

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM

ĐẶNG LÀNH

**NGHIÊN CỨU, XÂY DỰNG HỆ THIẾT BỊ THU NHẬN VÀ
XỬ LÝ SỐ LIỆU DỰA TRÊN KỸ THUẬT DSP QUA ỨNG
DỤNG FPGA PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU VẬT LÝ HẠT NHÂN
THỰC NGHIỆM**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ

ĐÀ LẠT, 2013

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM

Đặng Lành

**NGHIÊN CỨU, XÂY DỰNG HỆ THIẾT BỊ THU NHẬN VÀ
XỬ LÝ SỐ LIỆU DỰA TRÊN KỸ THUẬT DSP QUA ỨNG
DỤNG FPGA PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU VẬT LÝ HẠT NHÂN
THỰC NGHIỆM**

Chuyên ngành: Vật lý Nguyên tử

Mã số: 62.44.01.06

LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ

Người hướng dẫn khoa học: PGS TS Nguyễn Nhị Điền

Đà Lạt, 2013

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu chủ yếu do tôi thực hiện dưới sự hướng dẫn khoa học của PGS TS Nguyễn Nhị Điền. Bên cạnh đó, tôi còn nhận được sự tham gia hỗ trợ đắc lực của các đồng nghiệp trong nhóm nghiên cứu. Các số liệu thực nghiệm và kết quả nghiên cứu nêu trong luận án chủ yếu tổng hợp từ các công trình nghiên cứu đã đăng tải trên các tạp chí, kỷ yếu hội nghị khoa học-công nghệ và không sao chép từ bất cứ công trình nào.

Tác giả

LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành luận án này tôi đã nhận được sự giúp đỡ của nhiều người.

Trước hết, tôi xin được bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến PGS TS Nguyễn Nhị Điền, Phó Viện trưởng Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam về việc Thầy đã định hướng đề tài khoa học, bình duyệt kết quả nghiên cứu, tận tình hướng dẫn và hết lòng giúp đỡ tôi suốt tiến trình thực hiện luận án.

Xin chân thành cảm ơn PGS TS Nguyễn Đức Hòa, Hiệu trưởng Trường Đại học Đà Lạt về việc Thầy đã truyền đạt cho tôi những kiến thức, kinh nghiệm quý báu và hỗ trợ tôi trong quá trình nghiên cứu.

Xin chân thành cảm ơn TS Phạm Đình Khang, Giám đốc Trung tâm Đào tạo hạt nhân, Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam về việc gợi ý nghiên cứu liên quan đến hướng phục vụ thực nghiệm vật lý hạt nhân, cũng như luôn tạo điều kiện thuận lợi cho tôi trong quá trình làm luận án.

Xin chân thành cảm ơn TS Nguyễn Xuân Hải, Giám đốc Trung tâm Đào tạo, Viện Nghiên cứu hạt nhân về việc bố trí thí nghiệm trên kênh và thảo luận thú vị về các hệ phổ kế dùng trong ghi-đo bức xạ ion hóa. Xin chân thành cảm ơn: ThS-NCS Nguyễn An Sơn, Trường Đại học Đà Lạt về những nỗ lực đáng kể trong phối hợp công việc, hợp tác nghiên cứu; ThS-NCS Phạm Ngọc Sơn, KSC-NCS Phạm Ngọc Tuấn, ThS-NCS Trần Tuấn Anh, CN Tưởng Thị Thu Hương, Phòng Vật lý và Điện tử hạt nhân về sự hợp tác có hiệu quả trong công việc.

Xin trân trọng cảm ơn Ban Lãnh đạo Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam, Ban Lãnh đạo Viện Nghiên cứu hạt nhân luôn ủng hộ, động viên, tạo mọi điều kiện để nghiên cứu sinh hoàn thành nhiệm vụ. Xin cảm ơn các anh, chị Phòng Vật lý và Điện tử hạt nhân, những đồng nghiệp đã tham gia trực tiếp hoặc gián tiếp trong các đề tài nghiên cứu khoa học-công nghệ liên quan đến luận án.

Nhân dịp này, tôi xin được gửi lời cảm ơn chân thành tới bạn hữu xa, gần về việc luôn chia sẻ tình cảm và giúp đỡ tôi những lúc khó khăn bằng khả năng cùng tâm tương ái.

