

## Estudo de um localizador de faltas para linhas HVDC utilizando dados de dois terminais

### A fault locator study for HVDC lines using data of two terminals

**Nathalia Pereira de Souza**  
[nathaliasouza@alunos.utfpr.edu.br](mailto:nathaliasouza@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

**Murilo da Silva**  
[murilosilva@utfpr.edu.br](mailto:murilosilva@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

#### RESUMO

O crescimento da implementação das linhas de transmissão de energia elétrica High Voltage Direct Current tem atraído estudos para o desenvolvimento de novas ferramentas e equipamentos que auxiliem na proteção, operação e compensação destes sistemas, destacando-se neste cenário a importância da localização de ocorrências de faltas nas linhas de transmissão da sua grande extensão. Dado o exposto este trabalho tem por objetivo apresentar um estudo para localização de faltas em linhas de transmissão High Voltage Direct Current fundamentado no conceito de ondas viajantes utilizando dados registrados nos dois terminais do sistema. Este estudo propõe a aplicação da Transformada Wavelet para caracterizar e detectar o instante de chegada das ondas de tensão nos terminais do sistema de potência oriundas de uma situação faltosa e assim, estimar a distância de ocorrência desta falta.

**PALAVRAS-CHAVE:** *High voltage direct current* (HVDC). Linhas de transmissão. Localização de faltas.

#### ABSTRACT

The implementation of High Voltage Direct Current electric power transmission lines has attracted studies for the development of new tools and equipment to aid in the protection, operation and compensation of these systems, highlighting the importance of locating occurrences of transmission line faults of its great extent. Given the above, this paper aims to present a study for fault location on High Voltage Direct Current transmission lines based on the concept of traveling waves using data recorded at the two terminals of the system. This study proposes the application of the Wavelet Transform to characterize and detect the instant of arrival of the voltage waves in the power system terminal from a faulty situation and thus estimate the distance of occurrence of this fault.

**KEYWORDS:** High voltage direct current (HVDC). Transmission lines. Fault location.

**Recebido:** 31 ago. 2018.

**Aprovado:** 04 out. 2018.

#### Direito autoral:

Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.





## INTRODUÇÃO

Os sistemas em corrente alternada (CA), durante muito tempo foram utilizados devido à facilidade na conversão de energia e custo do sistema. No entanto, desde 1954 esse cenário vem sendo mudado com a primeira implementação de um sistema de alta tensão em corrente contínua (HVDC) em Gotland 1, na Suécia.

Desde então, a implementação desse tipo de linha de transmissão vem crescendo e com isso são necessários o desenvolvimento de novas ferramentas assim como estudos de proteção para que a operação desse sistema seja confiável.

Sendo assim, é de suma importância os estudos de localização de faltas para sistemas de transmissão HVDC, devido a sua grande extensão e ambiente no qual estão inseridos.

## METODOLOGIA

### ONDAS VIAJANTES E LOCALIZAÇÃO DE FALTAS

A teoria das ondas viajantes demonstra que a ocorrência de uma falta em uma linha de transmissão produz ondas de tensão que se propagam, a partir do ponto de falta, nos dois sentidos da linha. Ao encontrar uma descontinuidade, essas ondas se refletem e retornam ao ponto de falta onde haverá novas reflexões, gerando, portanto, transitórios de alta frequência (SILVEIRA et al., 2001).

### TRANSFORMADA WAVELET

A Transformada Wavelet (TW) é uma ferramenta matemática que decompõe um dado sinal em diferentes escalas com distintos níveis de resolução utilizando funções wavelets. Dentre suas características a TW permite a representação local de um sinal tanto no domínio do tempo como da frequência.

Sendo a TW muito bem aceita para uma ampla faixa de sinais que não são periódicos e que podem conter ambos os componentes senoidais e de impulso, como é típico nos transitórios de sistemas de potência. (SILVA; OLESKOVICZ; COURRY, 2005).

### ALGORITMO PROPOSTO

Utilizou-se como base para o desenvolvimento do algoritmo proposto, o algoritmo utilizado por (SILVA; OLESKOVICZ; COURRY, 2004) para linhas de transmissão CA. No entanto, neste trabalho, foi utilizado como modelo uma linha de transmissão HVDC, onde foram necessárias adaptações do algoritmo para a determinação da distância de faltas ocorridas no sistema de teste.

