

**APRIMORAMENTO EM MEDIDORES DE CORRENTE
GEOMAGNETICAMENTE INDUZIDAS (GIC) EM LINHAS DE ALTA
TENSÃO.**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Daniel Kabata (UNICAMP, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: dkabata@gmail.com

Ícaro Vitorello (GEOMA/INPE, Orientador)
E-mail: icaro@dge.inpe.br

Julho de 2013

APRIMORAMENTO EM MEDIDORES DE CORRENTE GEOMAGNETICAMENTE INDUZIDAS (GIC) EM LINHAS DE ALTA TENSÃO.

Daniel Kabata (UNICAMP, Bolsista PIBIC/CNPQ, Email :dkabata@gmail.com)
Ícaro Virorello(GEOMA/INPE, Orientador, Email: icaro@dge.inpe.br)

Relatório Final

Resumo:

Este relatório apresenta as conclusões do estudo realizado durante o período de março a julho de 2013. Este estudo consistia em ler e compreender sobre correntes geomagneticamente induzidas (GICs) e medidores de corrente por efeito Hall a partir de artigos especializados sobre o assunto a fim de criar uma base teórica forte sobre estes assuntos que são a motivação do projeto.

Correntes Geomagneticamente Induzida (GICs) :

Constantemente, o Sol emite no espaço grandes quantidades de plasma solar, que é um conjunto de partículas ionizadas como prótons, elétrons ou até mesmo subpartículas como os neutrinos. Em ciclos que duram em média 11 anos, o Sol passa por períodos de diminuição e aumento de suas atividades de modo que quando estas atividades solares tem uma intensidade elevada, o fenômeno pode ser chamado de tempestade solar. Estas tempestades solares podem causar diversos problemas como interferência no funcionamento de satélites de comunicação e de instrumentos de navegação, distúrbios nas ondas de rádio de altas frequências, efeitos de radiação em aeronaves e correntes geomagneticamente induzidas (GICs) em linhas de transmissão, por exemplo. O plasma emitido pela tempestade solar ao entrar em contato com a magnetosfera da Terra faz com que as correntes elétricas na magnetosfera e ionosfera sofram grandes variações, implicando em pequenas alterações na magnitude e direção do campo magnético do planeta. GICs são manifestações na terra desta variação no clima espacial. Sabe-se, pela lei de Ampère, que a variação de um campo magnético próximo a um condutor induz no mesmo um campo elétrico que por sua vez provoca uma corrente no condutor. Do mesmo modo correntes são induzidas na crosta e no manto da Terra ao se variar seu campo magnético. Estas correntes elétricas têm suas intensidades dependentes da frequência das variações geomagnéticas e das distribuições das condutividades da Terra, bem como da latitude do local. Grandes tempestades solares resultam em altas correntes induzidas que ao adentrar uma linha de transmissão através dos neutros de transformadores podem causar grandes danos ao sistema elétrico ao saturar os núcleos dos transformadores.

O maior evento envolvendo GICs que se tem conhecimento ocorreu em março de 1989 e ficou conhecido como 'super tempestade'. Esta tempestade magnética gerou GICs nas linhas de transmissão de vários países tanto da América do Norte quanto da Europa, porém teve como catástrofe mais marcante o colapso da empresa canadense Hydro Quebec power

system. Um pulso eletromagnético cuja duração não foi acima de alguns segundos, derrubou os relés de proteção de todo o sistema de distribuição, gerando assim uma sequência de desligamentos em cascata. Cerca de seis milhões de habitantes da região ficaram sem energia elétrica por nove horas.

Sabe-se que devido ao fato de o campo magnético da Terra guiar as partículas ionizadas incididas na magnetosfera do planeta em direção aos pólos geográficos, a intensidade dos GICs em regiões de baixa latitude tende a ser menor, porém não desprezível já que há relatos em que transformadores em regiões de baixa latitude foram danificados por este fenômeno.

