

Desenvolvimento de variômetro fluxgate

Benyosef, L.C.C. & Bochner, M. - Observatório Nacional, Brazil.



Copyright 2004, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no I Simpósio de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, São Paulo, 26-28 de setembro de 2004. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Tecno-científica do I SR-SBGf mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGF.

Resumo:

O Laboratório de Desenvolvimento de Sensores Magnéticos do Observatório Nacional (LDSM/ON), desde 1998, desenvolve e constrói sensores e magnetômetros de princípios diversos, especialmente do tipo fluxgate. No núcleo sensor, temos ênfase no desenvolvimento de novos materiais adaptando-os e otimizando suas propriedades magnéticas. Este trabalho apresenta as etapas seguidas no desenvolvimento de um variômetro fluxgate construído para registrar variações, de baixa frequência, do campo geomagnético, em observatórios magnéticos.

O sistema sensor é composto de três núcleos, de geometria toroidal, montados ortogonalmente (X,Y,Z). Neste instrumento o sinal é processado analogicamente e na etapa final um conversor A/D transforma-o em digital.

Introdução: Teoria fluxgate

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.

O sensor fluxgate consiste basicamente de um núcleo construído com material ferromagnético de alta permeabilidade e envolto por dois sistemas de bobinas, uma responsável pela excitação e a outra para detecção o 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 com intensidade suficiente para saturar o núcleo, este será magnetizado alternadamente com o aparecimento de um fluxo magnético ($\Phi = B.A$) no seu interior, proporcional à indução e a área da seção transversal do núcleo. Nestas condições a permeabilidade (μ) o material do núcleo sofrerá alteração acompanhando a variação do fluxo magnético. Como conseqüência um sinal de tensão V será induzido nas n espiras da bobina sensora. Considerando ainda outros fatores determinantes neste processo de magnetização, como o fator de desmagnetização (D) e a permeabilidade relativa do material (μ_r), tem-se a equação fundamental do sensor fluxgate:

$$V_{sec} = n_s AB_{ex} (1 - D) \frac{d\mu_r / dt}{[1 + D(\mu_r - 1)]^2} \quad (1)$$

Elemento sensor

O sensor utiliza como núcleo uma liga magnética amorfa, de base cobalto e de composição $Co_{67,5}Fe_{3,5}Si_{17,4}B_{11,6}$. Este material foi obtido pelo processo de "melt-spinner", em roda de ferro e atmosfera de argônio. A fita possui largura de 1.2 mm, espessura de 0.002 mm e temperatura de Curie de 226°C. Para otimizar as propriedades magnéticas, o material foi submetido a tratamento termomecânico adequado, que girou e reduziu a sua força coersiva. O sistema foi construído utilizando materiais selecionados visando homogeneizar seus coeficientes de dilatação térmica, reduzindo assim os efeitos das tensões internas, a serem provocadas quando o equipamento estiver funcionando sujeito a variações térmicas ambientais, reduzindo assim o nível de ruídos. O conjunto sensor é formado por três núcleos, de geometria toroidal, orientados em perpendicular.

Alimentação/excitação

A alimentação do circuito é conseguida através de uma fonte simétrica de 5 Volts contínuos, gerados a partir da rede AC normal, de 110 ou 220 Volts. Para garantir funcionamento correto dos circuitos, sem distorções, a estabilidade da alimentação é fundamental. Dessa maneira foram utilizados reguladores de tensão 7905 e 7805. Também foram utilizados capacitores de 100 nF, em paralelo com a alimentação dos circuitos integrados. Esta técnica proporciona uma redução no nível de ruídos da linha de transmissão. Optou-se ainda pelo uso de transistores em paralelo com os reguladores, de forma que a corrente seja limitada dentro de uma faixa fixa e pré-determinada, enquanto o restante é suprido pela malha dos transistores que pela configuração da a montagem funciona como um dissipador de calor.

