

# Teste Monofásico das Funções de Bloqueio e Restrição por Harmônicos do SEL-787

Jason Young

## INTRODUÇÃO

A porção harmônica do elemento diferencial do Relé de Proteção de Transformadores SEL-787 opera de forma diferente do que no Relé de Sobrecorrente e Diferencial de Corrente SEL-387 e no Relé Diferencial de Corrente SEL-587, porém de forma similar ao Relé de Proteção de Transformadores SEL-487E. O SEL-787 permite que o usuário habilite ambas as funções de bloqueio e restrição por harmônicos em paralelo. Isso proporciona uma operação segura durante condições de inrush, fornecendo, ao mesmo tempo, os benefícios de trip das funções comuns de bloqueio e restrição por harmônicos.

De forma similar ao elemento diferencial de fase, ambas as funções de bloqueio e restrição por harmônicos podem ser testadas com uma entrada monofásica. No entanto, o equipamento de teste tem que ter capacidade de gerar correntes em mais de uma frequência. Se isto não puder ser feito usando um canal com uma única fonte de corrente, duas fontes de corrente podem ser ligadas em paralelo no terminal do relé.

Para obter informações sobre os testes do elemento diferencial do SEL-787, consulte o Guia de Aplicação SEL AG2011-09 [1].

## 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 1, e os ajustes correspondentes estão relacionados na Tabela 1.

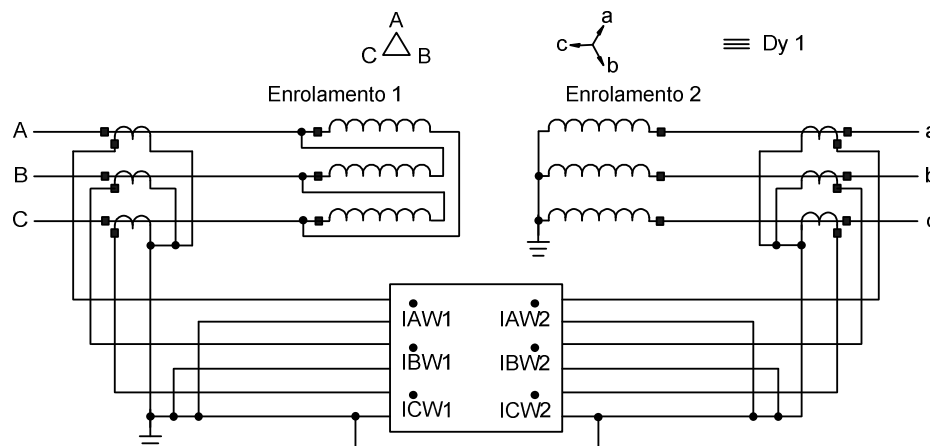


Figura 1 Diagrama Trifilar do Sistema de Teste

Tabela 1 Ajustes do Sistema de Teste

Ajuste	Descrição	Unidades	Valores Aceitáveis	Valor Atribuído
MVA	Máxima capacidade do transformador	MVA	OFF, 0.2 a 5000.0	50
ICOM	Definição da compensação da conexão do Transformador de Corrente (TC) interno	NA	Y, N	Y
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
W1CTC	Compensação da conexão do TC do Enrolamento 1	NA	0 a 12	12
VWDG1	Tensão fase-fase do Enrolamento 1	kV	0.20 a 1000.0	69
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
W2CTC	Compensação da conexão do TC do Enrolamento 2	NA	0 a 12	1
VWDG2	Tensão fase-fase do Enrolamento 2	kV	0.20 a 1000.0	12
E87	Habilita a proteção diferencial do transformador	NA	Y, N	Y
TAP1	Tap de corrente do Enrolamento 1 (calculado automaticamente)	A	0.50 a 31.00	4.17
TAP2	Tap de corrente do Enrolamento 2 (calculado automaticamente)	A	0.50 a 31.00	4.81
O87P	Corrente de partida de operação do elemento de restrição	Múltiplos do tap	0.10 a 1.00	0.3
87AP	Pickup do alarme da corrente diferencial	Múltiplos do tap	OFF, 0.05 a 1.00	0.15
87AD	Temporização do alarme da corrente diferencial	Segundos	1.0 a 120.0	5
SLP1	Restrição porcentual ("Slope 1")	Porcento	5 a 90	25
SLP2	Restrição porcentual ("Slope 2")	Porcento	5 a 90	50
IRS1	Limite da corrente de restrição ("Slope 1")	Múltiplos do tap	1.0 a 20.0	3
U87P	Corrente de partida do elemento sem restrição	Múltiplos do tap	1.0 a 20.0	8
PCT2	Porcentual do bloqueio de segundo-harmônico	Porcento	OFF, 5 a 100	15
PCT4	Porcentual do bloqueio de quarto-harmônico	Porcento	OFF, 5 a 100	OFF
PCT5	Porcentual do bloqueio de quinto-harmônico	Porcento	OFF, 5 a 100	OFF
HRSTR	Restrição por harmônicos	NA	Y, N	Y
HBLK	Bloqueio de harmônicos	NA	Y, N	Y

