



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E COMPUTAÇÃO
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS E ENERGIA**



**RESUMO - INICIAÇÃO CIENTÍFICA / PIBIC-CNPq
AGOSTO DE 2019 A SETEMBRO DE 2020**

**TÍTULO: ANÁLISE DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DE LINHA DE TRANSMISSÃO
ACOPLADA A UMA LINHA COLETORA**

Aluna Cecília Rocha Thome de Figueiredo / RA 214518

Orientadora Prof.^a Dr.^a Maria Cristina Dias Tavares

Co-Orientador: Dr. Joan Sebastian Chaves Huertas

Palavras-chave: Proteção de sistemas de potência, relés, Transmissão de energia, Alta tensão

1. Introdução

O Programa de Eletrificação Rural - Luz Para Todos é um conjunto de medidas públicas no Brasil que instituiu Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica. Porém, ainda existem comunidades remotas brasileiras que não possuem acesso a energia. Como os sistemas elétricos de potência do Brasil são compostos em grande parte por linhas de transmissão (LT) de alta e extra alta tensão com longas extensões, existe uma solução alternativa para produção de pequenos blocos de energia suficientes para abastecimento de pequenas comunidades rurais. Essa forma consiste em introduzir um condutor isolado (denominado de flutuante) próximo aos cabos de fase da linha, para que uma tensão induzida apareça derivada do acoplamento capacitivo entre a LT e o condutor flutuante. Esse fenômeno permite a construção de um sistema não-convencional para extração de energia elétrica a partir de linhas coletoras posicionadas na faixa de servidão das linhas de extra alta tensão (linha hospedeira). O montante de energia é adequado para alimentar pequenas comunidades rurais localizadas perto de linhas de transmissão de alta tensão [1], com distâncias da ordem de dezenas de quilômetros do eixo das LTs.

Contudo, o uso de uma linha coletora que atende comunidades isoladas não deve alterar o desempenho dos sistemas de proteção convencionais da linha de transmissão hospedeira. Por isso se faz necessário uma avaliação detalhada para que entendamos a influência do acoplamento de linha coletora com a linha hospedeira com foco no sistema de proteção. Esta é a demanda para a realização deste trabalho. O principal objetivo é estudar o comportamento das proteções e simular a operação dos relés durante diversas falhas ou perturbações comuns, com e sem a instalação do sistema coletor. A intenção do projeto foi compreender o funcionamento do sistema de proteção, simular e averiguar se a inserção da linha coletora não altera o desempenho de proteção da linha de transmissão.



2. Etapas e Objetivo

O trabalho foi aplicado a um sistema elétrico real reduzido, modelando-se os equipamentos de potência e os equipamentos de medição. O sistema elétrico foi simulado, sendo submetido a diversas situações análogas às que ocorrem na prática pela simulação de curtos-circuitos em diferentes partes da linha.

Na primeira parte da pesquisa foi simulado o sistema de proteção correspondente às funções do relé de sobrecorrente instantâneo e temporizado de fase e de neutro com auxílio de uma caixa de teste [4] e de um relé comercial [5].

Já na segunda etapa, o sistema de proteção correspondente à função direcional de sequência negativa polarizada por tensão foi simulado unicamente usando o programa de simulação offline PSCAD.

Desta forma, na pesquisa foi avaliada a resposta dos relés que compõem a proteção da linha de transmissão convencional ao ser introduzida uma linha coletora para fornecer energia a regiões rurais por acoplamento capacitivo.

3. Resultados sobre a função de sobrecorrente

A proteção analisada foi a de sobrecorrente que foi coordenada para um sistema base que depois teve adicionado a linha coletora (LC). Finalmente foi verificado se a LC causou alguma perturbação na proteção da linha de transmissão hospedeira original.

