

ET04: การพัฒนาระบบบันทึกข้อมูลสำหรับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง ชนิดพกพาโดยใช้เอสดีการ์ด

*ธนศ สุขสมพงษ์ นฤปวัจน์ เงินวิจิตร และวันวิสา สูดประเสริฐ

ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทรศัพท์ 0 2562 5444 ต่อ 1202 โทรสาร 0 2579 5530 E-Mail: Tanate661@hotmail.com

บทคัดย่อ

ได้พัฒนาระบบบันทึกข้อมูลของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง (MCA) ชนิดพกพา โดยการนำเอสดีการ์ด (SD card) มาเป็นส่วนบันทึกข้อมูลแทนส่วนบันทึกแบบเก่าที่ไม่สะดวกในการเพิ่มหรือเปลี่ยนส่วนบันทึกข้อมูลของเครื่อง ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกศึกษาการตรวจจับสัญญาณพัลส์โดยการออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ทางเข้า ส่วนที่สองเป็นการทดสอบความถูกต้องของระบบบันทึกข้อมูลของเครื่อง MCA ชนิดพกพาที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ การศึกษาและออกแบบวงจรติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเอสดีการ์ด ความถูกต้องในการเก็บค่าสัญญาณพัลส์ทางเข้าลงสู่เอสดีการ์ด และความสามารถในการบันทึกผลการวัดรังสี ผลการศึกษาพบว่าวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ที่ได้ออกแบบขึ้นสามารถตรวจจับยอดพัลส์ และส่งสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ประมวลผลข้อมูล ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเชื่อมต่อกับเอสดีการ์ดได้ในรูปแบบ SPI MODE การทดสอบความถูกต้องในการเก็บค่าสัญญาณพัลส์ทางเข้าลงสู่เอสดีการ์ด พบว่าเครื่อง MCA ชนิดพกพาสามารถตรวจจับสัญญาณพัลส์ทางเข้าได้ดีในช่วง 0.2 โวลต์ ถึง 5.0 โวลต์ และยังสามารถบันทึกผลการวัดลงเอสดีการ์ด ในรูปของแฟ้มนามสกุล .xls ซึ่งสามารถเปิดดูผลการวัดได้โดยโปรแกรมที่รองรับนามสกุลดังกล่าว เช่น โปรแกรม Microsoft Excel

คำสำคัญ: เครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่องชนิดพกพา เอสดีการ์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์

Development of Data Storage System for Portable Multichannel Analyzer using SD Card

*Tanate Suksompong, Narippawaj Ngernvijit and Wanwisa Sudprasert

Department of Applied Radiation and Isotopes, Faculty of Science, Kasetsart University

Phone: 0 2562 5444 ext. 1202, Fax: 0 2579 5530, E-Mail: Tanate661@hotmail.com

Abstract

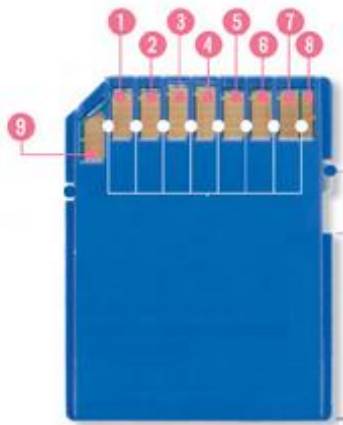
The development of data storage system for portable multichannel analyzer (MCA) focused on the application of SD card as a storage device instead of the older devices that could not easily extend their capacity. The entire work consisted of two parts: the first part was the study for pulse detection by designing the input pulse detecting circuit. The second part dealt with the accuracy testing of data storage system for portable MCA,

consisting of the design of connecting circuit between microcontroller and SD card, the transfer of input pulse data into SD card and the ability of data storage system for radiation detection. It was found that the input pulse detecting circuit could detect the input pulse with the maximum voltage, then the signal was transferred to microcontroller for data processing. The microcontroller could connect to SD card via SPI MODE. The portable MCA could perfectly verify the input signal ranging from 0.2 to 5.0 volts. The SD card could store the data as “.xls” file which could easily be accessed by the compatible software such as Microsoft Excel.

