



## *Teste do Modelo Térmico do Relé de Proteção de Motores SEL-710*

George Alexander e Subhash Patel

### **INTRODUÇÃO**

Este guia de aplicação descreve um procedimento de teste do elemento térmico do Relé de Proteção de Motores SEL-710 e fornece parâmetros de teste usando ajustes específicos do relé. Embora este guia de aplicação seja especificamente dirigido ao SEL-710, o mesmo procedimento pode ser usado para testar outros relés de motores da SEL. O manual de instrução de cada relé inclui detalhes sobre o modelo térmico específico utilizado. O procedimento de teste descrito é apropriado para os Relés SEL-710 com a versão de firmware R200 ou mais recente.

Como ajuda na avaliação das equações apresentadas neste guia de aplicação, uma planilha Microsoft® Excel® está disponível para download junto com este guia de aplicação em <http://www.selinc.com>.

### **MODELO TÉRMICO**

Uma descrição detalhada do elemento térmico do motor está incluída no Manual de Instrução do SEL-710 (disponível em <http://www.selinc.com>). Por favor, consulte este manual de instrução para obter informações adicionais sobre o elemento térmico.

### **VISÃO GERAL DOS TESTES**

Este guia de aplicação abrange os testes executados com uma corrente trifásica equilibrada, que permite simular com maior precisão as condições de sobrecarga em serviço adequadas para testar os elementos térmicos. O apêndice deste guia de aplicação descreve um teste alternativo usando corrente monofásica para o caso de não haver uma fonte de teste trifásica disponível. O exemplo deste guia de aplicação pode usar os ajustes completos ou os dados de placa (APP = FULL ou NAMEPLATE). É destinado para aplicações que usam o método baseado nas características nominais ou baseado na curva (SETMETH = RATING, RATING\_1 ou CURVE). Este guia de aplicação deve ser aplicado somente quando o modelo da resistência do rotor dependente do escorregamento não estiver sendo usado (FLS = OFF).

Os cálculos térmicos RATING e RATING\_1 são similares. SETMETH = RATING é o ajuste mais conservador e é adequado para a maioria das aplicações.

O SEL-710 inclui um modelo térmico do rotor e um modelo térmico do estator. O “Relay Word bit” 49T é a lógica OU (OR) destes dois modelos térmicos. O “Relay Word bit” 49T\_RTR é ativado se o modelo térmico do rotor der trip; o “Relay Word bit” 49T\_STR é ativado se o modelo térmico do estator der trip.

Ambos os modelos térmicos do rotor e do estator operam continuamente no SEL-710. Quando a corrente for menor do que 2.5 vezes a corrente a plena carga (“full-load amperes” – FLA), o modelo térmico do estator produz um trip em menos tempo do que o modelo térmico do rotor.

Quando a corrente for maior do que 2.5 vezes FLA, o modelo térmico do rotor dá trip em primeiro lugar.

Os termos usados nas equações térmicas deste guia de aplicação estão definidos na Tabela 1.

**Tabela 1 Variáveis Usadas nas Equações Térmicas**

Variável	Descrição
$T_p$	Tempo de trip do elemento térmico em segundos
$I_{TM}$	Corrente de teste aplicada em múltiplos da corrente a plena carga ( $FLAn$ )*
SF	Ajuste do fator de serviço
RTC	Constante de tempo de operação do estator ( $RTCn$ )*
$T_0$	Tempo de aquecimento do rotor travado ( $LRTHOTn$ )*
TD	Fator de aceleração ( $TDn$ )*
$I_{LR}$	Corrente do rotor travado em múltiplos de FLA ( $LRAn$ )*
R	Resistência térmica = $0.2 \cdot I_{LR}^2 \cdot T_0$
CURVE	Curva de sobrecarga térmica selecionada ( $CURVEN$ )*
$I_{test}$	Corrente de teste em amperes secundários

\*  $n$  indica que esses ajustes têm um valor opcional para um motor de duas velocidades.

## EFETUE O RESET DAS CAPACIDADES TÉRMICAS

Os tempos do trip térmico usados nos testes deste guia de aplicação são aplicáveis para uma partida a frio. A capacidade térmica tem que ser 0% para que os tempos de trip calculados sejam precisos. Quando a corrente de teste é aplicada ao relé, a capacidade térmica aumenta e reseta de acordo com as constantes de tempo do modelo térmico. Se uma corrente de teste for aplicada antes que a capacidade térmica tenha sido resetada completamente, o elemento térmico vai dar trip num tempo menor do que o tempo calculado.

