

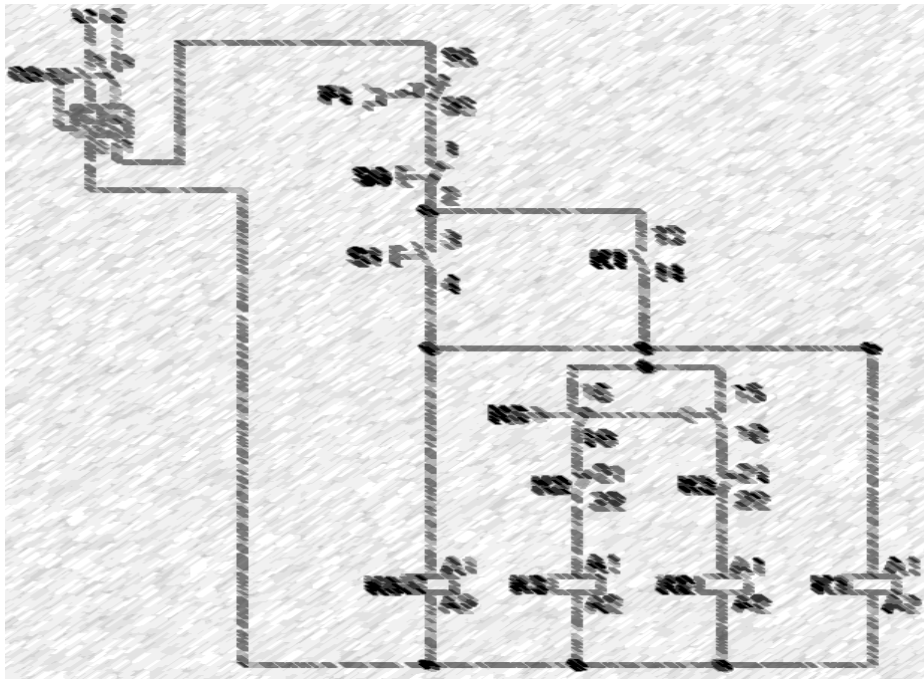


FUMEP – Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba

EEP – Escola de Engenharia de Piracicaba

COTIP – Colégio Técnico Industrial de Piracicaba

CURSO DE COMANDOS ELÉTRICOS



Prof. Marcelo Eurípedes da Silva
Piracicaba, 18 de Fevereiro de 2006

1) Introdução

Conceitualmente o estudo da eletricidade é dividido em três grandes áreas: a geração, a distribuição e o uso. Dentre elas a disciplina de comandos elétricos está direcionada ao uso desta energia, assim pressupõe-se aqui que a energia já foi gerada, transportada a altas tensões e posteriormente reduzida aos valores de consumo, com o uso de transformadores apropriados.

Por definição os comandos elétricos tem por finalidade a manobra de motores elétricos que são os elementos finais de potência em um circuito automatizado. Entende-se por manobra o estabelecimento e condução, ou a interrupção de corrente elétrica em condições normais e de sobre-carga. Os principais tipos de motores são:

- Motor de Indução
- Motor de corrente contínua
- Motores síncronos
- Servomotores
- Motores de Passo

Os Servomotores e Motores de Passo necessitam de um “driver” próprio para o seu acionamento, tais conceitos fogem do escopo deste curso. Dentre os motores restantes, os que ainda têm a maior aplicação no âmbito industrial são os motores de indução trifásicos, pois em comparação com os motores de corrente contínua, de mesma potência, eles tem menor tamanho, menor peso e exigem menos manutenção. A figura 1.1 mostra um motor de indução trifásico típico.



Figura 1.1 – Motor de Indução Trifásico

O motor de indução tem características próprias de funcionamento, que são interessantes ao entendimento dos comandos elétricos e serão vistos em capítulos posteriores.

Um dos pontos fundamentais para o entendimento dos comandos elétricos é a noção de que “os objetivos principais dos elementos em um painel elétrico são: a) proteger o operador e b) propiciar uma lógica de comando”.

Partindo do princípio da proteção do operador uma seqüência genérica dos elementos necessários a partida e manobra de motores é mostrada na figura 1.2. Nela podem-se distinguir os seguintes elementos:

A) Seccionamento: Só pode ser operado sem carga. Usado durante a manutenção e verificação do circuito.

B) Proteção contra correntes de curto-circuito: Destina-se a proteção dos condutores do circuito terminal.

C) Proteção contra correntes de sobrecarga: para proteger as bobinas do enrolamento do motor.

D) Dispositivos de manobra: destinam-se a ligar e desligar o motor de forma segura, ou seja, sem que haja o contato do operador no circuito de potência, onde circula a maior corrente.

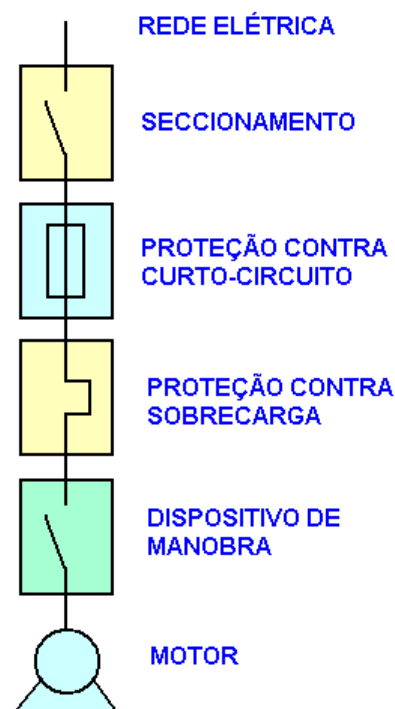


Figura 1.2 – Seqüência genérica para o acionamento de um motor

É importante repetir que no estudo de comandos elétricos é importante ter a seqüência mostrada na figura 1.2 em mente, pois ela consiste na orientação básica para o projeto de qualquer circuito.

Ainda falando em proteção, as manobras (ou partidas de motores) convencionais, são divididas em dois tipos, segundo a norma IEC 60947:

- I. **Coordenação do tipo 1:** Sem risco para as pessoas e instalações, ou seja, desligamento seguro da corrente de curto-circuito. Porém podem haver danos ao *contator* e ao *relé de sobrecarga*.
- II. **Coordenação do tipo 2:** Sem risco para as pessoas e instalações. Não pode haver danos ao *relé de sobrecarga* ou em outras partes, com exceção de leve fusão dos contatos do *contator* e estes permitam uma fácil separação sem deformações significativas.

O *relé de sobrecarga*, os *contatores* e outros elementos em maiores detalhes nos capítulos posteriores, bem como a sua aplicação prática em circuitos reais.

Em comandos elétricos trabalhar-se-á bastante com um elemento simples que é o contato. A partir do mesmo é que se forma toda lógica de um circuito e também é ele quem dá ou não a condução de corrente. Basicamente existem dois tipos de contatos, listados a seguir:

- i. **Contato Normalmente Aberto (NA):** não há passagem de corrente elétrica na posição de repouso, como pode ser observado na figura 1.3(a). Desta forma a carga não estará acionada.
- ii. **Contato Normalmente Fechado (NF):** há passagem de corrente elétrica na posição de repouso, como pode ser observado na figura 1.3(b). Desta forma a carga estará acionada.

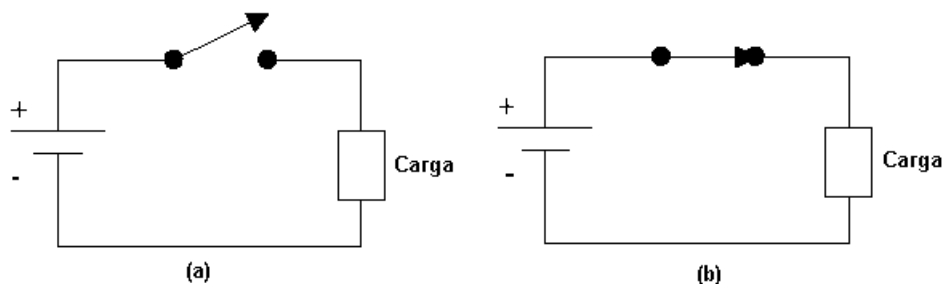


Figura 1.3 – Representação dos contatos NA e NF

Os citados contatos podem ser associados para atingir uma determinada finalidade, como por exemplo, fazer com que uma carga seja acionada somente quando dois deles estiverem ligados. As principais associações entre contatos são descritas a seguir.

1.1) Associação de contatos normalmente abertos

Basicamente existem dois tipos, a associação em série (figura 1.4a) e a associação em paralelo (1.4b).

Quando se fala em associação de contatos é comum montar uma tabela contendo todas as combinações possíveis entre os contatos, esta é denominada de “*Tabela Verdade*”. As tabelas 1.1 e 1.2 referem-se as associações em série e paralelo.

Nota-se que na combinação em série a carga estará acionada somente quando os dois contatos estiverem acionados e por isso é denominada de “*função E*”. Já na combinação em paralelo qualquer um dos contatos ligados aciona a carga e por isso é denominada de “*função OU*”.

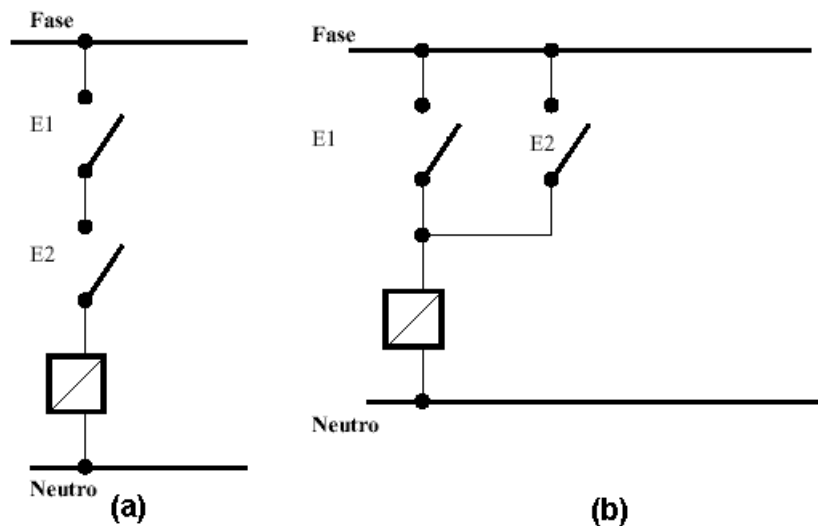


Figura 1.4 – Associação de contatos NA

Tabela 1.1 – Associação em série de contatos NA		
CONTATO E1	CONTATO E2	CARGA
repouso	repouso	desligada
repouso	acionado	desligada
acionado	repouso	desligada
acionado	acionado	ligada

Tabela 1.2 – Associação em paralelo de contatos NA		
CONTATO E1	CONTATO E2	CARGA
repouso	repouso	desligada
repouso	acionado	ligada
acionado	repouso	ligada
acionado	acionado	ligada

1.2) Associação de contatos normalmente fechados

Os contatos NF da mesma forma podem ser associados em série (figura 1.5a) e paralelo (figura 1.5b), as respectivas tabelas verdade são 1.3 e 1.4.

