



# *Teste Monofásico do Elemento de Falta a Terra Restrita (REF) do SEL-787*

Jason Young

## INTRODUÇÃO

Este guia de aplicação auxilia o usuário a entender a operação do elemento de falta à terra restrita (“Restricted Earth Fault” – REF) do Relé de Proteção de Transformadores SEL-787, visando habilitar o usuário a testar o elemento com sucesso.

## VISÃO GERAL

O SEL-787 tem a opção de um elemento REF, desde que o cartão correto seja adquirido para o Slot E. Os “part numbers” do relé que incluem o elemento REF estão relacionados na Tabela 1, onde um *x* minúsculo indica um dígito que é irrelevante nesta discussão.

Tabela 1 “Part Numbers” do SEL-787 Com Elemento REF

Part Number	Opção do Slot E
0787xXXXXXXXXA1xxxxxx	Entrada de corrente monofásica 1 A nominal
0787xXXXXXXXXA1xxxxxx	Entrada de corrente monofásica 5 A nominal
0787xXXXXXXXX71xxxxxx	Entrada de tensão trifásica mais entrada de corrente monofásica 1 A nominal
0787xXXXXXXXX75xxxxxx	Entrada de tensão trifásica mais entrada de corrente monofásica 5 A nominal

A referência do número do terminal (“terminal number”) para cada uma dessas opções de cartão do Slot E está mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 Alocação dos Terminais no Cartão Corrente/Tensão

Numero do Terminal (“Terminal Number”)	Referência no Software (“Software Reference”)	Descrição
01	VA	Entrada de tensão Fase A
02	VB	Entrada de tensão Fase B
03	VC	Entrada de tensão Fase C
04	N	Retorno para VA, VB, VC
09, 10	IN1	Entrada da corrente de neutro 1

De forma similar aos elementos REF do Relé de Sobrecorrente e Diferencial de Corrente SEL-387 e do Relé de Proteção de Transformadores SEL-487E, o elemento REF do SEL-787 funciona como um elemento de sobrecorrente direcional de terra. A corrente de terra do neutro do transformador é a corrente de operação, e a corrente de terra residual dos terminais de fase selecionados funciona como uma grandeza de referência. A característica de operação está mostrada na Figura 1.

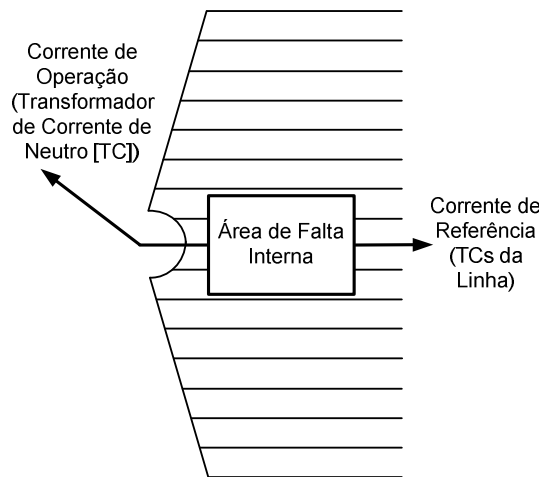


Figura 1 Elemento Direcional REF

O cálculo da direcionalidade do REF é habilitado pelo status de dois “Relay Word bits”, REF1E e 50GREF1, os quais correspondem aos limites mínimos dos valores de operação e polarização, respectivamente. Os diagramas lógicos para REF1E e 50GREF1 são mostrados na Figura 2.