Relés são dispositivos que monitoram o sistema e comparam os sinais elétricos com os parâmetros pré definidos em seu ajuste [3]. Como o próprio nome indica, relés de sobrecorrente são todos aqueles que devem atuar (disparar) para uma corrente maior que a ajustada. O relé atua ao ocorrer uma anomalia no sistema elétrico, de modo que o parâmetro sensível do relé ultrapasse o seu ajuste. No caso do relé de sobrecorrente, quando a corrente monitorada ultrapassa a corrente de ajuste do sensor do relé, o mesmo atua instantaneamente ou temporizado (com um atraso ou retardo), conforme a necessidade [2].

Para o circuito elétrico radial modelado da figura seguinte, foram simuladas diversas faltas em diferentes pontos no circuito. São elas: AG - curto circuito entre fase A e a terra, BCG - curto circuito entre as fases B e C e a terra e ABCG - curto circuito entre as fases A, B e C e a terra. O sistema de proteção modelado consistiu na coordenação das funções 51P - sobrecorrente temporizado de fase; 50P - sobrecorrente instantânea de fase; 51N - sobrecorrente temporizado de neutro e 50N - sobrecorrente instantânea de neutro.

Os mesmos testes de falhas e perturbações foram repetidos após a adição da linha coletora na faixa de servidão da linha de transmissão TLine 21, de comprimento de 10 km localizada entre as barras B e C. A linha hospedeira de 230 kV tem um comprimento de 95 km.

Na Tabela 1 apresentam-se os tempos de acionamento para o circuito sem e com a linha coletora (L3-circuito sem a linha coletora e L4-circuito com a linha coletora). O exemplo consiste na falta BCG no ponto 05. A terceira linha da tabela é a diferença entre os tempos de atuação dos relés. Foi observada diferenças de tempo majoritariamente nulas, exceto para um caso, cuja diferença é desprezível comparada com a grandeza de tempo de atuação dos relés. O mesmo resultado foi



observado para os demais tipos de defeito. Os resultados obtidos são coerentes com o esperado, porque a linha coletora encontra-se isolada da linha hospedeira.

