



**XXIII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GPC/19
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – V

GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC

**PROTEÇÃO PARA LINHAS DE TRANSMISSÃO BASEADA NA TEORIA DE ONDAS VIAJANTES:
UM ESTUDO DE CASO NO SISTEMA CHESF DE TRANSMISSÃO**

LIMA JÚNIOR, J. R. (*)
CHESF

NEVES, W. L. A.
UFCG

COSTA, F. B.
UFRN

LOPES, F. V.
UNB

SOUZA, B. A.
UFCG

ARRUDA, G. A. G.
CHESF

RESUMO

Um esquema de proteção para linhas de transmissão baseado na teoria das ondas viajantes utilizando apenas os sinais do terminal local é analisado. As etapas de detecção e localização de faltas são realizadas utilizando-se a transformada wavelet discreta redundante (TWDR), a qual é capaz de tratar sinais com frequência variante no tempo sem realizar processos de subamostragem. Os algoritmos de proteção implementados em linguagem MATLAB[®] são avaliados frente a diversas condições de falta simuladas digitalmente no ATP (Alternative Transients Program). Os resultados alcançados evidenciam que os métodos implementados possibilitam rápida detecção da falta e a identificação precisa das zonas de proteção dentro das quais o defeito ocorreu.

PALAVRAS-CHAVE

Faltas em linhas de transmissão, transformada *wavelet*, ondas viajantes, transitórios eletromagnéticos, localização de faltas.

1.0 - INTRODUÇÃO

A alta velocidade de operação é um requisito crucial dos relés de proteção, a fim de prevenir que os efeitos de uma falta se alastrem pelo sistema [1], sendo reconhecidamente uma forma eficiente para aumentar a transferência de potência e melhorar a estabilidade do sistema [2].

Os dispositivos de proteção baseados em técnicas que utilizam componentes de frequência fundamental, especialmente aqueles baseados em medição de impedância, vêm se mostrando bastante susceptíveis à topologia do sistema e à característica da falta, incorrendo por vezes, em erros de discriminação do tipo do distúrbio e em tempos relativamente elevados de desconexão dos circuitos com falta. Por outro lado, proteções baseadas na teoria das ondas viajantes que utilizam as componentes de alta frequência do sinal, podem alcançar maior velocidade de operação, sem perdas de confiabilidade, na desconexão de circuitos sob falta.

De acordo com a teoria das ondas viajantes, um distúrbio qualquer provoca o aparecimento de ondas de tensão e corrente sobrepostas ao sinal original que se propagam do ponto de falta para ambos os lados de uma linha de transmissão. Quando estas ondas encontram descontinuidades à sua frente, uma parcela é refletida de volta ao ponto de origem e outra é propagada para outras partes do sistema [2]. Portanto, medindo-se os instantes de tempo em que as ondas viajantes originadas dos distúrbios elétricos são detectadas e, conhecendo-se a velocidade de propagação destas ondas, a distância do ponto de monitoramento para o distúrbio pode ser estimada, viabilizando a detecção confiável da zona de proteção dentro da qual o defeito ocorreu.

Uma vez que a velocidade de propagação das ondas viajantes é próxima à velocidade da luz, do ponto de vista dos relés instalados nos terminais de uma linha de transmissão, as ondas viajantes se apresentam como sinais de alta frequência. Para o tratamento destes sinais, portanto, tem-se a transformada *wavelet* como uma ferramenta adequada para a análise de faltas em regime transitório em sistemas elétricos de potência.

Dentre os métodos utilizados, o método de um terminal apresenta maior robustez e economia quando comparado ao método de dois terminais, em que equipamentos de comunicação e sincronização são necessários. A análise

apresentada neste trabalho se configura como um subsídio importante para o método de dois terminais, especialmente em casos de perda ou indisponibilidade dos equipamentos de comunicação e sincronização.

2.0 - PROTEÇÃO ANALISADA

O dispositivo de proteção para linhas de transmissão, modelado no *software* MATLAB®, é ilustrado na Figura 1. Como pode ser observado, o algoritmo de proteção faz uso apenas do sinal de corrente do terminal local para a detecção de faltas e identificação das zonas de proteção. Optou-se por utilizar apenas sinais de corrente devido à atenuação das componentes de alta frequência decorrente da resposta em frequência dos transformadores de potencial capacitivos (TPC), equipamentos estes comumente utilizados em linhas de alta e extra-alta tensão [3].

O algoritmo de proteção está dividido em cinco etapas, ilustradas na Figura 1, que consistem em:

- 1 - Aquisição e tratamento dos sinais de corrente em ambos os terminais da linha;
- 2 - Transformação modal (Clarke) para desacoplar os sinais de corrente;
- 3 - Detecção de faltas utilizando a teoria das ondas viajantes e a TWDR;
- 4 - Cálculo da localização da falta por meio da TWDR;
- 5 - Processamento da lógica de comando para desconexão do circuito defeituoso.

