



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การพัฒนาเครื่องสำรวจรังสีที่ทำงานร่วมกับเครื่องเล่นเกมบอย

Development of a game boy based radiation survey meter

ปิยเทพ ชอบท่ากิจ, เดโช ทองอร่าม* และ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ

Piyathep Chobthumkit, Decho Thong-Aram* and Suvit Punnachaiya

ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10330

Received November 2011

Accepted January 2012

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องสำรวจรังสีที่ทำงานร่วมกับเครื่องเล่นเกมบอยสำหรับการวัดอัตราปริมาณรังสี โดยออกแบบให้สามารถวัดอัตราการรับปริมาณรังสี (exposure rate) ในย่าน 0-100 mR/hr และวัดอัตรานับรังสี (count rate) ในย่าน $0-5.5 \times 10^4$ CPM แสดงผลบนหน้าจอของเครื่องเล่นเกมบอย โดยสเกลย่านวัดเปลี่ยนได้ อัตโนมัติ 3 ย่าน ระบบวัดรังสีประกอบด้วยส่วนสำคัญหลัก 4 ส่วน ได้แก่ หัววัดรังสีไกเกอร์มูลเลอร์แบบหน้าต่างบาง แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง ส่วนปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์และส่วนเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างระบบวัดรังสีกับเครื่องเล่นเกมบอยในรูปของตลับเกมที่อาศัยการทำงานร่วมกันด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A และ PSD813F2 จากการประยุกต์ใช้เครื่องเล่นเกมบอยทำงานร่วมกับระบบวัดรังสีที่พัฒนาขึ้นพบว่าส่วนแสดงผลกราฟฟิคของเครื่องเล่นเกมบอยมีความยืดหยุ่นในการออกแบบส่วนแสดงผลทั้งอนาลอกและดิจิทัล พร้อมทั้งตัวอักษรของหน่วยวัดและมีเตอร์เข็ม อีกทั้งยังสามารถใช้ปุ่มฟังก์ชันและแป้นสวิตช์บนเครื่องเล่นเกมบอยในการควบคุมการทำงานของระบบวัดรังสีทำให้ประหยัดและใช้งานง่าย มีอัตราการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า 296 mW สามารถใช้งานต่อเนื่องได้นาน 8 ชั่วโมง เมื่อใช้กับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนขนาดความจุ 700 mA-hr สำหรับผลทดสอบการวัดอัตราการรับปริมาณรังสีที่พลังงาน 662 keV จากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานซีซีเอ็ม-137 ที่ค่าเต็มสเกลในย่าน (100 mR) $\times 0.01$, $\times 0.1$ และ $\times 1$ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า ± 2.2 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ระบบวัดรังสีที่พัฒนาขึ้นยังสามารถใช้ตรวจวัดอัตรานับรังสีแอลฟาและบีตาได้

คำสำคัญ: เครื่องสำรวจรังสี เครื่องเล่นเกมบอย ไมโครคอนโทรลเลอร์ อัตราการรับปริมาณรังสี หัววัดรังสีไกเกอร์มูลเลอร์

*Corresponding author. Tel.: 02-218-6772

Email address: Decho.T@chula.ac.th

Abstract

This research aimed to develop a game boy based radiation survey meter for radiation dose rate measurement. The measuring range of exposure rate in the range of 0-100 mR/hr and count rate in the range of 0-5.5 x10⁴ CPM were designed to display on the game boy monitor with 3 automatically ranges changing. The system composed of 4 main parts: e.g., the thin window Geiger Muller detector, high voltage power supply, signal pulse shaper and interfacing part for communication between radiation counter and game boy in form of a plug-in game cartridge under the cooperation of microcontroller PIC16F877A and PSD813F2. By applying a game boy as a base operation of the developed radiation survey meter, it was found that the graphic display utility gave high flexible support in analog and digital display designing, both alpha-numerical measuring unit and analog meter. Moreover the function and joy stick keys were useful for assigning the control functions of measuring system, resulted in affordable and ease of use. The power consumption was 296 mW and with 700 mA-hr Li-ion battery, the continuous operation last 8 hours. For the exposure rate calibration using a 662 keV of cesium-137 standard source, it was found that at exposure rate range, e.g. (100 mR) x0.01, x0.1, and x1 gave measuring errors of less than $\pm 2.2\%$. In addition, the developed system could be used for measurement a counting rate of alpha and beta radiations.