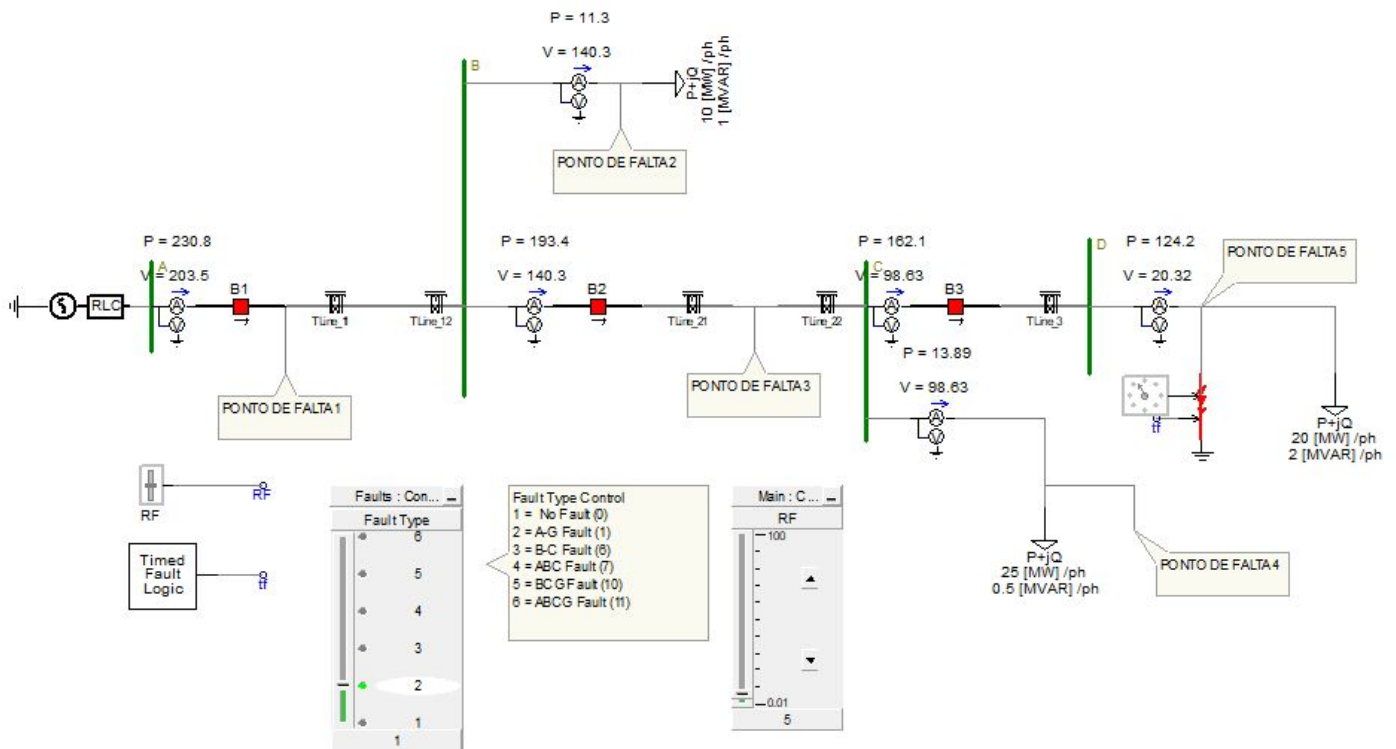


Figura 1: Circuito com coordenação de relés configurados com a função de sobrecorrente para a configuração das linhas de transmissão proposta pelo artigo [1] sem a linha coletora.

função	51P	Resistência de falta 1 [Ω]			Resistência de falta 5 [Ω]			Resistência de falta 10 [Ω]			Resistência de falta 100 [Ω]		
		t-R1 [s]	t-R2 [s]	t-R3 [s]	t-R1 [s]	t-R2 [s]	t-R3 [s]	t-R1 [s]	t-R2 [s]	t-R3 [s]	t-R1 [s]	t-R2 [s]	t-R3 [s]
Tempo de ativação do relé													
Ponto de falta 5	L3	0,5028	0,4095	0,3081	0,5082	0,4122	0,3087	0,516	0,4164	0,3096	0,8307	0,5781	0,3387
Falta BCG	L4	0,5028	0,4095	0,3091	0,5082	0,4122	0,3087	0,516	0,4164	0,3096	0,8307	0,5781	0,3387
	L3-L4	0,0000	0,0000	-0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 1: Comparação do tempo de ativação entre L3 e L4 da função 51P para uma falta bifásica BCG e resistências de falta de 1, 5, 10 e 100 ohms para três relés diferentes R1, R2 e R3.

4. Resultados para a função direcional

A proteção do sistema em anel é possível se o relé de sobrecorrente receber ajuda do relé direcional [2]. Nesta parte do projeto foi estudado, dimensionado, simulado e analisado o relé de proteção configurado com a função direcional de sequência negativa polarizada por tensão (32Q). [6]

O relé direcional de sequência negativa polarizada por tensão, como o nome sugere, depende das componentes de sequência negativa da tensão e da corrente para a ativação do relé em caso de falha. A compreensão desses parâmetros e a obtenção deles do circuito elétrico em anel modelado é feita a partir da utilização de um bloco no PSCAD chamado *On-line frequency scanner* que é uma Transformada Rápida de Fourier que determina a magnitude harmônica e a fase do sinal de entrada



em função do tempo. A função direcional de sequência negativa funciona a partir do princípio que para uma falta à frente (*forward*) a impedância de sequência negativa seria negativa e para uma falta atrás (*reverse*) seria positiva.

No circuito da Figura 2, o comprimento total entre as barras correspondente à soma dos comprimentos das linhas de transmissão que foi mantido constante, mas a localização dos pontos de faltas foi variada de 10 em 10 km, totalizando cerca de 17 locais de falhas ao longo do circuito projetado na parte radial (*forward*) mais 18 pontos de falta nos ramos do anel (*reverse*), 10 para o ramo de cima e 8 para o ramo de baixo. O circuito foi referenciado dessa forma para que a função fosse parametrizada a fim de distinguir uma falta que ocorre dentro ou fora da parte em anel do circuito. Por isso, a referência é a própria barra C (0 km).

