

Capítulo VIII

Proteção de motores

Por Cláudio Mardegan*

Na elaboração deste capítulo sobre proteção dos motores, foram consultadas as seguintes normas/guias:

- ANSI C37.96-2000
- NEMA MG-1
- NFPA 20 – Standard for the Installation of Centrifugal Fire Pumps
- NEC

Proteções utilizadas

Os estudos do Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) e Electric Power Research Institute (EPRI) indicam que, em média, 33% das falhas em motores são elétricas, 31% são mecânicas e 35% são devidas ao ambiente, manutenção e outras razões. Assim, a adequada seleção e ajuste do motor são fundamentais para a boa performance do sistema.

Apresenta-se na Figura 1 as proteções mais comumente utilizadas para a proteção de motores de média tensão.

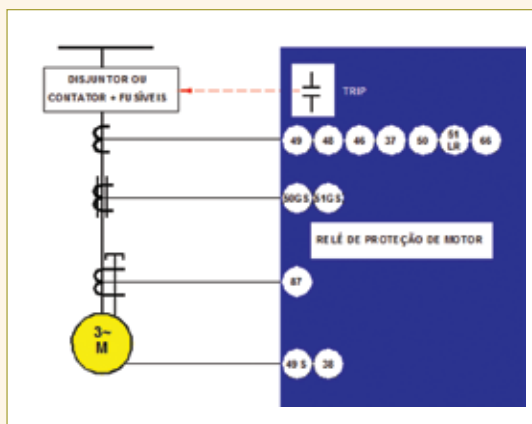


Figura 1 – Proteções típicas para motores de média tensão.

Em que:

- 49 – Sobrecarga
- 48 – Sequência incompleta
- 46 – Desequilíbrio de corrente
- 37 – Marcha a vazio
- 50 – Unidade instantânea
- 51LR – Rotor bloqueado após a partida
- 66 – Número de partidas por hora
- 50GS – Unidade instantânea “Ground Sensor”
- 51GS – Unidade temporizada “Ground Sensor”
- 87 – Diferencial
- 38 – RTD (Proteção de Mancal)
- 49S – Sobrecarga térmica do estator

Pontos a serem observados

(a) Corrente (IP) e tempo (TP) de partida

É necessário conhecer a corrente e o tempo de partida do motor. O ideal é ter a oscilografia, principalmente dos motores de média tensão.

Duração

Depende da máquina acionada.

Quando não se dispõe de dados típicos para o tempo de partida, o ideal é fazer a simulação do tempo de partida. Se não se dispuser de um software para a realização da simulação dinâmica da partida do motor, os seguintes valores podem ser utilizados como referência:

- Bomba: 5 s
- Compressor: 10 s
- Ventilador: não dá para estimar

- Moinhos: não dá para estimar

O valor da corrente de partida pode ser obtida do data sheet do motor. Algumas vezes é encontrado na placa. Quando não se dispõe, pode-se adotar o seguinte:

- Motor de média tensão: $6 \times I_n$
- Motor de baixa tensão: $8 \times I_n$

(b) Ponto do tempo de rotor bloqueado (TRB)

Este dado deve ser obtido com o fabricante, visto ser um dado de projeto do motor. Não consta na placa e deve ser solicitado ao fabricante o TRB a frio (motor parado = em equilíbrio térmico com o ambiente) e o TRB a quente (motor operando e na temperatura ambiente de projeto).

Duração

Depende do projeto da máquina. Os valores normalmente podem variar de 5 s a 25 s, sendo mais comum da ordem de 15 s a 17 s.

(c) Curva típica de proteção

Apresenta-se na Figura 2 a curva tempo versus corrente típica para a proteção de motores de média tensão.

Como pode ser observado na Figura 2, a curva do dispositivo de proteção passa abaixo do ponto de rotor bloqueado (a quente).

Porém, na prática, para garantir a proteção do motor, deve-se passar abaixo de toda curva de capacidade térmica do motor, protegendo-a integralmente em toda a sua extensão. A curva do relé deve passar aproximadamente 10% abaixo da curva de capacidade térmica nominal para a proteção do motor.

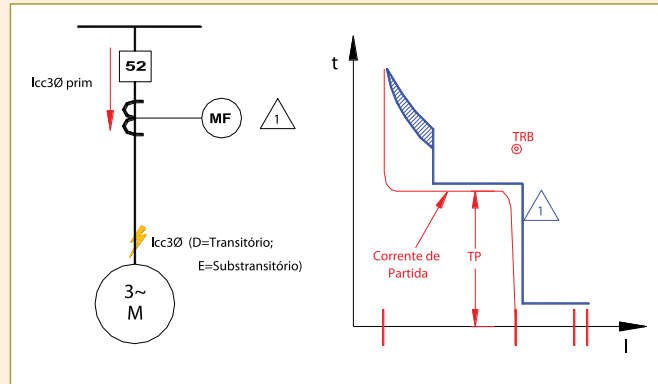


Figura 2 – Curva tempo versus corrente típica para proteção de motores de média tensão.

