

3.3 PROTEÇÃO E ACIONAMENTOS ELEMENTARES DE MÁQUINAS ELÉTRICAS

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.

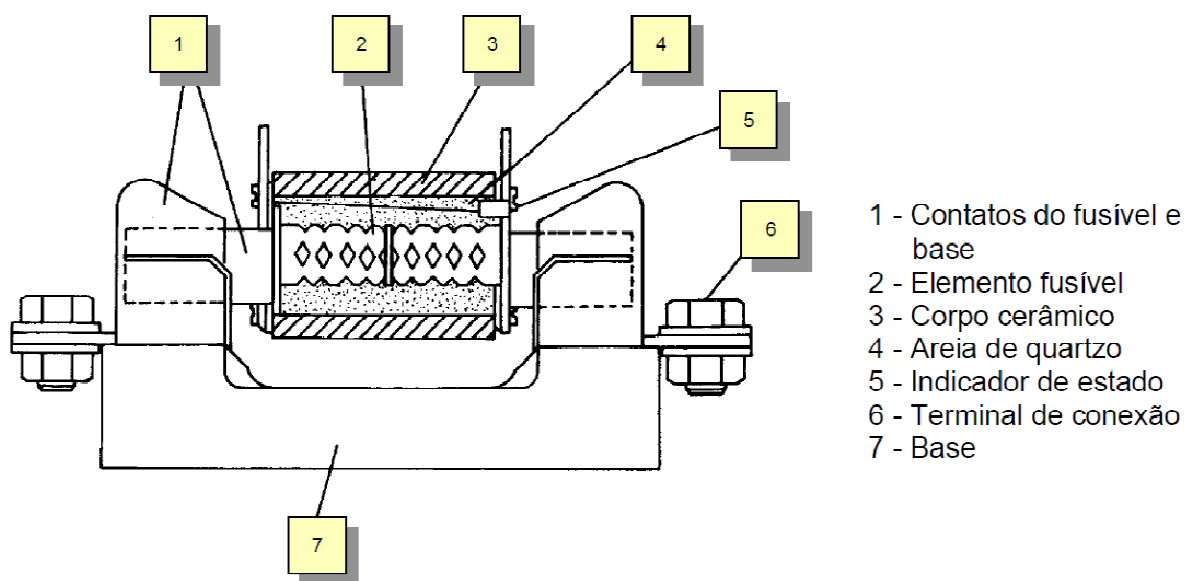


Figura – Esquemático de fusível NH, baseado de SIEMENS, 2003

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 acidental 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 acidental.

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:

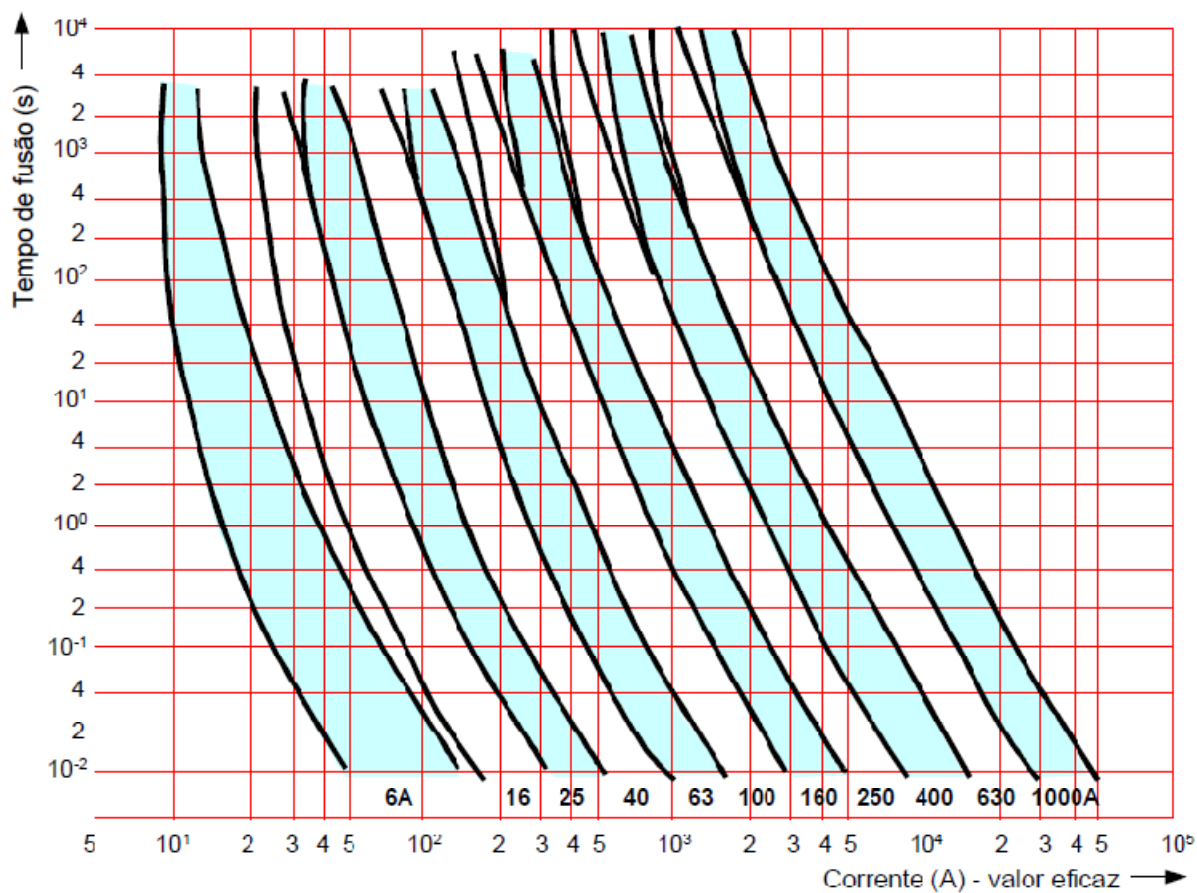


Figura - Exemplo de curva tempo-corrente para fusíveis retardados

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 bimetal, dispara os contatos fixo e móvel do dispositivo e interrompe a condução elétrica, conforme a figura a seguir.