Keywords: Survey meter, Game boy, Microcontroller, Exposure rate, Geiger Muller counter

1. บทนำ

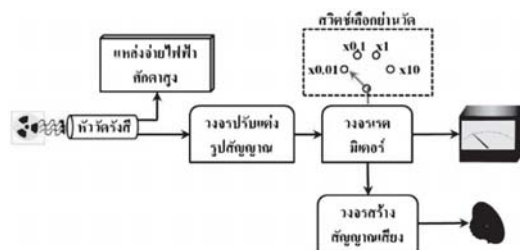
เครื่องสำรวจรังสี (survey meter) เป็นเครื่องมือวัดนิวเคลียร์ที่จำเป็นสำหรับการวัดอัตราปริมาณรังสีด้านความปลอดภัยในการปฏิบัติงานทางรังสี ประเทศไทยมีการใช้สารกัมมันตรังสีชนิดต่างๆ อย่างกว้างขวางในด้านการแพทย์และอุตสาหกรรมทั้งภาครัฐและเอกชน อย่างไรก็ตามรังสีนั้นให้ทั้งประโยชน์และโทษ จึงต้องระมัดระวังในการควบคุมดูแล ปัจจุบันมีแนวโน้มในการนำสารกัมมันตรังสีมาใช้งานเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้มีโอกาสเสี่ยงสูงที่สารกัมมันตรังสีอาจจะปะปนกับขยะและหลุดลอดสู่ชุมชนได้นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ที่มีสารกัมมันตรังสีปะปนอยู่ตามธรรมชาติสูงออกมาจำหน่าย โดยประชาชนในชุมชนไม่สามารถทราบได้เลยว่าผลิตภัณฑ์หรือบริเวณพื้นที่อยู่อาศัยมีสารกัมมันตรังสีคุกคามอยู่ ดังนั้นการเรียนรู้เพื่อกระตุ้นให้เกิดการตื่นตัวในการวัดรังสี

เบื้องต้น จึงเป็นกิจกรรมที่จำเป็น อันจะช่วยส่งผลทางอ้อมในการเข้าใจเรื่องพลังงานนิวเคลียร์ด้วยเครื่องมือสำคัญที่จะสนับสนุนการเรียนรู้ คือ เครื่องสำรวจรังสี แต่เนื่องจากมีราคาแพงไม่สามารถจัดหาในปริมาณมากมาใช้งานได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องสำรวจรังสีสำหรับงานวัดรังสีทั่วไปที่มีราคาประหยัด ใช้งานง่ายและมีจุดดึงดูดความสนใจขึ้นมาใช้เอง จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าได้มีการพัฒนาเครื่องนับรังสีที่ทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ [1] แต่มีขนาดใหญ่จึงไม่เหมาะกับการใช้งานนอกสถานที่ ผู้วิจัยเห็นว่าเครื่องเล่นเกมบอยเป็นที่รู้จักของประชาชนทั่วไปและยังเป็นที่นิยมเล่นกันอย่างแพร่หลาย จึงได้นำเอาเครื่องเล่นเกมบอยมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเป็นเครื่องสำรวจรังสีที่มีราคาประหยัดและใช้งานง่าย [2, 3] โดยยังคงสภาพการทำงานเดิมของเครื่องเล่นเกมบอยอยู่ เพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้