Keywords: portable multichannel analyzer, SD card, microcontroller

1. บทนำ

เครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง (MCA) ชนิดพกพาเป็นเครื่องมือวัดรังสีชนิดหนึ่งที่มีสมรรถนะสูง สามารถแสดงระดับพลังงานและปริมาณรังสีที่ทำการตรวจวัดได้อีกทั้งยังมีขนาดเล็กซึ่งสะดวกในการพกพา โดยการทำงานของเครื่องเริ่มจาก เมื่อรังสีตกกระทบหัววัด จะเกิดอันตรกิริยาซึ่งส่งผลให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในหัววัดขึ้น ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะถูกส่งเข้าสู่เครื่อง MCA ในลักษณะสัญญาณพัลส์ ซึ่งเครื่องจะทำหน้าที่วิเคราะห์ความสูงพัลส์จากนั้นเก็บเข้าสู่หน่วยเก็บแต่ละหน่วยเรียกว่าช่อง (Channel) ซึ่งทำหน้าที่เก็บจำนวนพัลส์ที่มีความสูงตามที่ได้กำหนดไว้ และจำนวนพัลส์ที่เก็บอยู่ในแต่ละช่องจะแสดงถึงจำนวนอนุภาคและพลังงานของรังสีที่ตกกระทบ เมื่อสิ้นสุดการวัดรังสี ค่าจำนวนอนุภาคและพลังงานในแต่ละช่องจะถูกแจกแจงในรูปของกราฟ จากการศึกษาพบว่าเครื่อง MCA ที่ใช้กันอยู่ตามหน่วยงานต่างๆ ของประเทศ ส่วนใหญ่เป็นเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศซึ่งได้มีการออกแบบให้เหมาะสมกับการวัดรังสีในลักษณะต่างๆ กัน ทำให้ผู้ใช้ต้องเลือกใช้หรือประยุกต์วิธีการเก็บข้อมูลให้สอดคล้องกับการทำงานของเครื่องวัด ปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่พบคือเครื่อง MCA มีหน่วยความจำที่จำกัดไม่เหมาะกับการวัดหรือติดตามรังสีในระยะเวลานาน เช่นการเก็บข้อมูลการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบบันทึกข้อมูลของเครื่อง MCA ชนิดพกพา โดยเลือกใช้เอสดีการ์ด (Secure digital card, SD Card) เป็นหน่วยเก็บข้อมูลของเครื่อง เนื่องจาก เอสดีการ์ดมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ มีความจุสูง ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำ สะดวกในการเพิ่มหรือเปลี่ยนหน่วยความจำ



ขา	ชื่อเรียก	หน้าที่
1	CS	Card detection
2	CMD	Command
3	VSS	Ground
4	VCC	Power Supply
5	CLK	Clock
6	VSS	Ground
7	DAT0	Data I/O
8	DAT1	Data I/O
9	DAT2	Data I/O

รูปที่ 1 แสดงลักษณะขาของเอสดีการ์ด¹

ลักษณะภายนอกของเอสดีการ์ดมีขนาดที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐานคือ มีความกว้าง 24 มิลลิเมตร ความยาว 32 มิลลิเมตร และความหนา 2.1 มิลลิเมตร มีน้ำหนักประมาณ 2 กรัม และมีมุมตัดที่มุมบนขวามือ (รูปที่1) โดยเอสดีการ์ดมีขาสัมผัสทั้งหมด 9 ขา จำนวนขาสัมผัสต่างๆ ประกอบด้วย ขาที่ใช้ต่อกับแหล่งจ่ายไฟ VCC สายดิน VSS และขาสัญญาณเพื่อใช้ติดต่อกับอุปกรณ์อื่น ได้แก่ ขาข้อมูล (DAT0) ขาสัญญาณนาฬิกา (CLK) ขาควบคุม (CMD) และขาตรวจสอบสถานะเอสดีการ์ด (CS) โดยเอสดีการ์ดนั้นจะมีการเพิ่มขาข้อมูลมาอีกสองขา คือ DAT1 และ DAT2 ซึ่งจะทำให้มีความเร็วในการสื่อสารเพิ่มขึ้น¹

การพัฒนาบบบันทึกข้อมูลของเครื่อง MCA ชนิดพกพา ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาออกแบบ วงจรตรวจจับยอดพัลส์ ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณพัลส์ทางเข้า (INPUT) หากสัญญาณที่เข้ามาถึงยอดพัลส์ จะส่งสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทราบ ขณะเดียวกันจะคงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดที่เข้ามาไว้ ส่วนที่สองเป็น การทดสอบความถูกต้องของระบบบันทึกข้อมูลของเครื่อง MCA ได้แก่ การศึกษาและออกแบบวงจรติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเอสดีการ์ด ความถูกต้องในการเก็บค่ายอดพัลส์ลงเอสดีการ์ด และความสามารถในการบันทึกผลการวัด

2. วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 ศึกษาออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์

การออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ทางเข้า เริ่มจากการออกแบบวงจรตรวจจับค่าความ

ต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด (Peak detector) และวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) โดยนำวงจรรวม (Integrated circuit) เบอร์ PKD01 ของบริษัท Analog devices เข้ามาเป็นส่วนประกอบหลักของวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์เนื่องจากวงจรรวม PKD01 มีวงจรตรวจจับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด และวงจรเปรียบเทียบ รวมอยู่ภายในทำให้ง่ายและรวดเร็วในการออกแบบ โดยจ่ายสัญญาณพัลส์จากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วง 5 โวลต์ ความถี่ 50 รอบต่อวินาทีให้แก่วงจรที่ศึกษา และวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก (OUTPUT) ที่ได้จากวงจรด้วยออสซิลอโคป