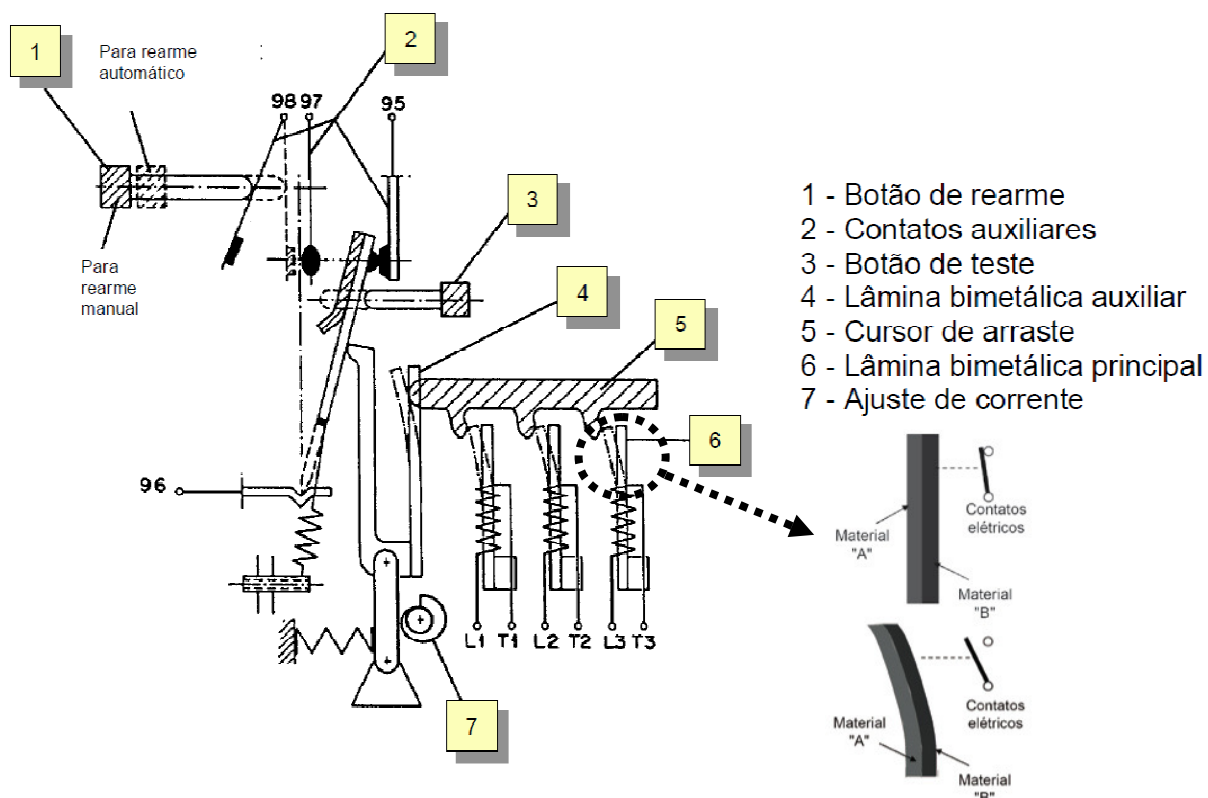


Figura – Esquema de um relé de sobrecarga, baseado de SIEMENS, 2003

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.

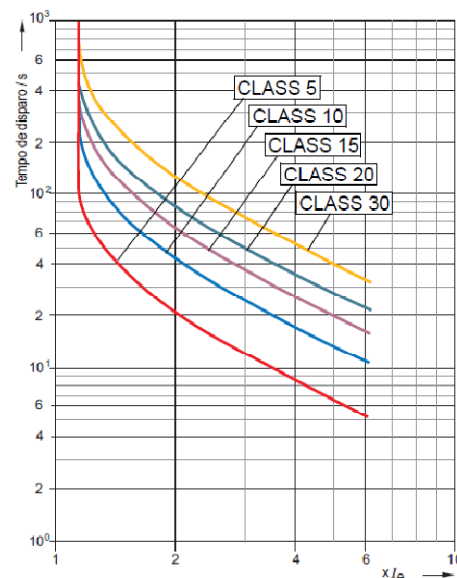


Figura – Classe de disparo, curva de proteção de sobrecarga do motor

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.

