

3. ACIONAMENTO E CIRCUITOS ELETRO-PNEUMÁTICOS

Nas aplicações e circuitos desenvolvidos no capítulo anterior, a única forma de transmissão de sinais e de energia foi a pneumática. É possível, entretanto utilizar-se da energia e de circuitos elétricos em combinação com sistemas pneumáticos caso a energia elétrica possa ser empregada, visto que esta forma de energia é amplamente disponível na maioria das plantas industriais.

Para que seja possível a utilização de ambas as formas de energia em dada aplicação, caracterizando os circuitos mistos resultantes como eletro-pneumáticos, é necessário o uso de componentes de entrada e de saída de sinais elétricos, além dos componentes pneumáticos em si. Este capítulo inicia, desta forma, pela especificação de alguns dos componentes elétricos empregados em sistemas eletro-pneumáticos.

3.1 COMPONENTES ELÉTRICOS EMPREGADOS EM CIRCUITOS ELETRO-PNEUMÁTICOS

Botoeiras

As botoeiras são chaves elétricas acionadas manualmente que apresentam, geralmente, um contato aberto e outro fechado. De acordo com o tipo de sinal a ser enviado ao comando elétrico, as botoeiras são caracterizadas como pulsadoras ou com trava.

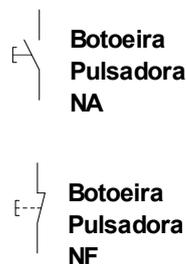


Figura 3.1. Simbologia de botoeiras do tipo pulsadoras

As botoeiras pulsadoras só acionam seus contatos frente a ação externa do operador. Tão logo o operador cesse o acionamento do botão, os contatos voltam à posição inicial. As botoeiras com trava mudam de estado frente a ação do operador, mas só retornam à posição anterior quando novamente acionadas.

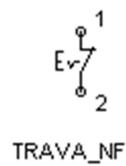
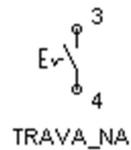


Figura 3.2. Simbologia de botoeiras com trava

Um tipo especial de botoeira com trava, acionada por botão do tipo cogumelo geralmente vermelho, é muito usada como botão de emergência para o desligamento de circuitos elétricos em momentos críticos.

Indicadores Luminosos

São elementos luminosos que sinalizam um status On/Off.



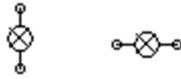


Figura 3.2a. Simbologia de indicador luminoso

Chaves de Fim de Curso

As chaves fim de curso, assim como as botoeiras, são comutadores elétricos de entrada de sinais, só que acionados mecanicamente. As chaves fim de curso são, geralmente, posicionadas no decorrer do percurso de cabeçotes móveis de máquinas e equipamentos industriais, bem como das hastes de cilindros hidráulicos e ou pneumáticos.

O acionamento de uma chave fim de curso pode ser efetuado por meio de um rolete mecânico ou de um rolete escamoteável, ou gatilho. Chaves fim de curso acionadas por gatilho somente invertem seus contatos quando o rolete for atuado em um dos sentidos: da esquerda para a direita, por exemplo. No sentido contrário, uma articulação mecânica faz com que a haste do mecanismo dobre, sem acionar os contatos comutadores da chave fim de curso.



Figura 3.3. Simbologia de chaves de fim de curso com acionamento por rolete mecânico

Sensores de Proximidade

Os sensores de proximidade, assim como as chaves fim de curso, são elementos emissores de sinais elétricos, os quais são posicionados no decorrer do percurso de cabeçotes móveis de máquinas e

equipamentos industriais, bem como das hastes de cilindros hidráulicos e/ou pneumáticos. O acionamento dos sensores, entretanto, não depende de contato físico com as partes móveis dos equipamentos, basta apenas que estas partes aproximem-se dos sensores a uma distância que varia de acordo com o tipo de sensor utilizado. Os mais empregados na automação de máquinas e equipamentos industriais são os sensores capacitivos, indutivos, ópticos, magnéticos e ultra-sônicos, além dos sensores de pressão, volume e temperatura, muito utilizados na indústria de processos. Estes sensores possuem dois cabos de alimentação elétrica, sendo um positivo e outro negativo, e um cabo de saída de sinal.

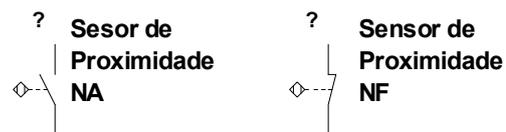


Figura 3.4. Simbologia genérica para sensores de proximidade

Sensores de Proximidade Indutivos

Os sensores de proximidade indutivos são capazes de detectar apenas materiais metálicos, a uma distância que oscila de 0 a 2 mm, dependendo também do tamanho do material a ser detectado e das características do sensor.



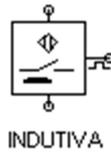


Figura 3.5. Simbologia de sensores de proximidade do tipo indutivo

Sensores de Proximidade Capacitivos

Os sensores de proximidade capacitivos registram a presença de qualquer tipo de material. A distância de detecção varia de 0 a 20 mm, dependendo da massa do material a ser detectado e das características do sensor.

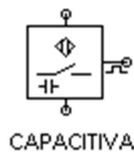


Figura 3.6. Simbologia de sensores de proximidade do tipo capacitivo

Sensores de Proximidade Óticos

Os sensores de proximidade óticos detectam a aproximação de qualquer tipo de objeto, desde que este não seja transparente. A distância de detecção varia de 0 a 100 mm, dependendo da luminosidade do ambiente. Normalmente, os sensores óticos são construídos em dois corpos distintos, sendo um emissor de luz e outro receptor. Quando um objeto se coloca entre os dois, interrompendo a propagação da luz entre eles, um sinal de saída é então enviado ao circuito elétrico de comando.

Outro tipo de sensor de proximidade ótico, muito usado na automação industrial, é o do tipo reflexivo no qual emissor e receptor de luz são montados num único corpo, o que reduz espaço e facilita sua montagem entre as partes móveis dos equipamentos industriais.

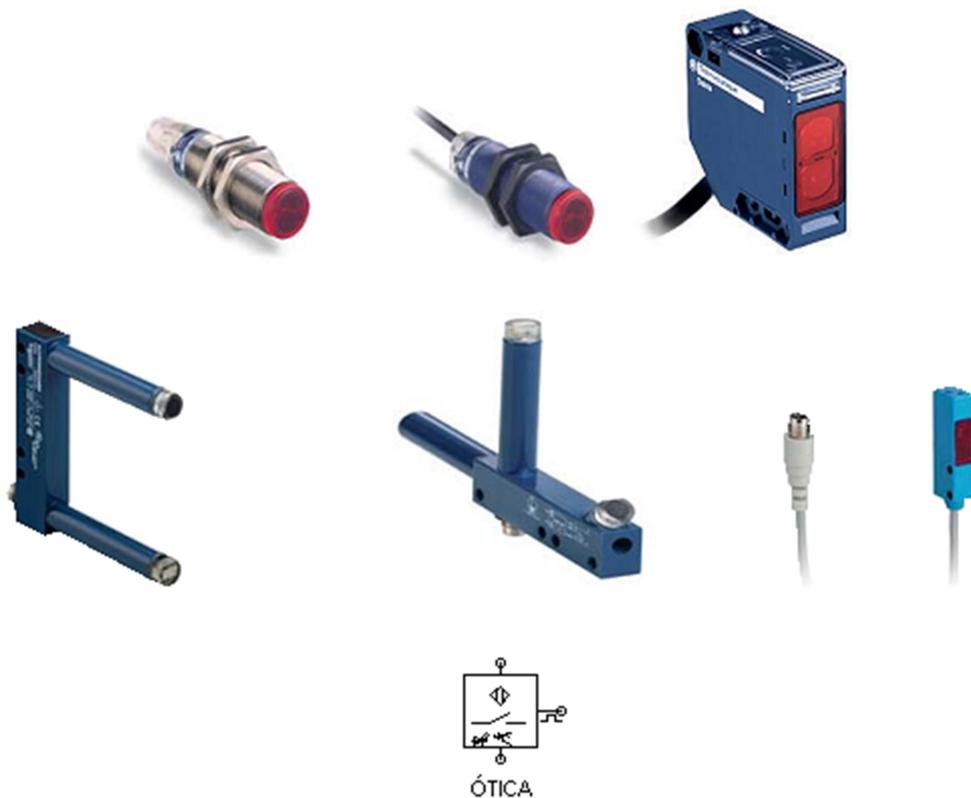


Figura 3.7. Simbologia de sensores de proximidade do tipo ótico

Sensores de Proximidade Magnéticos

Os sensores de proximidade magnéticos detectam apenas a presença de materiais metálicos e magnéticos, como no caso dos ímãs permanentes. São utilizados com maior frequência em máquinas e equipamentos pneumáticos e são montados diretamente sobre as camisas dos cilindros dotados de êmbolos magnéticos. Toda vez que o êmbolo magnético de um cilindro se movimenta, ao passar pela região da camisa onde externamente está posicionado um sensor magnético, este é sensibilizado e emite um sinal ao circuito elétrico de comando.

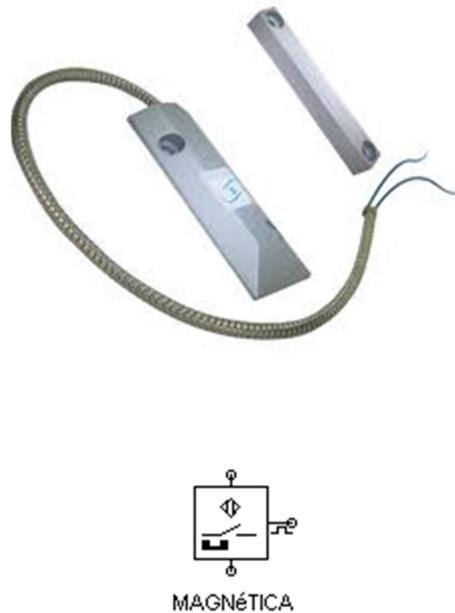


Figura 3.8. Simbologia de sensores de proximidade do tipo magnético

Sensores Binários de sensíveis a outras variáveis

Os pressostatos, também conhecidos como chaves de pressão, são chaves elétricas acionadas por um piloto hidráulico ou pneumático. Os pressostatos são montados em linhas de pressão hidráulica e/ou pneumática e registram tanto o acréscimo como a queda de pressão nessas linhas, invertendo seus contatos toda vez em que a pressão do óleo ou do ar comprimido ultrapassar o valor ajustado na mola de reposição.

