



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

SELETOR DE FASES FALTOSAS PARA LINHAS DE TRANSMISSÃO DE UM POUCO MAIS DE MEIO COMPRIMENTO DE ONDA

**DENNIS FERNANDO JIMENEZ FIGUEROA (1); OZENIR FARAH DA ROCHA DIAS (2); MARIA CRISTINA DIAS TAVARES (1)
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (1); UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS (2)**

RESUMO

Este trabalho apresenta um algoritmo para a seleção de fases e classificação da falta para linhas de meia onda (TMO). O método utiliza as taxas de variação das componentes de Clarke aplicado as magnitudes das correntes. O algoritmo foi implementado em um ambiente de simulação digital em tempo real (RTDS) para diferentes tipos de faltas a cada 5% da linha. O algoritmo é estável para o comportamento atípico da linha, imune ao ângulo de inserção e à resistência de falta, e ao nível de carga da linha. O algoritmo pode ser implementado em relés microprocessados ou pode ser usado como ferramenta para análise pós falta.

PALAVRAS-CHAVE

Linhas de transmissão longas, meia onda, componentes de Clarke, seletor de fase, classificação de falta, esquema de proteção.

1.0 INTRODUÇÃO

Em países de amplas extensões territoriais, como por exemplo: Brasil, Rússia e China, e considerando o fato de que as novas fontes de energia renováveis estão localizadas longe dos centros de consumo, existe a necessidade de transportar grandes blocos de energia através de longas distâncias para atender ao crescimento da demanda. A tecnologia estabelecida e usada por algumas décadas para muito longas distâncias é a transmissão em corrente contínua de alta tensão (CCAT ou em inglês HVDC). Em contrapartida, verifica-se um interesse crescente na alternativa de transmissão não convencional de corrente alternada para longas distância, conhecida como transmissão de meia onda (TMO). Esta alternativa tem sido considerada a partir da segunda metade do século XX, o que pode ser confirmado pelo grande número de documentos científicos produzidos [1-11].

A TMO tem sido estudada por mais de oitenta anos em termos das suas características físicas e transitórias, assim como o seu comportamento em regime permanente e sob faltas. Pode-se afirmar que já há informação adequada e suficiente sobre o comportamento da TMO, que tem esse nome por ter comprimento igual à metade do comprimento de onda do sinal alternado. Considerando a velocidade de propagação da onda equivalente à da luz no vácuo, e a frequência fundamental de 60 Hz para o caso do Brasil, o comprimento da linha de transmissão TMO é de 2500 km. Por conseguinte, as linhas de meio comprimento de onda ou um pouco mais de meio comprimento de onda são linhas que possuem um comprimento em torno de 2500 a 2600 km para 60 Hz [1-10]. Atualmente, diversos estudos e análises estão sendo propostos para validar e tornar realidade esta alternativa [12-23]. Apesar do esforço, algumas áreas específicas, como proteção e localização de faltas, precisam amadurecer.

Nestas pesquisas, verificou-se que o seletor de fases baseado nas componentes simétricas, que é usado nas proteções de linhas convencionais, não tem um bom desempenho na detecção de faltas na TMO [15]. Isto ocorre porque os relés comerciais não foram projetados para trabalhar em linhas de transmissão extremamente longas, ou seja, os relés possuem limitações no ajuste da zona de alcance da impedância, e do comprimento da linha.

Alguns autores apresentaram seletores de fase inovadores para linhas TMO. Em [15], um algoritmo específico para a TMO é apresentado e testado em um relé de distância comercial. O método proposto opera no domínio da frequência usando valores incrementais de tensão e corrente para determinar a variação da impedância aparente no momento da ocorrência da falta. Este seletor identifica faltas monofásicas, bifásicas envolvendo ou não a terra e falhas trifásicas. Em [16], um seletor de fase no domínio do tempo é proposto, com base na transformada wavelet e calcula a onda progressiva da corrente reversa. Ao aplicar a transformada de Clarke o módulo máximo da componente transitória da transformada wavelet é obtido; com esta informação, o tipo de falta é determinado. Em [17], por outro lado, um esquema de seleção de fase no domínio do tempo é apresentado, sendo baseado na análise das amostras de tensão e corrente durante um defeito, visto de uma extremidade da linha. Este método é fundamentado no princípio de superposição apresentado em [15] e assume que o circuito é linear no momento da

falha. O algoritmo calcula e compara a tensão fase-fase no relé para falhas de linha. Em [18], uma análise do desempenho de um algoritmo de localização falha baseado na teoria das ondas viajantes aplicada a um TMO é apresentada. Em [19] um esquema de proteção diferencial de onda viajante foi proposto para a TMO, que considera a resistência da linha e a componente de frequência fundamental da corrente diferencial para identificar a falha e incorporar a dependência da frequência dos parâmetros da linha. Em [20], um esquema de localização de falta para TMO baseado na característica de propagação de sinais de onda viajantes é apresentado. Em [21], um método para ajudar a extinguir o arco secundário durante um chaveamento de religamento automático monofásico na TMO é apresentado.