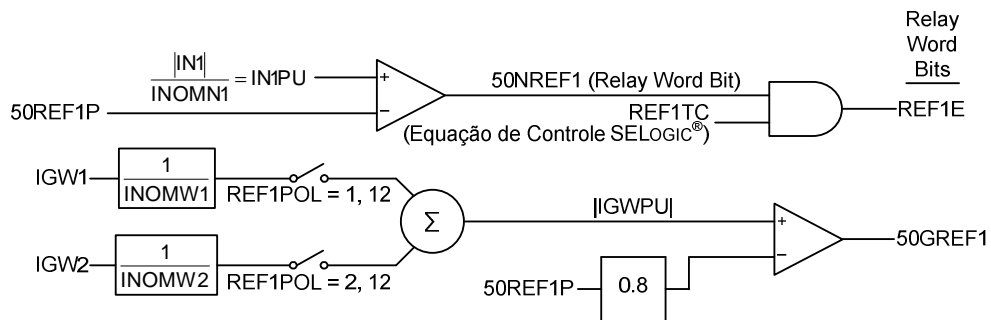


Figura 2 Lógica de Habilitação do Elemento REF

Como o SEL-787 pode ser encomendado com uma combinação de entradas de corrente de 1 A e 5 A, cada entrada de corrente para o elemento REF é dividida pelo valor nominal do respectivo canal, 1 A ou 5 A, para fornecer um valor em pu (por unidade). A grandeza de operação em pu é comparada com o limite de pickup, 50REF1P, enquanto a grandeza de polarização em pu é comparada com 80% do mesmo pickup. Isso garante que a entrada de polarização seja habilitada antes da entrada de operação. A ativação desses “Relay Word bits” habilita o cálculo direcional, conforme mostrado na Figura 3.

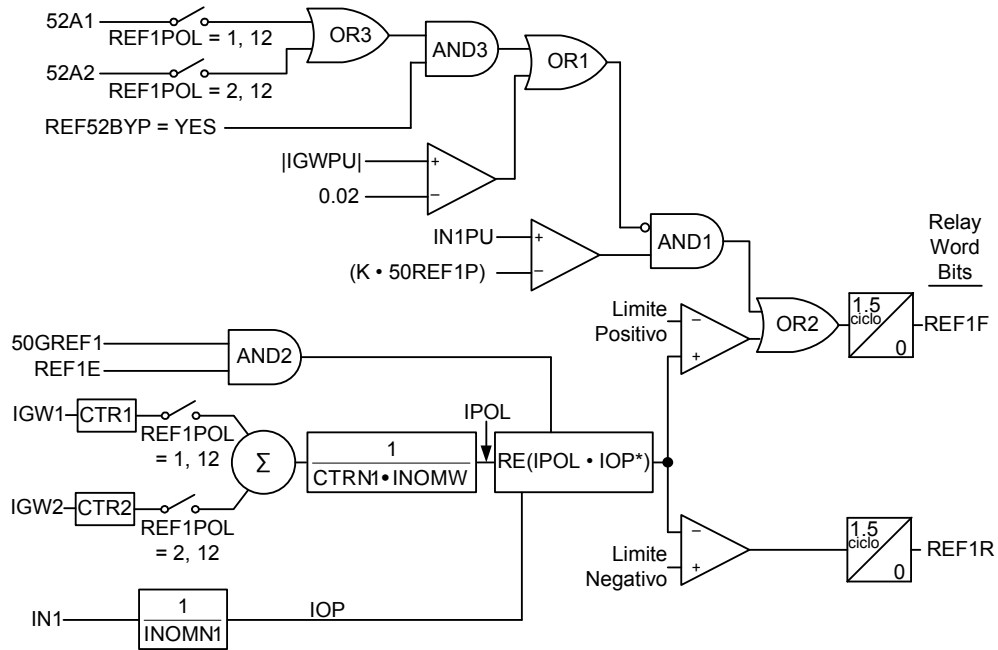


Figura 3 Lógica do Elemento Direcional REF

Na Figura 3, K é definido da seguinte forma:

$$K = \frac{\text{MAX}(INOMW_n \cdot CTR_n)}{INOMN1 \cdot CTR1} \quad (1)$$

onde:

MAX(INOMW<sub>n</sub> • CTR<sub>n</sub>) é o maior valor nominal primário dos TCs que estão sendo usados para a função REF.

