



São Paulo 2004

Construção de um Espectrômetro Gama Multicanal acoplado a cintilador de NaI(Tl), usando Microcontrolador para aplicação em Geofísica Nuclear.

Nílton P. Silva², Francisco Y. Hiodo¹, Kleiton Blane², Luiz Galhardo Filho².

¹Departamento de Geofísica, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, Rua do Matão, 1226, Cidade Universitária, São Paulo. E-mail: francisc@iag.usp.br

² Pós-Graduação em Geofísica, IAG-USP. E-mail: nilton@iag.usp.br

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

Nesta artigo é apresentado a arquitetura de espectrômetro gama multicanal (MCA) de laboratório, elaborado com 4k canais, usando conversor análogo digital (AD) de 12 bits, de aproximações sucessivas. Este projeto foi motivado pela disponibilidade de conjuntos de cintiladores de NaI(Tl) e válvulas fotomultiplicadoras (PMT) em ótimas condições, apesar de antigos, e de uma blindagem de baixíssimo ruído gama no IAG. O núcleo do MCA é um microcontrolador de alto desempenho programado em linguagem C. O ganho total do circuito de aquisição do espectrômetro é estabilizado automaticamente através de circuitos de servocontrole e de uma fonte radioativa de ¹³⁷Cs, como referência. Para a polarização da PMT foi desenvolvido uma fonte de tensão estabilizada usando PWM no modo *fly-back*, que fornece tensão na faixa de 800 a 1200 Vdc, a partir de uma bateria de 12Vdc. As vantagens da unidade desenvolvida em relação as convencionais são: a) baixa deriva térmica, que dispensa o controle de temperatura ambiente; b) emprego de microcontrolador que pode ser programado em vários níveis de linguagem, facilitando a comunicação com microcomputadores; c) tensão de operação de 12 Vdc que torna o conjunto imune a queda da tensão de linha, dispensando o uso de *no-break* e d) baixo custo de construção e de manutenção.

Introdução

Com o advento de microcontroladores de altíssimo desempenho, usando tecnologia de integração em larga escala (LSI) e clock de alta velocidade (36 MHz) torna-se viável a construção de equipamentos de baixo custo, de peso e volume reduzidos, que podem substituir partes de antigos detetores gama, já obsoletos. Em muitos casos é possível melhorar seus desempenhos através de recursos adicionais, como a introdução de analisadores multicanais (Multichannel Analyzer-MCA), em espectrometria gama.

A primeira geração de MCAs empregava memórias de ferrite e tecnologias RTL/TTL de alto consumo e baixa

escala de integração dos componentes. As unidades de aquisição eram caríssimas, volumosas, de difícil manutenção e, a transferência dos dados adquiridos para outras unidades, tais como mini ou microcomputadores, era complexa devido a problemas de compatibilidade e conectividade de hardware e software. Atualmente, os problemas descritos foram superados em grande parte, pelo emprego de microcontroladores, com drástica redução de volume, peso e custo. Estes componentes, também denominados de microcomputadores (na área de automação), associados ao compilador SDCC (Small Device C Compiler) livre, em linguagem C obtido sob licença tipo GNU, tornaram-se ferramentas poderosas e muito atrativas em termos tecnológicos e financeiros.

Com a disponibilidade de vários cristais cintiladores de NaI(Tl) de vários volumes, chegando a 2 litros, de sistemas de detecção já obsoletos e inoperantes, em vários laboratórios nucleares e em empresas de prospecção, tornou atrativo o desenvolvimento do presente projeto.

Um sistema analógico de tratamento e controle do sinal, também fez-se necessário, assim como uma fonte de polarização da válvula PMT que foi construída com tecnologia Pulse Width Modulation (PWM).

Funcionamento

A parte crítica do detetor gama tipo cintilador é o conjunto sensor, devido ao seu alto custo e complexidade (Figura 1), que consiste de um cristal de NaI(Tl) acoplado opticamente a uma válvula fotomultiplicadora PMT. Na base da PMT existe um conjunto de resistores para polarização dos dinodos do interior da válvula e um pré amplificador, que converte a avalanche de elétrons da PMT num pulso de tensão.

