

Testes da Inclinação 2 (“Slope 2”) do Relé Diferencial de Barra e Falha de Disjuntor SEL-487B

Bill Fleming e Brad Heilman

INTRODUÇÃO

O Relé Diferencial de Barra e Falha de Disjuntor SEL-487B utiliza dinamicamente duas características de inclinação (“slope”) percentual. A característica da Inclinação 1 (valor default 60%) é usada durante faltas internas. O relé chaveia dinamicamente para a Inclinação 2 (valor default 80%) durante condições de faltas externas. A característica da Inclinação 2 também é conhecida como modo de alta segurança.

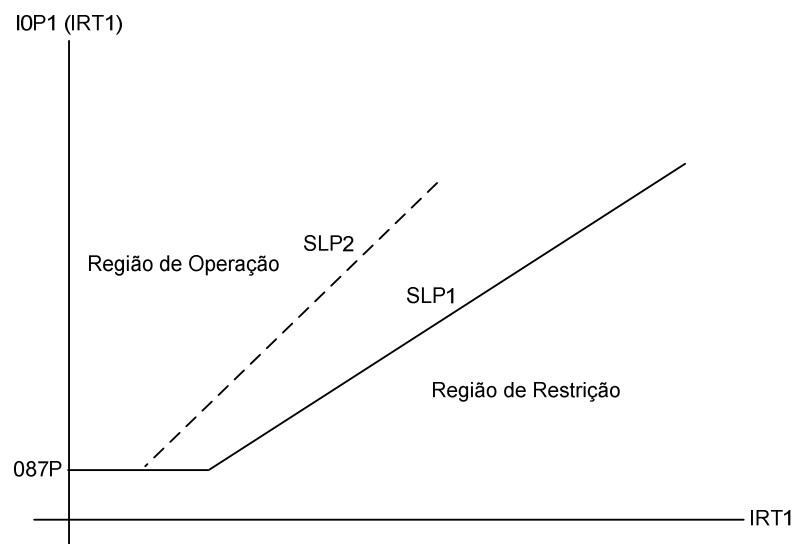


Figura 1 Característica do Elemento Diferencial Filtrado

METODOLOGIA

Os métodos de ensaio resumidos neste guia de aplicação são aplicáveis diretamente para os ajustes default do elemento diferencial de restrição do SEL-487B. Quaisquer variações em relação aos ajustes default exigem que o usuário faça alterações adequadas nos valores de teste.

Tabela 1 Ajustes Default do Elemento Diferencial de Restrição Filtrado

Ajuste	Elemento Diferencial de Restrição	Faixa	Default
O87P	Pickup do Elemento Diferencial de Restrição	0.1 – 4 pu	1.00 pu
SLP1	Porcentual de Restrição (Slope 1)	15 – 90%	60%
SLP2	Porcentual de Restrição (Slope 2)	15 – 90%	80%

O teste da característica da Inclinação 2 (“Slope 2”) do SEL-487B requer o uso do software de testes de simulação de estado. O Estado 1 (“State 1”) consiste em aplicar rapidamente uma falta externa para colocar o relé no modo de alta segurança, que ativa a Inclinação 2. O Estado 2 (“State 2”) consiste em uma falta interna.

CONFIGURAÇÃO DOS TESTES

Os testes resumidos nas seções seguintes utilizam duas correntes monofásicas, sendo que ambas são da mesma zona da barra. Usamos as entradas de corrente I01 e I02. Portanto, as entradas de corrente I01 e I02 têm que estar na Zona 1 da Barra. Em seguida, monitoramos o status dos “Relay Word bits” (RWBs) 87R1 e CON1 e dos valores das correntes diferenciais IOP1 e IRT1. O teste é similar ao ensaio de um relé diferencial com restrição porcentual de um transformador trifásico usando duas correntes monofásicas. Entretanto, este teste tem que ser realizado com simulação de estado ao invés da rampa lenta que é usada para os diferenciais de transformadores típicos.