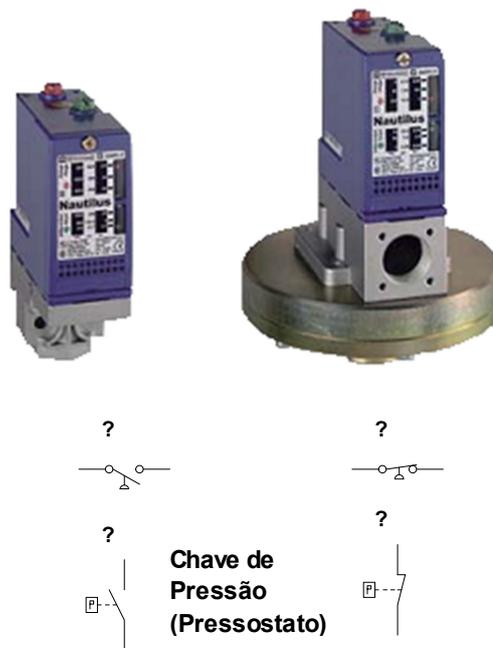


Figura 3.9. Simbologia de chaves de pressão

Com o mesmo princípio de operação, existem sensores binários para temperatura, as chaves de temperatura ou termostatos, para nível (chaves de nível) e para vazão (chaves de vazão).



Figura 3.10. Simbologia de chaves de temperatura

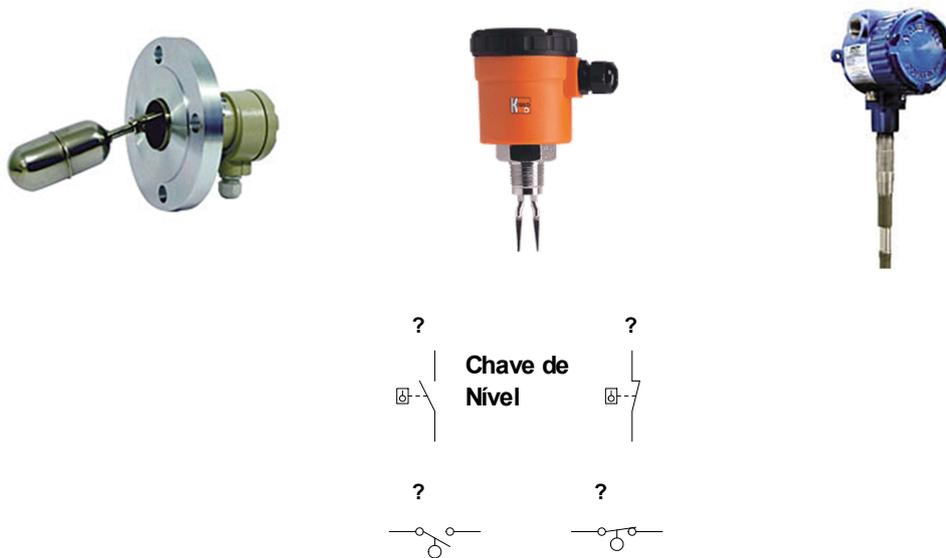


Figura 3.11. Simbologia de chaves de nível

Reles Auxiliares

Os relés auxiliares são chaves elétricas de quatro ou mais contatos, acionadas por bobinas eletromagnéticas operadas por diferentes possíveis níveis de tensão, mais freqüentemente se utilizam bobinas operadas a 24V_{cc}, mas também existem bobinas para tensão de trabalho de 220V_{ac} por exemplo. Os relés auxiliares possuem determinado número de contatos normalmente abertos (NA) e de contatos normalmente fechados (NF).



Figura 3.12. Simbologia para a bobina de relés



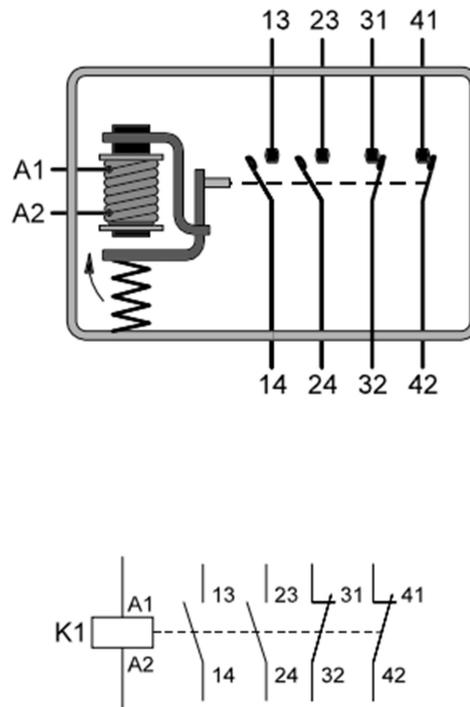


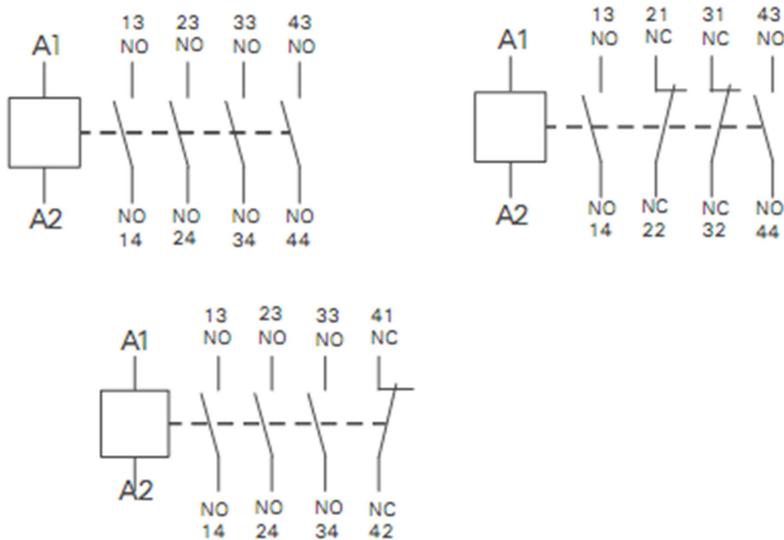
Figura 3.13. Simbologia para um relé auxiliar com bobina, 2 contatos NA e 2 contatos NF

Conforme se observa na ilustração anterior, os contatos auxiliares são referenciados por números com dois algarismos:

- algarismos da esquerda (dezena): indicam o número de ordem de cada contato do dispositivo
- 1 e 2 (algarismo da direita - unidade): contato normalmente fechado – NF ou NC (em inglês)
- 3 e 4 (algarismo da direita - unidade): contato normalmente aberto – NA ou NO (em inglês)

Ex: 13/14, 43/44 (NA) e 21/22, 31/32 (NF).

Os contatos da bobina de comando são referenciados por designação alfa-numérica, com a letra em primeiro lugar (ex. A1, A2).



Relés Auxiliares de Contatos Comutadores

Enquanto nos relés auxiliares a utilização fica limitada ao número especificado de contatos NA e NF, no relé de contatos comutadores podem-se empregar as mesmas combinações ou ainda qualquer outra combinação desejada.

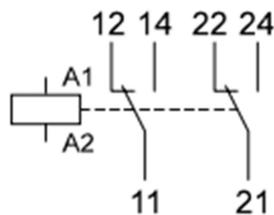


Figura 3.14. Simbologia para relé com contatos comutadores

Relés Temporizadores

Possuem um contato comutador acionado por uma bobina com retardo na energização ou na desenergização.



Figura 3.15. Simbologia para bobinas de operação com retardo

Contatores de potência

Os contatores de potência apresentam as mesmas de funcionamento dos relés auxiliares, sendo dimensionados para suportar correntes elétricas mais elevadas, empregadas na energização de dispositivos elétricos nos contatos principais.

Os contatos de potência são referenciados por números de um só algarismo, o lado superior dos contatos de números ímpares constitui a entrada (tetrapolar, tripolar ou bipolar) da alimentação, no lado inferior dos contatos pares conecta-se a saída de alimentação para a carga.



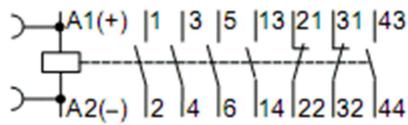
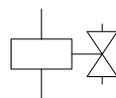


Figura 3.16. Simbologia para contadores de potência

Válvula Solenóide

Os solenóides são bobinas eletromagnéticas que, quando energizadas, geram um campo magnético capaz de atrair elementos com características ferrosas, comportando-se como um ímã permanente. As válvulas ditas solenóides são válvulas de ação ON-OFF, ou aberta e fechada, acionadas por uma bobina solenóide. São empregadas para manobras em linhas (tubulações) de gases, vapores ou líquidos.



Válvula Solenóide

Figura 3.17. Simbologia para válvulas solenóides

3.2 CIRCUITOS ELETRO-PNEUMÁTICOS

Nesta classe de circuitos lógicos de acionamento representam-se tantos os elementos (componentes) pneumáticos quanto os elétricos. Da mesma forma como nos circuitos puramente pneumáticos, para os eletro-pneumáticos pode-se projetar segundo métodos intuitivos ou sistemáticos. A seguir são apresentados alguns circuitos eletro-pneumáticos projetados pelo método intuitivo.

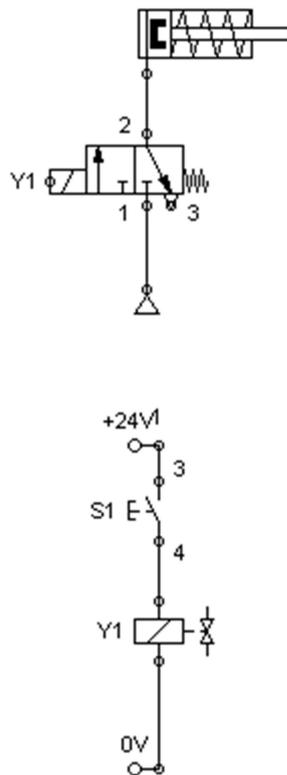


Figura 3.18. Circuito eletro-pneumático para o acionamento manual de um cilindro pneumático de simples ação

No circuito eletro-pneumático apresentado na figura 3.18, representam-se os componentes pneumáticos devidamente interconectados acima do circuito elétrico.

Energizado por uma fonte de tensão contínua de 24V representada por duas barras horizontais identificadas, o elemento botoeira NA S1 do circuito elétrico energiza a bobina da válvula solenóide Y1. Esta válvula é o elo de ligação entre ambos os circuitos, é responsável no circuito pneumático pela a pilotagem da válvula direcional de simples piloto e retorno por mola que comanda o cilindro de simples ação.

Nesta configuração, ao pressionar-se S1, o atuador pneumático avança. Tão logo o operador deixe de pressionar S1, o cilindro retornará para a posição de repouso (recuo).

