

Phát triển các hệ thống trigger, DAQ cho các hệ đo ghi nhận bức xạ hạt nhân sử dụng công nghệ nhúng FPGA

- Võ Hồng Hải
- Nguyễn Quốc Hùng
- Trần Kim Tuyết

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 21 tháng 12 năm 2016, nhận đăng ngày 30 tháng 10 năm 2017)

TÓM TẮT

Từ 2010, chúng tôi đã và đang phát triển các hệ thống xử lý Trigger, hệ thống thu thập dữ liệu DAQ (Data Acquisition) sử dụng công nghệ lập trình nhúng FPGA (Field-Programmable Gate Array) cho các hệ đo ghi nhận bức xạ hạt nhân. Chúng tôi đã phát triển các hệ đo như hệ đo ghi nhận bức xạ vũ trụ, hệ đo quan trắc phóng xạ môi trường khí, cũng như phát triển các thiết bị điện tử hạt nhân như bộ phân tích phổ MCA(Flash-ADC/FPGA), bộ phát xung chuẩn, bộ đếm xung. Trong bài báo này, chúng tôi phát

Từ khóa: FPGA, LabVIEW, bức xạ vũ trụ, quan trắc phóng xạ, NaI(Tl)

triển hai thí nghiệm nghiên cứu về ghi nhận bức xạ môi trường khí. Thí nghiệm ghi nhận bức xạ vũ trụ sử dụng detector nhấp nháy NaI(Tl) 7,6x76 cm và thí nghiệm quan trắc suất liều phóng xạ môi trường theo thời gian sử dụng detector khí Geiger-Müller. Để thiết lập các thí nghiệm này, các hệ thống xử lý trigger được phát triển dựa vào công nghệ nhúng FPGA. Việc thiết lập các thí nghiệm và đánh giá kết quả đo được sẽ được trình bày chi tiết trong bài báo.

MỞ ĐẦU

Tại một số phòng thí nghiệm (PTN) hạt nhân trên thế giới, công nghệ lập trình nhúng phần FPGA (Field-Programmable Gate Array) đã và đang được sử dụng ngày càng phổ biến trong việc phát triển các hệ thống xử lý trigger, hệ thống xử lý tín hiệu DAQ (Data Acquisition) dùng trong việc thiết lập các hệ đo ghi nhận bức xạ hạt nhân. Ở đó, hệ thống trigger là hệ thống “đánh dấu” hay “kích hoạt” bức xạ muốn ghi nhận, và hệ thống DAQ là hệ thống ghi nhận giá trị năng lượng bức xạ và lưu trữ dữ liệu. Do công nghệ nhúng FPGA có những ưu điểm như tốc độ xử lý nhanh, lập trình được, tiêu thụ điện năng thấp, nhỏ gọn và tính ổn định cao. Từ 2010, với sự hợp tác khoa học với nhóm giáo sư Masaharu Nomachi, thuộc trường đại học Osaka Nhật Bản, bộ môn Vật lý hạt nhân, trường đại học Khoa học

Tự nhiên, ĐHQG-HCM đã và đang phát triển các hệ thống trigger và DAQ sử dụng công nghệ nhúng FPGA để thiết lập các hệ đo ghi nhận bức xạ hạt nhân. Cụ thể, các hệ đo phát triển bao gồm hệ đo ghi nhận bức xạ vũ trụ [1], hệ phân biệt xung tín hiệu trong vật liệu dẫn sáng và vật liệu nhấp nháy của detector nhấp nháy plastic khi ghi nhận bức xạ vũ trụ [2], hệ đo đối trùng phùng triệt bức xạ vũ trụ trên detector gamma HPGe [3], hệ đo quan trắc phóng xạ môi trường khí [4], hệ đo đáp ứng phổ của bức xạ vũ trụ trên hệ phổ kế gamma HPGe trong vùng năng lượng lên đến 70 MeV [5], cũng như phát triển các thiết bị điện tử hạt nhân với bộ phân tích phổ MCA(Flash-ADC/FPGA) [6], bộ phát xung, bộ đếm xung, v.v. Hơn nữa chúng tôi có hợp tác với KEK (tổ chức nghiên cứu máy gia tốc năng lượng cao,