SELECIONE AS CORRENTES DE TESTE

Primeiro, escolha uma corrente de restrição para o teste da inclinação (“slope”) que esteja bem acima da intersecção de O87P com SLP2.

Usaremos os seguintes ajustes no relé:

O87P := 1.0 pu

TAP01 := 5 amperes

TAP02 := 5 amperes

SLP2 := 80

Com estes ajustes, a intersecção de O87P com SLP2 é fornecida por:

$$IRT_n = \frac{O87P \cdot 100}{SLP2} = \frac{1.0 \cdot 100}{80} = 1.25 \text{ pu}$$

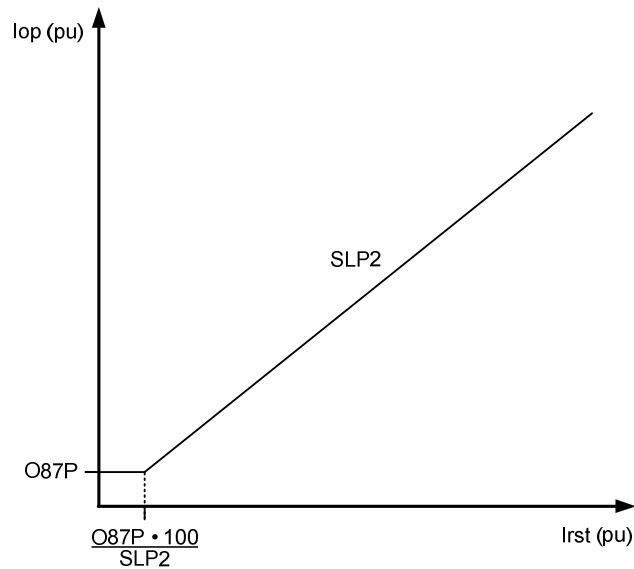


Figura 2 Intersecção de O87P e SLP2

Precisamos escolher uma corrente de restrição maior do que 1.25 pu. Para o nosso teste, escolhemos uma corrente de restrição $I_{rst} = 2.0$ pu. Para esta corrente de restrição, podemos calcular a corrente de operação para um ponto exatamente dentro da característica diferencial. Tendo sido adotado $SLP2 = 80\%$, a corrente de operação para uma corrente de restrição de 2.0 pu é fornecida por: $I_{op} = SLP2 / 100 \cdot I_{rst} = 80 / 100 \cdot 2.0 = 1.6$ pu.

A partir da corrente I_{rst} escolhida, podemos usar (1) para calcular I_{O1} e (2) para calcular I_{O2} para os testes da Inclinação 2. (Favor consultar o apêndice para a derivação dessas equações).

$$I_{O1} = I_{rst} \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{SLP2}{200} \right) \cdot TAP01 = 2.0 \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{80}{200} \right) \cdot 5 = 9 \text{ amperes} \quad (1)$$

$$I_{O2} = I_{rst} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{SLP2}{200} \right) \cdot TAP02 = 2.0 \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{80}{200} \right) \cdot 5 = 1 \text{ ampere} \quad (2)$$

Os valores de $\overline{I_{O1}} = 9 \text{ amperes} < 0^\circ$ e $\overline{I_{O2}} = 1 \text{ ampere} < 180^\circ$ nos dão uma falta interna com uma inclinação de 80% e uma corrente de restrição de 2.0 pu.

ESTABELEÇA UMA FALTA EXTERNA (ESTADO 1 DO SIMULADOR DE ESTADO)

Conforme descrito anteriormente, vamos aplicar rapidamente uma falta externa para colocar o relé no modo de alta segurança. Isto é, o relé muda da Inclinação 1 (“Slope 1”) para a Inclinação 2 (“Slope 2”). Isto possibilita testar a Inclinação 2. Por segurança, o modo de alta segurança é limitado em 60 ciclos. Após 60 ciclos, o relé retorna para o modo normal (Inclinação 1), portanto nossa simulação tem que ser rápida. Recomendamos 10 ciclos para a falta externa. Usando a corrente $\overline{I_{O1}}$ escolhida na última seção, o Estado 1 para a nossa simulação é:

Duração = 10 ciclos

$\overline{I_{O1}} = 9 \text{ amperes} < 0^\circ$

$\overline{I_{O2}} = 9 \text{ amperes} < 180^\circ$

Isto resulta em uma corrente de operação de:

$$\frac{\overline{I01}}{TAP01} + \frac{\overline{I02}}{TAP02} = \frac{|\overline{I01}|}{TAP01} - \frac{|\overline{I02}|}{TAP02} = 0 \text{ pu}$$

e uma corrente de restrição de:

$$\frac{|\overline{I01}|}{TAP01} + \frac{|\overline{I02}|}{TAP02} = 3.6 \text{ pu}$$

Esta grande mudança na corrente de restrição sem mudança na corrente de operação coloca efetivamente o relé no modo de alta segurança. Esta condição é transitória devido à curta duração do modo de alta segurança. A análise do relatório de evento deve ser usada para confirmar a ativação do RWB CON1, indicando a detecção de uma falta externa, e que o relé entrou no modo de alta segurança.

ESTABELEÇA UMA FALTA INTERNA (ESTADO 2 DO SIMULADOR DE ESTADO)

O Estado 1 da simulação de estado coloca o relé no modo de alta segurança. Conforme explicado, o modo de alta segurança dura somente 60 ciclos, então nossa simulação de faltas internas tem que ser rápida. Não podemos efetuar um teste estático (ou teste de rampa lenta) para encontrar a Inclinação 2, porque o modo de alta segurança é muito curto. Ao invés disso, simulamos faltas internas logo abaixo da Inclinação 2 e verificamos a inexistência de operação. Também simulamos faltas internas logo acima da Inclinação 2 e verificamos a operação do RWB 87R1.

Escolhemos uma corrente de teste $|\overline{I02}|$ igual a 1.0 ampere no ponto de equilíbrio e $|\overline{I01}|$ igual a 9.0 amperes. Um teste com $\overline{I01} = 9 \text{ amperes} < 0^\circ$ e $\overline{I02} = 1 \text{ ampere} < 180^\circ$ resulta em uma corrente de operação de:

$$\frac{\overline{I01}}{TAP01} + \frac{\overline{I02}}{TAP02} = 1.6 \text{ pu}$$

e uma corrente de restrição de:

$$\frac{|\overline{I01}|}{TAP01} + \frac{|\overline{I02}|}{TAP02} = 2.0 \text{ pu}$$

Isto produz uma inclinação de 80%. Este é o ponto de equilíbrio exatamente na Inclinação 2.

EXECUTE TESTES LOGO ABAIXO E LOGO ACIMA DO PONTO DE EQUILÍBRIO

Agora que conhecemos o ponto de equilíbrio, podemos testar a inclinação. Lembrar que o teste tem que ser rápido. Recomendamos uma duração de 10 ciclos. Um tempo de pré-falta de 10 ciclos e de falta de 10 ciclos nos dá um tempo total de 20 ciclos. O relé permanece no modo de alta segurança por 60 ciclos, logo temos uma margem de 40 ciclos.

Inicialmente, simulamos uma falta logo abaixo do ajuste de SLP2 de 80%. Por exemplo, simulando $\overline{I01} = 9 \text{ amperes} < 0^\circ$ e $\overline{I02} = 1.1 \text{ ampere} < 180^\circ$, nos dá uma inclinação de 78.22%. Temos que verificar a inexistência de operação (lembrar que o tempo total da simulação de estado deve ser de 20 ciclos no máximo). Monitore para confirmar a não ativação do RWB 87R1.

Em seguida, simulamos uma falta logo acima do ajuste de SLP2. Por exemplo, simulando $\overline{I01} = 9$ amperes $< 0^\circ$ e $\overline{I02} = 0.9$ ampere $< 180^\circ$ nos dá uma inclinação de 81.82%. Temos que observar a ocorrência de operação. Monitore para confirmar a ativação do RWB 87R1.

