

Localização de Falhas em Relés de Proteção Através de Ondas Viajantes

N. Fischer, V. Skendzic, R. Moxley e J. Needs
Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.

Apresentado na
11th International Conference on Developments in Power System Protection
Birmingham, Reino Unido
23 a 26 de abril de 2012

Traduzido para o português em julho de 2016

LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM RELÉS DE PROTEÇÃO ATRAVÉS DE ONDAS VIAJANTES

N. Fischer*, V. Skendzic*, R. Moxley*, J. Needs*

*Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2350 NE Hopkins Court, Pullman, WA 99163 USA, papers@selinc.com

Palavras-Chave: Onda viajante, localização de faltas, filtro, diferencial.

Sumário

Diversas versões do algoritmo de Takagi têm sido usadas há décadas por relés baseados em microprocessadores para localização de faltas. Este sistema fornece localização precisa da falta, limitada pelo infeed não homogêneo, fluxo de carga, resistência de falta e linhas com compensação série ou paralelas. Considerando a ênfase depositada na confiabilidade do atual sistema de potência, aumentou a necessidade de maior precisão na localização de faltas. Casos envolvendo linhas de transmissão que atravessam rios ou extensos vales demonstram que um pequeno erro na localização da falta pode forçar as equipes de manutenção a gastarem horas adicionais, ou dias, para encontrar isoladores quebrados ou outros componentes da linha com defeito.

A localização de faltas baseada no princípio das ondas viajantes supera o problema de medição da distância usando transitórios de falta de alta frequência medidos a partir de uma única extremidade da linha ou de ambas as extremidades da linha. As complicações que precisam ser superadas incluem conexões com transformadores de potencial e transformadores de corrente de proteção, filtros nos circuitos de entrada para evitar surtos e picos, e processamento tanto nas frequências do sistema de potência (1 Hz a 3 kHz) quanto nas frequências transitórias da onda viajante (10 kHz a 600 kHz) no mesmo dispositivo.

Este artigo discute os aspectos de implementação e aplicação da localização de faltas através de ondas viajantes em um relé de proteção. Limitações de desempenho são discutidas, bem como os requisitos do sistema e considerações da instalação prática.

1 Introdução

Um sistema completo de localização de faltas através de ondas viajantes inclui mais do que apenas a detecção em si da onda viajante. O aspecto prático da adição deste recurso sem ampliar todos os sistemas de medição significa que este sistema precisa ser combinado com os dispositivos existentes.

O processo básico de um sistema de localização de faltas através de ondas viajantes envolve a detecção do pico da onda, marcação do tempo de chegada, e comparação deste tempo com o instante de chegada na extremidade remota da linha. Obviamente, cada uma destas etapas tem suas próprias complicações e problemas que precisam ser tratados para obter a precisão prometida pela medição de tempo de alta exatidão atualmente disponível em qualquer local do mundo.

2 Seleção do sinal de entrada

Uma falta em um circuito de transmissão produz ondas viajantes tanto de corrente quanto de tensão. Qualquer uma pode ser usada para localização precisa da falta, logo a questão é qual delas produz um sinal que seja mais detectável para o relé. A maneira como o sensor primário reproduz a onda viajante é o fator mais significativo na seleção de um transformador de corrente (TC) versus um transformador de potencial capacitivo (TPC) [2].

A Fig. 1 mostra a resposta do TPC baseada na frequência da entrada.

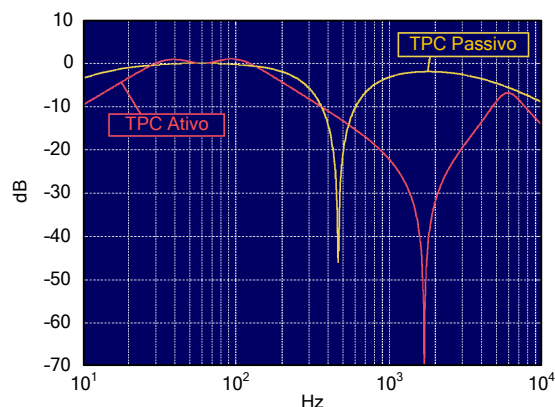


Fig. 1. Resposta de frequência do TPC.

Observe as quedas bruscas e acentuadas na faixa de quilohertz e a resposta dissipada na faixa de 10 kHz. Isto tem o impacto de exigir uma onda viajante muito maior para que seja detectada de forma confiável. Compare a resposta do TC da Fig. 2 com a resposta do TPC da Fig. 1.

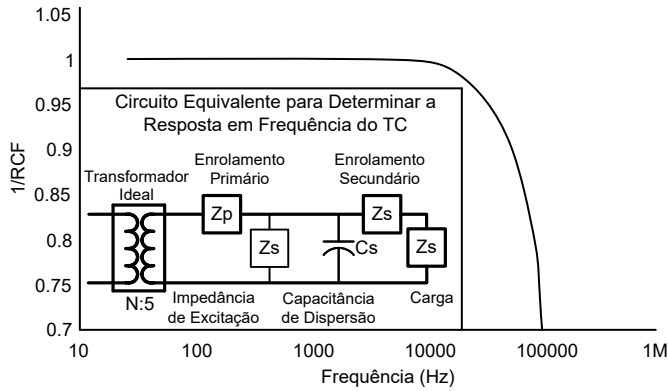


Fig. 2. Resposta de frequência do TC.