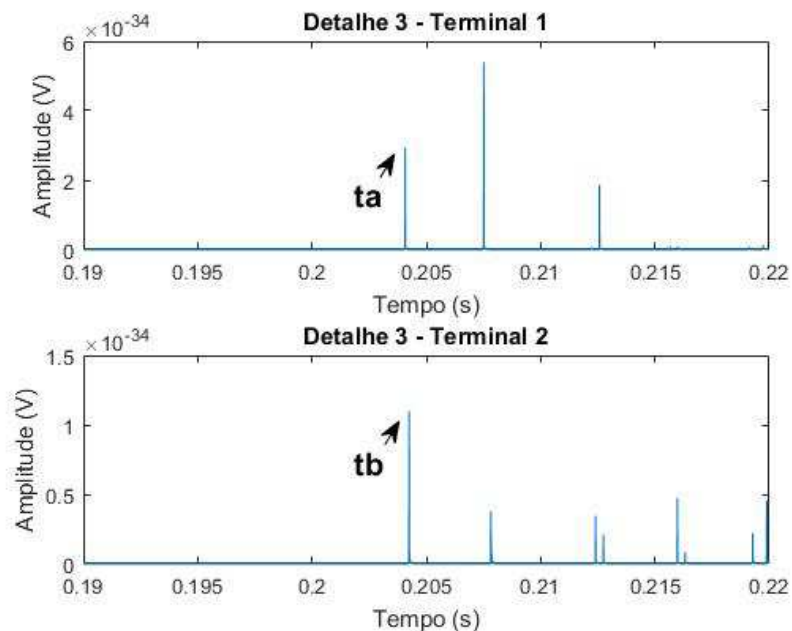
O modelo utilizado para obtenção dos dados faltosos é o modelo HVDC (R2\_MAD\_NEW4D), desenvolvido pelo Eng. Guilherme Sarcinelli Luz, disponível na biblioteca de cases do software ATPDraw. A partir desse modelo, foi

necessário fazer uma adaptação para aplicação das faltas em toda a extensão da LT.

Feito isso, os dados de falta (polo-terra), tensão em ambos os terminais, foram coletados variando a distância do ponto faltoso e a resistência de falta. Após a coleta dos dados faltosos de tensão em ambos os terminais do sistema estes foram desacoplados em dois modos independente (modo 1 e modo 0) utilizando a transformada modal como em (AL HASSAN et al., 2016).

Posteriormente os sinais do modo 1 são decompostos utilizando a análise multi resolução *wavelet*. Nesta etapa os sinais são decompostos utilizando-se a *wavelet* mãe *symlet 2 (sym2)* por melhor se adequar ao problema proposto. Decomposto o sinal original em diferentes níveis são utilizados dos sinais de detalhe 3 para análise e detecção do tempo de chegada das ondas nos terminais dos sistema HVDC teste, conforme ilustra a Figura 1, onde é mostrado como exemplo, um sinal com resistência de falta de  $0\Omega$  a uma distância de 1200km do primeiro terminal.

Figura 1 – Sinal do detalhe 3 dos terminais 1 e 2 do sistema HVDC utilizado



Fonte: Autoria Própria (2018).

Os tempos de falta são coletados a partir do primeiro pico do sinal de cada terminal, sendo  $t_a$  para o terminal 1 e  $t_b$  para o terminal 2. Determinados esses tempos de falta e conhecida a velocidade de propagação da onda  $v$  na linha, pode-se estimar a distância de falta conforme Eq. 1.

$$d = \frac{l - (v_1 \times t_d)}{2} \quad (1)$$

Tal que:  $l$  o comprimento da LT,  $v_1$  a velocidade de propagação da onda, dada pela Eq. 2:

$$v_1 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Sendo:  $L = 0,860602 \times 10^{-3}$  H e  $C = 0,0134166 \times 10^{-6}$  F, a indutância e a capacitância característica da linha, respectivamente. Além disso,  $t_d$  é o tempo de chegada da primeira onda nos 2 terminais, dado pela Eq. 3:

$$t_d = t_b - t_a \quad (3)$$

Tal que:  $t_b$  é o tempo de chegada da primeira onda no terminal 2 e  $t_a$  é o tempo de chegada da primeira onda no terminal 1.

### SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para validação do algoritmo proposto foram realizadas diversas simulações faltosas variando-se a localização da falta a cada 100 km da LT e a resistências de falta em 0, 15 e 50Ω - totalizando 72 diferentes situações faltosas.

O erro percentual relativo ( $\epsilon_{rel}$ ) apresentado é calculado em relação ao comprimento total da linha de transmissão, conforme Eq. 4.

$$\epsilon_{rel} = \left| \frac{d_{estimado} - d_{real}}{l_{LT}} \right| \times 100\% \quad (4)$$

O erro absoluto ( $\epsilon_{abs}$ ) e o erro médio total ( $\epsilon_{medio}$ ) são calculados por meio da Eq. 5 e da Eq. 6, sendo: N, o número de situações consideradas,  $d_{estimado}$ , a distância calculada pelo algoritmo,  $d_{real}$ , a distância real da falta e  $l_{LT}$ , o comprimento da linha.

$$\epsilon_{abs} (m) = |d_{estimado} - d_{real}| \quad (5)$$

$$\epsilon_{medio} = \frac{\sum_1^N \epsilon_{rel} (\%)}{N} \quad (6)$$

Na Tabela 1 são apresentados os resultados alcançados pelo algoritmo proposto com resistências de falta de 0, 15 e 50 ohms. Pela análise dos resultados pode-se inferir que a resistência de falta não influi a metodologia visto que os resultados são semelhantes.

Tabela 1 – Resultados variando as resistências de falta em 0, 15 e 50 ohms

Distância Real	Distância Estimada	Erro Absoluto	Erro (%)
100	98,4592	1,5408	0,063
200	198,5961	1,4039	0,057
300	298,7331	1,2669	0,052
400	398,8700	1,1300	0,046
500	499,0070	0,9930	0,041
600	599,1440	0,8560	0,035
700	699,2809	0,7191	0,029

Distância Real	Distância Estimada	Erro Absoluto	Erro (%)
800	799,4179	0,5821	0,024
900	899,5546	0,4454	0,018
1000	999,6918	0,3082	0,013
Erro Médio			0,0377

Fonte: Autoria Própria (2018).

## CONCLUSÕES

Com o alto desenvolvimento e a implementação de LT's utilizando a tecnologia HVDC, é necessário que essas linhas tenham uma alta confiabilidade e continuidade do serviço e, para isso os estudos de proteção para linhas HVDC tornam-se necessários. Com isso, a partir do estudo apresentado neste artigo, surge uma nova possibilidade de aplicação para a localização de falta nesse tipo de LT. Este apresenta uma proposta para aplicação da TW e método das ondas viajantes para localização de faltas em linhas de transmissão HVDC.

Tendo em vista o erro médio do algoritmo de 0,0377% do comprimento da linha e o fato de que as resistências de falta não afetam a precisão do algoritmo, pode-se dizer então que o método proposto tem uma aplicabilidade promissora no ramo de proteção de linhas de transmissão HVDC.

## REFERÊNCIAS

AL HASSAN, H. A.; GRAINGNER, B. M. **Fault Location Identification of a Hybrid HVDC-VSC System Containing Cable and Overhead Line Segments Using Transient Data**. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), 2016, p.1-5.

SILVA, M.; OLESKOVICZ, M.; COURY, D. V. **A Fault Location Algorithm for Transmission Lines Based on Traveling Waves and Wavelet Transform Theory**. In: IX Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning – 2004, Rio de Janeiro – IX Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning.

SILVA, M.; OLESKOVICZ, M.; COURY, D. V. **Aplicação da transformada wavelet ao problema de localização de faltas em linhas de transmissão com três terminais** – VI Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica – SBQEE, 2005.

SILVEIRA, P. M.; SEARA, R; ZURN, H. H. **Localização de Faltas por Ondas Viajantes: Uma nova abordagem baseada em decomposição wavelet**. – 2001, Campinas – XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica.



### AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Departamento Acadêmico de Elétrica, bem como a Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela infraestrutura disponibilizada.