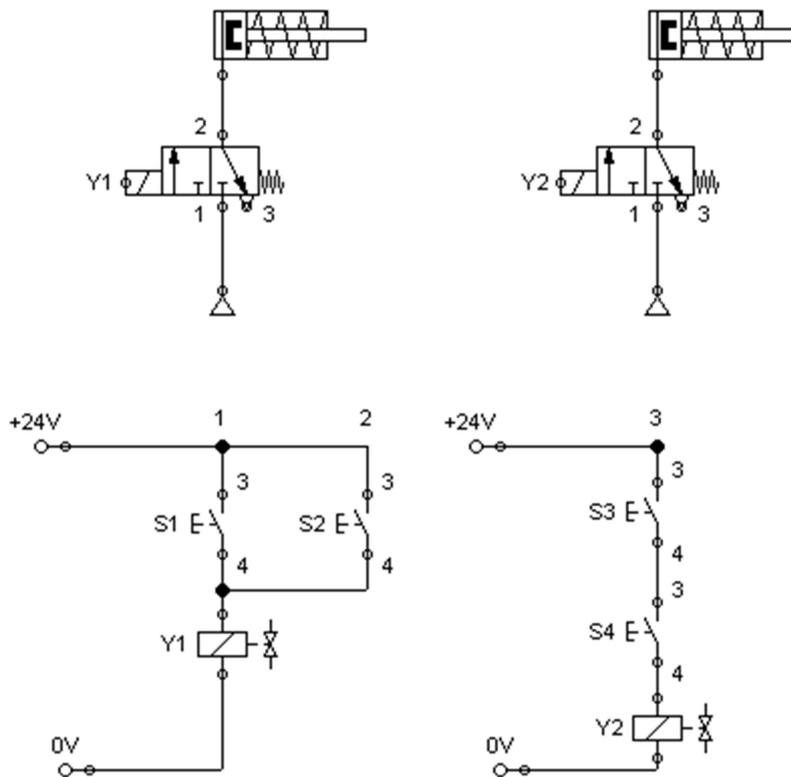


Figura 3.19. Circuitos eletro-pneumático para o acionamento manual de cilindros pneumáticos de simples ação por dois botões em lógica “OU” (circuito a) e em lógica “E” (circuito b)

Nos circuitos apresentados na figura 3.19, a lógica de acionamento é configurada através dos componentes elétricos. Uma lógica de acionamento do tipo “S1 OU S2” é apresentada na figura 3.19 (a) e uma lógica de acionamento “S3 E S4” é apresentada em 3.19 (b).

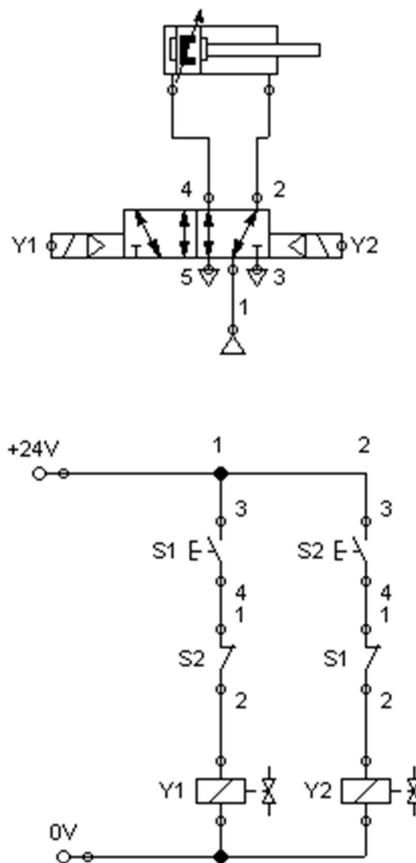


Figura 3.20. Circuito eletro-pneumático para o acionamento manual bidirecional de cilindro pneumático de dupla ação por dois botões com intertravamento

No circuito apresentado na figura 3.20, o cilindro pneumático é comandado por uma válvula direcional 5/2 com pilotagem por duplo solenóide. A solenóide Y1 responsável pelo avanço do cilindro é energizada por S1. Entretanto a energização de Y1 depende, além do acionamento de S1, do não acionamento de S2. Ou seja, se S2 estiver pressionado, então o circuito de acionamento de Y1 não pode ser fechado pois um contato S2 NF em série inibe o acionamento de Y1. A mesma restrição se configura para o acionamento de Y2 (retorno do cilindro) frente ao acionamento e S1.

Para este tipo de operação, diz-se que existe um intertravamento, ou seja, existem condições de operação que são indesejadas e, portanto, são inibidas por mecanismos dedicados.

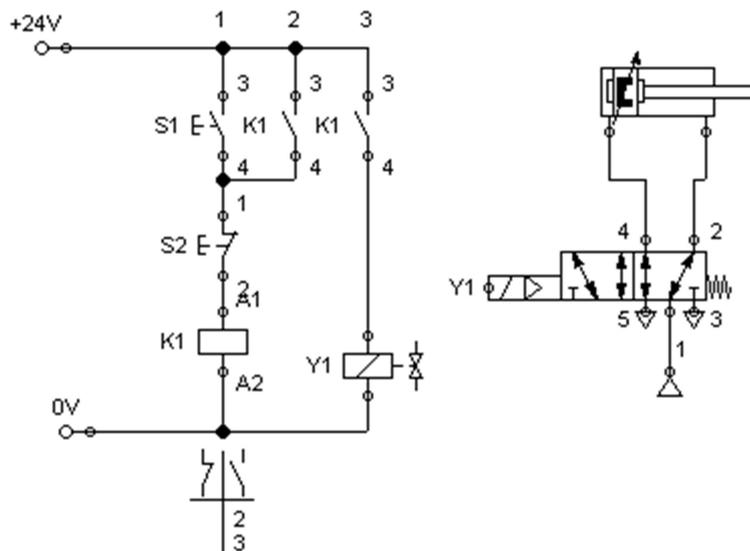


Figura 3.21. Circuito eletro-pneumático para o acionamento manual bidirecional de cilindro pneumático de dupla ação por dois botões pulsadores

No circuito apresentado na figura 3.21, quando pressionado S1, aciona-se o relé auxiliar K1 que por sua vez aciona a bobina solenóide Y1 de pilotagem da válvula pneumática direcional 5/2. A peculiaridade deste circuito é que, assim que o operador deixe de pressionar S1, Y1 continua energizado, pois o circuito elétrico em K1 permanece fechado pela linha 2 do circuito elétrico. Esta função recebe o nome de selo.

Para que o cilindro retorne, basta acionar o botão S2. Esta configuração é utilizada quando o acionamento do cilindro é efetuado por dois botões pulsadores S1 e S2 com as respectivas funções de AVANÇO e RETORNO.

Abaixo da linha 1 do circuito elétrico, existe um símbolo responsável por indicar em quais linhas do circuito existem contatos NF e NA do relé auxiliar cuja bobina é acionada na linha em questão (1). No caso apresentado, existem contatos K1 NA nas linhas 2 e 3 e nenhum contato NF de K1.

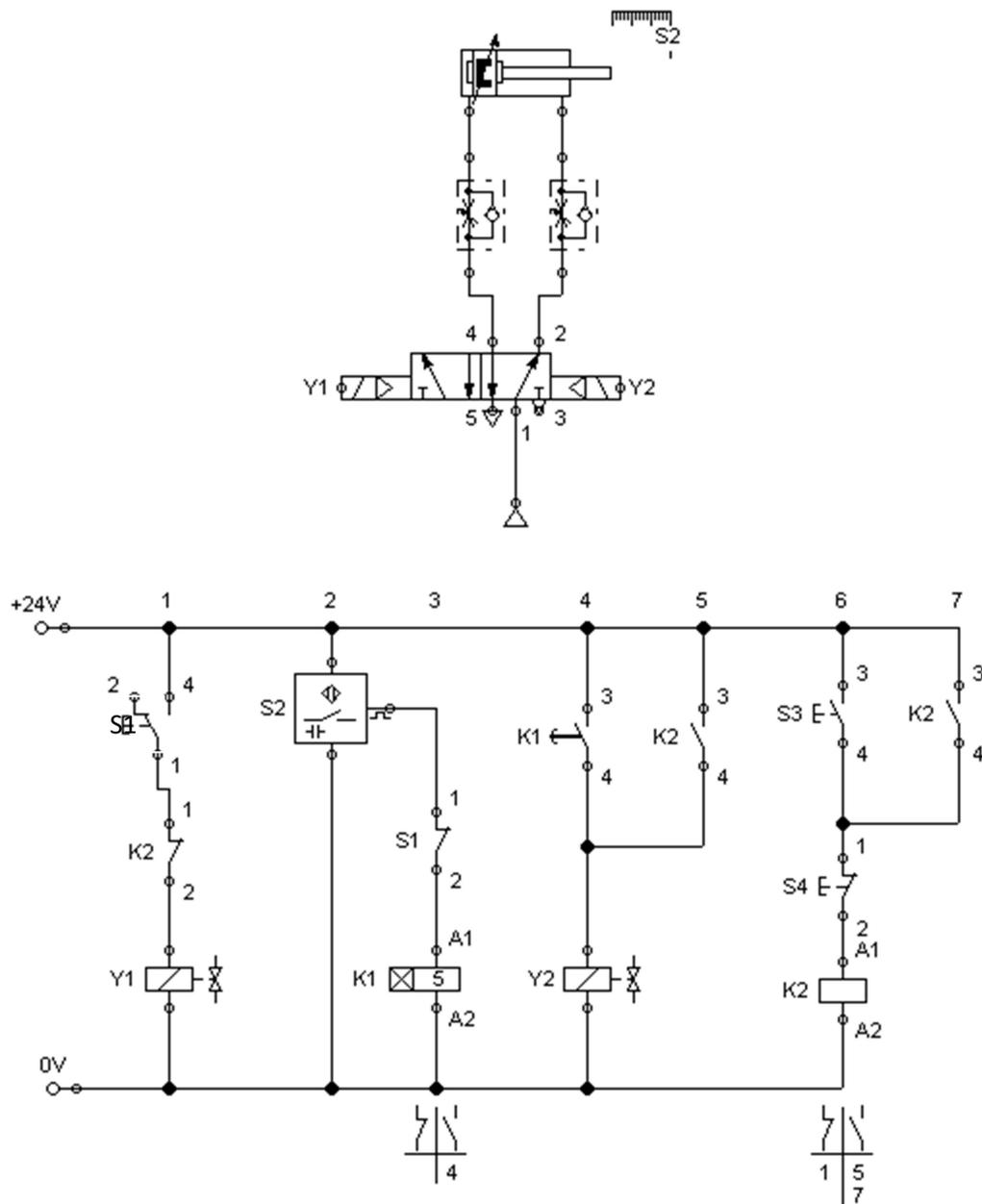


Figura 3.22. Circuito eletro-pneumático para o acionamento temporizado de cilindro pneumático de dupla ação e função de segurança

No circuito apresentado na figura 3.22, o avanço do cilindro é iniciado pelo acionamento do botão S1 na linha 1. Ao atingir o fim de seu curso, o sensor de proximidade capacitivo S2 ativa a bobina com retardo de energização K1 desde que S1 já não mais esteja pressionado. Após 5 segundos o contato K1 na linha 4 se fecha e o cilindro retorna pela pilotagem de Y2.

As linhas 6 e 7 realizam a função de segurança. Quando o operador pressiona S3, a energização selada de K2 provoca o retorno imediato do cilindro pela linha 5 e a inibição do botão de início de ciclo S1 na linha 1. A desativação do retorno automático por S3 é dada pelo acionamento de S4.

