

DESEMPENHO DA PROTEÇÃO DE DISTÂNCIA PARA A CIRCULAÇÃO DE GIC NA LINHA DE TRANSMISSÃO

Artur Henrique Rodrigues¹

Arian Rodrigues Fagundes²

Humberto Hasselein³

Mateus Camargo Franco⁴

Eduardo Machado dos Santos⁵

Resumo:

As tempestades solares são causadas pelas erupções solares que ocasionam a descarga de partículas ionizadas em direção ao planeta Terra. Essas cargas são capazes de alterar o campo magnético, e consequentemente induzirem correntes na superfície. Uma das principais características dessas correntes é que elas possuem frequências muito baixas, quase contínuas, e com amplitudes que podem chegar a 100 A, com duração média de alguns segundos. Nesse sentido o presente trabalho tem como objetivo abordar o impacto das Correntes Geomagneticamente Induzidas (GICs) nos equipamentos de proteção das linhas de transmissão, especificadamente o relé MHO. O sistema teste foi desenvolvido no software EMTP-ATP, baseado nos parâmetros da linha de transmissão de 138 kV entre as cidades de Alegrete e Santa Maria, sendo o comprimento de 197 km. A GIC foi simulada diretamente na linha de transmissão através de uma fonte de corrente, a partir disso, variou-se os sinais gerados de tensão e corrente para diferentes carregamentos (-1, -5), magnitudes de GIC (50 A, 100 A, 200 A), frequências (0.1 Hz, 0.5 Hz). A partir disso criou-se um banco de dados no software MatLab para o processamento da lógica do relé MHO. A simulação apresentada nesse trabalho possui amplitude de GIC de 100 A, frequência de 0.1 Hz e defasagem entre as fontes de tensão de -1, que indica um carregamento leve. Ao contrário de algumas metodologias que previam as GICs entrando na linha de transmissão através do aterramento do relé, esse estudo propôs que entre a GIC seja induzida diretamente na linha de transmissão, sendo que em nenhum dos casos ocorreu atuação do relé. Nesse sentido, os resultados se apresentaram satisfatórios, pois a corrente que chega no secundário do transformador de corrente é muito pequena, considerando a relação de transformação do TC.

Palavras-chave: Relé de distância, Sistemas Elétricos de Potência, Correntes geomagneticamente

Induzidas.

Modalidade de Participação: Iniciação Científica

DESEMPENHO DA PROTEÇÃO DE DISTÂNCIA PARA A CIRCULAÇÃO DE GIC NA LINHA DE TRANSMISSÃO

¹ Aluno de graduação. artur.ar.10@gmail.com. Autor principal

² Aluno de pós graduação. a.rodriguesfagundes@gmail.com. Co-autor

³ Aluno de graduação. humbertounipampa@gmail.com. Co-autor

⁴ Aluno de graduação. mateuscfranco1998@gmail.com. Co-autor

⁵ Docente. eduardosantosufsm@gmail.com. Orientador

DESEMPENHO DA PROTEÇÃO DE DISTÂNCIA PARA A CIRCULAÇÃO DE GIC NA LINHA DE TRANSMISSÃO

1 INTRODUÇÃO

As Correntes Geomagneticamente Induzidas (GICs) são correntes com frequências muito baixas, quase contínuas que se desenvolvem na crosta terrestre devido às interações dos eventos magnéticos e solares com a atmosfera e a superfície da terra. As partículas do vento solar interagem com o campo magnético da Terra, produzindo as correntes aurorais circulantes na atmosfera. Essas correntes perturbam os campos geomagnéticos que permeiam a esfera condutora da terra.

O fenômeno das GICs é frequentemente estudado no hemisfério Norte, devido a maior intensidade de campo magnético. No Canadá, as GICs já foram responsáveis por ocorrências de blecautes em Sistemas Elétricos de Potência (SEPs), uma vez que há o engarrafamento das linhas do campo magnético terrestre nas proximidades dos polos. Até pouco tempo, acreditava-se que as GICs fossem fenômenos associados somente a altas altitudes, entretanto, com a influência da Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul (AGAS), as GICs podem ocorrer no Brasil, especialmente na região sul do país.