Em seguida, podemos afinar a nossa estimativa da inclinação, indo para 1.09 ampere e 0.91 ampere para $\overline{I02}$, e em seguida para 1.08 ampere e 0.92 ampere, e assim por diante. Isto nos permite encontrar SLP2 com um alto grau de precisão. Calcule a inclinação através da divisão da corrente de operação pela corrente de restrição:

$$SLP2 = I_{op} / I_{rst} \cdot 100$$

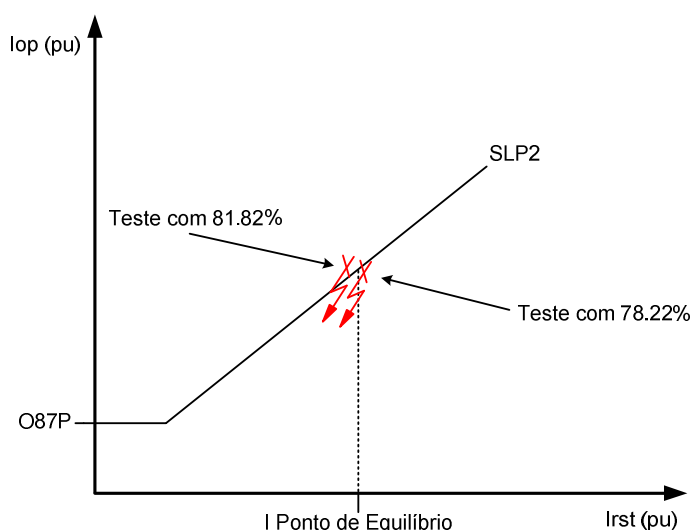


Figura 3 Testes com 78.22% e 81.82%

EXEMPLOS

Vamos considerar uma falta externa de 10 ciclos com $\overline{I01} = 9$ amperes $< 0^\circ$ e $\overline{I02} = 9$ amperes $< 180^\circ$ seguida por uma falta interna de 10 ciclos com uma inclinação de 78.22%, que foi obtida pela aplicação de $\overline{I01} = 9$ amperes $< 0^\circ$ e $\overline{I02} = 1.1$ ampere $< 180^\circ$. Conforme esperado, CON1 é ativado, indicando uma falta externa, e o relé entra no modo de alta segurança. Todavia, a inclinação da falta interna é de apenas 78.22%, logo o RWB 87R1 não é ativado, e o relé não dá trip.