Mesmo sensores gama com idade de 20 a 30 anos são aproveitáveis, se tomadas algumas providências técnicas, tais como a introdução de unidades de controle de ganho usando novas técnicas e componentes, e também novas metodologias de calibração.

O funcionamento do sistema de detecção gama é o seguinte: os fótons gama originados, por exemplo, de decaimentos radioativos naturais, ao penetrarem no cristal cedem energia a elétrons do mesmo, através de 3 processos: efeito fotoelétrico, efeito Compton ou efeito de formação de pares. O elétron livre formado migra pelo cristal, provocando ionizações. A existência de *traps* nas zonas proibidas, devido a impurezas, faz os elétrons emitirem fótons na faixa do ultravioleta, ao retornarem ao estado fundamental. O número de cintilações vistas pela

Construção de um Espectrômetro Gama Multicanal acoplado a cintilador de NaI(Tl), usando Microcontrolador para aplicação em Geofísica Nuclear.

válvula PMT é proporcional à energia transferida ao cristal, pelo gama. Portanto a altura do pulso de saída da válvula PMT é proporcional a energia transferida pelo gama incidente. Caso o fóton gama incidente ceda toda energia ao cristal, tem-se um pulso na saída da PMT de altura bem determinada, que gera um foto-pico com distribuição gaussiana no detetor.

Para a polarização da PMT foi construída uma fonte de alta tensão de saída de 800 a 1200Vdc alimentada à partir de 12Vdc. Esta fonte projetada com tecnologia PWM e configuração *fly-back*, apresentou variação da

ordem de 100mVdc e rendimento em energia próximo de 90% (Fig 1).

Para estabilização do ganho total GT desde o cristal cintilador até a entrada do conversor análogo digital ADC foi usada uma fonte gama de ^{137}Cs de energia 662 keV. O sinal proveniente da PMT, de largura de poucos nano segundos, é conformado para um sinal aproximadamente gaussiano pelo pré amplificador, e é aplicado ao estágio de Controle Automático de Ganho CAG (ver Figs1 & 3), cujo ganho é proporcional à tensão contínua DC do conversor DAC controlado pelo processador.