O comportamento da TMO ante uma falta tem características distintas ao de uma linha de transmissão de comprimento convencional. Especificamente, à medida que o defeito se afasta do terminal emissor em direção ao meio da linha, as magnitudes da corrente de defeito crescem, mas posteriormente se reduzem, tornando-se menores do que a corrente de carga. Analisando as tensões de faltas, elas apresentam comportamento semelhante ao de linhas convencionais na região mais próxima do terminal emissor, mas à medida que o defeito se afasta, as tensões podem apresentar valores iguais ou superiores ao das tensões em regime permanente. Isto porque a região central da linha vista dos terminais tem uma resposta de falta de alta impedância. Foi constatado em pesquisas anteriores que o seletor de fase sob falta baseado nas componentes simétricas, que é usado nas proteções de linhas convencionais, não tem um bom desempenho na detecção de faltas na TMO. Isto ocorre porque os relés comerciais não foram projetados para trabalhar em linhas de transmissão tão longas, ou seja, os relés possuem limitações no ajuste do alcance de impedância, e do comprimento da linha.

Desta forma, no presente informe apresentamos um novo algoritmo para o seletor de fase faltosa baseado nas componentes de Clarke, também conhecidas como componentes Alfa, Beta e Zero. O algoritmo foi testado no ambiente de simulação em tempo real (RTDS), com a linha modelada no domínio da frequência, e compara a taxa de variação (derivadas) das magnitudes das componentes de corrente de Clarke, ou seja, é uma proteção fasorial. O modelo do sistema teste avaliado neste trabalho é composto por uma linha de transmissão de alta capacidade (LPNE) de 2600 km de comprimento, 800 kV, e potência natural de 4750 MW (linha balanceada). A linha em estudo é conectada à dois equivalentes do sistema, Xingu 2 (extremo Emissor) e Nova Iguaçu (extremo receptor), através de transformadores de potência. Diferentes tipos de falta foram aplicados a cada 5% da TMO. Para mitigar as sobretensões produzidas na região de faltas críticas foi utilizado o método de mitigação composto por gaps em dois pontos da linha [24].

Foi verificado que os algoritmos seletores de faltas baseados em componentes simétricas dos relés convencionais apresentavam desempenho inadequados, enquanto o algoritmo proposto respondeu corretamente especificamente para as faltas monofásicas, bifásicas e trifásicas na TMO. Contudo, o mesmo não ocorreu para as faltas bifásicas a terra, que são as mais difíceis de identificação. A vantagem do algoritmo é a sua robustez e o fato de poder ser implementado em relés microprocessados ou em software de análise pós-eventos, sem maiores requisitos de processamento. O algoritmo apresentou sensibilidade para manobra de energização da TMO, o que foi mitigado mediante um esquema de bloqueio por baixa tensão. Os elementos mitigadores de sobretensões GAP não afetaram o desempenho do seletor de fases para os diferentes tipos de falta. A partir da análise de sensibilidade realizada podemos observar que o seletor de fases sob falta proposto não é afetado pela impedância de falta, pelo nível de carregamento da linha, ou pelo ângulo de incidência da falta, mas somente pelos pontos de ressonância da TMO.

O restante do artigo está estruturado da seguinte forma: Na seção II, apresentaremos o novo algoritmo seletor de fases, onde descrevemos a metodologia e sua implementação no simulador digital em tempo real (RTDS). Na seção III, apresentaremos o sistema de teste utilizado, os diferentes componentes do sistema e os processos para as simulações. Na seção IV, apresentaremos os resultados das simulações, a resposta do seletor de fases, os resultados da análise de sensibilidade, e a trajetória do lugar de impedância calculada com o método de impedância convencional para uma falta monofásica em 50% da TMO. Finalmente na seção V, apresentaremos as principais conclusões encontradas na pesquisa.

2.0 NOVO ALGORITMO SELETOR DE FASES

A seguir apresentamos as premissas utilizadas no desenvolvimento de um novo seletor de fases, para os diferentes tipos de faltas simuladas no sistema teste da TMO. O seletor de fases trabalha comparando a taxa de variação (derivadas) no tempo das magnitudes das correntes das componentes de Clarke, para determinar as fases envolvidas na falta, conforme indicado a seguir.

- Para faltas monofásicas, a fase faltosa apresenta as seguintes características:
 - A variação da magnitude da sequência zero (0) da corrente no instante de falta será maior do que zero durante um intervalo de tempo curto (5 ms – menor do que meio ciclo).
 - A magnitude da componente beta (β) da corrente da fase faltosa terá uma variação nula.
- Para falta bifásica, as fases faltosas são determinadas a partir de:
 - A taxa de variação da magnitude da componente alfa (α) da corrente referida à fase sem falta é nula;

- A taxa de variação da componente zero da corrente também é igual a zero.
- Para o caso de falta bifásica a terra seleção é feita com:
 - As taxas de variações das componentes alfa das correntes das fases faltosas serão maiores do que zero;
 - A taxa de variação da componente zero da corrente também será maior do que zero.
- Para as faltas trifásicas, tem-se:
 - A taxa de variação das magnitudes das componentes alfa e beta das correntes são diferentes de zero para todas as fases de referência;
 - A taxa de variação das magnitudes da componente zero das correntes são nulas.

A tabela 1, apresenta a caracterização para o seletor de fases, baseado nas derivadas das componentes de Clarke para os diferentes tipos de falta na TMO, segundo as premissas apresentadas em cima.

