

Teste Monofásico do Elemento Diferencial do SEL-787

Jason Young

INTRODUÇÃO

Ao testar um elemento diferencial, recomenda-se usar apenas a corrente de uma fase. Embora este teste não simule condições reais de um sistema, ele fornece uma prova adequada de que o relé foi ajustado conforme desejado. Além disso, a prática do teste monofásico simplifica o teste, tornando-o adequado para todos os equipamentos de teste, uma vez que nem todos possuem seis canais de corrente para executar um teste das três fases.

A simulação de estado, ou um teste automático no qual um estado de falta é aplicado após um estado de pré-falta ter sido inicialmente aplicado, simula com precisão as condições reais de um sistema de potência. No entanto, o teste para condições de regime é normalmente preferido, pois pode ser efetuado manualmente e é mais simples. Este guia de aplicação demonstra o teste monofásico para condições de regime do elemento diferencial do Relé de Proteção de Transformadores SEL-787, o qual não requer simulação de estado.

O SEL-787 possui um elemento diferencial de fase com restrição porcentual e inclinação (“slope”) dupla similar àquela encontrado nos relés das séries SEL-587 e SEL-387. Observe que esta característica difere da característica com inclinação adaptativa usada no Relé de Proteção de Transformadores SEL-487E. Para obter informações sobre os testes do elemento diferencial do SEL-487E, consulte o Guia de Aplicação SEL AG2010-09 [1]. A característica diferencial com restrição porcentual usada no SEL-787 está mostrada na Figura 1.

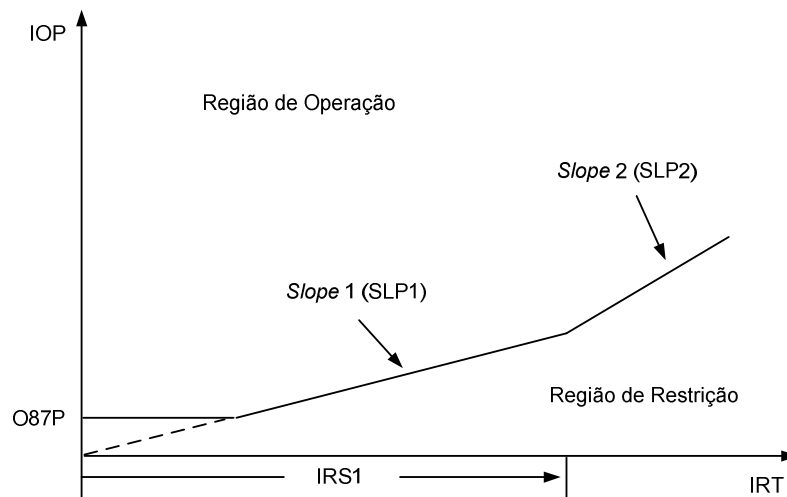


Figura 1 Característica Diferencial com Restrição Porcentual do SEL-787

O SEL-787 possui quatro ajustes principais que definem diretamente o formato da característica, conforme mostrado na Figura 1. A característica não varia dinamicamente durante a operação, tornando o teste monofásico deste elemento relativamente simples e direto. Quatro testes são necessários, um para cada ajuste.

SISTEMA USADO COMO AMOSTRA

Com o objetivo de explicar os testes necessários, usamos um transformador como amostra para calcular os pontos de teste. O diagrama trifilar do sistema está mostrado na Figura 2 e os ajustes correspondentes estão relacionados na Tabela 1

Tabela 1 Ajustes do Sistema Usado como Amostra

Ajuste	Descrição	Unidades	Valores Aceitáveis	Valor Ajustado
MVA	Capacidade máxima 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	0
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	Pickup da corrente 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	6
U87P	Pickup da corrente do elemento sem restrição	Múltiplos do tap	1.0 a 20.0	8

