

Teste Monofásico das Funções de Bloqueio e Restrição por Harmônicos do SEL-487E

David Costello e Jason Young

INTRODUCTION

A porção harmônica do elemento diferencial do Relé de Proteção de Transformadores SEL-487E opera de forma diferente do que no Relé de Sobrecorrente e Diferencial de Corrente SEL-387 e no Relé Diferencial de Corrente SEL-587. O SEL-487E 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, por favor, consulte o Manual de Instrução do SEL-487E [1] e o Guia de Aplicação SEL AG2010-09 [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 1, e os ajustes correspondentes estão relacionados na Tabela 1.

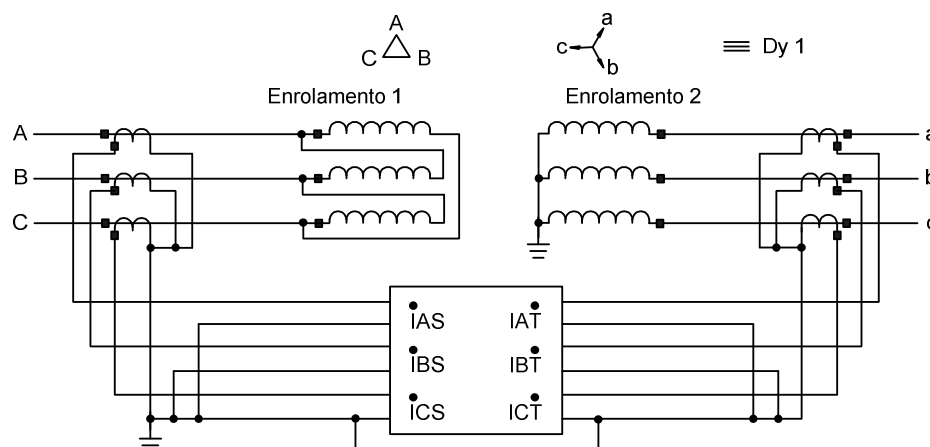


Figura 1 Diagrama Trifilar do Sistema de Teste

Tabela 1 Ajustes do Sistema de Teste

Ajuste	Descrição	Unidades	Faixa	Valor Atribuído
ECTTERM	Habilita os seguintes terminais de corrente	NA	S, T, U, W, X	S, T
E87	Inclui os seguintes terminais no elemento diferencial	NA	S, T, U, W, X	S, T
CTRS	Relação do Transformador de Corrente (TC) para o Terminal S	NA	1 a 50000	60
CTCONS	Conexão do TC para o Terminal S	NA	Y, D	Y
CTRT	Relação do TC para o Terminal T	NA	1 a 50000	500
CTCONT	Conexão do TC para o Terminal T	NA	Y, D	Y
E87TS	Inclui o Terminal S no elemento diferencial para as seguintes condições	Equações de controle SELOGIC®	NA	1
E87TT	Inclui o Terminal T no elemento diferencial para as seguintes condições	Equações de controle SELOGIC	NA	1
ICOM	Matriz de conexão do TC interno / compensação habilitada	NA	Y, N	Y
TSCTC	Compensação da conexão do TC (Terminal S)	NA	0 a 12	12
TTCTC	Compensação da conexão do TC (Terminal T)	NA	0 a 12	1
MVA	MVA nominal máximo do transformador	MVA	1 a 5000, OFF	50
VTERMS	Tensão fase-fase nominal do Terminal S	kV	1.00 a 1000.00	138
VTERMT	Tensão fase-fase nominal do Terminal T	kV	1.00 a 1000.00	12.47
TAPS	Tap de corrente do Terminal S	A	0.50 a 175.00	3.48
TAPT	Tap de corrente do Terminal T	A	0.50 a 175.00	4.63
U87P	Corrente de partida do elemento sem restrição	Múltiplos do tap	1.00 a 20.00	8
O87P	Corrente de partida de operação do elemento diferencial	Múltiplos do tap	0.10 a 4.00	0.5
SLP1	Ajuste da Inclinação 1 ("Slope 1")	Porcento	5.00 a 100.00	35
SLP2	Ajuste da Inclinação 2 ("Slope 2")	Porcento	5.00 a 100.00	75
DIOPR	Corrente de partida de operação incremental	Múltiplos do tap	0.10 a 10.00	1.2
DIRTR	Corrente de partida de restrição incremental	Múltiplos do tap	0.10 a 10.00	1.2
E87HB	Habilita o bloqueio de harmônicos do elemento diferencial	NA	Y, N	Y
E87HR	Habilita a restrição por harmônicos do elemento diferencial	NA	Y, N	Y
PCT2	Porcentual de segundo-harmônico	Porcento	5 a 100, OFF	15
PCT4	Porcentual de quarto-harmônico	Porcento	5 a 100, OFF	OFF
PCT5	Porcentual de quinto-harmônico	Porcento	5 a 100, OFF	OFF

