

PROTEÇÃO DE MOTOR

1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo, o assunto abordado será pertinente à proteção de motores elétricos empregados na média tensão.

Os diversos dispositivos utilizados tem por objetivo minimizar os danos provocados nos motores, quando estes são submetidos à condições anormais de operação. A origem do problema poderá ser interna, como por exemplo uma falta nos enrolamentos da máquina, ou externa, proveniente do sistema elétrico que alimenta o motor. A carga acionada, também poderá exigir do motor uma operação inadequada.

Os dispositivos de proteção deverão ser escolhidos de acordo com o seguinte critério:

- Condições operacionais;
 - Importância do motor no processo;
-

- Custo dos dispositivos de proteção em relação ao motor;
- A probabilidade considerada para a ocorrência de faltas;
- Tipo de carga acionada;
- Distúrbios que poderão ocorrer na rede;
- Tipo de motor protegido.

2 – TIPOS DE FALTAS

A operação dos motores elétricos pode ser afetada pelas seguintes anormalidades:

- Sobrecargas ;
- Curto-circuitos;
- Desequilíbrio, ausência ou inversão de fases;
- Falta de isolamento entre espiras;
- Sub e sobretensão;
- Partidas incompletas ou frequentes;
- Rotor bloqueado;
- Subcorrente.

Para os motores síncronos devem ainda ser consideradas:

- Perda de sincronismo;
 - Perda de excitação;
 - Operação de partida prolongada no modo assíncrono;
 - Sobrecargas e sobrecorrentes no enrolamento de excitação;
 - Potência reversa (operação como gerador)
-

2.1 – CONDIÇÕES ANORMAIS IMPOSTAS PELA CARGA ACIONADA

2.1.1 – SOBRECARGAS

A sobrecarga nos motores elétricos é causada pela solicitação de uma potência mecânica superior a sua capacidade nominal. Nestas condições, há um aumento na corrente absorvida da rede. Consequentemente ocorrerá um aumento nas perdas totais do motor. Com isso, haverá uma elevação de temperatura, se esse acréscimo de temperatura ultrapassar a classe de isolamento do motor, este poderá ter sua vida útil reduzida. Em se tratando de dispositivos de proteção, estes têm por função desligar o motor em situações de sobrecarga, com o objetivo de manter a temperatura interna dentro dos limites aceitáveis de seus materiais isolantes.

2.1.2 – PARTIDAS MUITO DEMORADAS OU FREQUENTES

Apesar de um motor solicitar uma alta corrente de partida, em condições normais à plena tensão, a sua duração não acarreta aquecimentos indesejáveis. Por outro lado, se as partidas forem freqüentes ou lentas, em função do processo e da carga mecânica, o motor poderá sofrer aquecimentos adicionais. Neste sentido, a proteção térmica deverá atuar, desligando o motor no menor tempo possível.

2.1.3 – ROTOR BLOQUEADO

Este fenômeno é caracterizado por uma parada súbita em plena rotação, por qualquer razão relacionada ao mecanismo acionado. Nestas condições, o motor absorve a corrente de partida e permanece bloqueado a velocidade nula. Portanto, não há mais ventilação e o aquecimento é muito rápido. Nestas condições, poderá até ocorrer a queima do motor.

2.1.4 – RETORNO DE POTÊNCIA

Este tipo de falta acontece devido a uma queda de tensão, quando um motor síncrono movido pela inércia da carga injeta potência na rede. No caso da alimentação normal da rede desaparecer, o motor síncrono pode manter a tensão de maneira indesejável e suprir as demais cargas conectadas em paralelo.

2.2 – DISTÚRBIOS NO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

2.2.1 – QUEDA DE TENSÃO

A queda de tensão reduz o conjugado e a velocidade do motor. Nestas condições, há um aumento na corrente absorvida pela motor, acarretando um acréscimo nas perdas, provocando um aquecimento adicional no interior da máquina.

2.2.2 – DESEQUILÍBRIO

O sistema de alimentação trifásico pode estar desequilibrado por diversas razões:

- A própria fonte de alimentação (transformador ou gerador) não fornece uma tensão trifásica equilibrada e simétrica;
- Conjunto de todos os outros consumidores não constitui uma carga equilibrada, o que provoca uma assimetria na rede de alimentação;
- Motor fica alimentado por duas fases em consequência da queima de um fusível. O desequilíbrio na alimentação produz o aparecimento de componentes de seqüência negativa na corrente, o que pode causar perdas elevadas e consequentemente um aquecimento adicional no motor.

2.3 – FALTAS INTERNAS NO MOTOR

2.3.1 – CURTO-CIRCUITO FASE-FASE

Similarmente aos casos de curto-circuito relatados ao longo deste trabalho, a intensidade da corrente de falta depende da posição em que a mesma ocorre dentro do enrolamento. Ressalta-se, uma vez mais, que os efeitos térmicos e dinâmicos provocados por essa corrente de curto-circuito podem danificar internamente os enrolamentos do motor.

2.3.2 – FALTAS À CARCAÇA

A intensidade da corrente de falta depende da configuração adotada para o aterramento da rede e da posição da falta no enrolamento. O curto-circuito entre fases e a falta à carcaça requerem o rebobinamento do motor, e as faltas à carcaça podem produzir danos irreparáveis ao circuito magnético.

2.4 – PERDA DE SINCRONISMO

Este distúrbio envolvendo os motores síncronos, pode ser atribuído à uma das seguintes razões:

- **Aumento brusco de carga**: o motor pára repentinamente e absorve uma corrente elevada com um baixo fator de potência;
- **Perda de excitação**: operação do motor no modo assíncrono, nestas condições, haverá um movimento relativo entre os campos girantes. Com isso será induzido uma tensão e conseqüentemente haverá circulação de corrente no rotor e este ficará submetido à um aquecimento adicional.

3 – DISPOSITIVOS EMPREGADOS NA PROTEÇÃO DE MOTOR

Sobrecargas – São monitoradas através de proteção de sobrecorrente de tempo dependente, por proteção de imagem térmica ou por uma sonda de temperatura.

Partidas lentas e rotor bloqueado – A mesma função assegura ambas as proteções. Isto envolve um ajuste de corrente instantâneo fixado a um valor

abaixo da corrente de partida. O tempo de disparo da proteção deve ser maior que o tempo de partida do motor, obviamente assegurando a sua partida. Por outro lado o tempo de disparo da proteção deve ser obrigatoriamente menor que o tempo de rotor bloqueado do motor. Esta condição deve ser satisfeita pois irá proteger o motor contra elevações de temperatura inadmissíveis. Deve-se salientar que o tempo de rotor bloqueado é fornecido pelo fabricante do motor.

