

PROTEÇÃO TÉRMICA DE MOTORES CA QUE NÃO POSSUEM OS DADOS DA ESPECIFICAÇÃO DO FABRICANTE

Copyright Material IEEE
Paper No. PCIC-2008-18

Ed Lebenhaft, P.E.
Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.
2350 NE Hopkins Court
Pullman, WA 99163, USA

Mark Zeller
Member, IEEE
Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.
2350 NE Hopkins Court
Pullman, WA 99163, USA

Sumário—Este artigo propõe um procedimento de duas etapas para estimar parâmetros críticos de motores CA que não possuem os dados das especificações do fabricante. Frequentemente, os usuários não possuem as especificações do motor necessárias para propiciar alto nível de proteção e desempenho do motor. O fabricante pode nunca ter fornecido as informações do motor, ou a documentação pode ter sumido. Este método fornece aos usuários do motor uma forma de estimar as informações perdidas ou não fornecidas.

Palavras-chave—proteção térmica, proteção do motor, motores CA.

I. INTRODUÇÃO

Os relés digitais de proteção de motores oferecem ao usuário inúmeras vantagens:

- Proteção precisa
- Medição precisa
- Relatórios detalhados das partidas e eventos
- Dados históricos referentes ao sistema de potência
- Dados históricos referentes ao equipamento protegido
- Comunicação com um computador externo

Para obter essas vantagens, os relés requerem os dados mais importantes do motor para customizá-los à aplicação do motor e a um sistema de potência específico. No mundo real da indústria, infelizmente, os dados dos fabricantes de motores não estão sempre disponíveis.

Este artigo propõe uma forma de superar esta falta de dados. Inicialmente, o relé é ajustado através de ajustes conservadores, baseando-se na experiência prática de campo; posteriormente, esses ajustes são refinados usando-se os dados do histórico do motor que foram coletados pelo relé de proteção digital do motor.

II. INFORMAÇÕES DOS DADOS DE PLACA DO MOTOR

Para uma operação segura de qualquer motor CA, é necessária certa quantidade de informações. O Código Elétrico Nacional (“National Electric Code”) requer a inclusão de informações específicas nos dados de placa dos motores. Essas informações incluem: fabricante, tensão nominal, corrente a plena carga, frequência, fase, rpm, aumento da temperatura ou classe de isolamento e temperatura ambiente, regime de serviço, potência nominal em HP e letra do código do rotor travado. Informações adicionais normalmente incluem o fator de serviço, tipo de invólucro, diagramas de

conexão, dimensões e outras informações específicas do motor.

Entretanto, os dados de placa não exibem todas as informações necessárias para ajustar um relé de proteção digital de motores. O comissionamento de um motor sem esses dados não representa um cenário de ajuste da proteção efetuado “by the numbers”, ou seja, não fornece ajustes precisos. Mesmo sem um conjunto completo de dados, que somente estão disponíveis nas especificações dos motores, o procedimento seguinte pode fornecer uma proteção adequada para a maioria dos motores CA.

Duas considerações são incluídas nas premissas básicas deste trabalho. Primeiro, os autores estão assumindo que o motor é dimensionado adequadamente para a aplicação específica. Segundo, eles assumem que o dispositivo de partida (“starter”) e o(s) cabo(s) são dimensionados para conduzir a corrente necessária, bem como permitir a partida segura do motor sem uma queda de tensão excessiva.

III. PARÂMETROS IMPORTANTES DO MOTOR (TENSÃO NOMINAL)

A tensão nominal do motor tem um impacto direto na proteção apropriada de um motor. Durante a partida, a tensão reduzida da barra provoca um torque de partida reduzido, resultando, potencialmente, na perda de velocidade (“stalled”) do rotor. Durante a operação, a tensão reduzida da barra provoca um aumento da corrente do motor, resultando potencialmente numa sobrecarga.

Ajuste a tensão no valor da tensão nominal do sistema e ajuste o trip por subtensão em 80% da tensão nominal. Este ajuste permitirá a partida do motor e ainda fornecerá proteção para o motor se o sistema não puder manter a tensão e suportar a demanda de corrente do motor.