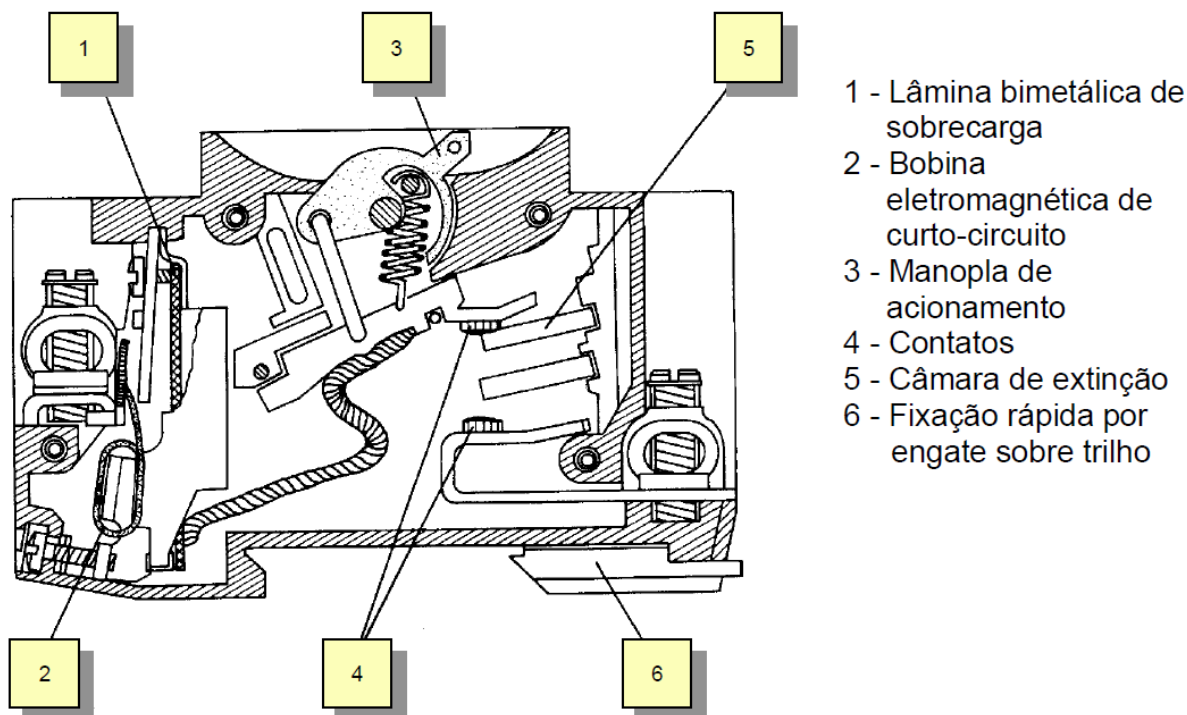


Figura – Esquemático de um disjuntor, baseado de Siemens, 2003

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.

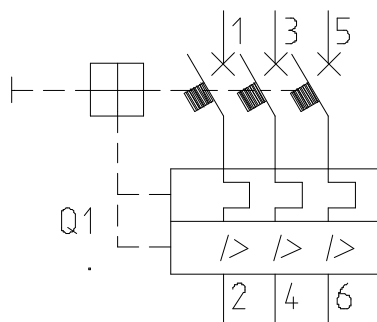


Figura 3.31. Simbologia para disjuntor tripolar

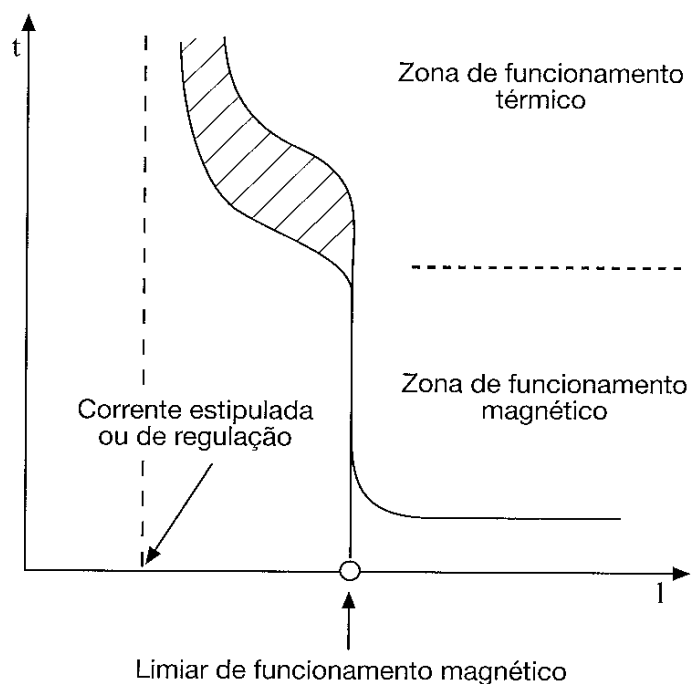


Figura 3.32. Curva característica de disjuntores

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 .