Partida muito freqüentes – A proteção correspondente é sensível ao número de partidas dentro de um determinado intervalo de tempo ou ao espaço de tempo entre partidas sucessivas.

Retorno de potência – A anormalidade é identificada por uma proteção direcional de potência ativa.

Quedas de tensão – Esta condição é monitorada por uma proteção temporizada de subtensão. Os ajustes e a temporização são escolhidos de maneira seletiva com as proteções de curto-circuito da rede, levando-se em consideração as quedas de tensão normais. Por exemplo, durante a partida de um motor.

Desequilíbrio – Esta proteção é assegurada por detecção da componente de seqüência negativa da corrente. Ressalta-se que a sua curva característica pode ser do tipo: tempo independente ou dependente.

Curto-circuito entre fases – É reconhecido por uma proteção de sobrecorrente temporizada. O ajuste de corrente é fixado a um valor superior a corrente de partida com uma rápida temporização, onde o propósito é tornar a proteção insensível às primeiras cristas da corrente de magnetização.

Se o dispositivo de interrupção for um contator, ele é associado a fusíveis que asseguram a proteção contra curto-circuito. Para motores de grande porte, é usada uma proteção diferencial de alta impedância, conforme ilustra a figura 1.

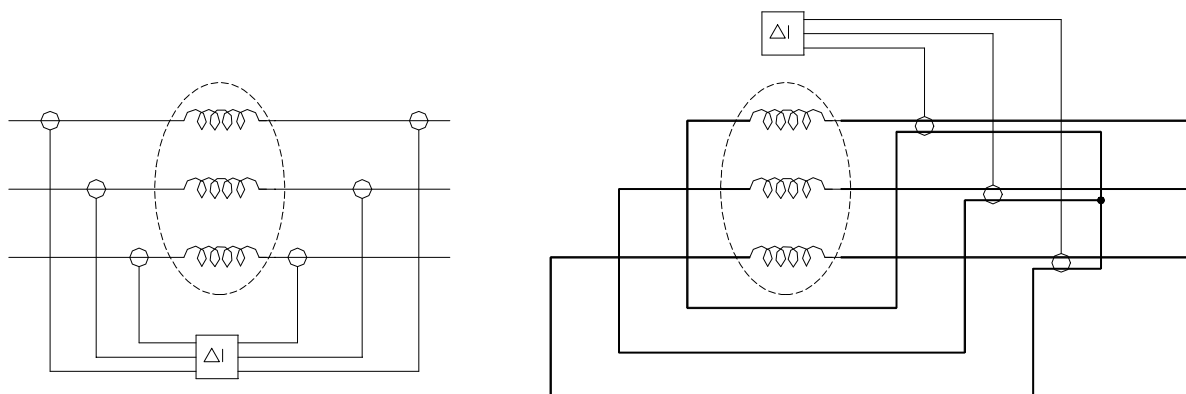


Figura 1- Esquemas de ligação possíveis para a proteção diferencial de alta impedância.

Faltas à carcaça – Este tipo de proteção depende do regime de neutro. Uma sensibilidade elevada é conveniente para limitar os danos ao circuito magnético do motor.

Perda de sincronismo – Ela é detectada por uma proteção de potência reativa máxima temporizada.

4 – EXEMPLOS DE PROTEÇÃO APLICADOS À MOTORES DE MÉDIA TENSÃO

Nas figuras subsequentes, são identificadas as principais proteções adotadas para os motores síncronos e assíncronos comumente empregados na média tensão. Dependendo do tipo de carga acionada, outras proteções devem ser adicionadas, como por exemplo as que detectam as seguintes situações:

- Partidas lentas e/ou rotor bloqueado;
- Número de partidas elevadas;
- Subcorrente.

4.1 - MOTOR ASSÍNCRONO CONTROLADO POR CONTATOR

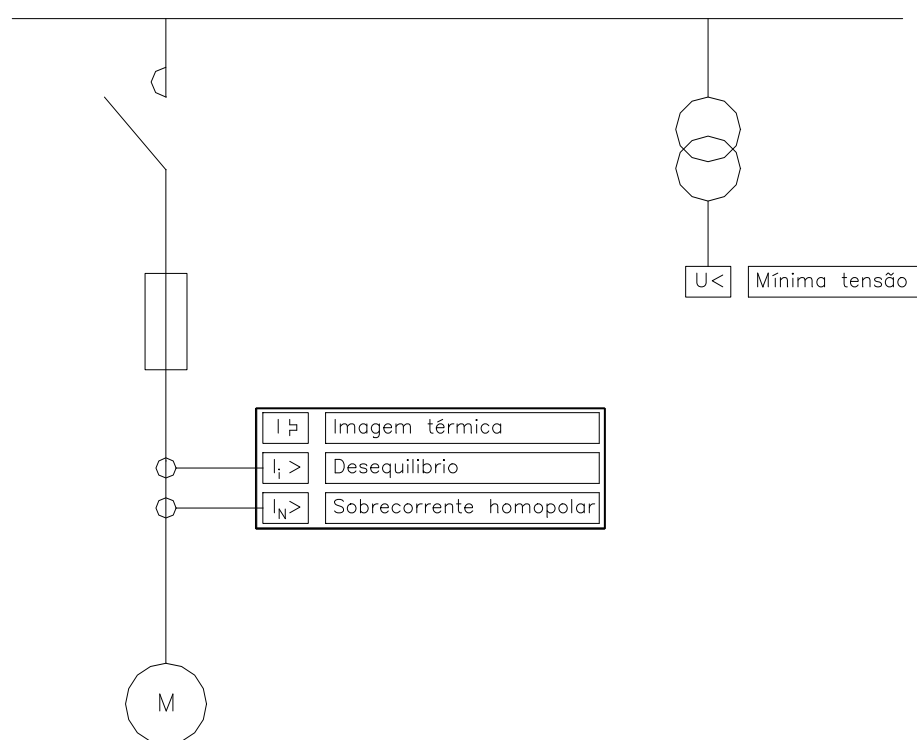


Figura 2- Proteções utilizadas no motor assíncrono controlado por contator.

