



Simulação e teste integrado da função de proteção de sobrecorrente em sistemas de distribuição com e sem geração distribuída

Integrated simulation and testing of overcurrent protection function in distribution systems with and without distributed generation

Ana Luiza Fernandes Lucio¹, Gabriel Rodrigues Modolo², Murilo da Silva³

RESUMO

Este presente estudo consiste em analisar as funções de sobrecorrente 50/51 de fase e sequência negativa aplicado na proteção de um sistema de distribuição real considerando ou não a presença de geração distribuída. O principal objetivo é investigar o desempenho destas funções para uma falta bifásica na linha de distribuição. O estudo foi realizado por meio da integração em malha fechada do software de simulação de transitórios eletromagnético, PSSimul, e hardwares caixa de teste e relé de proteção comercial. Os resultados são obtidos analisando-se as oscilografias geradas pelo próprio relé de proteção. O estudo permite uma análise mais detalhado visto que, os sinais analógicos gerados e injetados no relé são referentes a simulação de uma condição de falta bifásica no sistema elétrico modelado. Pretende-se com este sistema verificar o desempenho da proteção e possíveis impactos da geração distribuída.

PALAVRAS-CHAVE: proteção de sobrecorrente; sequência negativa; simulação; malha fechada

ABSTRACT

This present study consists of analyzing the 50/51 overcurrent function of phase, neutral and negative sequence applied to protect a real distribution system considering or not the presence of distributed generation. The main objective is to investigate the performance of these functions for a two-phase fault in the distribution line. The study was carried out through the closed-loop integration of the electromagnetic transient simulation software, PSSimul, and commercial test box and protection relay hardware. The results are obtained by analyzing the oscillography generated by the protection relay itself. The study allows a more detailed analysis since the analog signals generated and injected into the relay refer to the simulation of a two-phase fault condition in the modeled electrical system. The aim of this system is to verify the protection performance and possible impacts of distributed generation.

KEYWORDS: overcurrent protection; negative sequence; simulation; closed loop

INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) compõe as áreas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica para todos os tipos de consumidores. Dentro do Sistema Elétrico de Potência temos a subárea de Proteção, Controle/Automação, Correção e Regulação. O sistema de proteção é responsável por assegurar que não haja danos elétricos e mecânicos nos componentes e equipamentos existentes no sistema elétrico, bem como, assegurar uma operação confiável do sistema como um todo, em caso de condições anormais como um curto-circuito.

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: analucio@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 5069934355665554.

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: gabrielmodolo@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 7448823571701399.

³ Docente na Engenharia Elétrica/Daele/PIVIT. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: murilosilva@utfpr.edu.br. ID Lattes: 2992895439496724.



O sistema de transmissão é remunerado pela disponibilidade dos ativos, portanto, caso algum equipamento saia de operação devido a um defeito ou má operação do sistema haverá perdas financeiras em função da parcela variável. Já no sistema de distribuição as concessionárias são penalizadas financeiramente caso haja transgressão dos limites de continuidade do fornecimento de energia elétrica ao consumidor.

A proteção do SEP deve atuar de maneira coordenada, seletiva, rápida e confiável. A seletividade está ligada ao desligamento da menor parte do sistema possível a fim de minimizar a interrupção do fornecimento de energia elétrica aos consumidores e equipamentos atingidos, conseqüentemente haverá a atenuação do impacto financeiro.

Nos últimos anos a penetração da geração distribuída (GD) no sistema de distribuição vem crescendo a passos largos visto os benefícios e diminuição dos custos de investimento. O crescimento da GD tem causado mudanças na operação do SEP, como por exemplo, surgimento de fluxo de carga bidirecional e sobretensões. Tais mudanças também requerem cuidados, alterações e maiores estudos com relação aos sistemas de proteção.