(d) Comportamento do motor de indução

Na partida

Na partida, o motor de indução pode ser representado como carga de impedância constante. Isso significa:

$$(Z = k = \text{CTE})$$

$$P = V^2 / Z = k V^2 \text{ (Parábola)}$$

A Figura 3 mostra a característica P x V (Potência versus Tensão). Quando a tensão cai, a potência e a corrente também caem.

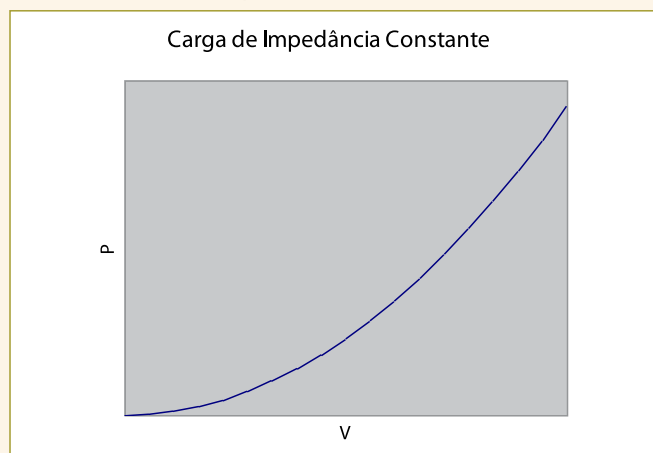


Figura 3 – Curva característica P x V (Potência versus Tensão) para motor de indução na partida.

Em regime

Em regime, o motor de indução pode ser representado como carga de potência constante (potência ativa). A potência reativa pode ser representada como carga de corrente constante. A Figura 4 mostra as respectivas características.

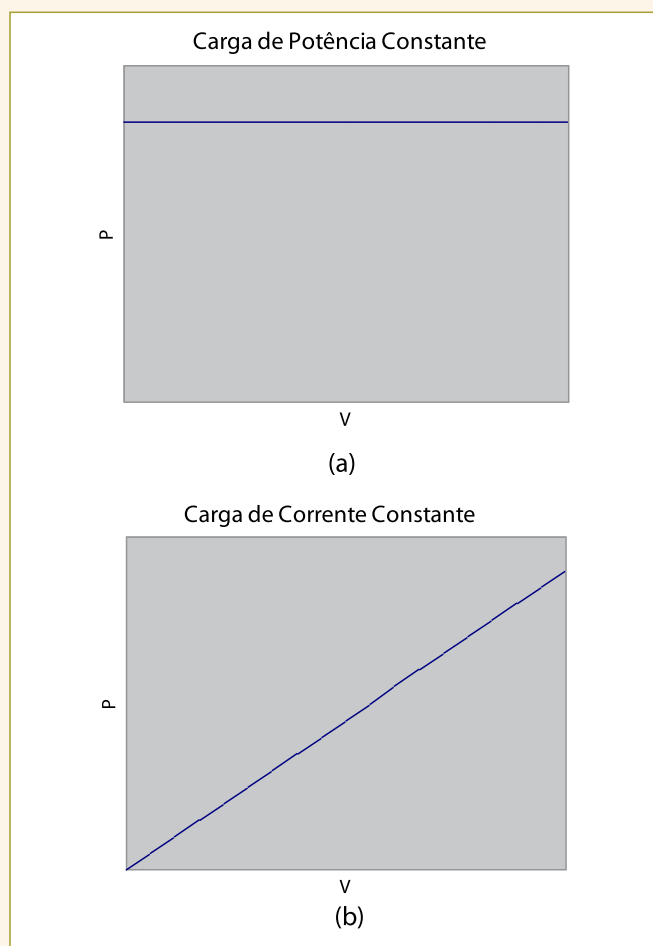


Figura 4 – Curva característica P x V (Potência versus Tensão) para o motor de indução: (a) Comportamento da potência ativa e (b) Comportamento da potência reativa.

Pela Figura 4(a) percebe-se que, se a tensão decresce para manter a potência (ativa = potência no eixo) constante, a corrente tem de aumentar ($P = V \times I$). Já na Figura 4(b) nota-se que se a tensão cai, a potência reativa também cai.

Ainda analisando-se a Figura 4(a), pode-se entender a razão pela qual é prática comum utilizar-se de relés de subtensão (função 27) em CCM's. Quando a tensão cai, a corrente aumenta e assim o relé 27 trabalha como backup para sobrecarga nos motores de indução.

Motores de média tensão

Antigamente eram necessários vários relés para desempenhar as funções recomendadas para a proteção de um motor. Atualmente, os relés já possuem incorporadas as funções: desequilíbrio de corrente, sequência incompleta, marcha a vazio, etc.

As funções mais usuais são: 49, 50, 46, 48, 51 LR, 50 GS, 66 e 38.