4.2 - MOTOR ASSÍNCRONO CONTROLADO POR DISJUNTOR

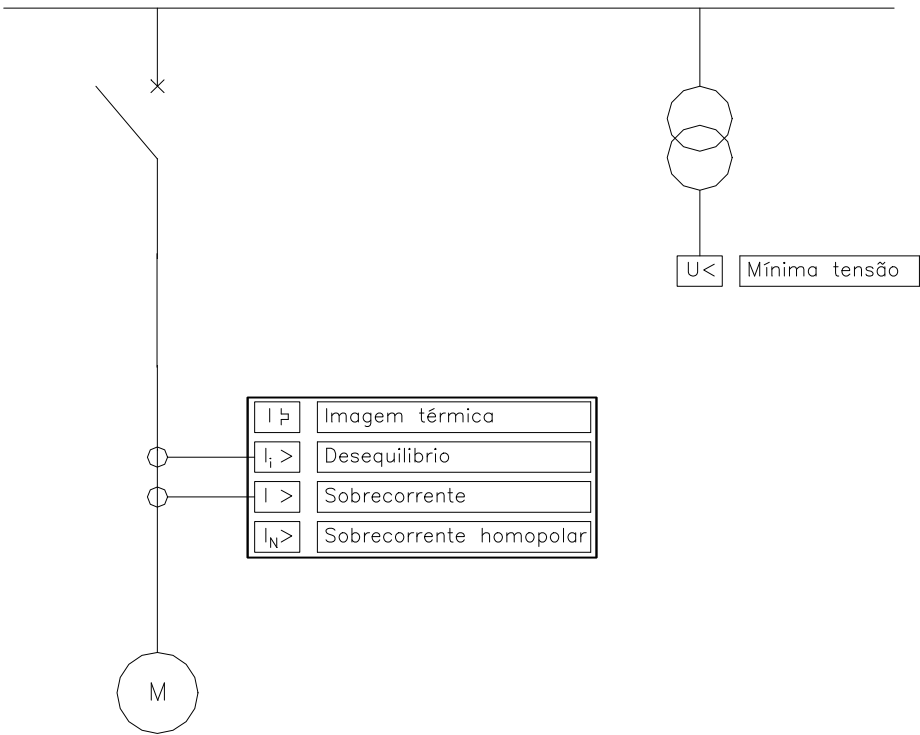


Figura 3 - Proteções utilizadas no motor assíncrono controlado por disjuntor.

4.3 - MOTOR SÍNCRONO OU ASSÍNCRONO DE POTÊNCIA ELEVADA

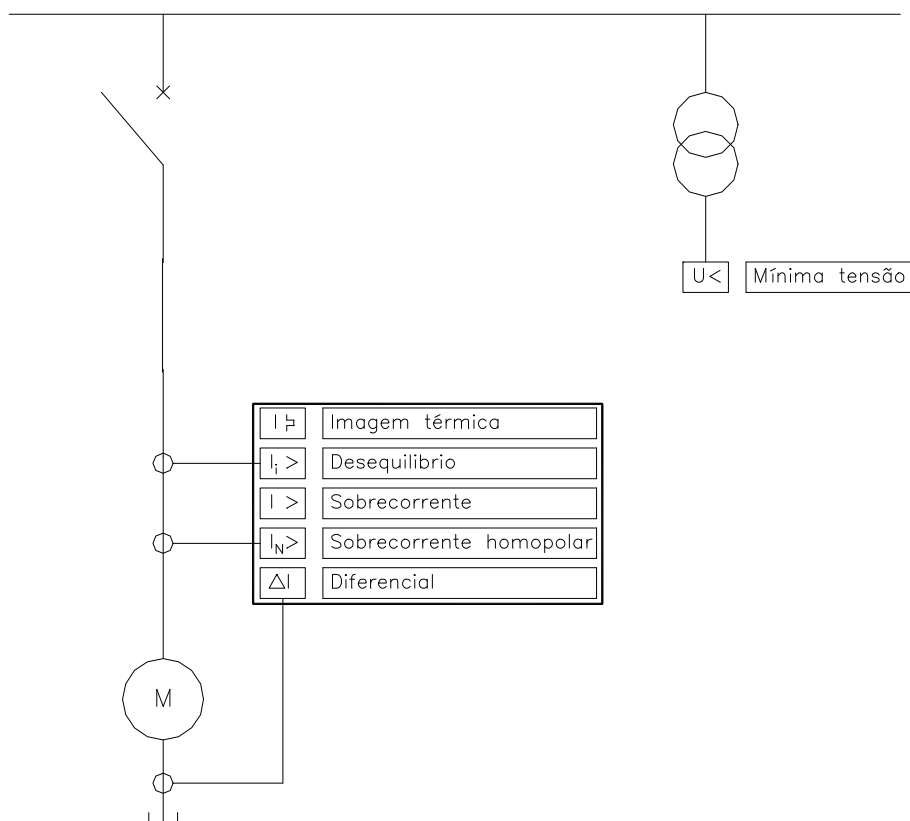


Figura 4- Proteções utilizadas no motor síncrono ou assíncrono de potência elevada.

Motores síncronos também incluem a proteção contra uma perda de sincronismo.

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.

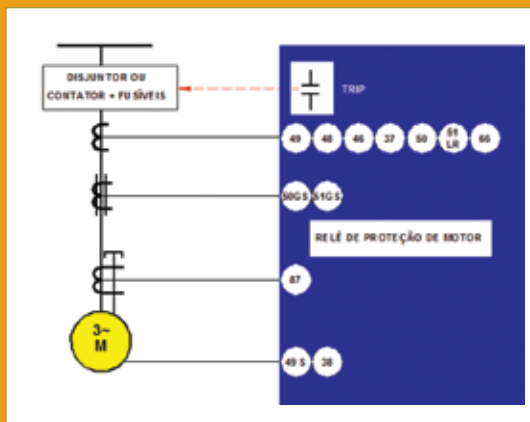


Figura 1 – Proteções típicas para motores de média tensão.

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
- 50 GS – Unidade instantânea “Ground Sensor”
- 51 GS – 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.

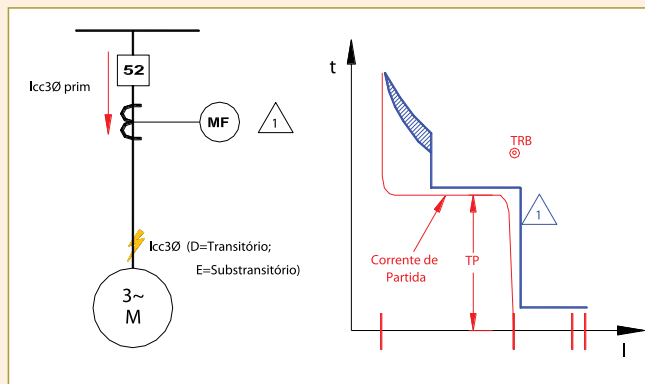


Figura 2 – Curva tempo versus corrente típica para proteção de motores de média tensão.

(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 $P \times V$ (Potência versus Tensão). Quando a tensão cai, a potência e a corrente também caem.