Dado as mudanças no SEP, este trabalho apresenta o estudo preliminar, do emprego das funções de proteção de sobrecorrente de fase e sequência negativa (50/51P e 50/51Q) em um sistema de distribuição de energia elétrica considerando ou não a presença de geração distribuída. Para realização do trabalho utilizou-se de um sistema em malha fechada, composto por caixa de teste, relé digital e software de simulação de transitório elétricos.

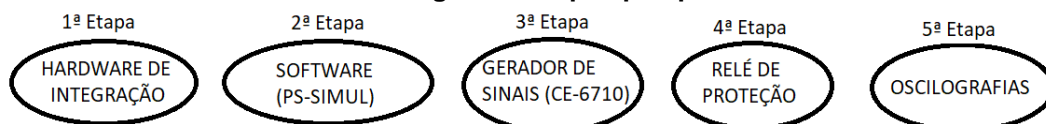
MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais usados no presente trabalho foram:

- Relé 351S da SEL (SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, 2009)
- Caixa teste Conprove CE- 7012 (CONPROVE,2020)
- Cabos e conectores
- Simulador PS-SIMUL (CONPROVE, 2020)
- Software SEL-5030. (SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, 2014)

Para realizar a análise da função 50/51 de fase e sequência negativa foram realizadas as etapas conforme fluxograma apresentado na Figura 1:

Figura 1: Etapas pesquisa.



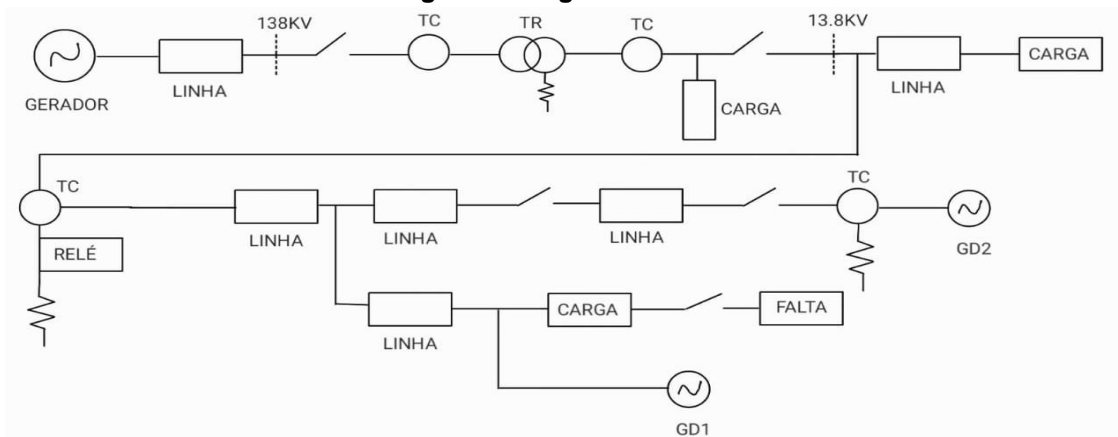
Fonte: Autoria Própria.

A primeira etapa consiste em utilizar um hardware de integração, neste caso um computador, no qual será executado os softwares de simulação de SEPs e gerenciamento do relé e da caixa de testes.

A segunda etapa consiste em modelar o sistema elétrico de distribuição por meio do software PS-Simul. O software PS-Simul foi escolhido por ser bastante completo e permitir a integração direta com caixa de teste CE-7012 de forma a trabalhar em malha fechada e em tempo real (VIANA, 2019). O sistema de distribuição foi modelado a partir de dados reais de um sistema de 13,8 KV, conforme (SILVA, 2021). A Figura 2 demonstra o diagrama unifilar do sistema modelado.

Na modelagem da geração distribuída utilizou-se o modelo de fonte de tensão conforme proposto em (PETEAN, 2014) tendo em vista a simulação de curtos-circuitos. Foram inseridas na simulação duas GDs com potência unitária de 500kW.

Figura 2: Diagrama unifilar.