## PROCEDIMENTO DE TESTE

### Bloqueio de Harmônicos

O SEL-787 permite ao usuário implementar o bloqueio de harmônicos baseado no conteúdo de segundo e quarto-harmônico para corrente de inrush e conteúdo de quinto-harmônico para sobreexcitação. O elemento opera com base no conteúdo de harmônicos do diferencial, bloqueando se o valor medido estiver acima do ponto de ajuste correspondente. Observe que o ponto de ajuste é uma porcentagem da corrente diferencial fundamental.

Para testar o bloqueio do segundo-harmônico, aplique uma corrente com 60 Hz ao terminal IAW1 maior do que o valor mínimo de pickup. O “Relay Word bit” 87R1 é ativado neste ponto. Em seguida, usando um segundo canal de corrente em paralelo, aplique uma corrente com 120 Hz, e aumente até que 87R1 seja desativado. Isso deve ocorrer quando a corrente de segundo-harmônico for igual ao percentual de PCT2 da corrente fundamental.

Um ponto de teste adequado é [1.0, 1.0]. Para o sistema usado como exemplo no teste, um sinal de segundo-harmônico ( $I_{2ND}$ ) igual ou maior do que 0.15 pu ( $PCT2 = 15$ ) é necessário para bloquear o elemento diferencial. Os pontos de teste selecionados para o sistema do exemplo estão mostrados na Figura 2. O Ponto de Teste 1 é o valor da corrente de operação fundamental, e o Ponto de Teste 2 é o valor de bloqueio de segundo-harmônico correspondente.

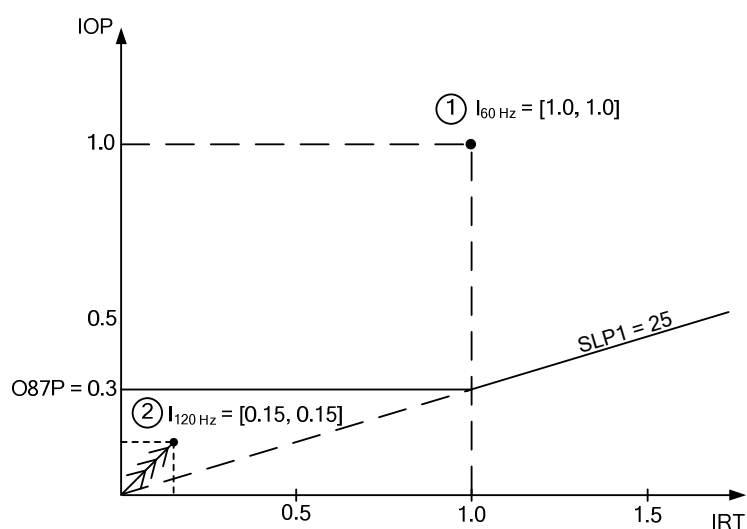


Figura 2 Pontos de Teste do Bloqueio de Harmônicos

Agora que as grandezas de restrição e operação do teste foram selecionadas, esses valores têm que ser convertidos de grandezas em pu para amperes.