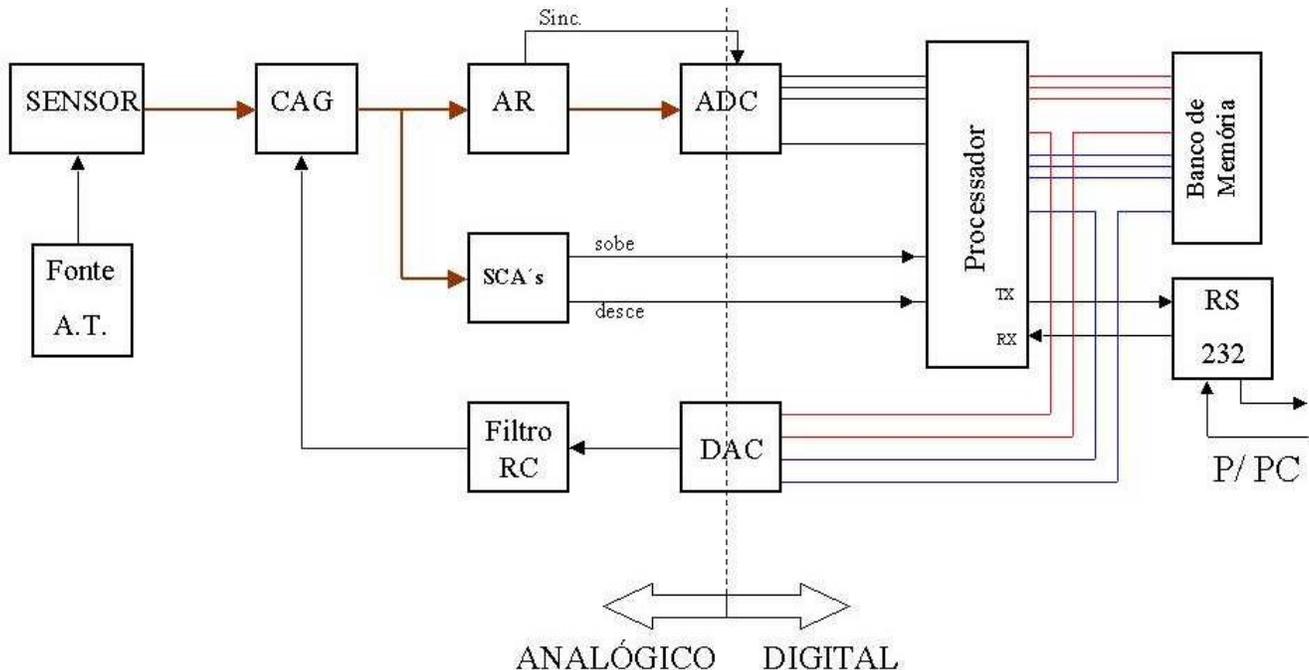


Figura 1. Diagrama em blocos do Sistema

O sinal de saída do CAG é aplicado ao circuito de Amostragem e Retenção (AR) e aos 2 amplificadores monocanais (*Single Channel Analyzer-SCA*) que consistem de dois circuitos de discriminação em janela usando comparadores de precisão pré ajustados, para que os flancos direito e esquerdo do centróide do foto-pico do ^{137}Cs , assumido gaussiano (Fig.2). As contagens de cada um dos flancos acionam um contador do tipo *up/down* interno ao microcontrolador (Fig.1).

O circuito de AR em conjunto com o conversor Analógico Digital ADC fazem a conversão dos pulsos analógicos em digitais.

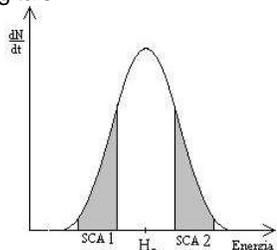


Figura 2. Diagrama do foto-pico gaussiano de referência de Cs, centralizado entre as janelas dos SCA, para estabilização do ganho total, através do CAG.

O conversor ADC adotado tem resolução de 12 bits, equivalente a 4k canais de energia, que possibilita o uso do MCA em outros tipos de detetores gama mais aprimorados, de características superiores ao usado neste projeto..

Cada conversão do ADC corresponde a um endereço num espaço da memória RAM (uma matriz) conectada ao microcontrolador. Assim, a cada conversão tem-se um endereço correspondente de memória onde é somado 1. Após determinado tempo, forma-se um histograma que é o próprio espectro de radiação. Assim o microcontrolador, é solicitado em intervalos de tempo pré-programados, para envio de dados acumulados na memória a um microcomputador via porta serial. Portanto, ao receber cada solicitação, o microcontrolador envia seus dados, ou seja, o espectro formado até aquele instante.

Controle Automático de Ganho (CAG)

A parte mais importante do circuito analógico é, sem dúvida, o controle automático de ganho CAG que compensa eventuais derivas devido a idade do sensor,

ou outras flutuações decorrentes do longo tempo de aquisição, em medidas de baixas atividades.

Este circuito (Fig.3) é comandado pelo microcontrolador através do DAC, que alimenta um amplificador inversor em cuja malha de realimentação está um diodo luminoso (retangular) vermelho LED. Este fotoemissor ilumina 2 componentes LDR (resistência dependente de luz) simultaneamente. Um dos LDR iluminado pelo LED completa o elo de realimentação negativa do amplificador acima, enquanto o outro, constitui o elo de realimentação negativa de um amplificador inversor rápido, que garante a estabilidade do ganho total, durante todo o longo tempo de medida (aquisição). Em situações onde a atividade gama é baixíssima, a medida pode durar mais de um dia. Na configuração apresentada, o ganho deste amplificador espectroscópico é proporcional a tensão de controle V_c proveniente do conversor DAC conjugado ao microcontrolador (Fig.4).

