

# MAGNETOMETRO FLUXGATE, COM SENSORES NANOCRISTALINOS, PARA REGISTRO DE VARIAÇÕES GEOMAGNÉTICAS

Patrícia F. O. Rosa e Luiz Benyosef - Observatório Nacional, Brazil.

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

## Resumo

O Laboratório de Desenvolvimento de Sensores Magnéticos do Observatório Nacional (LDSM/ON) desenvolve e constrói sensores magnéticos do tipo fluxgate desde o final dos anos 1990. Os sensores são construídos utilizando diferentes geometrias e materiais: amorfos e nanocristalinos.

Um magnetômetro triaxial, utilizando sensores nanocristalinos e de geometria toroidal, foi desenvolvido e está em fase final de testes. Este equipamento foi idealizado para registro de variações geomagnéticas em campos de baixas latitudes para registrar variações até 2.0Hz, com baixo nível de ruído (< 70 pTrms).

## Introdução

Em sua configuração básica [Prindahl] o sensor fluxgate consiste em um único núcleo de material ferromagnético, de alta permeabilidade, envolto por dois sistemas de enrolamento, um para excitação do material e outro para detecção. Alinhando o eixo longitudinal do sensor com uma direção de um campo magnético e excitando o núcleo com um sinal de corrente periódica, o núcleo será magnetizado alternadamente com o aparecimento de um fluxo magnético no seu interior. Nestas condições a permeabilidade  $\mu_r$  do material do núcleo sofrerá alteração acompanhada da variação do fluxo magnético associado e um sinal de tensão proporcional a variação temporal do fluxo e de intensidade será induzido nas “n” espiras da bobina sensora.

A procura por novas opções de materiais que possam servir de núcleos de alta resolução leva em consideração alguns parâmetros [Nielsen] que são considerados determinantes: 1 - Alta magnetização de saturação. 2 - Baixa coercividade. 3 - Alta permeabilidade inicial e 4 - Baixa magnetostricção.

Quanto a estrutura atômica, pode-se construir bons sensores utilizando as tres classes de materiais conhecidas: a – Cristalinos, b - Amorfos e c –

Nanocristalinos. Esta ultima é obtida a partir de materiais amorfos submetidos a tratamentos térmicos adequados e se caracterizam por nanogrão de dominio unico, o que implica em um baixo nível de ruído [Barkhausen] por não terem deslocamento de paredes de dominio. Também possuem alta permeabilidade magnética e magnetoestriction próxima de zero. Nos estudos realizados em materiais nanocristalinos para sensores fluxgate, duas ligas se destacam;  $Fe_{73,5}Si_{13,5}Cu_1Nb_3B_9$  e  $Fe_{73,5}Si_{15,5}Cu_1Nb_3B_7$ .

Neste trabalho fizemos a opção pela primeira composição, acima mencionada. O material, inicialmente em estado amorfo, foi preparado na COPPE/UFRJ, pelo método melt-spinner, onde também foi realizado sua transformação, em forno de indução, para o estado nanocristalino. Um circuito de fluxgate foi elaborado no LDSM/ON e os testes realizados em bancada e no Observatório Magnético de Vassouras.

## Experimento

A figura 1 apresenta o diagrama em blocos do circuito fluxgate, baseado na configuração em malha fechada.