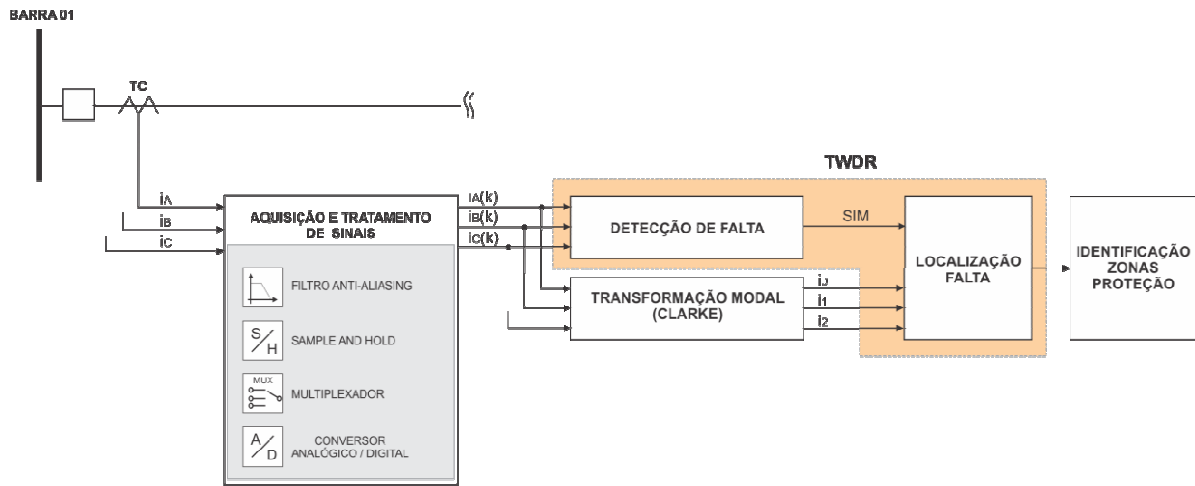


FIGURA 1 – Esquema simplificado da proteção analisada.

No método de um terminal, a classificação do tipo de falta é etapa fundamental para o correto funcionamento dos algoritmos. Neste trabalho, considerar-se-á que o tipo de falta é conhecido, bem como a direcionalidade da falta. Como referência de trabalhos que abordam estes pontos, sugere-se a leitura de [4].

Na implementação em tempo real, são utilizadas janelas móveis com tamanho fixo de um ciclo da frequência fundamental do sistema f_s/f , sendo f_s a frequência de amostragem e f a frequência do sistema. As etapas desempenhadas pelo algoritmo são detalhadas a seguir.

2.1 Aquisição e tratamento de sinais

As correntes das três fases do terminal local são medidas pelos transformadores de corrente (TC). Após a aquisição dos dados, os sinais analógicos são filtrados por filtros *anti-aliasing* do tipo Butterworth de 2ª ordem com frequência de corte de 85% da frequência de Nyquist, conforme utilizado em [4]. O filtro Butterworth é utilizado por não apresentar oscilações na faixa de passagem e não promover desvios de fase relevantes do sinal filtrado [5].

Nesta análise, duas taxas de amostragem foram utilizadas: 20 kHz e 120 kHz. A escolha da taxa de amostragem de 20 kHz deve-se ao fato desta ser próxima às comumente encontradas em RDP. Além disso, esta taxa foi utilizada objetivando-se implementações futuras em simuladores digitais no tempo real (RTDS™), que atualmente possui passo de tempo mínimo de 50 μ s. A taxa de amostragem de 120 kHz, por sua vez, é adotada visando verificar a influência de diferentes taxas no cálculo da localização da falta.

2.2 Transformação modal (Clarke)

Devido ao acoplamento mútuo entre as três fases, as ondas viajantes que se propagam na fase sob falta ocasionam a ocorrência de transitórios de alta frequência nas outras duas fases [3]. Desta forma, os sinais discretizados das três correntes são convertidos do domínio de fases para o domínio modal, onde a análise pode ser realizada de maneira desacoplada. Para tanto, a transformada de Clarke foi adotada devido à facilidade de implementação e por requerer pequeno esforço computacional.

As componentes modais (I_0, I_1, I_2) das correntes são calculadas conforme mostrado a seguir:

$$\begin{bmatrix} I_0(k) \\ I_1(k) \\ I_2(k) \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ia(k) \\ ib(k) \\ ic(k) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

em que I_0 é a componente de modo terra; I_1 e I_2 são as componentes de modo aéreo 1 e 2, respectivamente, também conhecidas como componentes α e β .

As componentes modais são utilizadas na etapa de identificação das ondas viajantes para o cálculo da localização de falta e posterior identificação da zona de proteção dentro da qual o distúrbio ocorreu. Para a etapa de detecção de faltas, as componentes no domínio de fases são utilizadas, porém, na etapa de localização da falta, as componentes modais são utilizadas.

2.3 Detecção de Faltas

A detecção e a localização de faltas são realizadas utilizando-se a TWDR. A *wavelet* mãe Daubechies 4 (db4) foi escolhida por apresentar maior eficiência na detecção de transitórios rápidos em sistemas de potência [6].