A Figura 3 mostra um diagrama de blocos do elemento diferencial do relé. Além de multiplicar pelo tap, as correntes também precisam ser multiplicadas (“scaled”) pela constante de compensação (encontrada na Tabela 2), uma vez que está sendo executado um teste monofásico ao invés de um teste trifásico.

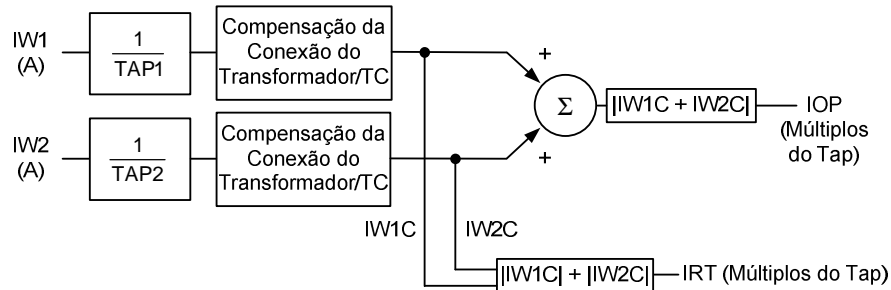


Figura 3 Diagrama de Blocos do Elemento Diferencial

Tabela 2 Constantes de Compensação para o Teste Monofásico Usando as Entradas IA para Testar o Elemento 87-1

Ajuste $W_nCTC$	Constante de Compensação (CC)
0	1
1	$\sqrt{3}$
2	3
3	0 (use IC com $CC = \sqrt{3}$ )
4	-3
5	$-\sqrt{3}$
6	-1.5
7	$-\sqrt{3}$
8	-3
9	0 (use IB com $CC = \sqrt{3}$ )
10	3
11	$\sqrt{3}$
12	1.5

Por favor, consulte o Manual de Instrução do SEL-787, disponível em <http://www.selinc.com>, para obter uma lista completa das matrizes de compensação. Na notação da matriz  $W_nCTC$ , as colunas representam  $I AW_n$ ,  $I BW_n$  e  $I CW_n$ , da esquerda para a direita, e as linhas representam os elementos diferenciais 87-1, 87-2 e 87-3, de cima para baixo. O uso das entradas IA para testar o elemento 87-1 resulta na necessidade de usar os fatores do canto esquerdo superior da matriz. Observe que os elementos 87-2 e 87-3 podem também ser ativados durante os testes discutidos neste guia de aplicação, porém eles devem ser desconsiderados. Na Tabela 2, as constantes de compensação são derivadas da seguinte forma:

- As matrizes numeradas com valor ímpar são multiplicadas por  $1/\sqrt{3}$ , logo é necessário multiplicar a corrente de teste por  $\sqrt{3}$  para compensar. O fator do canto esquerdo superior da matriz é 1, portanto ele não tem nenhum efeito.
- As matrizes 2, 4, 8 e 10 são multiplicadas por  $1/3$ , logo é necessário multiplicar a corrente de teste por 3 para compensar. O fator do canto esquerdo superior da matriz é 1, portanto ele não tem nenhum efeito.
- As matrizes 6 e 12 são multiplicadas por  $1/3$ , logo é necessário multiplicar a corrente de teste por 3 para compensar. Essas matrizes incluem um fator igual a 2 na posição esquerda superior, logo é necessário dividir a corrente de teste por 2 para compensar. O fator de compensação resultante é 1.5.
- Se o sinal da constante de compensação for negativo, o ângulo de fase desta corrente não precisa ser girado em 180 graus nos testes restantes.
- Para as matrizes com uma constante de compensação igual a zero, será necessário testar usando a injeção na Fase-B ou C para tal enrolamento, conforme observado na Tabela 2.