Nhật Bản) trong việc phát triển hệ thống DAQ cho nhiều detector. Trong bài báo này, chúng tôi trình bày các hệ đo ghi nhận bức xạ có trong môi trường tự nhiên. Cụ thể, xây dựng hai thí nghiệm (1) thí nghiệm đo đáp ứng phổ của bức xạ vũ trụ trên detector nhấp nháy NaI(Tl) có dạng hình trụ, kích thước 7,6x7,6 cm và (2) thí nghiệm đo quan trắc phóng xạ trong môi trường khí sử dụng detector Geiger-Müller. Ở thí nghiệm đo bức xạ vũ trụ trên detector NaI(Tl), Hình 1, sử dụng hai detector nhấp nháy plastic kích thước lớn để đánh dấu bức xạ vũ trụ. Hệ thống xử lý trigger dựa vào các module Gate/delay và module trùng phùng (Coin), Hình 2. Vùng năng lượng khảo sát cho thí nghiệm trên NaI(Tl) là từ 0,3 đến ~70 MeV. Ở thí nghiệm xây dựng hệ đo quan trắc phóng xạ môi trường khí như trình bày ở Hình 3; đối với thiết kế bộ giao tiếp điện tử, Hình 4, xây dựng các module như trigger, tích lũy số đếm, và truyền dữ liệu lên máy tính thông qua Wifi. Việc xây dựng hệ thống xử lý trigger cho thí nghiệm (1) và bộ giao tiếp điện tử cho thí nghiệm (2), sử dụng công nghệ nhúng FPGA.

VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

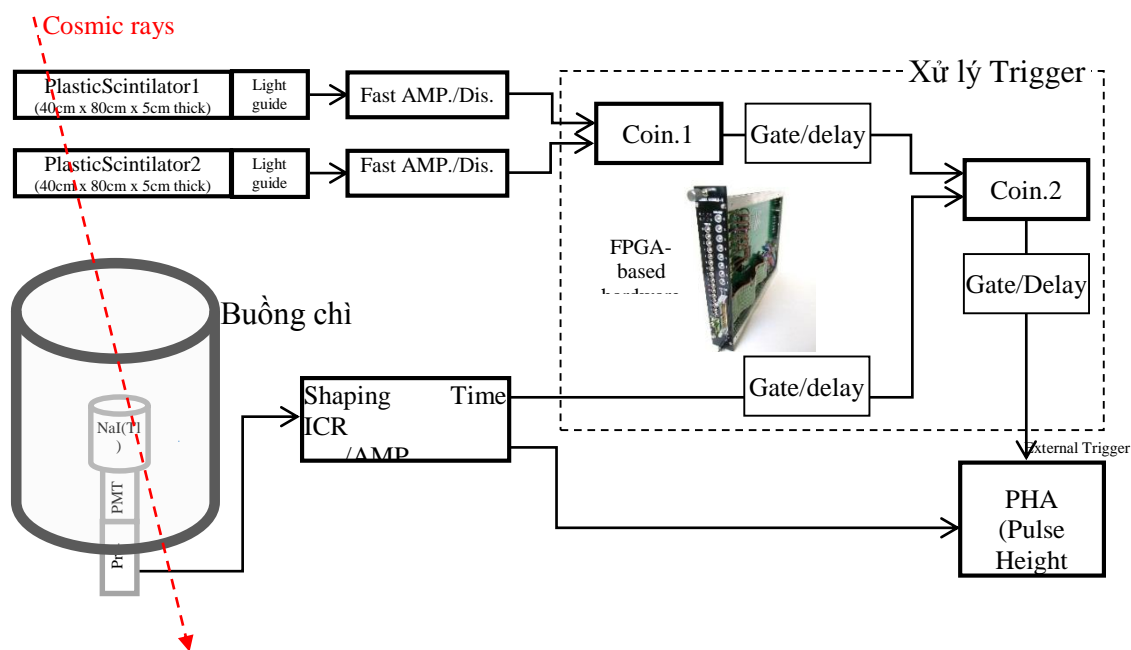
Thí nghiệm đo đáp ứng phổ của bức xạ vũ trụ trên detector nhấp nháy NaI(Tl)

