



SISTEMA DIGITAL DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA CAMINHAMENTO E TOMOGRAFIA GEOELÉTRICA, USANDO MICROCONTROLADOR- PROJETO E CONSTRUÇÃO.

*Silva, N., Blane, K., Hiodo, F.Y. - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas IAG.

Universidade de São Paulo.

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

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

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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.

1- Abstract

An alternative to well known equipment using smart electrodes, but expensive and difficult to operate, applied in dipole-dipole profiling, is proposed. This new digital system was developed to achieve voltage measurement of seven inputs of one multiwire cable simultaneously, to accelerate acquisitions in dipole-dipole profile. Any high voltage generator with current reverse mode, often used in geoelectric area may be applied. These equipment make use of modules of switched source in stabilized voltage mode connected with a switched and reversed current unit. Multiwire cable outputs linked to a multiplexed AD converter allows simultaneous investigations in seven levels of depth. A microcontroller of 8051 family controls whole acquisition cycle. An 8th input is used to current measurement injected into soil and can synchronizes lectures of the system.

Further acquisitions proceedings that avoid low-pass filter at AD converter input are used. Such proceeding comprises consecutive measurements where it is considered a mean and its deviation as quality parameter. After stacking of measurement voltages about one acquisition set, microcontroller evaluate electrical resistivity values of many overburden levels and accumulates in internal and external E²PROM memory. One RS232 serial output allows data transfer to PC computer.

2 - Objetivo

Um equipamento digital para caminhamento e tomografia geoeétrica foi desenvolvido, como alternativa para os modernos sistemas dotados de eletrodos inteligentes de alto custo financeiro. Ele ainda possibilita a utilização de fontes de alta tensão convencionais em geoeétrica dotadas de reversão de corrente, ou mesmo das não dotadas do recurso de reversão (Hiodo et al, 2003).

A técnica de reversão da corrente injetada no solo minimiza o efeito da polarização dos eletrodos metálicos originado da aplicação de corrente. Este desequilíbrio de íons pode ser desprezado em arranjos usando eletrodos porosos não polarizáveis.

A substituição dos eletrodos inteligentes é feita pela introdução de um cabo multifios que faz a conexão dos

eletrodos de medida de potencial ao sistema de aquisição com múltiplas entradas diferenciais. Todas medidas são feitas repetidas vezes num ciclo de medida, para obtenção de um valor médio e o respectivo desvio padrão.

Associando a performance de um equipamento digital com sua capacidade de processamento e armazenamento de dados, torna-se possível incrementar substancialmente a taxa de aquisição efetiva dos dados. Isto reduz o tempo de injeção de corrente no solo, aumentando a autonomia das fontes de corrente. Também o tempo de operação em cada ponto da linha e, a rotina de campo (conexão/desconexão das fiações e mudança de base) são bastante reduzidos.

3 - Introdução

Atualmente, grande parte de medidas geoeétricas para prospecção de água, mapeamento de contaminantes e localização de alvos rasos, é feita no modo de corrente contínua (DC). Os equipamentos usados consomem potência razoável e sua estabilização de corrente é feita no modo manual, responsável pela imprecisão nas medidas de potencial induzido. Estas fontes DC consomem corrente da ordem de 10 A, necessitando do emprego de pesadas baterias automotivas de 12 VDC - 55 Ah.

Outro inconveniente no modo DC são as oscilações de voltagem originadas de tempestades distantes, que geram correntes telúricas. Estes transientes naturais que geralmente estão adicionados aos culturais (60 Hz, basicamente) interferem nas leituras dos potenciais. Eles podem ser atenuados através de filtros rejeição e passa-baixo de resposta plana, que introduzem atrasos de fase nas medidas. Isto dificultam o cancelamento manual do potencial eletroquímico originado do contato eletrodo (metálico) solo.

Durante a aplicação de corrente no solo, este equilíbrio iônico é rompido. Portanto o potencial medido é o induzido no solo pela passagem da corrente, adicionado ao originado da polarização dos eletrodos metálicos. Estes dois efeitos não podem ser separados no modo de operação DC.