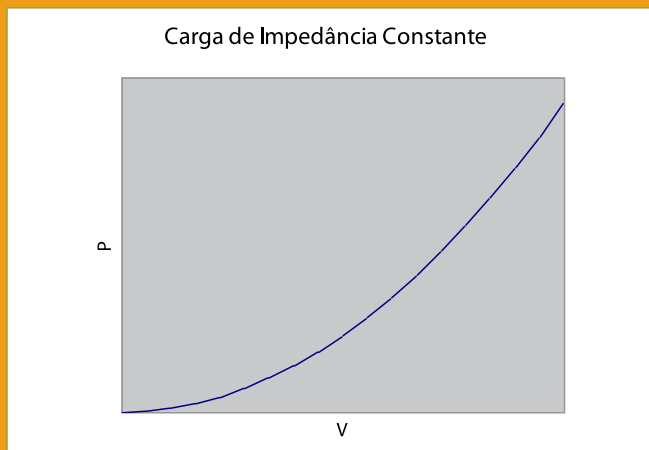


Figura 3 – Curva característica $P \times V$ (Potência versus Tensão) para motor de indução na partida.

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.

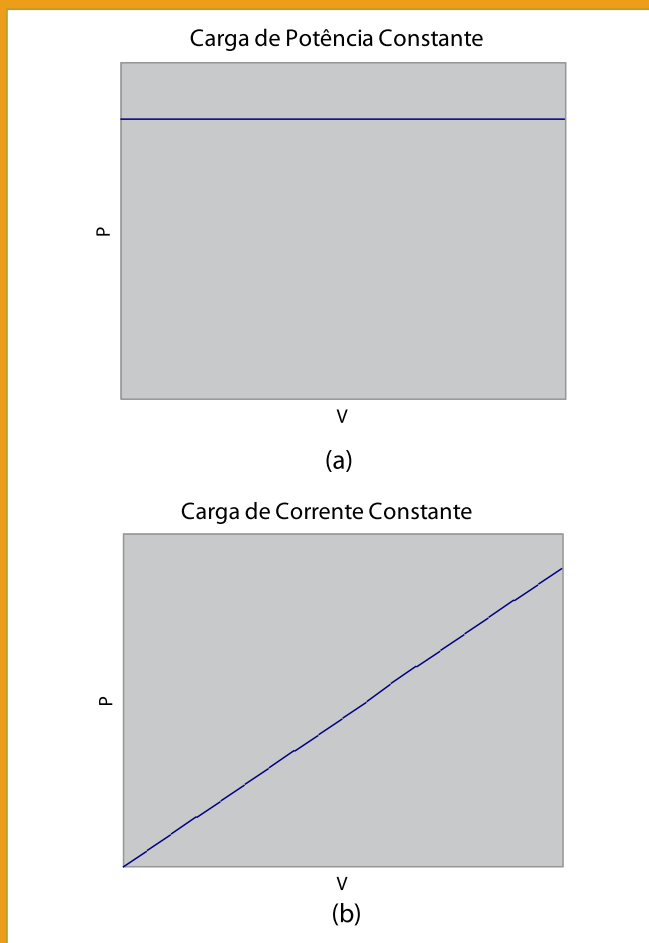


Figura 4 – Curva característica $P \times V$ (Potência versus Tensão) para o motor de indução:
(a) Comportamento da potência ativa e (b) Comportamento da potência reativa.

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

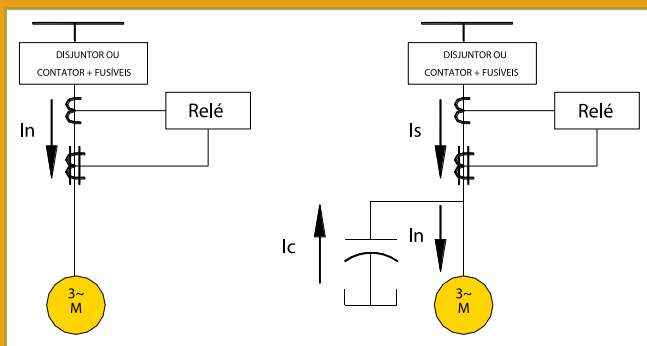


Figura 5 – Esquema unifilar de capacitores chaveados com o motor.

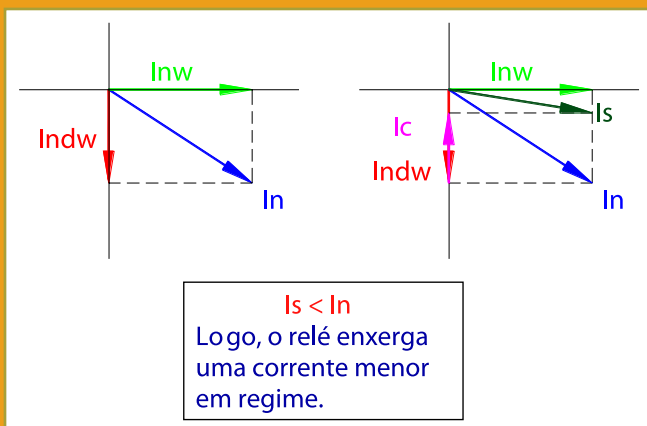


Figura 6 – Diagrama fasorial para o esquema unifilar apresentado na Figura 5.

“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.

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

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.

$$I50 = 1.1 \times 1.6 \times I_{P-SIMÉTRICA} = 1.76 \times I_{P-SIMÉTRICA}$$

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 contatores 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:

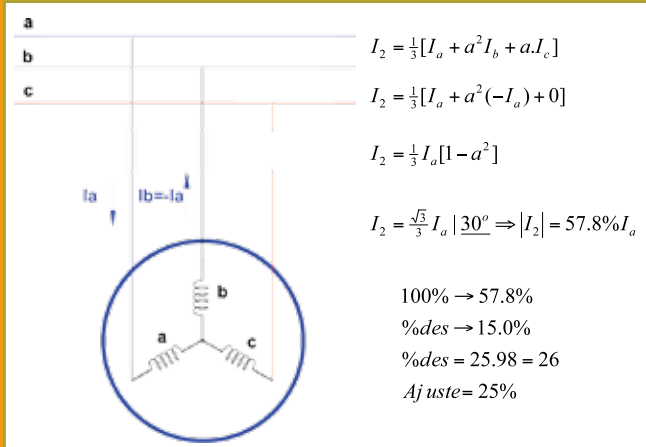


Figura 7 – Máxima corrente de sequência negativa no motor: perda de fase.

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)

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

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

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

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 contadores 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 permitida para esta classe é de 155 °C.