IV. PARÂMETROS IMPORTANTES DO MOTOR (DESBALANÇO DE CORRENTE)

Um motor de indução operando corretamente deve ter uma corrente trifásica equilibrada. O desbalanço das correntes do motor, causado pelo desbalanço da tensão de alimentação, gera o aquecimento excessivo do rotor. Ajuste o desbalanço de corrente em 24%, com um retardo de 30 segundos. Recomenda-se também ajustar o alarme de desbalanço em 12%, com um retardo de 30 segundos.

Tenha em mente que um desbalanço de tensão de 1% causa aproximadamente um desbalanço de corrente de 6% nos motores.

V. CLASSES NEMA PARA PROJETO DE MOTORES

A NEMA (“National Electrical Manufacturers Association”) desenvolveu especificações para denominar os tipos de motores NEMA A, B, C e D (“NEMA Design A, B, C, and D”) [1]. Esses projetos são baseados na padronização de certas características dos motores, tais como corrente de partida, escorregamento e pontos de torque especificados (Fig. 1).

- **Classe A (“Design A”)** tem torque de partida normal (tipicamente 150 a 170% do valor nominal) e corrente de partida relativamente alta. O conjugado máximo (“breakdown torque”) é o mais alto de todos os tipos NEMA. Pode suportar sobrecargas pesadas por um curto período de tempo. O escorregamento é $\leq 5\%$. Uma aplicação típica consiste na alimentação de máquinas de moldagem por injeção.
- **Classe B (“Design B”)** é o tipo mais comercializado de motor de indução CA. Ele tem torque de partida normal, similar ao da Classe A, porém oferece corrente de partida baixa. O torque com rotor travado é suficiente para partir diversas cargas encontradas nas aplicações industriais. O escorregamento é $\leq 5\%$. A eficiência do motor e o fator de potência a plena carga são comparativamente altos, contribuindo para a popularidade do projeto. Aplicações típicas incluem bombas, ventiladores e máquinas-ferramentas.
- **Classe C (“Design C”)** tem torque de partida elevado (maior do que as duas classes anteriores, de aproximadamente 200%), útil para acionar cargas com arranque pesado (“breakaway”). Esses motores são projetados para operar perto da velocidade máxima sem sobrecargas altas. A corrente de partida é baixa. O escorregamento é $\leq 5\%$.
- **Classe D (“Design D”)** tem torque de partida elevado (o mais alto de todos os tipos de motores NEMA). A corrente de partida e a velocidade a plena carga são baixas. Valores elevados do escorregamento (5 a 13%) tornam este motor adequado para aplicações com cargas variáveis e consequentes mudanças bruscas na velocidade do motor, tais como nas máquinas com armazenamento de energia baseado em *flywheels* (“Baterias eletromecânicas”). Diversas subclasses do projeto abrangem a ampla faixa de escorregamento. Este tipo de motor é normalmente considerado um item de “aquisição especial”.

Tipicamente, a denominação das classes NEMA é uma grandeza dos dados de placa. Usando as informações fornecidas pela NEMA sobre a classe do motor e torque esperado, podemos derivar um ponto de partida razoável para a proteção do motor.

Embora os motores associadas às Classes A e B sejam similares, eles têm algumas diferenças significativas. O mais comum de todos os modelos, os motores da Classe B, têm que estar em conformidade com certas especificações da Norma NEMA MG1. Essas especificações limitam o projeto a um escorregamento não maior do que 5% e estabelecem limites mínimos do torque durante a partida e aceleração. As normas também definem a máxima corrente do rotor travado permitida, também conhecida como corrente de partida. A especificação da Classe A é idêntica, exceto que os motores não são limitados a nenhuma corrente máxima do rotor travado.

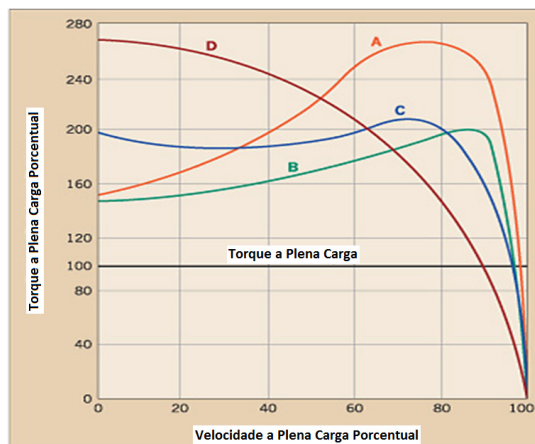


Fig. 1 O Torque é Proporcional ao Quadrado da Corrente do Motor, $Q = (I^2R)/S$

Os códigos para motores das classes NEMA especificam a faixa de kVA por HP, conforme medida para frequência nominal e tensão nominal do motor. Por exemplo, o Código G tem a faixa de 5.6 a 6.3 kVA/HP.