TABELA 1
CARACTERIZAÇÃO DO SELETOR DE FASES PELAS DERIVADAS DAS COMPONENTES DE CLARKE

TIPO FALTA	DERIVADAS COMPONENTES DE CLARKE*	FASE DE REFERÊNCIA
A-G	L- β A, H-0	A
B-G	L- β B, H-0	B
C-G	L- β C, H-0	C
AB-G	H- α A, H- α B, H-0	C
BC-G	H- α B, H- α C, H-0	A
CA-G	H- α C, H- α A, H-0	B
AB	L- α C, L-0	C
BC	L- α A, L-0	A
CA	L- α B, L-0	B
ABC	H- α X, H- β X	A, B, C

*As letras H e L, significam uma condição alta ou baixa, respectivamente. A letra X indica a fase de referência.

A Figura 1, apresenta o algoritmo desenvolvido de acordo com as premissas e a caracterização dos componentes de Clarke derivados na Tabela 1. O algoritmo de seleção de fase para identificar as fases defeituosas dos diferentes tipos de faltas foi codificado no hardware RTDS. Exceto a transformação analógico/digital (A/D), todo o processo de extração fasorial foi reproduzido como realizado em um relé comercial, incluindo a correta reprodução da taxa de amostragem convencional (32 amostras/ciclo). Assim, entendemos que o teste realizado consiste em uma simulação digital em tempo real do tipo hardware-in-the-loop (HIL).

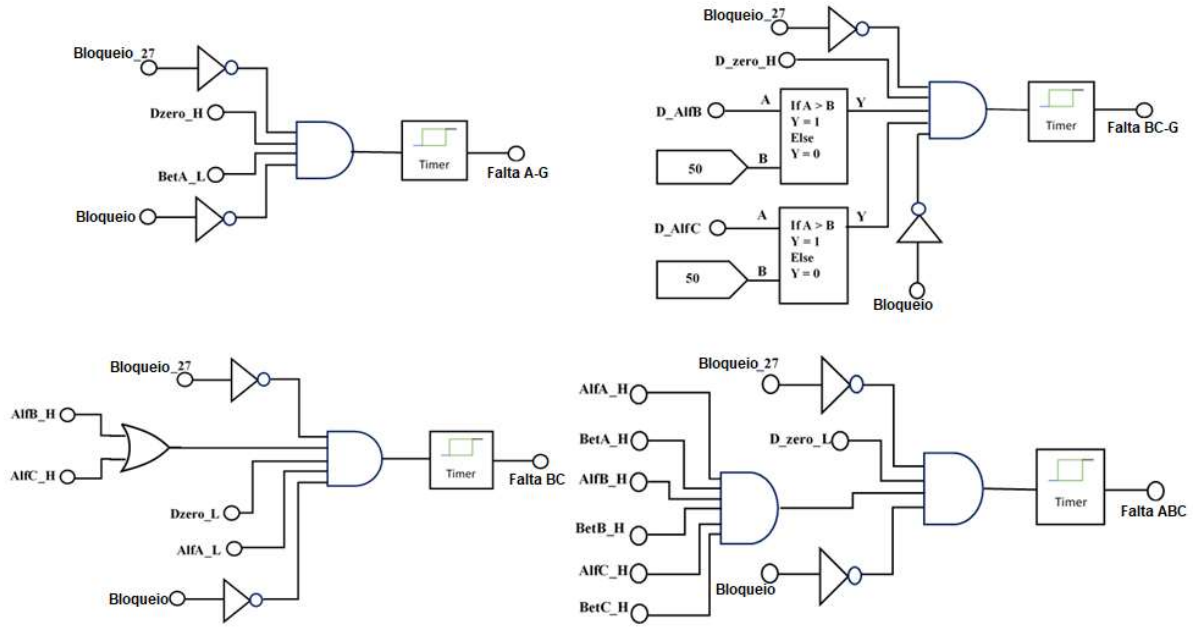


Figura 1: Algoritmo implementado no RTDS.

Considerando as premissas anteriores, as componentes de Clarke (Alfa, Beta e Zero), foram calculadas baseadas na multiplicação dos fasores, obtidos da filtragem dos sinais das correntes e tensões, pela matriz de transformação de Clarke. Conforme a equação (1), tomando como referência a fase A [16], temos:

$$\begin{bmatrix} I_{\alpha}^A \\ I_{\beta}^A \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} \quad (1)$$

Em [19], apresentam-se os três conjuntos das matrizes das componentes de Clarke, sendo referenciadas às fases A, B, e C, e cujo objetivo é cobrir os diferentes tipos de faltas.

3.0 METODOLOGIA

Para verificar o comportamento do algoritmo seletor de fases, utilizamos o sistema elétrico apresentado na figura 2 modelado no RTDS. O sistema consiste de uma planta geradora (Subestação Xingu), com transformador elevador, uma linha de transmissão de 2600 km, um sistema de proteção contra ressonância, um transformador abaixador, e o equivalente do sistema (subestação Nova Iguaçu) para representar o restante do sistema elétrico. Para a mitigação das sobretensões produzidas pelas faltas críticas foram utilizados gaps, segundo o proposto por [24, 25].

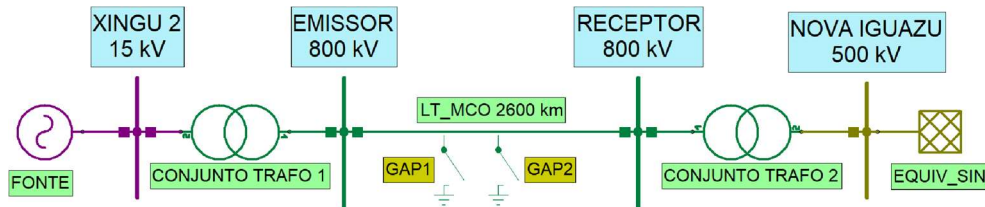


Figura. 2. Sistema elétrico analisado.