O campo magnético terrestre possui como principal função proteger a Terra contra os jatos de plasmas carregados provenientes do Sol. Todavia, essa proteção não completa, o campo magnético é mais fraco nas regiões próximas ao Equador e mais forte quanto mais próximo dos polos. A região da AGAS é onde os cinturões de radiação ao redor do planeta estão mais próximos da superfície, havendo o enfraquecimento do campo magnético, facilitando a entrada de partículas ionizadas (HEIRTZLER, 2002).

As GICs não ocorrem apenas em países localizados em altas latitudes, o Brasil é um dos alvos preferenciais dos eventos geomagnéticos, e muitas das falhas sem explicação podem estar sendo ocasionadas por esse fenômeno. No Brasil já foram detectadas algumas falhas em São José (Furnas), Adrianópolis (Furnas), Magé (CERJ), Subestação Frei Caneca (Rio de Janeiro), Ivaiporã (Paraná), Cabreúva (São Paulo). Vale a pena ressaltar que nenhuma causa comum foi encontrada para explicar as falhas encontradas. Nesse sentido, de acordo com Pinto et al. (2008), tais perturbações estão relacionadas com as GICs, pois foram constatadas variações do campo magnético nos períodos das falhas, uma vez que a GIC surge como uma consequência da variação do fluxo, fortalecendo a hipótese de que a GIC tenha provocado tais falhas.

A justificativa do trabalho ocorre devido à suspensão do fornecimento de energia causado por distúrbios na rede, prejudicando os consumidores e as empresas responsáveis pelo atendimento da demanda. Em 11 de Setembro de 1990 entrou em vigor o código de defesa do consumidor, que evidencia a necessidade de continuidade do fornecimento de energia, tornando essencial o aumento da confiabilidade dos SEPs. De acordo com o artigo 22 do referido código “Os órgãos públicos, por si ou suas empresas, concessionárias, pressionárias ou sob qualquer outra forma de empreendimento, são obrigados a fornecer serviços adequados e eficientes, seguros e, quanto aos essenciais, contínuos”.

Nesse sentido, exige-se que os sistemas elétricos sejam mais confiáveis e estáveis. As empresas de fornecimento de energia devem aprimorar seus serviços e isso requer que o sistema de proteção seja capaz de reduzir o índice de ocorrências de falhas provocadas pelas GICs. Embora o Brasil se encontre dentro da região do AGAS, o que facilita a ocorrência de GICs, não há muitas pesquisas referentes ao efeito desse fenômeno sobre os equipamentos do sistema elétrico brasileiro, principalmente referente aos relés de proteção.

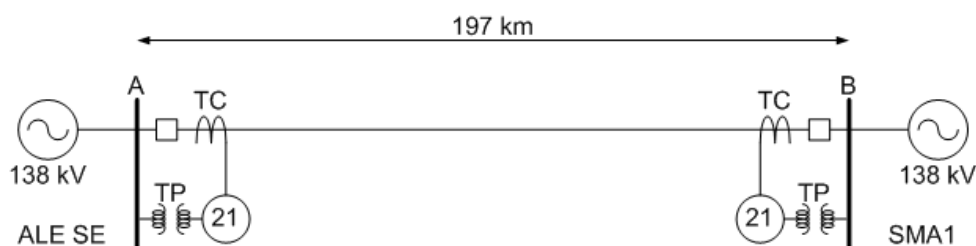
Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo geral analisar o desempenho dos dispositivos destinados à proteção dos sistemas elétricos de potência operando sob os efeitos

das GICs, através Da simulação de um sistema teste, a partir da qual obteve-se as formas de onda de corrente e tensão para formar um banco de dados.

2 METODOLOGIA

Para a realização do estudo da influência das GICs nos Sistemas Elétricos de Potência, foi desenvolvido um sistemas teste. Os parâmetros utilizados foram baseados na linha de transmissão (LT) de 138kV, entre as cidades de Alegrete e Santa Maria tendo comprimento de 197 km. No modelo empregado, a LT é composta por cabos do tipo CAA Lark 397.5, os quais apresentam resistência de 0,1703 Ω /km e reatância de 0,3599 Ω /km. O Modelo da linha de transmissão é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Modelo da linha de Transmissão entre Alegrete e Santa Maria.