Đà Lạt, ngày 26 tháng 12 năm 2013

Nghiên cứu sinh

THE ABSTRACT OF DOCTORAL THESIS

Author: **Dang Lanh**

Supervisor: Assoc Prof. Dr **Nguyen Nhi Dien**

Title of the thesis: *Studying on and the construction of DSP-based instruments via application of FPGA for experimental nuclear physics research.*

Major: Atomic Physics

Code: 62.44.01.06

Institution: Vietnam Atomic Energy Agency (VINATOM)

THE CONTENT OF THE ABSTRACT

1. The aim of the dissertation: The aim of the thesis is to study, design and fabricate some functional electronics modulars for radiation measurements and detection at the horizontal channels in DaLat research reactor by Digital Signal Processing (DSP) techniques via applications of Field Programmable Gate Arrays (FPGA).

2. Objectives: The objectives of the thesis is to focus on exploitation of Very high speed integrated circuit Hardware Description Language (VHDL) with mathematical algorithms for creating an FPGA entity to an integrated product that has flexible processing capabilities and entirely controlled by software.

3. Research methods as follows: Moving Window Deconvolution (MWD) method for re-constructing the charge of any radiation event interacted detector environment; Signal processing method before the conditioning stage (APP) for making an adaption bridge between time-variant analog domain with Infinite Impulse Response (IIR) and time-invariant digital domain with Finite Impulse Response (FIR); Digital Pulse Processing (DPP) method using Low Pass Filter (LPF), High Pass Filter (HPF) and High Pass Deconvolver (HPD) to convert energy information into trapezoidal signals, Digital Base Line Restorer (BLR) to stabilize spectra, Add-subtract units to detect peaks with pile-up rejection; Using Visual C++ and LabView to develop application procedures obtaining and control of data.

4. New contributions of the dissertation: 1) Research and application of Digital Pulse Processing (DPP) successfully, handling Analog Pulse Shape (ASP) from the radiation measurement detectors and quantizing signals through A/D conversion in development of digital instruments. 2) Design, fabrication of functional electronics modulars based on DSP via FPGA for domestic demands. 3) Development of the VHDL code to build MCAs in algorithms through ISE or Max+PlusII, and of the application programs under Windows in the object-oriented language VC++, LabView to acquire data.

5. Results of the dissertation: As to hardware, the thesis designed, constructed and gave a usage of the following instruments: FPGA-MCA8K, DSP-MCA1K, DSP-MCA8K modulars. All the instruments were capable of interfacing to PC via μ C. Related to self-executed software, the thesis developed digital procedures to digitize signals in FPGA entity via ISE-Xilinx, designed logic projects inside the FPGA with logic-linking method via Max+PlusII-Altera, created application programs named MCANRI and MCADSP for getting and processing data.

6. Conclusions: In the past, most of popular functional electronics modulars were normally based on traditional analog techniques, complicated and not convenient for use. This dissertation deals with a new design of contemporary techniques based on FPGA devices via DSP with VHDL. The outstanding advantage of DSP techniques and FPGA technology is capable of enhancement of the quality of the experimental measurements for nuclear radiation. The digital instruments are established with FPGA devices. One of the new development directions for building experimental systems of nuclear physics studies and applications of nuclear technology is utilization of FPGA and DSP techniques. This direction meets effectively the more increasing requirements on the accuracy of ionizing radiation measurements. Since that, a novel generation of spectrometry systems is compact on size, convenient in terms of connectivity and use. The outstanding advantage of DSP techniques and FPGA technology is capable of enhancement of the quality of the experimental measurements for nuclear radiation, minimization of functional electronics modules as well as the economic investment. Besides, an important element of the system based on DSP and FPGA is low power consumption to save energy that has a special meaning in large equipments. With these advantages, the applied research via FPGA, DSP in design and fabrication of radiation measurement instruments for fundamental research in nuclear physics, especially about the study of nuclear structure and data on neutron beams at the Dalat reactor and on the charged particle beam accelerators for domestic needs is essential.