Os coeficientes *wavelet* de 1ª escala (CW_{1A} , CW_{1B} e CW_{1C}) são obtidos da convolução dos sinais de corrente discretizados das três fases com os filtros *wavelet*. No regime permanente, os coeficientes *wavelet* da primeira escala assumem valores proporcionais aos ruídos de alta frequência do sinal. Quando há a ocorrência de uma falta, a onda viajante originada no ponto de falta se propaga em direção aos terminais da linha em forma de transitórios eletromagnéticos, os quais são também detectados pelos coeficientes *wavelet*. Quando as ondas viajantes incidem sobre o terminal monitorado, onde estão instalados os relés, os coeficientes *wavelet* assumem valores consideráveis em relação aos de regime permanente, tornando possível a detecção da falta.

Para a identificação das ondas viajantes, limiares auto-adaptativos são definidos conforme proposto em [6], onde a cada passo de tempo o valor do limiar de detecção é ajustado a partir do cálculo da média e o desvio padrão das amostras contidas na janela de detecção. Conforme mostrado em [6], os coeficientes *wavelet* possuem, no regime permanente, distribuição de probabilidade gaussiana, de forma que todos os coeficientes *wavelet* deverão estar localizados no intervalo compreendido entre a média do sinal mais e menos quatro vezes o desvio padrão. Assim, os limiares são calculados em tempo real e se adaptam de forma automática à presença de ruídos com distribuição normal no regime permanente.

Na Figura 4 ilustra-se o procedimento realizado na etapa de detecção de faltas, onde a Figura 4(a) ilustra um sinal de corrente na presença de ruído gaussiano branco com relação sinal/ruído (SNR) igual a 60. Os coeficientes *wavelet* de primeira escala são calculados e apresentados na Figura 4(b) para os quais são estimados a média e o desvio padrão das amostras contidas na janela de detecção, os quais são representados pelas linhas tracejadas. Percebe-se que todos os coeficientes *wavelet* encontram-se dentro da faixa definida pelos limiares. Desta forma, quando qualquer um dos limiares é superado, a condição de falta é detectada.

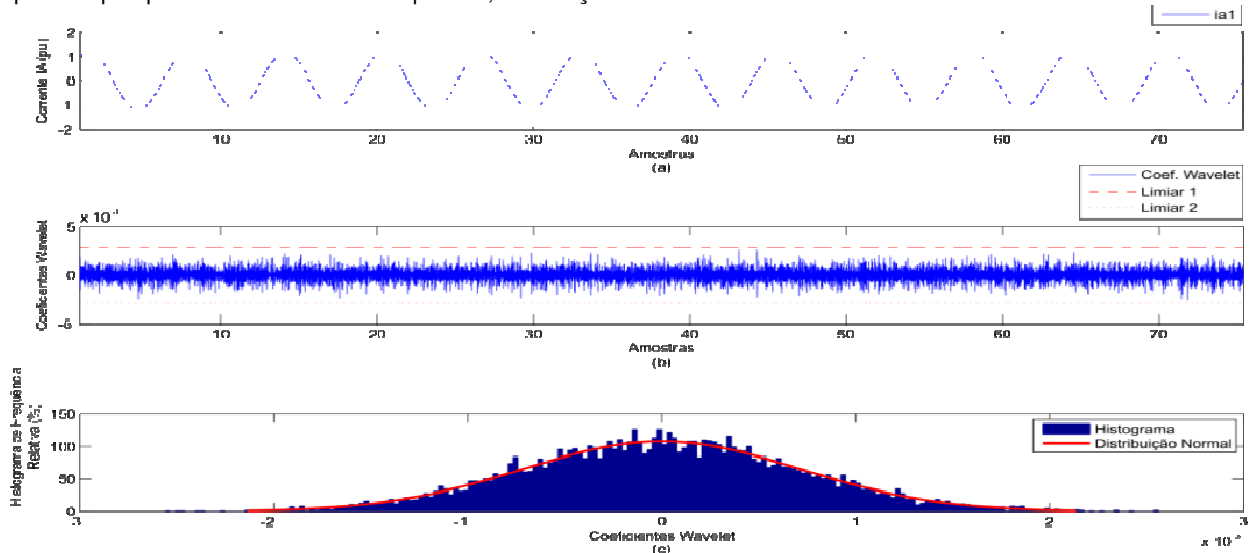


FIGURA 4 – Exemplo do procedimento realizado na etapa de detecção de faltas.

2.4 Localização de Falta

O cálculo da localização da falta é baseado na identificação dos instantes de tempo associados às ondas incidente e refletida pelo ponto de falta ou pelo terminal remoto. Estes instantes de tempo são identificados pelos módulos máximos dos quadrados dos coeficientes *wavelet* de primeira escala do sinal de corrente de modo aéreo 1 ou 2, associados à primeira onda viajante e à onda subsequente. A Figura 5 ilustra o procedimento realizado.