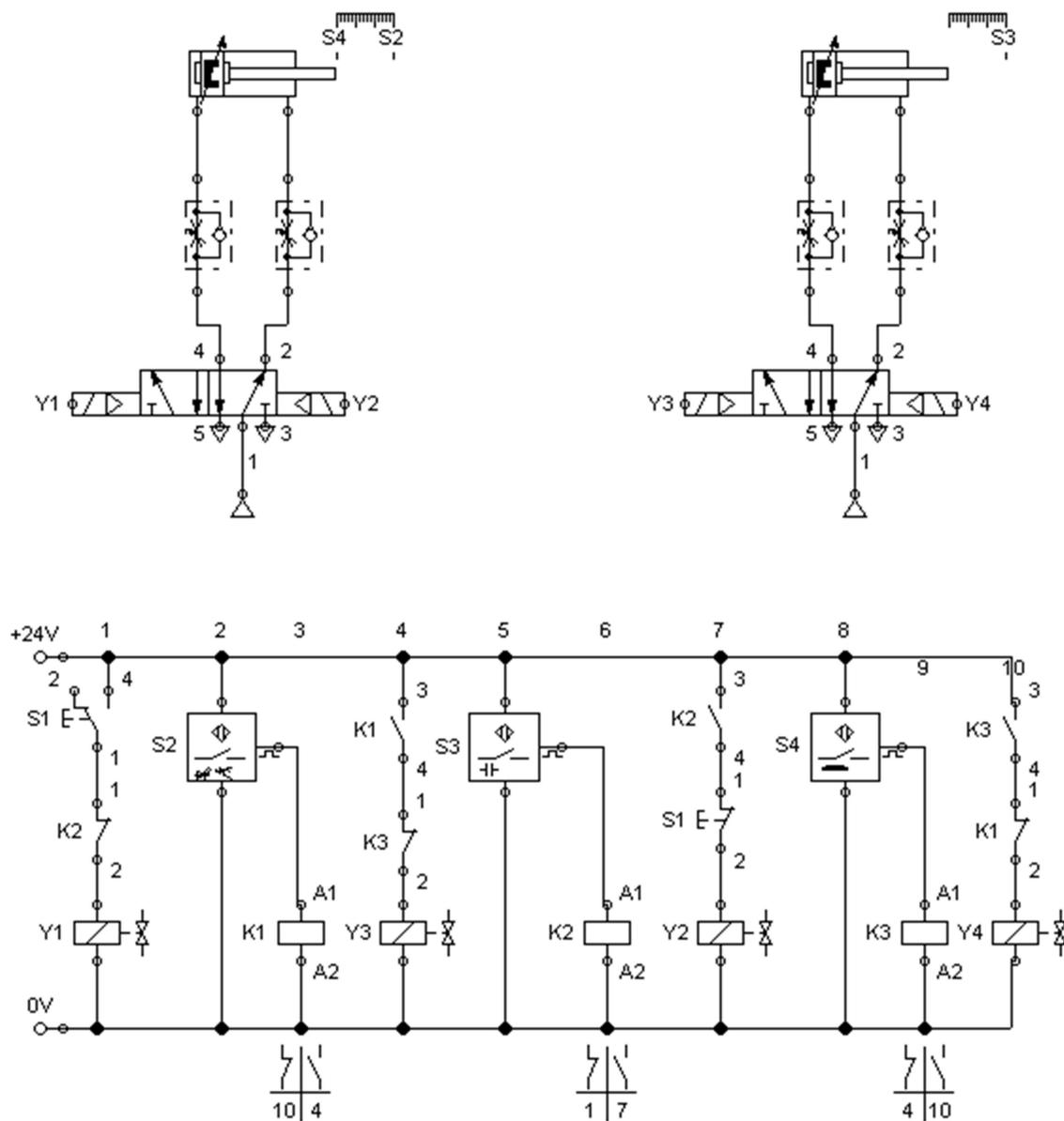


Figura 3.23. Circuito eletro-pneumático para o acionamento temporizado de cilindro pneumático de dupla ação e função de segurança

No circuito apresentado na figura 3.23, considerando-se o cilindro pneumático da esquerda como “A” e o cilindro da direita como “B”, então a seqüência de operação é A+ B+ A- B-. Deve-se notar que as linhas do circuito elétrico são energizadas em ordem crescente, ou seja, da linha 1 à linha 10 em função da ativação sucessiva das chaves de fim de curso.

Algumas regras são recomendadas para uma melhor representação do circuito de comando elétrico:

- O barramento elétrico de $+24V_{cc}$ deve sempre ser uma barra horizontal posicionada na parte superior do circuito,
- O barramento elétrico de $0V$ deve sempre ser uma barra horizontal posicionada na parte inferior do circuito,
- As chaves devem ser posicionadas acima das bobinas de relés,
- As bobinas de relés devem ser posicionados imediatamente acima do barramento de $0V$,
- Não é possível a conexão de bobinas de relés em série, pois a tensão disponível para cada não seria a tensão de $24V_{cc}$ do barramento de alimentação,
- Todos os elementos de uma conexão vertical devem ser desenhados alinhadamente,
- A distância entre conexões verticais deve ser mantida e de um valor adequado.
- Para uma melhor organização do circuito, salvo exceções como os circuitos com mecanismos de parada forçada, em operação normal as linhas devem ser energizadas sucessivamente em ordem crescente, como no circuito da figura 3.23.

Pela semelhança que a figura indicada tem com uma escada, estes diagramas são chamados de *Ladder*. Eles descrevem a lógica do sistema e também são utilizados como documentação do projeto para a montagem dos armários.

Um sistema de controle baseado em relés pode conter, facilmente, de dezenas a milhares de relés. Os relés e os cabos necessários para a interligação dos mesmos são acondicionados em armários (painéis).

Os relés apresentam um custo considerável e exigem um tempo elevado para a interligação elétrica, sendo que o custo total de um sistema de controle baseado em relés é determinado pelo número de relés utilizados. Em grandes plantas, o número limitado de contatos disponíveis para os componentes (relés, sensores e atuadores) representa normalmente uma dificuldade a mais no projeto de engenharia.

A experiência mostra que é fácil implementar um sistema com poucos relés, mas quando a complexidade aumenta, é necessário que os engenheiros sejam experientes e utilizem um método sistemático de projeto.

Uma característica positiva desta técnica de controle está na descentralização do controle em um grande número de relés. Como estes elementos são de natureza eletromagnética, possuem vida útil limitada. Portanto estes sistemas necessitam de manutenção contínua. Outra desvantagem é o tempo gasto para alterações na lógica de um sistema existente. Desta forma se compreende que os sistemas baseados em relés são viáveis em projetos com poucas entradas e saídas ou em plantas com elevado nível de interferência elétrica, onde computadores e controladores digitais não podem ser utilizados.

EXERCÍCIO

Resolver os exercícios 2.1 ao 2.29 com circuitos eletro-pneumáticos com exceção dos exercícios 2.18, 2.20, 2.22 e 2.24.

3.3 CIRCUITOS ELÉTRICOS

As instalações elétricas de baixa tensão são projetadas e executadas para disponibilizar energia elétrica suficiente para atender a demanda de carga requisitada em uma determinada aplicação. Isto implicada na capacidade de conduzir e seccionar a condução de corrente elétrica por um circuito durante seu funcionamento normal.

Entretanto, as instalações estão sujeitas a defeitos, e são colocadas em condições anormais de funcionamento, como por exemplo quando provocam elevações na intensidade de corrente elétrica que circula pelos condutores em relação ao valor de corrente nominal de projeto. A NBR 5410 chama este regime de funcionamento anormal de sobrecorrentes, e exige a utilização de dispositivos de proteção elétrica para proteção dos condutores das instalações elétricas.

As falhas por sobrecorrentes podem ser divididas basicamente entre sobrecargas e curto-circuitos, e as instalações elétricas devem ser projetadas de maneira o circuito seja apto a conduzir por determinado tempo e seccionar automaticamente correntes sob essas condições anormais de funcionamento.

Dispositivos Elétricos de Proteção

A proteção das instalações elétricas em sistemas de automação é um dos pontos de maior investimento nos projetos de automação e acionamento, engloba desde auditorias na rede elétrica de unidades fabris até o desenvolvimento e a utilização de equipamentos de proteção contra surtos de tensão, picos de corrente e sobreaquecimento dos dispositivos protegidos.

A seguir, a descrição dos principais dispositivos utilizados para proteção contra sobrecorrentes em instalações elétricas de baixa tensão.

Fusíveis

Os fusíveis são dispositivos destinados a proteção, apresentando destaque na proteção contra a ação de correntes de curto-circuito, podendo porém, também atuar em circuitos sob condições de sobrecarga, caso não existam nesse circuito, dispositivos de proteção contra tais correntes, como os relés de sobrecarga [SIEMENS, 2003].

Sua atuação deve-se a fusão de um elemento pelo efeito Joule, provocado quando existe uma corrente superior ao seu valor especificado, por um determinado período de tempo. Tal fusão provoca a abertura do circuito, interrompendo correntes anormais de operação.

Estes dispositivos são largamente utilizados, possuem diversos tipos construtivos e formas de aplicação ou categorias de emprego.



Figura 3.34. Fusíveis unipolar e tripolar

Exemplo de construção de um fusível.

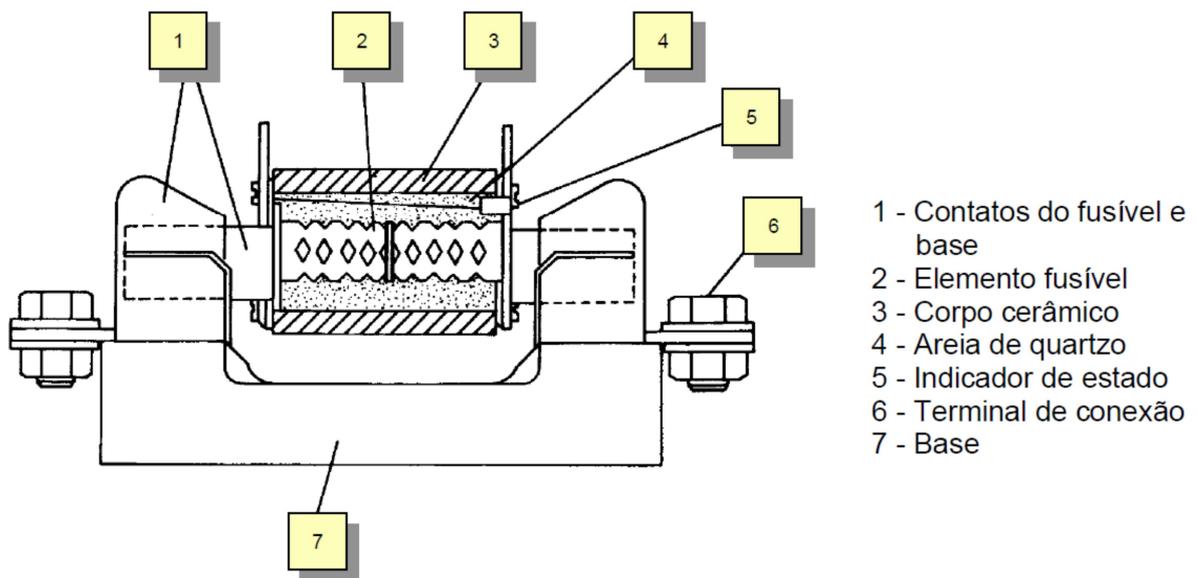


Figura – Esquemático de fusível NH, baseado de SIEMENS, 2003

De acordo com a norma NBR IEC 60.269-1 os fusíveis podem ser classificados conforme sua faixa de interrupção e categorias de utilização, definidas através de duas letras: a primeira letra indica a faixa de interrupção e segunda letra a categoria de utilização, definindo com precisão características tempo-corrente, regiões de atuação, etc.