Post-Graduate

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN.....	I
LỜI CẢM ƠN.....	II
THE ABSTRACT OF DOCTORAL THESIS.....	III
MỤC LỤC	V
BẢNG CHỮ VIẾT TẮT	X
DANH MỤC HÌNH	XV
DANH MỤC BẢNG	XIX
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1 VAI TRÒ CHỨC NĂNG CỦA DSP, FPGA VÀ THUẬT TOÁN ĐỂ PHÁT TRIỂN, ỨNG DỤNG THIẾT BỊ ĐIỆN TỬ HẠT NHÂN TRONG GHI- ĐO BỨC XẠ	4
1.1. Tình hình nghiên cứu, ứng dụng ở trong và ngoài nước	4
1.1.1. Tình hình nghiên cứu, ứng dụng ở ngoài nước.....	4
1.1.2. Tình hình nghiên cứu, ứng dụng ở trong nước	5
1.2. Vai trò chức năng của DSP và FPGA	6
1.2.1. Xử lý tín hiệu số (DSP).....	6
1.2.2. Mảng các phân tử logic có khả năng lập trình (FPGA).....	8
1.2.2.1. Giới thiệu.....	8
1.2.2.2. Tích hợp các chức năng của FPGA.....	9
1.3. Ứng dụng của DSP và FPGA trong thiết bị điện tử	10
1.4. Phương pháp điện tử kỹ thuật số	11
1.4.1. Phương pháp khử tích chập trong cửa sổ động (MWD) thực hiện thuật toán DSP	11
1.4.1.1. Giới thiệu.....	11
1.4.1.2. Tái cấu trúc điện tích của sự kiện	12
1.4.2. Phương pháp thiết kế bộ ghi-đo và xử lý tín hiệu bằng kỹ thuật DSP	17
1.4.2.1. Giới thiệu hệ phổ kế trên cơ sở DSP.....	17
1.4.2.2. Các tầng điện tử chính.....	17
1.4.2.3. Cấu trúc bộ tiền xử lý tương tự (APP) và dạng tín hiệu	18

1.4.2.4. Hình thành xung.....	19
1.4.2.5. Mạch hồi phục đường cơ bản (BLR)	21
1.4.2.6. Tác vụ chọn lựa xung.....	21
1.4.2.7. Khóa xóa và phân biệt thời gian tăng.....	23
1.4.3. Mô hình thuật toán DSP dùng trong thiết kế bộ ghi-đo bức xạ.....	24
1.4.3.1. Giới thiệu.....	24
1.4.3.2. Bộ tạo dạng xung số (DPS) hình thang.....	25
1.4.3.3. Nhận xét	27
1.4.4. Biến đổi A/D dựa trên phép khử tích chập trong cửa sổ động	27
1.4.4.1. Giới thiệu.....	27
1.4.4.2. Biến đổi A/D-Biểu diễn tương đương.....	27
1.4.5. Phương pháp liên kết cổng logic dùng FPGA trong Max+Plus II	29
1.5. Các bộ xử lý xung kiểu số (DPP) và bộ hình thành xung tương tự (APS). Ưu điểm của điện tử truyền thống và điện tử số.....	31
1.5.1. Sơ đồ cấu trúc của bộ DPP và bộ APS	31
1.5.2. Ưu và nhược của kỹ thuật lọc số	33
1.5.2.1. Đáp ứng xung hữu hạn (FIR).....	33
1.5.2.2. Hồi phục cạnh đỉnh phẳng và khả năng nhập/xuất dữ liệu của MCA .	33
1.6. Thuật toán xử lý số liệu thực nghiệm.....	35
1.6.1. Độ chuẩn xác của đỉnh khi có nền nhiễu	35
1.6.2. Độ phân giải năng lượng của đỉnh hấp thụ toàn phần	37
1.6.3. Tính các đường cong định chuẩn.....	37
1.6.4. Độ phi tuyến tích phân (INL)	37
1.6.5. Độ phi tuyến vi phân (DNL).....	38
Tóm tắt chương 1.....	38
CHƯƠNG 2 THIẾT KẾ, CHẾ TẠO CÁC KHỐI ĐIỆN TỬ CHỨC NĂNG CHO HỆ GHI-ĐO BỨC XẠ GAMMA VÀ NƠTRON.....	41
2.1. Thiết kế, chế tạo các khối thiết bị dùng FPGA, DSP ghép PC	41
2.1.1. Thiết kế-chế tạo khối FPGA-MCA8K.....	41
2.1.1.1. Phương pháp ứng dụng và sơ đồ tích hợp các bộ phận điện tử	41