PROCEDIMENTO DE TESTE

Bloqueio de Harmônicos

O SEL-487E 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 IAS maior do que o valor mínimo de pickup. O “Relay Word bit” 87RA é ativado neste ponto. Em seguida, usando um segundo canal de corrente em paralelo, aplique uma corrente com 120 Hz, e aumente até que 87RA seja desativado. Isso deve ocorrer quando a corrente de segundo-harmônico for maior do que o porcentual 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.

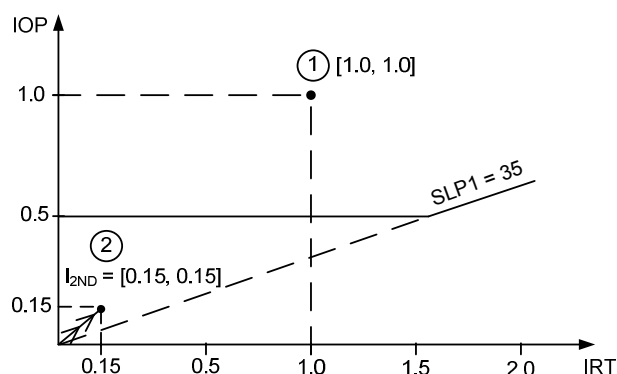


Figura 2 Pontos de Teste do Bloqueio de Harmônicos

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.

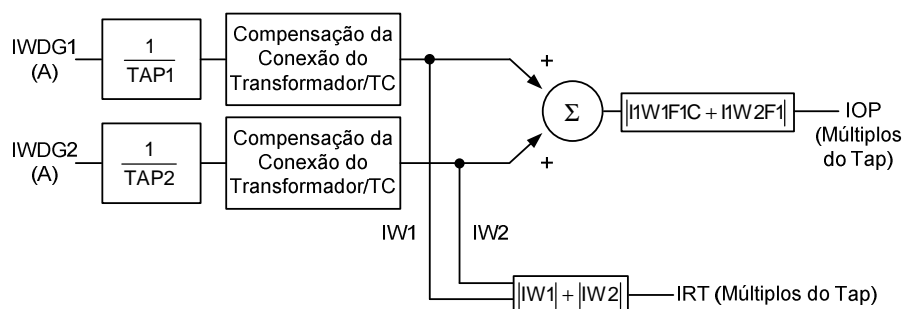


Figura 3 Diagrama de Blocos do Elemento Diferencial

Tabela 2 Constantes de Compensação para o Teste Monofásico

Ajuste TnCTC	A (Enrolamento 1)	B (Enrolamento 2)
0	1	1
Ímpar: 1, 3, 5, 7, 9, 11	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$
Par: 2, 4, 6, 8, 10, 12	1.5	1.5

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

$$IAS_{60\text{ Hz}} = IOP \cdot TAPS \cdot A = 1.0 \cdot 3.48 \cdot 1.5 = 5.22 \text{ A} \quad (1)$$

$$IAS_{120\text{ Hz}} = I_{2ND} \cdot TAPS \cdot A = 0.15 \cdot 3.48 \cdot 1.5 = 0.78 \text{ A} \quad (2)$$

Portanto, aplique 5.22 A com 60 Hz ao terminal IAS 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” 87AHB usando o comando **TAR 87AHB 10000** na janela do terminal. 87AHB deve ser desativado quando a corrente de 120 Hz for 0.78 A, $\pm 5\%$, ± 0.10 A.

Se o equipamento de teste não exibir a grandeza de segundo-harmônico com precisão, podemos usar 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.

