

JOSÉ BASÍLIO PORTAS SALGADO SIMÕES



SISTEMAS DE TEMPO REAL PARA PROCESSAMENTO DIGITAL DE  
IMPULSOS EM ESPECTROSCOPIA DA RADIAÇÃO

COIMBRA

2002

JOSÉ BASÍLIO PORTAS SALGADO SIMÕES



SISTEMAS DE TEMPO REAL PARA PROCESSAMENTO DIGITAL DE  
IMPULSOS EM ESPECTROSCOPIA DA RADIAÇÃO

Dissertação apresentada à  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
da Universidade de Coimbra  
para a obtenção do grau de Doutor em Física,  
especialidade de Física Tecnológica

COIMBRA

2002

## Sumário

Este trabalho demonstra as vantagens da utilização de sistemas de processamento digital de impulsos em espectroscopia da radiação, analisa as suas componentes fundamentais e propõe, implementa e valida algumas arquitecturas dedicadas em que um espectrómetro digital se pode basear.

As vantagens do processamento digital de impulsos são demonstradas analisando em detalhe os problemas inerentes à obtenção de um espectro de energia da radiação, desde o ruído presente, associado ao sistema constituído pelo detector e pelos circuitos electrónicos a ele ligados, até às questões intrínsecas à natureza do próprio fenómeno de emissão e detecção da radiação.

Assim, é deduzida a função de transferência óptima para o sistema tendo em conta não só a relação sinal-ruído, mas também fenómenos como o empilhamento, défice balístico e recolha incompleta de carga e, ainda, a possibilidade de efectuar digitalmente correcções ao sinal como sejam o cancelamento de pólo-zero e a recuperação da linha de base.

Um componente fundamental de qualquer sistema digital que pretenda processar sinais analógicos é o bloco de digitalização constituído pelos conversores analógico-digitais e pelos circuitos de acondicionamento de sinal a eles associados. Este bloco é analisado no presente trabalho sendo demonstrado que uma arquitectura baseada em digitalizadores intercalados, desde que implementada correctamente do ponto de vista do projecto electrónico, possui vantagens em termos de linearidade muito importantes em aplicações de espectroscopia da radiação.

Embora não directamente focado no objectivo desta tese, mas por constituir uma ferramenta indispensável à caracterização dos digitalizadores, são analisados brevemente os procedimentos tradicionalmente utilizados para o seu teste e é demonstrado um método original, denominado método das amplitudes, com o qual é possível determinar o número efectivo de bits de um digitalizador sem necessidade de recorrer a uma fonte de sinal com precisão superior ao sistema em teste.

Em termos das arquitecturas de processamento digital de impulsos, são revistas as características dos principais sistemas apresentados na literatura bem como as dos actualmente disponíveis no mercado, identificando os seus pontos críticos (os quais se centram essencialmente na dificuldade em conciliar a optimização da resolução em energia com a capacidade de manter as elevadas taxas de contagem de impulsos necessárias para obter o espectro de energia em tempo real) e estabelecendo os requisitos fundamentais a que uma arquitectura com estes objectivos deve obedecer: capacidade de identificação automática da chegada e da localização dos novos impulsos e implementação de um esquema de armazenamento temporário e individualizado dos conjuntos de amostras correspondentes aos impulsos que aguardam disponibilidade para serem processados. Antes de projectar e construir um sistema baseado numa arquitectura de multiprocessamento que cumpre com estes requisitos, o teste e refinamento dos respectivos processos de implementação foi efectuado recorrendo a hardware previamente desenvolvido no Grupo de Electrónica e Instrumentação, tendo sido desenvolvidas e apresentadas algumas arquitecturas híbridas que, na cadeia de elementos que constituem o espectrómetro, utilizam alguns circuitos analógicos conjugadamente ou em simultâneo com o processamento digital efectuado por um processador digital de sinal.

O sistema baseado na referida arquitectura de multiprocessamento com processadores digitais de sinal é caracterizado em detalhe estudando-se o seu desempenho nomeadamente em termos da taxa de contagem de impulsos e da possibilidade de se configurar um sistema com um tempo morto praticamente nulo. Uma análise do ponto de vista dos sistemas de tempo real é igualmente efectuada, focando-se as suas características bem como as técnicas utilizadas para assegurar o seu funcionamento contínuo e fiável como sistema autónomo.

Finalmente, o trabalho conclui-se, no âmbito desta tese, com a apresentação de alguns resultados obtidos com detectores de estado sólido, referindo-se os algoritmos utilizados e desenvolvendo-se um método original para a correcção do efeito da recolha incompleta de carga em detectores de CdZnTe, denominado método do deslizamento linear.

## **Abstract**

This work demonstrates the advantages of the radiation spectroscopy systems based on digital pulse processing techniques. The main elements of such a system are analysed and a few dedicated architectures are implemented and characterized.

The advantages of the digital pulse processing are demonstrated through the analysis of the problems connected to the building of the radiation spectra which have to do both with the signal as well as with the noise. In what concerns the signal, the transfer function of the system should be determined taking in account effects like pile-up, ballistic deficit, incomplete charge collection and also pole-zero cancellation and baseline restoration. Regarding to the noise, the system should be analysed considering both the detector and the associated electronic circuitry, including the input stage of the preamplifier. All together, these effects will contribute to the evaluation of the optimum weighting function taking in mind the needs of each application: optimisation of the signal-to-noise ratio, maximisation of the throughput, avoiding of the ballistic deficit or even a compromise between all these factors.

One of the fundamental components of a digital system is the digitalisation block composed by the analog-to-digital converters and the associated signal conditioning circuitry. An insight analysis of this block is made and it is demonstrated that an interleaving/multiplexing architecture exhibits an improved linearity that is particularly important in radiation spectroscopy applications.

Although not directly connected with the main purpose of this thesis, a brief survey of the conventional testing procedures used to characterize the digitisers is made and a new testing method is devised. It allows for the determination of the effective number of bits using a signal source noisier than the digitiser under test.

The characteristics of the digital spectrometers available on the market as well as of those presented in the literature are reviewed in order to identify both

their benefits and limitations and thus establishing the fundamental requirements that a digital pulse processing architecture should accomplish: automatic identification, digitization and storing of the incoming pulses and use of several levels of pulse buffering. Complying with these requirements it is assured that the computation time associated with the preparation of the pulses is deeply reduced. Simultaneously, the consequences of the random behaviour of the radioactive phenomena are eliminated in large extent by assuring that the DSP (digital signal processor) is continuously supplied with new data to process, so that no idle times will occur. This is a way of reducing dead time and assuring that almost all the available processing time is used to apply the optimum weighting function to each pulse and thus determining the radiation spectrum taking in account the best compromise between energy resolution and system throughput.

These fundamental requirements and the corresponding algorithms and implementation methods have been evaluated and refined with hardware previously developed in the Electronic and Instrumentation Group, namely using a DSP based hybrid architecture that contains both digital and analog building blocks.

As a corollary of these developments, a scalable multiprocessing architecture based on DSPs was designed and built. Its performance has been assessed mainly in terms of the attainable pulse throughput and of the possibility of setting up a system with much reduced or even null dead time. This digital spectrometer is also analysed as a real time system focusing in the characteristics and in the techniques that have been used to assure its proper and continuous operation as an autonomous and reliable system.

Finally, this work is concluded with the presentation of some developed algorithms and results obtained with solid state detectors. Special emphasis is devoted to an original method devised with the purpose of correcting the effect of the incomplete charge collection in CdZnTe detectors: the linear sliding method.