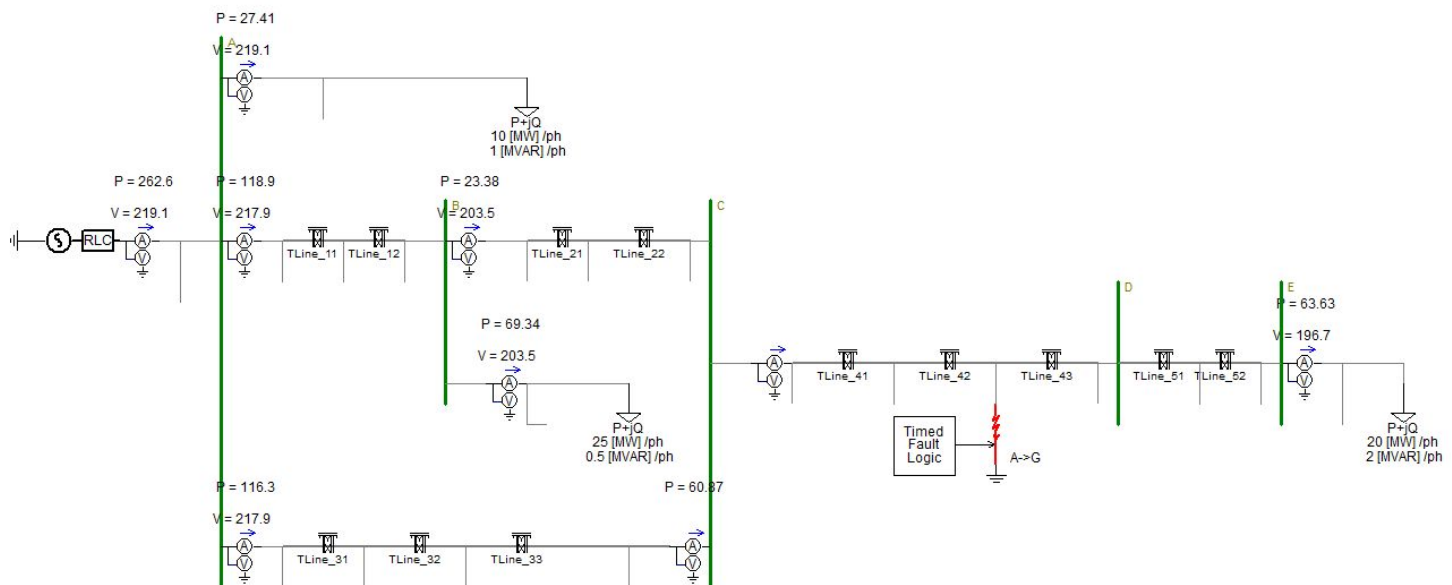


Figura 2: Circuito em anel configurado a partir das linhas de transmissão proposta pelo artigo [1] a fim de parametrizar o relé direcional. Sem a linha coletora.

As faltas aplicadas foram tanto monofásicas quanto bifásicas. Como a função 32Q é uma proteção trifásica, uma falta que perturba as três fases igualmente não é reconhecida pelo dispositivo de proteção, pois para a função não haveria nenhum desbalanceamento nos parâmetros de comparação.

