



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

DESEMPENHO DA PROTEÇÃO DE LINHA DE TRANSMISSÃO DE ULTRA-ALTA VELOCIDADE NO DOMÍNIO DO TEMPO FRENTE A DIVERSAS SITUAÇÕES DE CONTINGÊNCIAS

**PAULO SERGIO PEREIRA JUNIOR(1);PAULO SERGIO PEREIRA(1);CRISTIANO MOREIRA MARTINS(1);RODOLFO CABRAL BERNARDINO(1);GUSTAVO ESPINHA LOURENÇO(1);GUSTAVO SILVA SALGE(1)
CONPROVE INDUSTRIA E COMERCIO DE PRODUTOS ELETROELETRONICOS LTDA(1)**

RESUMO

O presente trabalho abordará a utilização de um sistema composto de software e hardware que é capaz de modelar de maneira fidedigna todos os componentes do sistema elétrico, incluindo as linhas de transmissão (modelos com parâmetros variáveis e dependentes da frequência), e reproduzir as formas de onda de até megahertz em níveis secundários.

O trabalho apresentará o desempenho de uma proteção de linha de transmissão de ultra-alta velocidade que trabalha no domínio do tempo utilizando grandezas incrementais e se baseia nos princípios das ondas viajantes (traveling waves - TW) para identificar e localizar uma falta. Para tal, um IED comercial será submetido a centenas de situações de contingência de modo a avaliar o desempenho da função de proteção baseada em ondas viajantes no que se refere à localização correta da falta (erros de até no máximo um vão de torre) e tempo de atuação da função (promete valores da ordem de 1ms). Será possível comparar também o desempenho da proteção baseada em TW com a tradicional função baseada no cálculo da impedância.

PALAVRAS-CHAVE

PS Simul, Ondas Viajantes, Mala de Teste, Proteção, Domínio do Tempo, CE-TW1

1.0 - INTRODUÇÃO

As ondas viajantes são transitórios eletromagnéticos gerados quando ocorre uma mudança repentina de tensão na rede, como por exemplo, na ocorrência de uma falta. As ondas viajam ao longo da linha de transmissão com a velocidade muito próxima à velocidade da luz e medindo com precisão a diferença entre os tempos de chegada das frentes de onda nos terminais da linha a distância da falta pode ser encontrada. Os localizadores de falta baseados em ondas viajantes surgiram como uma alternativa aos algoritmos de localização baseados em valores de impedância por possuírem alta precisão.

Com o domínio dessa tecnologia, os fabricantes de IEDs passaram a utilizá-la não apenas para identificação do local da falta, mas também na atuação (TRIP) em sistemas de proteção visando reduzir o tempo de operação através de funções de ultra-alta velocidade (UHS). Utilizando as ondas viajantes e quantidades incrementais na proteção de linha no domínio do tempo, a função de proteção baseada em TW amostra as correntes e tensões a uma frequência de 1 MHz e atua com tempos extremamente baixos. Na proteção de sistemas elétricos, cada milésimo de segundo é importante. A eliminação mais rápida das faltas melhora a segurança dos usuários e dos funcionários, amplia as margens de estabilidade do sistema, minimiza o desgaste do equipamento, melhora a qualidade da energia, limita os danos a propriedades, além de salvar vidas.

Com toda essa tecnologia, se faz necessário a utilização de sistemas de teste capazes de aferir tais funcionalidades através de formas de onda de tensão e corrente que melhor representam o comportamento real do sistema elétrico de potência (SEP), incluindo as Traveling Waves. Nesse contexto a utilização de software que realiza simulações de condições transitórias em conjunto com hardware capaz de reproduzir de forma fidedigna os sinais simulados é fundamental para ensaiar os dispositivos com essa tecnologia.

2.0 - METODOLOGIA DE TESTE

O sistema de teste empregado consiste em uma combinação de software e hardware, projetado para reproduzir formas de onda de altíssima frequência, juntamente com a frequência fundamental, em níveis secundários. Essa abordagem permite a reprodução de todas as reflexões das ondas viajantes, com suas diversas magnitudes e distorções. Além disso, o sistema possibilita a avaliação da sensibilidade dos algoritmos baseados em TW.

Para garantir uma avaliação precisa dos algoritmos dos dispositivos IEDs em situações de falta real, é necessário um sistema de teste que possa reproduzir de forma fiel os sinais complexos medidos pelos dispositivos de proteção. Esses sinais são não periódicos, possuem um amplo espectro de frequência e apresentam múltiplas reflexões.

2.1 Ferramenta de Teste

O sistema de teste possui a capacidade de modelar com precisão todos os componentes do sistema elétrico, incluindo as linhas de transmissão. A ferramenta permite reproduzir formas de onda de altíssima frequência, juntamente com a frequência fundamental, em níveis secundários. Isso abrange todos os requisitos necessários para a avaliação de dispositivos com algoritmos baseados em ondas viajantes.