Para evitar tempos longos enquanto a capacidade térmica é resetada, a capacidade térmica pode ser resetada manualmente entre os testes usando a lógica de partida de emergência. Em uma partida de emergência, ambas as capacidades térmicas do rotor e do estator são resetadas para zero instantaneamente. A partida de emergência pode ser acessada no menu do painel frontal sob **CONTROL**. Ela também pode ser programada na equação de controle SELOGIC® EMRSTR para uma função conveniente, tal como uma entrada de um contato externo, um botão de pressão (“pushbutton”) do painel frontal, ou um *remote bit* ( $RBnn$ ) ativado por **Control Window** na interface homem-máquina (IHM) do Software ACSELERATOR QuickSet® SEL-5030.

## TEMPO DO TRIP TÉRMICO

O tempo do trip térmico é uma função da relação da corrente pela corrente a plena carga ( $I_{TM}$ ). O modelo térmico vai dar trip em  $T_p$  segundos quando os múltiplos estiverem acima do fator de serviço. Ao testar o modelo térmico do estator,  $I_{TM}$  deve ser maior do que o fator de serviço e menor do que 2.5. Ao testar o modelo térmico do rotor,  $I_{TM}$  deve ser maior do que 2.5 e menor do que 12.

### Método Baseado nas Características Nominais (“Rating Method”) (SETMETH = RATING ou RATING\_1)

Use (1) e (2) para calcular o tempo de trip térmico do estator quando SETMETH = RATING ou RATING\_1. Para o teste do elemento térmico do estator, a corrente de teste é maior do que o fator de serviço e menor do que 2.5 vezes FLA.

Quando RTC = AUTO, o tempo de trip térmico é:

$$T_p = \left[ \frac{T_0 \cdot (TD + 0.2)}{\ln \left[ \frac{I_{LR}^2 - (0.9 \cdot SF)^2}{I_{LR}^2 - SF^2} \right]} \right] \cdot \ln \left[ \frac{I_{TM}^2}{I_{TM}^2 - SF^2} \right] \quad (1)$$

Quando RTC ≠ AUTO, o tempo de trip térmico é:

$$T_p = 60 \cdot RTC \cdot \ln \left[ \frac{I_{TM}^2}{I_{TM}^2 - SF^2} \right] \quad (2)$$

Use (3) e (4) para calcular o tempo de trip térmico do rotor quando SETMETH = RATING ou RATING\_1. Para o teste do elemento térmico do rotor, a corrente de teste é maior do que 2.5 vezes FLA e menor do que 12 vezes FLA.

Quando SETMETH = RATING, o tempo de trip térmico é:

$$T_p = TD \cdot T_0 \cdot \frac{I_{LR}^2}{I_{TM}^2} \quad (3)$$

Quando SETMETH = RATING\_1, o tempo de trip térmico é:

$$T_p = (TD + 0.2) \cdot T_0 \cdot \frac{I_{LR}^2}{I_{TM}^2} \quad (4)$$

### Método Baseado na Curva (“Curve Method”) (SETMETH = CURVE)

Usando o método da curva, o tempo do trip térmico para o teste do elemento térmico do estator quando a corrente de teste for menor do que 2.5 vezes FLA é:

$$T_p = \left[ \frac{2.5 \cdot CURVE}{\ln \left[ \frac{36 - (0.9 \cdot SF)^2}{36 - SF^2} \right]} \right] \cdot \ln \left[ \frac{I_{TM}^2}{I_{TM}^2 - SF^2} \right] \quad (5)$$

Usando o método da curva, o tempo do trip térmico para o teste do elemento térmico do rotor quando a corrente de teste for maior do que 2.5 vezes FLA é:

$$T_p = \frac{90 \cdot CURVE}{I_{TM}^2} \quad (6)$$

As equações (5) e (6) se aplicam quando CURVE = 1 até 45. CURVE = 46 é uma curva customizada do usuário e, portanto, (5) e (6) não se aplicam.

## CORRENTE DE TESTE TRIFÁSICA

As equações (1) a (6) calculam os tempos de trip térmico para um determinado múltiplo da corrente a plena carga (FLA), mostrado como  $I_{TM}$ . O ajuste de FLA no SEL-710 é feito em amperes primários. O ajuste da relação do transformador de corrente (CTR) é usado para determinar FLA em amperes secundários. A corrente de teste requerida,  $I_{test}$ , em amperes secundários é:

$$I_{test} = \frac{I_{TM} \cdot FLA}{CTR} \quad (7)$$

Os ângulos usados para a corrente equilibrada são determinados pelo ajuste PHROT nos ajustes globais do SEL-710. Os ângulos são fornecidos na Tabela 2.