Detector NaI(Tl) là dạng detector nhấp nháy được sử dụng trong việc ghi nhận phổ gamma có nhiều ứng dụng trong phân tích xác định đồng vị phóng xạ cũng như hoạt độ. Trong thí nghiệm này, chúng tôi thực hiện nghiên cứu ghi nhận thành phần bức xạ vũ trụ lên detector NaI(Tl), cụ thể là nghiên cứu dạng đáp ứng phổ của bức xạ vũ trụ lên detector NaI(Tl). Detector NaI(Tl) sử dụng có dạng hình trụ, kích thước 7,6x7,6 cm, loại 802 3x3 của hãng Canberra [7]. Đây là loại

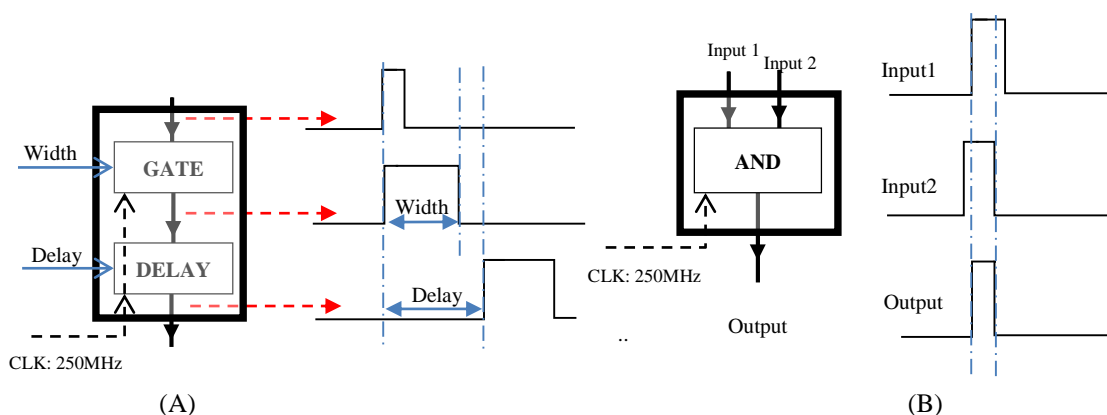
được sử dụng khá phổ biến trong các PTN hạt nhân. Hình 1 trình bày sơ đồ khối về thiết lập thí nghiệm. Để đánh dấu bức xạ vũ trụ tác động lên detector NaI(Tl), sử dụng hai detector nhấp nháy plastic (kích thước 40x80x3 cm dày), được đặt song song phía trên buồng chì. Ở đó, detector NaI(Tl) được đặt trong buồng chì. Sự kiện bức xạ vũ trụ sẽ được ghi nhận khi có trùng phùng giữa ba detector (hai detector nhấp nháy plastic và detector NaI(Tl)). Để trigger ghi nhận sự kiện này, một hệ thống trigger được xây dựng (khung gạch nét trong hình 1). Hệ thống trigger được thiết kế bao gồm các module Gate/delay và các module trùng phùng (Coin.1 và Coin.2). Tín hiệu trigger lối ra được đưa vào External Trigger của bộ phân tích độ cao xung PHA (Pulse Height Analysis) để ghi nhận xung tín hiệu từ detector NaI(Tl). Các module Gate/delay và module Coin với nguyên lý thiết kế trong FPGA được trình bày như Hình 2A và 2B tương ứng.

Đối với module Gate/delay, tín hiệu có thể được mở rộng và delay thông qua các tham số đưa vào Width và Delay. Đối với module Coin, toán tử AND được sử dụng cho các input. Các module này, được điều khiển với xung clock 250 MHz với độ chính xác về mặt thời gian là 4 ns.

Hệ thống trigger này được phát triển dựa vào công nghệ nhúng FPGA, thông qua một chương trình nhúng VHDL được xây dựng và nhúng vào module phần cứng FPGA (chip Altera) [8]. Thiết bị phần cứng FPGA (thiết bị như trong Hình 1) là chương trình hợp tác tài trợ khoa học giữa giáo sư Masaharu Nomachi, Trường Đại học Osaka, Nhật Bản với Bộ môn Vật lý Hạt nhân, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM.