A resposta mais extensa e plana de um TC torna-o mais adequado para detecção de ondas viajantes de forma confiável e consistente. Na Fig. 2, pode-se observar que para 100 kHz, a resposta cai para somente 70%.

3 Filtragem

Uma vez que o sinal de entrada tenha sido selecionado, é necessário efetuar um processamento para extraí-lo do sinal total da frequência do sistema de potência, ainda que possa ter um valor significativamente menor. Considere a falta mostrada na Fig. 3.

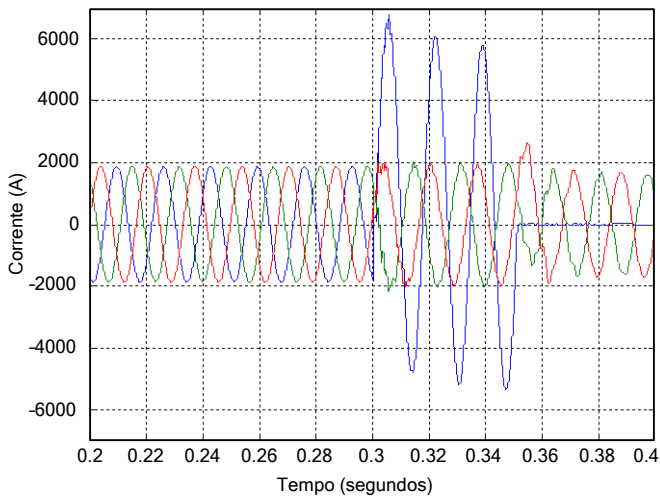


Fig. 3. Corrente primária para filtragem da frequência do sistema de potência.

A mudança súbita ocorrida na corrente no instante 0.3 sinaliza o início da onda viajante. Contudo, embora possamos ver as alterações na corrente entre o instante 0.3 e o instante aproximado de 0.305, isto não tem uma precisão suficiente para estabelecer a localização da falta.

Vamos agora comparar a corrente primária da Fig. 3 com as mesmas correntes passando através de um filtro de 10 kHz e 600 kHz na Fig. 4.

A resolução do tempo de chegada da frente de onda melhora com cada etapa da filtragem na frequência mais alta. Para 600 kHz, pode-se razoavelmente ver a borda afiada da frente

de onda de chegada para uma resolução de 0.0001 segundo ou melhor. Em uma implementação real do sistema de ondas viajantes em um relé, uma frequência de amostragem de pouco mais de 1.5 MHz foi selecionada. A detecção e o registro da onda viajante nesta unidade a partir das duas extremidades de uma linha de transmissão simulada produz o diagrama mostrado na Fig. 5.

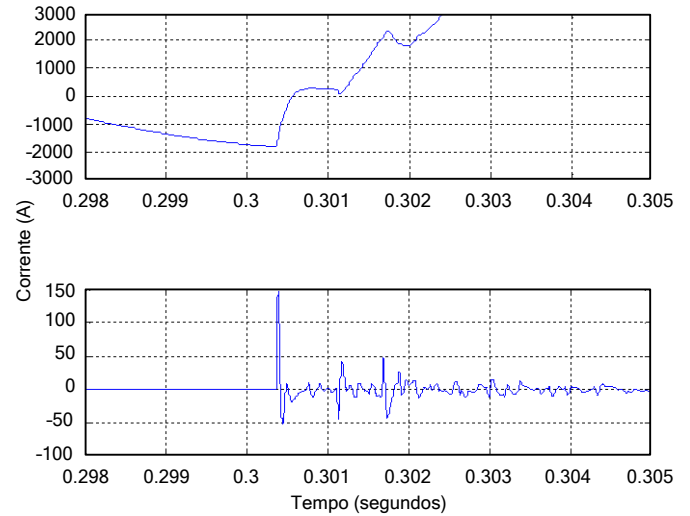


Fig. 4. Mesma onda da Fig. 3 com filtro de 10 kHz a 600 kHz.

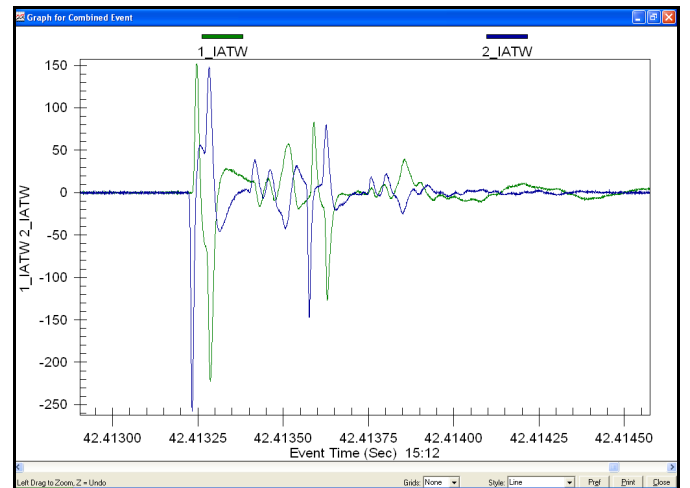


Fig. 5. Detecção de ondas viajantes em duas extremidades.