A tabela 2, apresenta os principais parâmetros elétricos da TMO [25] que tem um SIL de 4750 MW. A linha foi considerada balanceada e representada com o Modelo de Linha Universal. A tabela 3, apresenta os principais parâmetros dos equipamentos do sistema de potência de teste [25].

TABELA 2
PARÂMETROS DA TMO – 60 Hz.

Sequências	Resistência (Ω/km)	Reatância (Ω/km)	Susceptância ($\mu\text{S}/\text{km}$)
Positiva/Negativa	0,0075	0,3164	5,267
Zero	0,1542	0,9385	3,376

TABELA 3
PARÂMETROS DOS ELEMENTOS DO SISTEMA DE TESTE

Equipamento	Potência (MW)	Tensão (kV)	Z1 (Ω)	Z0 (Ω)
Gerador	5000	15	0,0003 + j0,0118	
Equivalente	----	500	0,4801 + j7,201	7,2169 + j36,084
Transformador	5197	15/800	19,4	
	4500	800/500	16,4	

A tabela 4, apresenta os dados dos elementos supressores de sobretensões (Gaps), instalados em dois pontos da TMO, e atuam para faltas críticas bifásicas e trifásicas [24].

TABELA 4
ELEMENTOS SUPRESSORES SOBRETENSÕES CRÍTICAS – GAP

Localização (km)	Tipo	Tensão operação (p.u.)	Resistência (Ω)
1010	GAP	2,30	0,2
1490	GAP	2,25	0,2

Os testes para diferentes tipos de faltas foram aplicados a cada 5% do comprimento da linha, considerando o ponto de início o terminal de envio da TMO (local do relé). Os resultados das simulações foram salvos em formato COMTRADE para cada tipo de falta [26] e analisado com um script desenvolvido em Python. O script produz os gráficos das correntes e tensões no terminal de envio, extrai as magnitudes dos fasores das componentes alfa, beta e zero e cria o gráfico da impedância aparente vista dos terminais de envio e recepção. Com as componentes obtidas foram calculadas as taxas de variações de cada componente de Clarke de modo a obter o tipo de falta de acordo com o algoritmo de classificação de falta e seleção de fase faltosa proposto.

4.0 RESULTADOS

Na figura 4 apresentamos os gráficos das formas de onda das correntes e tensões medidas no terminal de envio para uma falta monofásica AG a 50% do comprimento da linha vista do terminal emissor. Podemos observar o comportamento atípico da TMO sob falta, onde a magnitude da corrente da fase A no instante da falta é menor do que o seu valor de pré-falta (corrente de carga). Verifica-se que a tensão da fase faltosa é ligeiramente superior ao seu valor de pré-falta (neste caso correspondia ao valor de tensão nominal da linha). Este comportamento ocorre também para defeitos mais afastados do terminal emissor, em direção ao meio da linha. Especificamente o ponto de defeito analisado apresenta uma alta impedância para a unidade de medida da fase AG da proteção localizada no extremo emissor. Um relé comercial não consegue identificar o tipo de defeito, portanto, não emite o disparo de trip para abertura do disjuntor.

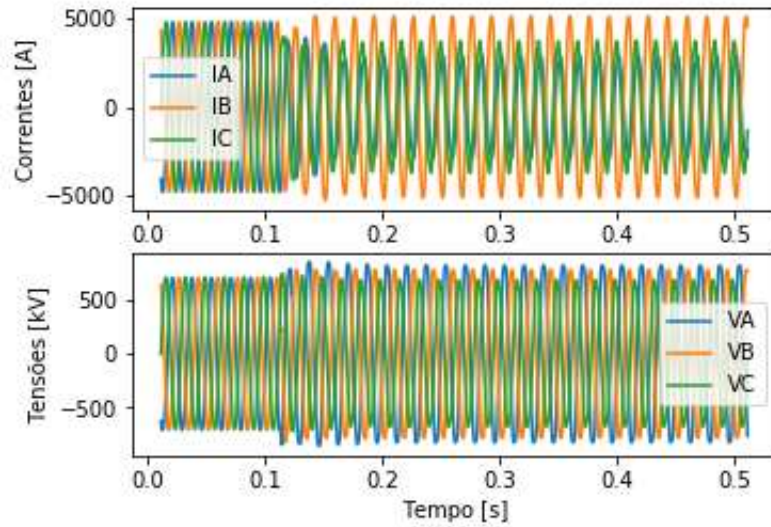


Figure 4: Sinais de tensões e correntes para uma falta AG a 50% do terminal emissor.