Hình 1. Sơ đồ khối thiết kế cho thí nghiệm đo đáp ứng phổ của bức xạ vũ trụ lên detector NaI(Tl). Hệ thống xử lý trigger đánh dấu bức xạ vũ trụ (trong khung đường đứt nét) được thiết kế dựa trên công nghệ nhúng FPGA



Hình 2. Sơ đồ khối của module Gate/delay (A) và module Coin (B) được phát triển bởi nhúng FPGA

Xây dựng hệ đo quan trắc phóng xạ môi trường theo thời gian

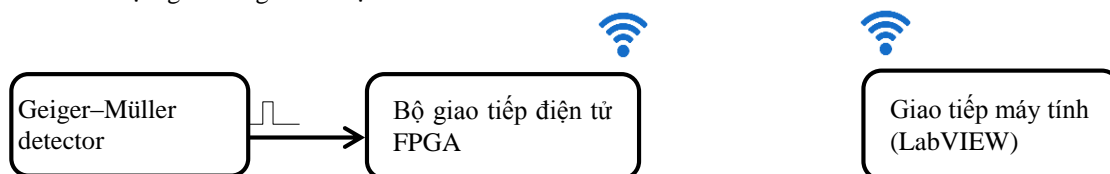
Hệ đo quan trắc phóng xạ môi trường khí được thiết kế như sơ đồ khối Hình 3. Hệ đo bao gồm các thiết bị: (1) detector khí Geiger-Müller, (2) bộ giao tiếp điện tử FPGA và (3) giao tiếp máy tính LabVIEW. Khi bức xạ được ghi nhận bởi detector khí Geiger-Müller, xung tín hiệu ra từ detector, có dạng xung logic với độ rộng xung ~100 μ s, được kết nối với lối vào của bộ giao tiếp

điện tử FPGA. Bộ giao tiếp này sẽ xử lý trigger cạnh lên/cạnh xuống xung tín hiệu và mã hóa/tích lũy thành số đếm, lưu vào bộ nhớ, tính toán số đếm, tốc độ đếm (CPS, CPM). Dữ liệu số đếm sẽ được truyền đến máy tính thông qua đường truyền không dây Wifi.

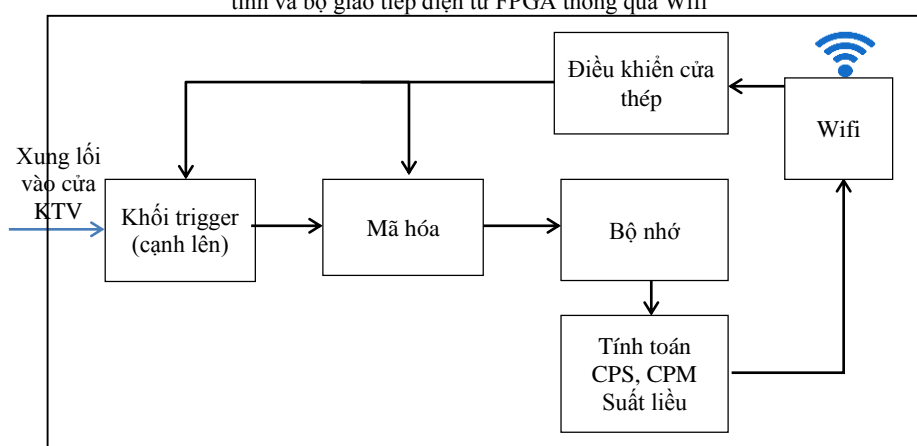
Để xây dựng bộ giao tiếp điện tử FPGA, một chương trình nhúng VHDL cho chip FPGA đã

được đề nghị. Sơ đồ khối firmware được trình bày như trong Hình 4. Cấu trúc của chương trình nhúng được thiết kế bao gồm các khối: khối trigger, khối mã hóa thành số đếm, khối bộ nhớ, khối điều khiển và khối Wifi. Khi xung tín hiệu từ detector khí đi vào khối trigger, tín hiệu sẽ được ghi nhận và mã hóa thành số đếm. Dữ liệu số đếm được ghi trong khối bộ nhớ và sau đó