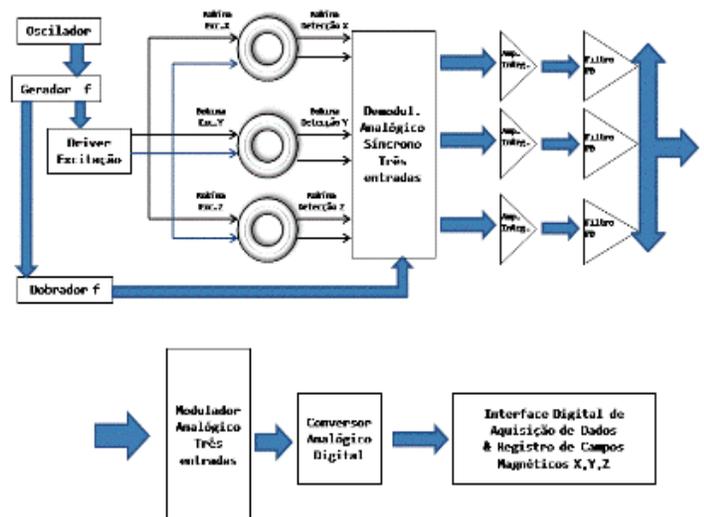


Figura 1 – Diagrama em blocos do circuito fluxgate

O circuito fluxgate utilizado consiste na geração do sinal periódico, sob forma de onda quadrada, com estabilidade em frequência que seja capaz de saturar o núcleo ferromagnético. Um oscilador baseado em cristal de quartzo e um circuito integrado, divisor de frequência, consistem no circuito de excitação. Esta frequência obtida é de 500HZ que é aplicada ao driver de excitação do núcleo.

Esta frequência foi determinada como sendo ótima, baseada nas curvas de histerese do material em experimentos previamente realizados no LDSM. Independentemente, um sinal puro de 1kHz é gerado a partir do divisor de frequências que irá detectar a amplitude do campo magnético, modulada no sinal do sensor.

Nesta etapa do circuito utiliza-se um demodulador analógico síncrono com três canais onde se compara o sinal de excitação com o sinal detectado onde a referência de  $2f$  (1KHZ) retirada do circuito de excitação para ser feita a comparação do sinal. O segundo harmônico é o que mais sofre alteração devido à influência do Campo Magnético Terrestre, portanto utiliza-se a análise da variação do segundo harmônico da detecção do Campo.

Após a comparação de sinais, se faz a integração dos mesmos, sendo este bloco fundamental para o tratamento de sinal a fim de obter uma tensão contínua que tenha uma linearidade com a variação do sinal obtido no secundário. Nesta etapa a diferença entre cada par do sinal obtido na saída do demodulador é integrada pelo circuito amplificador integrador, obtendo a relação de linearidade entre o sinal detectado e variação do campo medido.

Após esta etapa faz-se uma filtragem do sinal para que os ruídos indesejáveis não afetem a medida do Campo. Como a variação do Campo Geomagnético se dá de forma muito lenta, abaixo de 2.0 Hz, o filtro passa-baixa deve ser implementado para valores nessa ordem.

Para esse processo utilizou-se um filtro ativo para cortar frequências acima de 2.0Hz a fim de eliminar ruídos provocados pelas altas frequências do circuito de excitação e do meio externo.

A opção de registrar as variações do campo geomagnético em até 2.0 Hz foi para garantir valores com menor nível de ruídos. Dessa maneira são eliminados ruídos de provocados pelas altas frequências do circuito de excitação e do meio ambiente. Um dos objetivos da interface analógica é manter o ruído o mais baixo possível, abaixo da resolução do conversor A/D, abaixo descrito.

Um conversor Analógico Digital Sigma Delta, com resolução de 22 bits foi implementada para suprir a necessidade de se ter medidas com grandezas da ordem de 20.000nT.

Como Interface Digital para Aquisição de Dados foi utilizada uma Placa Microcontroladora da linha Atmel

para adquirir os sinais da base de tempo e transmitir dados para a unidade de armazenamento.

O equipamento está planejado para leituras de campos magnéticos com intensidade de  $\pm 30.000$  nT. Estão previstas duas escalas: uma com resolução de 10 nT/mv para leituras até 20.000 nT e outra com resolução de 100 nT/mv para leituras acima deste valor.

## Resultados

A figura 2 mostra resultados obtidos por raios-X mostrando a natureza nanocristalina das amostras previamente selecionadas para serem utilizadas nos sensores deste projeto. A liga 4 de composição,  $Fe_{73,5}Si_{13,5}Cu_1Nb_3B_9$

e uma outra comercial no estado amorfo e depois do tratamento que alterou seu estado para nanocristalino. Pelos resultados pode-se ver que as duas tem comportamento nanocristalino bastante parecidos.