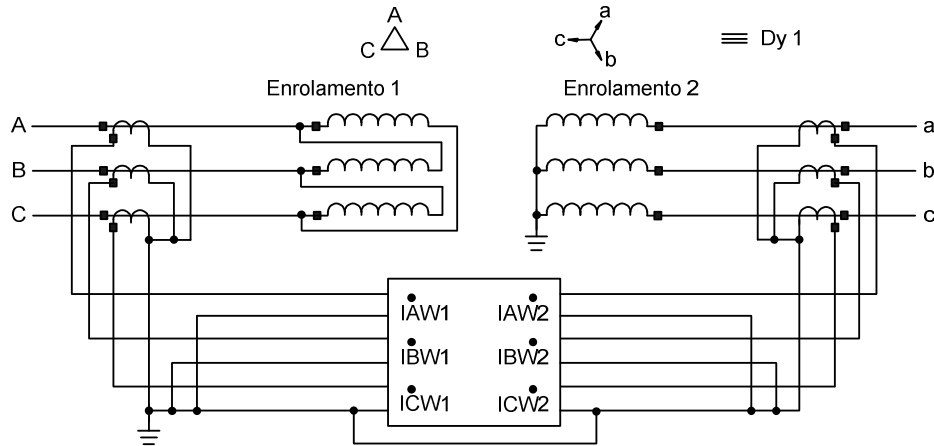


Figura 2 Diagrama Trifilar do Sistema Usado como Amostra

PROCEDIMENTO DE TESTE

U87P

O elemento diferencial sem restrição opera com base na corrente de operação fundamental calculada pelo relé. Conforme o nome indica, ele não é afetado pelos elementos de restrição ou bloqueio por harmônicos habilitados no relé. A corrente de operação é comparada ao ajuste de U87P, e a saída (87Un, onde $n = A, B$ ou C) é habilitada para valores maiores do que o ponto de ajuste (“set point”).

Este elemento pode ser testado aplicando-se uma corrente monofásica a um enrolamento com valor superior ao do ajuste de U87P e monitorando o “Relay Word bit” 87Un. Entretanto, observe que o ajuste de U87P é em “por unidade” (pu) do ajuste do tap correspondente e, portanto, tem que ser convertido para amperes.

A Figura 3 mostra um diagrama de blocos do elemento diferencial do relé. Além de multiplicar pelo tap, as correntes precisam também 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.

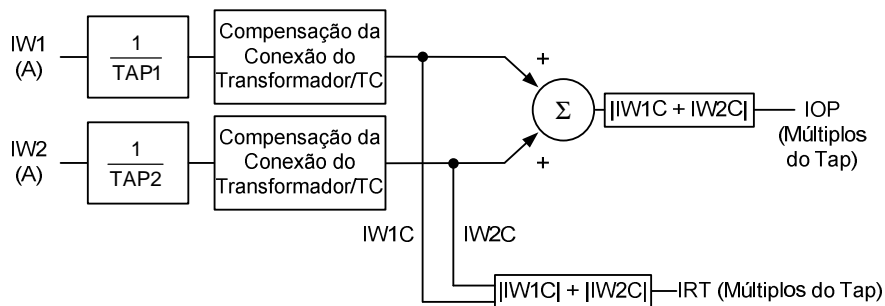


Figura 3 Diagrama de Blocos do Elemento Diferencial

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

Ajuste $WnCTC$	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 $WnCTC$, as colunas representam $I AWn$, $IBWn$ e $ICWn$, 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 usado como amostra, o ponto de teste calculado para a fase-A no Enrolamento 1 é:

$$IAW1 = U87P \cdot TAP1 \cdot CC = 8 \cdot 4.17 \cdot 1 = 33.36 \text{ A} \quad (1)$$

Observe que este valor está bem acima do valor da característica nominal contínua (15 A) dos canais das entradas de corrente do relé. Contudo, as entradas do relé são especificadas para 500 A por 1 segundo. Isto é equivalente a 250000 A secundários (I^2t). Logo, podemos encontrar o tempo máximo que a corrente de teste pode ser aplicada sem danificar as entradas, conforme mostrado a seguir:

$$\frac{250000}{I_{\text{test}}^2} = \frac{250000}{33.36^2} = 225 \text{ s} \quad (2)$$

Portanto, aplique 30 A ao terminal do relé IAW1 e aumente a corrente, monitorando, ao mesmo tempo, o “Relay Word bit” 87U1, usando o comando **TAR 87U1 10000** na janela do terminal. 87U1 deve ser ativado para 33.36 A, $\pm 5\%$. Entre <CTRL+X> para abortar o comando das sinalizações após o fim dos testes.