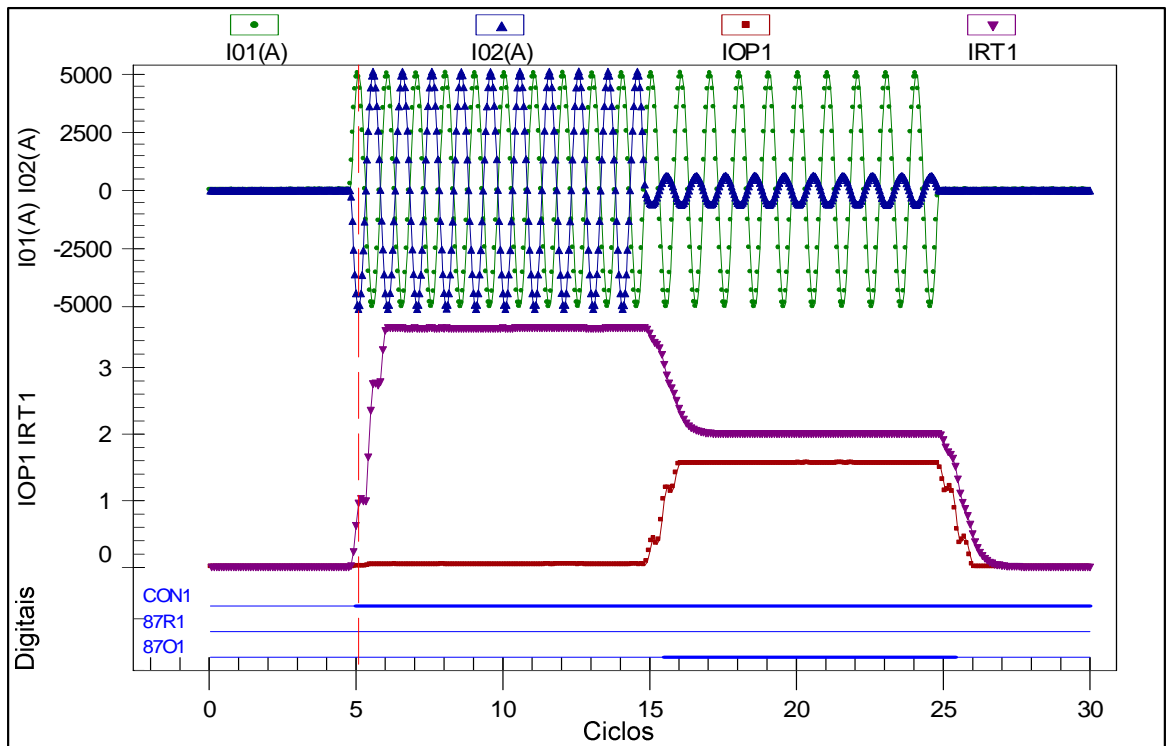


Figura 4 Resultados do Teste com Inclinação de 78.22%. Conforme Esperado, Sem Operação.

Em seguida, mostramos uma falta externa de 10 ciclos com $\overline{I01} = 9 \text{ amperes} < 0^\circ$ e $\overline{I02} = 9 \text{ amperes} < 180^\circ$ seguida por uma falta interna de 10 ciclos com uma inclinação de 81.82%, que foi obtida pela aplicação de $\overline{I01} = 9 \text{ amperes} < 0^\circ$ e $\overline{I02} = 0.9 \text{ amperes} < 180^\circ$. Conforme esperado, CON1 é ativado, indicando uma falta externa, e o relé entra no modo de alta segurança. A inclinação da falta interna é de 81.82%, logo o RWB 87R1 é ativado, e o relé dá trip.