Utilizando o princípio da superposição (conforme ilustrado na Figura 1), é possível separar o sinal em duas faixas de frequência: quilohertz e megahertz. A faixa de quilohertz é reproduzida por uma mala de testes universal, que pode gerar sinais de até 3kHz. Enquanto isso, o complemento do sinal é reproduzido por um hardware específico (caixa de teste de ondas viajantes), capaz de reproduzir sinais de até MHz.

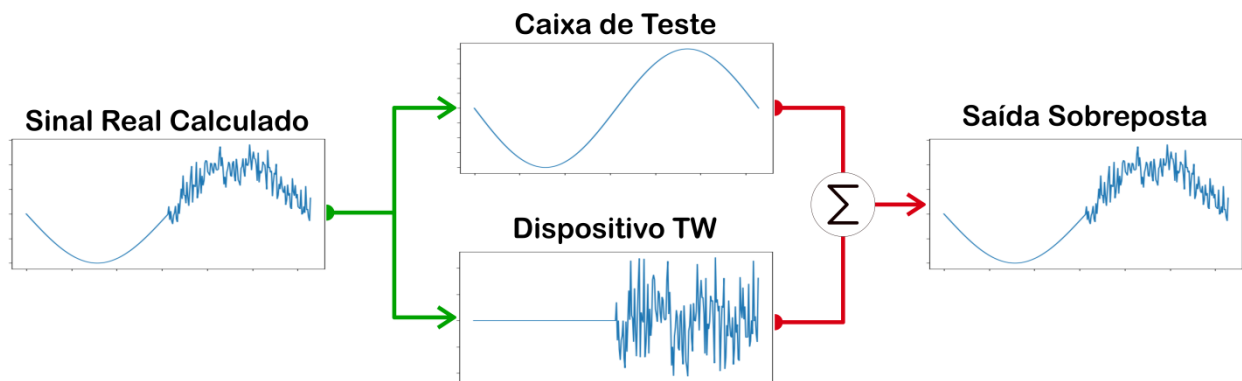


FIGURA 1 – Metodologia

Para que a superposição funcione corretamente, ambos os hardwares devem ser sincronizados pela mesma base de tempo e o disparo (trigger) deve ocorrer no mesmo instante. Só assim é garantido que o sinal gerado representará exatamente o sinal simulado.

Vale ressaltar que através desta tecnologia é possível até mesmo reproduzir um arquivo COMTRADE da ordem de megahertz contendo todos os sinais de ondas viajantes em níveis secundários.

2.2 Software

O software PS Simul [1], desenvolvido no Brasil desde 2009, teve sua primeira versão lançada em 2014, e está disponível no site da empresa uma versão GRATUITA [2]. Este software, criado com o principal objetivo de permitir ao usuário modelar complexos sistemas elétricos de potência e controle além de simular transitórios eletromagnéticos e eletromecânicos, funciona com uma interface bastante amigável, com uma série de recursos que facilitam a obtenção e avaliação de resultados, entrada de dados, visualização de formas de onda, entre outros. Para possibilitar a criação de qualquer sistema de potência e/ou controle, está disponível uma biblioteca com mais de 400 componentes, incluindo vários não cobertos por nenhum outro software de simulação de transitórios. Além de realizar as simulações, o software permite a reprodução/aquisição dos sinais pelas malas de teste.

O PS Simul possui diversas funcionalidades que merecem destaque. Uma delas é o método de solução híbrida, que utiliza o método trapezoidal em conjunto com interpolação e Euler para evitar oscilações numéricas durante os chaveamentos. Além disso, o software permite o uso de variáveis globais, o que facilita a definição de ajustes comuns a vários blocos em um único ponto. Também oferece a possibilidade de realizar múltiplos testes automatizados, permitindo a modificação de uma ou mais constantes do sistema. Outra funcionalidade importante é a simulação de faltas na linha de transmissão, que pode ser aplicada sem a necessidade de dividir manualmente a

linha. O software também possibilita a simulação de curto-circuito em transformadores, permitindo o curto-circuito entre espiras do transformador através do acesso aos seus enrolamentos. Por fim, o software gera relatórios completos, fornecendo todas as informações relevantes de forma abrangente.

Como mencionado anteriormente, é possível reproduzir e aquisitar sinais pelo PS Simul. Para isso, estão disponíveis na biblioteca de software os blocos de entradas e saídas para valores binários/GOOSE e analógicos/Sampled Values. Os componentes de saída são utilizados para que os resultados obtidos no ambiente de simulação possam ser reproduzidos em dispositivos reais. Os componentes de entrada serão utilizados para permitir que os sinais adquiridos pelos canais da mala de teste sejam utilizados no software.