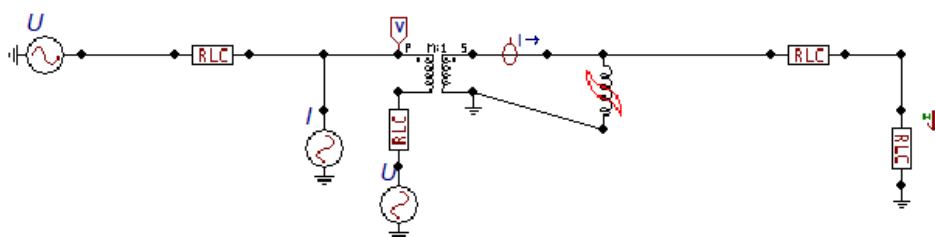
Fonte: Lorenzoni, 2017.

No terminal da barra, foi conectado um transformador de corrente (TC) C400, sendo sua relação de transformação igual a 2000:5. O modelo do TC é composto por um transformador ideal com indutor tipo-96, O qual representa o ramo de magnetização do TC, para o qual foi estipulada uma curva de excitação. É importante ressaltar que o modelo de indutor tipo-96 permite o controle do fluxo remanescente no núcleo do TC.

O modelo teste foi simulado no Software EMTP-ATP. Esse sistema é composto por uma linha de transmissão, bloco RLC e fontes equivalentes em cada terminal. No modelo utilizado, a GIC foi colocada no primário do transformador diretamente na linha de transmissão através de uma fonte de corrente, conforme pode ser observado na Figura 2, que representa a fase A do sistema. Para as demais fases, o sistema é replicado com as devidas defasagens entre as fontes. Além disso, as defasagens entre as fontes (carregamento) foram variadas com o objetivo de estabelecer o sentido e as magnitudes do fluxo de potência.

A partir disso, foram gerados os sinais de tensão e corrente para diferentes carregamentos (-1° , -5°), magnitudes de correntes (50 A, 100 A, 200 A), frequências (0,1 Hz, 0,5 Hz). Em seguida, criou-se um banco em dados no software MatLab®, com o intuito de organizar as informações e armazená-las para o processamento da lógica do relé de distância tipo MHO.

Figura 2 - Implementação do modelo de GIC no primário do TC.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A implementação da lógica do relé foi realizada utilizando janela móvel, a etapa de aquisição de dados corresponde à fase de amostragem do sinal. A cada nova amostra, o primeiro valor da janela de dados anterior (extremidade esquerda) é descartado e os demais são deslocados para a esquerda, assim a amostra atual é alocada na última posição da janela (extremidade direita), permitindo o processamento de todo intervalo do sinal.

O relé do tipo MHO implementado foi ajustado para atuar instantaneamente quando a impedância calculada para o respectivo loop for vista dentro da região circular delimitada pela impedância de ajuste. Na primeira zona (instantânea), esse ajuste equivale a 80% da impedância total da linha. Para que a segunda ou terceira zona atuem, a impedância deve permanecer dentro da zona, por no mínimo 0,3 s para a segunda zona e 0,6 s para a terceira zona. Quando qualquer uma dessas condições for satisfeita, ocorre a *trip* do relé, ou seja, ocorre a abertura do disjuntor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