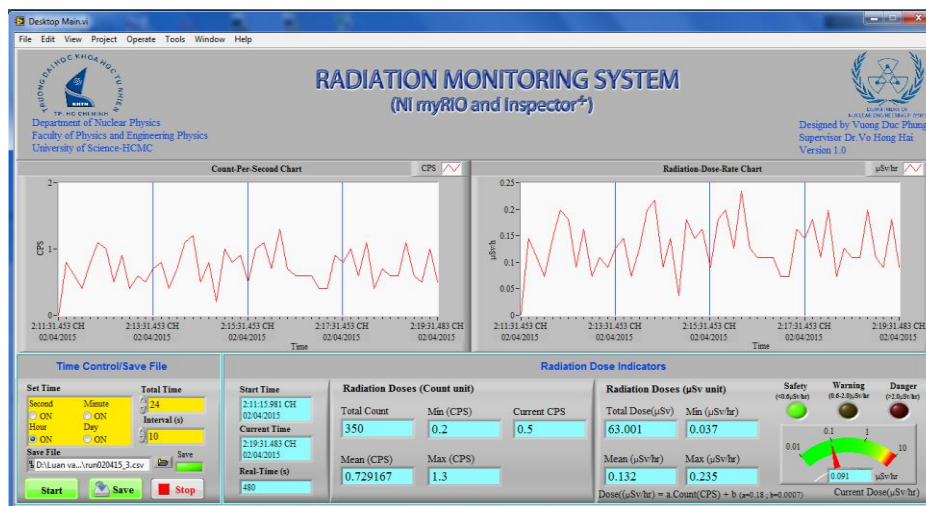
truyền dữ liệu lên máy tính thông qua khối Wifi. Bộ điều khiển, với các thông số input nhập từ máy tính, cho phép cài đặt các thông số như reset, tổng thời gian đo, tốc độ đo, khoảng thời gian truyền dữ liệu. Phần cứng sử dụng để xây dựng bộ giao tiếp điện tử là thiết bị NI –MyRIO, với chip Xilinx [9].



Hình 3. Sơ đồ thiết lập hệ đo quan trắc phóng xạ môi trường theo thời gian. Điều khiển và truyền dữ liệu giữa máy tính và bộ giao tiếp điện tử FPGA thông qua Wifi



Hình 4. Bộ giao tiếp điện tử được phát triển bởi FPGA dùng cho hệ đo quan trắc quan trắc phóng xạ môi trường



Hình 5. Giao diện máy tính LabVIEW được thiết kế cho hệ đo quan trắc phóng xạ môi trường

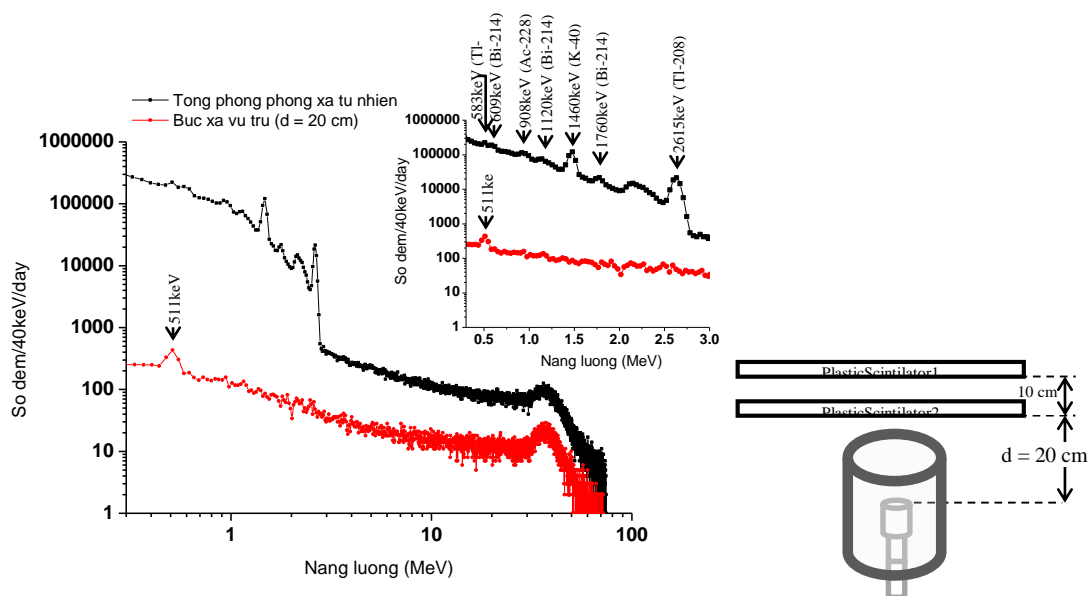
Để điều khiển và ghi nhận số liệu từ bộ giao tiếp điện tử FPGA đến máy tính, giao diện giao tiếp máy tính LabVIEW được xây dựng. Hình 5 là giao diện giao tiếp LabVIEW giữa thiết bị giao tiếp điện tử FPGA với máy tính được thiết kế trên nền LabVIEW™ [10]. Giao diện này có chức năng điều khiển thiết bị điện tử như cài đặt thời gian đo, khoảng thời gian lấy mẫu, cũng như ghi nhận dữ liệu (số đếm) theo mỗi khoảng thời gian, dữ liệu (số đếm, CPM, CPS, $\mu\text{Sv/h}$) được hiển thị dưới dạng đồ thị và có thể lưu lại dưới dạng ASCII.