Os sinais de entrada digital podem ser utilizados para realimentar a simulação através de um processo iterativo, executado de forma recursiva. Nesta metodologia, o sinal é aplicado, por exemplo, para modificar a simulação com o intuito de comandar a abertura e fechamento dos disjuntores ou em qualquer outro ponto do circuito que envolva lógica digital. Este processo de geração e aquisição de sinal ocorre por sobreposição automática de estágios com a realimentação do circuito, configurando assim um sistema de malha fechada em etapas com excelentes resultados. Vale ressaltar que esta metodologia só é possível devido à repetibilidade do TRIP dos IEDs, que possuem grande precisão na aquisição e processamento de sinais. Além disso, a eficácia do método iterativo para realização de testes em malha fechada já foi comparada com a metodologia utilizada por sistemas de simulação em tempo real [3, 4], onde se comprovou que os resultados dos testes em dispositivos de proteção são os mesmos para ambas as metodologias.

O software pode ser utilizado para realizar qualquer tipo de estudo eletromagnético, tais como coordenação de isolamento, descargas atmosféricas, tensões de recuperação transitórias, energizações, saturações de transformadores de corrente, partida de motores, sobretensões, qualidade de energia, lógicas de controle, etc. O PS Simul também permite realizar simulações complexas, como casos envolvendo HVDC e energia renovável. Para estes casos estão disponíveis diversos componentes como: pontes retificadoras/inversoras; fontes eólicas (média, rampa, ruído e rajada); turbinas eólicas; painéis fotovoltaicos; conversores DC-DC; e outros.

2.3 Hardware

Para atender esta aplicação, existem alguns modelos de malas de teste universais: CE-6707, CE-6710, CE-7012 e CE-7024. Para este trabalho foi escolhido o hardware CE-7012, que possui 6 canais de corrente, com capacidade de geração de 50A RMS e 430VA por canal, e 6 canais de tensão com 300V RMS e 100VA de capacidade cada.

O hardware capaz de gerar sinais em megahertz é o CE-TW1 que possui 3 canais de tensão com $\pm 100V_{pk}$ e 3 canais de corrente com $\pm 7,5A_{pk}$. Como o hardware funciona com um conversor digital-analógico de MHz é possível gerar qualquer sinal simulado que esteja dentro da faixa de frequência de trabalho e da amplitude máxima secundária.

Para garantir o correto funcionamento dos dispositivos de teste, foi empregado o CE-GPS como fonte de sincronismo temporal. A Figura 2 ilustra o dispositivo de testes para ondas viajantes e a Figura 3 apresenta o setup de teste utilizado.



FIGURA 2 – Dispositivo de testes TW

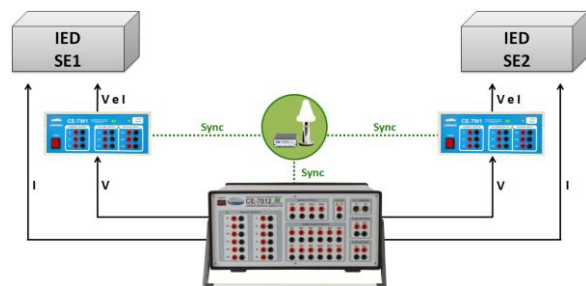


FIGURA 3 – Setup de teste

3.0 - FIDELIDADE DO SINAL

Para calcular sinais fiéis, o PS Simul possui, além dos tradicionais modelos de linhas de transmissão com parâmetros concentrados como PI e RL, quatro modelos diferentes com parâmetros distribuídos capazes de reproduzir ondas viajantes: sem perda, Bergeron, parâmetros variáveis e dependentes da frequência (domínio modal e das fases).

O modelo de Bergeron é essencialmente um modelo ideal representado por uma indutância distribuída L e uma capacitância C . No entanto, o modelo de Bergeron vai um passo além ao incluir uma propriedade de resistência concentrada para aproximar as perdas do sistema.

Nos modelos com parâmetros variáveis e dependentes da frequência (FD) a resistência do sistema R é distribuída ao longo do comprimento do sistema (junto com L e C) em vez de concentrada nos pontos finais. Os modelos FD são resolvidos em vários pontos de frequência, incluindo a dependência da frequência do sistema.

O modelo dependente da frequência no domínio das fases considera a dependência de frequência das matrizes de transformação interna, representando assim com precisão sistemas desequilibrados e equilibrados. Por outro lado, o modelo dependente da frequência no domínio modal assume uma transformação constante e, portanto, só é preciso ao modelar sistemas balanceados. O modelo no domínio das fases é numericamente robusto e mais preciso do que qualquer outro modelo de linha/cabo comercialmente disponível e, portanto, é o modelo preferido a ser utilizado.

Como mencionado anteriormente, o sinal simulado é separado em dois, sendo a baixa frequência gerada por uma mala de teste convencional e a alta frequência sendo reproduzida por amplificadores especiais capazes de responder a um amplo espectro de frequência (DC - MHz).

A sincronização é responsável por garantir que não haja deslizamentos de sinal e um exemplo de resultado das formas de onda combinadas é mostrado na captura do osciloscópio abaixo (Figura 4).