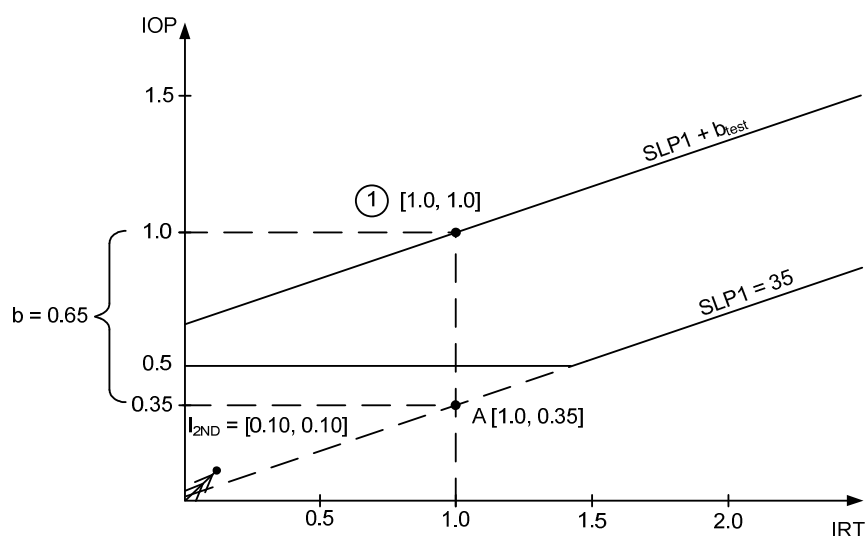


Figura 4 Pontos de Teste da Restrição por Harmônicos

Novamente, para simplificar os cálculos, selecione [1.0, 1.0] como o local da corrente de operação fundamental. Convertendo para amperes, novamente obtemos $I_{AS_{60\text{ Hz}}} = 5.22\text{ A}$, conforme calculado no teste de bloqueio de harmônicos.

Para encontrar o componente de segundo-harmônico requerido para bloquear a operação, b_{test} tem que ser encontrado primeiro. Como o relé está operando com base em SLP1 durante este teste, b_{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.

$$IOP_A = IRT_1 \cdot \frac{SLP1}{100} = 1.0 \cdot \frac{35}{100} = 0.35\text{ pu} \quad (4)$$

$$b_{\text{test}} = IOP_1 - IOP_A = 1.0 - 0.35 = 0.65\text{ pu} \quad (5)$$

Resolvendo para I_{2ND} :

$$I_{2ND} = b_{\text{test}} \cdot \frac{PCT2}{100} = 0.65 \cdot \frac{15}{100} = 0.0975\text{ pu} \quad (6)$$

Isto significa que o elemento vai restringir e não operar quando a corrente diferencial de segundo-harmônico for 10% da corrente diferencial fundamental. Agora, este valor deve ser convertido de pu do tap para amperes.

$$I_{AS_{120\text{ Hz}}} = I_{2ND} \cdot TAPS \cdot A = 0.0975 \cdot 3.48 \cdot 1.5 = 0.51\text{ A} \quad (7)$$

Portanto, aplique 5.22 A com 60 Hz ao terminal IAS 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" 87AHR usando o comando **TAR 87AHR 10000** na janela do terminal. 87AHR deve ser desativado quando a corrente de 120 Hz for 0.51 A, $\pm 5\%$, $\pm 0.10\text{ A}$.

Se o equipamento de teste não exibir a grandeza de segundo-harmônico com precisão, podemos também usar 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 $PCT4 \neq \text{OFF}$, repita este teste usando corrente de 240 Hz no lugar da corrente de 120 Hz.

CONCLUSÃO

Este guia de aplicação demonstra um método simples para testar as funções de bloqueio e restrição por harmônicos do elemento diferencial do SEL-487E 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-487E fornece medições precisas dos harmônicos. O guia inclui um exemplo detalhado com explicações e cálculos dos pontos de teste necessários para facilitar a compreensão.

REFERÊNCIAS

- [1] Manual de Instrução do SEL-487E. Disponível em: <http://www.selinc.com>.
- [2] D. Costello and J. Young, "Single-Phase Testing of the SEL-487E Differential Element Without State Simulation", Guia de Aplicação SEL (AG2010-09), 2010.
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

SUORTE TÉCNICO SEL HOT LINE
Tel: (19) 3515.2010
E-mail: suporte@selinc.com

© 2010 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

AG2010-10