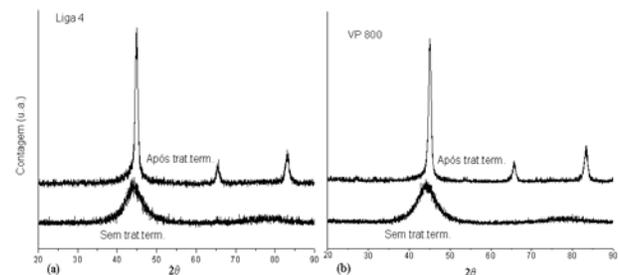


Figura 2 - Difratogramas de raio x realizados (a) na amostra 4 e na comercial (b) antes e depois do tratamento térmico para alterar seus estados de amorfo para nanocristalino.

Depois de certificar da natureza nanocristalina dos materiais, foi construído um sistema triaxial de sensores, montados em geometria toroidal. As bobinas de excitação possuem 160 espiras e as de detecção 400.

A calibração e o alinhamento do equipamento foi avaliado em uma bobina triaxial - quadrada - de Helmholtz. Tais bobinas geram campos ortogonais bastante estáveis e de intensidades: a - Bobina grande: 170nT/mV; b - Bobina média: 180nT/mV e c - Bobina pequena: 200nT/mV. A avaliação de ruídos foi feita utilizando uma blindagem magnética de 5 (cinco) camadas. A linearidade do instrumento pode ser observada na Figura 3.

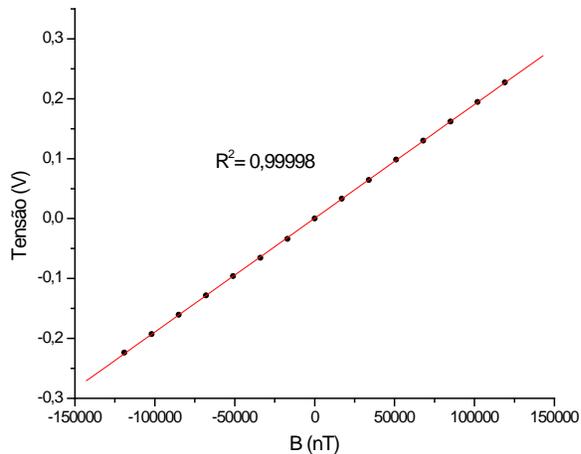


Figura 3 – Teste de linearidade do sensor nanocristalino

### Conclusões:

Os resultados mostram que sensores fluxgate construídos com materiais nanocristalinos são uma excelente opção para desenvolvimento de sensores com alta resolução e baixo nível de ruídos.

### Agradecimentos:

Ao MCT pela bolsa PCI concedida a primeira autora, à FAPERJ pelos auxílios concedidos e aos colegas Geronimo Perez, por ceder parte das amostras e ao Dr André Wiermann e José Roberto Carvalho pelas sugestões na eletrônica.

### Referências:

- [1] Nielsen O. V., Petersen, J. R., Fernandez, A., Hernando, B., Spisak, P., Primdahl, F. and Moser, N., Analysis of a fluxgate magnetometer based on metallic glass sensor, Meas. Sci. Technol. 2, 435-440, 1991.
- [2] Perez, G. e Benyosef, L.. - Desenvolvimento de Sensores Nanocristalinos, II Simpósio Brasileiro de Geofísica, Natal - RN, 2006.
- [3] Buschow, K. H. J. and de Boer, F. R., Physics of Magnetism and Magnetic Materials, Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [4] Lefebvre, W., Morin-Grognet, S., Danoix, F., Role of Niobium in the nanocrystallization of a Fe<sub>73,5</sub>Si<sub>13,5</sub>B<sub>9</sub>Nb<sub>3</sub>Cu alloy., Journal of magnetism and magnetic materials. 301 343–351, 2006
- [5] Perez, Geronimo – Desenvolvimento de Sensores Nanocristalinos para Sensores Fluxgate - Tese de Mestrado – Observatório Nacional, 2007