Nota-se que a tabela 1.3 é exatamente inversa a tabela 1.2 e portanto a associação em série de contatos NF é denominada “*função não OU*”. Da mesma forma a associação em paralelo é chamada de “*função não E*”.

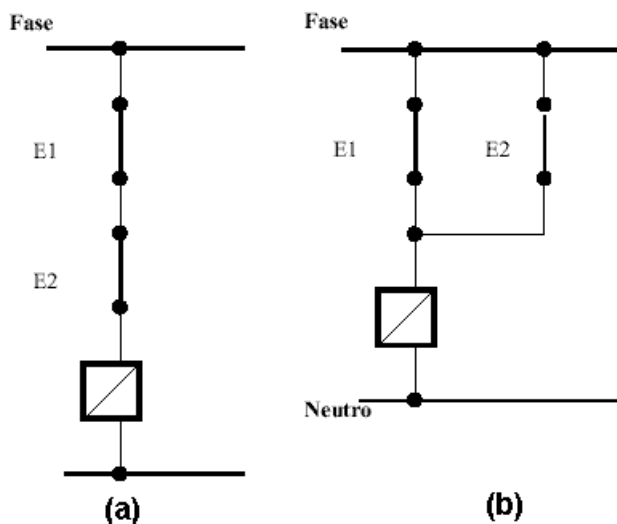


Figura 1.5 – Associação de contatos NF

Tabela 1.3 – Associação em série de contatos NF		
CONTATO E1	CONTATO E2	CARGA
repouso	repouso	ligada
repouso	acionado	desligada
acionado	repouso	desligada
acionado	acionado	desligada

Tabela 1.4 – Associação em paralelo de contatos NF		
CONTATO E1	CONTATO E2	CARGA
repouso	repouso	ligada
repouso	acionado	ligada
acionado	repouso	ligada
acionado	acionado	desligada

Existem algumas outras combinações entre contatos, mas que não estão incluídas no escopo deste curso.

Nos próximo capítulo serão mostrados alguns dos elementos fundamentais em um painel elétrico, todos contendo contatos NA e NF. Posteriormente descrever-se-á como estes elementos podem ser associados para formar uma manobra de cargas.

2) Principais elementos em comandos elétricos

Neste capítulo o objetivo é o de conhecer as ferramentas necessárias à montagem de um painel elétrico. Assim como para trocar uma simples roda de carro, quando o pneu fura, necessita-se conhecer as ferramentas próprias, em comandos elétricos, para entender o funcionamento de um circuito e posteriormente para desenhar o mesmo, necessita-se conhecer os elementos apropriados. A diferença está no fato de que em grandes painéis existem altas correntes elétricas que podem levar o operador ou montador a riscos de vida.

Um comentário importante neste ponto é que por via de regra os circuitos de manobra são divididos em “*comando*” e “*potência*”, possibilitando em primeiro lugar a segurança do operador e em segundo a automação do circuito. Embora não pareça clara esta divisão no presente momento, ela tornar-se-á comum a medida que o aluno familiariza-se com a disciplina.

2.1) Botoeira ou Botão de comando

Quando se fala em ligar um motor, o primeiro elemento que vem a mente é o de uma chave para ligá-lo. Só que no caso de comandos elétricos a “chave” que liga os motores é diferente de uma chave usual, destas que se tem em casa para ligar a luz por exemplo. A diferença principal está no fato de que ao movimentar a “chave residencial” ela vai para uma posição e permanece nela, mesmo quando se retira a pressão do dedo. Na “chave industrial” ou botoeira há o retorno para a posição de repouso através de uma mola, como pode ser observado na figura 2.1a. O entendimento deste conceito é fundamental para compreender o porque da existência de um *selo* no circuito de comando.

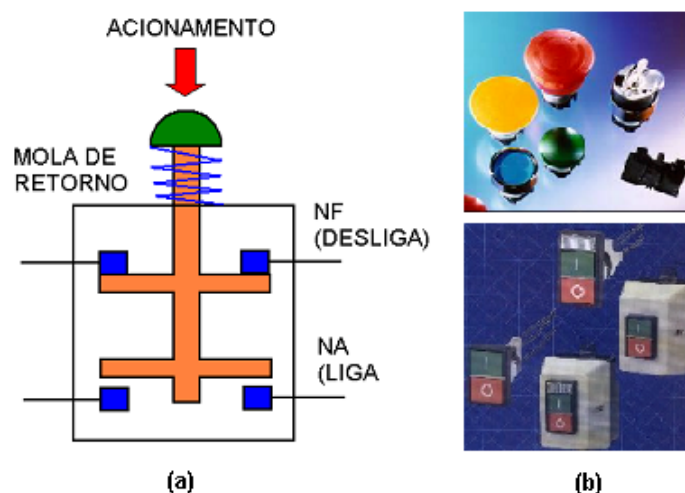


Figura 2.1 – (a) Esquema de uma botoeira – (b) Exemplos de botoeiras comerciais

A botoeira faz parte da classe de componentes denominada “*elementos de sinais*”. Estes são dispositivos pilotos e **nunca são aplicados no acionamento direto de motores**.

A figura 2.1a mostra o caso de uma botoeira para comutação de 4 pólos. O contato NA (Normalmente Aberto) pode ser utilizado como botão LIGA e o NF (Normalmente Fechado) como botão DESLIGA. Esta é uma forma elementar de *intertravamento*. Note que o retorno é feito de forma automática através de mola. Existem botoeiras com apenas um contato. Estas últimas podem ser do tipo NA ou NF.

Ao substituir o botão manual por um rolete, tem-se a chave fim de curso, muito utilizada em circuitos pneumáticos e hidráulicos. Este é muito utilizado na movimentação de cargas, acionado no esbarro de um caixote, engradado, ou qualquer outra carga.

Outros tipos de elementos de sinais são os Termostatos, Pressostatos, as Chaves de Nível e as chaves de fim de curso (que podem ser roletes).

Todos estes elementos exercem uma ação de controle discreta, ou seja, liga / desliga. Como por exemplo, se a pressão de um sistema atingir um valor máximo, a ação do Pressostato será o de mover os contatos desligando o sistema. Caso a pressão atinja novamente um valor mínimo atua-se re-ligando o mesmo.

2.2) Relés

Os **relés** são os elementos fundamentais de manobra de cargas elétricas, pois permitem a combinação de lógicas no comando, bem como a separação dos circuitos de potência e comando. Os mais simples constituem-se de uma carcaça com cinco terminais. Os terminais (1) e (2) correspondem a bobina de excitação. O terminal (3) é o de entrada, e os terminais (4) e (5) correspondem aos contatos normalmente fechado (NF) e normalmente aberto (NA), respectivamente.

Uma característica importante dos relés, como pode ser observado na figura 2.2a é que a tensão nos terminais (1) e (2) pode ser 5 Vcc, 12 Vcc ou 24 Vcc, enquanto simultaneamente os terminais (3), (4) e (5) podem trabalhar com 110 Vca ou 220 Vca. Ou seja **não há contato físico** entre os terminais de acionamento e os de trabalho. Este conceito permitiu o surgimento de dois circuitos em um painel elétrico:

- i. **Circuito de comando:** neste encontra-se a interface com o operador da máquina ou dispositivo e portanto trabalha com baixas correntes (até 10 A) e/ou baixas tensões.
- ii. **Circuito de Potência:** é o circuito onde se encontram as cargas a serem acionadas, tais como motores, resistências de aquecimento, entre outras. Neste podem circular correntes elétricas da ordem de 10 A ou mais, e atingir tensões de até 760 V.

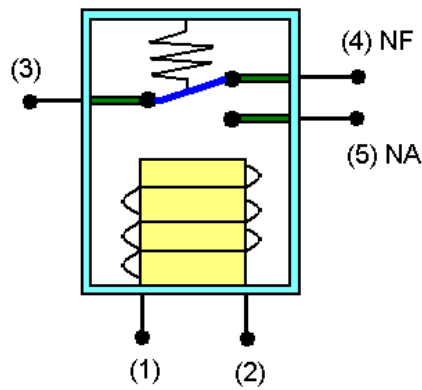


Figura 2.2 – Diagrama esquemático de um relé

Em um painel de comando, as botoeiras, sinaleiras e controladores diversos ficam no circuito de comando.

Do conceito de relés pode-se derivar o conceito de contadores, visto no próximo item.

2.3) Contadores

Para fins didáticos pode-se considerar os contadores como relés expandidos pois o princípio de funcionamento é similar. Conceituando de forma mais técnica, o *contador* é um elemento eletro-mecânico de *comando a distância*, com uma única posição de repouso e sem travamento.

Como pode ser observado na figura 2.3, o contador consiste basicamente de um núcleo magnético excitado por uma bobina. Uma parte do núcleo magnético é móvel, e é atraído por forças de ação magnética quando a bobina é percorrida por corrente e cria um fluxo magnético. Quando não circula corrente pela bobina de excitação essa parte do núcleo é repelida por ação de molas. Contatos elétricos são distribuídos solidariamente a esta parte móvel do núcleo, constituindo um conjunto de contatos móveis. Solidário a carcaça do contador existe um conjunto de contatos fixos. Cada jogo de contatos fixos e móveis podem ser do tipo Normalmente aberto (NA), ou normalmente fechados (NF).

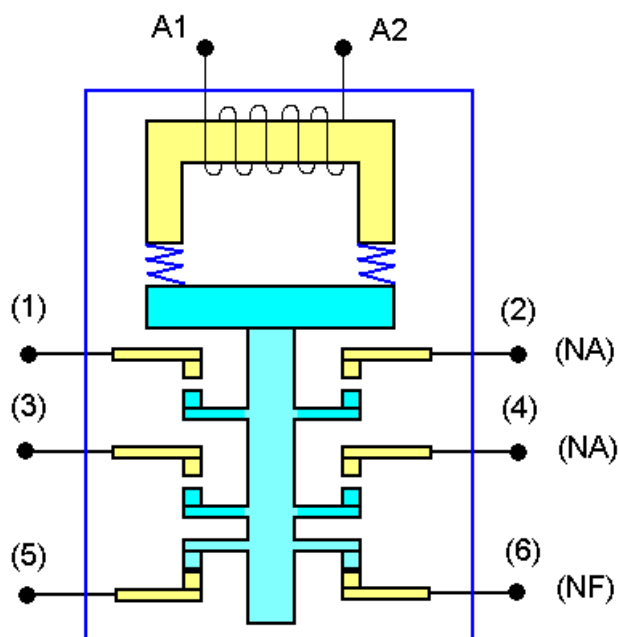


Figura 2.3 – Diagrama esquemático de um contator com 2 terminais NA e um NF

Os contadores podem ser classificados como principais (CW, CWM) ou auxiliares (CAW). De forma simples pode-se afirmar que os contadores auxiliares tem corrente máxima de 10A e possuem de 4a 8 contatos, podendo chegar a 12 contatos. Os contadores principais tem corrente máxima de até 600A. De uma maneira geral possuem 3 contatos principais do tipo NA, para manobra de cargas trifásicas a 3 fios.