O plano de impedância R-X é uma ferramenta muito útil para o engenheiro de proteção, permitindo visualizar as características de operação das funções de distância da proteção da linha e observar o comportamento do lugar geométrico das impedâncias (lôcus) aparente vista pelo relé no momento da falta. A Figura 5, apresenta a trajetória lócus vista do extremo emissor, para a falta monofásica AG a 50% da linha (medida do terminal emissor), com uma resistência de falta de 10Ω . Esta trajetória foi calculada usando a equação (2) que é derivada das componentes simétricas [26]. Observa-se que a impedância aparente Z_{AG} permanece fora das características de operação da zona 1 e da zona 2, ajustadas para 90% e 120% da impedância de sequência positiva da TMO, em relé comerciais, respectivamente. Para as faltas nas regiões de ressonância, assim como também para a região central da TMO, a resposta vista desde o terminal de envio é de alta impedância.

$$Z_{AG} = \frac{V_{AG}}{I_{AG}(1 + k_0)} \quad (2)$$

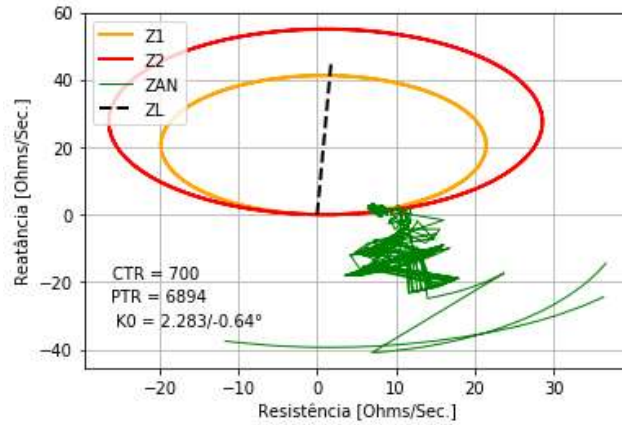


Figure 5: Locus da impedância aparente para uma falta AG ao 50% do terminal emissor.¹

Na Figura 6 apresentam-se as magnitudes das componentes beta das correntes em amperes secundários, e as correspondentes derivadas, para uma falta monofásica AG a 25, e 50% da TMO, vista desde o terminal emissor. Para 25%, pode-se observar que a componente beta da fase faltosa ($I_{\beta magA}$) é constante e igual à corrente de pré-falta (carga). Além disso a magnitude da corrente da componente zero ($I_{zero magA}$) é maior do que zero no momento da falta. Do mesmo modo, para 50%, o comportamento da derivada da componente beta da fase faltosa ($D_{I\beta magA}$) é igual a zero e a derivada da componente zero (D_{Izero}) é maior que zero no instante da falta. Este comportamento se repete para faltas monofásicas ao longo de toda a TMO.

¹ RTC: Relação do transformador de Corrente; RTP: Relação do transformer de tensão; K0: constante k_0 in Eq (2).

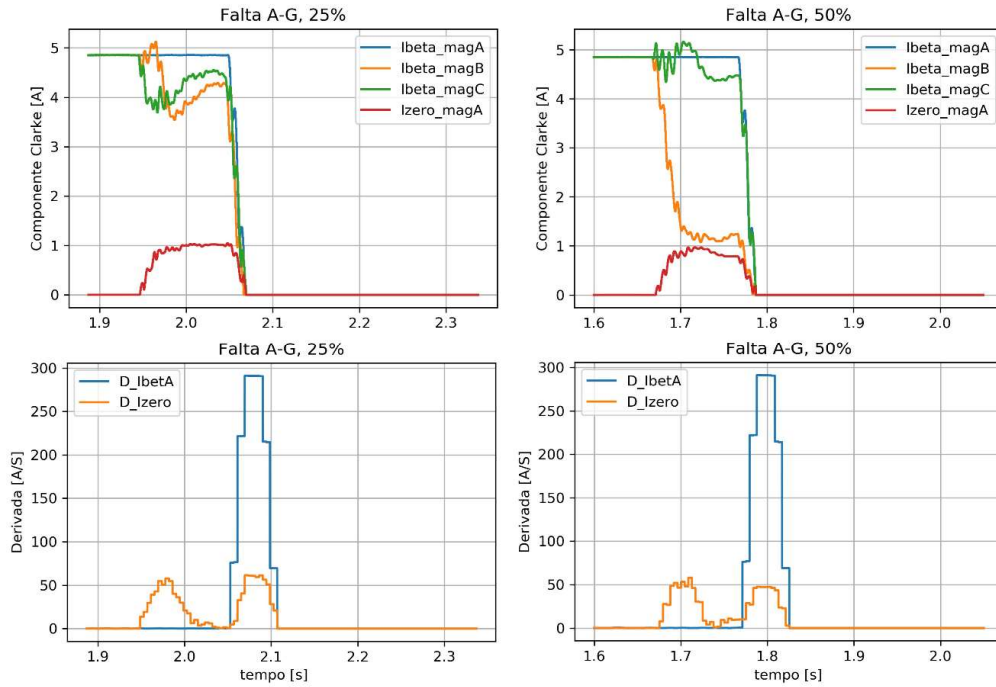


Figure 6: Componentes Beta e zero das magnitudes de correntes para falta AG a 25, e 50% da TMO, vista do terminal emissor.

Na Figura 7 apresentamos as magnitudes das componentes alfa das correntes para uma falta bifásica BC a 50% da TMO. Pode-se observar que para este tipo de falta a componente alfa da fase A, não envolvida no defeito, é constante e igual à corrente de pré-falta (carga), e a componente zero é igual a zero. As derivadas de ambas as componentes são zero no instante da falta. O seletor de fases identifica como sendo uma falta BC, permitindo caracterizar o comportamento da TMO para faltas bifásicas.