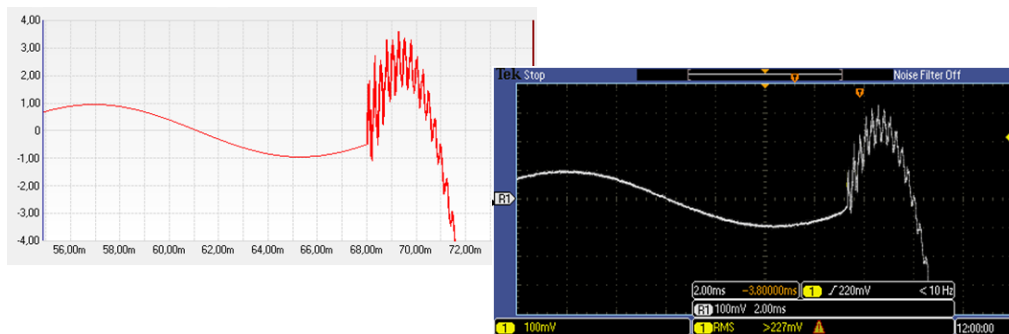


FIGURA 4 – Sinal Calculado no PS Simul x Captura do osciloscópio

4.0 - ESTUDO DE CASO

No intuito de analisar o comportamento da função de proteção baseada em ondas viajantes, foram realizados testes em um sistema que possui características semelhantes às do sistema elétrico básico brasileiro em termos de níveis de tensão, geometria típica de linha de transmissão e níveis de curto-circuito, com foco no tempo de atuação da proteção e localização de falhas. O circuito modelado inclui duas subestações representadas por seus sistemas equivalentes e entre elas, linhas de transmissão (classe 230 kV – 100km) e os grupos de transformadores de instrumento foram todos modelados conforme mostrado na Figura 5.

Os relés foram ajustados com duas zonas olhando na direção da linha de transmissão, sendo a zona 1 enxergando até 70% do comprimento da linha e a zona 2 enxergando 120% da linha de transmissão protegida. Nenhum esquema de teleproteção foi configurado, pois o intuito era comparar os tempos instantâneos de atuação da proteção baseada em ondas viajantes em relação à tradicional proteção de distância sem nenhuma lógica ou esquema influenciando no tempo final de atuação. Exatamente por esse motivo é que foram realizadas as análises apenas para os tempos da zona 1.

Nos testes, o PS Simul realiza a simulação do sistema modelado, enviando os sinais analógicos, direcionados para esta finalidade no ambiente de software, para as malas de teste. Feito isso, os equipamentos reproduzem os sinais (tensões e correntes) de tal forma a aplicá-los aos dispositivos em teste.

O sistema elaborado foi submetido a um total de 76 cenários de teste repetindo 3 vezes cada um totalizando 228 testes, onde foram simuladas diversas condições de falhas internas, com variação do tipo de falha, ângulo de incidência e localização.

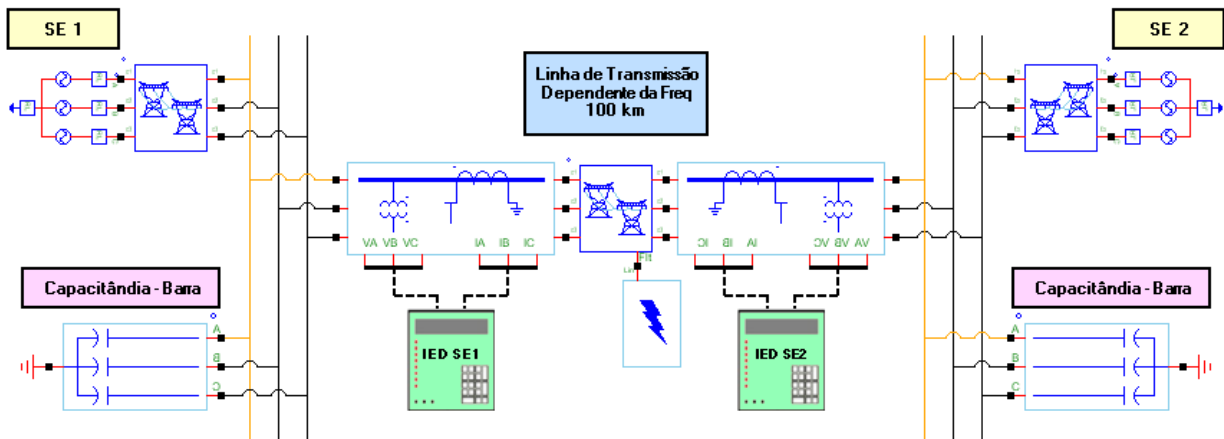


FIGURA 5 – Sistema modelado no PS Simul

Os testes foram realizados em um modelo comercial de IED que possui além da tradicional proteção fasorial de distância, funções de proteção no domínio do tempo. Todos os 228 testes foram feitos injetando as formas de onda realísticas resultantes das simulações, a fim de verificar o comportamento dos dispositivos em termos do tempo de atuação da proteção e de localização de faltas. A Tabela 1 descreve resumidamente os cenários avaliados.

