



Simulação em malha fechada da função de sobrecorrente direcional em um sistema elétrico com geração distribuída

Closed-loop simulation of the directional overcurrent function in an electrical system with distributed generation

Gabriel Rodrigues Modolo¹, Ana Luiza Fernandes Lucio², Murilo da Silva³

RESUMO

Tendo em vista o crescimento acelerado da inserção de geração distribuída nos sistemas de baixa, média e alta tensão, e consequentes mudanças operacionais destes sistemas, busca-se com este trabalho investigar o desempenho da função de proteção de sobrecorrente direcional (67) quando aplicada em sistemas de distribuição com e sem presença de geração distribuída. O presente artigo apresenta o estudo e aplicação em laboratório de um teste integrado de software e hardware para verificação do comportamento da função de proteção de sobrecorrente direcional de fase e neutro disponível em um relé comercial quando aplicado a um sistema de distribuição de média tensão na presença ou não de geração distribuída. A proposta permite o desenvolvimento de modelo de simulação abrangente que representa com precisão sistemas de distribuição com e sem presença de geração e integração direta com uma caixa de teste e desta com o relé de proteção, permitindo estudos detalhados e específicos em malha fechada e tempo real, diferenciando-se de um teste de comissionamento comum praticado em campo.

PALAVRAS-CHAVE: falta; geração distribuída; sobrecorrente direcional; teste integrado de software e hardware

ABSTRACT

In view of the accelerated growth of the insertion of distributed generation in low, medium and high voltage systems, and consequent operational changes in these systems, this work seeks to investigate the performance of the directional overcurrent protection function (67) when applied in distribution systems with and without generation presence. This article presents the study and application in the laboratory of an integrated software and hardware test to verify the behavior of the phase and neutral directional overcurrent protection function available in a commercial relay when applied to a medium voltage distribution system in the presence distributed generation or not. The proposal allows the development of a comprehensive simulation model that accurately represents distribution systems with and without the presence of generation and allows direct integration with a test box and the protection relay, allowing detailed and specific studies in closed loop and real time, differentiating itself from a common commissioning test carried out in the field.

KEYWORD: lack; distributed generation; directional overcurrent; integrated software and hardware testing

INTRODUÇÃO

No domínio dos sistemas de distribuição de energia, garantir uma operação confiável e segura é de extrema importância social e econômica. Um aspecto essencial desta operação é a proteção eficaz contra falhas e condições anormais que possam surgir no sistema elétrico.

¹ Voluntário. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: gabrielmodolo275@gmail.com. ID Lattes: 7448823571701399.

² Voluntária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: analucio@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 5069934355665554.

³ Docente no Engenharia Elétrica/Daele/PIVIT. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: murilosilva@utfpr.edu.br. ID Lattes: 2992895439496724.



Os sistemas de distribuição estão sujeitos a diversos cenários de falhas, como curtos-circuitos, falhas à terra e sobrecargas, que podem potencialmente interromper o fornecimento de energia e causar danos aos equipamentos.

Para enfrentar situações adversas, dentro de outras funções de proteção, temos a função de proteção de sobrecorrente de fase e neutro, comumente utilizada em sistemas de distribuição de energia radiais para identificar correntes anormais.

Atualmente este cenário vem se alterando em função da penetração da geração distribuída, tal que os sistemas de distribuição estão deixando de ser predominantemente radiais em função do fluxo de potência reverso ou bidirecional que pode ser originado pelas gerações distribuídas (GDs). Dado o exposto, a aplicação da função de sobrecorrente direcional de fase e neutro (67P e 67N) torna-se particularmente significativa em sistemas de distribuição com GDs.

A capacidade de detecção direcional permite que a função de proteção discrimine entre correntes de falta e correntes de carga normais e sua direcionalidade (carga-fonte ou fonte-carga), garantindo que apenas as seções defeituosas do sistema de energia sejam isoladas enquanto mantém o fornecimento para seções saudáveis.