Um fator importante a ser observando no uso dos contadores são as faíscas produzidas pelo impacto, durante a comutação dos contatos. Isso promove o desgaste natural dos mesmos, além de consistir em riscos a saúde humana. A intensidade das faíscas pode se agravar em ambientes úmidos e também com a quantidade de corrente circulando no painel. Dessa forma foram aplicadas diferentes formas de proteção, resultando em uma classificação destes elementos. Basicamente existem 4 categorias de emprego de contadores principais:

- a. **AC1**: é aplicada em cargas ôhmicas ou pouco indutivas, como aquecedores e fornos a resistência.
- b. **AC2**: é para acionamento de motores de indução com rotor bobinado.
- c. **AC3**: é aplicação de motores com rotor de gaiola em cargas normais como bombas, ventiladores e compressores.
- d. **AC4**: é para manobras pesadas, como acionar o motor de indução em plena carga, reversão em plena marcha e operação intermitente.

A figura 2.4 mostra o aspecto de um contator comum. Este elemento será mais detalhado em capítulos posteriores.



Figura 2.4 – Foto de contatores comerciais

2.4) Fusíveis

Os fusíveis são elementos bem conhecidos pois se encontram em instalações residenciais, nos carros, em equipamentos eletrônicos, máquinas, entre outros. Tecnicamente falando estes são elementos que destinam-se a *proteção contra correntes de curto-circuito*. Entende-se por esta última aquela provocada pela falha de montagem do sistema, o que leva a impedância em determinado ponto a um valor quase nulo, causando assim um acréscimo significativo no valor da corrente.

Sua atuação deve-se a a *fusão de um elemento pelo efeito Joule*, provocado pela súbita elevação de corrente em determinado circuito. O elemento fusível tem propriedades físicas tais que o seu ponto de fusão é inferior ao ponto de fusão do cobre. Este último é o material mais utilizado em condutores de aplicação geral.

2.5) Disjuntores

Os disjuntores também estão presentes em algumas instalações residenciais, embora sejam menos comuns do que os fusíveis. Sua aplicação determinadas vezes interfere com a aplicação dos fusíveis, pois são elementos que também destinam-se a *proteção do circuito contra correntes de curto-circuito*. Em alguns casos, quando há o elemento térmico os disjuntores também podem se destinar a proteção contra correntes de *sobrecarga*.

A corrente de sobrecarga pode ser causada por uma súbita elevação na carga mecânica, ou mesmo pela operação do motor em determinados ambientes fabris, onde a temperatura é elevada.

A vantagem dos disjuntores é que permitem a re-ligação do sistema após a ocorrência da elevação da corrente, enquanto os fusíveis devem ser substituídos antes de uma nova operação.

Para a proteção contra a sobrecarga existe um elemento térmico (bi-metálico). Para a proteção contra curto-circuito existe um elemento magnético.

O disjuntor precisa ser caracterizado, além dos valores nominais de tensão, corrente e frequência, ainda pela sua capacidade de interrupção, e pelas demais indicações de temperatura e altitude segundo a respectiva norma, e agrupamento de disjuntores, segundo informações do fabricante, e outros, que podem influir no seu dimensionamento.

A figura 2.5 mostra o aspecto físico dos disjuntores comerciais.

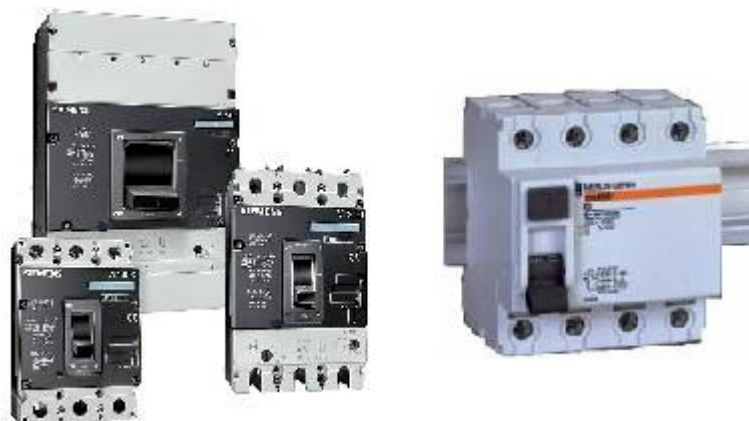


Figura 2.5 – Aspecto dos disjuntores de três e quatro pólos

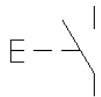
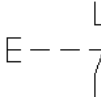
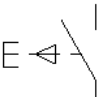
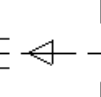
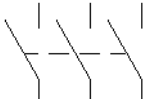



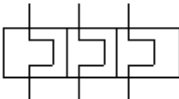

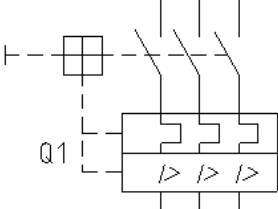
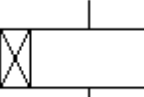
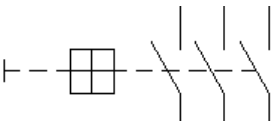

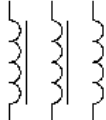
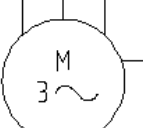
2.6) Relé Térmico ou de Sobrecarga

Antigamente a proteção contra corrente de sobrecarga era feita por um elemento separado denominado de relé térmico. Este elemento é composto por uma junta bimetálica que se dilatava na presença de uma corrente acima da nominal por um período de tempo longo. Atualmente os disjuntores englobam esta função e sendo assim os relés de sobrecarga caíram em desuso.

2.7) Simbologia gráfica

Até o presente momento mostrou-se a presença de diversos elementos constituintes de um painel elétrico. Em um comando, para saber como estes elementos são ligados entre si é necessário consultar um desenho chamado de esquema elétrico. No desenho elétrico cada um dos elementos é representado através de um símbolo. A simbologia é padronizada através das normas NBR, DIN e IEC. Na tabela 2.1 apresenta-se alguns símbolos referentes aos elementos estudados nos parágrafos anteriores.

Tabela 2.1 – Simbologia em comandos elétricos

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
	Botoeira NA		Botoeira NF
	Botoeira NA com retorno por mola		Botoeira NF com retorno por mola
	Contatos tripolares NA, ex: contator de potência		Fusível
	Acionamento eletromagnético, ex: bobina do contator		Contato normalmente aberto (NA)
	Relé térmico		Contato normalmente fechado (NF)
	Disjuntor com elementos térmicos e magnéticos, proteção contra correntes de curto e sobrecarga		Acionamento temporizado na ligação
	Disjuntor com elemento magnético, proteção contra corrente de curto-circuito		Lâmpada / Sinalização
	Transformador trifásico		Motor Trifásico

3) Laboratório: Partida direta de Motores

Objetivo: A primeira combinação entre os elementos de comando estudados é a partida direta de um motor, mostrada na figura 3.1 abaixo. O objetivo é o de montar esta partida no laboratório, observando as dificuldades e a lógica de funcionamento, bem como apresentar o conceito de selo.

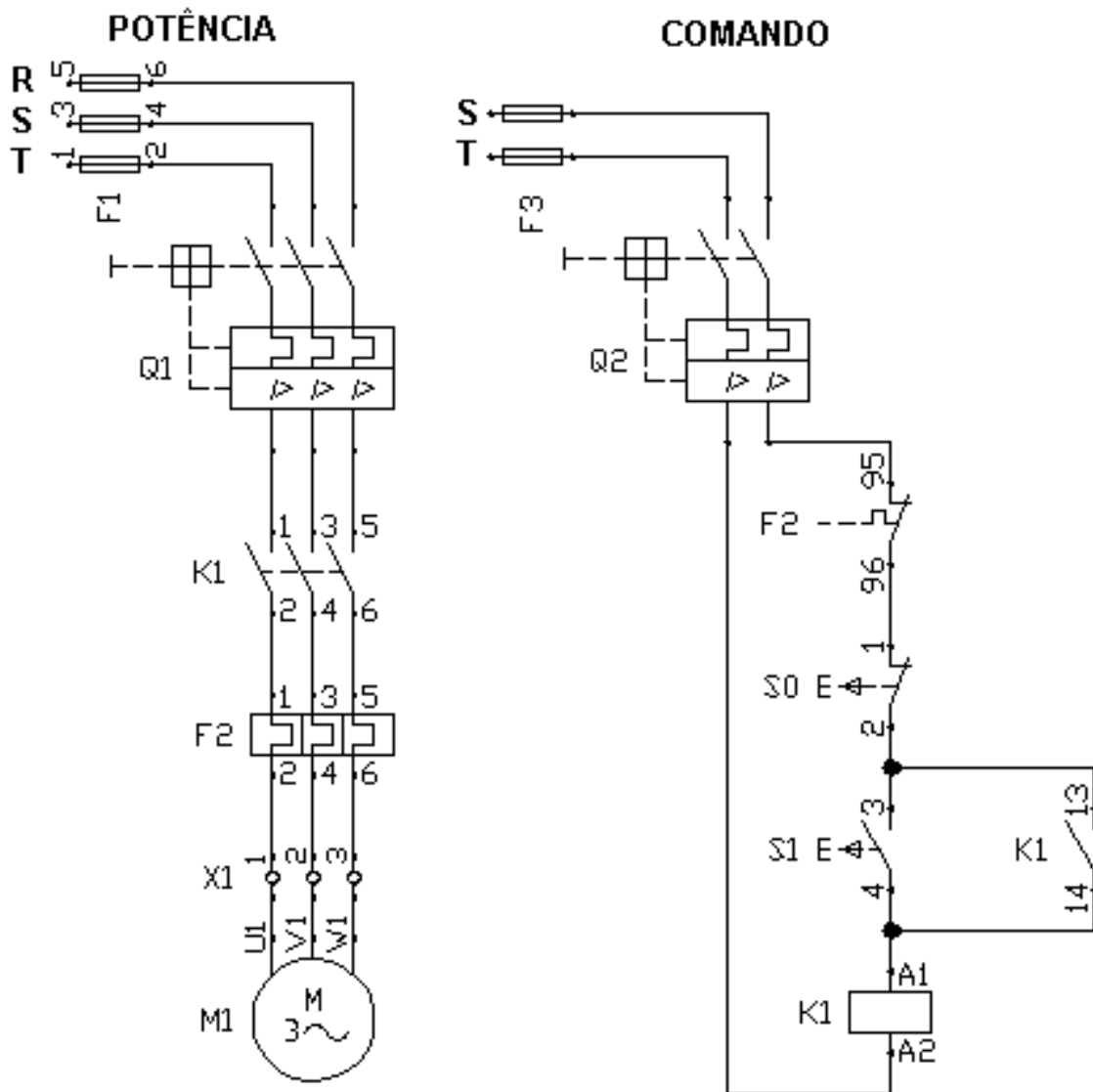


Figura 3.1 – Circuitos de comando e potência para uma partida direta de motores

Componentes: 1 Disjuntor tripolar (Q1), 1 disjuntor bipolar (Q2), 1 relé térmico (F2), 1 contator (K1), 1 botoeira NF (S0), 01 botoeira NA (S1), 1 Motor trifásico (M1).