Na Fig. 5, pode-se observar a chegada da onda viajante nas duas extremidades. As duas formas de onda sobrepostas fornecem as informações necessárias para determinar a localização da falta. A primeira frente de onda é a chegada da onda no terminal mais próximo, e a segunda frente de onda é a chegada da onda na extremidade mais distante da linha. Os picos adicionais são devidos às reflexões.

4 Localização da falta

Revendo a física do ensino fundamental, sabemos que distância = velocidade • tempo.

No caso de uma onda viajante que começa em uma localização de falta desconhecida, podemos escrever uma equação similar para determinar o local de início:

$$\tau_{\text{Line}} = \frac{\text{Line Length}}{v_p} \quad (1)$$

onde:

τ é o tempo de tráfego da onda na linha de transmissão.
 v_p é a velocidade de fase da onda viajante.

Embora saibamos que a velocidade de fase da onda se aproxima da velocidade da luz, este valor não é precisamente igual a c (300 km/milissegundo ou 186000 milhas/segundo).

Sabemos que:

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r}} \quad (2)$$

No entanto, para as constantes de uma linha de transmissão, isto pode ser simplesmente determinado por (3) [1].

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3)$$

onde:

L é a indutância da linha.
 C é a capacitância *shunt* da linha.

Estes valores podem ser simplesmente determinados pelas características de construção da linha.

Para uma linha típica de 500 kV:

$$\begin{aligned} L_1 &= 8.852 \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \\ C_1 &= 1.302 \cdot 10^{-11} \text{ F/m} \end{aligned} \quad (4)$$

que fornece uma velocidade de fase de:

$$\begin{aligned} v_{p1} &= 2.946 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\ &= 0.982 c \end{aligned} \quad (5)$$

Usando estas características, podemos expressar a localização da falta como:

$$F_{\text{Location}} = \frac{L_{\text{LENGTH}}}{2} + \frac{(t_{S_TERM} - t_{R_TERM})}{\tau_{\text{LINE}}} \cdot \frac{L_{\text{LENGTH}}}{2} \quad (6)$$

onde:

S e R referem-se aos terminais de envio e recebimento, respectivamente.

Com os relógios baseados no Sistema de Posicionamento Global (GPS) fornecendo uma precisão típica de ± 100 nanossegundos e uma precisão garantida de ± 500 nanossegundos, estes tempos resultam numa precisão de aproximadamente ± 300 metros.

Para a questão prática relativa ao ajuste do relé com os valores necessários para executar o cálculo, é preciso que o usuário insira o comprimento da linha em milhas ou quilômetros, o comprimento do cabo secundário (que, efetivamente, é parte da linha no que se refere à recepção da

onda viajante), e a velocidade de propagação da linha calculada conforme descrito em (3).

Uma consideração prática adicional consiste em evitar uma operação indesejada do sistema de localização de faltas baseado em ondas viajantes quando não houver nenhuma falta real na linha. Qualquer evento na linha ou na linha adjacente—chaveamento de linha, condução de para-raios, ou pássaros grandes pousando na linha—produzirá uma onda viajante. O uso de um elemento de trip sensível, tal como um elemento diferencial de corrente de linha, para qualificar os eventos na linha pode eliminar esses problemas.

5 Conclusão

As melhorias necessárias na produtividade da mão de obra e serviço de atendimento ao consumidor exigem reparos mais rápidos dos problemas no sistema de transmissão. A localização de faltas com alta precisão pode ajudar a atender este objetivo sem gerar custos adicionais significativos para o sistema de proteção e controle global, conforme indicado a seguir:

- Os relés modernos têm capacidade de processamento e sistema de comunicação necessários para efetuar a localização de faltas com alta precisão.
- Informações suficientes sobre a linha de transmissão estão prontamente disponíveis para calcular a localização da falta a partir das ondas viajantes recebidas nas duas extremidades de uma linha de transmissão.
- Os relés diferenciais de corrente de linha com relógios GPS fornecem comunicação e precisão de tempo suficientes para a localização de faltas através das ondas viajantes.

Novas tecnologias e funções combinadas proporcionam maior eficiência operacional sem aumentar os custos que incidem nas concessionárias e são pagos pelos consumidores.

Referências

- [1] *Electrical Transmission and Distribution Reference Book*, Westinghouse Electric Corporation, 1964, p. 525.
- [2] D. Hou and J. Roberts, "Capacitive Voltage Transformers: Transient Overreach Concerns and Solutions for Distance Relaying," proceedings of the 22nd Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 1995.