Primeira Letra "minúscula"	a	Fusível limitador de corrente, atuando somente na presença de curto-circuito
	g	Fusível limitador de corrente, atuando tanto na presença de curto-circuito como
Segunda Letra "maiúscula"	G	Proteção de linha, uso Geral
	M	Proteção de circuitos Motores
	L	Proteção de Linha
	Tr	Proteção de Transformadores
	R	Proteção de Semicondutores, Ultra-Rápidos
	S	Proteção de Semicondutores e linha (combinado)

Segundo esta classificação, os principais fusíveis utilizados no mercado:

"gL/gG"- Fusíveis retardados para proteção de cabos e uso geral (Atuação para sobrecarga e curto)

"aM" - Fusíveis para proteção de motores

"aR" - Fusíveis ultra-rápidos para proteção de semicondutores e drives

Fusíveis de efeito rápido são adequados a cargas resistivas e compostas por semicondutores, já os de ação retardada podem ser aplicados a cargas de natureza indutiva, tais como motores.

Quanto à forma e característica construtiva, os fusíveis são dos tipos:

- cilíndricos gG e aM (proteção principalmente de máquinas e painéis),
- Diazed (ou D) gL/gG (proteção de curto-circuito em instalações elétricas sem risco de toque accidental do operador),
- Neozed gL/gG (proteção de curto-circuito em instalações típicas residenciais, comerciais e industriais),
- NH gL/gG (sobrecorrentes de curto-circuito em instalações elétricas industriais); Sitor ultra-rápidos gR/aR (proteção de semicondutores, tiristores, GTO's e diodos)
- ultra-rápidos SILIZED para a proteção de curto-circuito de semi-condutores, tiristores e diodos de potência com manuseio sem riscos de toque accidental.

Obs.: Diazed, Neozed, Silized, Sitor são marcas registradas da Siemens.



Figura - Fusíveis tipo Cilindrico, Diazed e NH (Fabricante Siemens)

Em catálogos de fabricantes, encontram-se tipicamente as seguintes curvas características:

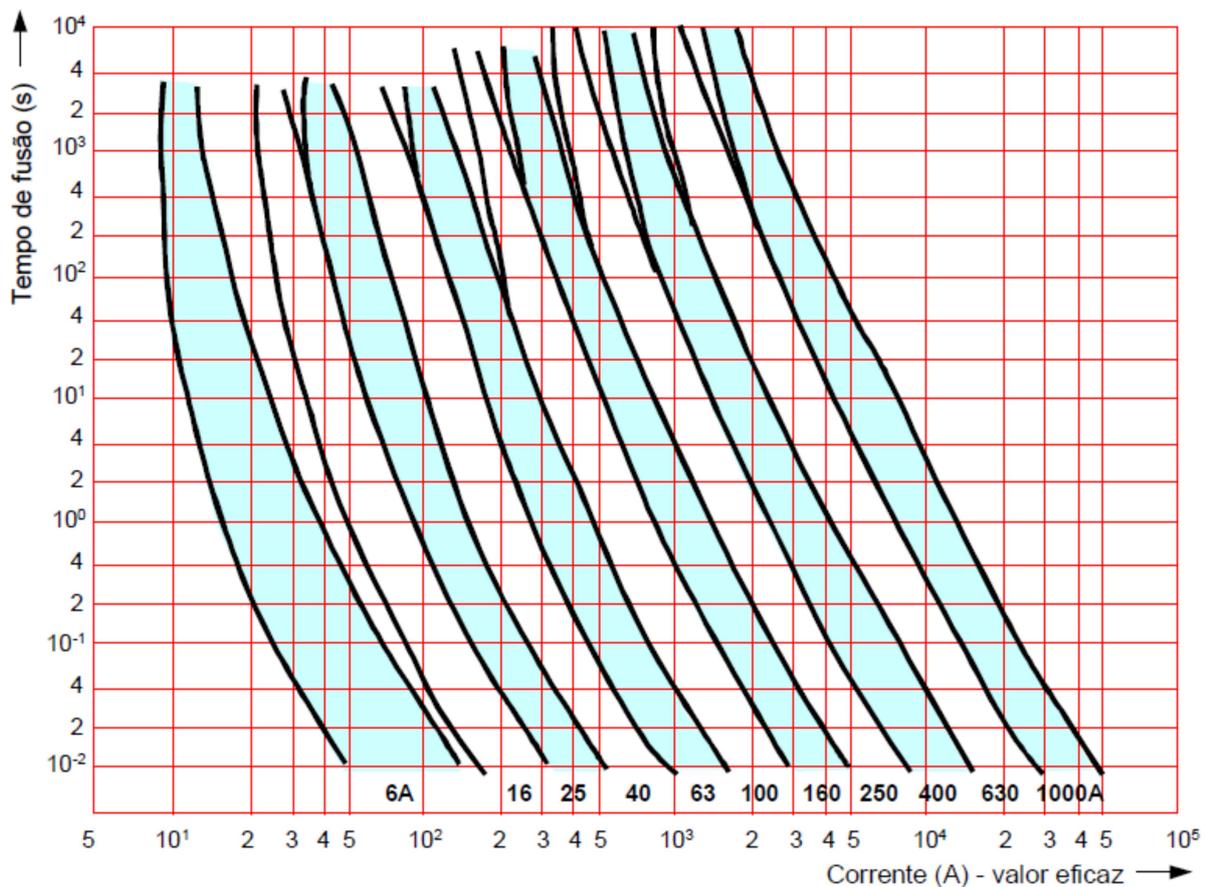


Figura - Exemplo de curva tempo-corrente para fusíveis retardados

Relé de proteção contra sobrecarga

A sobrecarga é uma situação que leva a um sobreaquecimento por perda joule, que os materiais utilizados somente suportam até um determinado valor e por tempo limitado. Em motores elétricos, as sobrecargas são originadas por uma das seguintes causas:

- Rotor bloqueado;
- Elevada frequência de manobra;
- Partida difícil (prolongada);
- Sobrecarga em regime de operação;
- Falta de fase;
- Desvio de tensão e de frequência.

A função do relé de sobrecarga é a de atuar antes que esses limites de deterioração sejam atingidos, garantindo uma vida útil apropriada aos componentes do circuito [SIEMENS, 2003]. O sistema de detecção pode ser térmico, com base em elementos bimetálicos, ou eletrônico.

O princípio de funcionamento do elemento bimetálico é baseado em sua composição dois ou mais metais trefilados com coeficientes de dilatação diferentes, quando a alta corrente elétrica aquece

os condutores, os metais sofrem uma deformação. Essa deformação encurva o bimetetal, dispara os contatos fixo e móvel do dispositivo e interrompe a condução elétrica, conforme a figura a seguir.

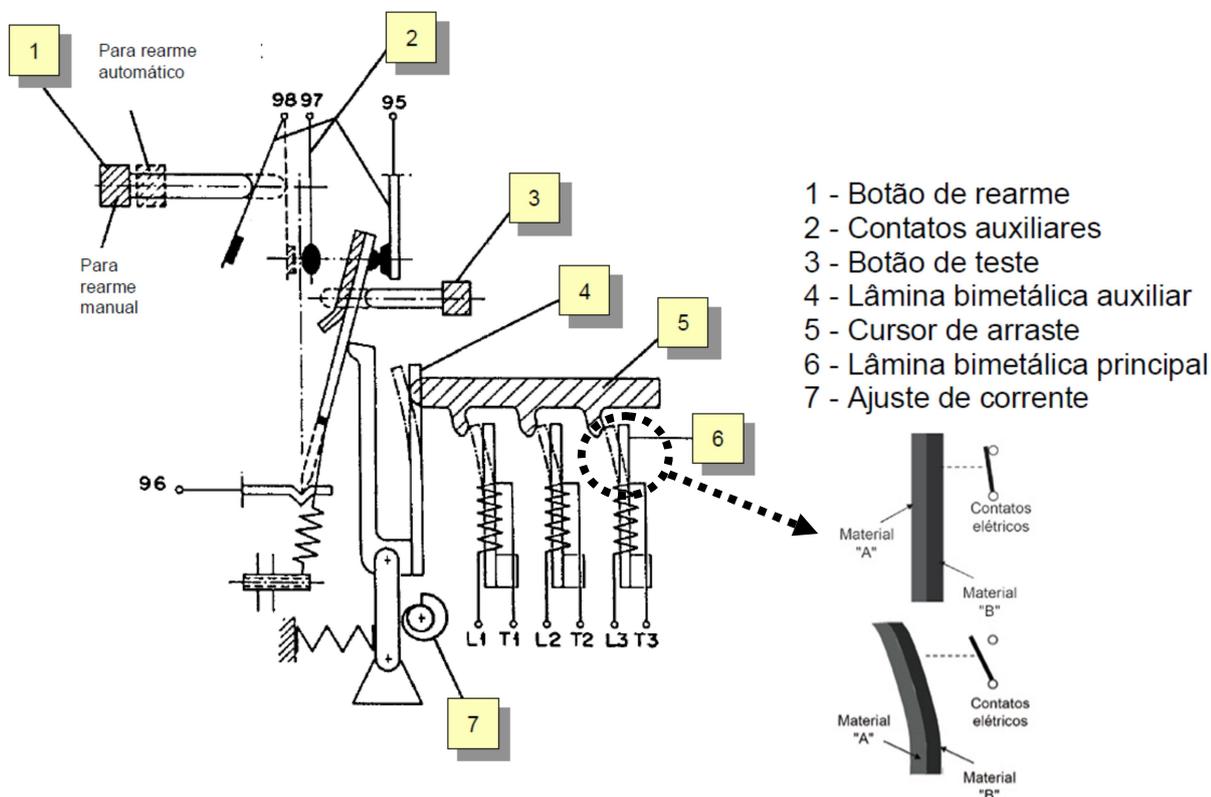


Figura – Esquemático de um relé de sobrecarga, baseado de SIEMENS, 2003

No caso de um motor elétrico, se a corrente do motor protegido ultrapassa os valores admitidos, o conjunto de detecção do relé de sobrecarga aciona um contato auxiliar, que desconecta o comando do acionamento, interrompendo o circuito que apresenta a falha de sobrecarga.

Segue abaixo as curvas de sobrecarga para proteção de motores elétricos de indução conforme IEC 60947-4, denominadas de classes de disparo. As curvas indicam a relação corrente x tempo de desligamento em condições de sobrecarga.