VI. PARÂMETROS CRÍTICOS DO MOTOR PARA O ELEMENTO DE PARTIDA (PROTEÇÃO DO ROTOR)

Dois parâmetros são requeridos para uma proteção correta e segura de um motor CA durante a partida:

- Corrente do motor com rotor travado (“Motor locked-rotor current” – LRA)
- Tempo seguro do limite térmico do motor por perda de velocidade para valores acima de LRA (T_{stall})

Nenhum desses parâmetros é uma grandeza dos dados de placa, ainda que ambos sejam críticos para a partida, que é a condição mais perigosa e estressante do motor.

VII. COMO AJUSTAR O ELEMENTO DE PARTIDA SEM OS PARÂMETROS CRÍTICOS DO FABRICANTE

Os ajustes são obtidos por meio de duas iterações.

A. Iteração 1

Para motores de indução, ajuste $LRA = 6.0 \cdot FLA$ e $T_{stall} = 10$ s.

Para motores síncronos, ajuste $LRA = 4.0 \cdot FLA$ e $T_{stall} = 5.0$ s.

Após o processo de partida inicial, desligue o motor e analise o relatório de partida do motor (“motor start report” – MSR) fornecido pelo relé digital. Verifique a corrente de *inrush*, o afundamento de tensão e o tempo de partida. Confirme se os ajustes da proteção usados na primeira iteração são razoavelmente próximos aos valores reais registrados no relatório de partida do motor. Veja as informações das partidas do motor, conforme apresentadas no formato estatístico ou gráfico (Fig. 2 e Fig. 3).

B. Iteração 2

Após confirmar os ajustes iniciais e ajustar conforme for necessário, continue o processo de comissionamento. Efetue a partida do motor diversas vezes para dar ao relé a chance de capturar as partidas no MSR. Dê um tempo para o resfriamento entre as partidas.

```

=>MSR 1 <Enter>

XXX-XXX                               Date: 01/14/2007   Time: 11:34:17.794
MOTOR RELAY                             Time Source: internal

FID=XXX-XXX-R200-V0-Z001001-D20031210

Date of Motor Start                      01/14/2007
Time of Motor Start                      11:21:54.298
Number of Starts                          1
Start Time (s)                           4.6
Start %TCU                               40
Max Start I (A)                          403
Min Start V (V)                          3920
Cycle, IA (A), IB (A), IC (A), IN (A), VAB (V), VBC (V), VCA (V), %TCU
5.00, 406,404,403,0,3922,3963,3908,16.6 ... ..
10.00,404,406,404,0,3925,3922,3929,16.6... ..
30.00,386,387,386,0,3930,3937,3933,20.2 ... ..
.
.
.

```

Fig. 2 Exemplo do Relatório Numérico de Partida do Motor (Parcial)