TABELA 1 – Descrição dos testes

| Tipo Falta | Local da Falta | Número de casos |
|------------|----------------------|-----------------|
| A-G | Loop: 5km a 95km | 19 Locais |
| BC-G | Passo: 5km | 4 Tipos |
| BC | 19 Locais Diferentes | 3 repetições |
| ABC | | Total: 228 |

5.0 - RESULTADOS

Visando comparar os tempos de atuação da função de proteção baseada em ondas viajantes com a tradicional função 21, somente foram avaliados os tempos de atuação das zonas 1 dos IEDs conforme explicado anteriormente. Foram consideradas apenas as atuações que ocorreram em até 90% do alcance da zona 1, ou seja, 63% da linha de transmissão, pois a partir desse ponto, segundo o fabricante, os tempos podem aumentar exponencialmente.

Os gráficos apresentados ilustram, para cada tipo de falta (A-G – Figura 6, BC-G – Figura 7, BC – Figura 8 e ABC – Figura 9) e local da falta (5% a 95% - Passo de 5%) na linha de transmissão, os tempos de atuação das proteções (baseadas em ondas viajantes e baseadas em impedância) das subestações SE1 e SE2. Cada ponto nos gráficos corresponde ao tempo médio de três testes realizados nas mesmas condições. É importante observar que a repetição de cada ponto também tem a finalidade de verificar a repetibilidade do IED.

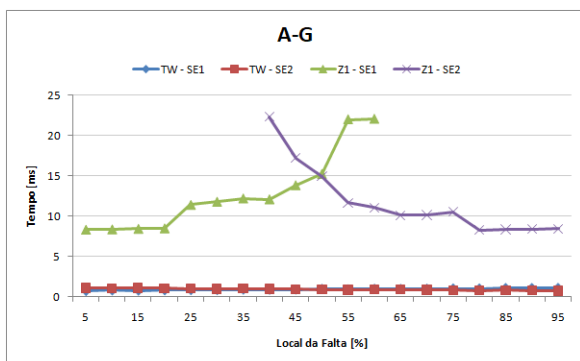


FIGURA 6 – Tempos Atuação Falta A-G

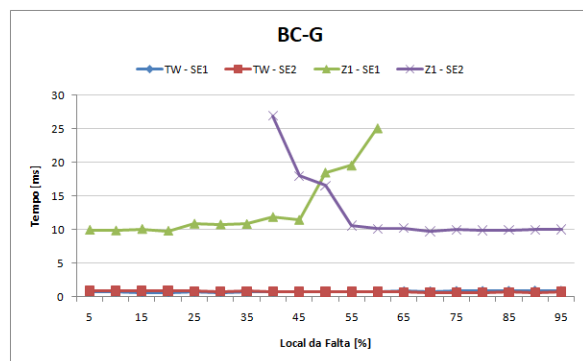


FIGURA 7 – Tempos Atuação Falta BC-G

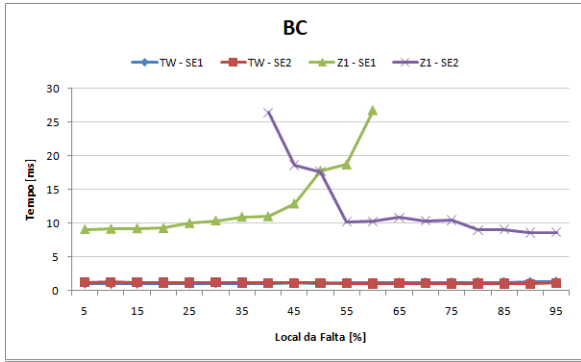


FIGURA 8 – Tempos Atuação Falta BC

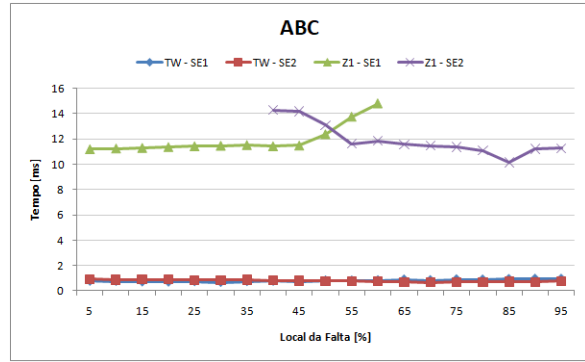


FIGURA 9 – Tempos Atuação Falta ABC

A partir das imagens, é possível inferir claramente que os tempos de atuação da função de proteção tradicional de impedância (Z1-Z1) variam com relação à localização da falta e são todos superiores a 8ms, enquanto que a função de proteção baseada em ondas viajantes atua, na sua maioria, com tempos abaixo de 1ms. A Tabela 2 demonstra os valores mínimos, médios e máximos dos tempos de atuação dos IEDs nas duas subestações para as funções de proteção baseadas em TW e em impedância.