Usando os ajustes do sistema de teste, o ponto de teste calculado para a Fase A no Terminal W1 é:

$$IAW1_{60 \text{ Hz}} = IOP \cdot TAP1 \cdot CC = 1.0 \cdot 4.17 \cdot 10 = 4.17 \text{ A} \quad (1)$$

$$IAW1_{120 \text{ Hz}} = I_{2ND} \cdot TAP1 \cdot CC = 0.15 \cdot 4.17 \cdot 10 = 0.63 \text{ A} \quad (2)$$

Portanto, aplique 4.17 A com 60 Hz ao terminal IAW1 do relé. Em seguida, aplique um sinal de 120 Hz em paralelo com o sinal de 60 Hz, e aumente a corrente de 120 Hz, monitorando, ao mesmo tempo, o “Relay Word bit” 87BL1 usando o comando **TAR 87BL1 10000** na janela do terminal. 87BL1 deve ser ativado quando a corrente de 120 Hz for 0.63 A,  $\pm 5\%$ ,  $\pm 0.10$  A. Entre <CTRL+X> para abortar o comando das sinalizações (TARGET) após o fim dos testes.

Se o equipamento de teste não exibir a grandeza de segundo-harmônico com precisão, use o comando **MET DIF** na janela do terminal. Este comando inclui as correntes diferenciais de segundo, quarto e quinto-harmônico como um porcentual da corrente de operação fundamental.

Se PCT4  $\neq$  OFF ou PCT5  $\neq$  OFF, repita este teste usando correntes com 240 Hz e 300 Hz, respectivamente.

## Restrição por Harmônicos

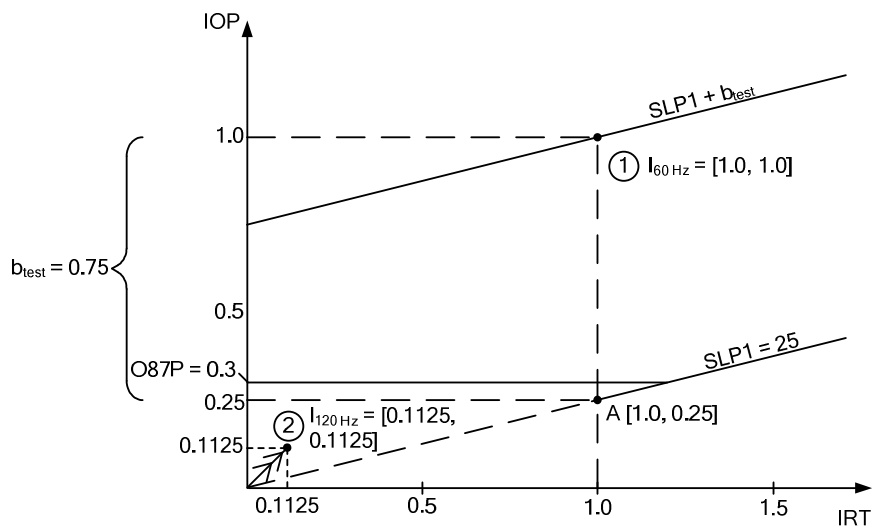
O elemento de restrição por harmônicos opera de forma diferente e é ligeiramente mais difícil de ser testado do que o elemento de bloqueio de harmônicos. Ao invés de usar um valor limite fixo, o elemento de restrição desloca a linha da inclinação para cima em relação à quantidade de corrente diferencial harmônica medida.

Imagine a equação de uma linha como  $y = mx + b$ , onde  $y$  é a corrente de operação (IOP),  $m$  é a inclinação (SLP1 ou SLP2),  $x$  é a corrente de restrição (IRT), e  $b$  é o componente de harmônicos. Sob condições normais, não há corrente harmônica, e a linha cruza a origem, conforme mostrado na Figura 2.

Portanto, a corrente harmônica não altera a inclinação (“slope”) da linha, mas apenas desloca a mesma para cima pelo valor de  $b$ , onde:

$$b = I_{2ND} \cdot \frac{100}{PCT2} \quad (3)$$

A Figura 4 mostra o teste para o sistema usado como exemplo.



**Figura 4 Pontos de Teste da Restrição por Harmônicos**

Novamente, para simplificar os cálculos, selecione [1.0, 1.0] como o local da corrente de operação fundamental. Convertendo para amperes, novamente obtemos  $I_{AW1_{60\text{ Hz}}} = 6.25 \text{ A}$ , conforme calculado no teste de bloqueio de harmônicos.