- 49 – Função sobrecarga térmica
- 50 – Função de sobrecorrente instantânea
- 46 – Função desequilíbrio de corrente
- 48 – Função sequência incompleta (proteção de rotor bloqueado na partida)
- 51LR – Função rotor bloqueado (após o motor partir)
- 50GS – Função de sobrecorrente instantânea "ground sensor"
- 66 – Função do número de partidas
- 38 – Função de temperatura dos enrolamentos (RTD – Resistance Temperature Detectors)

A função de proteção de rotor bloqueado é muitas vezes designada como mechanical jam.

Apresentam-se a seguir os ajustes típicos normalmente praticados.

Função 49

Para se proteger adequadamente um motor termicamente deve-se ajustar a proteção de forma que a curva característica $t \times I$ do relé passe abaixo da curva térmica de dano completa do motor, a qual traduz a suportabilidade térmica do motor na condição de regime, partida ou aceleração e rotor bloqueado.

O IEEE Std 620 padroniza a forma de apresentação da curva de dano (limite térmico) dos motores para três condições: (a) rotor bloqueado, (b) partida e (c) em regime. Essas curvas devem ser solicitadas ao fabricante.

A maior parte dos relés digitais atuais possui um algoritmo interno que simula o limite térmico do estator, o qual é representado pela equação:

$$t = \tau \cdot \ln \left[\frac{I^2 - I_p^2}{I^2 - (k \cdot I_B)^2} \right]$$

Em que:

- T = Tempo de operação do relé [s]
 T = Constante de tempo de aquecimento do motor [s]
 I_p = Corrente antes do pick up (previous load) [pu]
 K = Constante
 I_B = Corrente base de referência [pu]
 I = Corrente no relé em múltiplos da corrente de ajuste

A função 49 deve ser ajustada em:

$$I_{49} = 1 \text{ a } 1,05 \times I_{N-MOTOR}$$

Curva térmica: Deve permitir o motor partir ($> T_p$) e ficar abaixo da curva I^2t de rotor bloqueado (definida pelo ponto IRB e t_{RB}). Algumas vezes pode-se utilizar toda capacidade térmica da máquina aplicando-se os fatores correspondentes devidos ao fator de serviço.

Particularidade – Capacitor chaveado com o motor

Quando capacitores são chaveados com motores, ou seja, os capacitores estão conectados entre o motor e o dispositivo de manobra (contator ou disjuntor) e a proteção está à montante do ponto de conexão do capacitor, parte do reativo do que vinha da rede (sistema) para suprir a corrente nominal (I_n) passa a ser entregue agora pelo capacitor (I_c) e o relé

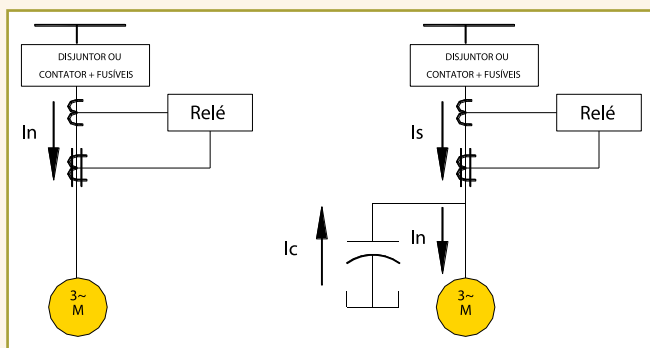


Figura 5 – Esquema unifilar de capacitores chaveados com o motor.

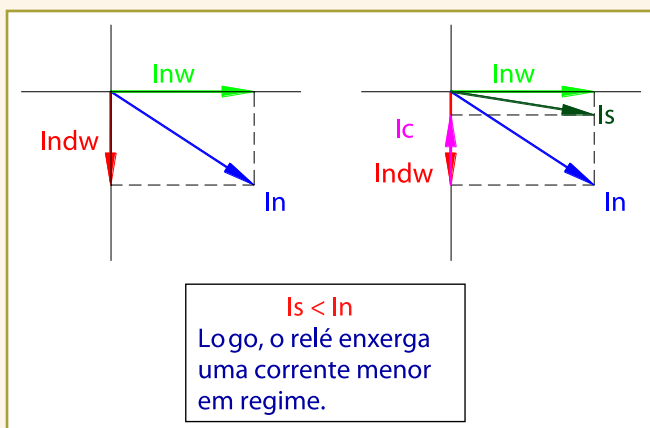


Figura 6 – Diagrama fasorial para o esquema unifilar apresentado na Figura 5.

“enxerga”, em condições de regime, uma corrente menor que a nominal (I_s). Dessa maneira, caso não se corrija a corrente que o relé enxerga, na ocorrência de uma sobrecarga, o motor não estará adequadamente protegido.

A Figura 5 apresenta o esquema unifilar mostrando a situação sem e com o banco de capacitores e a Figura 6 mostra o respectivo diagrama fasorial.

