



Potencialização de magnetômetros de precessão nuclear de prótons com o recurso de microcontroladores

Francisco Y. Hiodo^{1,*}, Kleiton Blane¹, Nilton Silva¹, Ricardo Francesconi² & Jorge E. Silva³

¹ IAG-USP. Tel.: (11) 3091 2847. Fax.: (11) 3091 5034. E-mail: francisc@iag.usp.br

² GEOSERVICE

³ SIGEO

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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.

Abstract

A digital interface was developed to replace all output module with seven segments LED displays of a nuclear precession magnetometer (UNIMAG- GEOMETRICS). System based in microcontroller has low cost and one very friendly programming compiler. A two way communication in alphanumeric mode is used to link with operator through a liquid crystal display LCD with 2 lines and 16 characters by line and a 3 microswitches keyboard. A resident program allows algebraical conversion of protons precessions frequency directly in nanoTesla values. After 5 measurements that are simultaneously visualized on display, microcontroller calculates mean values of geomagnetic field and the mean standard deviation, showing them to operator. If the values are coherent, they are recorded in internal non volatile memories, together with time acquisition. Capacity to record in E²PROM memories is about 10000 values. This digital interface (datalogger) can be coupled with another precession magnetometers that could be converted in base station. The circuit has one accurate clock, developed to project.

Keywords: proton precession magnetometer, PIC microcontroller, Assembler compiler

Introdução

Com o uso de magnetômetros absolutos portáteis, as medidas magnéticas apresentam baixo custo e rapidez de operação, e seus resultados podem ser utilizados tanto na prospecção de minerais magnéticos, ou indiretamente, p. ex. o de rutílio. Podem ainda ser usadas na identificação de estruturas geológicas, ou para mapear anomalias magnéticas locais geradas em subsuperfície (arqueologia, lixões, etc.).

Atualmente estão disponíveis nas empresas de prospecção, magnetômetros clássicos de precessão de prótons já obsoletos e subutilizados. Estes equipamentos apresentam características de operação que dificultam seu uso, como: **a)** pequena taxa de medidas, **b)**

problemas de sintonia dos filtros internos devido a intensidade do campo geomagnético (~20000 nT), **c)** necessidade de repetição de medidas para corrigir eventuais erros de operação, **d)** ausência de armazenagem de dados e de comunicação com computadores, etc. Tais desvantagens se devem ao fato da inexistência de microcontroladores de alta performance na época de fabricação destes magnetômetros.

O atual trabalho de instrumentação aproveita toda a parte de detecção do magnetômetro desde o sensor até o estágio de sintonia por enlace de fase PLL. A parte digital foi substituída por um sistema com microcontrolador dotado de memórias voláteis e não voláteis, base de tempo de precisão e interface serial para um microcomputador, totalmente desenvolvido no LIGA-IAGUSP.

Princípio de Funcionamento:

O magnetômetro de precessão de prótons é um instrumento de medida absoluta da intensidade do campo magnético. Seu funcionamento se baseia na ressonância magnética dos prótons dos núcleos de átomos de hidrogênio com o campo magnético ambiente.

Os momentos magnéticos, devido aos spins dos prótons dos átomos de hidrogênio, tendem a se alinhar com um campo magnético externo de polarização de ~1 T, atingindo o ao estado de equilíbrio. Após o colapso súbito deste campo externo, os átomos (spins) passam a realizar um movimento de precessão em torno do campo geomagnético presente. Tal movimento de precessão só pode assumir valores de energia discretas e múltiplas de:

$$\Delta E = \frac{h \cdot \gamma \cdot B}{2 \cdot \pi} \quad (1)$$

onde B é o módulo do vetor campo magnético \mathbf{B} , h é a constante de Planck e γp é a razão giromagnética do próton ($\gamma p = 0,267513 \text{ Hz/nT}$). A transição entre dois estados de energia é acompanhada de emissão de energia eletromagnética de frequência f – frequência de Larmor – tal que $f = \Delta E/h$. Portanto é possível determinar o valor de \mathbf{B} a partir da medida de f .

$$B = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\gamma} \Rightarrow B = 23,4859 \cdot f \quad (2)$$

Assim uma maneira prática de se determinar o campo magnético da Terra, seria aplicar um campo intenso numa amostra contendo muito hidrogênio, subitamente retirar o campo \mathbf{B} e medir a frequência resultante da

precessão dos prótons, que é proporcional ao campo magnético local.