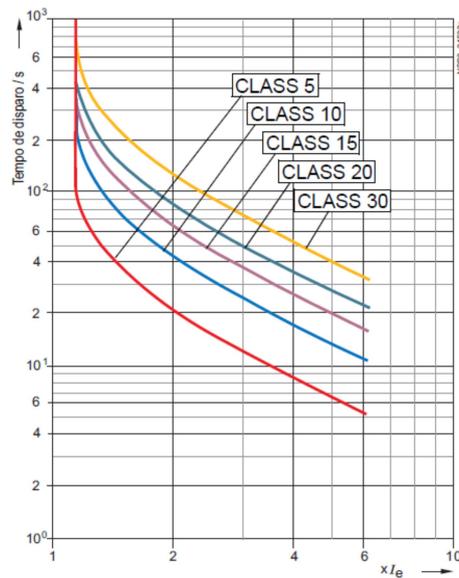


Figura – Classe de disparo, curva de proteção de sobrecarga do motor

Disjuntores

Os disjuntores de baixa tensão são definidos pela NBR IEC 60947-2, e são capazes de conduzir correntes sob condições normais dos circuitos, e também conduzir por um tempo determinado e desligar automaticamente correntes sob condições anormais do circuito, tanto para sobrecarga, quanto para curto-circuito.

Os disjuntores podem ser utilizados em diversas aplicações, tais como proteção de instalações elétricas, transformadores e partida de motores elétricos, cada um deles possui um tipo de curva corrente x tempo de disparo característica.

A figura a seguir apresenta-se uma ilustração em corte de um disjuntor típico.

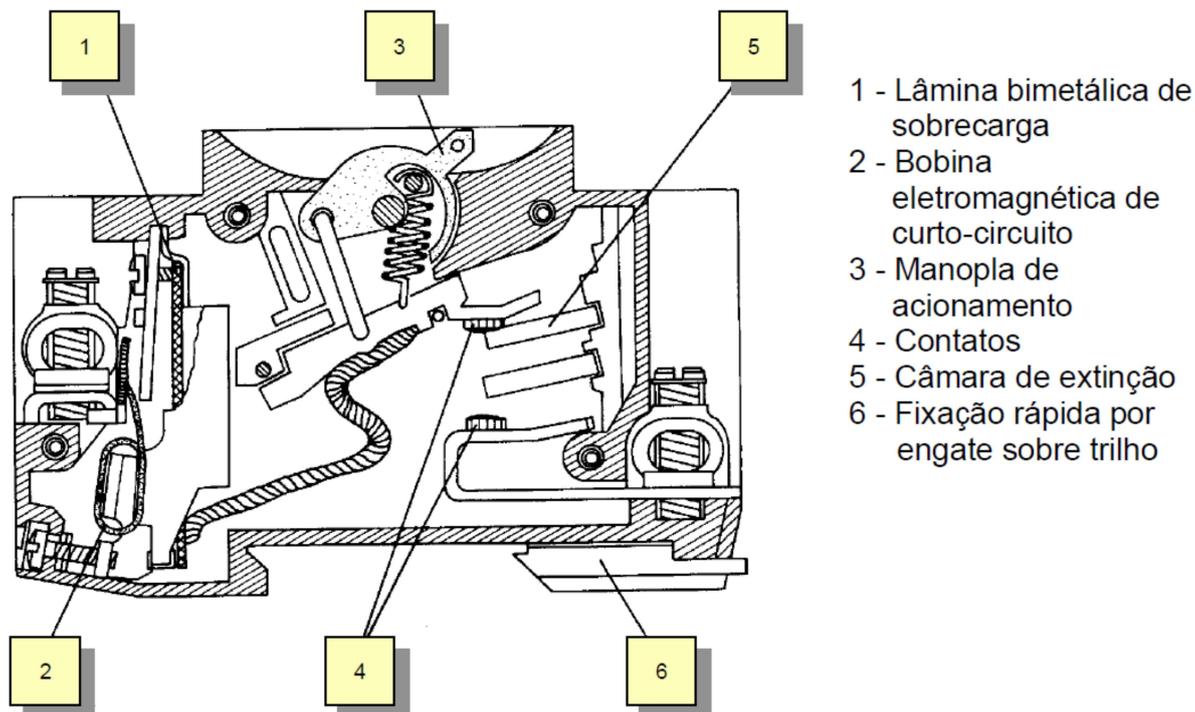


Figura – Esquemático de um disjuntor, baseado de Siemens, 2003

Um disjuntor é basicamente constituído por um relé, com um elemento de disparo (disparador) e um elemento de corte (interruptor), é dotado também de meios de extinção do arco elétrico (câmaras de extinção do arco elétrico). O disjuntor mais comum é o termomagnético, que possui um elemento eletromagnético para a proteção contra curtos-circuitos e um elemento térmico, constituído por uma lâmina bimetálica, para a proteção contra sobrecargas.

Para sobrecarga, o princípio de funcionamento é idêntico ao apresentado para os relés de sobrecarga. Para o caso de curtos-circuitos, utiliza-se como elemento de disparo o campo magnético. O disparador magnético utiliza uma bobina como mecanismo responsável pela detecção e pela abertura do disjuntor. O aumento brusco da corrente causa um efeito eletromagnético no disjuntor, pois em torno do disparador magnético há um condutor elétrico envolto em um eletroímã com uma parte móvel. No instante em que a corrente flui, cria-se um campo magnético que faz o eletroímã atrair a parte móvel, que abre os contatos (fixo e móvel) do disjuntor, interrompendo a condução corrente de falha.

Esta rápida abertura dos contatos provoca uma faísca que continua, por um tempo, a transmitir a corrente elétrica pelo ar. Para que o curto-circuito seja completamente interrompido, esse arco

elétrico também precisa ser extinto. Nos disjuntores há, portanto, um componente chamado câmara de extinção de arco, cuja função é dissipar esse arco voltaico.

A capacidade de ruptura dos disjuntores, trata-se da máxima corrente que o dispositivo consegue desarmar ao ocorrer um curto-circuito, e a unidade de medida mais utilizada nas especificações técnicas é o kilo-Ampére [kA]. A simbologia para o elemento disjuntor tripolar é apresentada a seguir.

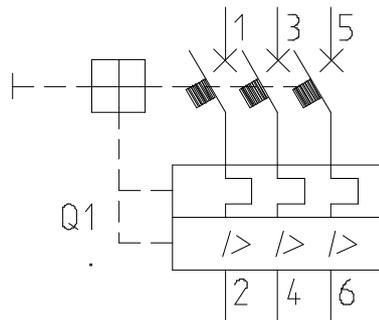


Figura 3.31. Simbologia para disjuntor tripolar

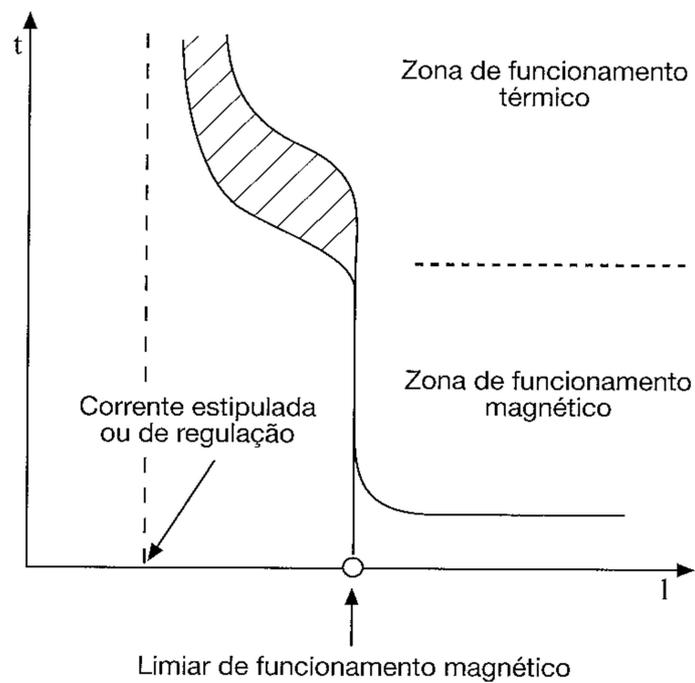


Figura 3.32. Curva característica de disjuntores

Para proteção de instalações elétricas residências e prediais os minidisjuntores são utilizados. Segundo a norma NBR IEC 60898, são classificados de acordo com a corrente nominal para a qual foram projetados e com o comportamento frente a sobrecorrentes até disparar. São divididos em curvas de disparo nas classes B, C e D. Essas curvas têm relação com a sensibilidade e ação do disjuntor diante de uma situação de curto-circuito:

- **Tipo B:** o seu limiar de disparo magnético é muito baixo (ideal para cargas elétricas resistivas que possuem corrente de partida reduzida), entre 3 e 5 vezes sua corrente nominal I_n .

- **Tipo C:** o seu limiar de disparo magnético permite-lhe ser de uso geral, entre 5 e 10 vezes sua corrente nominal I_n .

- **Tipo D:** o seu limiar de disparo magnético alto permite utilizá-lo na proteção de circuitos com elevados picos de corrente de partida, como em cargas indutivas, entre 10 e 20 vezes sua corrente nominal I_n .

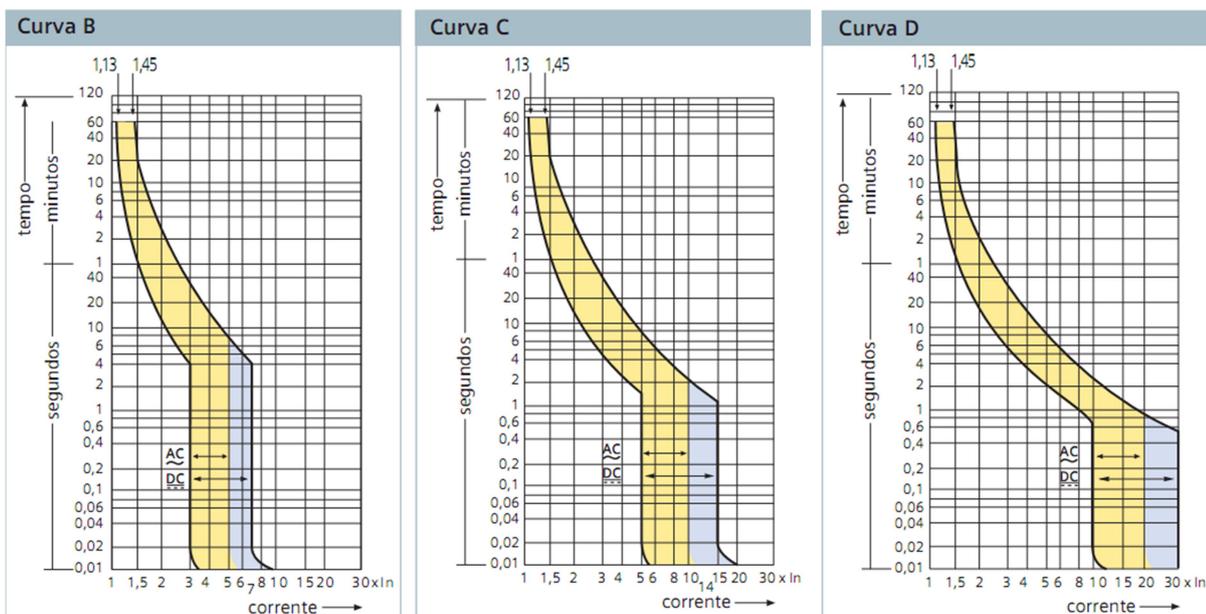


Figura 3.33. Curvas de disparo de disjuntores

Para proteção de motores elétricos, é utilizado o disjuntor motor, onde as curvas de atuação seguem conforme apresentada nos relés de sobrecarga (classes de disparo), porém adicionalmente

integrando a proteção contra curto-circuito, com o limiar para suportar os elevados níveis de correntes de partidas de motores elétricos de indução.