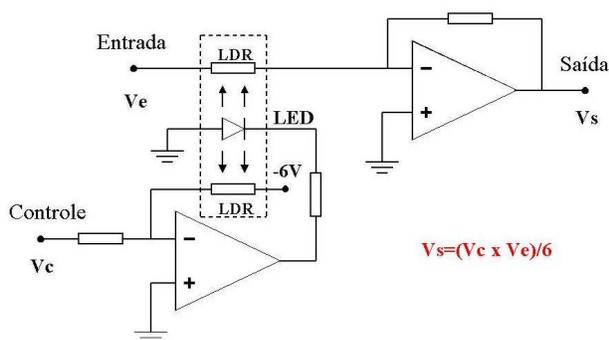


Figura 3 – Circuito do Controle Automático de Ganho (CAG)

Portanto o circuito automático de ganho (CAG) responde linearmente a tensão de controle V_c do DAC (Fig.4) que permite linearizar totalmente o servocontrole, para uma melhor estabilidade do detetor. Portanto a atuação deste amplificador no ganho total garante que os centróides dos foto-picos de interesse permaneçam inalterados durante toda medida.

Na Fig.4 é apresentada a curva de resposta do CAG para várias tensões de controle V_c em função do ganho, obtida em testes de bancada, usando-se um gerador senoidal de 1 MHz ligado em V_e (Fig.3). No intervalo de variação de V_c , a função de transferência do circuito CAG permaneceu praticamente linear. Outro modo de controle de ganho total usado em alguns equipamentos é o servocontrole atuar na fonte de polarização da PMT. A estabilidade do sistema depende da linearidade entre o fator de multiplicação de elétrons da PMT e a tensão de polarização dos dinodos, e também do ruído de escuro (dark noise) da PMT.

Em situações de medida de baixa atividade gama poderiam ser usados pares de transistores FET linearizados no elo de realimentação de amplificadores operacionais ou então multiplicadores analógicos de 4

quadrantes, como amplificadores de ganho controlado por tensão.

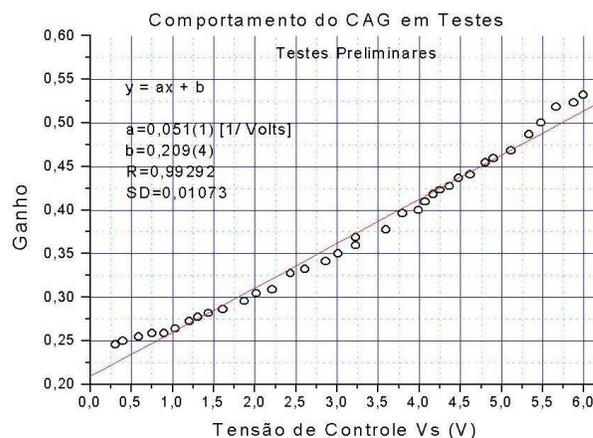


Figura 4. Curva de resposta do CAG a tensão de Controle.

A saída do CAG é aplicado num circuito de amostragem e retenção AR, que retém o valor do pico do pulso por tempo pré determinado, suficiente para ser tratado pelo conversor AC do sistema (Fig.1)

Usando-se um pulser de frequência e altura do pulso precisos, e um determinado canal é possível determinar o tempo morto do MCA a todo instante.

Hardware e o software

O hardware específico para conversão de sinais em espectrometria gama associado às facilidades proporcionadas pelo microcontrolador e à linguagem de programação C, tornam o sistema bastante operacional. Quanto ao software, a aquisição de um pulso devido a um evento (acesso ao ADC) é de prioridade máxima do sistema. Logo esta operação (rotina) é, necessariamente, a única interrupção do sistema. Como esta rotina é crítica, ela pode ser escrita em linguagem de máquina e, ainda, utilizar a memória RAM interna do controlador para armazenamento temporário de dados do AD (buffer). Isto é feito, para evitar um eventual "gargalo" temporal no sistema que provocaria aumento do tempo morto. Tendo em vista, as baixas atividades gama existentes nas medida, tanto em Geofísica ou em Dosimetria Ambiental isto dificilmente ocorre.