Este trabalho apresenta uma metodologia para teste das funções 67P e 67N em campo ou laboratório utilizando sinais elétrico gerados por uma caixa de teste a partir das formas de ondas de simulações. Teste com dados de simulações permitem emular situações detalhadas e ou específicas, proporcionando uma melhor avaliação das funções de proteção disponíveis nos relés de proteção. Neste trabalho foca-se preliminarmente a avaliação da função de sobrecorrente de direcional de fase e neutro funcionamento do relé quando aplicada a sistemas de distribuição com e sem presença de Geração Distribuída (GD).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados foram

- Software de Simulação PS-SIMUL (CONPROVE. PS-SIMUL)
- Caixa de teste CE-6710 Conprove (CONPROVE)
- Cabos e Conectores
- Relé 351-S (SEL) (EventoCloud. (s.d))
- Software de Leitura SEL 5030 (SyncroWAVE) (SEL. AsSelerator)

Para realizar uma avaliação abrangente da função de proteção de sobrecorrente direcional de fase e neutro (67) aplicada a sistemas de distribuição com e sem presença de geração foi utilizada a metodologia demonstrada no fluxograma apresentado na Figura 1.

Na primeira etapa utilizou-se o software de simulação PS-SIMUL para modelagem de um sistema de distribuição de 13,8 kV utilizando dados reais do modelo de (SILVA, M, 2021) conforme Figura 2. A modelagem da geração distribuída foi feita conforme o modelo de PETEAN, Daniel (2014) utilizando-se uma fonte de tensão em série com a impedância do sistema fotovoltaico. Em seguida, conectou-se o software (PS-Simul) a caixa de testes CE-7012. A integração entre o PS-Simul e a caixa de teste CE-7012, ambos da empresa

Conprove, possibilita uma simulação em malha fechada e tempo real (MENDES, R. A. et al, 2017).

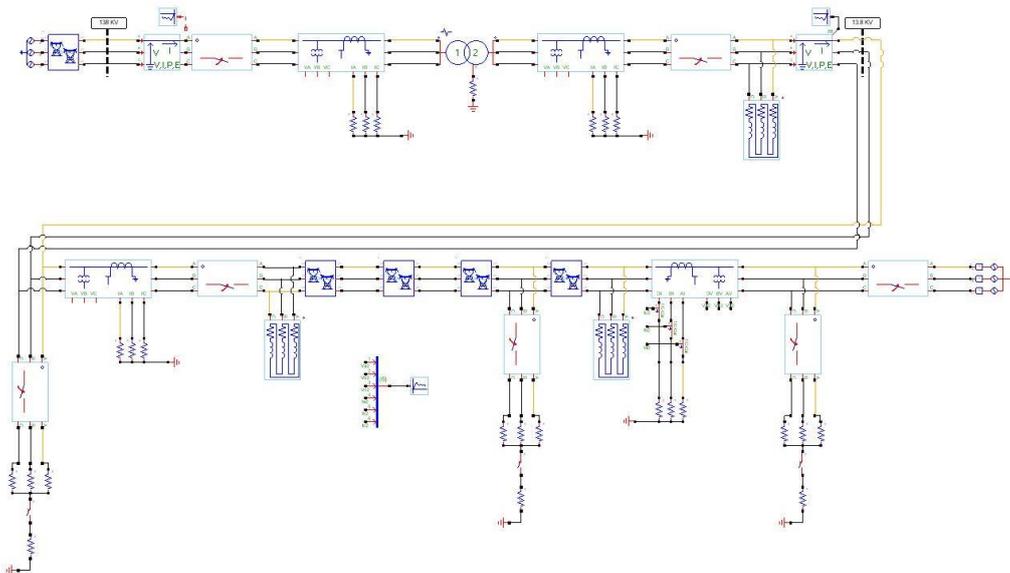
Figura 1 – Fluxograma da Metodologia



Fonte: Produção Própria (2023)

Os sinais gerados na simulação são gerados pela caixa de teste e injetados no relé em estudo SEL 351-S da Schweitzer Engineering Laboratories (SEL). Posteriormente, as oscilografias geradas pelo relé são obtidas utilizando o software de leitura SEL 5030, as quais são analisadas a fim de se verificar o desempenho da função de proteção, observando-se o comportamento das variáveis analógicas e binárias relacionada a função de proteção em estudo.