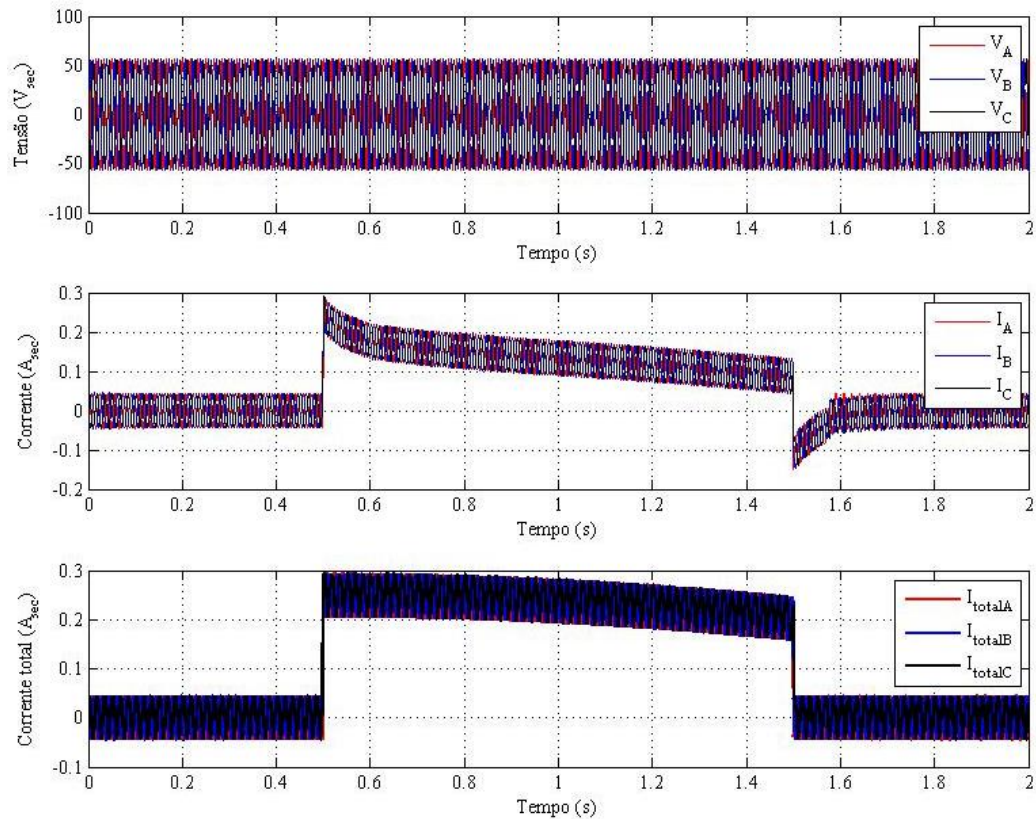
Para analisar a influência das GICs nos relés de distância, variou-se diversos parâmetros, tais como: amplitude da corrente geomagneticamente induzida, frequência, carregamento. Os casos foram feitos com amostragem de 16 amostras por ciclo.

a) Caso 1 – GIC 100 A com frequência 0,1 Hz e carregamento -1°

Os resultados apresentados a seguir são referentes a uma GIC de 100 A com frequência de 0,1 Hz, circulando na linha de transmissão por 1 segundo. Esses valores foram escolhidos devido aos estudos que sugerem que as GICs são induzidas nas linhas de transmissão por um pequeno período de tempo (cerca de alguns segundos), com frequência quase contínua e amplitude que pode chegar a 100 A. Além disso, a defasagem entre as fontes de tensão é de -1° o que indica um carregamento leve da linha.

A Figura 3 (a) mostra os sinais de tensão das três fases do sistema, referidos ao secundário do transformador de potencial (TP). Os sinais são processados pelo filtro de Fourier de ciclo completo, resultando em fasores utilizados no cálculo da impedância vista pelo relé para cada loop de falta. A Figura 3 (b) mostra os sinais de corrente nos terminais do secundário do transformador. Por outro lado, a Figura 3 (c) mostra o sinal de corrente total, ou seja, a corrente do sistema somada com a GIC circulando na linha de transmissão, referida ao secundário do TC.

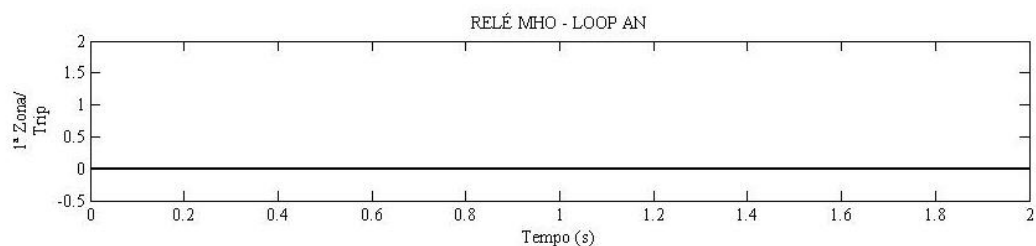
Figura 3 - Sinais de tensão e corrente para GIC de 100 A com frequência de 0.1 Hz. (a) Sinal de tensão das três fases primário. (b) Sinais de corrente nos terminais do secundário do transformador. (c) Sinais de corrente total.



Fonte: Elaborado pelo autor.