2.1.1.2. Bộ xử lý trung tâm (CPU) và hoạt động của khối FPGA-MCA8K.....	43
2.1.1.3. Đặc trưng kỹ thuật của khối FPGA-MCA 8K đã chế tạo	44
2.1.2. Thiết kế-chế tạo khối DSP-MCA1K dùng FPGA nhờ VHDL	45
2.1.2.1. Sơ đồ tổng thể của thiết kế.....	45
2.1.2.2. Các thành phần vi mạch trong thực thể.....	46
2.1.2.3. Hình thành bộ nhớ kép (DPRAM) và ROM nhờ ISE.....	47
2.1.2.4. Hình thành bộ xử lý trung tâm (CPU).....	48
2.1.2.5. Xây dựng máy phát xung tam giác/hình thang bằng VHDL	49
2.1.2.6. Đặc trưng kỹ thuật của thiết bị DSP-MCA1K	49
2.1.3. Thiết kế, chế tạo khối DSP-MCA8K dùng FPGA.....	50
2.1.3.1. Sơ đồ khối của thiết bị DSP-MCA8K.....	50
2.1.3.2. Cấu trúc hệ thống của khối thiết bị DSP-MCA8K	50
2.1.3.3. Tầng xử lý tương tự-số có sử dụng bộ tiền lọc tương tự (APP)	52
2.1.3.4. Bộ khử tích chập bằng mạch lọc cao qua (HPD).....	53
2.1.3.5. Khối làm chậm và trộn tín hiệu.....	54
2.1.3.6. Bộ lọc thấp qua (LPF).....	55
2.1.3.7. Tầng phát hiện đỉnh, logic điều khiển và bộ nhớ phổ.....	56
2.1.3.8. Tầng giao diện giữa vi điều khiển EZ và thanh ghi/bộ nhớ.....	57
2.1.3.9. Các đặc trưng và tham số kỹ thuật của khối DSP-MCA8K	57
2.2. Đánh giá khả năng áp dụng các khối điện tử đã chế tạo trong cấu hình đo của hệ phổ kế trùng phùng	58
2.2.1. Một số cấu hình hệ đo trùng phùng γ - γ tại Viện NCHN	58
2.2.1.1. Cơ sở và phương pháp thiết kế	59
2.2.1.2. Thiết kế nguyên tắc cho hệ trùng phùng số ghi “ <i>sự kiện-sự kiện</i> ”	59
2.2.2. Khả năng áp dụng của một số khối điện tử đã chế tạo trong cấu hình của hệ đo trùng phùng	60
2.3. Thiết kế, chế tạo hệ ghi-đo neutron qua vi điều khiển dòng EZ-USB.....	60
2.3.1. Các thành phần thiết bị	61
2.3.2. Thiết kế, chế tạo khối MCA8K dùng vi điều khiển EZ-USB.....	61
2.3.3. Lưu đồ thuật toán.....	62

2.3.4. Đặc trưng kỹ thuật của hệ phổ kế ghi nơtron	63
2.4. Phát triển chương trình ứng dụng thu nhận dữ liệu cho hệ ghi-đo gamma và nơtron	64
2.4.1. Phát triển chương trình ứng dụng thu nhận dữ liệu MCANRI bằng VC ⁺⁺ . 64	
2.4.1.1. Lưu đồ thuật toán và giải thích lưu đồ	64
2.4.1.3. Chương trình lưu phổ.....	65
2.4.2. Phát triển chương trình ứng dụng dữ liệu DSPMCA bằng LabView.....	67
2.4.2.1. Hàm kết nối thiết bị.....	68
2.4.2.2. Các hàm điều khiển luồng dữ liệu	69
2.4.2.3. Phần mềm ứng dụng điều khiển thiết bị	70
2.4.3. Phát triển chương trình vi điều khiển bằng C Keil51	74
2.4.3.1. Chức năng của chương trình vi điều khiển bằng C Keil51.....	74
2.4.3.2. Lưu đồ thuật toán và giải thích lưu đồ	75
Tóm tắt chương 2.....	75
CHƯƠNG 3 KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN.....	77
3.1. Mục tiêu, đối tượng, vai trò của thủ tục kiểm tra thiết bị.....	77
3.2. Các thiết bị hỗ trợ kiểm tra và điều kiện tiên hành	78
3.3. Thí nghiệm kiểm tra các tham số đặc trưng kỹ thuật của thiết bị chế tạo.....	79
3.3.1. Kiểm tra chỉ số kênh của khối thiết bị	79
3.3.2. Kiểm tra độ phi tuyến vi phân (DNL)	80
3.3.2.1. Độ phi tuyến vi phân của khối FPGA-MCA8K (DNL _{FPGA-MCA8K}).....	80
3.3.2.2. Độ phi tuyến vi phân của khối DSP-MCA8K (DNL _{DSP-MCA8K}).....	82
3.3.3. Kiểm tra độ phi tuyến tích phân (INL)	84
3.3.3.1. Độ phi tuyến tích phân của khối FPGA-MCA8K (INL _{FPGA-MCA8K}).....	84
3.3.3.2. Độ phi tuyến tích phân của khối DSP-MCA8K (INL _{DSP-MCA8K})	86
3.3.4. Kiểm tra độ chuẩn xác về số đếm và tần suất dữ liệu vào-ra	87
3.3.4.1. Độ chuẩn xác về số đếm và tần suất dữ liệu vào-ra của khối FPGA-MCA8K.....	87
3.3.4.2. Độ chuẩn xác về số đếm và tần suất dữ liệu vào-ra của khối DSP-MCA8K.....	88