O87P

O ajuste O87P define a mínima corrente de operação necessária para propiciar a operação do elemento diferencial. Ele é testado usando os mesmos métodos do teste do U87P descrito na seção anterior.

O ponto de teste para o sistema usado como amostra é:

$$IAW1 = O87P \cdot TAP1 \cdot CC = 0.3 \cdot 4.17 \cdot 1 = 1.25 \text{ A} \quad (3)$$

Portanto, aplique 1.0 A no terminal do relé IAW1 e aumente a corrente, monitorando, ao mesmo tempo, o “Relay Word bit” 87R1, usando o comando **TAR 87R1 10000** na janela do terminal. 87R1 deve ser ativado para 1.25 A, $\pm 5\%$.

SLP1

O primeiro passo no teste de SLP1 consiste em determinar um valor de restrição aceitável. O valor de restrição do ponto de teste selecionado tem que ser maior do que a interseção de SLP1 e a mínima restrição de operação, O87P. Abaixo deste valor de restrição, o relé não opera baseado em SLP1. O valor de restrição também tem que ser menor do que IRS1, o ponto de inflexão (“break point”) entre SLP1 e SLP2. Portanto, o valor de restrição selecionado para um ponto de teste tem que atender aos critérios apresentados em (4).

$$O87P \cdot \frac{100}{SLP1} \leq IRT < IRS1 \quad (4)$$

Resolvendo (4) para o sistema usado como amostra, temos os valores mostrados em (5).

$$0.3 \cdot \frac{100}{25} = 1.2 \text{ pu} \leq IRT < 6.0 \text{ pu} \quad (5)$$

Para simplificar, selecione $IRT = 2.0 \text{ pu}$ para o ponto de teste. A corrente de operação correspondente para o ponto na linha SLP1 é então:

$$IOP = IRT \cdot \frac{SLP1}{100} = 2.0 \cdot \frac{25}{100} = 0.50 \text{ pu} \quad (6)$$

De forma similar aos dois primeiros testes, este ponto em pu tem que ser convertido para corrente de entrada. Diferentemente dos dois primeiros testes, o teste de SLP1 requer o uso de duas correntes, IAW1 e IAW2. Usando a Figura 3 como referência, as correntes compensadas, IW1 e IW2, podem ser encontradas começando com $IRT/2$ para cada uma, com IW1 em 0 grau e IW2 em 180 graus, baseando-se no fato de que ambas as constantes de compensação têm um sinal positivo para este exemplo. Isso fornece a quantidade correta de corrente de restrição, mas não da corrente de operação. Adicionando metade da corrente de operação desejada à IW1 e subtraindo metade da corrente de operação desejada de IW2, temos ambos os valores corretos de operação e restrição. As equações são as seguintes:

$$IW1 = \frac{(IRT + IOP)}{2} = \frac{(2.0 + 0.5)}{2} = 1.25 \text{ pu} \quad (7)$$

$$IW2 = \frac{(IRT - IOP)}{2} = \frac{(2.0 - 0.5)}{2} = 0.75 \text{ pu} \quad (8)$$

IW1 e IW2 podem agora ser convertidas para IAW1 e IAW2, respectivamente, multiplicando-se pela constante de compensação e tap correspondente.

$$IAW1 = IW1 \cdot TAP1 \cdot CC = 1.25 \cdot 4.17 \cdot 1 = 5.21 \angle 0^\circ \text{ A} \quad (9)$$

$$IAW2 = IW2 \cdot TAP2 \cdot CC = 0.75 \cdot 4.81 \cdot 1.73 = 6.24 \angle 180^\circ \text{ A} \quad (10)$$

Este teste é executado aplicando-se o valor calculado ao terminal IAW1 e uma corrente maior do que o valor calculado ($7.0 \angle 180^\circ \text{ A}$) ao terminal IAW2. Isso resulta num valor de operação menor, e o relé estará na região de restrição abaixo da linha SLP1. Reduza lentamente a corrente aplicada ao terminal IAW2, monitorando, ao mesmo tempo, o “Relay Word bit” 87R1. O elemento deverá ser ativado quando $IAW2 = 6.24 \text{ A}$, $\pm 5\%$.