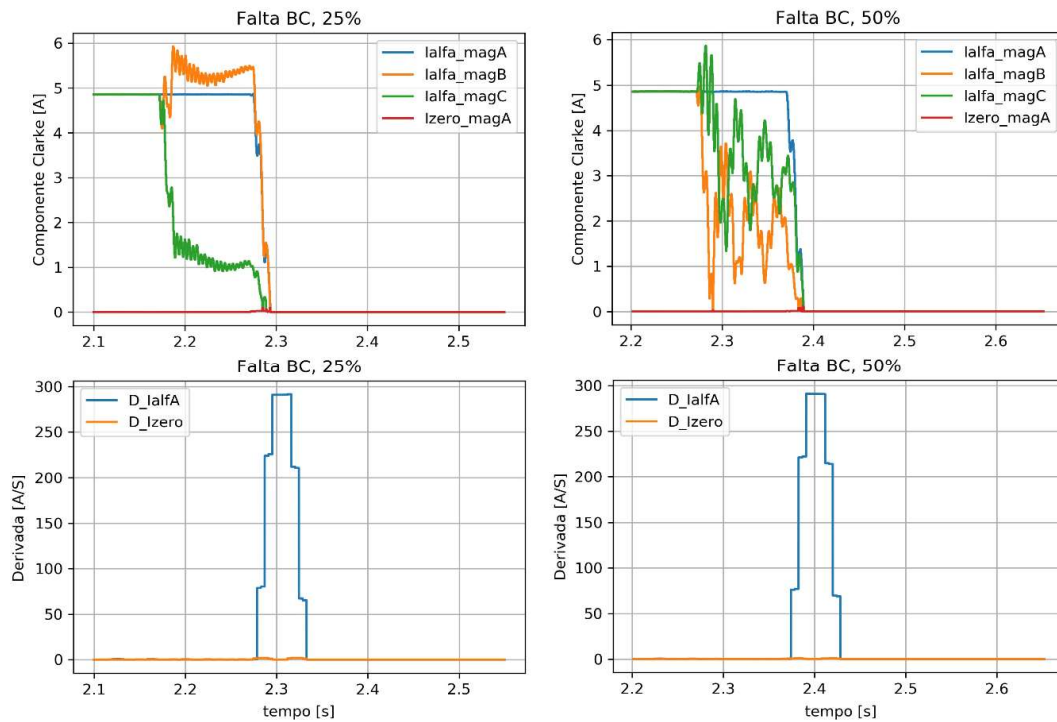


Figure 7: Componentes Beta e zero das magnitudes de correntes para falta BC a 25, e 50% da TMO, vista do extremo emissor.

Para faltas no meio da TMO, há uma grande dificuldade para algoritmos convencionais detectar e identificar o tipo de falta, pela característica de alta impedância da TMO vista dos terminais. Para uma falta trifásica ABC, as derivadas de todas as componentes alfa e beta são maiores do que zero e a derivada da componente zero é nula, ficando este tipo de falta bem caracterizado no seletor de fase proposto. Este comportamento é bem definido para falta ABC em qualquer local da linha, e de maneira similar para ambos os extremos da TMO, emissor e receptor.

Não há influência importante do nível de curto-circuito do terminal nem do sentido do fluxo de potência, pois os testes foram feitos para ambos os terminais.

Uma extensa análise de sensibilidade foi efetuada para avaliar o desempenho do seletor de fases desenvolvido. Foram aplicados diferentes tipos de faltas ao longo do comprimento da linha (a cada 5%), variando o valor da resistência de falta (1, 10, 20 e 100 Ω), mantendo o ângulo de incidência do defeito fixo (90°) e variando a potência transmitida no momento da falta (0 SIL, 0,5 SIL e 1,0 SIL). Em suma, 200 simulações foram realizadas para cada localização de falta, totalizando 2400 simulações.

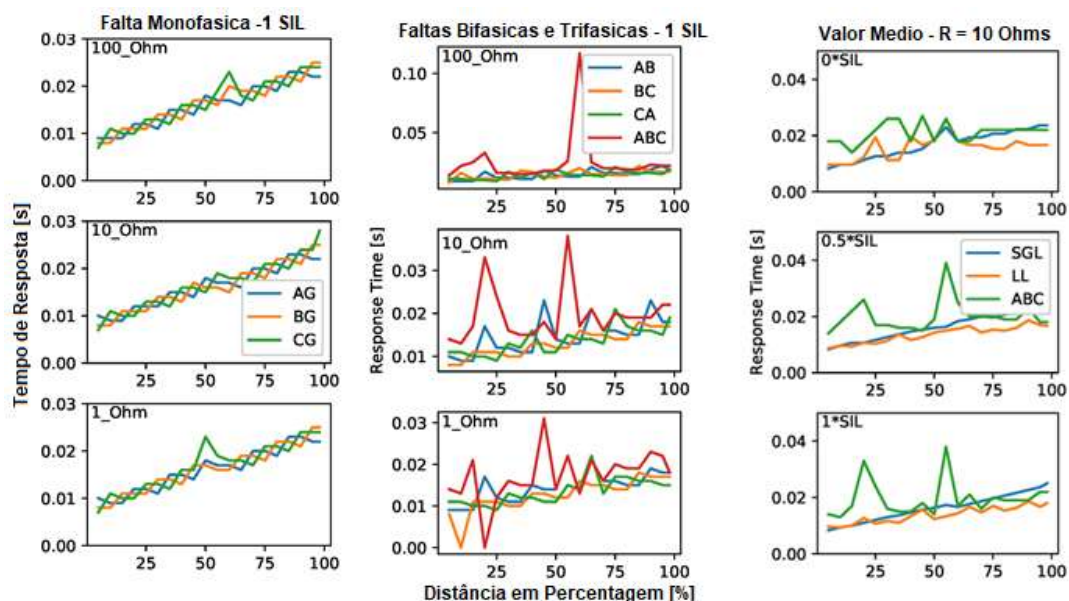


Figura 8: Desempenho do algoritmo seletor de fase, faltas LG, LL e ABC na TMO, vista do terminal emissor.