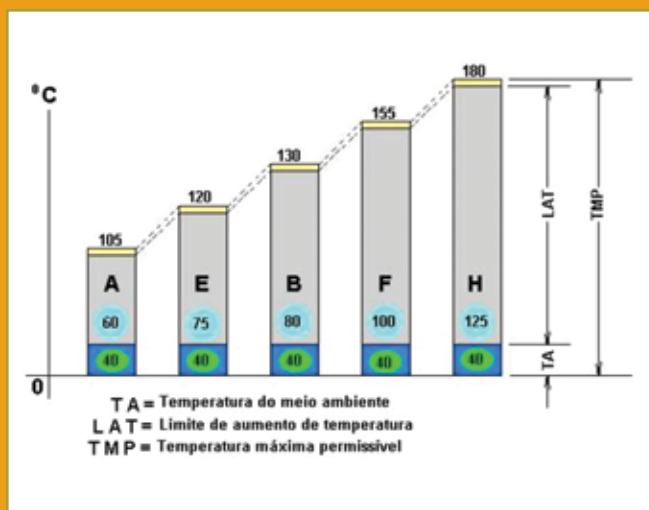


Figura 8 – Limites de temperaturas para as classes de isolamento.

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		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.

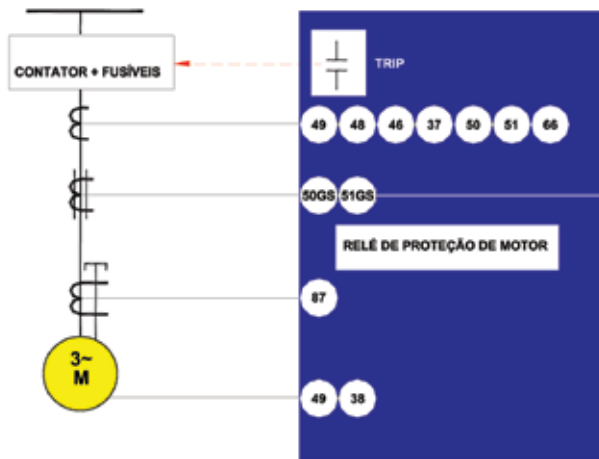
É importante observar que atualmente os relés digitais aplicados a motores de baixa tensão já vem com praticamente quase todas as funções de proteção dos motores de média tensão e, assim, devem seguir as mesmas recomendações descritas no item anterior.

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:

(A) MOTOR DE MÉDIA TENSÃO COM CONTATOR – AJUSTE DE FASE



Nota: Fusível máximo admissível 300% x $I_{N-MOTOR}$.

Função 49

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

Curva térmica: Acima de T_p ($> T_p$) e abaixo de T_{RB} .

Função 46

$$I_{46} \leq 0,15 \times I_{N-MOTOR} \text{ (ou 25\% de desequilíbrio)}$$

$$t_{46} = 3,5 \text{ s}$$

Função 48

$$I_{48} = (1,5 \text{ a } 2) \times I_{N-MOTOR}$$

$$1,1 \times T_p < t_{48} < T_{RB}$$

Função 51LR

$$I_{51LR} = (1,5 \text{ a } 2) \times I_{N-MOTOR}$$

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

Função 50

$$I_{50} = \infty \text{ (Bloqueado = Contator)}$$

$$t_{50} = \text{Máximo}$$

Função 38

$$\theta_{ALARME} = \theta_{CL-ISOL} - 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{TRIP} = \theta_{CL-ISOL} \text{ (kVN_MOTOR } \leq 7)$$

$$\theta_{TRIP} = \theta_{CL-ISOL} - 5 \text{ } ^\circ\text{C (kVN_MOTOR } > 7)$$

Função 37 (Só p/ Bomba Centrífuga)

$$I_{37} = 0,1 \times I_{N-MOTOR}$$

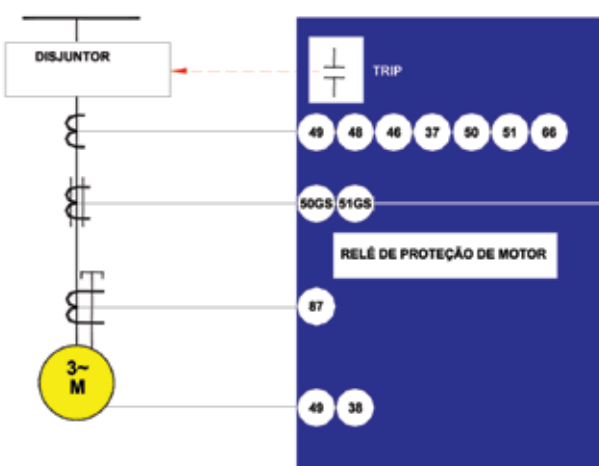
$$t_{37} = 3,5 \text{ s}$$

Função 66

$$Ajuste = 2 \text{ partidas/hora}$$

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

(B) MOTOR DE MÉDIA TENSÃO COM DISJUNTOR – AJUSTE DE FASE



Função 49

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

Curva térmica: Acima de T_p ($> T_p$) e abaixo de T_{RB} .

Função 46

$$I_{46} \leq 0,15 \times I_{N-MOTOR} \text{ (ou 25\% de desequilíbrio)}$$

$$t_{46} = 3,5 \text{ s}$$

Função 48

$$I_{48} = (1,5 \text{ a } 2) \times I_{N-MOTOR}$$

$$1,1 \times T_p < t_{48} < T_{RB}$$

Função 51LR

$$I_{51LR} = (1,5 \text{ a } 2) \times I_{N-MOTOR}$$

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

Função 50

$$I_{50} = 1,76 \times I_{P-SIMÉTRICA}$$

$$t_{50} = \text{Mínimo Ajuste Relé } (< 50 \text{ ms})$$

Função 38

$$\theta_{ALARME} = \theta_{CL-ISOL} - 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{TRIP} = \theta_{CL-ISOL} \text{ (kVN_MOTOR } \leq 7)$$

$$\theta_{TRIP} = \theta_{CL-ISOL} - 5 \text{ } ^\circ\text{C (kVN_MOTOR } > 7)$$

Função 37 (Só p/ Bomba Centrífuga)

$$I_{37} = 0,1 \times I_{N-MOTOR}$$

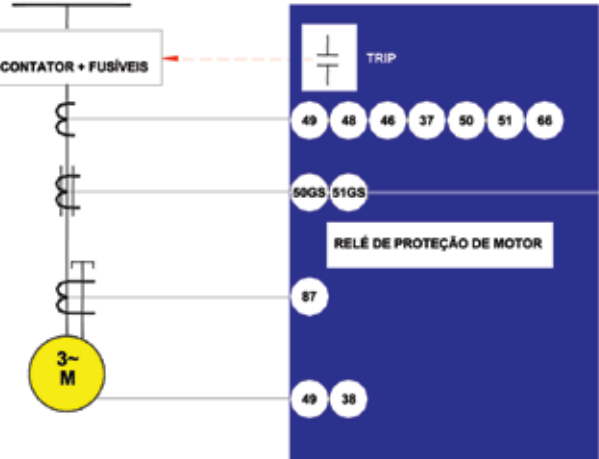
$$t_{37} = 3,5 \text{ s}$$

Função 66

$$Ajuste = 2 \text{ partidas/hora}$$

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

(C) MOTOR DE MÉDIA TENSÃO COM CONTATOR – AJUSTE DE TERRA



Função 51GS

$$I_{51GS} = 15 \text{ a } 20 \text{ A (} 0,2 \times I_{N-MOTOR} \text{)}$$

$t_{51GS} = 400 \text{ ms (se for aterrado por resistência)}$
(coordenar c/ fusível + contator se solidamente aterrado)