4) Laboratório: Partida direta de Motores com sinalização

Objetivo: Neste laboratório o objetivo é o de consolidar os conceitos introduzindo os elementos de sinalização no comando.

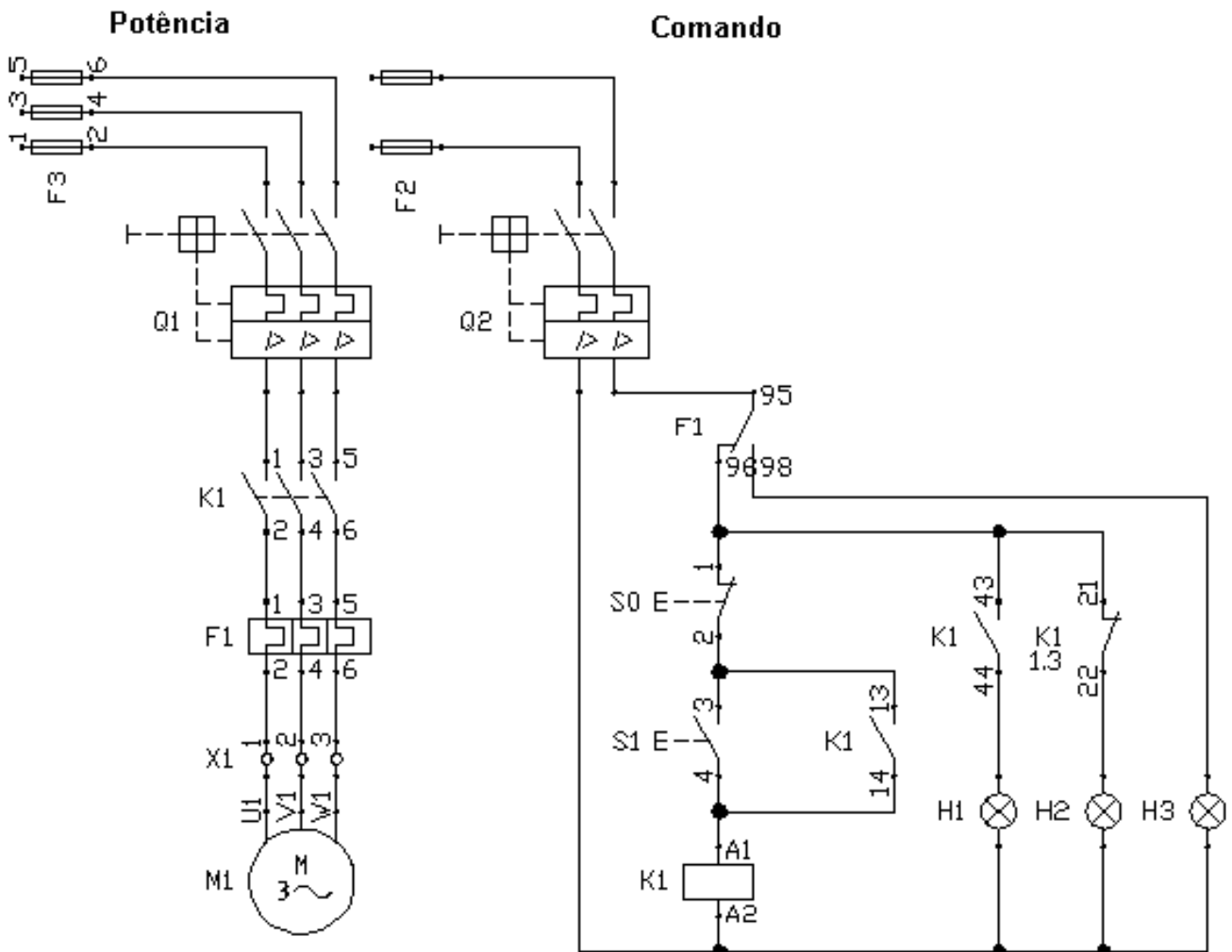


Figura 4.1 – Circuitos de comando e potência para uma partida direta de motores com sinalização

Componentes: 1 Disjuntor tripolar (Q1), 1 disjuntor bipolar (Q2), 1 relé térmico (F2), 1 contator (K1), 1 botoeira NF (S0), 1 botoeira NA (S1), 1 Motor trifásico (M1), 1 lâmpada verde (H1), 1 lâmpada amarela (H2), 1 lâmpada vermelha (H3).

5) Laboratório: Partida de Motores com reversão

Objetivo: Acionar, de forma automática, um motor com reversão do sentido de rotação, mostrando algumas similaridades com a partida direta. Introduzir o conceito de “*intertravamento*”.

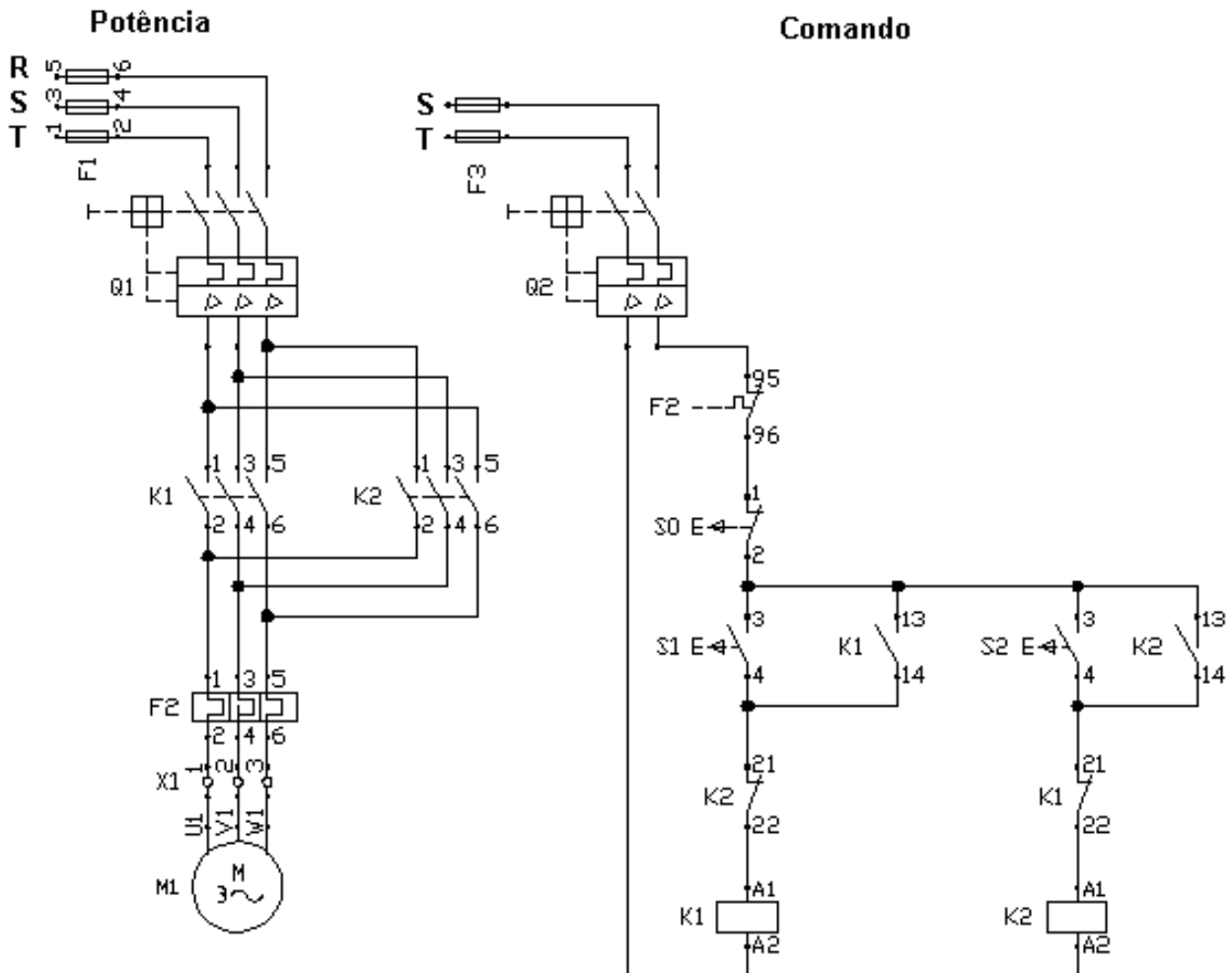


Figura 5.1 – Circuitos de comando e potência para uma partida com reversão

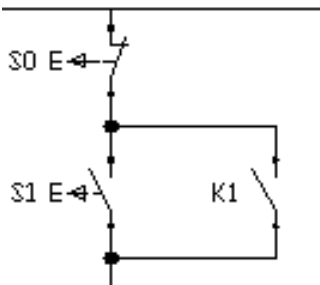
Componentes: 1 Disjuntor tripolar (Q1), 1 disjuntor bipolar (Q2), 1 relé térmico (F2), 2 contatores (K1 e K2), 1 botoeira NF (S0), 2 botoeiras NA (S1 e S2), 1 Motor trifásico (M1).

Exercício: Desenhar e montar o circuito da sinalização da seguinte maneira: lâmpada verde indica motor girando no sentido horário, lâmpada amarela no sentido anti-horário e lâmpada vermelha atuação do relé de sobrecarga.

6) Conceitos básicos em manobras de motores

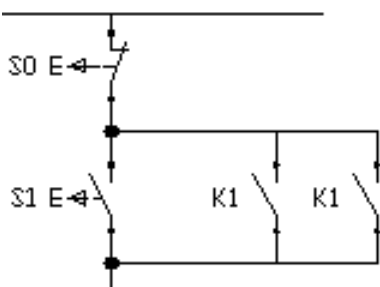
Para ler e compreender a representação gráfica de um circuito elétrico, é imprescindível conhecer os componentes básicos dos comandos e também sua finalidade. Alguns destes elementos são descritos a seguir.

A) Selo



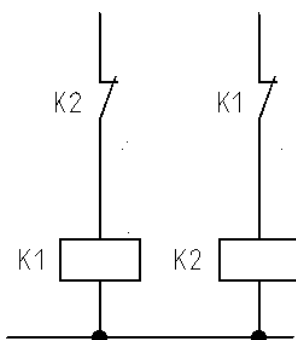
O contato de selo é sempre ligado em paralelo com o contato de fechamento da botoeira. Sua finalidade é de manter a corrente circulando pelo contator, mesmo após o operador ter retirado o dedo da botoeira.

B) Selo com dois contatos



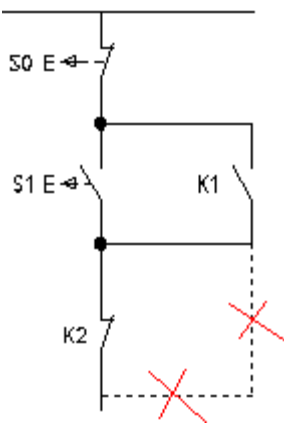
Para obter segurança no sistema, pode-se utilizar dois contatos de selo.