O valor RE(IPOL • IOP\*) = |IPOL| • |IOP| • cosφ, onde φ é o ângulo entre IPOL e IOP. Uma falta fora da zona de proteção resulta em φ = 180 graus, enquanto uma falta interna resulta em φ = 0 grau, como mostra a Figura 1. Como resultado, a saída do cálculo é negativa para uma falta externa e positiva para uma falta interna. Portanto, comparando o resultado dos cálculos com os limites positivo e negativo, o relé declara uma falta interna se φ = ±90 graus.

A parte superior da lógica da Figura 3 refere-se a um caso em que o disjuntor está aberto, conforme mostrado na Figura 4.

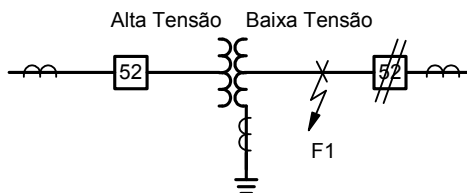


Figura 4 Falta Interna Com o Disjuntor de Baixa Tensão Aberto

Neste caso, o relé não tem uma grandeza de referência para determinar a localização do defeito. Todavia, o SEL-787 oferece dois métodos para detectar esta condição. A opção default observa a ausência da corrente de referência. O relé também fornece a opção de usar o estado do disjuntor para indicar um disjuntor aberto. Para qualquer uma dessas condições combinada com a presença de uma corrente de operação maior do que  $K$  vezes o valor de pickup, o elemento indica uma falta interna.

Portanto, três ensaios são necessários para testar o elemento REF: um teste de pickup, teste do elemento direcional, e um teste da lógica do disjuntor aberto na extremidade da linha (“line-end breaker open”).

Observe que o elemento REF do SEL-787 pode ser aplicado tanto como elemento instantâneo quanto temporizado. O “Relay Word bit” REF1F na Figura 3 pode ser usado para a operação instantânea. A Figura 5 mostra a lógica para a saída de sobrecorrente temporizada.

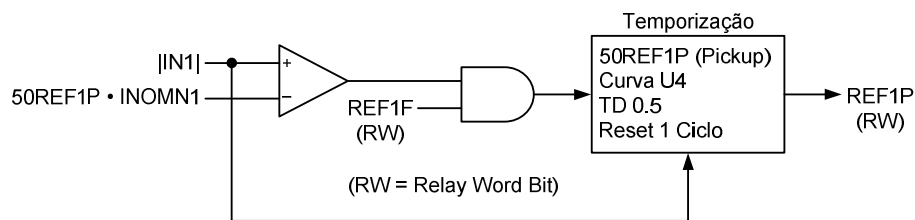


Figura 5 Saída de Sobrecorrente Temporizada do REF

Se for usada a saída de sobrecorrente temporizada, também deve ser feito um teste da temporização. Observe que a curva U4 (extremamente inversa) e o dial de tempo (“time dial” – TD) de 0.5 são inseridos e fixados no código do relé (“hard-coded”). O tempo de operação desta curva pode ser calculado usando (2).

$$t_p = TD \cdot \left( 0.0352 + \frac{5.67}{M^2 - 1} \right) \quad (2)$$

## SISTEMA USADO COMO EXEMPLO NO TESTE

Para explicar os testes necessários, usamos um transformador como exemplo para calcular os pontos de teste. O diagrama trifilar do sistema está mostrado na Figura 6 e os ajustes correspondentes estão listados na Tabela 3. Observe que todas as entradas de corrente do relé de teste têm valor nominal de entrada de 5 A.