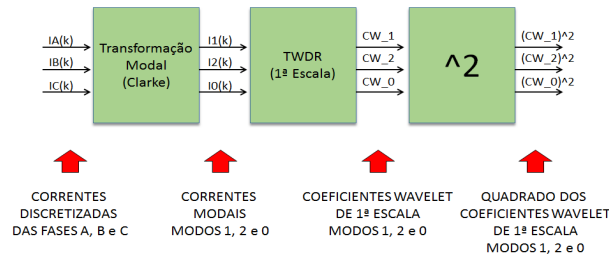


FIGURA 5 – Aplicação da transformação modal e da TWDR para identificação das ondas viajantes.

Para a identificação da onda incidente, o algoritmo analisa o módulo máximo do quadrado dos coeficientes *wavelet* (CW^2) de primeira escala, imediatamente após a detecção da condição de falta, resultantes da convolução das componentes de modo aéreo (1 ou 2) com os filtros *wavelet*.

O algoritmo registra então, o instante de tempo associado ao módulo máximo e a polaridade da onda incidente, registrada no cálculo dos coeficientes *wavelet* (CW).

A detecção da onda refletida é realizada com base na identificação da onda subsequente à chegada da onda incidente. Para esta etapa, limiares fixos foram adotados e aplicados ao módulo máximo associado à onda incidente.

Uma vez que a natureza da falta tem influência significativa na amplitude e forma das ondas viajantes, diferentes limiares são utilizados para cada tipo de falta.

Para faltas bifásicas ou trifásicas sem envolvimento com a terra, a frente de onda subsequente à onda incidente é normalmente associada à onda refletida pelo ponto de falta, e deve apresentar mesma polaridade da onda incidente [7]. Para estes casos, adotou-se um limiar fixo de 10% do máximo global dos coeficientes *wavelet* de primeira escala das componentes de modo aéreo 1 e 2, conforme sugerido por [8].

Para faltas envolvendo a terra, as ondas viajantes se apresentam mais atenuadas quando comparadas às faltas entre fases. Para estes casos, o limiar de detecção da onda refletida é calculado em relação ao modo terra 0, porém aplicado aos modos aéreos 1 ou 2 e é numericamente igual a 5% do máximo global de modo terra 0.

Portanto, de acordo com o tipo de falta classificado previamente, o algoritmo seleciona o limiar mais adequado para identificação da onda refletida que é um percentual do módulo máximo associado à onda incidente. Quando o valor da amostra for superior ao limiar adotado, a onda refletida é identificada e sua polaridade é registrada para o cálculo da localização de defeito.

2.5 Cálculo da Localização de Falta

O cálculo da localização de falta é realizado após serem registrados os instantes de tempo e as polaridades das ondas incidente e refletida.

Se as ondas incidente e refletida possuírem mesma polaridade, então a localização de falta é dada por (5).

$$d = \frac{v \cdot (t_1 - t_2)}{2}, \quad (2)$$

em que d é a distância entre o ponto de monitoramento e a falta; v é a velocidade de propagação da onda no modo 1; t_1 é o instantes de tempo associado à onda incidente e; t_2 é o instante de tempo associado à onda refletida, neste caso pelo ponto de falta.

Por outro lado, se as polaridades registradas forem diferentes, indicando que a onda refletida é proveniente do terminal remoto, diferentes equacionamentos são necessários para a correta localização da falta de acordo com o tipo de falta. Desta forma, uma etapa adicional, chamada de pré-localização é realizada para estimar se a falta está localizada na primeira ou segunda metade da linha e, desta forma, utilizar a equação mais adequada.

A etapa de pré-localização é realizada estimando-se o tempo esperado para que uma onda viajante originada por uma falta monofásica localizada na metade da linha leva para alcançar o terminal monitorado. Como o modo terra 0 possui velocidade de propagação inferior à velocidade de propagação dos modos aéreos, haverá uma diferença de tempo entre a chegada da onda dos modos aéreo 1 ou 2 e do modo terra 0. A diferença de tempo entre a detecção das ondas viajantes de modo terra e modo aéreo será tão maior quanto for a distância do ponto de falta ao ponto monitorado.

Desta forma, se a falta for pré-localizada na primeira metade da linha, o cálculo da distância a falta é dada igualmente usando (2). Por outro lado, se a falta for pré-localizada na segunda metade da linha, o cálculo da distância a falta é realizado conforme demonstrado a seguir.

$$d = L - \frac{v \cdot (t_1 - t_2)}{2}, \quad (3)$$

Uma vez realizado o cálculo da distância para a falta, uma zona de proteção pode ser identificada. A Figura 6 ilustra resumidamente as etapas realizadas:

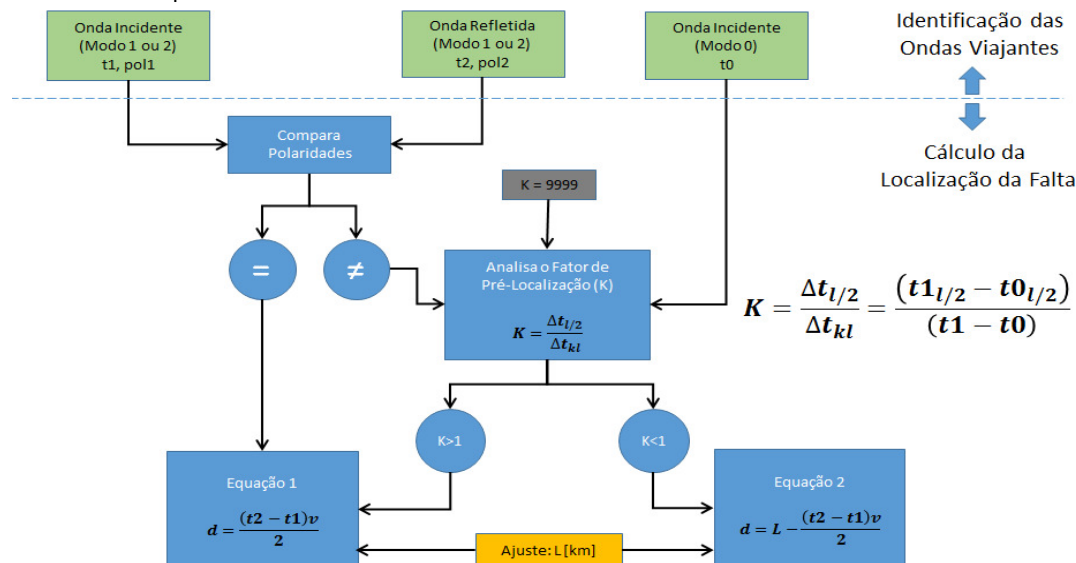


FIGURA 6 – Etapas do algoritmo de proteção por ondas viajantes e TWDR.

3.0 - SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Para avaliação dos métodos utilizados, foram realizadas simulações digitais considerando-se dois sistemas distintos: o sistema 1 é uma simplificação do modelo proposto pelo IEEE [9] para estudos em regime transitório e o sistema 2 é modelado com parâmetros reais do sistema de transmissão da CHESF. Para consideração de um grande número de condições de falta, simulações em massa foram realizadas variando-se alguns parâmetros de falta utilizando-se a metodologia indicada em [10]. Para a análise aqui apresentada, foram considerados variantes a localização da falta, a resistência de falta e o ângulo de incidência.

Foram realizadas 1350 simulações de faltas utilizando-se o Sistema 1 e 1440 para o Sistema 2, totalizando-se 2790 casos analisados. Os parâmetros variados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros variados nas simulações de faltas.

Sistema	Resistência de Falta [Ω]			Ângulo de Incidência da Falta [°]			Local de Aplicação da Falta [km]		
	R1 _f	R2 _f	R3 _f	$\theta_{f\text{MIN}}$	$\Delta\theta_f$	$\theta_{f\text{MÁX}}$	d _{MIN}	Δd_f	d _{MÁX}
1	0	10	100	0	45	90	25	25	400
2	0	10	100	0	45	90	10	10	160

Como critério de avaliação, os resultados são comparados ao erro máximo admissível associado a cada taxa de amostragem utilizada, portanto, considerando-se as taxas de amostragem de 20 kHz e 120 kHz, são admitidos erros de até 7,5 km e 1,25 km, respectivamente.

As simulações digitais são realizadas no software ATP com passo de tempo de 5 μ s e tempo máximo de simulação de 30 ms. Conforme mostrado no item 2.1, foram utilizados filtros *anti-aliasing* do tipo Butterworth de 2ª ordem com frequência de corte de 85% da frequência de Nyquist.

3.1 Modelo do sistema 1

O sistema 1 consiste em uma linha de transmissão de 230 kV, circuito simples, com 400 km de extensão, com condutores do tipo Marigold 1113 Kcmil, AA com 1,216 pol de diâmetro e resistência DC de 0,09222 Ω /milha a 50° C. A linha é transposta com três torres de transposição. Os parâmetros da linha são calculados para 60 Hz com resistividade de solo de 50 Ω /m. A geometria da torre é descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados de geometria da torre do sistema 1.

Condutor	Separação horizontal da referência (m)	Altura do Condutor (m)	Altura do condutor no meio do vão (m)
1	0	30,48	22,25

2	0	25,45	17,22
3	0	20,42	12,29

3.2 Modelo do sistema 2

O sistema 2 representa parte do sistema de transmissão da CHESF e analisa uma linha de 230 kV, circuito paralelo, com 171,7 km de extensão. A linha de transmissão analisada é considerada totalmente transposta, modelada com vão padrão e parâmetros distribuídos calculados através da rotina *Line Constants* do software ATP. A Figura 7 mostra um detalhe do sistema 2, evidenciando a linha analisada (LT 04M2-Angelim-Recife II) em vermelho.

