

# Magnetômetro fluxgate para sondagem geomagnética em pequenos ambientes

Luiz C.C. Benyosef, Mauricio Bochner - OBSERVATÓRIO NACIONAL, Brazil.

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does 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.

## Abstract

A Fluxgate magnetometer using ring-core material was constructed in the LDSM/ON for geomagnetic sounding in small places. The instrument presented in this paper uses a three orthogonal sensors system and it has small dimensions. The magnetometer reads magnetic fields in the ranges: [dc - 1.0 Hz] with resolution 1.0 nT.

## Introdução

Desde 1998 o LDSM/ON - Laboratório de Desenvolvimento de Sensores Magnéticos do Observatório Nacional - tem desenvolvido e construído magnetômetros, do tipo fluxgate, utilizando núcleos de diferentes materiais, geometrias e dimensões. Este trabalho apresenta o projeto de um magnetômetro idealizado para realizar medidas geomagnéticas em locais de área reduzida. Para facilitar os trabalhos de locomoção necessário, tanto a caixa da eletrônica associada quanto o abrigo do elemento sensor foram projetados para ocuparem pequenas dimensões. O cabo interligando a eletrônica e o sensor possui 5.0 metros.

## Teoria fluxgate:

O sensor fluxgate consiste basicamente de um núcleo construído com material ferromagnético de alta permeabilidade e envolto por dois sistemas de enrolamento, um para excitação e o outro para detecção. Do sinal induzido que traz a informação do campo externo. Alinhando o eixo longitudinal do sensor com o campo magnético externo e excitando o núcleo com um sinal de corrente periódico, este será magnetizado alternadamente com o aparecimento de um fluxo magnético ( $F = B.A$ ) no seu interior, sendo B a indução e "A" área da seção transversal do núcleo. Nestas condições a permeabilidade  $\mu_r$  do material do núcleo sofrerá alteração acompanhada da variação do fluxo magnético associado e um sinal de tensão  $V_{sec}$  será induzido nas "n" espiras da bobina sensora.

$$V = n_s A \frac{dB}{dt}$$

A ação fluxgate é baseada na variação temporal da permeabilidade relativa do núcleo e os parâmetros: material e geometria são determinantes na escolha de um sensor fluxgate.

## Definição do Projeto

O circuito desenvolvido no próprio LDSM/ON, com suporte da FAPERJ, objetiva a medição de campos magnéticos ambientais com resolução de 1 nT. O circuito é alimentado com duas baterias de 9 V. Devido ao baixo consumo do circuito (200 mW) o sistema apresenta grande autonomia. A figura 1, apresenta o diagrama em blocos do circuito, que trabalha com o sistema de realimentação para garantir a estabilidade do sistema.

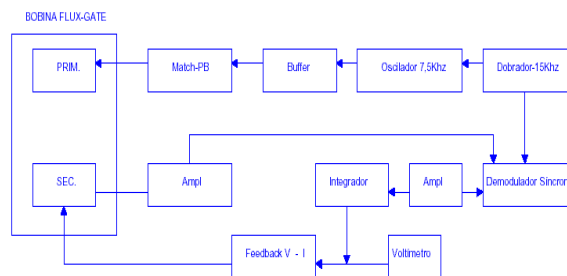


Figura 1 - Diagrama em blocos do circuito

## Oscilador

A excitação do sensor é feita com forma de onda quadrada com grande estabilidade em frequência. Um integrado multivibrador estável fornece este sinal para excitação, centrada em 7,5 KHz. Independentemente é gerado um outro sinal puro, de 15.0 KHz, que vai para o demodulador síncrono, onde será comparado com o segundo harmônico do sinal induzida na bobina sensora. Para minimizar a variação da frequência com a temperatura foi utilizado um capacitor de polipropileno.

## Driver (Buffer)

Para prover a corrente de pico necessária para excitar os núcleos, e levá-lo a saturação, foi utilizado um MOSFETs com baixa impedância de saída. O capacitor na saída bloqueia a componente DC, evitando a geração de 2<sup>a</sup> harmônica na excitação. O sinal é aplicado às bobinas através da rede LC que atenua as componentes de alta frequência e também serve para fazer o casamento da impedância de saída do driver com a impedância do primário, obtendo corrente de pico de 600 mA. O consumo de potência verificado foi ordem de 200 mW rms.