เล่นเกมได้

2. ขั้นตอนการออกแบบและสร้าง

2.1 โครงสร้างของเครื่องสำรวจรังสี

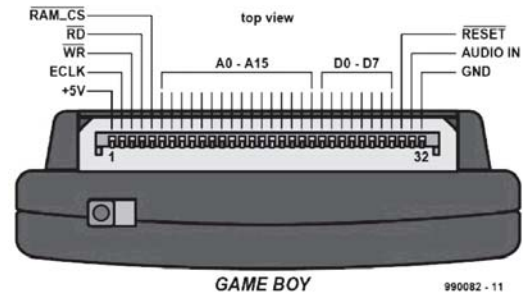


รูปที่ 1 แผนภาพของเครื่องสำรวจรังสีทั่วไป [4]

การทำงานเบื้องต้นเมื่อรังสีเข้าสู่หัววัดไกเกอร์มูลเลอร์ที่รับการไบอัสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง จะกำเนิดสัญญาณพัลส์ส่งให้วงจรปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์แบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) ให้เป็นสัญญาณลอจิก เพื่อไปกระตุ้นให้กำเนิดสัญญาณเสียงตามอัตรานับรังสีและแปลงอัตรานับรังสีเป็นระดับศักดาไฟฟ้าเพื่อแสดงผลด้วยมิเตอร์เข็มที่ย่านวัดอัตราปริมาณรังสีต่างๆ สำหรับการพัฒนาเครื่องสำรวจรังสีในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์เครื่องเล่นเกมบอยให้ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในการวัดอัตราปริมาณรังสีและแสดงผล มีผลให้ส่วนของระบบวัดรังสีเหลือเพียง หัววัดไกเกอร์มูลเลอร์ แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงและวงจรปรับแต่งรูปสัญญาณ

2.2 เครื่องเล่นเกมบอย

เครื่องเล่นเกมบอยที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้เป็นรุ่นเกมบอยแอดวานซ์เอสพี ซึ่งเป็นลิขสิทธิ์ของบริษัทนินเทนโด สามารถเชื่อมต่อสัญญาณแบบขนาน (parallel) ผ่านทางตลับเกมโดยมีหัวต่อสัญญาณ



รูปที่ 2 หัวต่อสำหรับตลับเกมบอย

จากรูปที่ 2 หัวต่อที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อสัญญาณกับอุปกรณ์ภายนอกประกอบด้วย

- บัสแอดเดรสขนาด 16 บิต (A0-A15)
- บัสข้อมูลขนาด 8 บิต (D0-D7)
- บัสควบคุมขนาด 6 บิต

2.3 โปรแกรมเมเบิลซิสเต็มดีไวซ์

โปรแกรมเมเบิลซิสเต็มดีไวซ์; พีเอสดี (PSD813F2) เป็นไอซีที่มีความเหมาะสม สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณกับเครื่องเล่นเกมบอยเนื่องจากสามารถกำหนดฟังก์ชันการทำงานของไอซีนี้กับไมโครโปรเซสเซอร์ [5] ภายในของเครื่องเล่นเกมบอยได้ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยโครงสร้างภายในของไอซี PSD813F2 ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

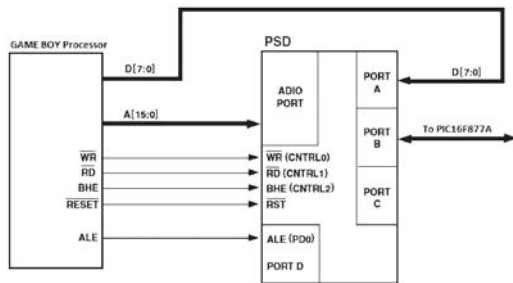
(1) บัสแอดเดรสและบัสข้อมูลที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับไมโครโปรเซสเซอร์ของเกมบอยได้โดยตรง