**Tabela 2 Correntes de Teste Trifásicas Equilibradas**

PHROT	IA	IB	IC
ABC	$I_{test}$ a $0^\circ$	$I_{test}$ a $-120^\circ$	$I_{test}$ a $120^\circ$
ACB	$I_{test}$ a $0^\circ$	$I_{test}$ a $120^\circ$	$I_{test}$ a $-120^\circ$

## MONITORE A RESPOSTA DO ELEMENTO TÉRMICO

Os tempos de trip térmico tendem a ser longos quando comparados com os tempos de trip por faltas (segundos ou minutos ao invés de ciclos). Devido aos tempos longos de trip, os dados oscilográficos do evento não exibem normalmente o início e o fim de um evento térmico. No entanto, o Registrador Sequencial de Eventos (SER) do SEL-710 pode ser usado para capturar e analisar os dados. No mínimo, os “Relay Word bits” da Tabela 3 devem ser incluídos no SER para ajudar nos testes.

**Tabela 3 Disparos (“Triggers”) Sugeridos do SER**

Relay Word Bit	Descrição
STARTING	Ativado quando o motor está partindo
49T_STR	Trip do elemento térmico pelo modelo térmico do estator
49T_RTR	Trip do elemento térmico pelo modelo térmico do rotor
49T	Trip do elemento térmico (49T_STR ou 49T_RTR)

A Figura 1 mostra um relatório do SER usado como amostra para um teste térmico.

9	06/04/2009	12:44:08.921	MOTOR_STARTING	BEGINS
8	06/04/2009	12:44:08.921	MOTOR_STOPPED	ENDS
7	06/04/2009	12:44:27.527	THERMAL_ALARM	PI CKUP
6	06/04/2009	12:44:31.624	49T_RTR	Asserted
5	06/04/2009	12:44:31.624	THERMAL_TRIP	PI CKUP

**Figura 1 Amostra do SER para um Teste Térmico**

O tempo do trip térmico é medido desde a partida do motor até a ativação do trip térmico (49T\_RTR, neste exemplo). Com o trip térmico em 12:44:31.624 e a partida do motor em 12:44:08.921, a diferença dos tempos é o tempo do trip térmico = 22.703 segundos.

## ESTADO DO DISJUNTOR

Nos ajustes default, 52A não é especificado para uma entrada (52A := 0). O SER da Figura 1 usou o ajuste default. Se 52A for especificado para um contato de entrada, a posição da chave auxiliar do disjuntor pode afetar o estado do motor (MOTOR\_STARTING, MOTOR\_STOPPED) exibido no relatório do SER da Figura 1. Para facilitar o teste, o “Relay Word bit” 52A deve ser desabilitado (nível lógico 0) durante os testes ou a operação do disjuntor deve ser simulada. Os ajustes mostrados na Figura 2 têm 52A := 0.

## CÁLCULOS DO TESTE USADO COMO AMOSTRA

A Figura 2 mostra os ajustes do SEL-710 usados como amostra referentes à resposta do modelo térmico.

Config Settings	
CTR1	:= 100
FLA1	:= 250.0
E2SPEED	:= N
Thermal Overload	
E49MOTOR	:= Y
FLS	:= OFF
SETMETH	:= RATING
SF	:= 1.15
LRA1	:= 6.0
LRTHOT1	:= 10.0
TD1	:= 1.00
RTC1	:= AUTO
Trip and Close Logic	
52A	:= 0
Motor Control	
EMRSTR	:= RB01
SPEED2	:= 0
SPEEDSW	:= 0

Figura 2 Ajustes Usados como Amostra para o Teste Térmico

### Teste do Elemento Térmico do Estator

Para testar o elemento térmico do estator, a corrente de teste em múltiplos de FLA ( $I_{TM}$ ) deve ser maior do que o fator de serviço e menor do que 2.5. Para este exemplo, escolha  $I_{TM} = 2.0$ .

Substituindo os ajustes da Figura 2 em (1) nos dá o tempo de trip esperado de  $T_p = 668$  segundos.

Para o teste com corrente trifásica, a corrente de teste secundária ( $I_{test}$ ) é determinada por (7), e  $I_{test}$  é igual a 5 A.

### Teste do Elemento Térmico do Rotor

Para testar o elemento térmico do rotor, a corrente de teste em múltiplos de FLA ( $I_{TM}$ ) deve ser maior do que 2.5. Para este exemplo, escolha  $I_{TM} = 3.0$ .

Substituindo os ajustes da Figura 2 em (3) nos dá o tempo de trip esperado de  $T_p = 40$  segundos.

Para o teste com corrente trifásica, a corrente de teste secundária ( $I_{test}$ ) é determinada por (7), e  $I_{test}$  é igual a 7.5 A.