Função 50GS

$$I_{50} = \infty \text{ (Bloqueado)}$$

$$t_{50} = \text{Máximo}$$

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

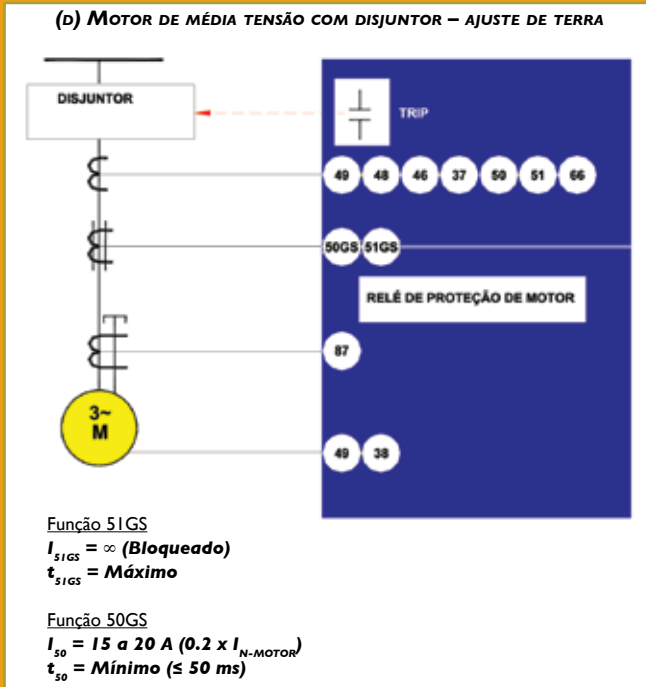


Figura 12 – Ajustes típicos de terra para motores de média tensão com disjuntor.

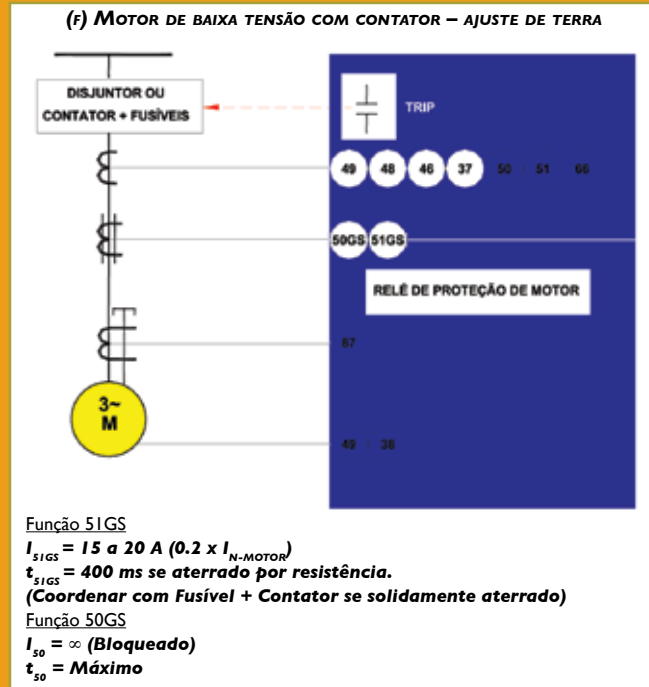


Figura 14 – Ajustes típicos de terra para motores de baixa tensão com contator e fusíveis.

- 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 EngPower® 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@atitudeeditorial.com.br

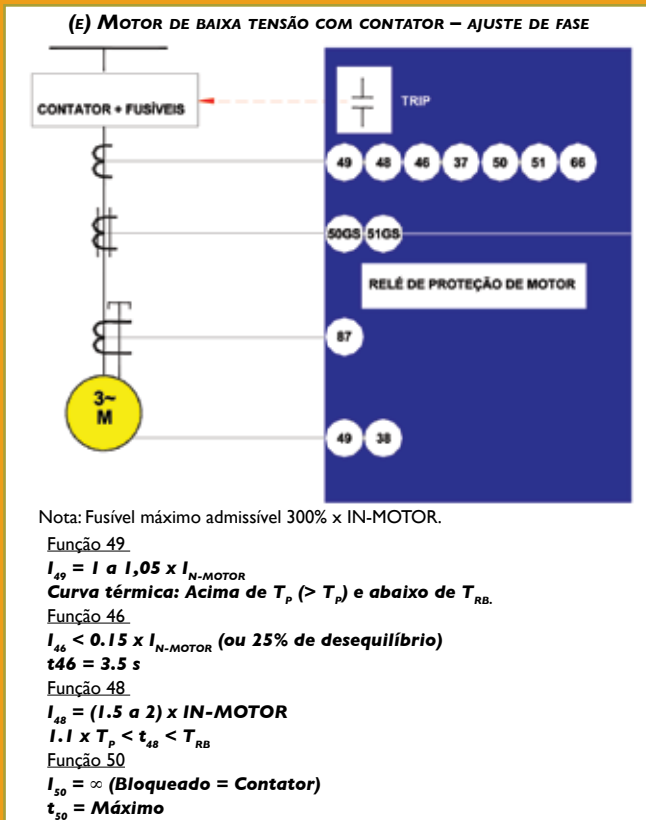


Figura 13 – Ajustes típicos de fase para motores de baixa tensão com contator e fusíveis.

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:

PROTEÇÃO DE MOTORES DE MÉDIA TENSÃO

PREMISSAS:

Para ajuste das proteções são necessários os valores de ajuste no primário e secundário dos TC's de proteção. Os valores do primário são usados para traçar as curvas de seletividade e coordenação. Os valores secundários para serem inseridos nos relés. Para desenvolver o estudo das proteções são necessários alguns dados iniciais.

DADOS INICIAIS:

Tipo de Relé de proteção a ser usado
Relação de transformação dos TC's
Relação de transformação dos TP's
Corrente e tensão nominal do motor a proteger
Corrente de partida do motor
Tempo de partida do motor
Tempo de rotor bloqueado
Fator de serviço do motor
Mínima corrente de curto-circuito fase terra

PRINCIPAIS FUNÇÕES DE PROTEÇÃO PARA MOTORES DE MÉDIA TENSÃO

PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DE FASE:

Função 51

Ajuste de referência em torno de 20% acima da corrente nominal do motor
Ajuste da curva de tempo = deve permitir a partida do motor e ficar abaixo do tempo de rotor travado.