(2) อินพุตและเอาต์พุตพอร์ตสำหรับต่อใช้งานภายนอก

(3) หน่วยความจำชนิด RAM ขนาด 2 กิโลไบต์

(4) หน่วยความจำชนิด FLASH ขนาด 128 กิโลไบต์

(5) โปรแกรมเมเบิลลอจิกดีไวซ์ทั้งแบบ PLD และ CPLD สำหรับถอดรหัสการอ้างแอดเดรสและ



รูปที่ 3 คอนฟิกูเรชันของไอซีพีเอสดีที่ออกแบบขึ้น[5]

ไอซีพีเอสดีสามารถออกแบบฟังก์ชันการทำงานตามต้องการได้โดยการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา ABEL-HDL ซึ่งเป็นภาษาทางด้านฮาร์ดแวร์ ทำให้ง่ายต่อการออกแบบฟังก์ชันการทำงานในแต่ละพอร์ตด้วยโปรแกรม PSD Soft express ซึ่งฟังก์ชันและคอนฟิกูเรชัน (configuration) ที่ได้ออกแบบไว้แสดงดังรูปที่ 3 จากนั้นนำไปคอมไพล์ให้เป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .gb ซึ่งเป็นไฟล์สำหรับเครื่องเล่นเกมบอย

2.4 การพัฒนาส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกใช้ไอซีเบอร์ PIC16F877A ของบริษัทไมโครชิพ นำมาออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของระบบนับสัญญาณพัลส์พร้อมทั้งตั้งเวลาและจัดการส่งข้อมูลอัตรานับรังสี [6, 7] ที่ได้จากหัววัดรังสีหลังผ่านวงจรปรับแต่งรูปสัญญาณ เข้าประมวลผลบนเครื่องเล่นเกมบอย เพื่อแสดงผลบนหน้าจอเครื่องเล่นเกมบอย ผ่านทางพอร์ตบี (PORT B) ของไอซีโปรแกรมเมเบิลซิสเต็มดีไวส์

2.5 เครื่องสำรวจรังสีที่ทำงานร่วมกับเครื่องเล่นเกมบอย

จากข้อมูลของระบบที่กล่าวมาในข้างต้นได้ถูกนำมาใช้ออกแบบและสร้างเครื่องสำรวจรังสีที่สามารถ

วัดอัตราการรับปริมาณรังสี (exposure rate) ได้ในย่าน 0-100 mR/hr และวัดอัตรานับรังสี (count rate) ได้ในย่าน 0-5.5 x10⁴ CPM แสดงผลบนหน้าจอของเครื่องเล่นเกมบอย โดยสามารถปรับสเกลย่านวัดได้อัตโนมัติ 3 ย่านวัด (100 mR) x0.01, x0.1 และ x1 ซึ่งโครงสร้างของระบบที่ออกแบบขึ้นแสดงดังแผนภาพในรูปที่ 4 ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

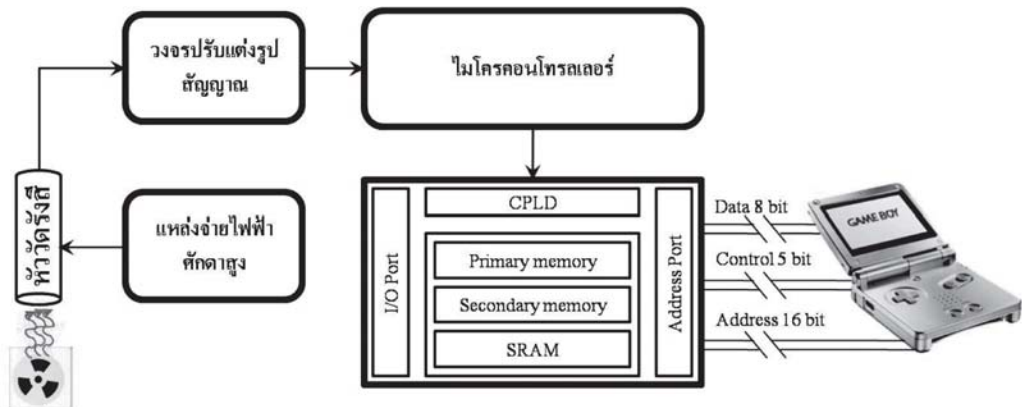
(1) หัววัดรังสีชนิดไทเกอร์มูลเลอร์แบบหน้าต่างบางของ LND รุ่น 712 ที่มีความสามารถในการตรวจวัดทั้งรังสี แอลฟา บีตา และแกมมา