C) Intertravamento



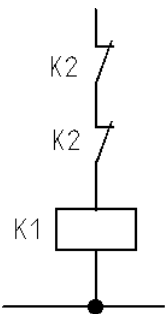
Em algumas manobras, onde existem 2 ou mais contadores, para evitar curtos é indesejável o funcionamento simultâneo de dois contadores. Utiliza-se assim o intertravamento. Neste caso os contatos devem ficar antes da alimentação da bobina dos contadores.

E) Circuito paralelo ao intertravamento



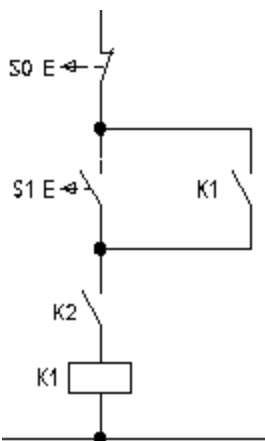
No caso de um intertravamento entre contatos, o contato auxiliar de selo, não deve criar um circuito paralelo ao intertravamento, caso este onde o efeito de segurança seria perdido.

F) Intertravamento com dois contatos



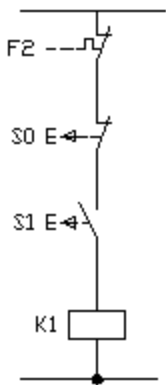
Dois contatos de intertravamento, ligados em série, elevam a segurança do sistema. Estes devem ser usados quando acionando altas cargas com altas correntes.

G) Ligamento condicionado



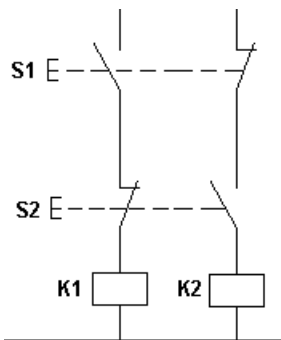
Um contato NA do contator K2, antes do contator K1, significa que K1 pode ser operado apenas quando K2 estiver fechado. Assim *condiciona-se* o funcionamento do contator K1 ao contator K2.

F) Proteção do sistema



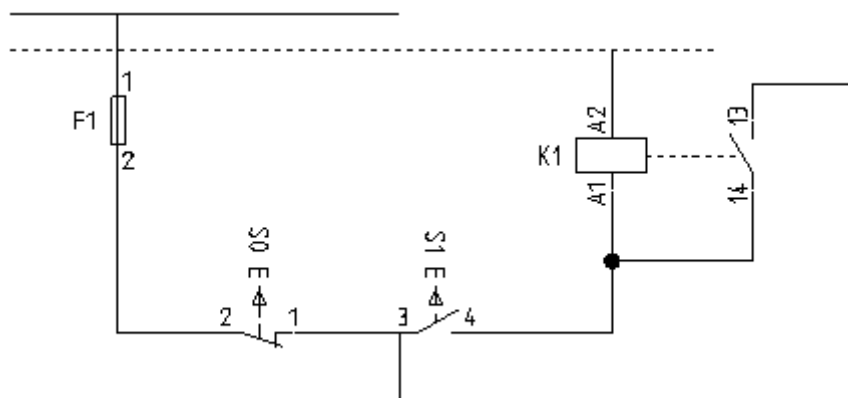
Os relés de proteção contra sobrecarga e as botoeiras de desligamento devem estar sempre em série.

G) Intertravamento com botoeiras



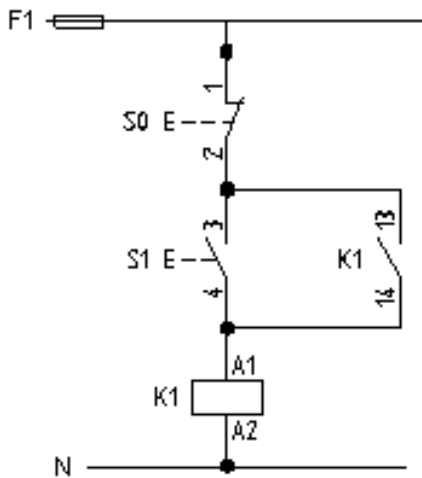
O intertravamento, também pode ser feito através de botoeiras. Neste caso, para facilidade de representação, recomenda-se que uma das botoeiras venha indicada com seus contatos invertidos. Não se recomenda este tipo de ação em motores com cargas pesadas.

H) Esquema Multifilar



Nesta representação todos os componentes são representados. Os aparelhos são mostrados de acordo com sua seqüência de instalação, obedecendo a construção física dos mesmos. Não são indicados nos circuitos de circulação de corrente. A posição dos contatos é feita com o sistema desligado (sem tensão). A disposição dos aparelhos pode ser qualquer uma, com a vantagem de que eles são facilmente reconhecidos, sendo reunidos por trações de contorno, se necessário.

I) Esquema Funcional



Nesta representação também todos os condutores estão representados. Não é levada em conta a posição construtiva e a conexão mecânica entre as partes. O sistema é subdividido de acordo com os circuitos de correntes existentes. Estes circuitos devem ser representados sempre que possível, por linhas retas, livres de cruzamentos.

A posição dos contatos é desenhada com o sistema desligado (sem tensão).

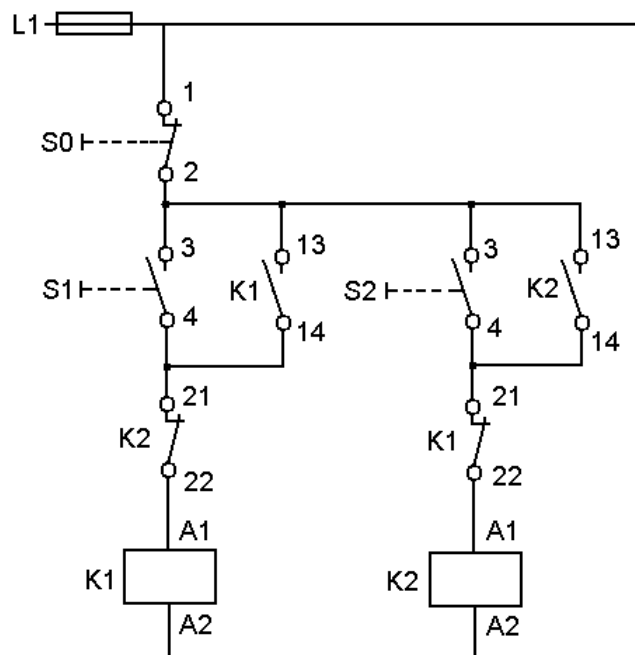
A vantagem consiste no fato de que se torna fácil ler os esquemas e respectivas funções, assim este tipo de representação é o que será adotado neste curso.

J) Recomendações de tensão

Certas normas, como por exemplo a VDE, recomendam que os circuitos de comando sejam alimentados com tensão máxima de 220 V, admitindo-se excepcionalmente 500 V no caso de acionamento de motor. Neste último recomenda-se a existência de apenas 1 contator.

7) Exercícios gerais

- 7.1) Descreva quais e quantos componentes são necessários a manobra de dois motores. Um deve ter partida direta e o outro partida com reversão. Descreva qual a função de cada elemento dentro do circuito.
- 7.2) Desenhe o acionamento da bobina de um contator K1 através de duas botoneiras ligadas em: a) série; b) paralelo.
- 7.3) Explique o funcionamento do circuito abaixo. Quais as conseqüências de funcionamento resultariam se o contato de selo K1 fosse ligado entre o NF K2 e a bobina do contator K1? O intertravamento apresentado é suficiente?

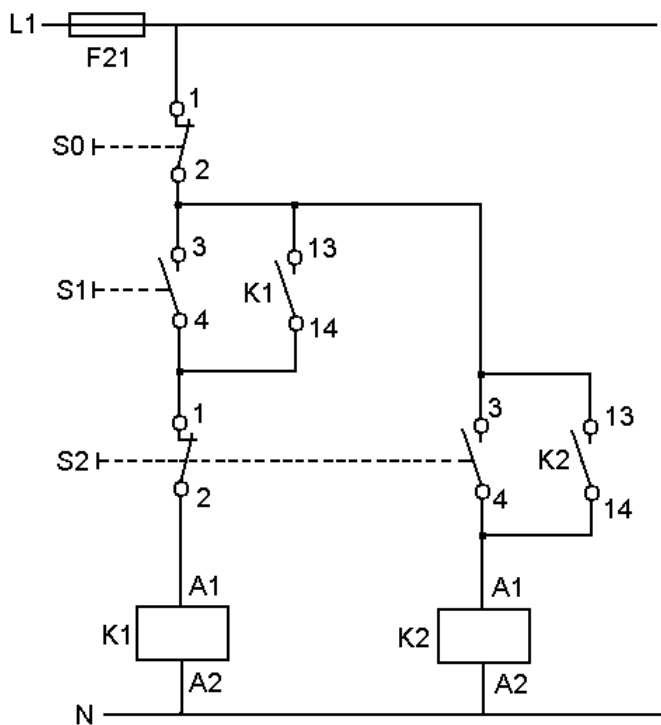


7.4) Desenhe um circuito de comando para acionar um motor de indução trifásico, ligado em 220 V, de forma que o operador tenha que utilizar as duas mãos para realizar o acionamento.

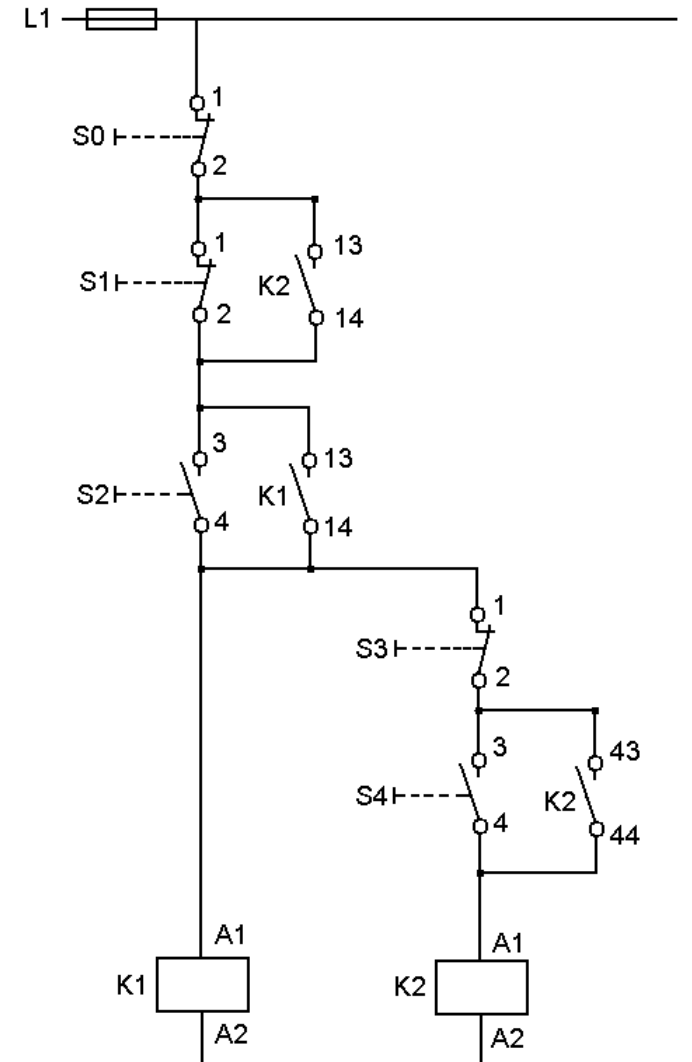
7.5) Desenhe um circuito de comando para um motor de indução trifásico de forma que o operador possa realizar o ligamento por dois pontos independentes. Para evitar problemas com sobrecarga deve-se utilizar um relé térmico.