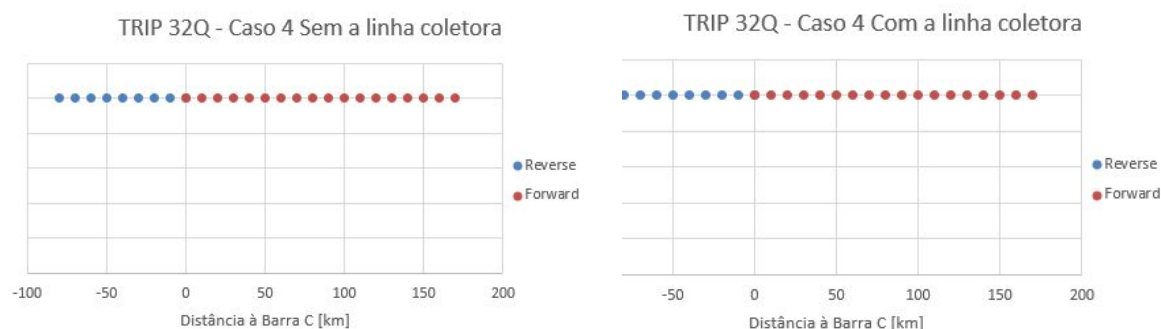
Desta forma, foram separados quatro casos de estudo combinando os dois tipos de falta: monofásica entre a fase A e o terra G e falta bifásica entre as fases B e C e o terra G com o caminho para trás a ser tomado de acordo com ramo de cima (100 km) ou de baixo (80 km). Todos os casos possuem resistência de falta de 0,01 ohm.

Posteriormente, todas as faltas foram simuladas novamente para o mesmo circuito da Figura 2, mas com uma linha coletora inserida na faixa de servidão da linha de transmissão TLine_42 de 10 km de comprimento, localizada entre as barras C e D. Não houve diferença de tempo de ativação dos relés configurados para a função 32Q após a inserção da linha coletora.

O gráfico a seguir contém a informação de *Trip* da função 32Q (*reverse* em azul e *forward* em vermelho) de acordo com a distância à referência no barramento C para visualização da coordenação do sistema de proteção projetado. Assim, fica evidente que a coordenação dos relés não foi



prejudicada. Já que para os valores menores que 0 km, a função ativa o valor reverse e para os valores maiores que 0 km a função ativa o valor forward.



Gráficos 1 e 2: Ambos os gráficos correspondem ao *Trip* da função direcional para o circuito em anel para o Caso 4 da falta BCG. A distância reverse de acordo com o ramo de baixo (80 km).

5. Conclusões

Quatro sistemas elétricos principais foram simulados: o sistema elétrico radial e o sistema elétrico em anel, sem e com a linha coletora de 10 km. Foi verificado que não houve alteração no desempenho da proteção da linha de transmissão hospedeira, como esperado. A diferença desprezível no tempo de acionamento dos relés entre os circuitos com e sem a linha coletora é basicamente numérica e está relacionada o passo de integração utilizado no modelo matemático.

Ao longo de um pouco mais de um ano de pesquisa, este projeto desenvolveu a tese que a inserção de uma linha coletora na faixa de servidão de uma linha de transmissão não altera a proteção do sistema elétrico para os casos das funções de sobrecorrente de fase e neutro, e do direcional de sequência negativa polarizada por tensão.

Deve ser destacado que ao longo da pesquisa foi possível adquirir conhecimento técnico sobre diferentes ambientes de simulação e sobre proteção de sistema de transmissão.

6. Referências Bibliográficas

- [1] Joan S Chaves H, Maria C. Tavares e Patricia Mestas, “Rural electrification based on capacitive coupling using a collector line”, IAPE '19, Oxford, Reino Unido, 2019.
- [2] Kindermann, Geraldo, “Proteção de sistemas elétricos de potência”, vol 1, 2º edição, Florianópolis, SC: edição do autor, 1949.
- [3] Schweitzer Engineering Laboratories, INC., “SEL-351A, Protection System Instruction Manual”, 20170818.
- [4] DOBLE, “F6150e Power System Simulator”. Disponível em <https://www.doble.com/product/f6150e/>
- [5] SEL, “Relé de Proteção SEL-351A”. Disponível em: <https://selinc.com/pt/products/351A/>
- [6] Juan David Villón Berrocal, “Estudo do elemento direcional de proteção em uma linha de transmissão de um pouco mais de meio comprimento de onda”, Campinas, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, 2017.