(2) แหล่งจ่ายไฟฟ้าคิกดาสูง ที่สามารถปรับค่าศักดาไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1,000 โวลต์ จ่ายกระแสได้สูงสุด 250 ไมโครแอมแปร์ สำหรับให้ไบอัสหัววัดรังสี

(3) วงจรปรับแต่งรูปสัญญาณ ทำหน้าที่ปรับแต่งรูปสัญญาณจากหัววัดรังสี ซึ่งมีรูปสัญญาณพัลส์แบบเอกซ์โพเนนเชียล ขั้วลบให้เป็นสัญญาณพัลส์ลอจิกขั้วบวก ป้อนให้กับวงจรนับจำนวนสัญญาณพัลส์และตั้งเวลาการนับสัญญาณพัลส์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

(4) ระบบนับสัญญาณพัลส์และตั้งเวลานับสัญญาณพัลส์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่นับจำนวนสัญญาณพัลส์ลอจิกจากการนับรังสีต่อหน่วยเวลา จำนวนนับที่ได้นี้จะถูกส่งผ่านพีเอสดีไปประมวลผลยังเครื่องเล่นเกมบอยใน 2 แบบ คือ อัตราการรับปริมาณรังสีเฉลี่ยจากผลการนับรังสีต่อ 1 วินาที จำนวน 3 ครั้ง พร้อมปรับเทียบด้วยค่าคงที่ แสดงผลในหน่วย mR/hr และอัตรานับรังสีในหน่วย CPM ซึ่งค่าที่ประมวลได้จะนำไปแสดงผลบนหน้าจอเครื่องเล่นเกมบอย

(5) ส่วนเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างระบบนับรังสีกับเครื่องเล่นเกมบอย เป็นการทำงานร่วมกันของไอซีพีเอสดีและไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสื่อสารข้อมูล



รูปที่ 4 แผนภาพเครื่องสำรวจรังสีที่ทำงานร่วมกับเครื่องเล่นเกมบอย



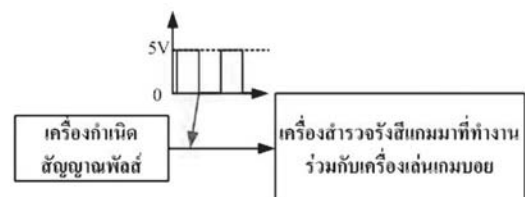
รูปที่ 5 เครื่องสำรวจรังสีที่ทำงานร่วมกับเครื่องเล่นเกมบอยที่พัฒนาขึ้น

ในรูปที่ 5 แสดงเครื่องสำรวจรังสีที่ทำงานร่วมกับเครื่องเล่นเกมบอยต้นแบบที่พัฒนาขึ้น ออกแบบให้แสดงผลค่าวัดทั้งเชิงเลขและมีเตอร์เข็มพร้อมกัน ซึ่งมีเตอร์เข็มช่วยให้สังเกตการเปลี่ยนแปลงระดับอัตราการรับปริมาณรังสีได้ง่าย ขณะที่การแสดงผลเชิงตัวเลขทำให้อ่านค่าได้แม่นยำ

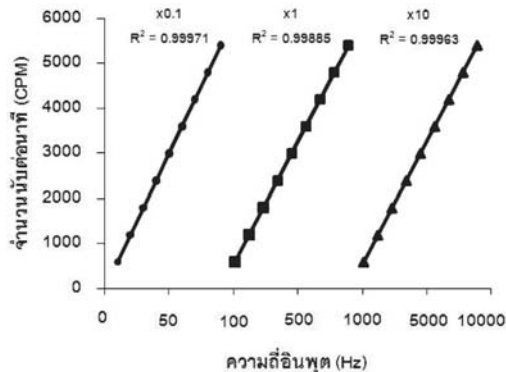
3. ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องสำรวจรังสี