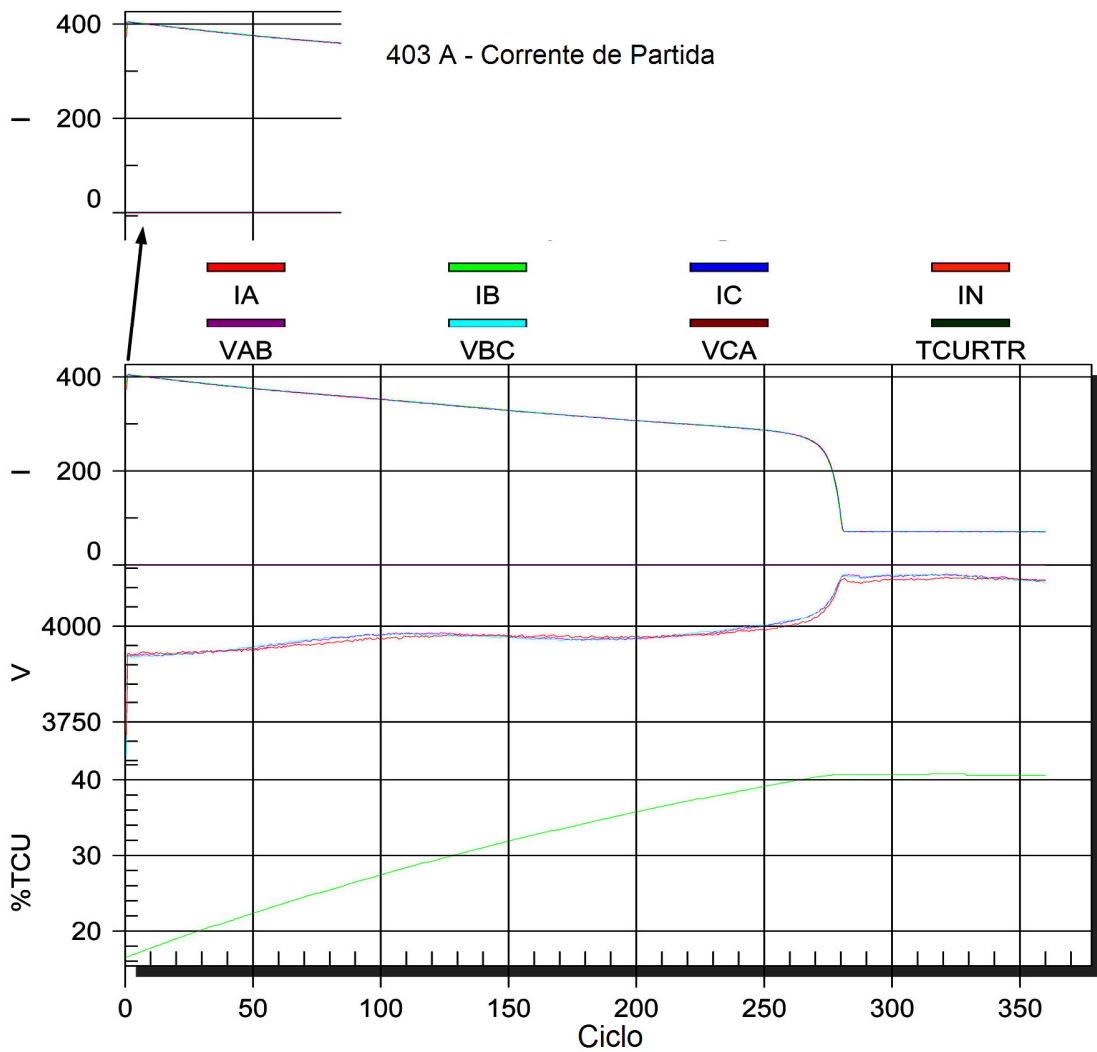


Fig. 3 Exemplo do Relatório Gráfico de Partida do Motor

Após a partida, o relé vai coletar os dados, incluindo as correntes, tensões e capacidade térmica porcentual usada em intervalos pré-especificados. Os dados são armazenados em memória não volátil.

Após partir o motor diversas vezes, acesse o relé usando um laptop e analise os MSRs.

Observe as correntes de 5 ciclos. A média da corrente trifásica dividida pela FLA ("Full-load current" – Corrente a plena carga) do motor é a LRA real deste motor. Substitua a grandeza estimada previamente por este número real.

Em seguida, observe o tempo de partida do motor. Efetue a média do mesmo somando os tempos e dividindo pelo número de MSRs utilizados. Adicione 3 segundos ao tempo de partida para motores de indução e 2 segundos para motores síncronos. Este é seu novo T_{stall} . Substitua o valor anterior pelo seu valor calculado de T_{stall} .

Em resumo, os parâmetros permanentes críticos do elemento de partida deste motor são:

$$LRA = (IA + IB + IC)/(3 \cdot FLA)$$

T_{stall} = tempo médio de partida + 3 s para motores de indução

T_{stall} = tempo médio de partida + 2 s para motores síncronos

Após cinco partidas com sucesso, analise o relatório estatístico do motor (Fig. 4); se necessário, use esses dados para refinar os ajustes da proteção.

```

=>>MOT <Enter>

XXX-XXX          Date: 01/14/2007   Time: 11:35:03.024
MOTOR RELAY      Time Source: external
Operating History (elapsed time in ddd:hh:mm) Since: 01/12/2007 11:21:54
Running Time     39:07:41
Stopped Time     9:06:17
Time Running     81.1%
Number Of Starts                2
Number Of Emergency Starts      0

Average      Peak
Start Time (s)      4.5      4.7
Max Start I (A)     405      411
Min Start V (V)     3925     3920
Start % TCU         40.9     43.5
Running % TCU       91.9     94.8
    •
    •
    •
    •
    
```