Como o sinal devido a precessão decai exponencialmente com o tempo, e sua amplitude inicial é da ordem de μV , torna-se impraticável medir a frequência de precessão num tempo pré-determinado de 1s. Assim para cada medida é necessário aplicar novamente o campo B e medir a frequência em menos de 1s (da ordem de 0,5 s). Nos magnetômetros modernos tipo Overhauser usando líquido paramétrico, a polarização dos spins dos prótons é feita dentro de uma cavidade ressonante, por um campo de radio frequência da ordem de 80 MHz. Isto possibilita medidas contínuas sem a decorrência do decaimento exponencial existente nos magnetômetros clássicos.

De forma geral um magnetômetro comercial segue o diagrama de blocos abaixo:

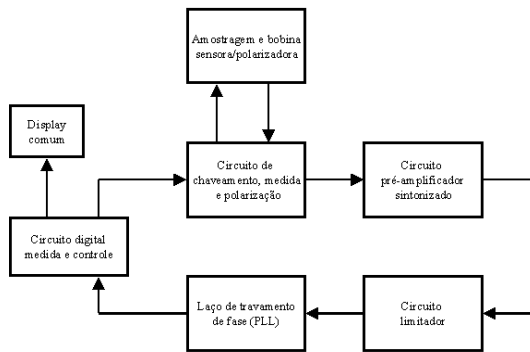


Figura 1: Diagrama de blocos de um magnetômetro de precessão comercial.

O sensor é composto por uma amostra de cerca de meio litro de querosene, gasolina, ou água com detergente, e de um solenóide imerso na amostra que tem por função aplicar o campo de polarização B e depois captar o sinal de precessão. A troca de função é feita no circuito de chaveamento que é controlado pelo circuito digital.

O sinal de precessão é depois amplificado pelo pré-amplificador de ruído ultra-baixo ($NF < 2 \text{ dB}$). O limitador converte a senóide numa onda quadrangular, e finalmente o circuito PLL (lazo de travamento de fase) que trava a frequência do sinal, filtrando outros sinais indesejáveis, além de gerar na saída a frequência multiplicada por 256 de forma a simplificar a determinação de B. Fazendo-se amostragens em intervalos de tempo múltiplos de 0,0458738s controlado pelo *clock* do microcontrolador, o valor de B que pode ser determinado com vários níveis de precisão, é apresentado no *display*.

Descrição do módulo potencializado

O magnetômetro portátil de precessão nuclear disponível para a possível transformação/potencialização foi o UNIMAG do fabricante GEOMETRICS, com resolução de 10 nT.

Primeiramente, os componentes de cada bloco do magnetômetro, com seus respectivos sinais, foram identificados, principalmente os pontos de comunicação com o módulo digital (i. é, os sinais do PLL e o de

chaveamento de polarização para medida). Uma vez mapeados estes pontos, toda a parte digital foi substituída por um sistema microcontrolado, como indicado abaixo no diagrama de blocos.

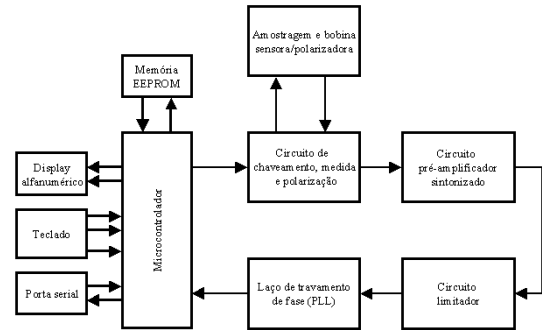


Figura 2: Diagrama de blocos com a parte digital substituída.

A parte analógica permaneceu intacta, e a mudança na parte digital consistiu na substituição de todos os circuitos digitais (total de 13 CIs) por um único microcontrolador com seus periféricos constituídos de: uma memória EEPROM (memória apenas de leitura, que só pode ser escrita pelo acionamento do código correto de gravação e mantém os dados gravados mesmo sem alimentação) e circuito de suporte para comunicação serial padrão RS 232 C.