O efeito de polarização dos eletrodos de potencial, pode ser minimizado pelo uso de eletrodo não polarizável de CuSO₄. Apesar de sua eficiência na redução do ruído (menor resistência de contato) e na eliminação do efeito de polarização, principalmente em arranjos de grande abertura, o uso destes eletrodos é dificultoso no campo.

Uma alternativa para reduzir o efeito da polarização é usar fontes de comutação e de reversão de corrente, associadas a detectores síncronos ou circuitos microprocessados para empilhamento de dados

(stacking), que possibilitam grandes aberturas dos arranjos SEV.

Os equipamentos atuais têm cabos inteligentes, onde cada entrada/saída dos eletrodos é comandada por um microcontrolador dedicado, conectado através de um cabo secundário, à unidade principal de aquisição de dados. Pela sua característica, este cabo permite rápida aquisição de dados numa base, necessitando de poucos operadores de campo, mas o seu custo e a grande quantidade de acessórios necessários para seu pleno funcionamento, torna-o pouco atraente.

4 - Descrição do equipamento desenvolvido

Os eletrodos de medida de potencial estão conectados ao sistema de aquisição por um cabo multifio (Fig.1), onde cada ponto de conexão (entrada) com os eletrodos é provido de um terminal de cobre niquelado possibilitando grande resistência à corrosão. Cada um destes conectores está posicionado a distâncias fixas correspondentes às aberturas do arranjo dipolo-dipolo utilizado no caminhamento geoeletrico. Por fim, cada um dos eletrodos cravado no solo é interligado ao conector correspondente do cabo multifio por um fio condutor de 1 metro com terminais tipo jacaré nas extremidades. Diferentes cabos podem ser permutados para diferentes aberturas de arranjo (5, 10, 20 metros, etc.).

As saídas do cabo multifio estão conectadas a amplificadores diferenciais de impedância de entrada da ordem de dezenas de $M\Omega$ e ganho unitário. Estes circuitos estão conectados de tal forma que diferenças de potencial entre eletrodos consecutivos sejam multiplexados nas entradas do conversor AD (ver Fig.1). Na saída de cada amplificador tem-se um filtro ativo rejeição centrado em 60Hz, com banda de passagem ajustável, para eliminação do ruído da rede elétrica.

As saídas dos filtros estão ligadas a um moderno conversor analógico digital (ADC) MAX199, de 12 bits de resolução, alta taxa de amostragem e oito entradas multiplexadas. Sua 1ª entrada é utilizada para amostragem da corrente introduzida no solo e as outras 7, para medidas das diferenças de potencial entre eletrodos consecutivos. Isto possibilita investigar sete níveis na pseudo- secção. As medidas são feitas quase que simultaneamente (tempo de conversão de 6×10^{-6} s) minimizando o tempo de injeção de corrente.

As medidas são repetidas nos vários ciclos de comutação e de reversão de corrente, possibilitando um processamento do tipo suavização sem o uso de filtros passa-baixas analógicos.

5 - Função do Microcontrolador Adotado e Periféricos

Com o advento de microcontroladores de alto desempenho e de baixo custo, o desenvolvimento de

equipamentos inteligentes de prospeção geofísica tornou-se viável. Além disto, a aquisição automática, a capacidade de pré- processamento digital, o armazenamento em memórias não voláteis e as facilidades de comunicação direta com computadores, tornaram os dados adquiridos mais confiáveis.

Para este projeto foi escolhido o microcontrolador AT89S8252, devido a sua alta velocidade, confiabilidade, disponibilidade de compiladores específicos, baixo consumo de energia, etc. Tudo isto torna o sistema, microprocessador e periféricos, também chamado de firmware (Cady, 2000), versátil e poderoso, permitindo que os dados adquiridos sejam tratados em ponto fluante e em tempo real (tempos da ordem de micro segundos), internamente ao microcontrolador.

O microcontrolador AT89S8252 usado no projeto, é um circuito de concepção avançada da família 8051, de baixo custo devido ao seu uso intensivo na indústria. Além de sua alta performance, ele possui 8kbytes de memórias flash não voláteis para gravação do programa residente, 2k bytes de memórias não voláteis E²PROM para gravação de dados e 256 bytes de memória RAM para cálculos e rotinas.

Este circuito ainda está provido de registradores específicos de comunicação serial RS232, temporizadores, contadores, sistema de *clock* simplificado que opera até 24Mhz, vários modos de operação e outras opções.