A trajetória deste teste está mostrada na Figura 4, onde o ponto [2.1, 0.4] corresponde à corrente inicial de $IAW1 = 5.21 \angle 0^\circ \text{ A}$ e $IAW2 = 7.0 \angle 180^\circ \text{ A}$.

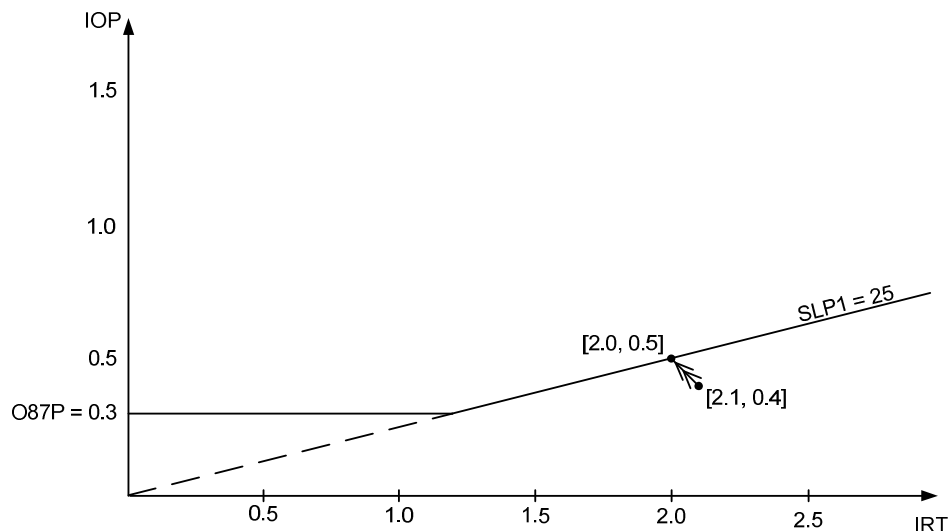


Figura 4 Teste de SLP1

SLP2

O teste de SLP2 é bastante similar ao teste de SLP1. O procedimento é o mesmo, mas o cálculo dos pontos de teste é ligeiramente mais complicado. A razão para a diferença é que a linha SLP1

passa pela origem e, portanto, não tem um termo de *offset*. No entanto, SLP2 tem um *offset*, de forma que cruza SLP1 em IRS1. Contudo, SLP2 somente é ativo para um valor de restrição maior do que IRS1, e o ponto de teste tem que atender aos critérios de (11).

$$IRT > IRS1 \quad (11)$$

Para o sistema usado como amostra, IRS1 = 6.0. Portanto, um ponto de teste adequado para facilitar o cálculo é 10.0 pu. A corrente de operação correspondente para o ponto na linha SLP1 é então:

$$IOP = \frac{SLP2}{100} \cdot IRT + IRS1 \cdot \left(\frac{SLP1 - SLP2}{100} \right) = \frac{50}{100} \cdot 10 + 6 \cdot \left(\frac{25 - 50}{100} \right) = 3.5 \text{ pu} \quad (12)$$

De forma similar ao teste de SLP1, duas correntes são necessárias para gerar a combinação desejada da corrente de operação e corrente de restrição. Novamente, IW1 será a metade da corrente de restrição desejada mais a metade da corrente de operação desejada, enquanto IW2 será metade da corrente de restrição desejada menos a metade da corrente de operação desejada. Use (13) e (14) para calcular IW1 e IW2, respectivamente.

$$IW1 = \frac{(IRT + IOP)}{2} = \frac{(10 + 3.5)}{2} = 6.75 \text{ pu} \quad (13)$$

$$IW2 = \frac{(IRT - IOP)}{2} = \frac{(10 - 3.5)}{2} = 3.25 \text{ pu} \quad (14)$$