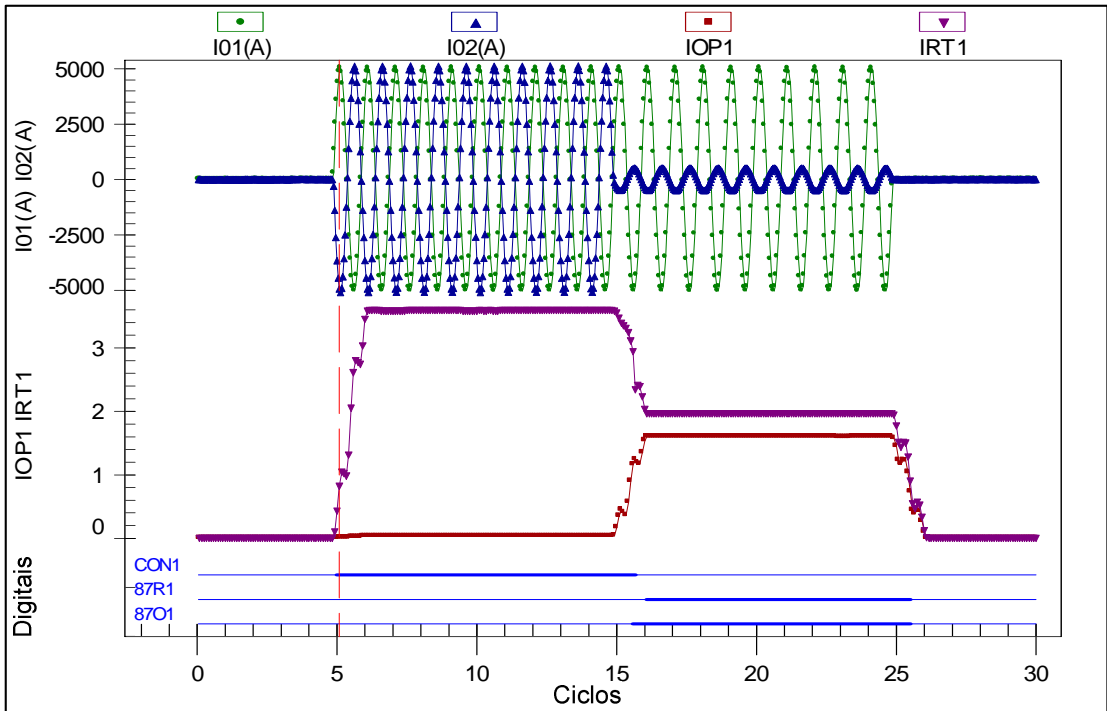


Figura 5 Resultados com Inclinação de 81.82%. Conforme Esperado, Operação do 87R1.

PLANILHA MICROSOFT® EXCEL®

A planilha Microsoft Excel que executa a maioria dos cálculos acima mencionados está disponível no website da SEL (www.selinc.com). A planilha denominada “487B slope 2 calculations and test values.xls” está localizada na página do produto SEL-487B.

As Figuras 6 e 7 mostram as telas dos testes com 78.22% e 81.82%.

Entre com os Ajustes do Relé SEL-487B O87P = 1.00 pu TAP01 = 5.00 amperes TAP02 = 5.00 amperes SLP2 = 80.00 %	Interseção entre O87P e SLP2 IRT = 1.25 pu	Escolha IRT para Falta Interna IRT = 2.00 pu	IOP no Slope IOP = 1.60 pu
Corrente Inicial (10 ciclos) (Coloca o Relé no Modo de Alta Segurança) I01 = 9.00 amperes <0° I02 = 9.00 amperes <180°	Resultados Pré-Falta IOP = 0.00 pu IRT = 3.60 pu Slope = 0.00 %	Legenda Entre com os Ajustes do Relé SEL-487B Entre com a Corrente de Restrição para Falta Interna Varie a Corrente de Teste da Entrada 2 para Falta Interna	
Correntes de Teste do Slope 2 (10 ciclos) I01 = 9.00 amperes <0° I02 = 1.10 amperes <180° ^a I02 @ ponto de equilíbrio = 1.00 amperes	Resultados da Falta IOP = 1.58 pu IRT = 2.02 pu Slope = 78.22 %		
Resultado do Teste ^b Trip = No	^b Monitore o RWB 87R1		

Figura 6 Planilha Excel para Falta com 78.22%

Entre com os Ajustes do Relé SEL-487B O87P = 1.00 pu TAP01 = 5.00 amperes TAP02 = 5.00 amperes SLP2 = 80.00 %	Interseção entre O87P e SLP2 IRT = 1.25 pu	Escolha IRT para Falta Interna IRT = 2.00 pu	IOP no Slope IOP = 1.60 pu
Corrente Inicial (10 ciclos) (Coloca o Relé no Modo de Alta Segurança) I01 = 9.00 amperes <0° I02 = 9.00 amperes <180°	Resultados Pré-Falta IOP = 0.00 pu IRT = 3.60 pu Slope = 0.00 %	Legenda Entre com os Ajustes do Relé SEL-487B Entre com a Corrente de Restrição para Falta Interna Varie a Corrente de Teste da Entrada 2 para Falta Interna	
Correntes de Teste do Slope 2 (10 ciclos) I01 = 9.00 amperes <0° ^a I02 = 0.90 amperes <180° ^a I02 @ ponto de equilíbrio = 1.00 amperes	Resultados da Falta IOP = 1.62 pu IRT = 1.98 pu Slope = 81.82 %		
Resultado do Teste ^b Trip = YES!	^b Monitore o RWB 87R1		

Figura 7 Planilha Excel para Falta com 81.82%

TESTE ADICIONAL

Outro teste interessante para ser executado é o teste com 78.82%, mas deixe o teste prosseguir durante 60 ciclos ao invés de 10 ciclos. Podemos observar o 87R1 ser ativado aproximadamente 60 ciclos após CON1 ter sido ativado, demonstrando que o relé retornou para a inclinação de 60% (SLP1).