Todo o software residente fica armazenado na memória FLASH não volátil, interna ao microcontrolador, protegida contra leitura para proteção dos direitos autorais. Também, estão disponíveis memórias E2PROM não voláteis, para armazenamento eventual de informações. Normalmente, estas memórias são de acesso lento e estão limitadas em 2K bytes.

Os pulsos de saída dos 2 SCAs usados na estabilização do foto-pico de referência, são aplicados a um contador interno programável e completamente independente da CPU do microcontrolador. Assim, existe a facilidade do software acessá-lo a qualquer instante. Se a saída do

Construção de um Espectrômetro Gama Multicanal acoplado a cintilador de NaI(Tl), usando Microcontrolador para aplicação em Geofísica Nuclear.

contador superar um dado limite, o microcontrolador atua no DAC, convertendo a deriva detectada num a tensão de erro, que atua no CAG. A correção é feita até que o fotopico de referencia retorne para a posição de simetria entre os 2 SCA (Fig.2). Um outro artifício, seria usar 2 janelas de memória de acumulação do espectro, em lugar dos 2 SCA descritos. O microcontrolador integra os valores das 2 janelas e efetua a subtração. Caso seja diferente de um valor próximo do nulo, o conversor DAC atua na tensão de referência do ADC, restaurando a posição de estabilidade. O inconveniente é que o tempo morto do ADC aumenta devido as contagens da fonte de referência, podendo falsear os dados. A vantagem da última configuração é que dispensa os 2 SCA do sistema analógico, com diminuição da complexidade do hardware. .

No projeto desenvolvido, o conversor ADC e o circuito de AR (Fig 1) empregados são suficientemente rápidos para aplicação nas áreas de Geofísica e em dosimetria ambiental. O ADC usa o método de aproximações sucessivas, e seu disparo é feito pelo sistema AR .O rearme é feito pelo microcontrolador, na finalização da interrupção de acesso ao AD. O AD converte o sinal de saída do circuito de amostragem e retenção AR em número binário de steps/degraus, que é o endereço de memória de um elemento da matriz onde fica armazenado o espectro, ou seja, cada conversão corresponde a um endereço de memória onde o microcontrolador adiciona 1. Portanto após um tempo necessário para ter-se uma boa relação sinal/ruído, tem-se um histograma de contagens em função dos canais de energia (altura do pulso).

Discussão final

A unidade montada é mais propriamente um sistema de aquisição de dados para aplicação em espectrometria gama. Sua flexibilidade e baixo custo possibilitam recuperar equipamentos inativos, mas com cintiladores ainda operantes, evitando-se portanto gastos expressivos na aquisição de sistemas novos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (processo 133270/2003-3) e ao CAPES-PROAP pelo apoio financeiro e ao IAG, que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

1) D.O'Connor, G. Knoll, R Ziff – 1994 –Evaluation and mensurement of the experimental gamma-ray peak broadenings and recovery times in a gain stabilized system. - Nucl. Instr. and Meth. A353 291-295. Elsevier

2) G.Gilmore, J.D.Hemingway –1995- Practical Gamma-ray spectrometry. John Wiley & Sons Press

J.B. Simões, C.M.B.A. Correia – 1999 – Pulse Processing Architectures. Nucl. Instr. and Meth. A422 405-410. Elsevier

3) J.M.R. Cardoso et al – 1999 - Nucl. Instr. and Meth. A422 400-404. Elsevier

4) Kernighan, B.W.& Ritchie,D.M., 1986. A linguagem de programação C. Editora Campus, pp. 208.

5) Knoll G.F.- 1989- Radiation Detection and Measurement. John Wiley & Sons Press

6) Silva N.P.- 2002 - Recuperação de um Espectrômetro Gama Portátil de Prospecção Geofísica Usando Microcontrolador- Trabalho de Graduação II – IAG/USP

7) SDCC - Small Device C Compiler
<http://sdcc.sourceforge.net/>