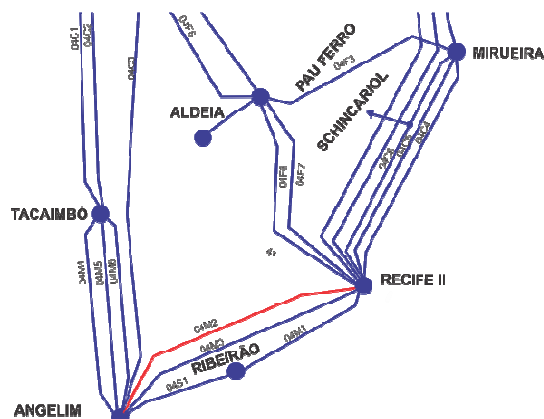


Figura 7 – Detalhe do sistema 2.

3.3 Resultados

Utilizando-se o critério do erro máximo admissível segundo a taxa de amostragem utilizada, os resultados são considerados satisfatórios quando os módulos da diferença entre a estimativa e a localização real de falta forem inferiores a 7,5 km e 1,25 km para as taxas de amostragem de 20 kHz e 120 kHz, respectivamente. Caso contrário, o resultado é considerado insatisfatório.

Nas tabelas 3 e 4, apresentam-se os resultados gerais obtidos em relação à localização das faltas para os sistemas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 3 - Resultados do localizador de faltas para o sistema 1.

Tip o da Falt a	Casos Simulad os	Número de Localizaçõ es Satisfatóri as	Localizaçõ es Satisfatóri as [%]	Erro Médi o [km]
AT	135	128	94,81 %	3,21
BT	135	120	88,89 %	4,18
CT	135	125	92,59 %	3,48
AB	135	130	96,30 %	3,31
BC	135	131	97,04 %	3,31
CA	135	134	99,26 %	3,07
ABT	135	132	97,78 %	3,52
BCT	135	127	94,07 %	3,56
CAT	135	119	88,15 %	3,78
AB C	135	131	97,04 %	3,40
Tot	1350	1277	94,59 %	3,48

Tabela 4 - Resultados do localizador de faltas para o sistema 2.

Tip o da Falt a	Casos Simulad os	Localizaçõ es Satisfatóri as	Localizaçõ es Satisfatóri as [%]	Erro Médi o [km]
AT	144	121	84,03%	1,12
BT	144	114	79,17%	1,25
CT	144	114	79,17%	1,23
AB	144	136	94,44%	0,50
BC	144	135	93,75%	0,51
CA	144	135	93,75%	0,51
ABT	144	144	100,00%	0,44
BCT	144	144	100,00%	0,41
CAT	144	141	97,92%	0,51
AB C	144	144	100,00%	0,41
Tot al	1440	1328	92,22%	0,69

al

Analisando os resultados apresentados nas tabelas 3 e 4, conclui-se que o método implementado se mostra eficaz em relação às etapas de detecção e localização de falta. Considerando o número total de simulações (2790 simulações) em ambos os sistemas, cerca de 90% (2605 casos) dos casos apresentaram erros abaixo do máximo admissível. Dentre os casos considerados insatisfatórios há aqueles em que a simples adoção de limiares mais sensíveis resultaria em localização satisfatória. Esta é uma desvantagem na utilização de limiares fixos na etapa de identificação das ondas refletidas, embora sua implementação seja bastante simples. A adoção de limiares auto-adaptativos para a detecção da onda refletida deve ser investigada.

Faltas próximas do terminal monitorado (faltas *close-in*), não são devidamente detectadas pelo algoritmo implementado, devido às múltiplas reflexões entre o ponto monitorado e o ponto de falta, produzindo sinais de altíssima frequência, dificultando a posterior detecção da onda refletida.

Para analisar a influência da variação das condições de falta, são avaliados os erros percentuais relativos a real localização de falta. Os resultados apresentados a seguir referem-se ao sistema 2.

3.4 Efeito da variação do ângulo de incidência

As figuras 8 e 9 mostram os erros relativos encontrados para diferentes pontos de falta considerando-se a resistência de falta constante e igual a zero e variando-se o ângulo de incidência da falta.

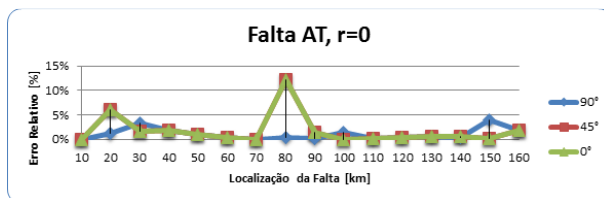


Figura 8 – Falta monofásica AT, $r=0$.

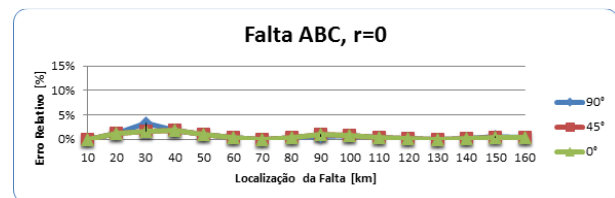


Figura 9 – Falta trifásica ABC, $r=0$.