3.1 การทดสอบระบบนับสัญญาณพัลส์

การทดสอบระบบนับสัญญาณพัลส์และตั้งเวลานับสัญญาณพัลส์ เป็นการทดสอบขีดจำกัดการประมวลข้อมูลของระบบด้วยการนับสัญญาณพัลส์ลอจิกจากเครื่องกำเนิดรูปสัญญาณ โดยแปรเปลี่ยนความถี่จาก 0 Hz ถึง 10 kHz ป้อนให้กับระบบที่พัฒนาขึ้นและแบ่งย่านแสดงผลเป็น 3 ย่านดังรูปที่ 6 ผลทดสอบแสดงดังกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่อินพุตและจำนวนนับของระบบนับรังสีดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 แผนภาพการจัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบระบบนับสัญญาณพัลส์



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ฮิซและจำนวนนับต่อวินาที

3.2 การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของระบบ

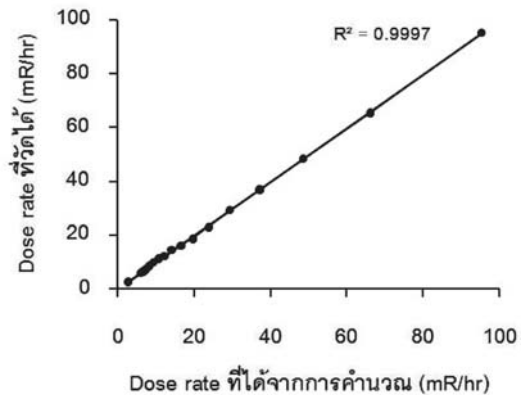
การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของระบบขณะทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขนาดศักดาไฟฟ้า 3.7 โวลต์ และความจุ 700 มิลลิแอมแปร์-ชั่วโมง ผลทดสอบพบว่าระบบใช้กระแสเต็มที่ 80 มิลลิแอมแปร์ คิดเป็นกำลังไฟฟ้าสิ้นเปลือง 296 มิลลิวัตต์ และสามารถทำงานต่อเนื่องได้ 8 ชั่วโมง

3.3 การทดสอบการวัดรังสี

(1) ทดสอบการวัดอัตราการรับปริมาณรังสี การทดสอบการวัดอัตราการรับปริมาณรังสีที่พลังงาน 662 keV ในย่านวัด (100 mR) $\times 0.01$, $\times 0.1$ และ $\times 1$ ทำได้โดยจัดระบบวัดปริมาณรังสีดังแผนภาพรูปที่ 8 ใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานซีเซียม-137 ความแรงแรงรังสี 74 mCi คำนวณอัตราการรับปริมาณรังสีตามระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีในช่วง 0-100 mR/hr และวัดอัตราการรับปริมาณรังสีด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นได้ ผลทดสอบดังกราฟเปรียบเทียบอัตราการรับปริมาณรังสีที่วัดได้กับค่าที่คำนวณจากต้นกำเนิดรังสี



รูปที่ 8 การจัดระบบวัดรังสี [4]



รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบอัตราได้รับปริมาณรังสีที่วัดได้กับค่าที่คำนวณจากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน

(2) การทดสอบการวัดอัตรานับรังสีได้ทดสอบความสามารถในการตรวจวัดอัตรานับรังสีแอลฟาและบีตา ด้วยหัววัดไกเกอร์มูลเลอร์ซึ่งมีพื้นที่รับรังสี 0.89 cm^2 โดยจัดรูปแบบวัดในลักษณะ 2π ใช้ต้นกำเนิดรังสีแอลฟา Th-230 ความแรงแรงรังสี 0.8 nCi และต้นกำเนิดรังสีบีตา Cl-36 ความแรงแรงรังสี $1.139 \mu\text{Ci}$ สามารถวัดอัตรานับรังสีได้ 720 CPM และ 89,000 CPM ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพสมบูรณ์ของการวัดรังสีแอลฟาและบีตาเท่ากับ 3.5% และ 3.7% ตามลำดับ