Em suas memórias RAM são feitos todos os cálculos tais como médias, desvios, etc., e, os valores finais e parâmetros são armazenados nas memórias E²PROM interna ou externa. O microcontrolador também gerencia um teclado de interruptores de pressão e um *display* (mostrador) de duas linhas com 16 caracteres alfanuméricos cada, onde podem ser visualizados os dados. A comunicação com o operador é feita através destes dois dispositivos.

6 - O Processamento dos Dados

Dos valores obtidos do ADC durante os ciclos de aplicação da corrente, são determinadas as médias e seus respectivos desvios padrão. Neste processo de empilhamento, o ruído de natureza aleatória é cancelado. Isto dispensa os filtros passa-baixa analógicos que tornariam a resposta do sistema lenta e inviabilizariam medidas de cargabilidade. Após a finalização do ciclo de aquisições (fechamento de uma base), são calculados os valores de resistividade elétrica aparente e tem-se uma estimativa do potencial espontâneo de cada ponto. Estes dados podem ser anotados em planilha, pois o sistema os apresenta no *display* LCD para o operador que ainda podem ser transferidos para um computador (PC, notebook, ou palmtop) através de comunicação serial.

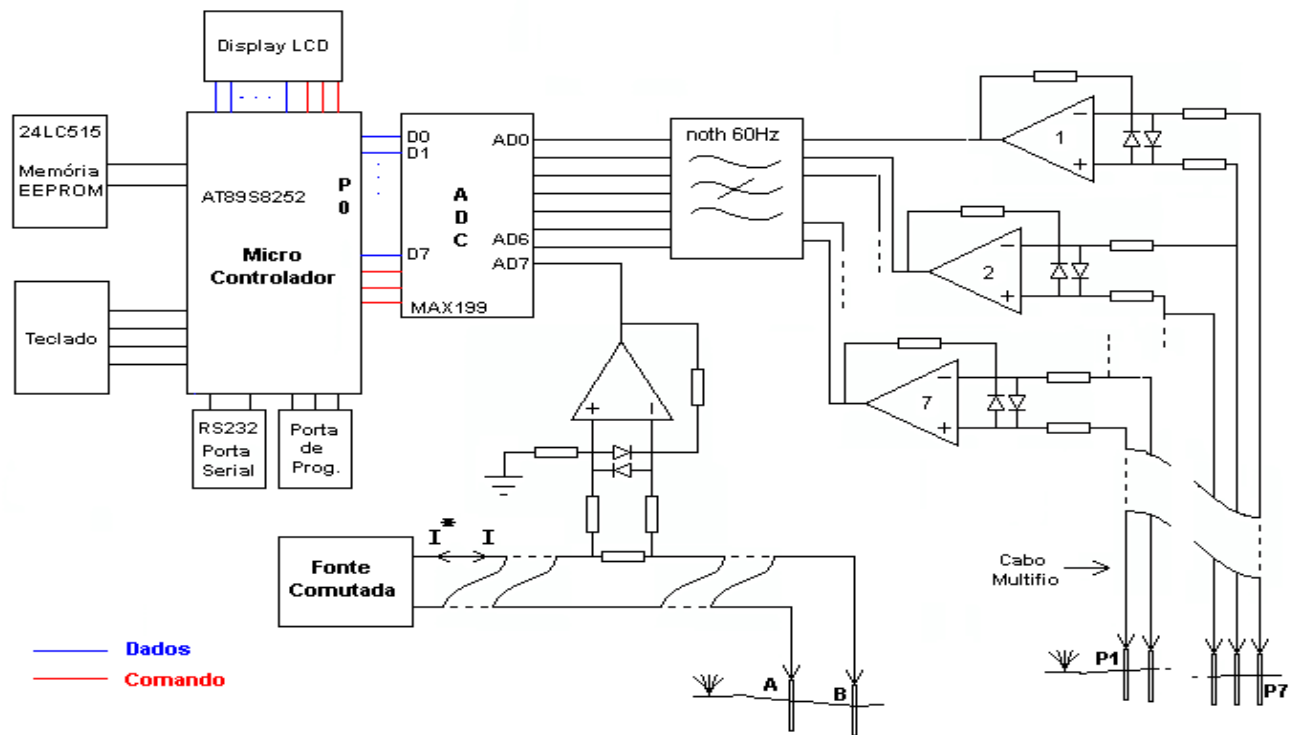


Figura 1. Diagrama de blocos do sistema digital desenvolvido.