Fenômeno quando capacitor é chaveado com o motor

Em regime, quando o capacitor é chaveado com o motor, o capacitor se carrega, e a força contra-eletromotriz (f.c.e.m.) do motor é suprida pelo sistema. Nestas condições, este fasor (f.c.e.m.) gira sincronizadamente com o fasor de tensão da rede. Quando o motor é desligado, o fasor da força contra-eletromotriz do motor passa a ser suprido pela tensão do capacitor (que se encontrava carregado), mantendo o magnetismo remanente no ferro do motor. Porém, o fasor começa a abrir o seu ângulo de fase em relação à tensão da rede. Se o contator for fechado em uma situação tal que este fasor esteja em “contra-fase”, a tensão no motor pode chegar a duas vezes a tensão nominal do motor, o que implica um torque de partida de quatro vezes o torque de partida nominal.

Para que isso não ocorra, o tamanho do capacitor (kVAR total do banco) a ser chaveado com o motor não deve ser maior que o capacitor máximo admissível que consta no “data sheet” do motor, que é fornecido pelo fabricante.

Quando não se dispõe deste valor, deve-se dimensionar os kVAR totais do banco de capacitores de tal forma que o valor selecionado seja no máximo igual ao dado na equação a seguir.

$$kVAR = 0.9 \times \sqrt{3} \times kVN-MOTOR \times I_o$$

I_o = Corrente à vazio nominal do motor [A]

Nota: A corrente a vazio do motor pode ser medida com o motor sem carga.

Função 50 (unidade instantânea)

Se o dispositivo de manobra do motor é disjuntor, deve ser ajustada em um valor tal que permita o motor partir.

$$150 = 1.1 \times 1.6 \times I_{P-SIMÉTRICA} = 1.76 \times I_{P-SIMÉTRICA}$$

Se o dispositivo de manobra do motor é contator, deve-se preferencialmente bloquear esta função, deixando-a a cargo dos fusíveis, pois se ocorrer um curto-circuito de elevada magnitude os contadores não terão capacidade para interromper a corrente de curto-circuito, podendo até mesmo explodir.

Quando se utiliza fusíveis, o calibre máximo a ser utilizado deve ser de 300% de I_n .

Função 46 (Desequilíbrio de corrente).

$I_{46} < 0.15 \times I_{N-MOTOR}$ (ou 25% de desequilíbrio)

$t_{46} = 3.5 \text{ s}$

O valor máximo permitido para o ajuste da proteção de sequência negativa deve ser de 15%.

O desequilíbrio máximo ocorre quando o motor perde uma fase, conforme mostrado na Figura 7. Nessas condições, a corrente de sequência negativa é dada por:

Função 48 (sequência incompleta/rotor bloqueado na partida)

Esta função deve atuar se o motor não conseguir completar a sequência de partida e, assim, deve ser ajustada de modo a permitir o motor partir, porém, o ajuste de temporização deve ficar abaixo do tempo de rotor bloqueado.

$$I_{48} = (1.5 \text{ a } 2) \cdot I_n$$

$$1.1 \times T_p < t_{48} < T_{RB}$$

Função 51LR (rotor bloqueado após a partida ou mechanical jam)

$$I_{51LR} = (1.5 \text{ a } 2) \cdot I_n$$

$$t_{51LR} = 2 \text{ s}$$

Função 50GS (proteção ground sensor do motor)

$$I_{50GS} = 15 \text{ a } 20 \text{ A} - (\text{ou } 0.2 \times I_{N-MOTOR})$$

$$t_{50GS} = 0 \quad (\text{se o dispositivo de manobra é disjuntor})$$

$$t_{50GS} = 400 \text{ ms} \quad (\text{se o dispositivo de manobra é contator e o neutro do transformador de força é aterrado por resistor})$$

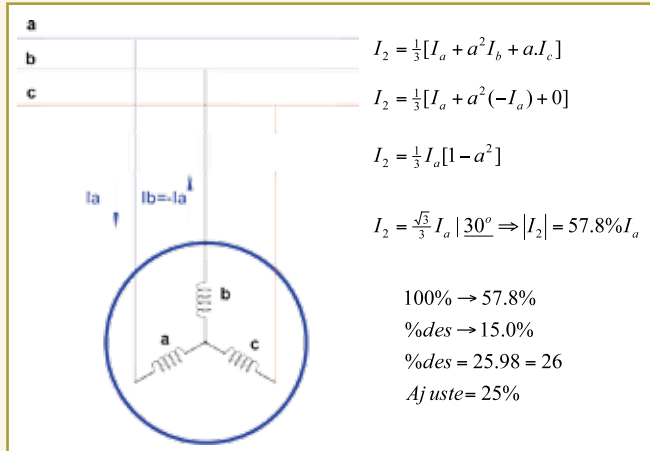


Figura 7 – Máxima corrente de sequência negativa no motor: perda de fase.

Notas:

1 - Observar que podem ocorrer desligamentos devido à má

distribuição dos cabos de média tensão dentro da janela do TC toroidal, principalmente para motores de grande porte.

2 - Quando o dispositivo de manobra do motor é contator deve-se preferencialmente bloquear esta função, se o sistema é solidamente aterrado, deixando-a a cargo dos fusíveis, pois se ocorrer um curto-circuito de elevada magnitude os contatores não terão capacidade de interrupção, podendo até mesmo explodir. Outra forma é ajustar uma temporização intencional para a função 50GS de maneira a garantir que os fusíveis operem primeiro quando a corrente de falta for superior à capacidade de interrupção do contator (sem fusíveis).