Para os ângulos de incidência considerados não há grandes alterações quando o erro relativo para cada tipo de falta é analisado. De uma forma geral o erro relativo nesta análise é inferior a 5%. Para faltas monofásicas com ângulos de incidência 0° e 45° localizadas em torno da metade da LT, o algoritmo apresentou erros maiores em relação à localização do defeito.

3.5 Efeito da variação da resistência de defeito

As simulações realizadas consideraram a variação da resistência de falta utilizando valores típicos: 0 Ω , 10 Ω e 100 Ω . As figuras 10 e 11 mostram alguns dos resultados alcançados para cada ponto de falta simulado considerando-se o ângulo de incidência fixo de 90° e variando-se o tipo de falta.

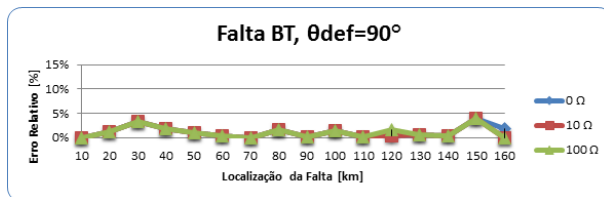


Figura 10 – Falta monofásica BT, $\theta = 90^\circ$.

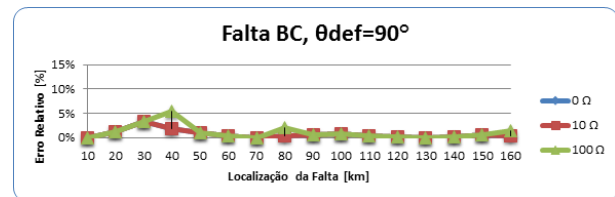


Figura 11 – Falta bifásica BC, $\theta = 90^\circ$.

O algoritmo de localização de falta não sofre influência significativa com a variação da resistência de falta, diferentemente das proteções de impedância em que a definição do alcance resistivo da proteção de distância deve levar em conta a resistência de defeito.

3.6 Influência da taxa de amostragem

Para avaliação da influência da taxa de amostragem as simulações realizadas no Sistema 1 foram analisadas alterando-se a taxa de amostragem de 20 kHz para 120 kHz.

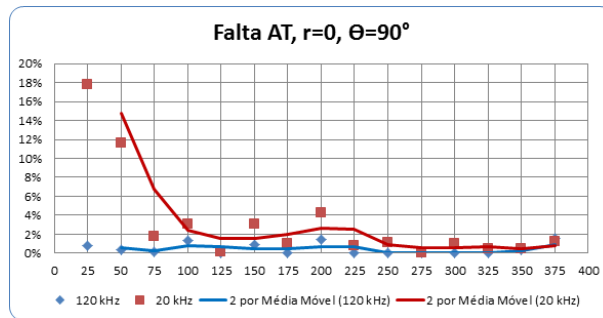


Figura 12 – Influência da variação da taxa de amostragem.

A adoção de taxa de amostragem mais elevada melhora a estimativa da localização de falta, reduzindo os erros percentuais relativos à localização real da falta. Ressalta-se, porém, que os resultados alcançados com a taxa de amostragem de 120 kHz, quando considerado o critério dos erros máximos admissíveis, apresentam um número menor de casos considerados satisfatórios, embora o erro absoluto seja bastante reduzido.

4.0 - CONCLUSÕES

Uma proteção para linhas de transmissão baseada na teoria das ondas viajantes utilizando apenas os sinais de corrente do terminal local e a transformada *wavelet* foi apresentada. Diferentemente das proteções convencionais, a proteção analisada utiliza as componentes de alta frequência dos sinais de corrente para estimação da localização do defeito e identificação da respectiva zona de proteção dentro da qual o defeito ocorreu.

Ao todo, 2790 simulações de falta foram realizadas com modelos de dois sistemas distintos apresentando bons resultados, alcançando mais de 90% de casos considerados satisfatórios quando os erros máximos admissíveis são considerados. Quando considerados os erros percentuais com relação à localização real de falta, verifica-se que o método de um terminal apresenta erros inferiores a 5%, de uma forma geral.

O algoritmo de detecção de falta foi eficaz em identificar corretamente todos os casos analisados, mesmo quando submetido a condições severas nas quais as proteções baseadas em impedância poderiam ter seu desempenho comprometido.

Nos casos em que a falta é muito próxima do terminal monitorado (faltas *close-in*), o algoritmo implementado não alcança bons resultados devido às múltiplas reflexões entre o ponto monitorado e o ponto de falta, produzindo sinais de altíssima frequência. Para estes casos, a adoção de taxas de amostragem mais elevadas tende a melhorar os resultados. Entende-se, porém, que nestas situações os atuais algoritmos baseados na estimação de impedância apresentam resultados satisfatórios, não sendo recomendável, por ora, o investimento econômico em equipamentos mais robustos visando atender especificamente tais condições.