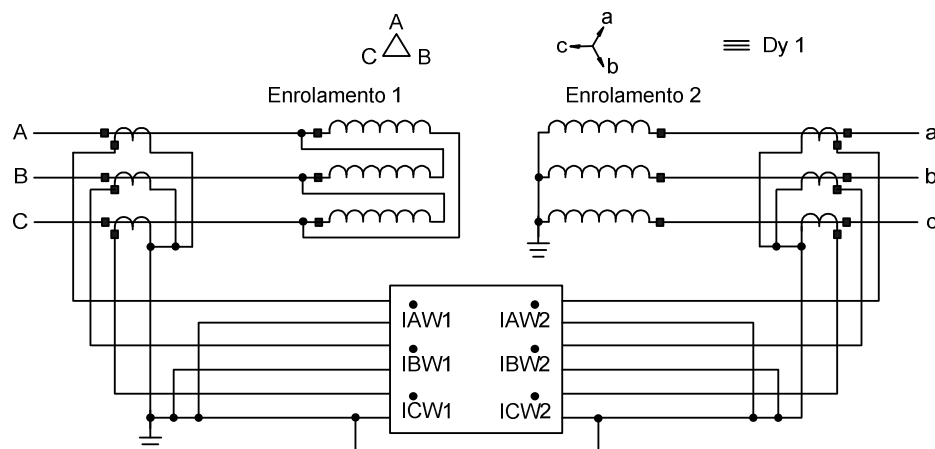


Figura 6 Diagrama Trifilar do Sistema de Teste

Tabela 3 Ajustes do Sistema de Teste Usado com Exemplo

Ajuste	Descrição	Unidades	Valores Aceitáveis	Valor Atribuído
W1CT	Conexão do TC do Enrolamento 1	NA	DELTA, WYE	WYE
CTR1	Relação do TC de Fase do Enrolamento 1	NA	1 a 10000	100
W2CT	Conexão do TC do Enrolamento 2	NA	DELTA, WYE	WYE
CTR2	Relação do TC de Fase do Enrolamento 2	NA	1 a 10000	500
CTRN1	Relação do TC de Neutro (IN)	NA	1 a 10000	120
REF1POL	Grandeza de polarização proveniente do enrolamento	NA	OFF, 1, 2, 12	2
REF1TC	Controle de torque do REF	NA	Equação de controle SELOGIC	1
50REF1P	Nível de sensibilidade da corrente REF1	Por unidade da nominal	0.05 a 3.00	0.25
REF52BYP	Bypass via 52A da habilitação do REF	NA	Y, N	Y

## PROCEDIMENTO DE TESTE

### Teste de Partida (Pickup)

O elemento REF possui um ajuste de limite mínimo, 50REF1P, que tem que ser testado. Observe que este ajuste se aplica tanto às grandezas de operação quanto de polarização. O ajuste é em pu da corrente nominal do terminal e é multiplicado por 80% da grandeza de polarização.

Para o sistema de teste, o Enrolamento 2 é o único terminal de fase incluído no elemento REF. As correntes mínimas calculadas para o sistema de teste estão mostradas em (3) e (4).

$$IN = REF50G1 \cdot Inom_{IN} = 0.25 \cdot 5 = 1.25 \angle 0^\circ \text{ A} \quad (3)$$

$$IAW2 = 0.8 \cdot REF50G1 \cdot Inom_{IAW2} = 0.8 \cdot 0.25 \cdot 5 = 1.0 \angle 180^\circ \text{ A} \quad (4)$$

Portanto, para testar a corrente de pickup de neutro, aplique 0.5 A no terminal IN. Aumente a corrente IN enquanto monitora o “Relay Word bit” REF1E usando o comando **TAR REF1E 10000**. O REF1E deve ser ativado com  $1.25 \text{ A} \pm 0.05 \text{ A}$ . Com o teste concluído, teclie <CTRL+X> para abortar o comando TARGET.

Em seguida, é preciso testar o pickup do residual para o Enrolamento 2. Para isso, aumente IAW2 a partir de 0.5 A enquanto monitora o 50GREF1 usando o comando **TAR 50GREF1 10000**. O 50GREF1 deve ser ativado com  $1.0 \text{ A} \pm 0.05 \text{ A}$ .

### Teste do Elemento Direcional

Para testar o elemento direcional REF, a corrente de operação tem que estar acima da sensibilidade do valor de pickup da corrente residual, 50REF1P, e a grandeza de polarização tem

que estar acima de 80% do mesmo limite. Aplique corrente no terminal IN com 0 grau e nos terminais de fase com 180 graus.