7.6) Explique o funcionamento dos circuitos abaixo.

A)



B)



Orientações:

Letra A → Tente observar o que acontece quando se liga K1 primeiro que K2 e vice-versa.

Letra B → K1 pode ser ligado antes de K2? Se sim qual chave desliga K1? Consegue-se ligar K2 após K1? Qual chave deve ser utilizada para desligar K1 após o ligamento de K2? O contator K2 pode ser desligado de forma independente?

- 7.7) Desenhe o circuito de comando para dois motores de forma que o primeiro pode ser ligado de forma independente e o segundo pode ser ligado apenas se o primeiro estiver ligado.
- 7.8) **Desafio:** Faça um comando para manobrar dois motores de modo que o primeiro pode ser ligado de forma independente. O segundo pode ser ligado apenas quando o primeiro for ligado, mas pode se manter ligado mesmo quando se desliga o primeiro motor.

8) Simbologia numérica e literal

Assim como cada elemento em um comando tem o seu símbolo gráfico específico, também a numeração dos contatos e denominação literal dos mesmos tem um padrão que deve ser seguido. Neste capítulo serão apresentados alguns detalhes, para maiores informações deve-se consultar a norma NBR 5280 ou a IEC 113.2.

A numeração dos contatos que representam terminais de força é feita da seguinte maneira:

- 1, 3 e 5 → Circuito de entrada (linha)
- 2, 4 e 6 → Circuito de saída (terminal)

Já a numeração dos contatos auxiliares segue o seguinte padrão:

- 1 e 2 → Contato normalmente fechado (NF), sendo 1 a entrada e 2 a saída
- 3 e 4 → Contato normalmente aberto (NA), sendo 3 a entrada e 4 a saída

Nos relés e contatores tem-se A1 e A2 para os terminais da bobina.

Os contatos auxiliares de um contator seguem um tipo especial de numeração pois o número é composto por dois dígitos, sendo:

- Primeiro dígito: indica o número do contato
- Segundo dígito: indica se o contato é do tipo NF (1 e 2) ou NA (3 e 4)

Exemplo 1: Numeração de um contator de potência com dois contatos auxiliares 1 NF e 1 NA.

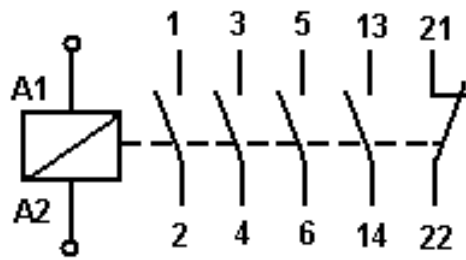


Figura 8.1 – Numeração de contos de um contator de potência

Exemplo 2: Numeração de um contator de auxiliar com 4 contatos NA e 2 contatos NF

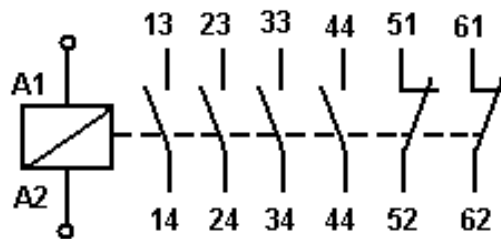


Figura 8.3 – Numeração de contadores auxiliares

Com relação a simbologia literal, alguns exemplos são apresentados na tabela 8.1 a seguir.

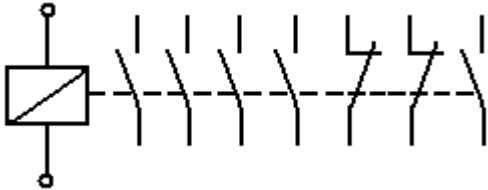
Tabela 8.1 – Símbolos literais segundo NBR 5280

Símbolo	Componente	Exemplos
F	Dispositivos de proteção	Fusíveis, pára-raios, disparadores, relés
H	Dispositivos de sinalização	Indicadores acústicos e ópticos
K	Contatores	Contatores de potência e auxiliares
M	Motores	
Q	Dispositivos de manobra para circuitos de potência	Disjuntores, seccionadores, interruptores
S	Dispositivos de manobra, seletos auxiliares	Dispositivos e botões de comando e de posição (fim-de-curso) e seletos
T	Transformadores	Transformadores de distribuição, de potência, de potencial, de corrente, autotransformadores

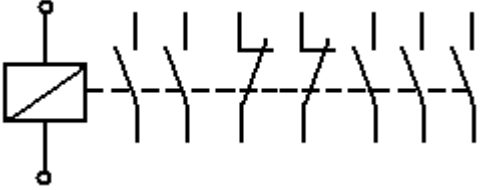
Exercícios:

Numere os contatores a seguir:

A) Contator de potência



B) Contator auxiliar



9) Características dos motores de indução importantes aos comandos elétricos

Neste curso trabalha-se com os motores de indução trifásicos do tipo gaiola de esquilo por serem os mais comuns na indústria. Este nome é dado devido ao formato do seu rotor. Um estudo completo sobre este elemento é tema de um curso de máquinas elétricas, apesar disso algumas características são interessantes ao estudo dos comandos elétricos.

Basicamente os motores do tipo gaiola são compostos por dois subconjuntos:

- **Estator:** com enrolamento montado na carcaça do motor, fornecendo o campo girante
- **Rotor:** enrolamento constituído por barras curto-circuitadas, a sua corrente é induzida pela ação do campo girante, provocando uma rotação do rotor e o fornecimento de energia mecânica ao eixo do motor.

Quando o motor é energizado, ele funciona como um transformador com o secundário em curto-circuito, portanto exige da rede elétrica uma corrente muito maior que a nominal, podendo atingir cerca de 7 vezes o valor da mesma.

As altas correntes de partida causam inconvenientes pois exigem um dimensionamento de cabos com diâmetros bem maiores do que o necessário. Além disso podem haver quedas momentâneas do *fator de potência*, que é monitorado pela concessionária de energia elétrica, causando multas a indústria.

Para evitar estas altas correntes na partida, existem algumas estratégias em comandos. Uma delas é alimentar o motor com 50% ou 65% da tensão nominal, é o caso da partida estrela-triângulo, que será vista neste curso. Outras estratégias são:

- Resistores ou indutores em série;
- Transformadores ou auto-transformadores;
- Chaves série-paralelo;
- Chaves compensadoras, etc.

Os motores de indução podem ser comprados com 6 pontas e 12 pontas. No caso do motor de 6 pontas existem dois tipos de ligação:

- **Triângulo:** a tensão nominal é de 220 V (ver figura 9.1a)
- **Estrela:** a tensão nominal é de 380 V (ver figura 9.1b)

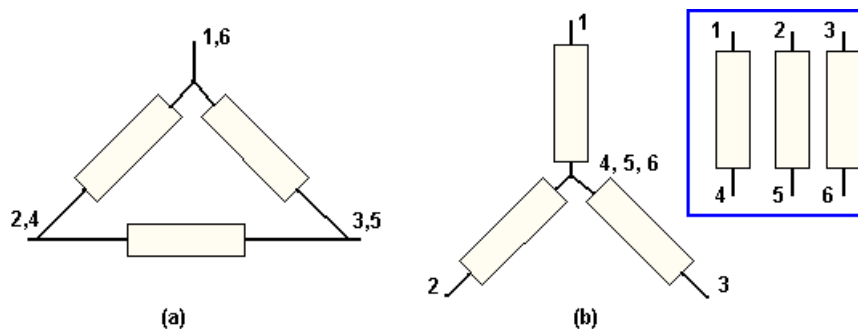


Figura 9.1 – Ligações estrela e triângulo de um motor 6 pontas

No caso do motor de 12 pontas, existem quatro tipos possíveis de ligação:

- Triângulo em paralelo: a tensão nominal é 220 V (ver figura 9.2a)
- Estrela em paralelo: a tensão nominal é 380 V (ver figura 9.2b)
- Triângulo em série: a tensão nominal é 440 V (ver figura 9.2c)
- Estrela em série: a tensão nominal é 760 V (ver figura 9.2d)

Nota-se que nas figuras são mostradas as quantidades de bobinas constituintes de cada motor. Assim um motor de 6 pontas tem 3 bobinas e um de 12 pontas tem 6 bobinas. Como cada bobina tem 2 pontas, a explicado o nome é explicita.

A união dos contatos segue uma determinada ordem padrão. Existe uma regra prática para fazê-lo: numera-se sempre os terminais de fora com 1, 2 e 3 e liga-se os terminais faltantes. No caso do motor de 12 pontas deve-se ainda associar o série paralelo com as bobinas correspondentes, como por exemplo (1-4 com 7-10).

Deixa-se a cargo do aluno, a título de exercício a identificação dos terminais na ligação estrela em série.