Devido à importância e a gravidade dos danos que grandes tempestades solares podem causar em um sistema de distribuição de energia, o monitoramento desse fenômeno como, por exemplo, a medição dessas correntes induzidas nos neutros dos grandes transformadores torna-se imprescindível, mesmo em baixas latitudes.

Efeito Hall:

Para medir essas correntes nos neutros dos transformadores sem a necessidade de contato direto, como um amperímetro necessita, existem equipamentos que desempenham a mesma função. Estes são chamados de medidores de corrente por efeito Hall. Este projeto tem como finalidade entender melhor o funcionamento desses medidores de modo que se possa aperfeiçoar e minimizar os erros das medidas realizadas, independentemente da posição em que este equipamento seja colocado.

O efeito Hall pode ser entendido da seguinte maneira: Ao se mover uma partícula com uma determinada carga (q) com uma velocidade (v) sob o efeito de um campo magnético (B) em um semicondutor, uma força magnética passa a agir sobre a partícula. A força é enunciada por:

$$F_b = qv \times B \quad (1)$$

Essa força tende a se anular ao ser somada com uma outra força que age sobre a partícula. Esta nova força, F_e , existe devido ao campo elétrico gerado no semicondutor devido a um acúmulo de cargas positivas em um dos lados do material e cargas negativas no lado oposto do mesmo. Tal disposição de cargas no material cria um campo elétrico de mesma direção da força magnética e uma força no sentido oposto. Assim, ao se igualar as duas forças, tem-se:

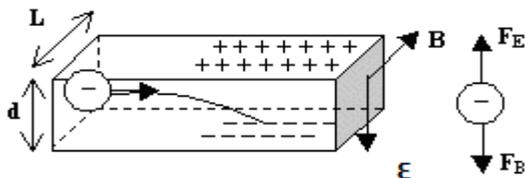


Figura 1 – Esquemático do efeito Hall

$$F_e = q\varepsilon; \quad (2)$$

$$F_b = qv \times B; \quad (3)$$

$$F_e = F_b;$$

$$vB = \varepsilon; \quad (4)$$

A densidade de corrente elétrica é dada por:

$$J = nqV; \quad (5)$$

$$J = \frac{i}{A}; \quad (6)$$

$$V = \frac{i}{nqA}; \quad (7)$$

Então:

$$\varepsilon = vB = \frac{iB}{nqA}; \quad (8)$$

$$A = dL; \quad (9)$$

Sabe-se que a tensão Hall, V_h , é dada por:

$$V_h = \varepsilon L; \quad (10)$$

Assim, concluí-se que:

$$V_h = \frac{iB}{qnd} \quad (11)$$

Dessa forma consegue-se uma relação entre a tensão medida no sensor de efeito hall com a corrente que está passando em um fio condutor sem que necessariamente haja contato entre o sensor e o fio.

De acordo com o cronograma os próximos passos são testar o projeto do medidor de corrente, analisar suas características, como ruídos e tensões de offset, por exemplo, para que posteriormente se possa determinar um modo de aprimorar a confiabilidade das medidas realizadas por ele.

Referências bibliográficas:

Pulkkinen, A., R. Pirjola, D. Boteler, A. Viljanen, and I. Yegorov, Modelling of space weather effects on pipelines, *Journal of Applied Geophysics*, 48, 233, 2001a.

Pirjola, R., and M. Lehtinen, Currents Produced in the Finnish 400 kV Power Transmission Grid and in the Finnish Natural Gas Pipeline by Geomagnetically-Induced Electric Fields, *Ann. Geophys.*, 3, 4, 485, 1985.

TRIVEDI NB, VITORELLO I, KABATA W, DUTRA SLG, PADILHA AL, BOLOGNA MS, P´ADUA MB, SOARES AP, LUZ GS, PIRHOLA R & VILJANEN A. 2007. Geomagnetically induced currents in an electric power transmission system at low latitudes in Brazil: A case study. *Space Weather (Online)*, v. 5, p. S04004.