Fig. 4 Exemplo do Relatório Estatístico de Operação do Motor (Parcial)

VIII. PARÂMETROS CRÍTICOS DO MOTOR PARA O ELEMENTO DE OPERAÇÃO (PROTEÇÃO DO ESTATOR)

Três parâmetros do motor são requeridos para a proteção correta e segura de um motor CA durante a operação:

- Corrente a plena carga (FLA)
- Fator de serviço ("Service factor" – SF)
- Constante térmica do tempo de operação τ_{th} ("Thermal running time constant" – RTC)

Das três, somente RTC não é uma grandeza dos dados de placa.

IX. COMO AJUSTAR O ELEMENTO DE OPERAÇÃO SEM OS PARÂMETROS CRÍTICOS DO FABRICANTE

Ajuste a corrente a plena carga exatamente como ela aparece nos dados de placa.

Se o motor tiver um SF de 1.0, ajuste o relé em 1.01. Se as flutuações da tensão da barra forem uma preocupação, este número pode ser aumentado até o valor de 1.05 para compensar o aumento da corrente durante condições de tensão reduzida.

Se o motor tiver um SF maior do que 1.0 (1.15, 1.25, etc.), efetue o ajuste com este valor. Não efetue a compensação para possíveis condições de tensão reduzida.

Para ajustar RTC, se o relé tiver um modo AUTO, ajuste RTC = AUTO. Se o modo AUTO não estiver disponível, ajuste RTC = 20 minutos.

X. EXEMPLO: MOTOR DE UMA BOMBA DE 400 HP

O motor do exemplo é uma bomba de extração de condensado de 400 HP. Embora esta fosse uma instalação de um motor novo, o fabricante do motor não forneceu as curvas dos limites térmicos do mesmo. Os únicos dados disponíveis deste motor foram tirados dos respectivos dados de placa. Os dados de placa necessários para ajustar a proteção foram:

- Corrente a plena carga = 71 A
- Letra do código / kVA do rotor travado = G
- Fator de serviço = 1.0
- Regime de serviço = contínuo
- RPM para carga nominal (velocidade nominal) = 1189 rpm
- Tensão = 4160 V

Os ajustes iniciais do modelo térmico para o relé estão resumidos na TABELA I.

TABELA I
AJUSTES INICIAIS DO RELÉ DO MOTOR DE UMA BOMBA DE EXTRAÇÃO DE CONDENSADO

Ajuste	Valor Inicial
FLA	71 A
LRA	6 • FLA
SF	1.01
Limite Térmico com Rotor Travado	10 s
Trip por Subtensão	80% da Nominal
Trip por Desbalanço de Corrente	24%

O relatório de partida do motor está mostrado na Fig. 2. O tempo de aceleração real do motor foi de aproximadamente 4.6 segundos e, conforme esperado, com um tempo seguro programado do limite de aquecimento com rotor travado de 10 segundos, a capacidade térmica usada na partida foi baixa, cerca de 41%.

A corrente registrada do rotor travado foi de 403 A (5.7 • FLA).

Usando essas informações, os ajustes do relé foram modificados para estreitar a proteção térmica do motor. Os ajustes finais são apresentados na TABELA II.

TABELA II
AJUSTES FINAIS DO RELÉ DO MOTOR DE UMA BOMBA DE EXTRAÇÃO DE CONDENSADO

Ajuste	Valor Final
FLA	71 A
LRA	5.7 • FLA
SF	1.01
Limite Térmico com Rotor Travado	8 s
Trip por Subtensão	80% da Nominal
Trip por Desbalanço de Corrente	24%

XI. PROTEGENDO O MOTOR—UMA VISÃO GERAL DO MODELO TÉRMICO DE PRIMEIRA ORDEM [2] [3]

A Fig. 5 ilustra o modelo térmico de primeira ordem. Os principais componentes do modelo são os seguintes:

- Fonte de calor: o fluxo de calor a partir da fonte é $I^2 r$ watts (J/s).
- Capacitância térmica (C_{th}): representa um motor com capacidade (C_{th}) de absorver calor da fonte de calor. A unidade da capacitância térmica é J/°C.
- Resistência térmica (R_{th}): representa o calor dissipado por um motor no seu ambiente. A unidade da resistência térmica é °C/W.
- A temperatura do sistema é U (°C).
- Comparador: compara a temperatura calculada do motor por unidade (pu) com um valor pré-ajustado baseado nos dados do fabricante do motor.