3 - Quando o sistema é aterrado por resistência, o valor deste ajuste normalmente não deve ultrapassar a 10% do valor da corrente do resistor de aterramento.

Função 49S (RTD's)

A classe de isolamento dos motores é apresentada na Figura 8. Nesta figura, mostra-se o valor da temperatura ambiente (adotado como sendo 40 °C) e, em função da classe de temperatura, apresenta-se um limite de aumento de temperatura. Para cada classe é também mostrado o limite máximo permitido de temperatura. Como exemplo, a classe de isolamento F possui um limite de aumento de temperatura de 100 °C e a temperatura máxima permitível para esta classe é de 155 °C.

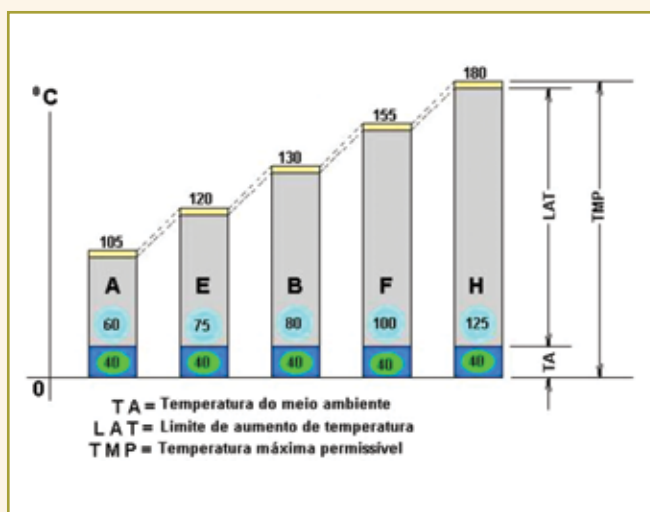


Figura 8 – Limites de temperaturas para as classes de isolamento.

Na Tabela 1, apresentam-se valores sugeridos para alarme e trip em função do tamanho do motor, tensão e classe de isolamento.

TABELA 1 – VALORES SUGERIDOS DE ALARME E TRIP PARA AJUSTE DE RTD's

Potência	kVn	CLASSE DE ISOLAMENTO							
		ALARME				TRIP			
		A	B	F	H	A	B	F	H
< 1500 HP	> 7	105	125	150	175	105	125	150	175
> 1500 HP	< 7	100	120	145	170	110	130	155	180
	> 7	95	115	140	160	105	125	150	170

Baseada na Seção 430.32 (a) (4) do NEC

Função 66 (partidas por hora)

Para o correto ajuste desta proteção deve-se verificar o "data sheet" do motor, o qual apresenta o número de partidas permitido por hora, em função do regime de funcionamento para o qual o motor foi projetado.

Função 27 (subtensão)

É antes uma proteção coletiva de motores e não individual, pois é instalada na entrada de um CCM. Assim, em instalações em que se tem motores de indução deve-se prover um relé de subtensão, pois, conforme explicado anteriormente, se a tensão cai, a corrente de regime do motor aumenta (carga de potência constante), podendo danificar os motores.

Assim, utiliza-se um relé 27 ajustado, conforme segue:

- Pick up: 80% Vn
- Temporização: 2 s

O número 80% na grande maioria das vezes atende devido ao fato de que as quedas de tensão na partida normalmente não excedem 12%. Como as concessionárias podem ter até 7% de queda (Aneel: +5% e -7%), chega-se a 19%.

Motores de baixa tensão

Normalmente são protegidos por relé térmico e fusível retardado.