## O amplificar de 2<sup>a</sup> harmônico

O capacitor na entrada desacopla a corrente DC de realimentação. Com ganho da ordem de sete vezes, melhorando a sensibilidade do sensor. A frequência de 15 KHz fica com folga na faixa média do amplificador 741 com malha fechada.

### Demodulador síncrono

O demodulador tem como referência à frequência de 15 KHz gerada pelo oscilador. Este circuito, recebe o sinal do amplificado de 2ª Harmônico e fornece na saída (emissor) amostras do semiciclo positivo e negativo deste sinal, conforme o sentido do campo externo gerador do sinal de 2ª Harmônica. Estes pulsos são integrados pela rede RC tendo-se na saída um sinal DC de baixíssimo ripple, com intensidade proporcional à do campo externo e sinal negativo ou positivo, conforme o sentido do campo.

### Amplificação DC

Em malha aberta este estágio fornece na saída uma tensão DC proporcional ao campo externo a ser medido. Em malha fechada, compensa a perda de sinal pela carga na bobina sensora causada pelos resistores de realimentação. Para ajustar o offset, curtocircuitamos o ponto TP para a terra e ajustamos o trimpot do amplificador para 0 Volts na saída. Retiramos este curto e curtocircuitamos à terra a entrada da bobina sensora, ajustando agora pelo trimpot do demodulador para saída 0 V.

### Integrador

Este estágio, em conjunto com a realimentação negativa aplicada à bobina sensora, fornece corrente suficiente para anular a saída do sensor e conseqüentemente do amplificador DC, formando um "detector de nulo". Considerando que um sistema operando em malha fechada é intrinsecamente mais estável que o mesmo sistema não realimentado. Uma vantagem adicional à estabilidade dos circuitos realimentados é o fato de que a linearidade decresce e o coeficiente de temperatura aumenta com o aumento do campo aplicado ao sensor. Procurou-se evitar também um substancial desvio de fase do sinal gerado no secundário com a amplitude. Em operação sem feedback, o coeficiente de temperatura do sensor é uma função da resistência do secundário. Com realimentação, a influência da resistência do secundário é minimizada pois seu valor é muito pequeno em comparação com o valor da resistência total de realimentação. O cancelamento do campo no interior da bobina não pode ser feito instantaneamente sendo dependente do tempo de integração e do ganho. Quanto maior o tempo de integração mais lenta a resposta. Quanto maior o ganho, mais rápida a integração. O ganho e a constante de tempo são balanceados para uma resposta adequada.

### Sistema sensor

A bobina sensora é sintonizada para realçar o nível do 2ª Harmônico gerado pelo fluxgate, atenuando as outras componentes e ruído. O capacitor ressonante fica instalado junto à bobina sensora.

### O voltímetro

O voltímetro baseia-se no CI Conversor Analógico Digital da família 7106 que incorpora circuitos decodificadores e

acionadores CMOS para o visor de LCD. O princípio de funcionamento do conversor utiliza o método de rampa dupla, tipo integrador. De maneira simplificada, a técnica consiste em carregar um capacitor (CINT) a partir de zero, numa taxa diretamente proporcional à tensão de entrada e por um tempo fixo. Esta é a fase de integração. Então, o controle conecta a voltagem de referência (note na figura, que é negativa) e CINT é descarregado a uma taxa proporcional ao valor de referência. Esta é a fase de integração da referência (ou desintegração). O tempo de descarga de CINT é diretamente proporcional a VIN e o número de pulsos de clock acumulados neste período fornece a saída digital, como mostra a figura 2.