## **APLICAÇÕES DE MOTORES DE DUAS VELOCIDADES**

Para efeito de teste, sugerimos efetuar o teste da proteção de motores de duas velocidades como elementos individuais, usando os procedimentos descritos nas seções anteriores. A equação de controle SELOGIC SPEED2 incorporada aos ajustes de controle do motor é usada para selecionar um dos dois ajustes de velocidade. Quando SPEED2 for desativado (nível lógico 0), o relé usa os ajustes da Velocidade 1 (“Speed 1”) (FLA1, LRA1, LRHOT1, TD1 e RTC1). Quando SPEED2 for ativado (nível lógico 1), o relé usa os ajustes da Velocidade 2 (“Speed 2”) (FLA2, LRA2, LRHOT2, TD2 e RTC2).

## **CONCLUSÃO**

Este guia de aplicação fornece as equações para calcular os tempos de trip esperados para o elemento térmico incluído no SEL-710 para determinadas correntes de teste. Ele pode ser usado para calcular tanto as correntes de teste monofásicas quanto as trifásicas. Para ajudar na avaliação das equações apresentadas neste guia de aplicação, uma planilha Excel está disponível para download junto com este guia de aplicação em <http://www.selinc.com>.

## APÊNDICE: TESTE COM CORRENTE MONOFÁSICA

O teste com correntes trifásicas equilibradas é preferido porque ele simula com maior precisão as condições de serviço. O teste com corrente monofásica é fornecido como uma alternativa quando uma fonte de corrente trifásica não estiver disponível. A corrente monofásica é conectada como uma corrente fase-fase ao invés de uma corrente fase-terra para maximizar a magnitude das correntes de sequência-negativa e positiva.

A corrente monofásica não é vista pelo relé como uma corrente de carga normal; ao invés disso, ela se parece com uma corrente de falta. Portanto, outros elementos do relé além do elemento térmico podem responder à corrente e provocar o trip do relé. É importante monitorar os “Relay Word bits” apropriados para garantir que a resposta do elemento térmico seja medida corretamente. Observe também que para condições de sobrecarga normal, quando a corrente está acima do fator de serviço e abaixo de 2.5 vezes FLA, o elemento térmico do estator vai produzir, normalmente, uma saída de trip antes do elemento térmico do rotor. No entanto, devido à elevada relação da corrente de sequência-negativa pela positiva na corrente de teste monofásica, o elemento térmico do rotor pode dar trip antes do elemento do estator sob essas condições.

As mesmas equações são usadas para prever os tempos de trip para um determinado múltiplo da corrente a plena carga como no teste com corrente trifásica. A magnitude de  $I_{\text{test}}$  é fornecida por (8).

$$I_{\text{test}} = \sqrt{1.5 \cdot \left( \frac{I_{\text{TM}} \cdot \text{FLA}}{\text{CTR}} \right)^2} \quad (8)$$

Os ângulos usados para as correntes são fornecidos na Tabela 4. A defasagem angular de 180 graus também pode ser efetuada conectando-se uma das bobinas de corrente com polaridade invertida.

**Tabela 4 Correntes de Teste Fase-Fase**

Par de Fases	IA	IB	IC
AB	$I_{\text{test}}$ a $0^\circ$	$I_{\text{test}}$ a $180^\circ$	0
BC	0	$I_{\text{test}}$ a $0^\circ$	$I_{\text{test}}$ a $180^\circ$
CA	$I_{\text{test}}$ a $0^\circ$	0	$I_{\text{test}}$ a $180^\circ$

## ASSISTÊNCIA DA FÁBRICA

Apreciamos o seu interesse nos produtos e serviços da SEL. Se houver qualquer dúvida ou comentário, por favor, entre em contato com:

**SEL - Schweitzer Engineering Laboratories, Comercial Ltda**  
Rodovia SP 340 - Campinas / Mogi Mirim, Km 118,5 - Prédio 11  
Campinas / SP – CEP: 13.086-902  
Tel: (19) 3515.2000 Fax: (19) 3515.2011  
www.selinc.com.br suporte@selinc.com

**SUPORTE TÉCNICO SEL HOT LINE**  
Tel: (19) 3515.2010  
E-mail: [suporte@selinc.com](mailto:suporte@selinc.com)

---

© 2011 por Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.  
Todos os direitos reservados.

Todos os nomes das marcas ou produtos que aparecem neste documento são marcas comerciais ou marcas comerciais registradas de seus respectivos proprietários. Nenhuma marca comercial da SEL pode ser usada sem permissão por escrito.

Os produtos SEL que aparecem neste documento podem estar protegidos por patentes dos EUA e de outros países.

## SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, INC.

2350 NE Hopkins Court • Pullman, WA 99163-5603 USA  
Tel: +1.509.332.1890 • Fax: +1.509.332.7990  
www.selinc.com • info@selinc.com

**\*AG2011-12\***