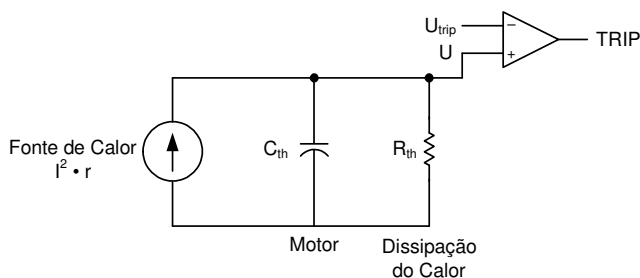


Fig. 5 Modelo Térmico de Primeira Ordem

Uma análise quantitativa deste modelo estabelece que o calor produzido pela fonte de calor é transferido para o motor, que dissipa o calor no ambiente adjacente.

A análise quantitativa é definida por uma equação diferencial linear de primeira ordem similar a um circuito elétrico RC paralelo, e é:

$$I^2 r = C_{th} \cdot \frac{dU}{dt} + \frac{U}{R_{th}} \quad (W) \quad (1)$$

Os motores são constituídos de dois componentes principais—estator e rotor.

A função do estator é produzir um campo magnético de rotação (na frequência da linha) no entreferro e induzir uma tensão nas barras do rotor, a qual produz um fluxo de corrente nessas barras.

A corrente do rotor produz um campo magnético próprio. O campo magnético do rotor está a 90 graus do campo magnético do entreferro, gerando assim um torque tangencial à superfície do rotor e produzindo uma força rotacional que gira o eixo.

Como a construção do estator é diferente do rotor, sua característica térmica também é diferente. Para acomodar esta diferença importante nas propriedades térmicas do estator e rotor, o modelo térmico de primeira ordem foi refinado em relação aos dois elementos seguintes:

- Elemento de partida, que protege o rotor durante a sequência de partida.
- Elemento de operação, que protege o estator quando o motor está na iminência de acelerar e operar.

O trip do motor é chaveado de um elemento para outro com 2.5 vezes a corrente nominal a plena carga do motor.

XII. APLICANDO O MODELO TÉRMICO DE PRIMEIRA ORDEM PARA PARTIDA DO MOTOR (PROTEÇÃO DO ROTOR)

É amplamente aceito que a sequência de partida de um motor CA é considerada um processo adiabático (sem perdas). A partida deposita uma enorme quantidade de calor (até cem vezes o aquecimento nominal) nas barras do rotor, enquanto a duração da sequência de partida, em magnitude, é menor do que as constantes de tempo térmicas do motor. Logo, qualquer calor depositado no rotor não será dissipado no ambiente durante a sequência de partida. (Será dissipado posteriormente, quando o motor estiver na iminência de acelerar e operar.)

Aplicando esta suposição ao modelo térmico de primeira ordem detalhado na Fig. 5, estamos dizendo efetivamente que a resistência térmica do motor durante a partida é infinita ($R = \infty$).

Substituindo esta condição em (1) e convertendo-a em grandezas pu através da substituição $r = C_{th} = 1$, temos:

$$dU = I^2 \cdot dt \quad (°C \text{ pu}) \quad (2)$$

A solução desta integral genérica é:

$$U = I^2 \cdot t \quad (°C \text{ pu}) \quad (3)$$

Os fabricantes do motor fornecem as informações dos limites térmicos do rotor como parte dos dados do motor. O limite térmico do rotor é expresso em termos do tempo máximo (T_{STALL}) que a corrente com rotor travado (I_{LRA}) correspondente pode ser aplicada a um motor.