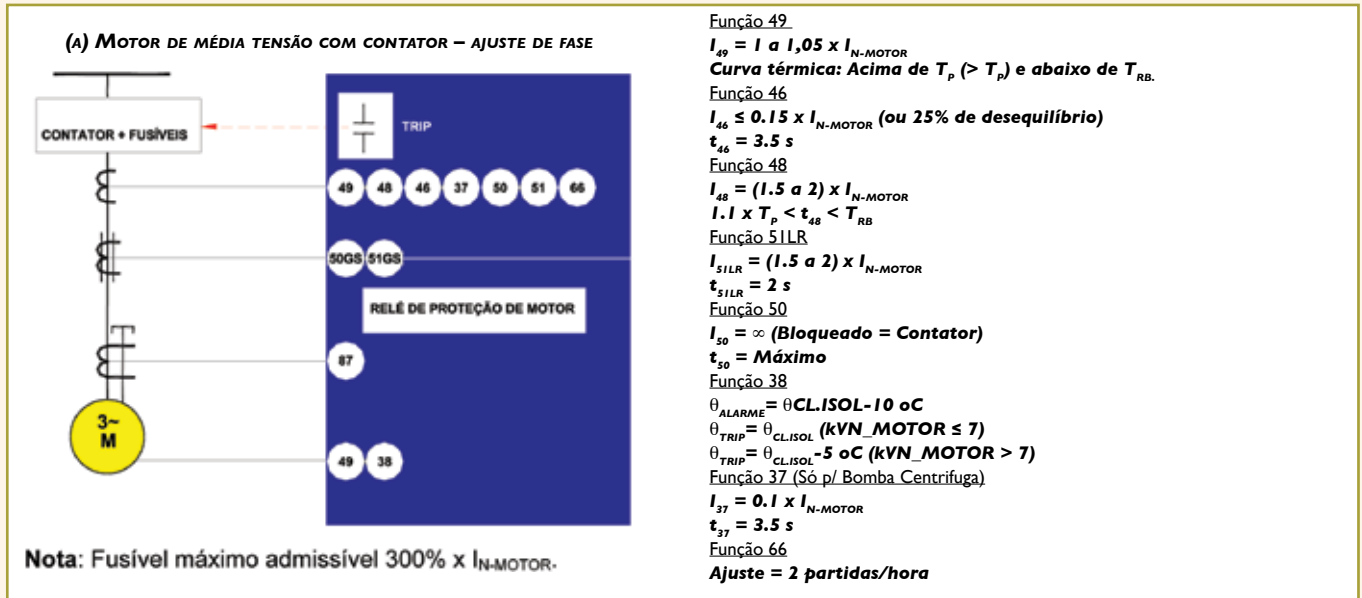
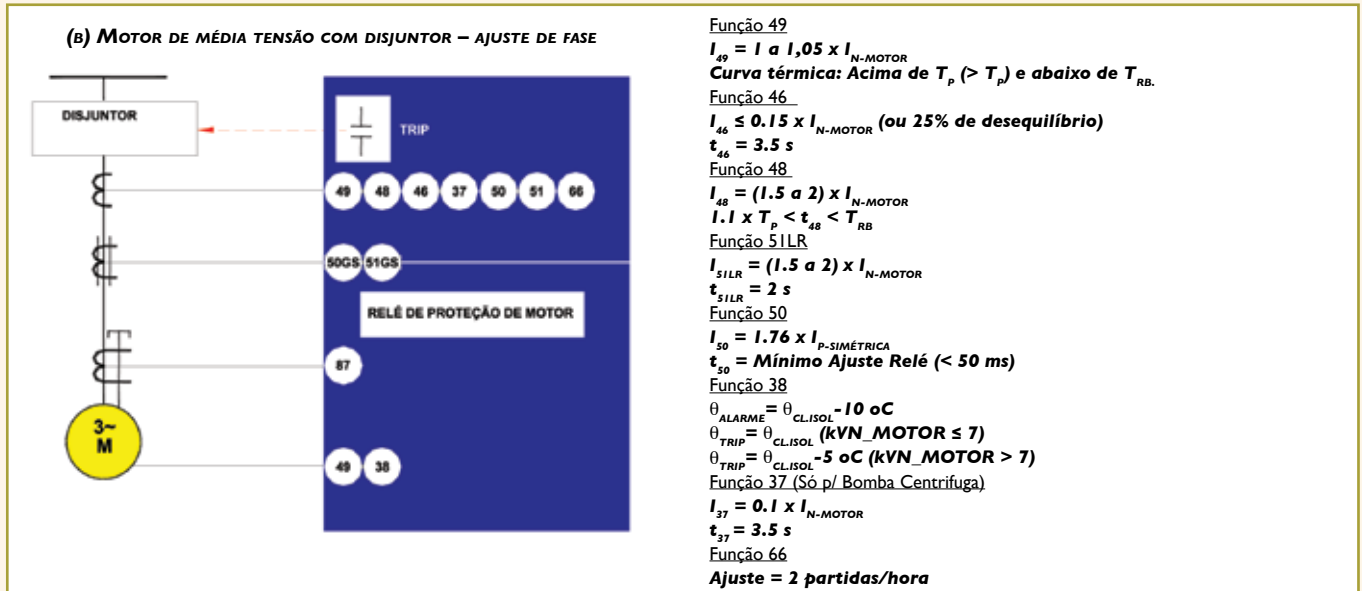
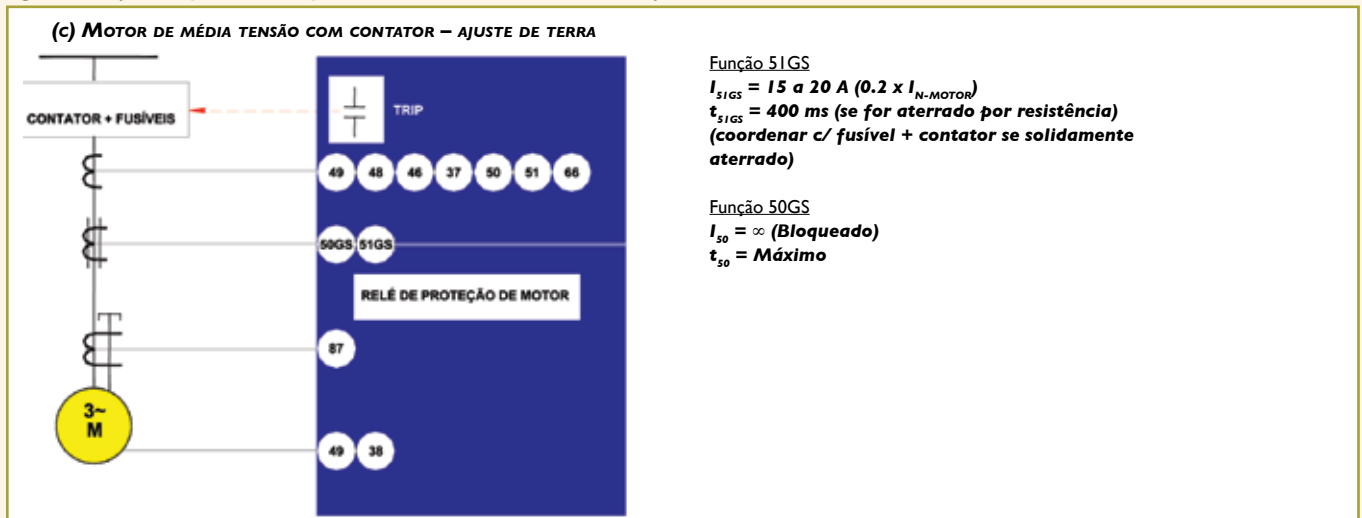
A função 49 tem o ajuste do relé térmico normalmente feito na corrente nominal (In) do motor (ou 1,05 x In), uma vez que os relés térmicos já apresentam um valor de partida superior à corrente ajustada. Caso o motor possua um fator de serviço (FS) superior a 1, pode-se ajustar a unidade térmica com o valor de In x FS.