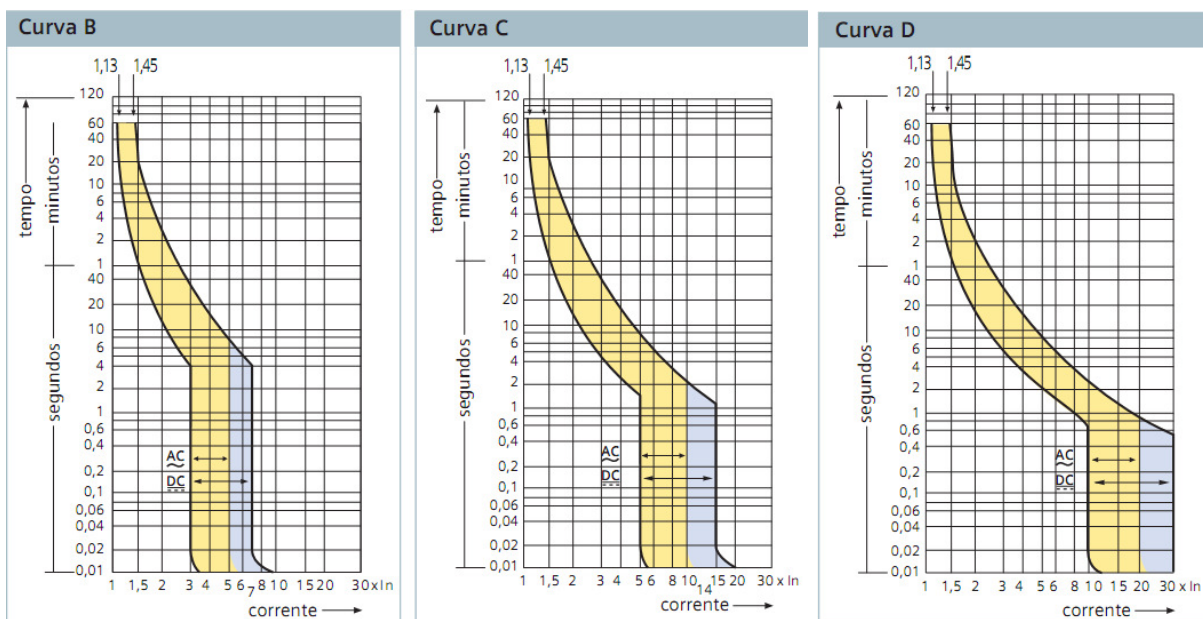


Figura 3.33. Curvas de disparo de disjuntores

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.

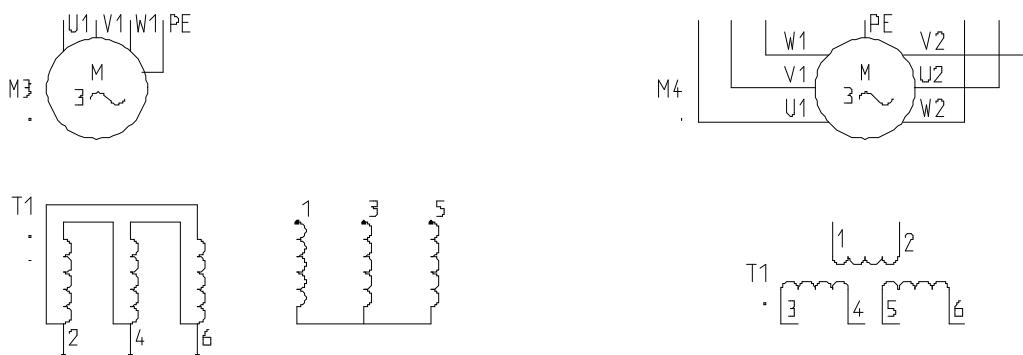


Figura 3.30. (a) Simbologia para motor elétrico de indução trifásico com três terminais e terra de proteção para ligação fixa em estrela ou triângulo e (b) simbologia para motor elétrico de indução trifásico com seis terminais e terra de proteção

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 tipos 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.

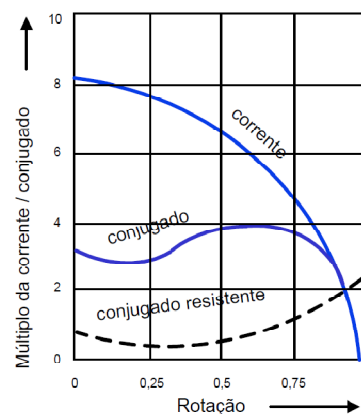


FIGURA 3 – DESENVOLVIMENTO DA PARTIDA DIRETA (BASEADO DE SIEMENS, 2003)

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.