Aplicando isto a (3):

$$I = I_{LRA} \quad (\text{corrente do rotor travado, em pu})$$

$$t = T_{STALL} \quad (\text{Tempo seguro para perda de velocidade, em segundos})$$

$$U_{trip} = I_{LRA}^2 \cdot T_{STALL} \quad (°C \text{ pu}) \quad (4)$$

Comparando esta máxima temperatura permissível de $I_{LRA}^2 \cdot T_{STALL}$ com uma temperatura medida $I^2 \cdot t$ durante uma partida:

$$I^2 \cdot t = I_{LRA}^2 \cdot T_{STALL}$$

Resolvendo para t resulta em uma curva da máxima temperatura do rotor permitida para qualquer corrente $I > 2.5$ FLA. Portanto, t é o tempo de trip t_{trip} :

$$t_{trip} = \frac{I_{LRA}^2}{I^2} \cdot T_{STALL} \quad (5)$$

Incorporando todas as mudanças acima à Fig. 5 resulta em um elemento de partida do modelo térmico de primeira ordem, conforme ilustrado na Fig. 6.

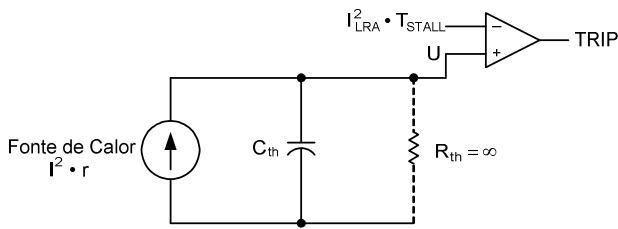


Fig. 6 Elemento de Partida

XIII. APLICANDO O MODELO TÉRMICO DE PRIMEIRA ORDEM PARA OPERAÇÃO DO MOTOR (PROTEÇÃO DO ESTATOR)

Logo que o motor atinge a velocidade máxima, a corrente diminui e o motor está no estado de operação, o modelo térmico de primeira ordem chaveia o trip do elemento de partida para o elemento de operação.

A equação (1) e a Fig. 5 são aplicadas ao elemento de operação. A equação (1) é uma equação diferencial linear de primeira ordem. Rearranjando, convertendo para pu, e resolvendo a equação fornece a seguinte solução:

$$U(t) = I_0^2 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_{th}}} + I^2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{th}}} \right) \quad (\text{pu } ^\circ\text{C}) \quad (6)$$

onde:

$U(t)$ = temperatura em pu como uma função do tempo

I_0 = corrente inicial em pu (quando ocorre sobrecarga)

I = corrente de sobrecarga em pu

τ_{th} = RTC do motor (constante térmica do tempo de operação)

Uma apresentação mais útil de (6) para os engenheiros de relés de motores consiste no tempo (t) no qual o elemento de operação vai alcançar a temperatura $U(t)$.

Reescrevendo (6) fornece:

$$t = \tau_{th} \cdot \ln \left[\frac{I^2 - I_0^2}{I^2 - U(t)} \right] \quad (\text{s}) \quad (7)$$

Numa linguagem simples, (7) estabelece que o tempo necessário para atingir $U(t)$ é calculado pela multiplicação da

RTC do motor pelo logaritmo natural da diferença entre a temperatura final em pu e a temperatura inicial em pu, dividido pela diferença entre a temperatura final em pu e a temperatura em pu no instante t .

Dois fatos importantes a serem lembrados são:

- A base deste sistema em pu é a corrente a plena carga do motor.
- Uma faixa válida para $U(t)$ está entre a temperatura inicial em pu I_0^2 e a temperatura final em pu I^2 .

Vamos também simplificar (7) para melhor adequar às aplicações de proteção de motores.

Os fabricantes indicam o SF da máquina nos dados de placa de todos os motores. Ainda que a interpretação exata do SF seja vaga, uma coisa é certa—qualquer corrente do motor maior do que $SF \cdot FLA$ é considerada uma condição de sobrecarga em operação. Transformando em U_{trip} , uma temperatura máxima em pu para a qual o motor é projetado e pode sustentar:

$$U(t) = U_{trip} = (SF \cdot I_{FLA})^2 \quad (\text{pu } ^\circ\text{C}) \quad (8)$$

Como $I_{FLA} = 1$ pu, a expressão acima é simplificada ainda mais para:

$$U_{trip} = SF^2 \quad (\text{pu } ^\circ\text{C}) \quad (9)$$

Substituindo (9) em (7) resulta na equação final do elemento de operação do modelo térmico de primeira ordem. Isso representa o tempo máximo que um motor pode permanecer numa condição de sobrecarga, logo $t = t_{trip}$.

$$t_{trip} = \tau_{th} \cdot \ln \left[\frac{I^2 - I_0^2}{I^2 - SF^2} \right] \quad (\text{s}) \quad (10)$$

O elemento de operação do modelo térmico está mostrado na Fig. 7.