Portanto, conclui-se que o método analisado grande potencial para implementação futura em relés de proteção com processamento em tempo real de lógicas de proteção aplicadas a sinais de alta frequência. Entende-se que nos dias atuais estes métodos podem ser utilizados como rotina auxiliar às proteções de impedância como elemento de partida e em esquemas híbridos de proteção. Esta abordagem deve angariar maior velocidade aos atuais algoritmos de proteção, maior segurança e maior precisão.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SAHA, M. M.; IZYKOWSKI, J.; ROSOŁOWSKI, E. - Fault Location on Power Networks. Berlin, Germany: Springer, 2010.
- [2] CROSSLEY, Y. P. A.; MCLAREN, P. G. - Distance Protection Based on Travelling Waves. [S.l.]. 1983.
- [3] CHRISTOPOULOS, C.; THOMAS, D. W. P.; TANG, Y.; GALE, P. - A Single Ended Fault Location Scheme. Developments in Power System Protection. 2001.
- [4] LOPES, F. V.; FERNANDES, D.; NEVES, W. L. A. - A Traveling-Wave Detection Method Based on Park's Transformation for Fault Locators, 2013.
- [5] PHADKE, A. G.; THORP, J. S. Computer Relaying for Power Systems. New York: John Wiley & Sons Inc, 2009.

- [6] COSTA, F. B.; SOUZA, B. A.; BRITO, N. S. D. - Real-Time Classification of Transmission Line Faults Based on Maximal Overlap Discrete Wavelet Transform. Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D) IEEE PES. 2012. p. 1 - 8.
- [7] BEWLEY, L. V. Travelling Waves on Transmission Systems. American Institute of Electrical Engineers, New York, v. 50, Issue: 2, p. 532 - 550, January 1931.
- [8] SANTOSO, S; POWERS, E. J; GRADY, W. M; HOFMANN, P. - Power Quality Assessment Via Wavelet Transform Analysis. 1996.
- [9] IEEE. EMTF Reference Models for Transmission Line Relay Testing. Power System Relaying Committee. 2005.
- [10] SANTOS, W. C.; COSTA, F.; SILVA, J. A. B.; LIRA, G. R. S.; SOUZA, B.; BRITO, N. S. D.; PAES, M. - Automatic building of a simulated high impedance fault database. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America. 2010. p. 550-554.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



1- José Raimundo Lima Júnior

Possui graduação em Engenharia Elétrica Eletrotécnica pela Universidade Federal de Pernambuco (2007) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (2014). Tem experiência nas áreas de estudos da proteção, análise de ocorrências e de projetos de MPCCS, além de atuação nas áreas de operação de subestações e planejamento eletroenergético. Atualmente é engenheiro da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco atuando na divisão de proteção de sistemas elétricos.

2- Washington Luiz Araujo Neves

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (1979), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (1982), doutorado em Engenharia Elétrica - University of British Columbia (1994), pós-doutorado na Universidade de Alberta, Canadá (agosto de 2004 a julho de 2005), pós-doutorado na Universidade de British Columbia (agosto a dezembro de 2005). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Campina Grande. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão da Energia Elétrica, Distribuição da Energia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: transitórios eletromagnéticos, modelos computacionais, linhas de transmissão, electromagnetic transients e estabilidade numérica.

3- Flavio Bezerra Costa

Possui graduação (2005), mestrado (2006), doutorado (2010) e Pós-doutorado (2011) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Atualmente é professor adjunto da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. De Dezembro de 2011 a Março de 2012 foi pesquisador visitante na Universidade de Leuven, Bélgica. Nos últimos anos vem atuando principalmente nos seguintes temas: diagnóstico em tempo real de faltas e distúrbios de qualidade da energia elétrica, proteção de sistemas elétricos, transitórios eletromagnéticos, transformada wavelet e redes neurais artificiais.

4- Felipe Vigolvinio Lopes

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (2009), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (2011) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (2014). Atualmente, faz parte do quadro de professores do

Departamento de Engenharia Elétrica (ENE) da Universidade de Brasília (UnB).

5- Benemar Alencar Souza

Engenheiro Eletricista (1977), possui mestrado (1981) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (1995). Atualmente é professor associado da Universidade Federal de Campina Grande. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão da Energia Elétrica, Distribuição da Energia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: planejamento de sistemas elétricos, técnicas de otimização e inteligência artificial aplicados a sistemas de energia elétrica, notadamente, algoritmos genéticos, redes neurais artificiais e lógica fuzzy. Também tem trabalhado nos temas: transitórios eletromagnéticos, proteção de sistemas elétricos, geração distribuída, qualidade da energia e reconfiguração ótima de redes de distribuição.

6- Gustavo Adolfo Galvão Arruda

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (1980), está na CHESF desde 1982, trabalhando na área de proteção do sistema de transmissão, onde desde 2004 é o gerente da Divisão de Sistema de Proteção e Regulação. Seus principais interesses são proteção digital, simulações digitais para testes de relés, aplicação de ferramentas baseadas em software para análise de desempenho dos sistemas de proteção e novos algoritmos para relés de proteção. É membro regular do CIGRÉ e IEEE.