Optou-se por um microcontrolador RISC facilmente encontrado no mercado, em lugar de uma placa mãe usando processadores CISC que operam como verdadeiros PC, de custo bem mais elevado e de maior volume. Dentro das necessidades algébricas e de gravação de dados, estes pequenos mas poderosos microcontroladores da classe RISC de 8 bits executam estas funções com grande rapidez e flexibilidade.

O microcontrolador (em nosso caso, um PIC 16F628A da MICROCHIP®) é um dispositivo de integração em larga escala, num mesmo encapsulamento, que engloba uma CPU RISC de 8 bits com oscilador de 10 MHz, uma memória não volátil de programa (em nosso caso 2 Kbytes), uma memória não volátil de dados (em nosso caso 256 bytes). Dispõe de acesso a periféricos externos (16 pinos) e permite a implementação de vários periféricos internos como temporizadores (dois temporizadores de 16 bits) e uma comunicação serial. O programa executado pela CPU é desenvolvido em ambiente de programação próprio (em nosso caso em *assembler*, fornecido pelo fabricante). A comunicação entre o operador e a unidade de aquisição é feita através de um *display* de cristal líquido LCD de 2 linhas e 16 caracteres/linha. O fluxograma desenvolvido para o microcontrolador para operação do magnetômetro é mostrado abaixo:

A conversão da frequência de precessão dos prótons é feita diretamente pelo programa residente do microcontrolador PIC, que reserva ao operador de campo a opção de gravar o valor convertido caso esteja dentro da precisão especificada inicialmente. Após 5 medidas que são sempre apresentadas no *display*, o microcontrolador apresenta o desvio padrão da média. Estando dentro dos valores admissíveis, o valor médio é gravado juntamente com a hora da determinação. Isto é

necessário, para se eliminar os efeitos da variação geomagnética diurna. Caso um destes magnetômetros opere como estação-base, suas medidas podem ser interpoladas para os instantes de medida dos magnetômetros itinerantes, para as devidas correções. O programa inicia pela opção de transferência dos dados armazenados na memória ou de procedimento de leitura. O procedimento de medida consiste em liberar o comando para gerar o campo B e depois do tempo de polarização da amostra comutar a bobina para o modo de medida. A medida em si consiste em medir o período (inverso da frequência) de 256 pulsos provenientes do PLL, e a partir do período médio calcular $B = 23,4859 / T$. No modo de estação base a cada minuto o valor médio de B deste período é gravado na memória, juntamente com o instante da medida.

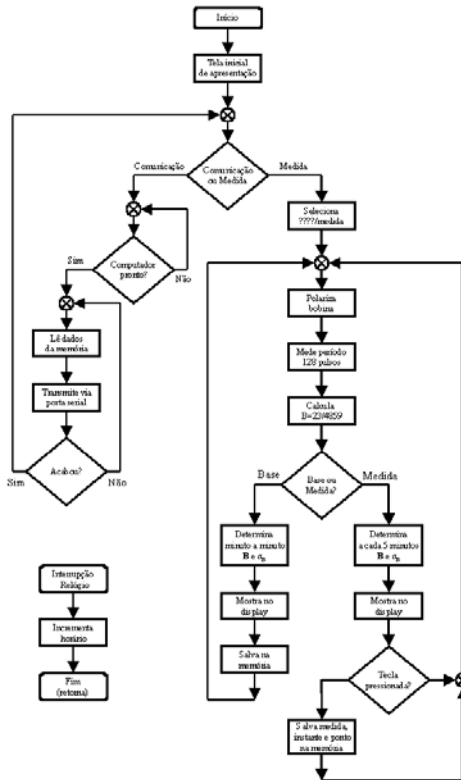


Figura 3: Fluxograma de operação do magnetômetro desenvolvido para o microcontrolador PIC 16F628A.