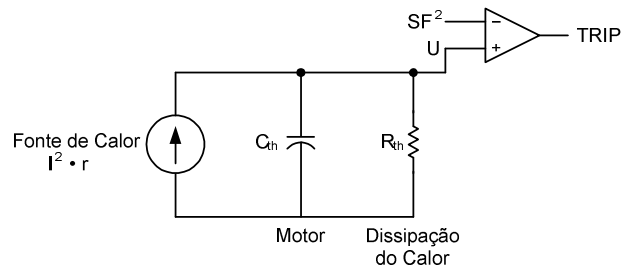


Fig. 7 Elemento de Operação

A combinação dos tempos de trip de operação e partida em um gráfico (Fig. 8) permite ilustrar uma curva de resposta típica do modelo térmico de primeira ordem.

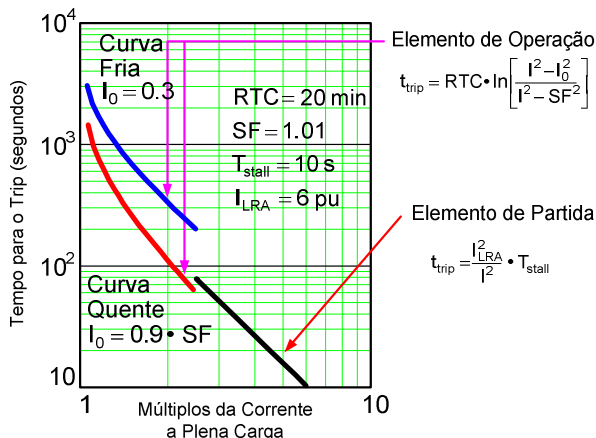


Fig. 8 Curva de Resposta do Modelo Térmico

XIV. CONCLUSÃO

Não há dúvidas de que a melhor proteção do motor é obtida usando-se os dados do fabricante do motor. Entretanto, usando condições iniciais razoáveis e, em seguida, refinando-as através de dados históricos coletados pelo relé, pode-se obter uma proteção adequada para o motor, evitando interrupções prematuras dos processos.

XV. REFERÊNCIAS

- [1] NEMA, *Motors and Generators*, National Electrical Manufacturers Association Standard MG-1-1998, New York, 1998.
- [2] S. E. Zocholl, "Tutorial: From the Steinmetz Model to the Protection of High Inertia Drives," proceedings of the 33rd Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 2006.
- [3] S. E. Zocholl, *AC Motor Protection*, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., pp. 6–21, 2004.

XVI. BIBLIOGRAFIA ADICIONAL

S. E. Zocholl, E. O. Schweitzer, and A. Aliaga-Zegarra, "Thermal Protection of Induction Motors Enhanced by Interactive Electrical and Thermal Models," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-103, No. 7, July 1983.

S. E. Zocholl and G. Benmouyal, "On the Protection of Thermal Processes," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 20, issue 2, pp. 1240–1246, April 2005.

IEEE Guide for the Presentation of Thermal Limit Curves for Squirrel Cage Induction Motors, IEEE Standard 620-1996.

XVII. BIOGRAFIAS

Edward A. Lebenhaff recebeu seu B.A.Sc. em Engenharia Elétrica da University of Toronto em 1972. Trabalhou 18 anos na Ontario Hydro construindo e projetando usinas nucleares. Nos 14 anos seguintes, Ed foi gerente regional da Multilin (adquirida posteriormente pela GE). Após uma curta aposentadoria, Ed ingressou na Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. em outubro de 2004, onde atualmente é um engenheiro de aplicação de campo na área de proteção de motores. Ed é um Engenheiro Profissional registrado na Carolina do Sul.

Mark Zeller recebeu seu B.S. da University of Idaho em 1985. Ele tem ampla experiência em proteção, operação e manutenção de sistemas de potência industriais. Após a graduação, trabalhou mais de 15 anos na indústria de papel e celulose, nas áreas de engenharia e manutenção, sendo responsável pela engenharia e proteção do sistema de potência. Antes de ingressar na Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. em 2003, foi contratado pela Fluor para prestar serviços de engenharia e consultoria para a Alcoa. É membro do IEEE desde 1985.