A Figura 8, apresenta o desempenho do seletor de fases para faltas monofásicas, bifásicas e trifásicas ao longo da TMO, com diferentes resistências de falta e carga (SIL). Pode-se observar que os tempos de resposta do seletor aumentam à medida que o defeito se afasta para o terminal remoto. Também observamos descontinuidades no tempo para faltas no meio da linha e nas zonas de ressonância, que respondem de forma não linear. Os maiores tempos de resposta do seletor são para faltas trifásicas, nas zonas de ressonância da TMO, porque a sensibilidade do seletor de fase diminui com a resistência da falta, com a posição da falta e com a variação da carga. A falta trifásica é mais sensível aos pontos de ressonância da linha e ao ponto central da TMO.

5.0 CONCLUSÕES

No presente trabalho apresentamos, um novo algoritmo para seleção de fase e classificação de falta na linha de meio comprimento de onda (TMO). O algoritmo foi testado em simulador digital de tempo real (RTDS) usando um ambiente de testes de malha fechada (HIL), apresentando uma boa resposta para todos os tipos de faltas sob condições normais, leves e sem carga, considerando uma grande variedade de resistência falta (até 100 Ω). Faltas bifásicas a terra são as mais difíceis de determinar apresentando baixa sensibilidade para o seletor de fase nas regiões de ressonância (em 25% e 75% do TMO). À medida que a falta se aproxima do terminal remoto o seletor de fase fica menos sensível, aumentando o tempo necessário para identificar o tipo de falta. Os Gaps, que são elementos mitigadores embutidos na TMO, não perturbam o desempenho do seletor de fase. Finalmente, a sensibilidade do seletor de fase não foi afetada pela resposta atípica do TMO durante faltas monofásicas, bifásicas, e para as faltas trifásicas.

6.0 BIBLIOGRAFIA

[1] M. C. Tavares, C. Portela, "Half-wavelength line energization case proposition of a real test", International Conference High Voltage Engineering (ICHVE), Chongqing, China, 2008, pp. 261-264.