Para encontrar o componente de segundo-harmônico requerido para bloquear a operação,  $b_{\text{test}}$  tem que ser encontrado primeiro. Como o relé está operando com base em SLP1 durante este teste,  $b_{\text{test}}$  é igual à diferença da corrente de operação de SLP1 em  $IRT_1$  ( $IOP_A$ ) e  $IOP_1$ . Os cálculos para o sistema de teste estão mostrados abaixo.

$$IOP_A = IRT_1 \cdot \frac{SLP1}{100} = 1.0 \cdot \frac{25}{100} = 0.25 \text{ pu} \quad (4)$$

$$b_{\text{test}} = IOP_1 - IOP_A = 1.0 - 0.25 = 0.75 \text{ pu} \quad (5)$$

Resolvendo para  $I_{2\text{ND}}$ :

$$I_{2\text{ND}} = b_{\text{test}} \cdot \frac{PCT2}{100} = 0.75 \cdot \frac{15}{100} = 0.1125 \text{ pu} \quad (6)$$

Isto significa que o elemento vai restringir e não operar quando a corrente diferencial de segundo-harmônico for 11.25% da corrente diferencial fundamental. Agora, este valor deve ser convertido de pu do tap para amperes.

$$I_{AW1_{120\text{ Hz}}} = I_{2\text{ND}} \cdot TAP1 \cdot CC = 0.1125 \cdot 4.17 \cdot 1.0 = 0.47 \text{ A} \quad (7)$$

Portanto, aplique 4.17 A com 60 Hz ao terminal IAW1 do relé. Em seguida, aplique um sinal de 120 Hz em paralelo com o sinal de 60 Hz, e aumente a corrente de 120 Hz, monitorando, ao mesmo tempo, o "Relay Word bit" 87HR1 usando o comando **TAR 87HR1 10000** na janela do terminal. 87HR1 deve ser desativado quando a corrente de 120 Hz for 0.47 A,  $\pm 5\%$ ,  $\pm 0.10 \text{ A}$ .

Se o equipamento de teste não exibir a grandeza de segundo-harmônico com precisão, use o comando **MET DIF** na janela do terminal. Este comando inclui as correntes diferenciais de segundo, quarto e quinto-harmônico como um porcentual da corrente de operação fundamental.

Se PCT4  $\neq$  OFF, repita este teste usando corrente de 240 Hz no lugar da corrente de 120 Hz. Além disso, se PCT5  $\neq$  OFF, o bloqueio de quinto-harmônico **vai** bloquear a saída de restrição por harmônicos, independentemente do ajuste de HBLK. Portanto, PCT5 deve ser testado usando o método descrito na seção “Bloqueio de Harmônicos” deste guia de aplicação. Contudo, o comando **TAR 87HR1 10000** tem que ser usado no lugar do comando **TAR 87BL1 10000**.

## CONCLUSÃO

Este guia de aplicação demonstra um método simples para testar as funções de bloqueio e restrição por harmônicos do elemento diferencial do SEL-787 usando injeção de corrente monofásica em regime. Um teste separado tem que ser executado para cada função. Este conjunto de dois testes precisa ser repetido para cada ordem de harmônico utilizado (isto é, segundo, quarto e quinto). Como requisito final, o equipamento de teste tem que ter capacidade para gerar duas frequências simultaneamente. Para verificação das grandezas, o comando **MET DIF** do SEL-787 fornece medições precisas dos harmônicos. O guia inclui um exemplo detalhado com explicações e cálculos dos pontos de teste necessários para facilitar a compreensão.

## REFERÊNCIA

- [1] J. Young, “Single-Phase Testing of the SEL-787 Differential Element”, Guia de Aplicação SEL (AG2011-09), 2011. Disponível em: <http://www.selinc.com>.

Também disponível em português em <http://www.selinc.com.br/guiasdeaplicacao.aspx>

## 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

**\*AG2011-10\***