Adicionalmente, podemos usar a planilha Excel para testar com correntes mais altas, que nos fornecerão pontos de teste com valores mais elevados de IRT1. Por exemplo, podemos executar testes com uma corrente de restrição de 2, 4, 6 e 8 pu, respectivamente, comprovando a característica de SLP2 através da plotagem de múltiplos pontos.

CONCLUSÃO

A Inclinação 2 (“Slope 2”) do SEL-487B pode ser testada usando um método de simulação de dois estados, conforme descrito neste guia de aplicação. O primeiro estado coloca o relé no modo de alta segurança, e o segundo estado encontra o ponto de equilíbrio da Inclinação 2 através de uma série de testes com aplicação rápida de faltas internas.

APÊNDICE: DERIVAÇÃO DAS CORRENTES I01 E I02 DO RELÉ

Para as correntes de restrição e de operação, o Manual de Instrução do SEL-487B nos fornece:

$$IRT_n = \frac{|\overline{I01}|}{TAP01} + \frac{|\overline{I02}|}{TAP02}$$

e

$$IOP_n = \frac{\overline{I01}}{TAP01} + \frac{\overline{I02}}{TAP02}$$

onde $n = 1$ a 6 para as seis zonas de proteção diferencial disponíveis no relé.

Para efeito de teste, se atribuirmos ângulos de fase de 0° para $I01$ e de 180° para $I02$, podemos transformar os fasores em escalares e obter:

$$IRT_n = \frac{I01}{TAP01} + \frac{I02}{TAP02} \quad (3)$$

e

$$IOP_n = \frac{I01}{TAP01} - \frac{I02}{TAP02} \quad (4)$$

Resolvendo (3) para $I01$, temos:

$$I01 = \left(IRT_n - \frac{I02}{TAP02} \right) \cdot TAP01 = IRT_n \cdot TAP01 - I02 \cdot \frac{TAP01}{TAP02} \quad (5)$$

Substituindo isto em (4), obtemos:

$$IOP_n = \frac{IRT_n \cdot TAP01 - I02 \cdot \frac{TAP01}{TAP02}}{TAP01} - \frac{I02}{TAP02} = IRT_n - \frac{I02}{TAP02} - \frac{I02}{TAP02} \quad (6)$$

Resolvendo (6) para $I02$, temos:

$$I02 = \frac{-TAP02}{2} \cdot (IOP_n - IRT_n) = \left(\frac{IRT_n - IOP_n}{2} \right) \cdot TAP02 \quad (7)$$

Substituindo (7) em (5) e resolvendo para $I01$, obtemos:

$$I01 = TAP01 \cdot \left(IRT_n - \frac{\frac{-TAP02}{2} \cdot (IOP_n - IRT_n)}{TAP02} \right) = \left[IRT_n - \left(\frac{IRT_n - IOP_n}{2} \right) \right] \cdot TAP01 = \left(\frac{IRT_n + IOP_n}{2} \right) \cdot TAP01 \quad (8)$$

Resumindo:

$$I01 = \left(\frac{IRT_n + IOP_n}{2} \right) \cdot TAP01 \quad (9)$$

$$I02 = \left(\frac{IRT_n - IOP_n}{2} \right) \cdot TAP02 \quad (10)$$

Em seguida, substitua:

$$IOP_n = IRT_n \cdot \frac{SLP2}{100} \quad (11)$$

em (9) e (10), que nos fornece:

$$I01 = \left(\frac{IRT_n + IRT_n \cdot \frac{SLP2}{100}}{2} \right) \cdot TAP01 = IRT_n \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{SLP2}{200} \right) \cdot TAP01 \quad (12)$$

$$I02 = \left(\frac{IRT_n - IRT_n \cdot \frac{SLP2}{100}}{2} \right) \cdot TAP02 = IRT_n \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{SLP2}{200} \right) \cdot TAP02 \quad (13)$$

LEITURA ADICIONAL

Manual de Referência do SEL-487B, Seção 1: Funções de Proteção. Disponível em:
<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

© 2009 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

AG2009-11