Os fusíveis são escolhidos de modo que seja permitida a partida do motor, mas não devem ser maiores a 300% de In.

É importante observar que atualmente os relés digitais aplicados a motores de baixa tensão já vem com praticamente quase todas as funções de proteção dos motores de média tensão e, assim, devem seguir as mesmas recomendações descritas no item anterior.

Observações:

- Os dispositivos de proteção devem proteger a curva térmica do motor (Tempo de rotor bloqueado – TRB).
- Os dispositivos de proteção devem ser ajustados de modo a permitir circular a corrente de partida [Curva da corrente de partida ou no mínimo checar o ponto (IP;TP)].
- Os dispositivos de proteção instantâneos não devem atuar para as correntes assimétricas de partida.

Resumo dos ajustes típicos:

Figura 9 – Ajustes típicos de fase para motores de média tensão com contator e fusíveis.

Figura 10 – Ajustes típicos de fase para motores de média tensão com disjuntor.

Figura 11 – Ajustes típicos de terra para motores de média tensão com contator e fusíveis.

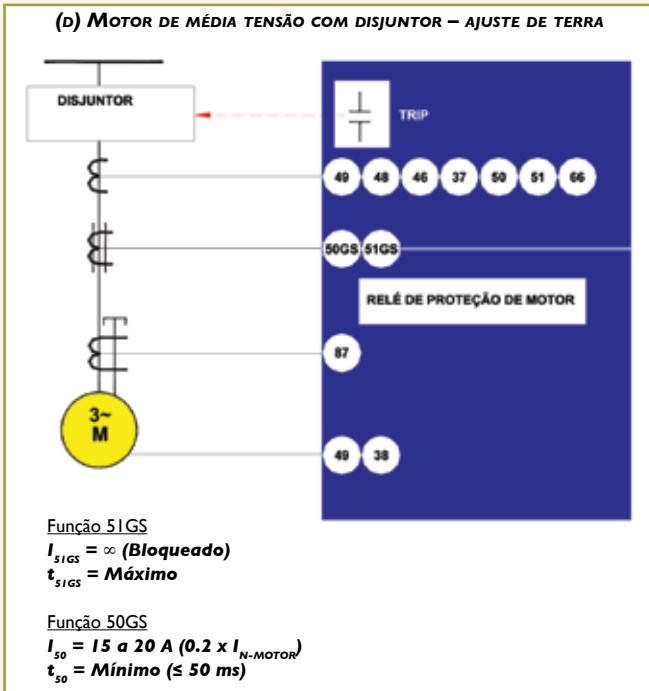


Figura 12 – Ajustes típicos de terra para motores de média tensão com disjuntor.