Fonte: Autoria própria

Uma vez validado o modelo do sistema simulado, na terceira etapa foi realizado a integração software de simulação e caixa de testes CE-7012 que permite testar, calibrar e aferir os mais diversos tipos de equipamentos como relés eletromecânicos, estáticos ou microprocessados, sendo muito usada em testes de comissionamento em campo e fábrica. O equipamento permite gerar e injetar sinais elétricos (tensões e correntes) nos bornes de corrente e tensão dos relés.

A quarta etapa a consiste em integrar o relé de proteção a ser ensaiado conforme metodologia proposta. Neste trabalho foi utilizado o relé 351-S da Schweitzer Engineering Laboratories (SEL). O sistema de proteção SEL-351S oferece um pacote excepcional de recursos de proteção, monitoramento, controle e localização de falhas, permitindo o monitoramento de faltas de fase, neutro e sequência negativa. Nesta etapa o relé foi parametrizado de acordo com estudos de coordenação e seletividade prévios para a função de proteção 50/51 de fase, neutro e GS, conforme (SILVA, 2020). A função de sobrecorrente de sequência negativa foi ajustada com base na referência (ELNEWEIHI, 1997).

A quinta etapa é a análise das oscilografias geradas pelos relés após execução dos testes. As oscilografias são obtidas e analisadas utilizando o software SEL 5030. Por meio das oscilografias é possível analisar os sinais de tensão e corrente e sinais binários ligados



a atuação ou não das funções de proteção. A análise gráfica permite analisar o desempenho (ativação, tempo, trip, etc) das funções de proteção em análise.

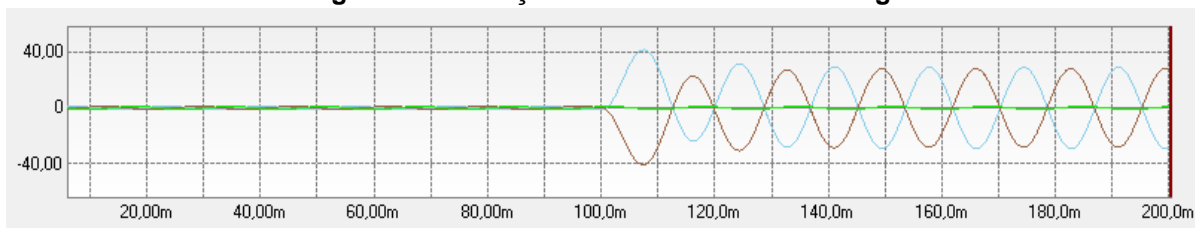
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após integração dos softwares e hardwares em malha fechada conforme proposto neste trabalho, executou-se faltas bifásicas no sistema elétrico modelado, considerando a presença ou não de geração distribuída. A falta bifásica foi escolhida tendo em vista a análise e comparação das funções de proteção de sobrecorrente de fase e sequência negativa, objetos de estudo neste trabalho.

No que segue são apresentados os resultados das simulações e oscilografias de três casos a saber.

O primeiro caso foi aplicado no sistema de distribuição uma falta bifásica sem inserção de GDs. A Figura 3 ilustra as correntes de linha pré e pós-falta simuladas.

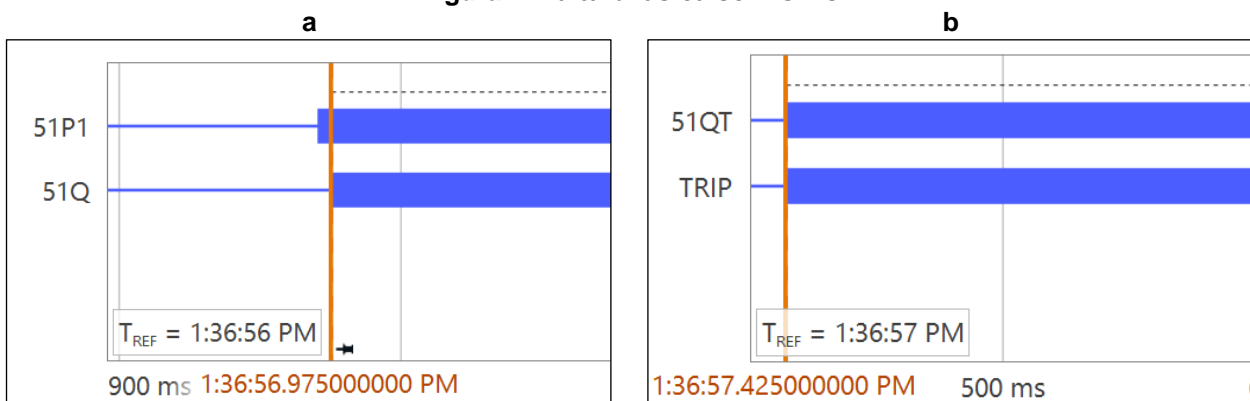
Figura 3: Simulação no PSimul bifásico sem gerador