Em seguida, gire o ângulo de IAW2 de 180 graus para 0 grau para simular uma falta externa-para-interna. Com aproximadamente 100 graus, o REF1R deve ser desativado, e com aproximadamente 80 graus, o REF1F deve ser ativado. Observe que esta faixa morta de 20 graus é adicionada para aumentar a segurança do elemento, garantindo que a condição seja interna ou externa. Ambos os “Relay Word bits” podem ser monitorados usando o comando **TAR REF1R 10000**.

Se REF1POL = 12, então o procedimento aqui pode ser alterado para dois caminhos possíveis. Primeiro, podemos repetir este teste com IAW1 substituída pela IAW2 acima, mantendo IAW2 em 0 A. Segundo, podemos injetar corrente de sequência-zero em ambos os enrolamentos de referência simultaneamente, substituindo a soma das correntes de sequência-zero dos enrolamentos de referência pela IAW2 acima.

### Teste da Lógica de Disjuntor Aberto na Extremidade da Linha

Para testar esta parte do elemento REF, simule a condição da Figura 4 através da aplicação de corrente de operação e nenhuma corrente de referência. Portanto, aplique corrente no terminal IN, e não aplique qualquer corrente nos enrolamentos de fase. Aumente a corrente IN enquanto monitora o “Relay Word bit” REF1F usando o comando **TAR REF1F 10000**. Este elemento será ativado quando a corrente IN exceder  $K \cdot 50REF1P$ . Os cálculos para o sistema de teste estão mostrados em (5).

$$IN = \left( \frac{INOMW2 \cdot CTR2}{INOMN1 \cdot CTRN1} \right) \cdot 50REF1P \cdot INOMN1$$

$$IN = \left( \frac{5 \cdot 500}{5 \cdot 120} \right) \cdot 0.25 \cdot 5 \quad (5)$$

$$IN = 5.21 \angle 0^\circ \text{ A}$$

Observe que esta parte da lógica somente deve ser habilitada quando o disjuntor estiver aberto. Portanto, podemos também verificar que o teste da lógica de disjuntor aberto na extremidade da linha não funciona se existir a corrente de terra de polarização. Para fazer isso, aplique uma corrente maior do que (5) no terminal IN e aumente a corrente de polarização acima de 0.02 pu. Para o sistema de teste, aplique  $6 \angle 0^\circ \text{ A}$  ao terminal IN. Aumente IAW2 para  $0.1 \angle 0^\circ \text{ A}$  enquanto monitora o “Relay Word bit” REF1F usando o comando **TAR REF1F 10000**. Quando IAW2 for aproximadamente igual a  $0.1 \angle 0^\circ \text{ A}$ , o REF1F será desativado.

Se REF52BYP = Y, repita este teste. Todavia, não aplique, desta vez, corrente à entrada IAW2. Ao invés disso, feche o disjuntor W2. Isso deve ter o mesmo efeito de bloquear a lógica de disjuntor aberto na extremidade da linha, confirmando a parte do 52A na porta OR1 da Figura 3.

### Teste da Temporização

Este teste somente é necessário se for desejado o trip temporizado via “Relay Word bit” REF1P. Neste caso, o REF1P deve ser incluído na equação TRXFMR ao invés de REF1F. Para testar um elemento temporizado, use o Registrador Sequencial de Eventos (“Sequential Events Recorder” – SER) do SEL-787. Adicione REF1F e REF1P ao SER1, SER2, SER3 ou SER4. O relé captura um registro com estampa de tempo para cada ativação e desativação de todos os “Relay Word bits” incluídos nesses ajustes.

Selecione dois valores diferentes da corrente de teste, ambos maiores do que o pickup de 50REF1P. Calcule o tempo de operação esperado usando (2), onde  $M$  é o múltiplo do pickup.

Aplique a corrente de teste selecionada por um período de tempo suficiente, e então use o comando **SER** para verificar o tempo de operação, que é a diferença de tempo entre a ativação de REF1F e REF1P.