- [2] C. Portela, J. Silva, M. Alvim, "Non-conventional AC solutions adequate for very long distance transmission - An alternative for the Amazon transmission system", Proc. IEC/CIGRE UHV Symposium, Beijing, China, 2007, pp. 1-29.
- [3] C. Portela, M. Aredes, "Very long distance transmission", Proceedings of the International Scientific and Technical Conference on AC Power Delivery at Long and Very Long Distances, vol. 1, 2003, p. 1-8.
- [4] R. Vidigal, "Analysis of the behavior of an transmission line with a little more than half wavelength under different operating conditions in steady state and for the energizing maneuver (In Portuguese)", Master's thesis, Unicamp, Campinas-SP, Brazil, 2010, pp. 1-128.
- [5] F. Hubert, M. Gent, "Half-wavelength power transmission lines", IEEE Trans. on Power Appar. and Syst., vol. 84, no. 10, 1965, pp. 966-973.
- [6] F. Prabhakara, K. Parthasarathy, R. Ramachandra, "Performance of tuned half-wave-length power transmission lines", IEEE Trans. on Power Appar and Systems, vol 88, no. 10, 1969, pp. 1795- 1802.
- [7] F. M. Gatta, F. Iliceto, "Analysis of some operation problems of half-wavelength power transmission lines", in 3th AFRICON Conference, Ezylwini Valley, Swaziland, 1992, pp. 59-64.
- [8] M. C. Tavares, C. Machado Jr., M. J. de Albuquerque, E. D. Carvalho Jr., M. de Araujo, E. C. Gomes, J. B. Gertrudes, F. A. Moreira, R. G. Fabian, W. de Freitas Filho, C. A. Floriano, A. M. Mendes, J. F. de Lima Filho, V. G. Machado, "Long-distance transmission of energy with half-wavelength technology (In Portuguese)", Urutau, São Paulo, Brasil, 2010.
- [9] B. Li, J. He, Y. Li, Y. Zheng, "Half-wavelength transmission lines", Protection Technologies of Ultra-High-Voltage AC Transmission Systems, Academic Press, Ch.12, 2020, pp. 215-238.
- [10] E. A. Silva, F. A. Moreira, M. C. Tavares, "Energization simulations of a half-wavelength transmission line when subject to three-phase faults—Application to a field test situation", Electric Power Systems Research, vol. 138, 2016, pp. 58–65.
- [11] Y. Liu, H. Tian, Z. Liu, and X. Qin, "Aspects of ultra-high voltage half-wavelength power transmission technology", Global Energy Interconnection, vol. 1, 2018, Pp. 92-102.
- [12] T. Feng, X. Dong, B. Wang, S. Shi, S. Luo, A. Lei, L. Tang., "Analysis of fault characteristics of half-wavelength AC transmission lines", IEEE Power Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, USA, 2016, pp. 1-5.
- [13] B. F. Küsel, K. M. Silva, E. C. Molas, "Analysis of phasors estimation in signals from faults in transmission lines with little than half wavelength (In Portuguese)", Brazilian Congress of Automatics (CBA 2012), Campina Grande, Brazil, 2012, pp. 4588-4595.
- [14] F. V. Lopes, B. F. Küsel, K. M. Silva, et al, "Fault location on transmission lines little longer than half wavelength", Electric Power System Research, 2014, (114), pp. 101-109.
- [15] R. G. Fabian, M. C. Tavares, "Faulted phase selection for half-wavelength power transmission lines", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 33 (2), 2018, pp 992 – 1001.
- [16] X. Shi, L. Wang, Y. Gong, X. Zhang, Y. Zhu, "Phase selection and differential protection based on wavelet Transform for half-wavelength AC transmission line", China International Conference on Electricity Distribution (CICED), Tianjin, China, 2018 pp. 1180-1186.
- [17] Y. Li, Z. Xu, T. Zheng, "Fault phase selection for half-wavelength transmission lines, IEEE 3rd International Electrical Energy Conference (CIEEC), Beijing, China, 2019, pp. 31-35.
- [18] F. V. Lopes, B. F. Küsel, K. M. Silva, "Traveling wave-based fault location on half wavelength Transmission Lines", IEEE Latin America Transactions, vol. 14 (1), 2016, pp. 248-253.
- [19] L. Tang, X. Dong, A travelling wave differential protection scheme for half-wavelength transmission line, 2018, International Journal of Electrical Power and Energy Systems 99, pp. 376-384.
- [20] P. Nan, C. Menghan, L. Rui, and F. Zare, "Asynchronous fault location scheme for half-wavelength transmission lines based on propagation characteristics of voltage travelling waves", IET Gener. Transm. and Distrib., vol. 13(4), 2019, pp. 502 -510.
- [21] O. F. Dias, M.C. Tavares, "Single-phase auto reclosing mitigation procedure for half wavelength transmission line", IET Gener. Transm. Distrib., vol 11 (17), 2017, pp 4324 – 4331.
- [22] E. Clarke, "Circuit analysis of ac power systems /alpha, beta, and zero components of three-phase systems, General Electric, New York, USA, Ch. 10. 1950, Pp 308-362.
- [23] F. Magrin, "Modeling of a transformer differential protection relay in RTDS (In Portuguese)", Master's thesis, Unicamp, Campinas-SP, Brazil, 2014, pp 1-268.
- [24] J. Santiago Ortega, M. C. Tavares, "Transient Analysis and Mitigation of Resonant Faults on Half-Wavelength Transmission Lines", IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: 35, No: 2 , pp: 1028 – 1037, abril 2020.

[25] J. A. Santiago, M. C. Tavares, "Critical fault analysis on half wavelength transmission lines (In Portuguese)", Brazilian Symposium on Electrical Systems (SBSE), Niteroi, Brazil, 2018, pp. 1456–1462.

[26] E. O. Schweitzer, A. Guzmán, M. V. Mynam, V. Skendzic, B. Kasztenny and S. Marx, "Locating faults by the traveling waves", 67th Annual Conference for Protective Relay Engineers, Texas, USA, 2014, pp. 95-110.

7.0 DADOS BIOGRÁFICOS



Dennis F. Jimenez F.: Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES (1986), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Nacional Autônoma do México - UNAM (2005). Trabalhou por 20 anos na área de Proteção na Empresa de Transmissão Elétrica, S.A. - ETESA, no Panamá, onde ocupou os cargos de Coordenador de Proteções e Diretor Executivo de Transmissão. No projeto SIEPAC, trabalho como gerente de planificação e operação da rede de transmissão de América Central. Desde 2006, é docente na Universidade Tecnológica de Panamá – UTP, na pós-graduação em Engenharia Elétrica. Atualmente é estudante de doutorado da FEEC - UNICAMP.



Ozenir F. R. Dias: Graduou-se Engenheiro Eletricista pela Universidade do Estado do Amazonas (2012) e obteve o título de Mestre em Engenharia Elétrica na Universidade Estadual de Campinas (2015). Em jan/2018 obteve o título de Doutor em Engenharia Elétrica na FEEC/Unicamp e continuou suas pesquisas de pós-doutorado na FEEC até março de 2019 nas áreas de linhas de transmissão convencionais, linhas de transmissão de meio comprimento de onda (MCO), religamento monopolar e tripolar, proteção em sistemas de potência, transitórios eletromagnéticos, simuladores digitais. Atualmente é professor Adjunto do Departamento de Eletricidade (DE) da Faculdade de Tecnologia (FT), na Universidade Federal do Amazonas (UFAM).



Maria Cristina Tavares: Graduação (1984) e mestrado (1991) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1984), e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (1998). Atualmente é Professora MS5 (Livre Docente) na Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP. Membro Senior no IEEE. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em transmissão da energia elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: estudos de transitórios eletromagnéticos, linha de transmissão, modelagem de arco secundário, proteção adaptativa monopolar e tripolar, simuladores ATP, PSCAD e RTDS, e transmissão a muito longa distância, especificamente transmissão em meio comprimento de onda.