Atualmente, estão em testes medidas de cargabilidade que exige controle mais rígido do módulo de reversão da fonte, pelo microcontrolador. A utilização de eletrodos de aço inox requer um procedimento pouco diferente para se chegar a uma estimativa do potencial espontâneo (PS), livre do potencial induzido pela polarização do eletrodo metálico (PI). O valor do potencial espontâneo é extraído da soma entre as médias do potencial de cada eletrodo para cada polaridade de corrente (M+ e M-), já que o potencial medido é uma superposição destes três potenciais, a saber:

$$M_+ = PE_+ + PI_+ + PS_+ \\ M_- = PE_- + PI_- + PS_-$$

Como o potencial espontâneo médio é esperado como constante tanto no ciclo positivo como ciclo negativo da injeção de corrente:

$$PS_+ = PS_-$$

Então;

$$M_+ + M_- = 2PS$$

Portanto:

$$PS = \frac{M_+ + M_-}{2}$$

Também no cálculo da resistividade aparente são considerados estes valores de potencial espontâneo.

7 - Armazenamento e Transferência dos Dados

Neste projeto foi usada a memória externa E²PROM 24LC5151, conectada serialmente via protocolo I²C ao

microcontrolador, para aumentar a autonomia em campo. O sistema elaborado tem capacidade de 32.768 (2¹⁵) dados de 16 bits, possibilitando a aquisição por um período prolongado antes da necessidade de transferência para uma unidade externa.

Uma opção para expansão em larga escala da capacidade de memória E²PROM é o uso de até oito módulos de memória 24LC5151 concatenados (262.144 dados) ou de um palmtop onde os dados seriam transferidos em intervalos regulares, via RS-232, a uma taxa de 19200 baud.

Após a finalização de cada ponto da linha, o sistema transfere, para a memória E²PROM, todos os dados e os parâmetros das medidas tais como: número do ponto de medida, valor médio da corrente injetada e desvio padrão, valor médio do potencial de cada ponto e desvio padrão, valor da resistividade aparente de cada nível de investigação, abertura entre os eletrodos de corrente, abertura entre os eletrodos de medida e tipo do arranjo.

8 - Fontes de Alta Tensão Necessárias

Nos ensaios realizados, o sistema de aquisição foi usado em conjunto com uma fonte chaveada de alta tensão, acoplada a um circuito de comutação e reversão de corrente, desenvolvido no Laboratório de Instrumentação Geofísica Aplicada do IAG-USP.

O gerador de alta potência e alto rendimento (>85%) opera na configuração *fly-back* com controle por modulação de largura de pulsos (PWM), no modo de tensão estabilizada (Hido et al, 2003). O sistema de comutação e reversão realiza uma seqüência programada de ciclos com "descansos" ou interrupção da corrente entre cada reversão de polaridade, controlada por um oscilador interno ao módulo. Os tempos em cada

patamar de corrente são iguais, geralmente de 1 s, perfazendo um período de 4 s.

O sinal de sincronismo de início de aquisição é gerado a partir do nível de corrente amostrado na primeira entrada do ADC. O número de conversões de medidas da tensão e da corrente, para cada patamar do ciclo de corrente, é configurável pelo menu de opções do sistema. No tempo de cada patamar de corrente, todas as entradas do conversor podem ser amostradas centenas de vezes, devido a alta razão de amostragem do conversor-microcontrolador. Também o número total de ciclos de corrente pode ser configurado via teclado..

Se o controle da tensão de saída da fonte chaveada PWM é feito pelo microcontrolador, torna-se possível efetuar um teste preliminar onde aplica-se pequeno valor de corrente, e mede-se os valores de tensão nas entradas do conversor AD. O microcontrolador compara as medidas com um valor pré- estabelecido, e ajusta o valor da corrente para ter-se uma relação sinal/ ruído otimizada. Portanto, o consumo de energia da bateria é minimizado.