Figura 2 – Sistema Multifilar, PS-SIMUL



Fonte: Produção Própria (2023)

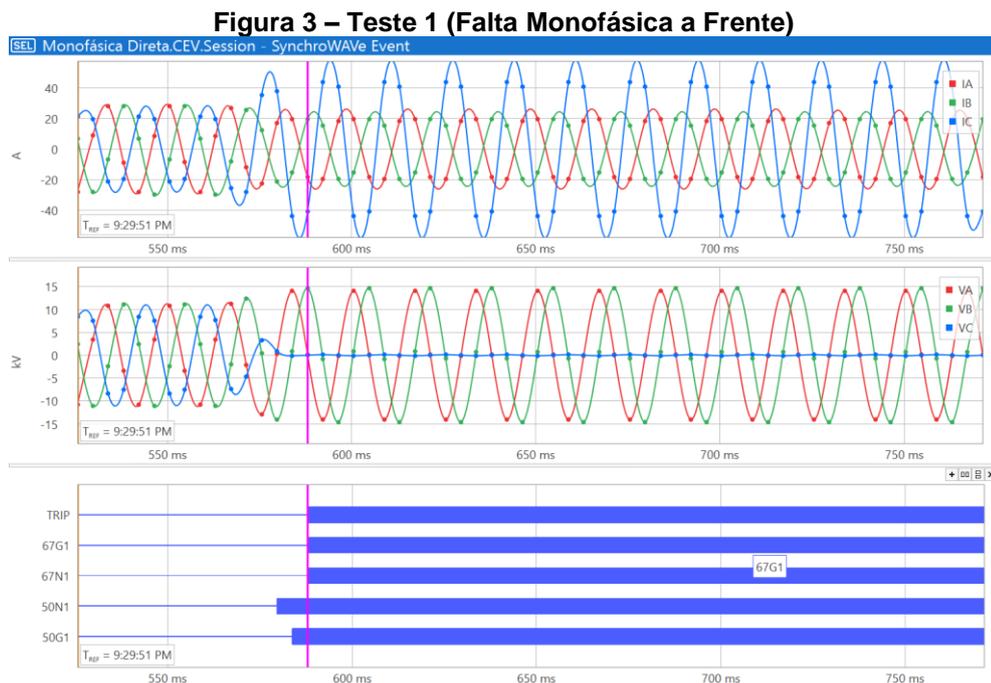
Neste estudo foi observado somente a função de proteção de sobrecorrente direcional (67) de fase e neutro.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do sistema integrado em malha fechada apresentado na Figura 1, realizou preliminarmente dois testes: uma falta monofásica direta e uma reversa, utilizando uma GD de 500 kW. Considerou-se faltas a frente (Forward) o sentido GD-Distribuição, identificada no relé como Level 1 e falta atrás (Reversa) o sentido Distribuição-GD denominada no relé como Level 2. TRIP significa o envio do sinal de do relé para abertura do disjuntor.

Teste 1 – Falta Monofásica a Frente

Seguindo o sistema integrado em malha fechado antes apresentado, utilizou-se do bloco de falta montado, para aplicar uma falta monofásica antes a frente do TC/TP de medição da proteção, ou seja, na rede de distribuição, caracterizando uma falta a frente. A Figura 3 ilustra a oscilografia obtida do relé após execução do referido caso.



Fonte: Produção Própria – Retirado do software SynchroWAVE (2023)

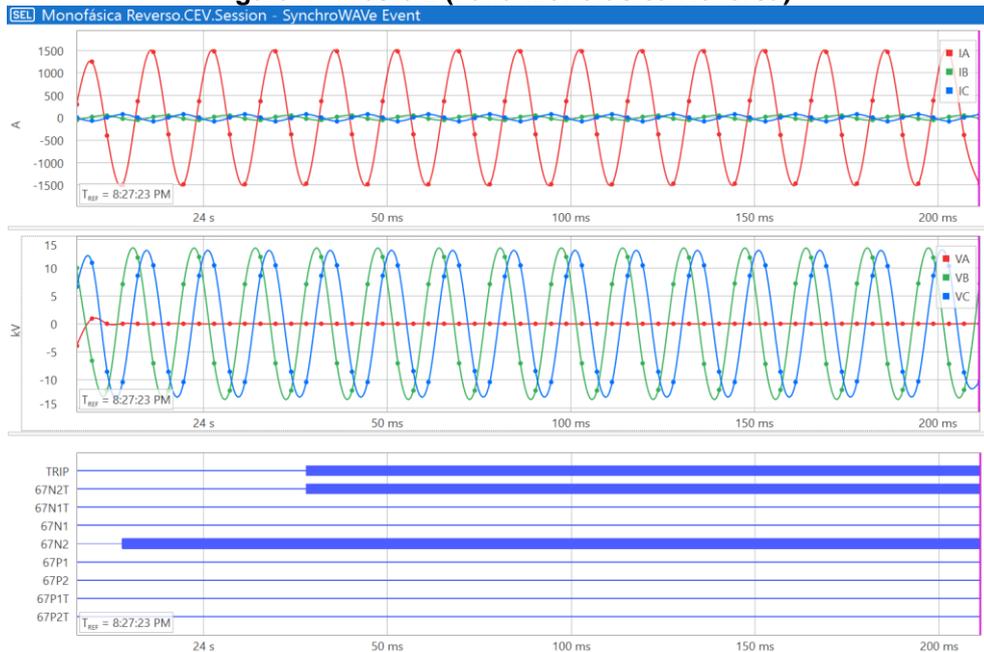
Analisando-se a Figura 3, pode-se observar que o TRIP foi ativado pelas funções 67G1 e 67N1 instantaneamente. Neste caso a atuação foi instantânea a frente como esperado.