4. สรุปผล

ผลการพัฒนาเครื่องสำรวจรังสีที่ทำงานร่วมกับเครื่องเล่น เกมบอยพบว่าส่วนแสดงผลกราฟฟิคของเครื่องเล่นเกมบอยมีความยืดหยุ่นในการออกแบบส่วนแสดงผลทั้งอนาล็อกและดิจิทัล พร้อมทั้งตัวอักษรของหน่วยวัดและมิเตอร์เข็ม อีกทั้งสามารถใช้ปุ่มฟังก์ชันและแป้นสวิตช์บนเกมบอยในการควบคุมการทำงานของระบบวัดรังสีทำให้ประหยัดและใช้งานง่ายขึ้น สำหรับผลทดสอบสมรรถนะของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นโดยแบ่งการอ่านผลออกเป็น 3 ย่าน (5.5×10^3 CPM) $\times 0.1$, $\times 1$ และ $\times 10$ พบว่าสามารถวัดอัตรานับพัลส์ได้ $0-5.5 \times 10^4$ CPM และมีสัมประสิทธิ์ความเป็นเชิงเส้น (R^2) ของการตอบสนองอัตรานับรังสีในแต่ละย่านแสดงผลเป็น 0.99971, 0.99885 และ 0.99963 ตามลำดับ ระบบมีอัตราการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า 296 mW สามารถใช้งานต่อเนื่องได้นาน 8 ชั่วโมง เมื่อใช้กับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไฮดรอกไซด์ขนาดความจุ 700 mA-hr ส่วนการวัดอัตราการรับปริมาณรังสีออกแบบให้สามารถวัดได้ในช่วง $0-100$ mR/hr โดยสเกลย่านวัดเปลี่ยนได้อัตโนมัติ 3 ย่าน (100 mR/hr) $\times 0.01$, $\times 0.1$ และ $\times 1$ ผลทดสอบการวัดอัตราการรับปริมาณรังสีที่พลังงาน 662 keV จากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานซีซีเอ็ม-137 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 2.2 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง $0-100$ mR/hr นอกจากนี้ระบบวัดรังสีที่พัฒนาขึ้นยังสามารถใช้ตรวจวัดอัตรานับรังสีแอลฟาและบีตาจากสารกัมมันตรังสีได้ อันเป็นประโยชน์สำหรับเรียนรู้การวัดรังสีจากสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติและประยุกต์ใช้ในการวัดการเปื้อนสารกัมมันตรังสี

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิตจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญนิวเคลียร์เทคโนโลยี

สำหรับวิเคราะห์และทดสอบวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Vangkarn A. Development of an Economical Portable Scaler using CPLD [MEng thesis]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2009. (In Thai).
- [2] Marcel Cremmel, October 2006. Gameboy Electro-cardiogram (GBECG). Elektor Electronics Magazine: 32-41.
- [3] Steve Willis, October and November 2000. Gameboy Digital Sampling Oscilloscope (GBDSO). Elektor Electronics Magazine: 34-39 and 12-15.
- [4] Punnachaiya S. Nuclear radiation detection and instrumentation [Documentation of teaching]. Bangkok: Chulalongkorn University; 1995. (In Thai).
- [5] Thanasamtungjarn C. The z80. Bangkok: Physics center; 1997. (In Thai).
- [6] Prakorpul T. The C programming language. Bangkok: Simplify; 2010. (In Thai).
- [7] Prawatborrisuit A. Revised manual to learn the C programming language. Bangkok: Provision; 2009. (In Thai).