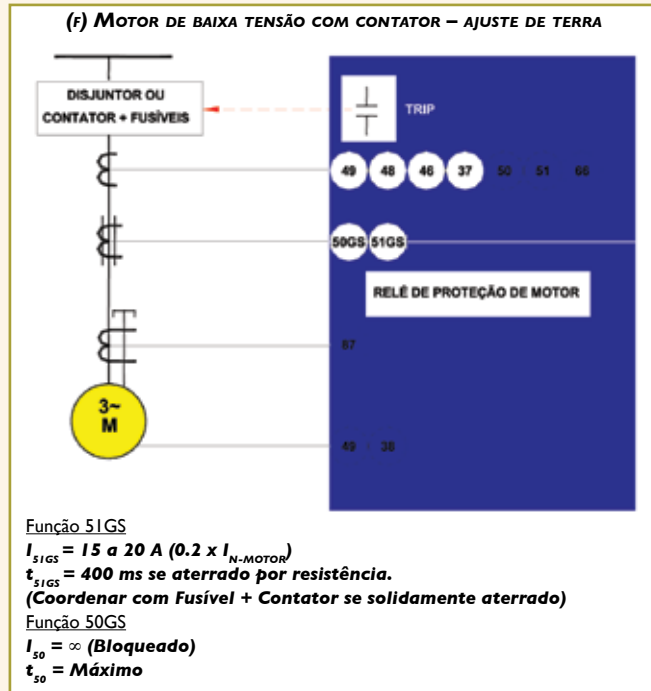


Figura 14 – Ajustes típicos de terra para motores de baixa tensão com contator e fusíveis.

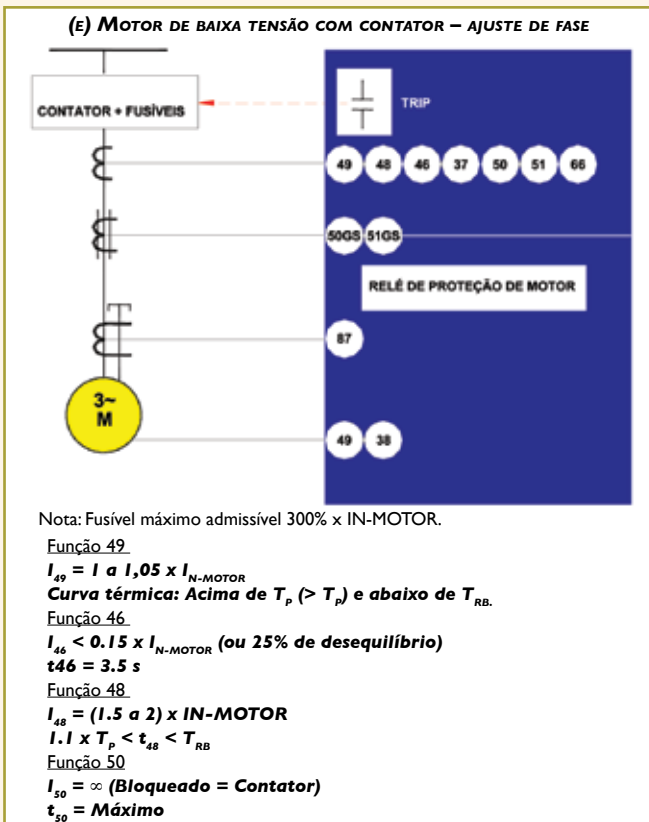


Figura 13 – Ajustes típicos de fase para motores de baixa tensão com contator e fusíveis.

Constantes de tempo de aquecimento e resfriamento

Sempre se deve consultar o fabricante do motor. Porém, nem sempre se tem as constantes de tempo de aquecimento e resfriamento de um motor.

Na falta dessas informações, há a indicação de uma faixa típica, apresentada a seguir:

- aquecimento = 30 a 120 minutos (1.800 a 7.200 segundos)

Para o motor resfriar, na falta das informações do fabricante, a seguinte faixa pode ser utilizada:

- Resfriamento = 3 a 5 vezes □ Aquecimento (3.600 a 7.500 segundos)

Bomba de incêndio com acionamento elétrico

A norma NFPA 20 “Standard for the Installation of Centrifugal Fire Pumps”, no item 7-4.3.3, subitem 2, prescreve que as bombas de incêndio elétricas devem possuir elementos de proteção de sobrecorrente sensíveis do tipo “Não Térmico”. Na seção 7-4.4, subitem 1, para um motor do tipo gaiola, o dispositivo de proteção deve:

- Proteger o motor contra travamento do rotor;
- Ser calibrado para ter um pick up de 300% da corrente nominal do motor.

A norma americana NEC (NFPA 70), na Seção 695.6, subitem D, prescreve que o circuito do motor não deverá ter proteção contra sobrecargas. Deverá ter apenas proteção contra curto-circuito.

*CLÁUDIO MARDEGAN é engenheiro eletricista formado pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá (atualmente Unifei). Trabalhou como engenheiro de estudos e desenvolveu softwares de curto-circuito, load flow e seletividade na plataforma do AutoCad®. Além disso, tem experiência na área de projetos, engenharia de campo, montagem, manutenção, comissionamento e start up. Em 1995 fundou a empresa EngePower® Engenharia e Comércio Ltda, especializada em engenharia elétrica, benchmark e em estudos elétricos no Brasil, na qual atualmente é sócio diretor. O material apresentado nestes fascículos colecionáveis é uma síntese de parte de um livro que está para ser publicado pelo autor, resultado de 30 anos de trabalho.

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Confira todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
 Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atituedeeditorial.com.br