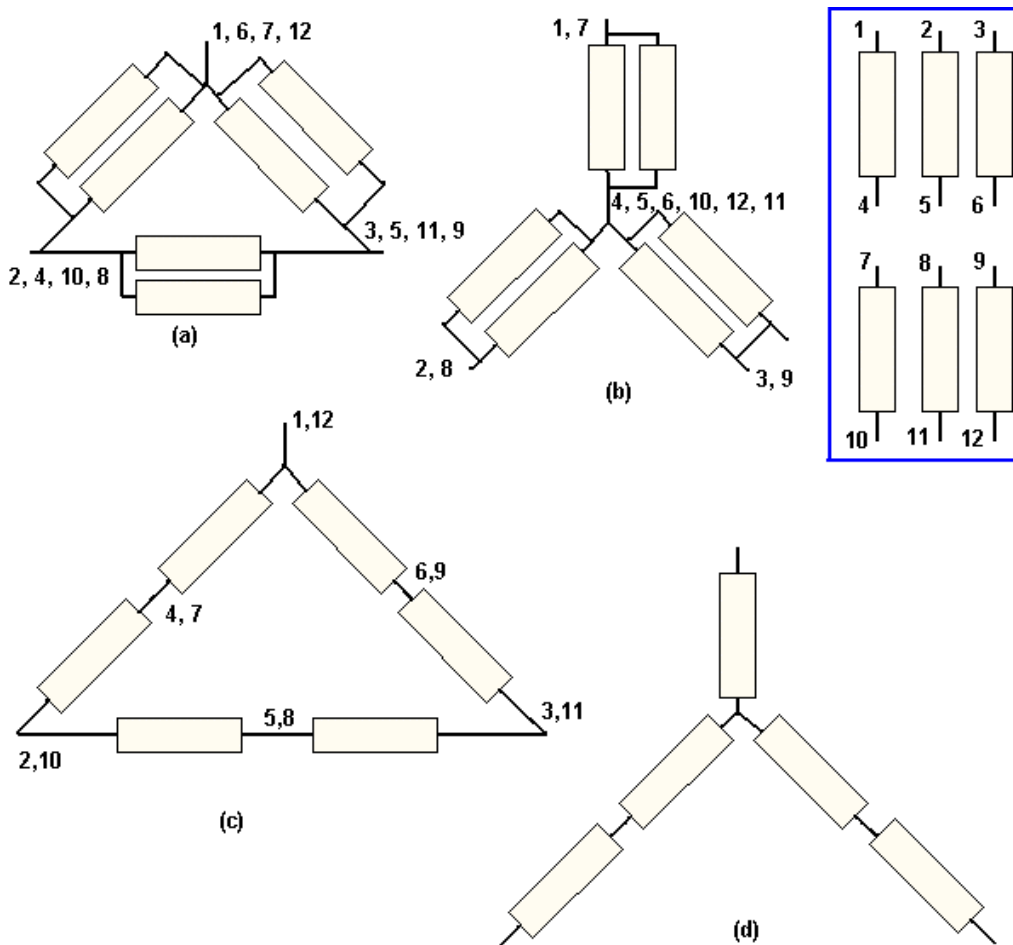


Figura 9.2 – Ligações estrela – triângulo em um motor de 12 pontas

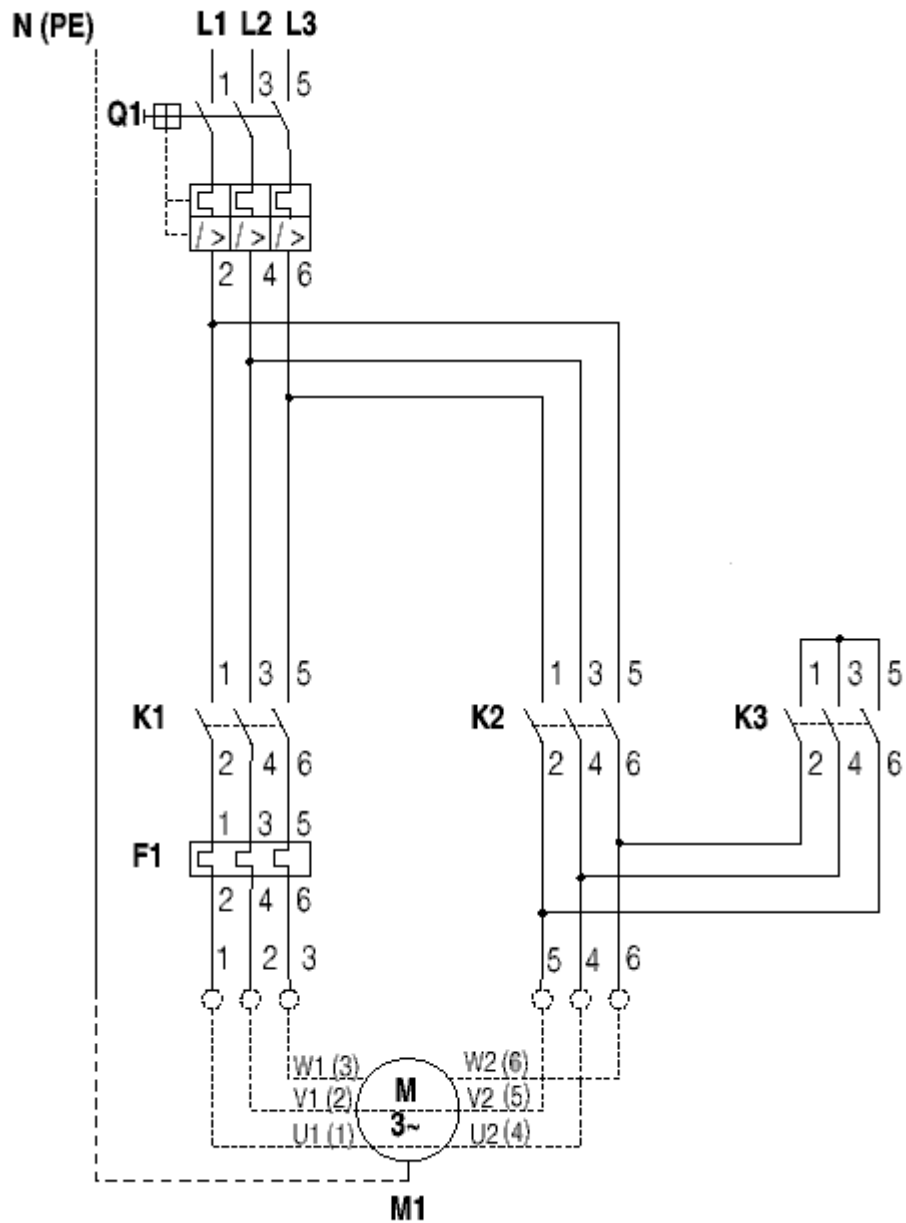
Uma última característica importante do motor de indução a ser citada é a sua placa de identificação, que traz informações importantes, listadas a seguir:

- **CV:** Potência mecânica do motor em cv
- **Ip/In:** Relação entre as correntes de partida e nominal;
- **Hz:** Frequência da tensão de operação do motor;
- **RPM:** Velocidade do motor na frequência nominal de operação
- **V:** Tensão de alimentação
- **A:** Corrente requerida pelo motor em condições nominais de operação
- **F.S.:** Fator de serviço, quando o fator de serviço é igual a 1,0, isto implica que o motor pode disponibilizar 100% de sua potência mecânica.

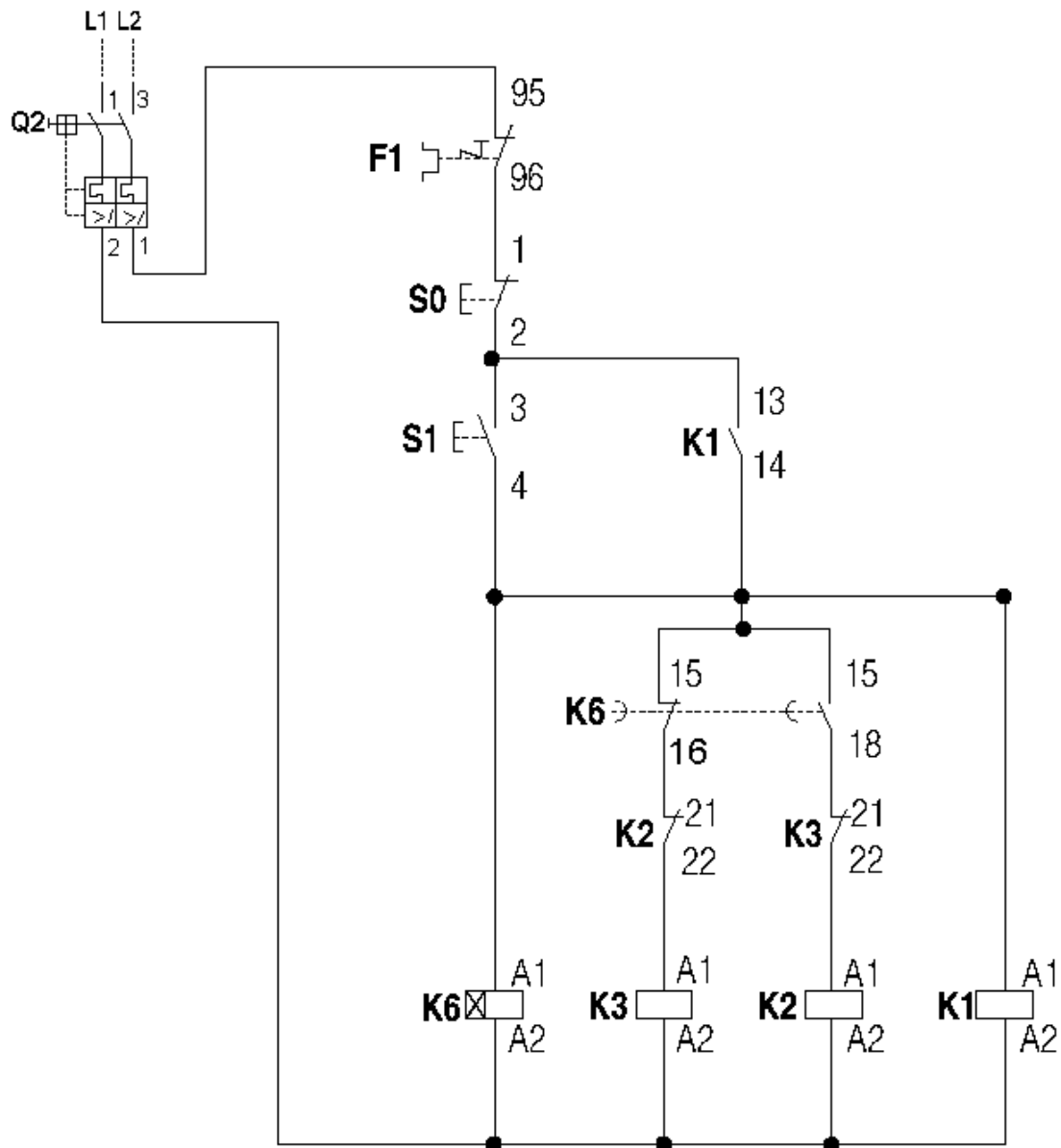
10) Laboratório: partida estrela-triângulo (Y/Δ)

Objetivo: Demonstrar uma das importantes estratégias para evitar altos picos de corrente durante a partida de um motor de indução trifásico.