O circuito é controlado por um oscilador de 8 MHz que origina um sinal, de referência, com 31.250 KHz de onda quadrada. Através de um divisor de frequências, o sinal em dois, sendo um a ser usado como referencia e o outro que irá alimentar o núcleo do sensor através de uma excitação periódica de corrente e com forma de onda quadrada. Este sinal tem frequência de 15.625 KHz e intensidade 300 mA_{pp}. O sinal de saída, induzido na bobina sensora, é filtrado para eliminar todas os harmônicos pares, e resíduos de ímpares, permitindo apenas a passagem do segundo harmônico da excitação. Este sinal é então pré-amplificado, com a fase ajustada para ser comparada com o sinal de referência (puro da excitação). Depois de integrado, parte do sinal vai para uma bobina de compensação de campo que realimenta o sensor, fazendo com que o sistema opere em uma malha fechada, como um detector de nulos. O sistema é todo chaveado permitindo analisar o circuito, como um todo,



Figura 1 - Diagrama em blocos do circuito

Detecção síncrona

O demodulador tem como referência à frequência de 31.250 KHz gerada pelo oscilador. Este circuito, recebe o sinal amplificado do 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, foi fechada a entrada do último estágio para a terra e ajustado o trimpot do amplificador para 0 Volts, na saída.

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.

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

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, foi fechada a entrada do último estágio para a terra e foi ajustado o trimpot do amplificador para 0 Volts, na saída. O instrumento responde à campos de pequena frequência, até 0.5 Hz, com resolução de 1.0 nT.

Calibração e avaliação

A avaliação de ruídos foi feita com o sistema sensor inicialmente dentro de uma blindagem magnética, cilíndrica, com cinco camadas concêntricas. Nesta foi considerada uma análise do sinal, por FFT, o que permitiu verificar o baixo ruídos do instrumento.

Para assegurar a orientação, individual, dos sensores foram realizadas uma série de medições, utilizando uma bobina, triaxial, quadrada, de Helmholtz que permitiu o comportamento dos sensores na presença de variações de campos da ordem de nT.

As respostas dos filtros usados no circuito foram determinadas por "software" fornecendo as curvas como a da figura 2 que mostra a resposta obtida por um filtro passa-baixa ativo de segunda ordem, com frequência de corte (3 dB) em 0.23 Hz, na saída do demodulador.

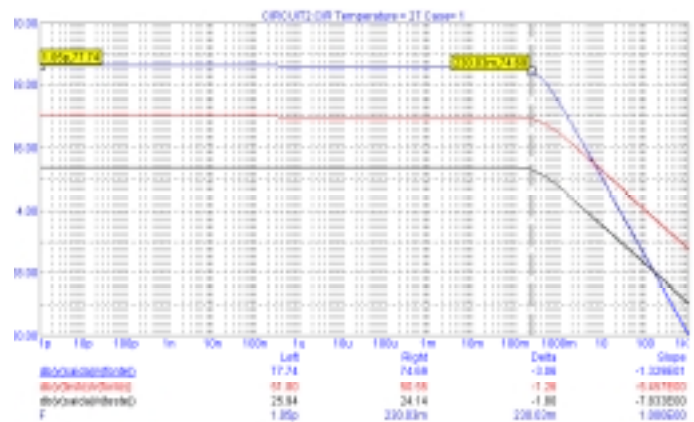


Figura 2 – Resposta, em frequência, do filtro.

Discussão e Conclusões:

Nos testes de bancada a que foi submetido o equipamento aqui descrito, mostrou resultados que responde de maneira satisfatória aos propósitos a que se destina. Faz-se necessário realizar avaliações sobre seu desempenho no campo submetido a longo período de funcionamento, o que deve ser realizado em breve. Entretanto estes resultados já são bastante animadores considerando que o desenvolvimento e construção de variômetros, do tipo fluxgate, é de grande importância na atualização e modernização dos instrumentos de observatórios magnéticos.

Agradecimentos

Queremos agradecer a **FAPERJ** pelo apoio neste projeto e pelo suporte na concessão de bolsa (A.T.) para um de nós (M.B.).

Referências

Benyosef, L.C.C., Teodosio, J.R., Taranichev, V.E. & Jalnin, B.V. 1995. Improvements on CoFeSiB Amorphous Ribbon for Fluxgate Sensor Cores - Scripta

Metallurgica et Materialia, Pergamon-Elsevier Science
Volume: 33 (9) - Págs. 1451-1454.