Função 50

Ajuste de referencia em torno de 1,65 a 2,5 vezes a corrente de partida do motor e menor que o disjuntor a montante. Deve ser menor também que a corrente de curto circuito fase-fase nos terminais do motor.

PROTEÇÃO DE ALTA IMPEDÂNCIA:

Função 50 GS

Ajuste de referência abaixo da corrente de curto-circuito fase terra mínimo e acima do erro máximo do TC.

PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DE SEQUENCIA NEGATIVA:

Função 46

Ajuste de referência em torno de $I_2/I_1 = 20\%$ (Para $V_2/V_1 = 3\%$)

Tempo < Tempo rotor bloqueado

PROTEÇÃO CONTRA SOBRECARGA:

Função 49RMS

Ajuste em função da corrente elétrica consumida e do aquecimento do motor (constante térmica do motor).

Ajuste de referência em torno de 1,05 vezes a corrente nominal do motor (considerando o fator de serviço do motor).

Função 49T

Ajuste em função da classe de temperatura do motor. Proteção via termoresistencias (RTDs - PT100) ou termistores (PTC).

PROTEÇÃO PARTIDA LONGA (48) E ROTOR BLOQUEADO (51LR):

Ajuste de referência em torno de $2 \times I_n$ do motor

Tempo de ajuste em torno de 10% acima do tempo de partida do motor e menor que o tempo de rotor bloqueado

PROTEÇÃO CONTRA PARTIDAS MÚLTIPLAS:

Função 66

O número de partidas por hora deve atender o limite de partidas/hora estabelecido pelo fabricante do motor e deve atender também as características operacionais da planta. Normalmente é ajustado para 2 partidas/hora a frio e 1 partida/hora a quente

PROTEÇÃO CONTRA SUBTENSÃO:

Função 27

Normalmente instalada na barra do CCM, mas pode ser individual para cada motor.

Ajuste de referência em torno de 80% da tensão nominal. O tempo de atuação deve levar em consideração a situação de emergência da planta e garantias do fornecedor do motor. Ajustes de tempo normalmente utilizados de 3 a 5s.

EXERCÍCIO PROTEÇÃO DE MOTORES DE MÉDIA TENSÃO

DADOS INICIAIS:

1. Relé DIGITAL de proteção / In = 5A

Funções de proteção ANSI 27/46/48/49/50/51/50GS/66

Curvas temporizadas IEC para as função 51, com constante de tempo para as curvas (K) ajustável de 0,05-1,1 em degraus de 0,01

Curvas disponíveis:

Função	Ajustes
Característica de operação $t = \left(\frac{A}{(I^P - 1)} \right) \cdot k$ I = Imedido / Iajuste	k = 0.05 a 1.1 em degraus de 0.01
IEC - Normal inversa	A= 0.14 P= 0.02
IEC - Muito inversa	A= 13.5 P= 1.0
IEC - Extremamente inversa	A= 80.0 P= 2.0
IEC - Tempo-curto inversa	A= 0.05 P= 0.04
IEC - Tempo-longo inversa	A= 120 P= 1.0

2. TC's:

Fase: 600-5

Toróide: 100-5

3. TP's:

2400 $\sqrt{3}$ V / 120 $\sqrt{3}$ V

4. Corrente de curto circuito fase terra mínimo

IccFTmin = 15A

4. Motor trifásico para acionamento de um compressor de ar

Potência nominal = 880 kW

Tensão nominal = 2300V

FP nominal = 0,88

Constante de aquecimento = 59,6 minutos

Rendimento nominal = 0,92

Tempo de partida = 9s

Tempo máximo de rotor bloqueado = 15s

$I_p / I_n = 6$

Corrente de curto-circuito trifásica nos terminais do motor = 3,8 kA

Partida direta

- Elaborar o ajuste das funções de proteção disponíveis, bem como apresentar o coordenograma das proteções.

Curvas disponíveis para ajuste da função 49RMS no relé deste exercício:

Time/current
characteristics

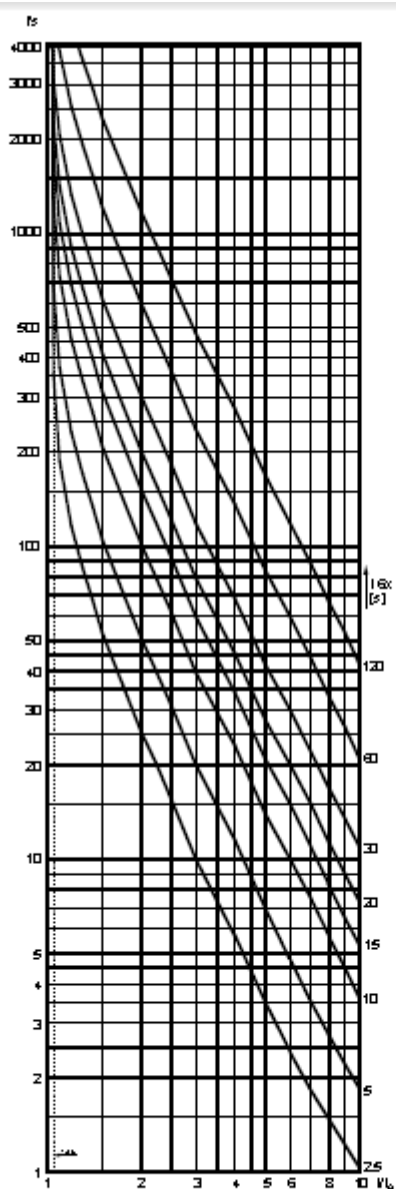


Fig. 1. Trip curves for the thermal unit with no prior load ("cold curve"); $p = 20 \dots 100\%$

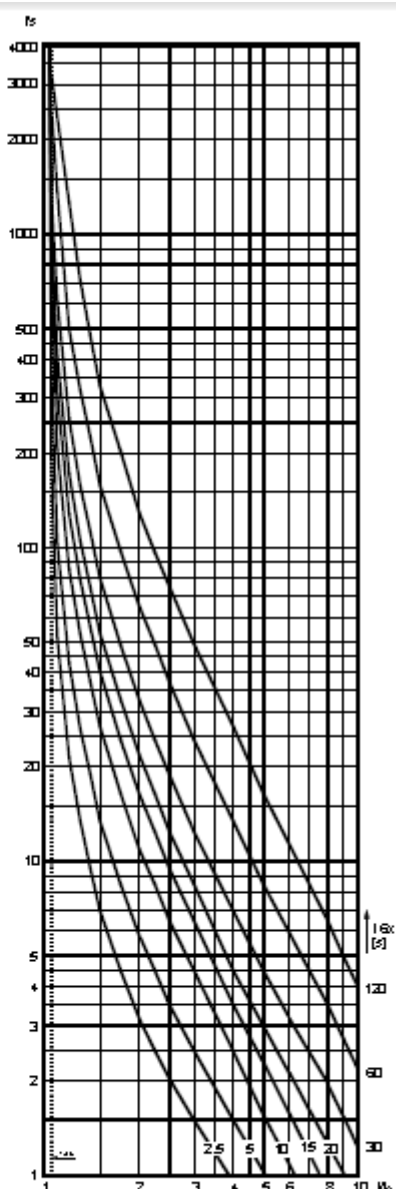


Fig. 2. Trip curves for the thermal unit with prior load $1.0 \times I_0$ ("hot curve") at $p = 100\%$.