Fonte: Autoria própria

Neste caso o relé tem a ativação primeiramente da função de fase (51P) e após um curto tempo ativa a função de sequência negativa, conforme ilustra a Figura 4a. Após 450ms da ativação das funções, o relé envia o sinal de TRIP (abertura) ao disjuntor em detrimento a função de sequência negativa de trip (51QT), conforme Figura 4b.

Figura 4: Falta bifásica sem GD's



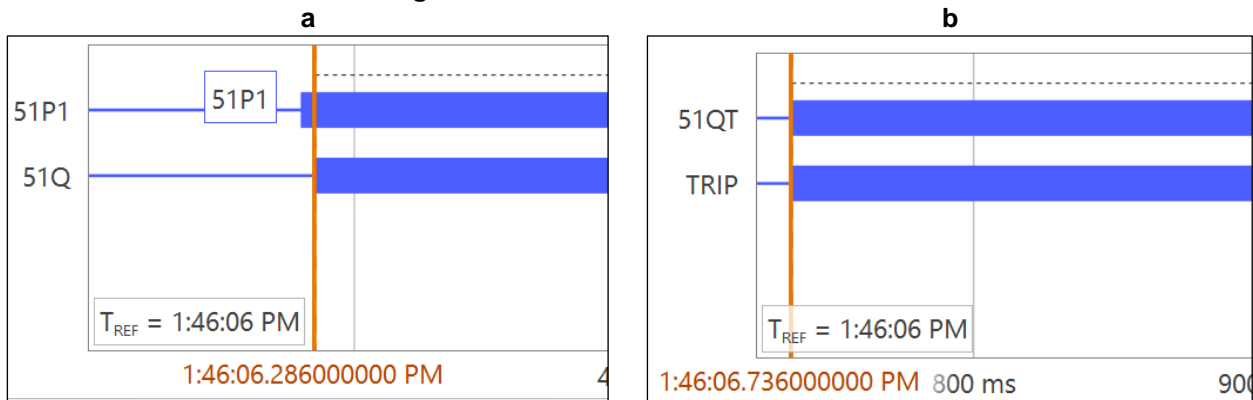
Fonte: Autoria própria

No segundo caso considerou-se a inserção do GD1 e aplicação de uma falta bifásica no mesmo ponto do sistema.



Nesta situação o relé também ativa a função de fase primeiramente e após poucos milissegundos, ativa a função de sequência negativa (51Q), conforme ilustra a Figura 5a. Após 450 ms da função 51Q ser ativada, o relé envia o sinal de TRIP (abertura) ao disjuntor em detrimento a função de sequência negativa (51QT), conforme a Figura 5b.