Para o sistema usado como exemplo, aplicaremos dois testes: um com múltiplos do pickup igual a 2 ( $M = 2$ ) e o outro com múltiplos do pickup igual a 4 ( $M = 4$ ). A corrente a ser injetada no terminal IN para os dois testes está calculada em (6) e (7).

$$IN_{2x} = 2 \cdot 50REFIP \cdot Inom_{IN} = 2 \cdot 0.25 \cdot 5 = 2.5 \angle 0^\circ \text{ A} \quad (6)$$

$$IN_{4x} = 4 \cdot 50REFIP \cdot Inom_{IN} = 4 \cdot 0.25 \cdot 5 = 5 \angle 0^\circ \text{ A} \quad (7)$$

Em seguida, é importante calcular o tempo de operação esperado para cada teste usando (2). Os respectivos cálculos para o sistema de teste são mostrados em (8) e (9).

$$t_{p_{2x}} = 0.5 \cdot \left( 0.0352 + \frac{5.67}{(2^2 - 1)} \right) = 0.96 \text{ segundo} \quad (8)$$

$$t_{p_{4x}} = 0.5 \cdot \left( 0.0352 + \frac{5.67}{(4^2 - 1)} \right) = 0.21 \text{ segundo} \quad (9)$$

Para cada teste, aplique uma corrente de referência maior do que (4), mas com 0 grau para simular uma falta interna. Para o sistema do exemplo, aplique  $1.5 \angle 0^\circ \text{ A}$  à IAW2 e  $IN_{2x}$  ou  $IN_{4x}$  ao terminal IN durante um tempo maior do que o calculado em (8) e (9), respectivamente. Os resultados do ensaio com  $M = 2$  para o sistema de teste estão mostrados abaixo.

```

=====  

=>>ser  

SEL-787                               Date: 05/06/2011   Time: 08:56:43  

TRANSFRMR RELAY                       Time Source: Internal  

Serial No = 1110310555                 FID = SEL-787-R204-V0-Z002001-D20101115  

CID = 6815  

#   DATE       TIME       ELEMENT          STATE  

4   05/06/2011 08:56:35.295 REF1F            Asserted  

3   05/06/2011 08:56:36.236 REF1P            Asserted  

2   05/06/2011 08:56:39.262 REF1F            Deasserted  

1   05/06/2011 08:56:39.287 REF1P            Deasserted  

=====

```

O cálculo da diferença entre a habilitação de REF1F e REF1P nos fornece o tempo de operação do elemento. Para o sistema usado como exemplo no teste, este cálculo resulta em 0.941 segundo, que coincide com a nossa expectativa.

## CONCLUSÃO

Este guia de aplicação demonstra um método simples para testar a função REF do SEL-787 com injeção de corrente monofásica em regime. Outros testes independentes devem ser efetuados para validar o pickup, elemento direcional, e partes da lógica do elemento de disjuntor aberto na extremidade da linha. Um teste adicional é apresentado com os cálculos para testar a saída de sobrecorrente temporizada do elemento REF.

Um problema comum nas aplicações do REF é a polaridade incorreta do TC de neutro. Certifique-se de executar um teste completo de injeção de corrente primária ou utilize outras maneiras para verificar a correta polaridade do TC. Alternativamente, podemos ajustar o elemento REF, mas não habilitar o trip do mesmo até que o sistema do relé seja exposto à

primeira falta externa. A análise dos eventos pós-falta pode confirmar a polaridade do TC de neutro e, se estiver correta, o elemento REF pode ter o seu trip habilitado.

Para mais informações sobre as aplicações do REF, favor consultar a referência [1].

## REFERÊNCIA

- [1] N. Fischer, D. Haas, and D. Costello, "Analysis of an Autotransformer Restricted Earth Fault Application," proceedings of the 34th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 2007. Available: <http://www.selinc.com>.

## 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](http://www.selinc.com.br) [suporte@selinc.com](mailto:suporte@selinc.com)

**SUORTE 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](http://www.selinc.com) • [info@selinc.com](mailto:info@selinc.com)

**\*AG2011-11\***