9 - Programação do Microcontrolador

O sistema digital é controlado pelo programa residente do microcontrolador AT89S8252, totalmente desenvolvido em linguagem ANSI C, que é gravado em sua memória flash interna não volátil. A gravação deste programa é feita por intermédio da porta de programação do sistema (fig.1), conectada na porta paralela de um computador PC. Um aplicativo de domínio público realiza a tarefa em poucos segundos. Existe também a possibilidade de se desenvolver este aplicativo, pois os parâmetros fundamentais do microcontrolador estão disponíveis (ATMEL, 1997).

Além de controlar o modo de aquisição do ADC, o programa residente realiza operações lógicas e aritméticas em ponto flutuante, e também gerencia a transferência de dados (no formato ASCII) via porta serial.

O sistema digital pode ser reprogramado, com facilidade, através da porta de programação acomodando outros programas específicos para ensaios ou procedimento de aquisição específicos, esta possibilidade elimina a necessidade de extensos menus de navegação para configuração de infindáveis parâmetros do sistema.

10 – Conclusão e Vantagens

Devido as características do sistema de aquisição e do modo de operação adotado consegue-se agilizar o trabalho de campo e aumentar a autonomia do equipamento. A alta performance e velocidade do conjunto microcontrolador- conversor ADC (100.000 amostras/segundo) aliadas a disponibilidade de 8 entradas multiplexadas, tornam possível a aquisição quase simultânea, dos dados dos 7 eletrodos de potencial e o da corrente introduzida no solo. Portanto, para cada etapa de aplicação de corrente é possível investigar 7 níveis da pseudo-seção. Uma equipe bem treinada operando com o sistema de aquisição desenvolvido, conectado ao cabo multifio montado, pode reduzir sensivelmente o tempo de trabalho de campo, quando comparado ao método tradicional.

Outra vantagem é a técnica de empilhamento de dados (medias) adotada que melhora sensivelmente a razão sinal/ruído.

Como os dados obtidos e pré- processados podem ser lidos no display e gravados no banco interno de memórias E²PROM, têm-se uma noção preliminar dos substratos geológicos e maior confiabilidade nos valores adquiridos, na fase final de processamento e elaboração do modelo geológico. A transferência de dados é feita no modo serial, padrão ASCII, portanto podem ser selecionados em planilhas eletrônicas, que possibilitam imediato processamento num micro PC. Este procedimento reduz possíveis erros de anotação, comum no caso de cadernetas de campo.

O equipamento tem o propósito de integrar os diferentes arranjos usados em geoeletrica, além do caminhamento elétrico, ou seja, seu *hardware* foi elaborado para fácil adaptação a qualquer método eletroresistivo necessário. O procedimento de aquisição e o processamento dos dados para a estimativa do potencial espontâneo descrito, é um exemplo dos possíveis ensaios que o sistema pode comportar.

Embora a compreensão do programa de controle do sistema exija conhecimentos especializados em eletrônica digital e programação específica em linguagem C, sua operação é facilitada pela padronização de alguns programas que podem ser facilmente gravados no sistema através da porta conectada a um computador (PC, notebook ou palmtop) , via cabo serial.

11 - Bibliografia

- 1- ATMEL[®], *Data Book, 1997-8Bit Microcontroller with 8k Bytes Flash –AT89S8252 0401D-A-12/97.*
www.atmel.com.
- 2- Cady, F.M., 2000- *Microcontrollers and Microcomputers Principles of Software and Hardware Engineering.* Oxford University Press.
- 3- Dobkin, R.C., 1969- High Q notch filter. In National Semiconductor-Linear Applications-Volume 1.
- 4- Hiodo, F.Y., Silva, N., Blane, K., Silva, J.E., Galhardo, L.F., 2003. *Construção de uma fonte chaveada de potência usando PWM, com circuito de comutação e reversão de corrente para aplicação em prospecção mineral.* 8th Int. Congr. of the Brazilian Geophysical Society.
- INTEL[®] - *Data Book,1994 - Embedded Microcontrollers MCS 48, MCS 51, MCS 96 – Intel Corporation.*
- 5- Pomilio,J.A., 2000- Fontes chaveadas. Curso de Pós-Graduação UNICAMP.
- 6- Mello, L.F.P., 1990. Projeto de Fontes Chaveadas. Ed. Érica, 291pp.