KẾT QUẢ

Kết quả thí nghiệm đo đáp ứng phổ của bức xạ vũ trụ lên detector NaI(Tl)

Đường màu đỏ trong Hình 6 là kết quả dạng đáp ứng phổ của bức xạ vũ trụ ghi nhận bởi detector NaI(Tl). Vị trí detector NaI(Tl) được đặt cách detector nhấp nháy 2 là $d=20$ cm. Vùng năng lượng khảo sát được thiết lập từ 0,3 đến ~ 70 MeV. Kết quả cho thấy, bức xạ vũ trụ có thể tác động đến detector NaI(Tl) với kích thước dày 7,6

cm có năng lượng để lại lớn nhất là ~ 70 MeV. Dãy phổ ghi nhận thể hiện là dạng phổ liên tục từ 0,3 đến ~ 70 MeV, và trên phổ nhận thấy có 2 vùng đỉnh năng lượng, đỉnh 0,511 MeV và vùng đỉnh 37 MeV. Vùng đỉnh 0,511 MeV có thể là do hủy cặp giữa electron và positron gây ra bởi bức xạ hãm khi bức xạ vũ trụ tương tác với buồng chì. Vùng đỉnh 37 MeV là do bức xạ vũ trụ tương tác trực tiếp với hướng trực diện vào bề mặt detector NaI(Tl). Với thí nghiệm này, phổ phong môi trường trên detector NaI(Tl), với vùng năng lượng khảo sát từ 0,3 đến 70 MeV cũng được ghi nhận. Kết quả cho thấy (đường màu đen trong Hình 6), ở vùng năng lượng dưới 3 MeV, phóng xạ môi trường xung quanh do các đồng vị phóng xạ có trong môi trường ảnh hưởng rất nhiều vào detector, ở vùng năng lượng trên 3 MeV, dạng phổ thể hiện tương tự như đường màu đỏ. Do đó, có thể thấy rằng, vùng năng lượng trên 3 MeV ghi nhận bởi detector NaI(Tl) chủ yếu là bức xạ vũ trụ.



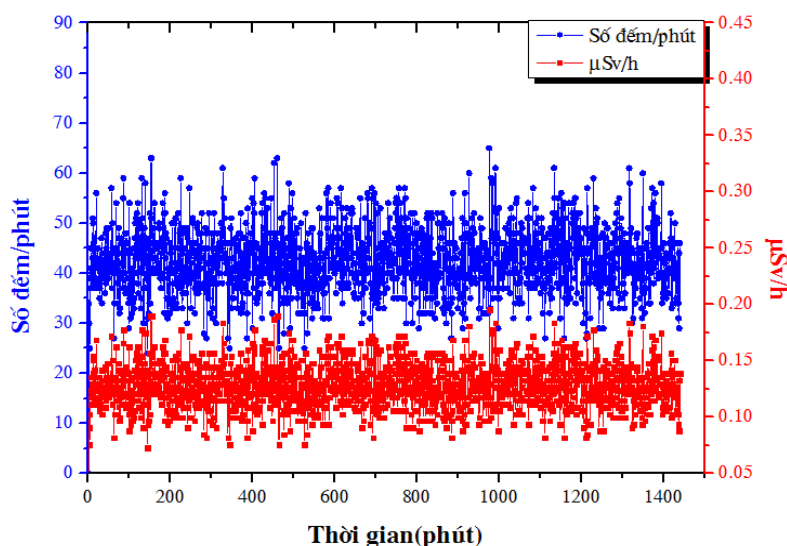
Hình 6. Đáp ứng phổ của bức xạ vũ trụ lên detector NaI(Tl) 7,6 x 7,6 cm
Số liệu màu đỏ là kết quả đo đáp ứng phổ của bức xạ vũ trụ với $d=20$ cm
Số liệu màu đen là kết quả đo phổ phong môi trường được ghi nhận bởi NaI(Tl)