No modo de medida direta, a cada 5s atualiza-se o *display* com o novo valor medido, com respectivo desvio padrão. Se alguma tecla for acionada entra-se no menu de terminar a medida e armazenar o valor medido junto com o instante da medida e o ponto de medida. Foi desenvolvido também um programa para microcomputador, em DELPHI® versão 5, para realizar a comunicação com o magnetômetro e cuidar do primeiro processamento dos dados, conforme fluxograma abaixo:

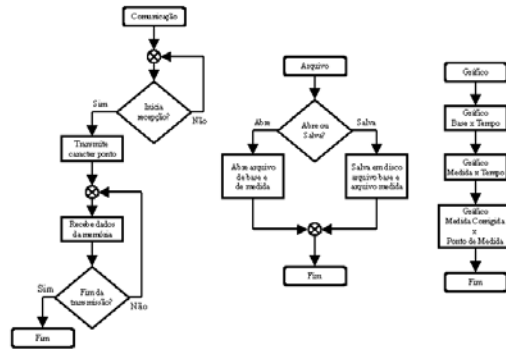


Figura 4: Fluxograma do programa de comunicação e análise em microcomputador.

O programa inicia pela opção de recepção de dados, seja da estação base, seja das medidas. Os dados brutos são armazenados na memória do computador (na forma de uma lista ligada) para poderem posteriormente gerar um gráfico para visualização ou ser armazenados em disco. Na opção de arquivo é possível se visualizar dados gravados anteriormente ou salvar os dados presentes na memória. Na opção gráfico, pode-se visualizar os dados brutos da estação base e da de medida, e o gráfico da medida descontada a variação diurna medida pela estação base.

Conclusão

Nos magnetômetros de precessão de campo onde os sensores estão separados do módulo contendo os circuitos de amplificação, de polarização e de tratamento digital dos sinais, a modificação necessária para aumentar a relação sinal/ruído é posicionar a unidade de chaveamento que comuta o solenóide para as fases de polarização dos átomos de hidrogênio e de medida do sinal de precessão do sensor, para a saída (base física do solenóide). A comutação é feita através de transistores HEXFET de potência IRF540 e a 1ª amplificação do sinal de precessão é feita com um transistor FET 2SK118 de ruído eletrônico ultra-baixo, todos colocados num circuito na saída/entrada do solenóide.

Isto elimina a necessidade do transformador de núcleo de mumetal responsável pelo casamento de impedância entre o solenóide e a entrada deste 1º estágio de amplificação. Quase todos magnetômetros de precessão utilizam um transformador padrão de um mesmo fabricante, de núcleo ferromagnético de altíssima permeabilidade magnética e baixíssimo ruído Barkhausen. Este acoplamento magnético permite obter figura de ruído NF < 2 dB na frequência de precessão e permite operar com cabos convencionais não blindados.

No protótipo a ser desenvolvido a conexão entre o pré-amplificador na base do sensor (solenóide) deve ser feito com cabo coaxial, exceto o cabo de sinal de controle do circuito de comutação.

Com a rápida difusão de microcontroladores de baixo custo e de performances cada vez mais eficientes, a potencialização de antigos equipamentos de prospecção geofísica torna-se atrativa. Os equipamentos mais recentes usando já estes poderosos *chips* possibilitam

medidas muito rápidas e já fornecem valores médios sobre centenas de medidas. Portanto, fornecem valores mais confiáveis, pois com os métodos operacionais clássicos, as medidas eram muito lentas e não podiam ser testadas quanto a sua precisão.

Bibliografia:

Andersen, F., 1974. An Automatic Magnetic Observatory System. Publications of the Earth Physics Branch, Vol 44, N° 11.

Detectron. Magnetômetro Portátil Modelo L-304- Manual de Instalação e Operação.

Geometrics. Portable Proton Magnetometer Model G-826- Operating Manual, pp 13.

Microchip Technology Inc., 1997. Math Utility Routines. www.microchip.com.

Microchip Technology Inc., 2004. Data Sheet PIC 16F627A/628 A/648 A. www.microchip.com.

Primdahl, F., 1986. Lectures Notes for Course in Geomagnetic Instruments Danish Space Research Institute, Curso Sobre Instrumentação Geomagnética dada no Observatório Nacional, Rio de Janeiro, Publicação Especial N° 09.

Valentim, E., 1996. Desenvolvimento de Magnetômetro de Precessão de Prótons para Prospecção Magnética e Monitoração do Campo Geomagnético. Trabalho de Graduação de Geofísica, IAGUSP, pp53.