Benyosef, L. C. C. & Novak, M. A. 1996. Magnetômetros de Núcleos Saturados, Revista de Instrumentação e de Física Aplicada, Sociedade Brasileira de Física. Vol. 11, Núm. 3, págs. 131-137.

Benyosef, L.C.C.; Teodósio, J.R.; Taranichev, V.E.; Zalnin, B.V. & Nemova, O. Yu. 1996. Effect of Stress on the Magnetic Properties of Amorphous Ribbons for Fluxgate Magnetometers. Journal of Advanced Materials, Num. 3 (2) pags. 140-143

Benyosef, L.C.C. 1998. Development of Low Noise Fluxgate Sensors, Revista Geofísica, Instituto Pan-americano de Geografia e História/IPGH – N. 48, 111-120

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

Nielsen, O.V. Petersen et al (06 co-authors), 1995. Development, Construction and Analysis of the "Orsted" fluxgate magnetometer Meas. Sci. Technol. 6 pags. 1099-1115.

Primdhal, F., Petersen, J.R, Olin, C. and Harbo A.K. 1989. The short-circuited fluxgate output current, J. Phys. E.: Sci. Instrum. 22: 349-354.

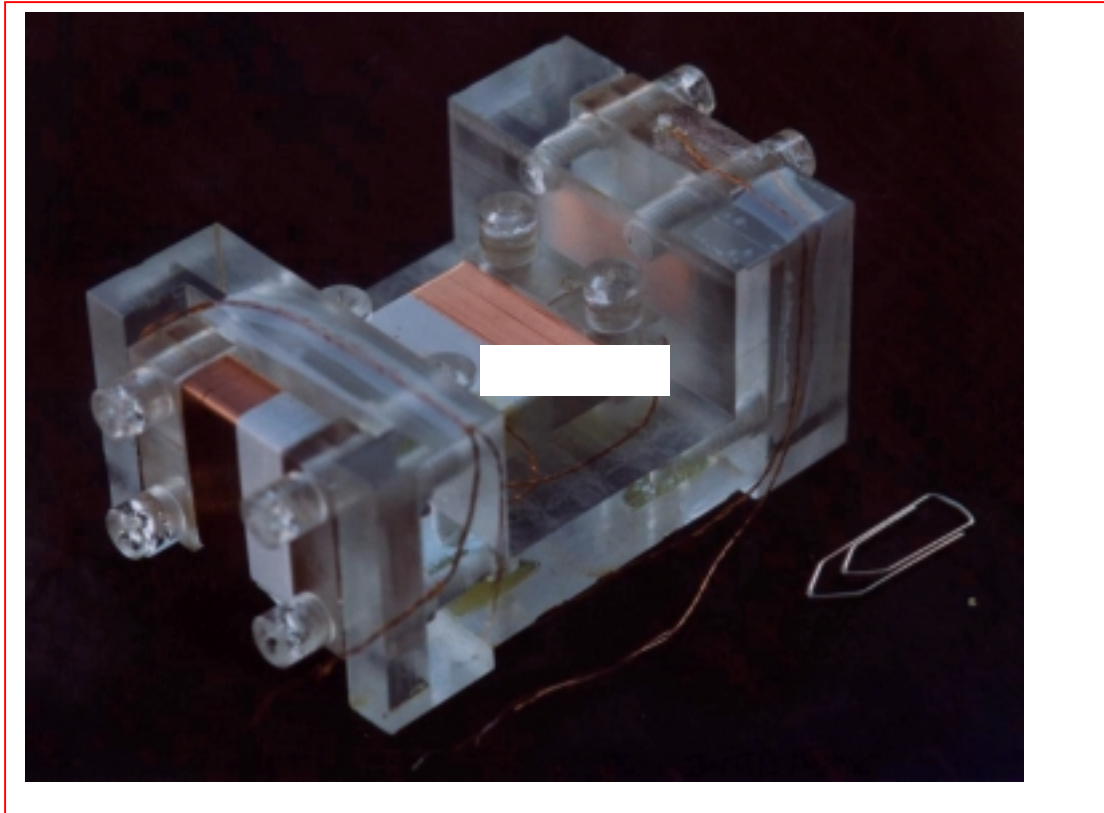


Figura 4 - Sensor fluxgate utilizado no variômetro