10.1) Circuito de potência



10.2) Circuito de comando



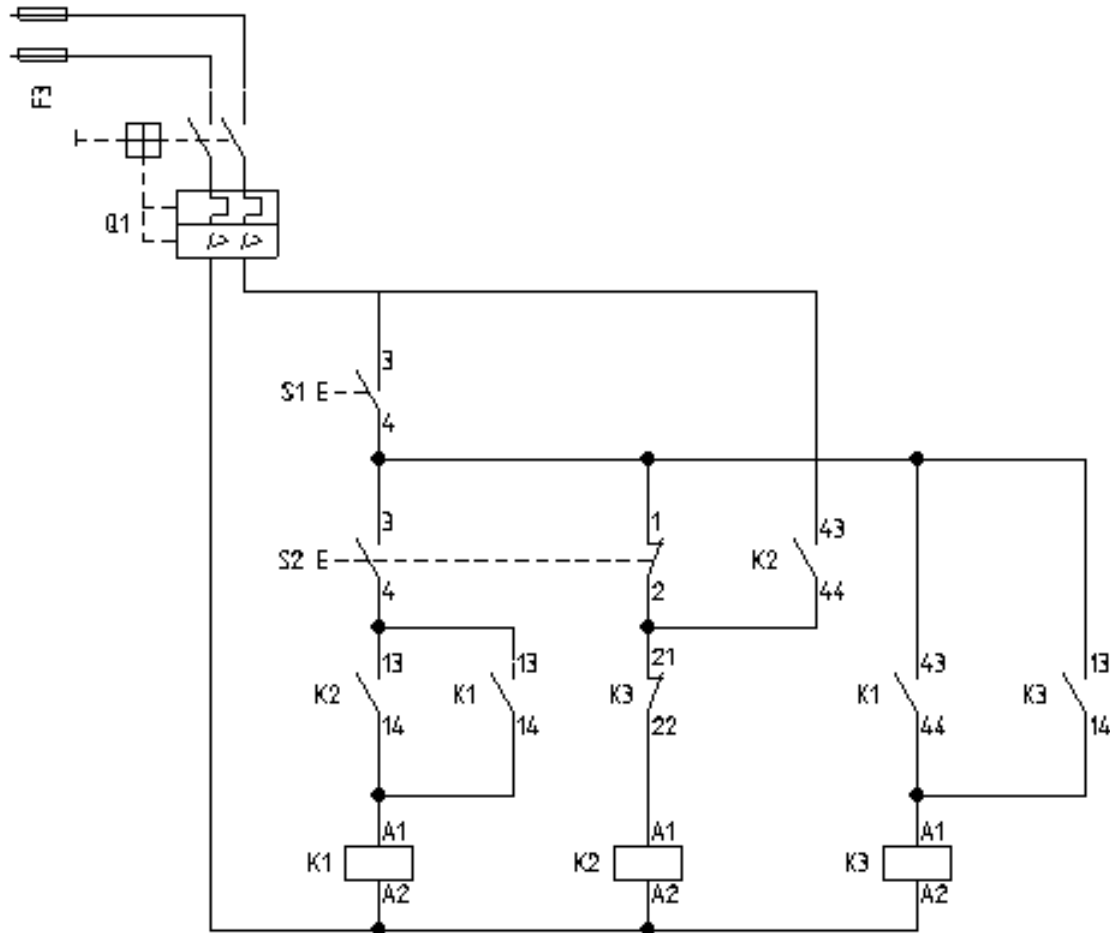
10.3) Material utilizado

1 Disjuntor tripolar (Q1), 1 disjuntor bipolar (Q2), 3 contadores (K1, K2 e K3), 1 relé térmico (F1), 1 botoeira (NF), 1 botoeira (NA), 1 relé temporizador (K6).

12) Laboratório: Comando de prensa com seqüência de acionamento

Objetivo: Conhecer uma outra estratégia no comando de prensas, para evitar também que o operador inutilize uma das botoeiras de comando.

12.1) Circuito de comando



12.3) Comentários

K1 → Contator de potência

K2 e K3 → Contatores auxiliares

12.2) Exercícios:

- Desenhar e montar o circuito de potência para este comando
- Explicar com suas palavras o funcionamento do circuito
- Desenhar e montar a sinalização para este comando

13) Exercícios complementares

13.1) Faça o comando para acionar uma eletro-válvula hidráulica de 4/2 vias que aciona um cilindro de dupla ação de modo que o retorno seja automático.

13.2) Faça o comando para acionar uma resistência de aquecimento, de modo que após o operador pressionar a botoeira, a resistência permaneça 10 min ligada, desligando após este tempo.

13.3) Faça o comando para uma partida com reversão de modo que ao pressionar a botoeira para reverter a velocidade de rotação haja um tempo de 15s para que o motor efetue a reversão.

13.4) Desenhe os contatos referentes as ligações de 380V e 440V para um motor de 12 pontas, utilizando a regra prática.

14) Proteção contra Sobrecorrentes

Conforme dito anteriormente uma sobrecorrente é aquela cujo valor excede o valor nominal de operação do circuito. Ela pode ser causada por dois fatores:

- *Curto-circuito*: quando não existe uma resistência (ou impedância) significativa entre duas fases com diferenças de potencial. Neste caso a sobrecorrente excede em muito a corrente nominal.
- *Sobrecarga*: não existe falha elétrica, mas um aumento da carga. Excede em algumas vezes o valor nominal e o seu efeito é nocivo após o funcionamento do circuito por um tempo longo, causando deterioração do material isolante dos cabos.

A proteção contra sobrecarga é feita através de um elemento bimetálico, como mostra a figura 14.1. Quando se aumenta a corrente por efeito físico de dissipação da energia (efeito Joule) a junta bimetálica se deforma abrindo os contatos de passagem da corrente elétrica. Este elemento pode ser comprado de forma separada, como no caso do relé térmico, ou modernamente, vem acoplado nos disjuntores, permitindo economia de espaço.

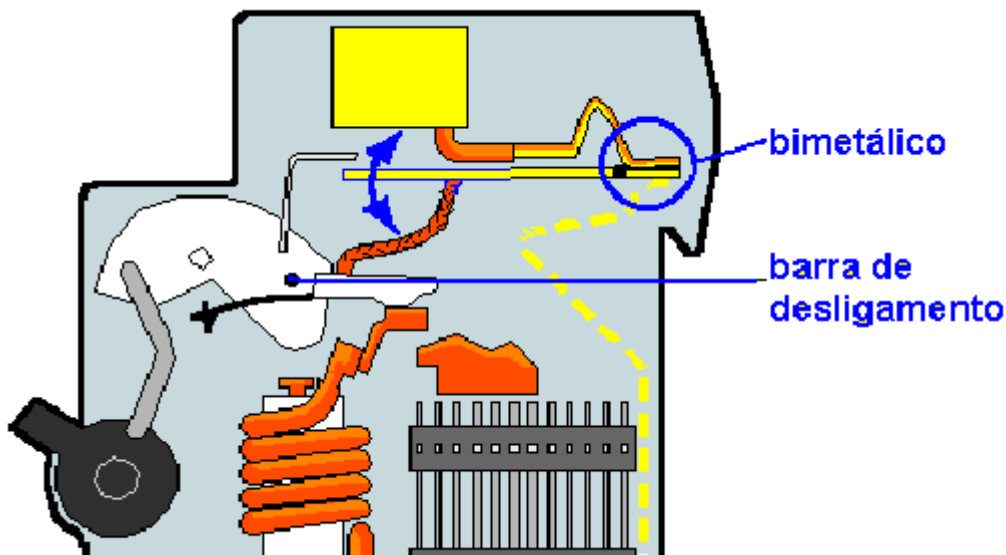


Figura 14.1 – Elemento bimetálico de um disjuntor termo-magnético

A proteção contra o curto-circuito é feita através de um elemento magnético, que nada mais é do que uma bobina. A variação brusca da corrente cria um campo magnético que puxa o contato para baixo, abrindo o contato móvel, como pode ser visualizado na figura 14.2, de forma esquemática.

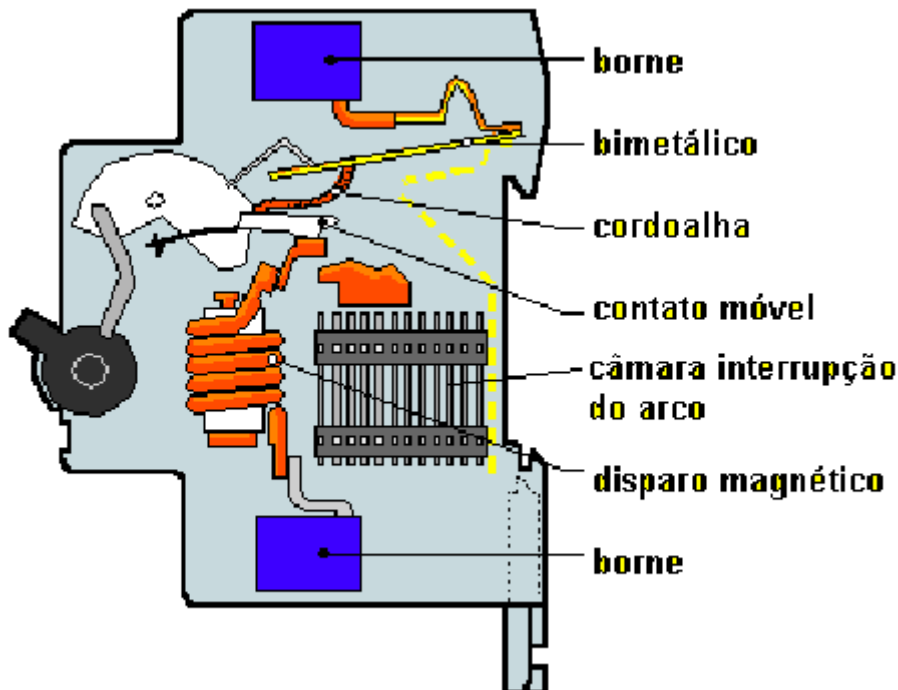


Figura 14.2 – Elemento magnético de um disjuntor termo-magnético

Ao selecionar um disjuntor, algumas características técnicas são importantes, tais como:

- i. *Corrente nominal (I_n)*: valor de corrente eficaz que o disjuntor deve conduzir indefinidamente, sem a elevação da temperatura acima dos limites especificados.
- ii. *Tensão nominal (U_n)*: o valor da tensão deve ser igual ou superior a do circuito onde o disjuntor está instalado
- iii. *Capacidade de interrupção (I_{cn})*: valor máximo da corrente que o disjuntor pode interromper. Este valor deve ser igual a corrente presumida de curto circuito no ponto de instalação do disjuntor.
- iv. *Curvas de disparo*: Indicam o tempo que o disjuntor leva para interromper a corrente quando esta ultrapassa o valor da nominal. Um exemplo é mostrado na figura 14.3, note que quanto maior a corrente menor o tempo para a interrupção.

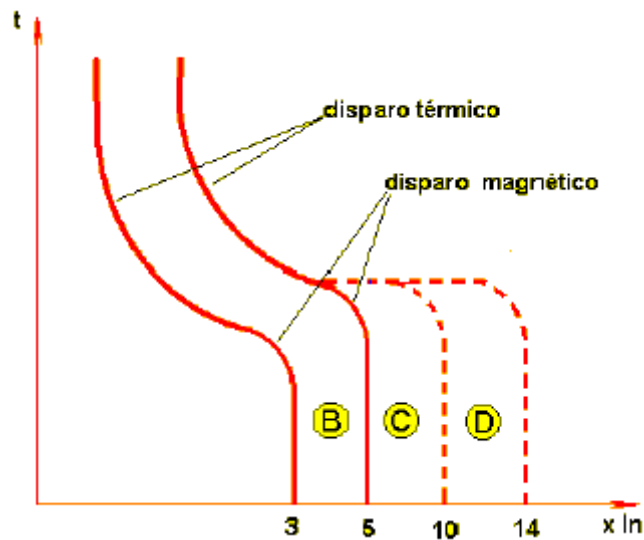


Figura 14.3 – Exemplo da curva de disparo para um disjuntor

- v. *Norma técnica*: Indica a norma na qual o disjuntor foi projetado, as principais são NBR5361, NBR IEC 60898, NBR IEC 60947-2.
- vi. *Número de pólos*: os mais comuns são 1, 2 e 3 pólos.

15) Referências Bibliográficas

Filho, Guilherme Filippo; “*Motor de Indução*”; Editora Érica; São Paulo; 2000.

Arnold, Robert, Stehr, Wilhelm; “*Máquinas Elétricas – Volume 1*”; Editora E.P.U; São Paulo; 1976

Manuais e Catálogos dos Fabricantes