Figura 5: Falta bifásica com uma GD's

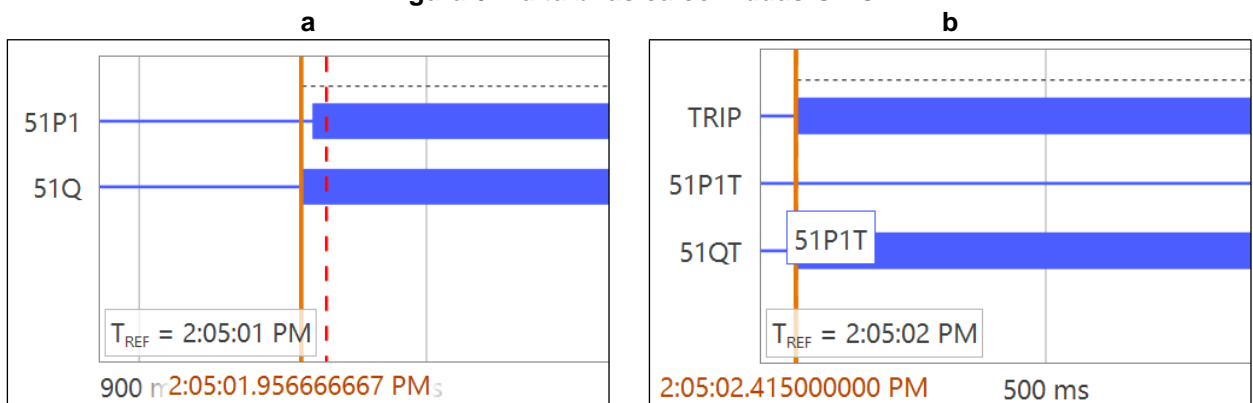


Fonte: Autoria própria

O terceiro é semelhante ao segundo caso porém com adição de mais uma GD.

As Figuras 6a e 6b demonstram respectivamente a ativação das funções de proteção de sobrecorrente de fase e sequência negativa e transcorridos 458 ms o envio o sinal de abertura para o disjuntor (TRIP) gerado pela função de sequência negativa de trip (QT).

Figura 6: Falta bifásica com duas GD's



Fonte: Autoria própria

CONCLUSÃO

Analisando os resultados preliminares apresentados neste trabalho observou-se que, em caso de faltas bifásicas, a atuação da proteção de sobrecorrente de sequência negativa atua em torno de 450ms a 458ms. Percebe-se que a função de sobrecorrente de sequência negativa foi mais rápida que a de fase, característica desejada, pois os equipamentos ficariam um menor tempo submetidos as altas correntes de curto-circuito



bifásico. Destaca-se que neste estudo a coordenação com o equipamento a jusante seria mantida. Todavia, a aplicação da proteção necessita de estudo, coordenação com a função de fase, bem como, análises e teste simulados para verificar possíveis falhas. Com base nos casos apresentados não é possível afirmar se as GDs influenciaram na atuação das proteções, carecendo, portanto, de mais testes e análises.

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Cornélio Procópio, pela oportunidade e incentivo para 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**. Conprove, 2020. Disponível em: <https://conprove.com/produto/08-ps-simul-software-paramodelagem-do-sistema-de-potencia-e-simulacao-de-transitorios-SEL>. Acesso em 17 set. 2023.

CONPROVE. CE-6710: **testador universal para proteção, automação, controle e medição com suporte total à norma IEC 61850**. Conprove, 2020. Disponível em: <https://conprove.com/produto/04-ce-6710-testador-universal-paraprotecao-automacao-controle-e-medicao-com-suporte-total-a-norma-iec-61850/>. Acesso em: 17 set. 2023.

Elneweih A. F., Schweitzer E. O., III, and Feltis M. W. **Negative-Sequence Overcurrent Element Application and Coordination in Distribution Protection**. Vermont, 1997.

Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. SEL-351S **Protection System Data Sheet**. SEL 2009. Recuperado em 17 de setembro de 2023, de https://na.eventscloud.com/file_uploads/8d035ede9c2f9511fc3cb88ed79ea745_SEL351S.pdf

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.

SEL.SEL-5030 **AcSELeator QuickSet Software**. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc, 2014. Disponível em: <https://selinc.com/pt/products/5030/>. Acesso em: 17 set. 2023

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

VIANA, M. **Modelagem e simulação do sistema de proteção de um alimentador de distribuição de média tensão utilizando Ps Simul**, 2019, Conprove.