Kết quả quan trắc phóng xạ môi trường khí

Sau khi xây dựng hệ đo quan trắc phóng xạ môi trường, chúng tôi thực hiện khảo sát đo phóng xạ tại một phòng thí nghiệm của Bộ môn Vật lý hạt nhân, thuộc Trường Đại học Khoa Học Tự nhiên, ĐHQG-HCM. Chúng tôi khảo sát PTN. Hạt nhân đại cương, nơi có chứa một số nguồn phóng xạ chuẩn sử dụng cho thực tập sinh viên. Hệ thống detector được đặt tại vị trí sinh viên làm thực tập. Khoảng thời gian đo liên tục kéo dài 24 tiếng liên tục từ 9 giờ sáng đến 9 giờ sáng ngày hôm sau. Hình 7 là kết quả về suất liều phóng xạ theo thời gian với đơn vị đo số đếm/phút và $\mu\text{Sv/h}$, tương ứng với trục tung bên trái và bên phải. Dựa vào số liệu ta thấy, suất liều

dao động từ 0,10 $\mu\text{Sv/h}$ đến 0,15 $\mu\text{Sv/h}$, với giá trị trung bình là 0,12 $\mu\text{Sv/h}$. Với số liệu có được, có thể đánh giá PTN là an toàn về phóng xạ, so với tiêu chuẩn Ủy ban An toàn Bức xạ Quốc tế ICRP (International Commission on Radiation Protection) [11] (an toàn cho người dân là liều giới hạn là 5 mSv/năm (tương đương 0,57 $\mu\text{Sv/giờ}$)).

Với kết quả của thí nghiệm này, hệ thống đo quan trắc phóng xạ có thể được đặt gần nguồn phóng xạ, hệ thống quan sát (máy tính) có thể đặt xa nơi quan trắc, dữ liệu sẽ được truyền qua đường truyền không dây Wifi và quan sát liên tục theo thời gian.



Hình 7. Kết quả quan trắc phóng xạ môi trường khí tại PTN. Vật lý hạt nhân đại cương, trường ĐH. KHTN, ĐHQG-HCM

KẾT LUẬN

Chúng tôi đã thực hiện phát triển các hệ đo ghi nhận bức xạ vũ trụ và suất liều phóng xạ có trong môi trường khí. Để ghi nhận bức xạ vũ trụ trên detector NaI(Tl) 7,6x7cm, một hệ thống xử lý trigger FPGA được phát triển với các module Gate/delay và Coin, cho phép thực hiện trùng phùng các detector NaI(Tl) và nhấp nháy plastic. Để xây dựng hệ thống trigger này, một chương

trình nhúng, được viết trên ngôn ngữ VHDL, được nhúng vào thiết bị phần cứng FPGA (chip Altera), cho phép trigger thiết bị MCA ghi nhận thành phần bức xạ vũ trụ. Chúng tôi thực hiện thí nghiệm nghiên cứu đáp ứng phổ bức xạ vũ trụ trên detector NaI(Tl) với vùng năng lượng khảo sát từ 0,3 đến ~70 MeV. Ở thí nghiệm quan trắc suất liều phóng xạ môi trường theo thời gian, bộ

giao tiếp điện tử FPGA, trên thiết bị phần cứng NI –MyRIO (chip Xilinx). Thiết bị này cho phép ghi nhận tín hiệu từ detector GM và truyền dữ liệu CPM và suất liều lên máy tính thông qua đường truyền Wifi. Với hệ đo này, thực hiện đo suất liều phòng môi trường cho PTN. Hạt nhân đại cương, nơi có chứa một số nguồn phóng xạ chuẩn sử dụng cho thực tập sinh viên.