3.4 TIPOS DE ACIONAMENTO ELEMENTARES DE MÁQUINAS ELÉTRICAS

Assim como a transformação de energia pneumática em trabalho mecânico é essencial em sistemas automatizados, diversas vezes existe a necessidade de uma dinâmica de reação mais rápida, além da aplicação de potência e/ou torque mais elevados. Faz-se muito usual, portanto, a aplicação de máquinas elétricas, compostas basicamente por motores DC, AC síncronos, AC assíncronos, de passo e motores *brushless*. Nesta seção serão mencionadas algumas técnicas simples e elementares de acionamento AC.

Acionamento de motores elétricos AC por lógica a relé

Da mesma forma como se acionam atuadores pneumáticos por circuitos lógicos à relé, é possível a construção de circuitos para o acionamento de outras classes de atuadores, tais como atuadores elétricos rotativos, ou motores elétricos.

A simbologia utilizada para motores elétricos trifásicos de indução é apresentada a seguir. O motor pode possuir seis terminais com terra de proteção para ligações estrela e triângulo (fixa e variável), ou doze terminais e terra de proteção para ligações em estrela e triângulo em série ou paralelo.

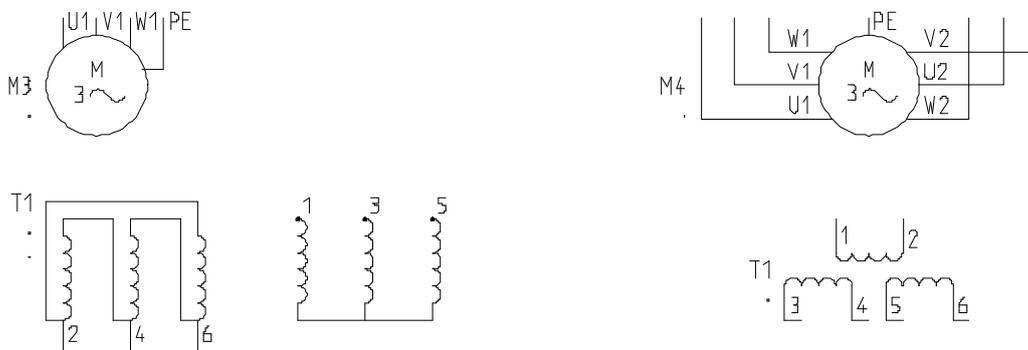


Figura 3.30. (a) Simbologia para motor elétrico de indução trifásico com três terminais e terra de proteção para ligação fixa em estrela ou triângulo e (b) simbologia para motor elétrico de indução trifásico com seis terminais e terra de proteção

Segundo o relatório do Ministério de Minas e Energia sobre balanço energético nacional de 2008, 46,7% do total de energia elétrica produzida no Brasil é consumida pelo setor industrial [EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2008]. Em uma indústria de processo por exemplo, o consumo de energia elétrica representa o segundo maior custo, sendo inferior apenas da matéria-prima. Aproximadamente 64% do valor de eletricidade alimentam motores elétricos [SHAIKH, 2006].

Na operação de motores elétricos, um dos instantes mais críticos é em sua partida, onde os motores solicitam uma corrente maior do que em regime de serviço contínuo, devido a mudança do estado de inércia do motor. Este fato gera um pico de corrente ou corrente de *inrush*, que pode chegar de seis a oito vezes a corrente nominal do motor [FRANCHI, 2008].

Esta elevada corrente absorvida pelo motor percorre toda a rede de alimentação que deverá ser dimensionada para suportá-la.

Critérios para dimensionamento de partida de motores

Existem diversos métodos de partida para os motores elétricos, segue abaixo os principais critérios para se considerar na escolha do mais apropriado para cada aplicação:

- Características da máquina a ser acionada (CARGA): deve-se atentar para o momento de inércia e torque resistente da carga, que implica no valor de corrente e tempo de partida;
- Circunstâncias da disponibilidade de potência de alimentação: deve limitar as perturbações da rede elétrica, principalmente na partida dos motores, por exemplo: quedas de tensão, sobrecarga do sistema de alimentação (geradores, transformadores, rede UPS, etc);
- Confiabilidade do serviço: verificar a necessidade de controle de velocidade, posição ou torque, inversão de rotação, entre outros;
- Distância da fonte de alimentação, devido a queda de tensão em regime normal de operação.

Dimensionamentos dos circuitos dos motores elétricos

Além do método de partida, deve ser analisado também as proteções do circuito do motor. Segundo a NBR5410, os seguintes requisitos devem ser analisados para dimensionamento dos circuitos dos motores:

- Capacidade de condução de corrente
- Queda de tensão em regime permanente e na partida do motor

Basicamente são necessários os seguintes componentes para o circuito de potência de um acionamento de motor assíncrono:

- Seccionamento;
- Proteção (Sobrecarga, curto-circuito, outras como falta de fase, sub e sobretensão, sub e sobrecorrente, etc);
- Manobra

A proteção de sobrecarga do motor deve ser dimensionada de maneira a "reconhecer" que a corrente de partida não é uma sobrecarga que deve provocar o desligamento do motor, e ao mesmo tempo proteger o motor contra cargas excessivas, ocasionando aumento da corrente de operação.

A proteção de curto-circuito deve ser dimensionada de forma a evitar a deterioração dos cabos e motores elétricos em um curto-circuito, este dimensionamento está relacionado ao nível de interrupção do local da instalação da partida. O nível de interrupção trata-se da corrente de curto-circuito nos diversos pontos da instalação elétrica.

A norma IEC 60947-4-1 define a coordenação de proteção para circuitos de manobras de motores da seguinte maneira:

- Coordenação Tipo 1

Sem risco para as pessoas e instalações, ou seja, desligamento seguro da corrente de curto-circuito. Porém, o dispositivo de partida não estará em condições de continuar funcionando após o desligamento, permitindo danos ao contator e ao relé de sobrecarga.

- Coordenação Tipo 2

Sem risco para as pessoas e instalações, ou seja, desligamento seguro da corrente de curto-circuito. Não pode haver danos ao relé de sobrecarga e outras partes com exceção de leve fusão dos contatos do contator e estes permitam fácil separação sem deformação significativa.

Fabricantes de equipamentos normalmente disponibilizam tabelas onde são especificados os produtos de acordo com coordenação de proteção.

Descrição dos métodos de partida

Segue nas próximas seções a descrição dos principais métodos de partida de motores elétricos, apresentado seus principais típicos de circuitos de potência, circuito de comando usual e suas principais vantagens e limitações.

Partida direta

O método de partida de motor conhecido como partida direta, se baseia alimentando o motor com sua tensão nominal, assim saindo de zero a sua tensão de operação em um intervalo de tempo muito pequeno.

Ao acionarmos o motor desta maneira, solicitamos da fonte de alimentação uma corrente de 6 a 8 vezes a corrente nominal do motor. Isto pode causar queda de tensão na alimentação que seja para a rede ou para outros consumidores da mesma instalação [SIEMENS, 2003]. Por outro lado o motor elétrico acionado desta maneira, aplica um alto torque no eixo do motor e na carga que está acionando, fazendo com que a partida seja bastante robusta.

De acordo com a carga a ser acionado esse pico de corrente pode se estender por mais ou menos tempo durante a partida, assim, quanto maior o valor do conjugado resistente da carga, maior será o tempo de partida, mantendo-se a corrente elétrica que flui no motor elevada.

A Figura 3 mostra esta relação entre corrente e conjugado do motor, em relação ao conjugado resistente da carga a ser acionada.

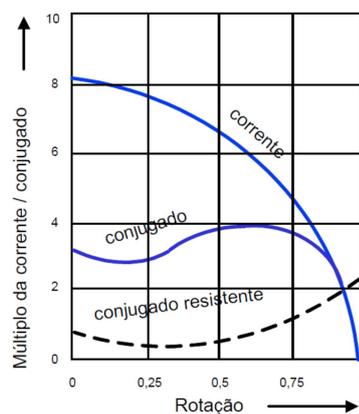


FIGURA 3 – DESENVOLVIMENTO DA PARTIDA DIRETA (BASEADO DE SIEMENS, 2003)

A norma NBR-5410 estabelece como limite para partida direta a potência de 5cv em quando a alimentação é fornecida por concessionária de energia que não defina limites.

Existem diversos tipos de partidas diretas de motores elétricos, os mais utilizados estão ilustrados através de seus circuitos de potência na Figura 4, de comando na Figura 5 e a

Tabela 1 mostra os equipamentos utilizados.

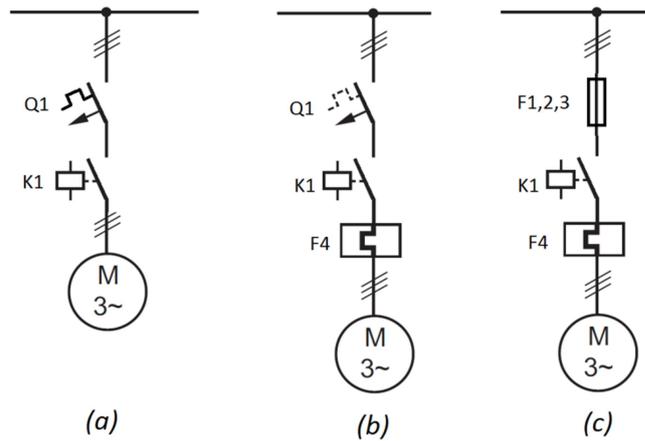


FIGURA 4 – TÍPICOS DE PARTIDA DIRETA CONVENCIONAL (BASEADO EM CONFIGURATION TOOL – SIEMENS, 2010)

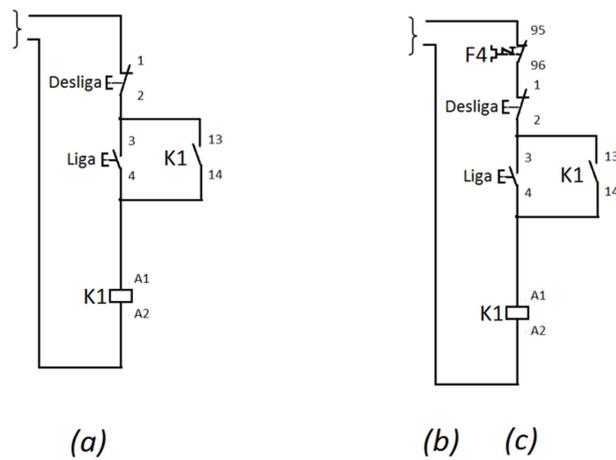


FIGURA 5 – EXEMPLOS DE COMANDOS PARA TÍPICOS DE PARTIDA DIRETA

TABELA 1 – COMPONENTES UTILIZADOS EM PARTIDAS DIRETA E REVERSORA

Referência	Descrição	Tipo de Componente	Norma Técnica
K1	Contator de potência	Manobra	NBR EC 60947-4
Q1	Disjuntor Motor	Proteção (Curto-circuito) Proteção (Sobrecarga)	NBR IEC 60947-2
Q1	Disjuntor Motor (magnético)	Proteção (Curto-circuito)	NBR IEC 60947-2
F1,2,3	Fusível Retardado	Proteção (Curto-circuito)	NBR IEC 60269-2

	(Categoria gG)		
F4	Relé de sobrecarga	Proteção (Sobrecarga)	NBR IEC 60947-4

Observações:

O disjuntor motor também realiza função de seccionamento do circuito elétrico

O fusível retardado apesar de possuir função de proteção contra sobrecarga, é utilizado na combinação de partida apenas em falhas de curto-circuito.

