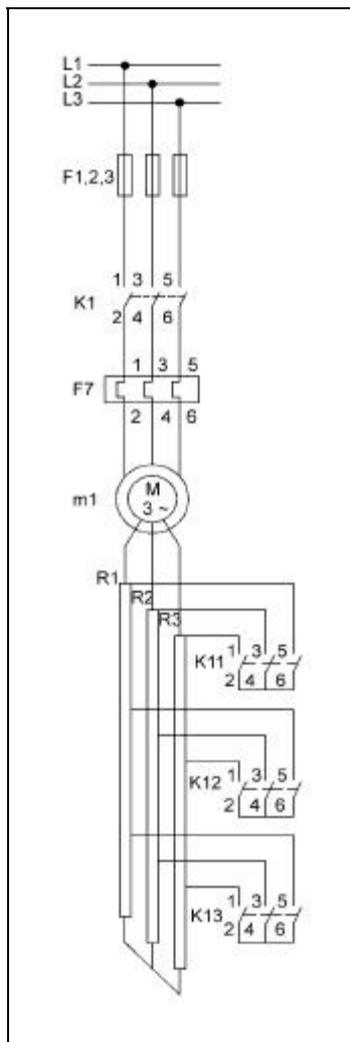
Procedimentos

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.



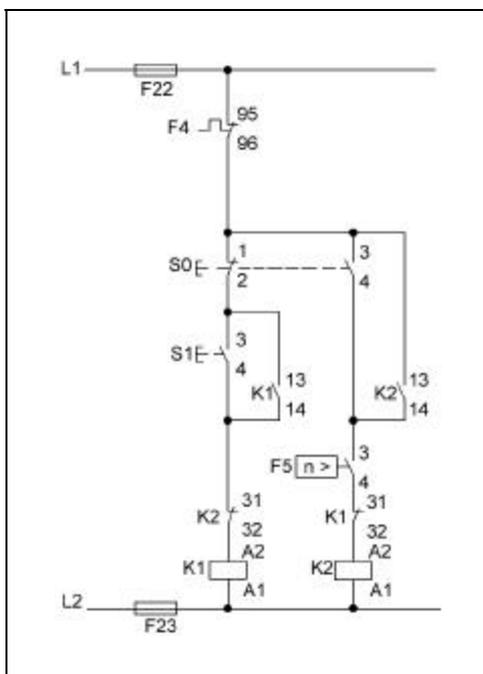
4. Teste o funcionamento do circuito.
5. Regule os relés temporizados para aproximadamente 10 segundos e meça a velocidade do motor em cada estágio da partida.
6. Qual a vantagem deste tipo de partida em relação à partida do ensaio anterior?

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.

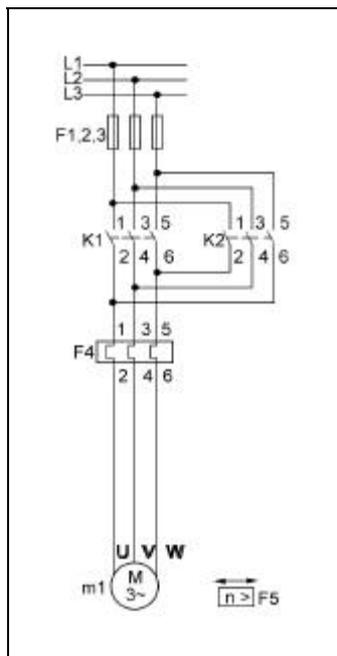
Procedimentos

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.

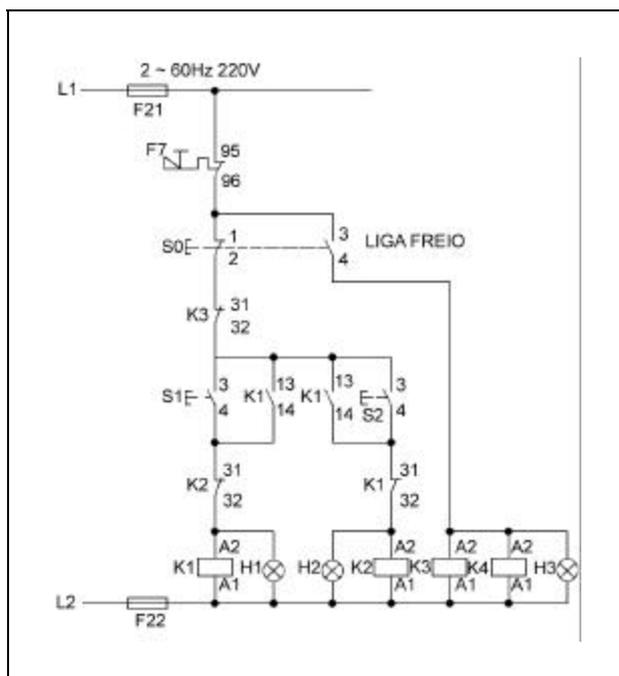


3. Teste o funcionamento do circuito de comando. Para o teste, simule o relé F₅ com um curto-circuito.

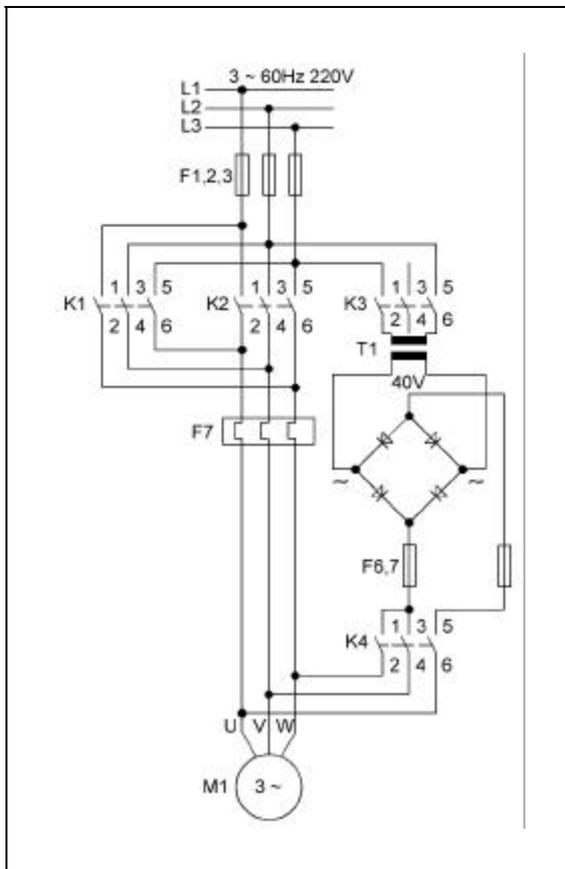
4. Monte o circuito principal segundo o diagrama abaixo.



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 III - Comandos eletroeletrônicos**. Por Regina Célia Roland Novaes. São Paulo, 1994.