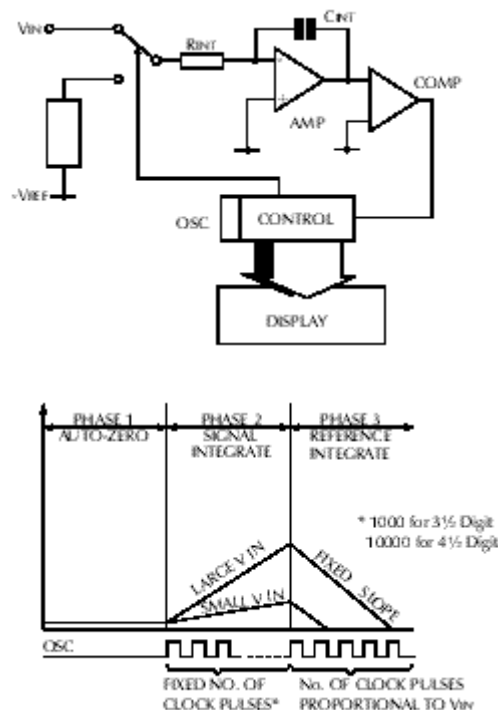


Figura 2 - Conversão A/D

### Disposições gerais.

Dois circuitos integrados reguladores 7805 e 7905 estabilizam em  $\pm 5$  V a tensão de baterias alcalinas de  $\pm 9$  V ou de fonte DC retificada filtrada. Neste protótipo, os primários são excitados em paralelo e o secundário de cada componente (X, Y, Z) é chaveado, compartilhando do mesmo processamento do sinal de 2ª harmônica. Na saída, para medir o sinal de cada eixo, foi utilizado o módulo de Cristal Líquido LCM 300, de 3 1/2 dígitos com Fundo de escala em 200 mV. Este voltímetro está baseado no circuito integrado da família 7106, que incorpora um conversor AD e os acionadores do visor, com indicação de polaridade e consumo típico de corrente de repouso de 800  $\mu$ A.. O visor também é de baixíssimo consumo, aproximadamente, 15 nA/mm<sup>2</sup> (área ativa). O equipamento está planejado para leituras até 35.000 nT, com excelente linearidade e estabilidade térmica (aproximadamente 0.03%/°C). 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. Para calibração e alinhamento dos sensores foi utilizada uma Bobina triaxial, quadrada de HELMHOLTZ. As bobinas geram campos ortogonais conhecidos: bobina grande:170nT/mV; bobina média:180nT/mV; 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.

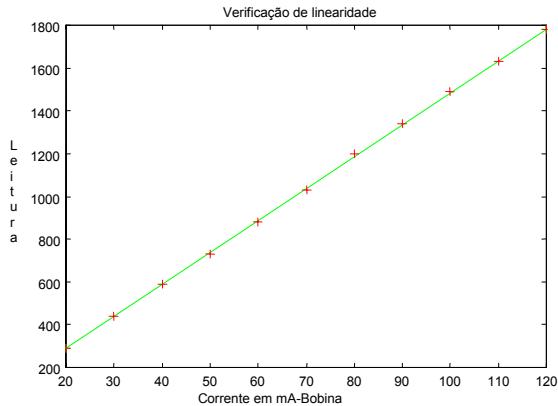


Figura 3 - linearidade do instrumento

### Conclusões

Derivado deste projeto, já foram construídos dois magnetômetros que estão sendo utilizados na realização de trabalhos, diversos, de sondagem geomagnética em recintos fechados. A figura 4, abaixo mostra um dos equipamentos construídos.

Os magnetômetros mostraram-se bastante viáveis tanto nos custos, quanto em trabalhos de campo. Pelo tempo em operação - o primeiro equipamento foi concluído em Dezembro de 2002 sendo imediatamente submetido a trabalhos rotineiros – estes magnetômetros demonstram possuir, além das características técnicas requeridas, boa estabilidade de longo período.



Figura 4 - Ilustração com um dos magnetômetros construídos

### Agradecimentos

Os autores querem agradecer a **FAPERJ** pelo apoio neste projeto e pelo suporte na concessão da bolsa de um dos autores (M.B.).

### Referências

**Benyosef, L.C.C; Teodosio, J.R.; Taranichev, V.E.; Zalnin, B.V. and Nemova, O. Yu.** "Effect of stresses on the magnetic properties of amorphous ribbons for fluxgate magnetometers" - Journal of Advanced Materials, 3 (2) 140-143 - 1996.

**Benyosef, L.C.C** - Magnetômetro fluxgate de circuito fechado, para análise de ruídos em sensores - Anais do 7º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica - Vol. I págs. 177-181 - Salvador BA – 2001.

**Cadorin, E. A.; Benyosef, L.C.C. e Canázio, P.P.L.M.** – Magnetômetro de Núcleo Magnético Saturado, para Registro de Campos Magnéticos de Três Componentes (X,Y,Z). Revista Militar de Ciência e Tecnologia - Vol. XVII – págs. 42 a 48 - 2000

**Nielsen, O.V. ; Petersen, J.R.;Fernandez, A.; Hernando, B.; Spisak, P., Primdahl, F. and Mozer, N.** "Analysis of a fluxgate magnetometer based on metallic glass sensors" - Meas. Sci. Technol. 2, 435-440 1991.

**Primdahl, F.** - The Fluxgate Magnetometer - J. Phys. E. Sci. Instrum., vol. 12, 241 - 1979