TABELA 2 – Estatística dos tempos de atuação

| | SE1 | | SE2 | |
|-----------------|-------|---------|-------|---------|
| | TW | Z1 (Z1) | TW | Z1 (Z1) |
| Min [ms] | 0,646 | 8,355 | 0,646 | 8,250 |
| Med [ms] | 0,929 | 12,744 | 0,918 | 12,223 |
| Max [ms] | 1,341 | 26,757 | 1,306 | 27,035 |

Agrupando os tempos de atuação da função de proteção baseada em ondas viajantes para cada subestação (Figuras 10 e 11), nota-se que quanto mais distante do terminal do IED, maior o tempo de atuação, e isso é devido ao tempo de propagação da onda na linha de transmissão. Cada ponto nas imagens equivale à média de três resultados de teste.

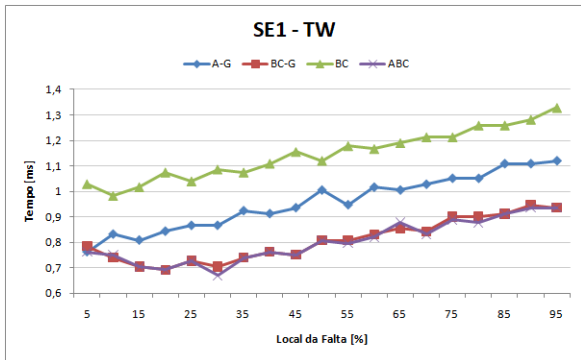


FIGURA 10 – Tempos Atuação TW SE1

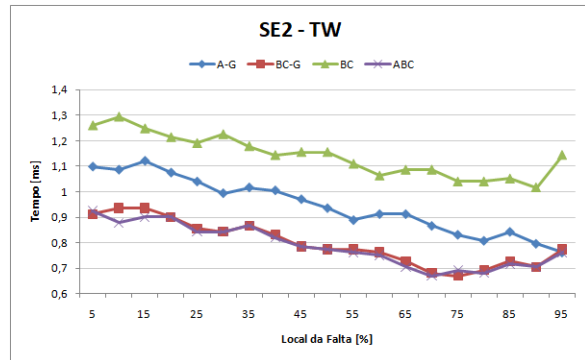


FIGURA 11 – Tempos Atuação TW SE2

Os erros de localização de falta por TW ficaram todos abaixo de 60m. A Figura 12 apresenta a média do erro de três pontos de teste para cada tipo e localização de falta. Outras comparações entre algoritmos de localização de falta podem ser encontradas em [5].

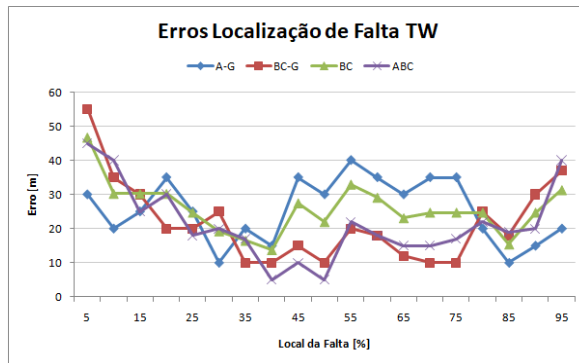


FIGURA 12 – Erros de localização de falta

De acordo com os dados apresentados, é possível verificar e importante ressaltar que a função de proteção baseada em TW atuou corretamente em 100% dos testes realizados com uma média de tempo menor que 1ms e com erros de localização inferiores a 0,06% do comprimento da linha (60m neste caso), que é menor que um vão de torre.

A título de informação, são apresentados os detalhes para o caso de uma falta BC-G em 45% da linha de transmissão. Para este caso em questão, o tempo de atuação da proteção baseada em TW foi de 751us para o dispositivo localizado na subestação 1 (IED_SE1) e 785us para o relé da subestação 2 (IED_SE2). Já a proteção de distância operou com tempo de 11,45ms para o IED_SE1 e 17,97ms para o IED_SE2. As tensões e correntes simuladas e posteriormente reproduzidas pelos equipamentos de teste, além dos registros das atuações das proteções dos IEDs deste caso são apresentadas na Figura 13.