Với công nghệ nhúng FPGA, hệ đo này nhỏ gọn, giảm kinh phí rất nhiều so với phương pháp

truyền thống sử dụng công nghệ NIM và CAMAC.

Lời cảm ơn: Đề tài nằm trong tài trợ của Quỹ phát triển khoa học và Công nghệ quốc gia Nafosted với mã số đề tài: 103.04-2015.103. Chúng tôi cũng gửi lời cảm ơn đến nhóm GS. Masaharu Nomachi trong việc hỗ trợ phần cứng FPGA, GS. Pierre Darriulat trong việc hỗ trợ hai detector nhấp nháy plastic và Bộ môn Vật lý Hạt nhân, Khoa Vật lý-VLKT tạo điều kiện trong việc triển khai các thí nghiệm.

Development of triggering and DAQ systems for radiation detectors using FPGA technology

- Vo Hong Hai
- Nguyen Quoc Hung
- Tran Kim Tuyet

University of Science, VNU-HCM

ABSTRACT

Field-programmable gate array (FPGA) technology has been widely used in setting up triggering systems and DAQ systems for radiation detectors, because it has several advantages such as fast digital processing, compact, programmable and high stability. Since 2010, with we have developed FPGA-based trigger systems and FPGA-based DAQ systems used for radiation detectors. Triggering systems for cosmic ray measurements, readout electronic for environmental radiation monitor in air. We

also developed nuclear electronic equipment such as spectrum analyzer MCA (Flash-ADC/FPGA based), the pulse generator, counters, readout electronic for multiple radiation sensors. In this paper, we present two experiments, on the cosmic-ray induced response on the NaI(Tl) detector and environmental radiation monitoring system. For those experiments, trigger system are built by FPGA-based technology.

Từ khóa: FPGA, LabVIEW, cosmic rays, radiation monitoring, NaI(Tl)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. V.H. Hai, N.Q. Dao, M. Nomachi, Cosmic ray angular distribution employing plastic scintillation detectors and Flash-ADC/FPGA-based readout systems, *Independent Journal for Nuclear Engineering Kerntechnik*, 77, 6, 462–464 (2012).
- [2]. N.Q Hung, V.H Hai, M. Nomachi, N.T. Tin, Discrimination of cosmic-ray in scintillation region and light-guide for plastic scintillation detectors using 5GSPS readout system, *Nuclear Science and Technology*, 5, 3, 32–37 (2015).
- [3]. N.Q. Hung, V.H Hai, T.K. Tuyet, H. L. Tuan, A low background gamma ray spectrometer with antic cosmic shielding, *Communications in Physics*, 26, 1, 93–97 (2016).

- [4]. D.T.T. Nhan, V.H. Hai, N.Q. Hung, Xây dựng hệ đo quan trắc phóng xạ môi trường sử dụng detector suất liều inspector và hệ điện tử FPGA, *Tạp chí Phát triển Khoa học & Công nghệ - ĐHQG TP.HCM*, 18, 4, 29–35 (2015).
- [5]. N.Q. Hung, V.H. Hai, Masaharu Nomachi, Investigation of cosmic-ray induced background of Germanium gamma spectrometer using GEANT4 simulation, *Applied Radiation and Isotopes*, 121, 87–90 (2017).
- [6]. V.H. Hai, N.Q. Hung, B.T. Khai, Development of gamma spectroscopy employing NaI(Tl) detector 3inch x 3inch and readout electronic of flash-ADC/FPGA based technology, *Independent Journal for Nuclear Engineering Kerntechnik*, 80, 2, 180–183 (2015).
- [7]. <http://www.canberra.com/products/detectors/scintillation-detectors.asp>.
- [8]. Logic Trigger Interface (FPGA Altera-chip Hardware). The collaboration program between Graduate School of Science, Osaka University and Faculty of Physics, University of Science-HCMC.
- [9]. <http://www.ni.com/myrio>.
- [10]. NI labVIEW software, National Instruments Corp., [Online]: <http://www.ni.com/labview/>.
- [11]. Ủy ban An toàn Bức xạ Quốc tế ICRP (International Commission on Radiation Protection), [online]: <http://icrp.org/index.asp>.