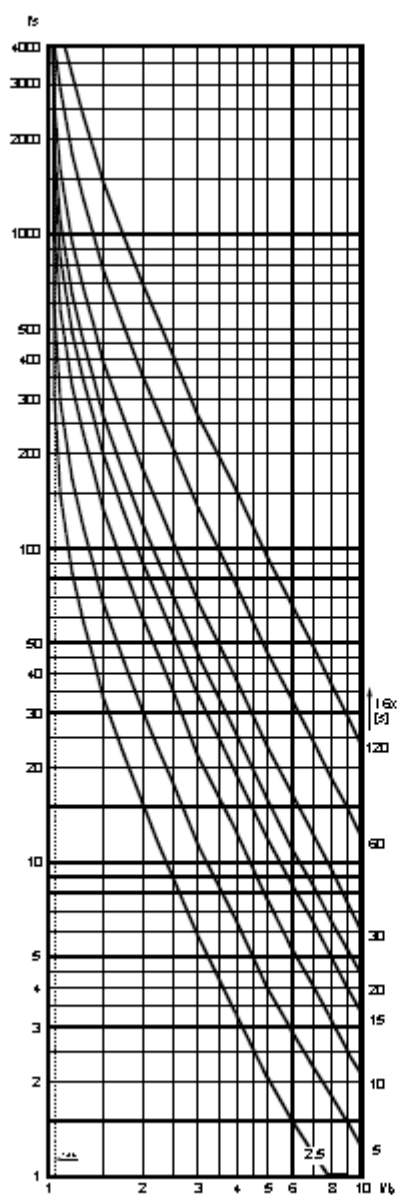


Fig. 3. Trip curves for the thermal unit with prior load $1.0 \times I_0$ ("hot curve") at $p = 50\%$.

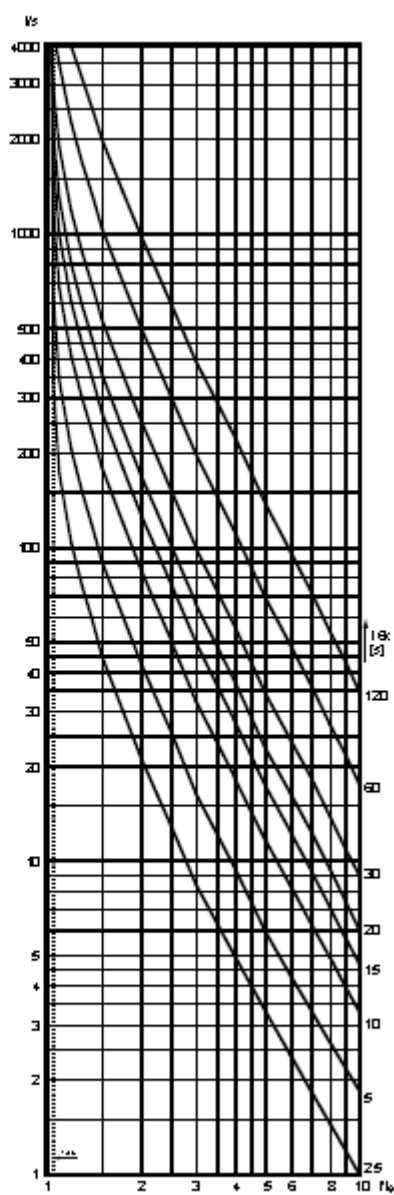


Fig. 4. Trip curves for the thermal unit with prior load $1.0 \times I_0$ ("hot curve") at $p = 20\%$.

Parâmetros de ajustes da função ANSI 66 no relé deste exercício:

Funções de proteção

Partidas por hora

Código ANSI 66

Funcionamento

Esta função é trifásica.

Ela é ativada quando o número de partidas atingir os seguintes limites:

- limite do número de partidas permitidas por um período de tempo (P) (Nt);
- limite do número de partidas consecutivas permitidas a quente (Nq);
- limite do número de partidas consecutivas permitidas a frio (Nf).

A função indica:

- o número de partidas ainda permitidas antes do limite, se a proteção não for ativada. O número de partidas dependendo do estado térmico do motor;
- o tempo de espera antes que uma partida seja autorizada, se a proteção for ativada.

A partida é detectada se a corrente consumida for superior a 10 % da corrente Ib.

Informações de operação

As seguintes informações estão disponíveis para o operador:

- o tempo de espera antes da liberação da partida;
- o número de partidas ainda permitidas.

Ver capítulo 'Funções de ajuda na operação das máquinas'.

O número de partidas consecutivas é o número de partidas contadas durante os últimos minutos P/Nt, sendo Nt o número de partidas permitidas por período. O estado a quente do motor corresponde a ultrapassagem do ajuste fixo (50 % de aquecimento) da função sobrecarga térmica. Durante a reaceleração do motor, o mesmo é submetido a um esforço similar ao de uma partida sem que a corrente passe primeiramente por um valor inferior a 10 % de Ib, e neste caso, o número de partidas não é incrementado. Entretanto é possível incrementar o número de partidas durante uma reaceleração por uma entrada lógica (entrada I22).

Características

Período de tempo (P)	
Ajuste	1 a 6 horas
Resolução	1
Número total de partidas Nt	
Ajuste	1 a 60
Resolução	1
Número de partidas consecutivas Nq e Nf	
Ajuste (1)	1 a Nt
Resolução	1
Temporização entre partidas T	
Ajuste	0 min. ≤ T ≤ 90 min.
Resolução	1 min. ou 1 dígito

(1) Com Nq ≤ Nf.

Constante de tempo	Aquecimento	T1: 1 a 120 minutos	T1: 1 a 120 minutos
	Resfriamento	T2: 5 a 600 minutos	T2: 5 a 600 minutos