5.1 Cenário detalhado

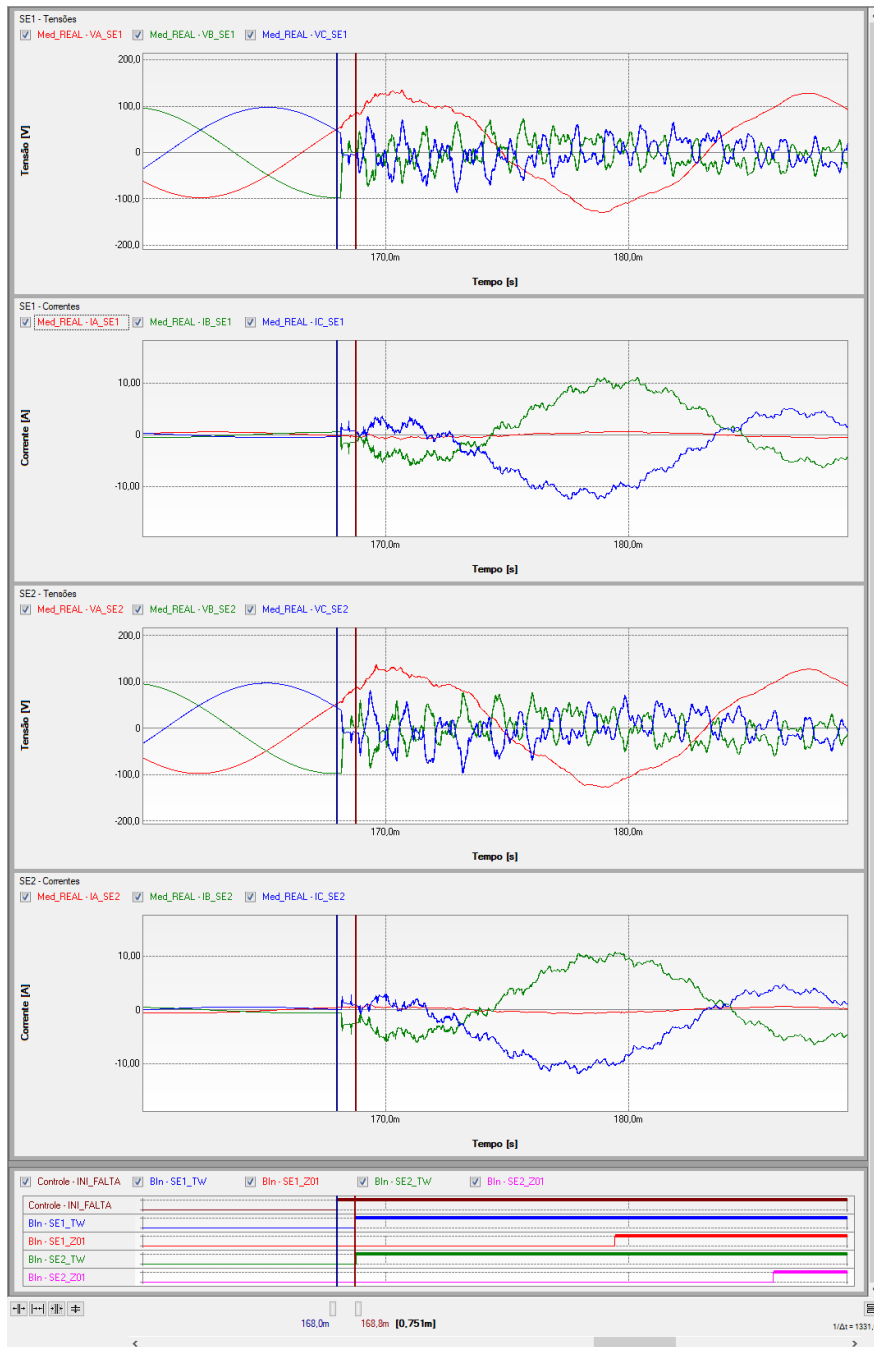


FIGURA 13 – Detalhes Falta BC-G em 45% da Linha

6.0 - CONCLUSÃO

O estudo apresentou resultados de testes em um IED comercial simulando 76 cenários de contingência, totalizando 228 testes, visando comparar os tempos de atuação da proteção baseada em ondas viajantes com a proteção tradicional de distância 21. Também foi alvo do trabalho a verificação do correto funcionamento dos algoritmos de localização de faltas por ondas viajantes.

A função de proteção baseada em TW operou corretamente em todos os cenários testados com tempos, em mais de 90% dos casos, inferiores a 1ms. Essa resposta rápida da proteção é fundamental para a operação do sistema elétrico e pode ser crucial garantir a seletividade da proteção. Apesar de apresentar tempos relativamente maiores, a função de proteção tradicional por impedância também operou corretamente para todos os casos, cobrindo defeitos em toda a extensão da linha protegida.

Como esperado, as localizações de faltas baseadas em TW apresentaram erros muito inferiores aos erros normalmente apresentados pelo método tradicional de impedância, pois são da ordem de metros enquanto o método por impedância atinge a ordem de quilômetros. A localização de faltas extremamente precisa em linhas de transmissão pode reduzir significativamente os custos para as concessionárias. Ele permite que os profissionais de operação e manutenção respondam com maior eficácia a eventos, cheguem ao local das faltas mais rapidamente e corrijam os defeitos.