IW1 e IW2 podem agora ser convertidas para IAW1 e IAW2, respectivamente, multiplicando-se pela constante de compensação e tap correspondente.

$$IAW1 = IW1 \cdot TAP1 \cdot CC = 6.75 \cdot 4.17 \cdot 1 = 28.15 \angle 0^\circ \text{ A} \quad (15)$$

$$IAW2 = IW2 \cdot TAP2 \cdot CC = 3.25 \cdot 4.81 \cdot 1.73 = 27.0 \angle 180^\circ \text{ A} \quad (16)$$

Este teste é executado aplicando-se o valor calculado ao terminal IAW1 e uma corrente maior do que o valor calculado ($29.0 \angle 180^\circ \text{ A}$) ao terminal IAW2. Isso resulta num valor de operação menor, e o relé estará na região de restrição abaixo da linha SLP2. Reduza a corrente aplicada ao terminal IAW2, monitorando, ao mesmo tempo, o “Relay Word bit” 87R1. Certifique-se que ambas as correntes estejam acima do valor da característica nominal contínua das entradas de corrente do relé. O elemento deverá ser ativado quando $IAW2 = 27.0 \text{ A}, \pm 5\%$.

A trajetória deste teste está mostrada na Figura 5, onde o ponto [10.23, 3.27] corresponde à corrente inicial de $IAW1 = 28.15 \angle 0^\circ \text{ A}$ e $IAW2 = 29.0 \angle 180^\circ \text{ A}$.

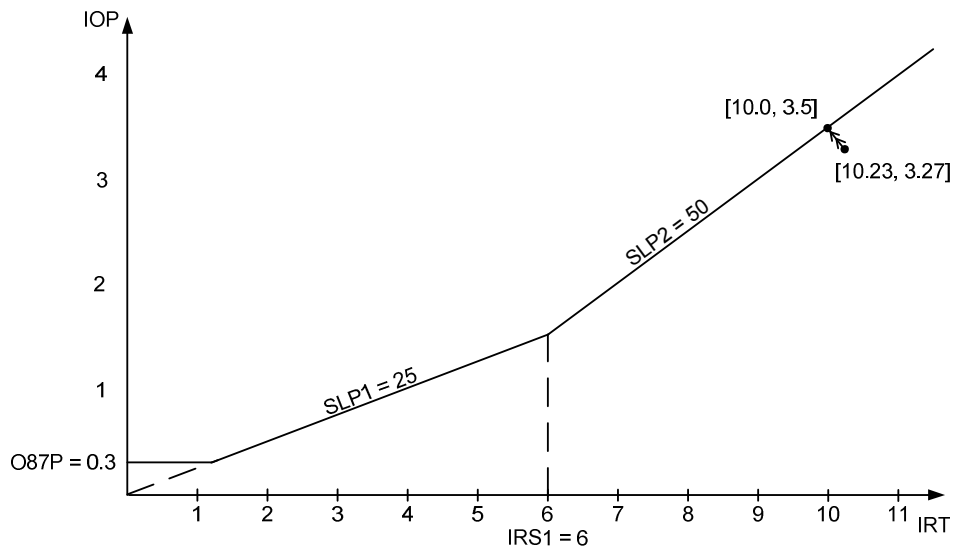


Figura 5 Teste de SLP2

CONCLUSÃO

Este guia de aplicação demonstra um método simples para testar o elemento diferencial com restrição e o elemento diferencial sem restrição do SEL-787, usando injeção de corrente monofásica no estado de regime. Quatro testes são necessários para comprovar os ajustes de atuação (“pickup”) e da inclinação (“slope”) armazenados no relé. O guia também inclui um exemplo detalhado com explicações e cálculos dos pontos de teste necessários para facilitar a compreensão.

REFERÊNCIA

- [1] D. Costello and J. Young, "Single-Phase Testing of the SEL-487E Differential Element Without State Simulation," SEL Application Guide (AG2010-09), 2010. 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 suporte@selinc.com

SUPORTE TÉCNICO SEL HOT LINE

Tel: (19) 3515.2010
E-mail: 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

AG2011-09