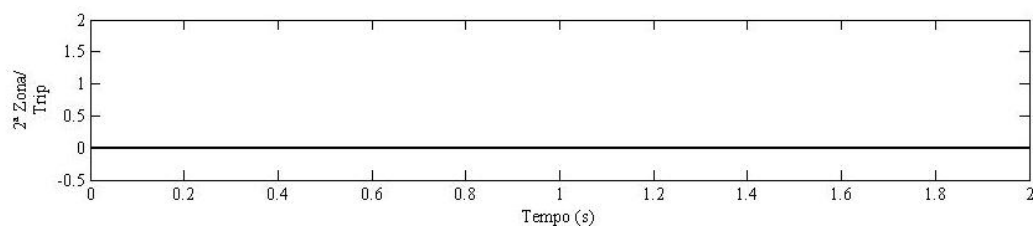
Observando as Figuras 3 (b) e (c), percebe-se que as formas de onda de corrente são deslocadas por um *offset* equivalente à GIC. Além disso, pode-se notar que as formas de onda de corrente disponíveis nos terminais secundários do TC e, conseqüentemente, entregues aos relés são distorcidas em função da saturação do núcleo do TC para frequências quase contínuas. Embora distorcidas, os fasores extraídos dessas formas de onda, ainda que corrompidos, não promovem atuação dos relé MHO digitais, uma vez que o filtro de Fourier para extração fasorial é sintonizado na frequência de 60 Hz, eliminando a componente quase contínua da GIC, não afetando assim a atuação do relé distância, conforme pode ser visto nas Figuras 3, 4 e 5, onde é possível perceber que não ocorreu *trip* para o loop AN (fase A e Terra) em nenhuma das três zonas. O mesmo ocorreu para os loops BN, CN, AB, BC e CA.

Figura 4 - Impedância vista pelo relé MHO no loop AN, primeira zona.



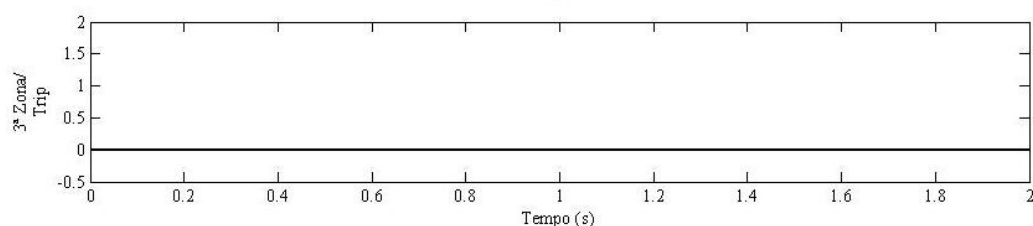
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 - Impedância vista pelo relé MHO no loop AN, segunda zona.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6 - Impedância vista pelo relé MHO no loop AN, terceira zona.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O mesmo procedimento foi realizado variando a amplitude da corrente para 200 A e 300 A, bem como a frequência para 0,5 Hz e o carregamento para -5° e -10° . Em todos os casos não ocorreu atuação do relé em nenhuma das três zonas.

A não atuação de relés Mho digitais para casos envolvendo GIC pode ser explicada pela baixa magnitude da GIC (100 A no primário do TC equivale a 0,25 A no secundário do TC), bem como à saturação do núcleo e o desempenho do filtro de extração fasorial para frequências quase contínuas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho apresenta uma breve abordagem sobre as correntes geomagneticamente induzidas. Um modelo para simulação da circulação de GICs em LTs por meio de uma fonte de corrente. Para todos os casos simulados, foi possível observar que não ocorre atuação dos relés digitais de distância para eventos de GIC circulando na LT. Na sequência do estudo, serão analisados o desempenho de outros tipos de relé frente a situações que envolvam a circulação de GICs nos sistemas elétricos de potência.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Código de defesa do consumidor**. lei n 8.079, de 11 de setembro de 1990. Senado Federal, Gabinete do Senador Coutinho Jorge, 1990.

HEIRTZLER, J. R. **The future of the south atlantic anomaly and implications for radiation damage in space**. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2002.

PINTO, L. M. et al. **Um novo olhar sobre a segurança de sistemas elétricos**. IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2008.