Para o típico “C” é necessário adicionar ainda uma seccionadora para função de seccionamento do circuito elétrico.

Este tipo de partida se aplica a máquinas com qualquer tipo de carga, que permitam normalmente suportar o conjugado (torque) de aceleração, disponibilidade de potência da fonte de alimentação e que exijam confiabilidade de serviço pela composição e comando simples [SIEMENS, 2003].

Vantagens de sua utilização são:

- simplicidade e fácil instalação: são utilizados componentes simples
- dimensões compactas: a montagem de uma partida direta ocupa pouco espaço no painel elétrico quando comparada a outros tipos de partida
- robustez e confiabilidade: por seus componentes serem eletromecânicos (contator), a probabilidade de falha é muito baixa;
- baixo custo: componentes de baixo valor quando comparados a outros tipos de acionamentos.

Desvantagens de sua utilização:

- corrente de partida elevada: a corrente de partida em uma partida direta chega a valores de seis a oito vezes a corrente nominal do motor;
- solavancos: devido a sua elevada aceleração, pode haver danos a mecânicas das máquinas que estão acopladas ao motor elétrico.

A partida direta é a forma mais simples de partir um motor elétrico. Deve ser usada sempre que possível, em aplicações onde o motor possui baixa potência, a carga não necessita de aceleração progressiva e o conjugado de partida seja elevado [FRANCHI, 2008].

Partida reversora

Para partidas reversoras, as mesmas considerações apresentadas para partida direta devem ser consideradas, porém adicionalmente para este método de partida é adicionado um contator no circuito de potência, responsável pela inversão do sentido de rotação do motor. Assim, é importante lembrar

que os contatores devem ser intertravados mecanicamente e/ou eletricamente para evitar que sejam acionados no mesmo instante, provocando um curto-circuito.

Estão ilustrados nas Figura 6 e Figura 7 os circuitos de potência e comando mais utilizados na partida reversora, e a

Tabela 1 mostra os equipamentos que a compõem.

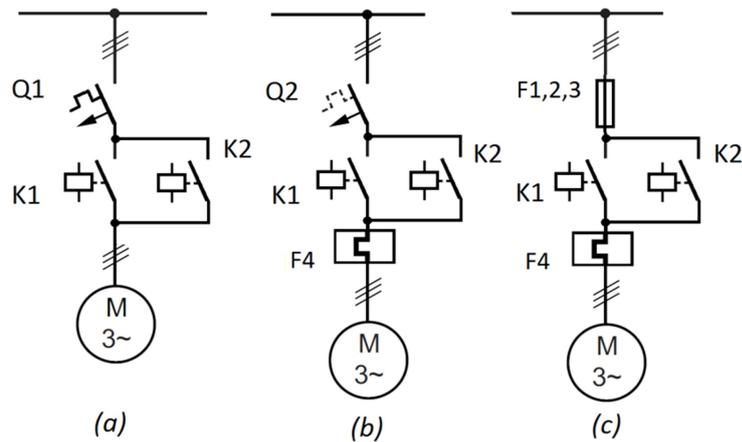


FIGURA 6 - TÍPICOS DE PARTIDA REVERSORA CONVENCIONAL (BASEADO EM CONFIGURATION TOOL – SIEMENS, 2010)

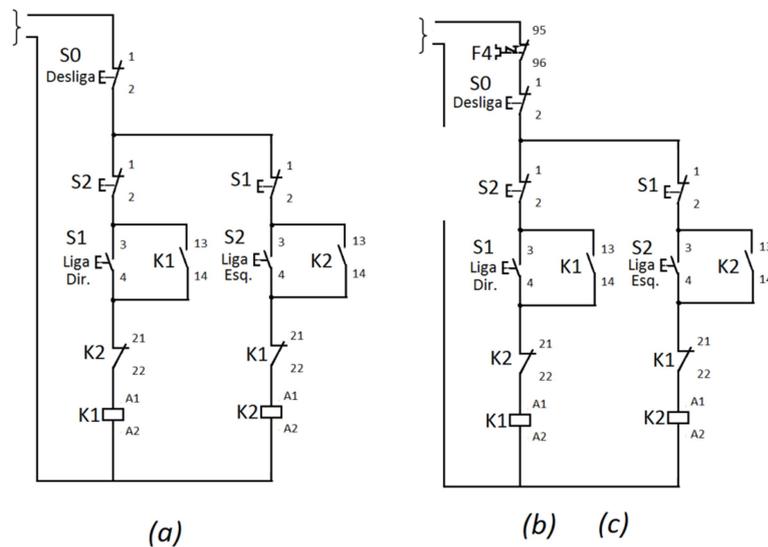


FIGURA 7 – EXEMPLOS DE COMANDOS PARA TÍPICOS DE PARTIDA REVERSORA

Partida estrela-triângulo

A partida estrela-triângulo consiste em aplicar uma tensão reduzida aos enrolamentos do motor durante sua aceleração (através da ligação em estrela, aplica-se 58% da tensão nominal da rede), e após

período de partida, quando estiver próximo a sua rotação nominal, se aplicar a tensão de rede (ligando os enrolamentos do motor em triângulo).

A comutação da ligação de estrela para triângulo é realizada através de contadores, comando por um relé de tempo associado ao comando desses contadores [SIEMENS, 2003].

Aplicando ao motor uma tensão menor que a nominal durante a partida, é possível limitar a corrente que varia proporcionalmente com a tensão aplicada. Assim, este tipo de partida proporciona uma redução do valor do pico de corrente de partida, porém também oferecendo redução do torque nominal do motor no momento da partida.

A Figura 8 mostra as relações:

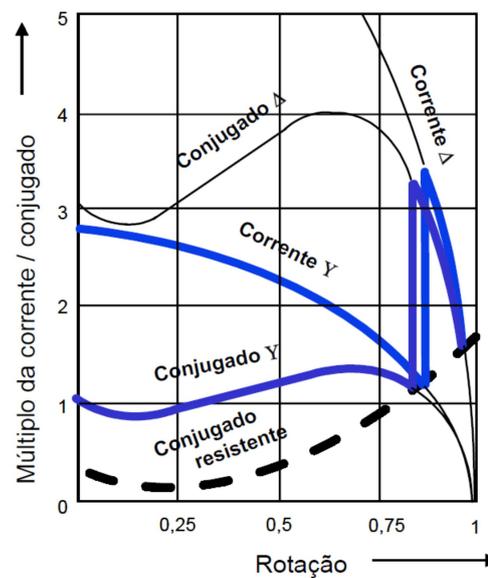


FIGURA 8 - DESENVOLVIMENTO DA PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO (BASEADO DE SIEMENS, 2003)

A Figura 9 mostra os típicos de partida estrela-triângulo mais utilizados, a Figura 10 exibe o circuito de comando e a Tabela 1 os equipamentos que a compõem.

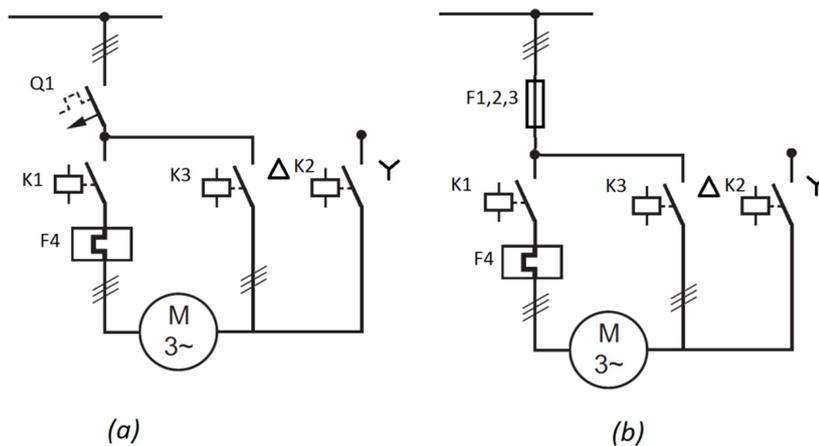


FIGURA 9 - TÍPICOS DE PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO CONVENCIONAL (BASEADO EM CONFIGURATION TOOL – SIEMENS, 2010)

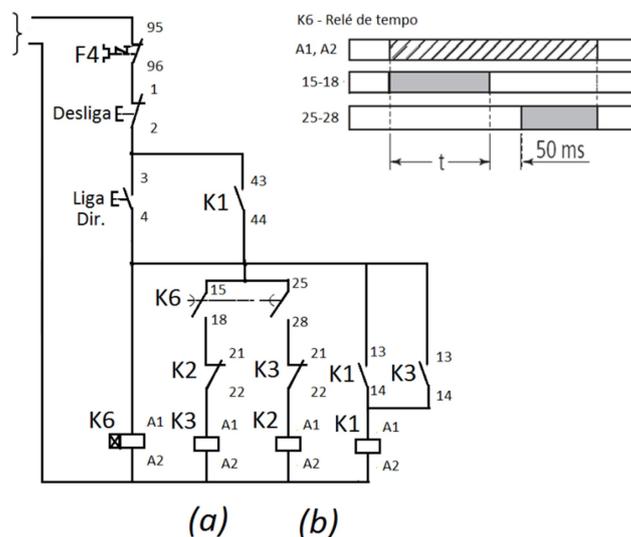


FIGURA 10 – EXEMPLO DE COMANDO PARA PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

As partidas estrela-triângulo devem ser utilizadas em acionamentos de máquinas que partem em vazio ou com conjugado baixo.

Vantagens de sua utilização são:

- a corrente de partida reduzida, de 1.8 a 2.6 a corrente nominal do motor.
- não há necessidade de alta disponibilidade de potência para alimentação,
- a execução da partida é parametrizada em tempo,
- aplicável em motores a serem acionados em grande distância, otimizando os condutores.

Desvantagens:

- grande quantidade de equipamentos na configuração dificultam a instalação e manutenção;
- ocupa mais espaço nos painéis elétricos, quando comparadas as partidas diretas e soft starters;

- necessidade de utilizar seis cabos para ligação nos motores.