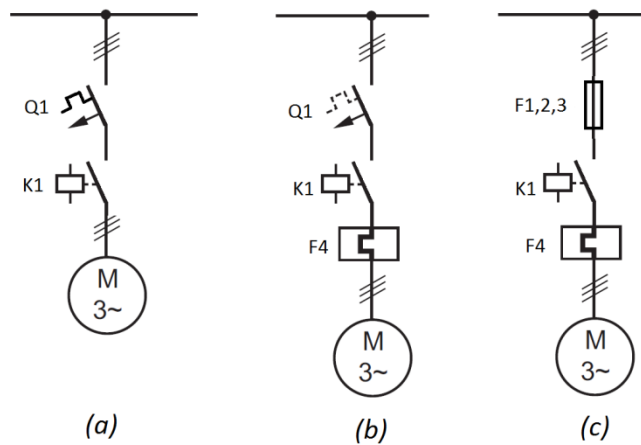


FIGURA 4 – TÍPICOS DE PARTIDA DIRETA CONVENCIONAL (BASEADO EM CONFIGURATION TOOL – SIEMENS, 2010)

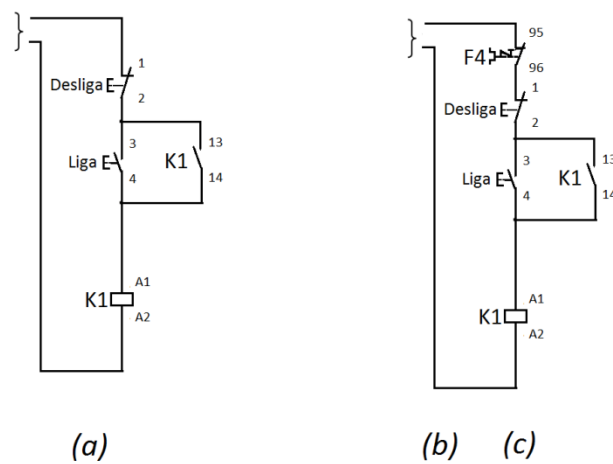


FIGURA 5 – EXEMPLOS DE COMANDOS PARA TÍPICOS DE PARTIDA DIRETA

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 (Categoria gG)	Proteção (Curto-circuito)	NBR IEC 60269-2
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 contadores 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.

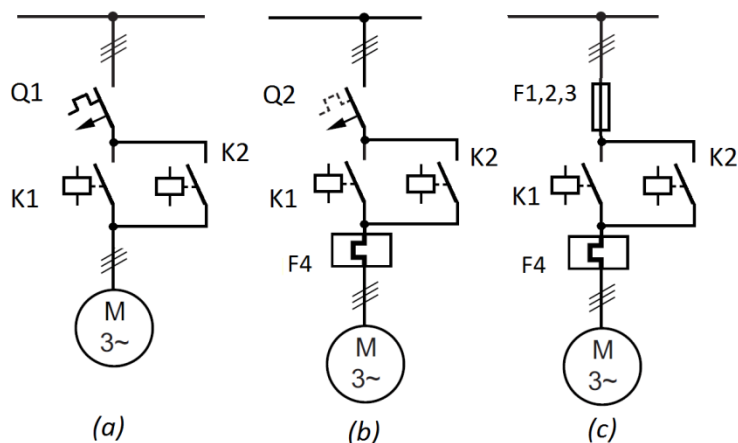


FIGURA 6 - TÍPICOS DE PARTIDA REVERSORA CONVENCIONAL (BASEADO EM CONFIGURATION TOOL – SIEMENS, 2010)

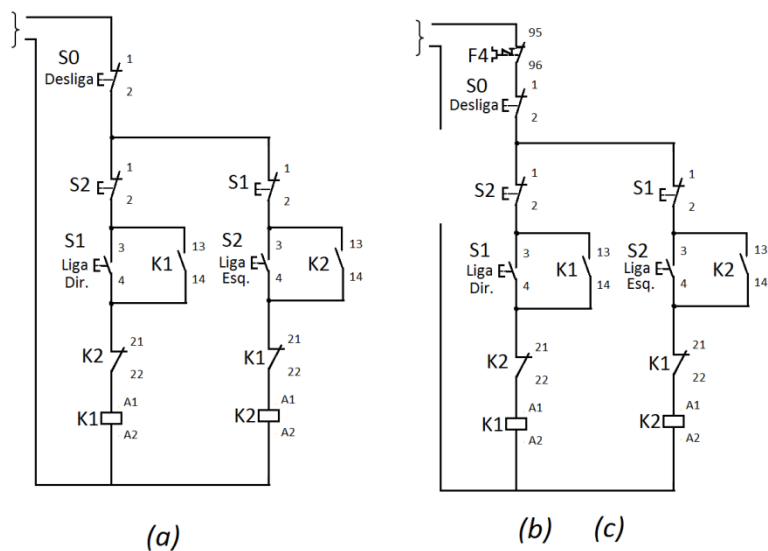


FIGURA 7 – EXEMPLOS DE COMANDOS PARA TÍPICOS DE PARTIDA REVERSORA

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 contatores, comando por um relé de tempo associado ao comando desses contatores [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:

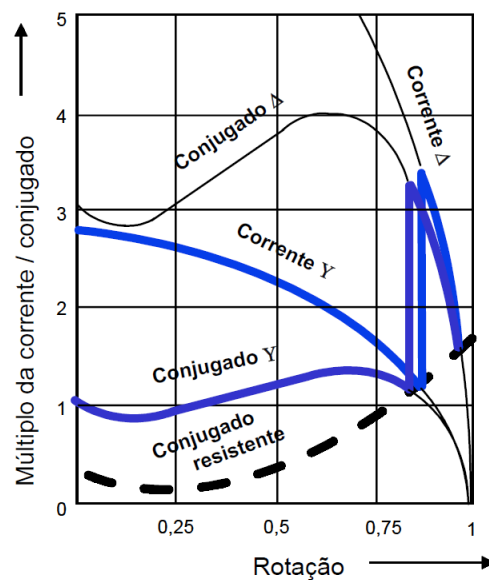


FIGURA 8 - DESENVOLVIMENTO DA PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO (BASEADO DE SIEMENS, 2003)

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.

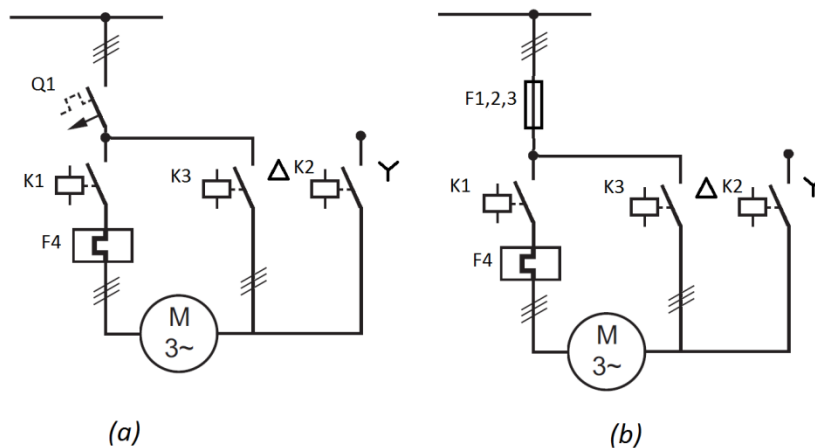


FIGURA 9 - TÍPICOS DE PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO CONVENCIONAL (BASEADO EM CONFIGURATION TOOL – SIEMENS, 2010)

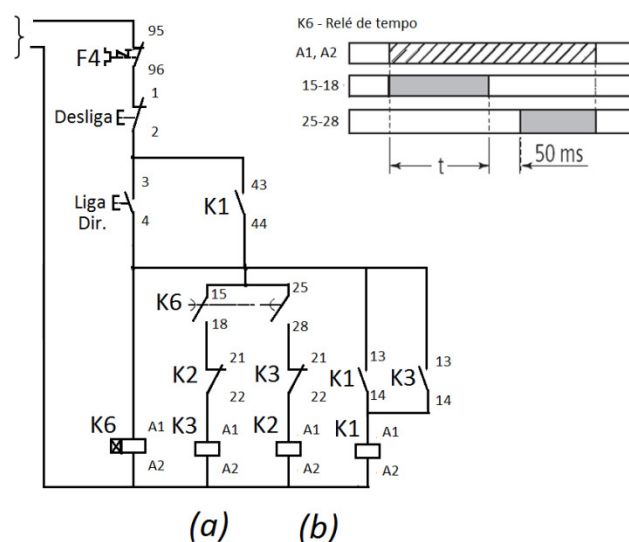


FIGURA 10 – EXEMPLO DE COMANDO PARA PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

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.