Teste 2 – Falta Monofásica Reversa

No teste 2 foi realizado uma falta monofásica antes do TC/TP utilizados pela proteção, ou seja, do lado da GD caracterizando uma falta reversa (Concessionária-GD).

Figura 4 – Teste 2 (Falta Monofásica Reversa)



Fonte: Produção Própria – Retirado do software SynchroWAVE (2023)

Na Figura 4, pode-se observar que houve a superação do ajuste da proteção de sobrecorrente de neutro direcional (67N2) para uma falta reversa (Level 2) e o sinal de TRIP foi ocasionado pela função de sobrecorrente de neutro direcional instantânea com atraso (tempo definido) reversa (67N2T) transcorridos 62.525ms. Neste caso houve o reconhecimento da direcionalidade e tipo de falta adequadamente pelo relé.

CONCLUSÃO

O trabalho apresentou uma proposta para teste integrado para relés de proteção, usando softwares de simulação e hardware de teste. As simulações permitem realizar teste mais detalhados ou casos especiais para verificar o desempenho das funções de proteção. Esse tipo de teste se torna cada vez mais requerido tendo em vista as mudanças nos sistemas de distribuição ligadas a inserção de GDs, bem como, o avanço tecnológico das dos relés e suas funções de proteção que utilizam por exemplo, análises no domínio do tempo (grandezas incrementais e ondas viajantes).

Neste trabalho realizou dois testes envolvendo a proteção de sobrecorrente direcional aplicada a um sistema de distribuição com a presença de geração distribuída visto a contribuição da GD em situações de curto-circuito. Observou-se nos dois casos que houve a atuação correta da proteção, porém são necessários mais estudos, simulações e



análises para verificar a influência da GD no desempenho dos relés de proteção e do sistema elétrico de distribuição com um todo.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo fornecimento de dados e materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse

REFERÊNCIAS

CONPROVE. PS-SIMUL: **Software para modelagem do sistema de potência e simulação de transitórios eletromagnéticos**. Disponível em: <https://conprove.com/produto/08-ps-simul-software-para-modelagem-do-sistema-de-potencia-e-simulacao-de-transitorios-SEL>.

CONPROVE. **CE-6710: testador universal para proteção, automação, controle e medição com suporte total à norma IEC 61850**. Disponível em: <https://conprove.com/produto/04-ce-6710-testador-universal-para-protecao-automacao-controle-e-medicao-com-suporte-total-a-norma-iec-61850/>. Acesso em: 17 set. 2023.

EventoCloud. (s.d.). **SEL-351S Protection System Data Sheet**. Recuperado em 17 de setembro de 2023, de https://na.eventscloud.com/file_uploads/8d035ede9c2f9511fc3cb88ed79ea745_SEL351S.pdf

SEL.**SEL-5030 AcSELerator QuickSet Software**. Disponível em: <https://selinc.com/pt/products/5030/>. Acesso em: 17 set. 2023

SILVA, M. **Proteção de Sistema de Distribuição, Notas de aula, Curso de Especialização em Sistemas Elétricos de Potência**. UTFPR, campus Cornélio Procopio, 2021.

PETEAN, Daniel .Metodologia para avaliação da influência de geradores distribuídos nos níveis de curto circuito em sistemas de distribuição de energia. USP, São Carlos, 2014.

MENDES, R. A. et al. **Testes em malha fechada: comparação entre tempo real e método iterativo**. In: **XXV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**, 2017, Curitiba. Anais eletrônicos... Curitiba: ONS, 2017. Disponível em: https://conprove.com/wp-content/uploads/2020/05/2017_SNPTEE_TESTES_EM_MALHA_FECHADA_COMPARACAO_TEMPO_REAL_E_METODO_ITERATIVO_ARTIGO.pdf. Acesso em: 17 set. 2023.