Os testes mostraram o quão importante é testar o IED em condições próximas às reais, pois este será o cenário encontrado pelo IED no local de instalação. Por esse motivo, a utilização do PS Simul foi de extrema importância, pois possui modelos confiáveis dos componentes do sistema elétrico, resultando em formas de onda realistas. Aliado ao software é necessário também ter um hardware capaz de reproduzir os sinais simulados de maneira fidedigna, por isso foi utilizado o CE-TW1, que possui capacidade de gerar tensões e correntes à nível secundário em megahertz.

Para trabalhos futuros, a sugestão é comparar a sensibilidade das proteções baseadas em ondas viajantes, grandezas incrementais e por impedância frente à variação da resistência de falta.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Pereira Junior, P. S., Pereira, P. S., Martins, C. M., Salge, G. S., Lourenço, G. E., Bernardino, R. C.: 'Performance assessment of a line protection implemented with process bus and GOOSE through transient closed loop tests'; IPST 2021; Brasil.

[2] Conprove Engenharia, Indústria e Comércio, PS SIMUL: Software for Power System Modeling and Simulation of Electromagnetic Transients. Accessed on November 11, 2021, at: <https://conprove.com/en/products/08-ps-simul-software-for-power-systems-modeling-and-electromagnetic-transients-simulation>

[3] Pereira, P. S., Pereira Junior, P. S., Martins, C. M., Salge, G. S., Lourenço, G. E., Da Silveira, P. M., Davi, M. J. B. B., Guerrero, C. A. V., Reis Filho, F. A.: 'Testes em Malha Fechada: Uma Comparação Entre Tempo Real e Método Iterativo'; SNPTEE 2017; Brasil.

[4] Pereira, P. S., Pereira Junior, P. S., Martins, C. M., Salge, G. S., Lourenço, G. E., Reis Filho, F. A., Davi, M. J. B. B.: 'Testes Transitórios de Dispositivos de Proteção em Malha Fechada'; STPC 2016; Brasil.

[5] Pereira, P. S., Pereira Junior, P. S., Martins, C. M., Salge, G. S., Lourenço, G. E., Bernardino, R. C.: 'Uma nova metodologia mais fidedigna para testes de localização de falta e proteção baseados em ondas viajantes'; STPC 2022; Brasil.

DADOS BIOGRÁFICOS



Paulo Sergio Pereira Junior é o diretor da empresa CONPROVE, uma empresa de alta tecnologia com foco em pesquisa e desenvolvimento de instrumentos elétricos de teste. Graduou-se em Engenharia Elétrica em 2004 pela Universidade Federal de Uberlândia, UFU. Também se formou em Administração de Empresas em 2006 pela UFU, e concluiu MBA pela Fundação Getúlio Vargas, FGV, como especialista em Gestão de Projetos. Paulo tem mais de quinze anos de experiência em Desenvolvimento e Aplicação em Projetos de Software e Hardware para Proteção, Automação e Controle de Sistemas de Potência na CONPROVE.

(2) PAULO SERGIO PEREIRA

Paulo é engenheiro Eletricista, Graduado em 1975, pela ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ (EFEI). Mestre em Ciências, em 1977 também pela UNIFEI e PhD, em 1980, pela UNIVERSITY OF MANCHESTER INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (UMIST), em Manchester, Inglaterra. Atualmente é diretor da CONPROVE ENGENHARIA. Possui mais de 30 anos de experiência em Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentos de Testes de Relés.

(3) CRISTIANO MOREIRA MARTINS

Cristiano Moreira Martins é Engenheiro Eletricista formado pela Universidade Federal de Uberlândia em 2004. Desde 2005 trabalha na Conprove com foco em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos voltados para o setor de energia elétrica.

(4) RODOLFO CABRAL BERNARDINO

Engenheiro Eletrônico, graduado pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Trabalha com pesquisas e desenvolvimento, com sistemas de controle, desenvolvimento de hardware e em sistemas de proteção com IEC 61850. Possui mais de 07 anos de experiência em trabalhos de desenvolvimento e pesquisa na CONPROVE. Engenheiro e Instrutor de treinamento da CONPROVE em cursos de IEC 61850.

(5) GUSTAVO ESPINHA LOURENÇO

Gustavo Espinha Lourenço é Engenheiro Eletricista formado pela Universidade Federal de Uberlândia em 1998 e desde então trabalha na Conprove com foco em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos voltados para o setor de energia elétrica.

(6) GUSTAVO SILVA SALGE

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU), concluído em 2008. Atualmente é Engenheiro de Pesquisa e Desenvolvimento da empresa Conprove, atuando principalmente nos seguintes temas: Proteção de Sistemas Elétricos de Potência e Transitório Eletromagnéticos em Sistemas Elétricos de Potência.