2.2 การทดสอบความถูกต้องของระบบบันทึกข้อมูลเครื่อง MCA ชนิดพกพา

2.2.1 การออกแบบวงจรติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเอสดีการ์ด เริ่มจาก ศึกษาการเชื่อมต่อระหว่างเอสดีการ์ดกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 18F2620 ของบริษัท Microchip โดยทดลองต่อวงจรในลักษณะต่างๆ จากนั้นเขียนโปรแกรมการทำงานให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทดสอบการทำงานของวงจร โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นในการทดลองมีขั้นตอนการทำงานคือ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณจากวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ จะทำการประมวลผลจากนั้นเขียนผลการวัดที่ได้ลงเอสดีการ์ดทุกๆ 1 นาที โดยการสร้างแฟ้มนามสกุล .xls และบันทึกค่าที่วัดได้ลงในแฟ้มดังกล่าว

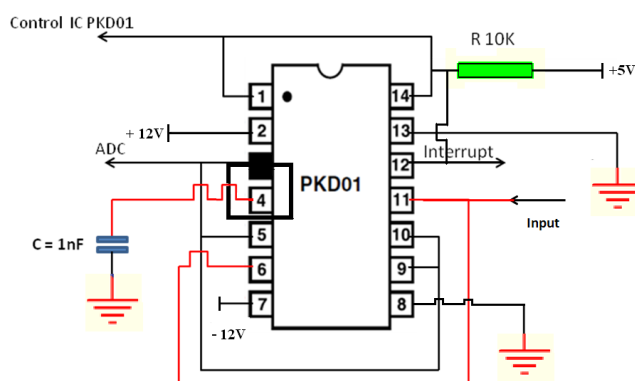
2.2.2 การทดสอบความถูกต้องในการเก็บค่ายอดพัลส์ลงสู่เอสดีการ์ด โดยนำวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ของเครื่อง MCA ชนิดพกพาที่พัฒนาขึ้น ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ยี่ห้อ Canberra รุ่น 807 แล้วให้พัลส์ที่มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 0.2 โวลต์ ความถี่ 50 รอบต่อวินาที จากนั้นเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าครั้งละ 0.2 โวลต์ จนถึง 5.0 โวลต์ โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ชั่วโมง ข้อมูลของช่องที่สัมพันธ์กับความต่างศักย์ไฟฟ้าทางเข้าที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าจากการคำนวณ

2.2.3 การทดสอบความสามารถในการตรวจจับและบันทึกผลการวัดรังสี โดยการวัดต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ความแรง 10 μCi ใช้เวลาในการวัด 1 นาที ทำการทดลองทั้งหมด 5 ชั่วโมง นำค่าที่ตรวจวัดและบันทึกได้ในเอสดีการ์ดมาเปิดด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และทำการเขียนให้อยู่ในรูปกราฟ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 วงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์

การออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ทางเข้า ได้นำวงจรรวม (IC) เบอร์ PKD01 ซึ่งมีวงจรตรวจจับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดและ วงจรเปรียบเทียบอยู่ภายในมาใช้เป็นส่วนประกอบหลัก โดยจากการทดลอง สามารถออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ทางเข้า ดังแสดงในรูปที่ 2



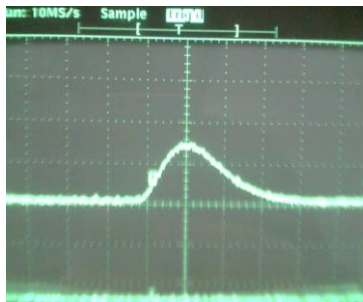
รูปที่ 2 แสดงวงจร ตรวจจับสัญญาณ โดยใช้วงจรรวม เบอร์ PKD01

การทำงานเริ่มจาก เมื่อสัญญาณพัลส์ในรูปความต่างศักย์ไฟฟ้าเข้าสู่วงจรทาง INPUT สัญญาณจะถูกส่งต่อไปให้กับวงจรตรวจจับสัญญาณสูงสุด และวงจรเปรียบเทียบที่อยู่ภายในวงจรรวม เบอร์ PKD01 ผ่านทางขา 6 และ 11 ตามลำดับ ความต่างศักย์ไฟฟ้าจะถูกเก็บเข้าสู่ตัวเก็บประจุ C ความจุ 1 nF ซึ่งต่อกับขา 4 ของวงจรรวมเบอร์ PKD01 ตลอดเวลาจนถึงจุดสูงสุดของพัลส์ที่เข้ามา วงจรจะทำการเก็บค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดไว้ ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดนี้จะถูกส่งออกมาทางขาที่ 3 ของวงจรรวม PKD01 จากนั้นสัญญาณจากขาที่ 3 จะถูกแบ่งออกเป็นสองทางคือ ส่งให้กับวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่อยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลที่ได้ต่อไป และส่งให้กับวงจรเปรียบเทียบ วงจรเปรียบเทียบจะทำงานโดยเปลี่ยนสถานะจากลอจิกสูง เป็นลอจิกต่ำออกทางขาที่ 12 ของวงจรรวมเบอร์ PKD01 ซึ่งการเปลี่ยนสถานะนี้จะเกิดเมื่อถึงจุดสูงสุดของพัลส์ทางเข้าเท่านั้น จากนั้นสัญญาณที่ได้จากขาที่ 12 นี้จะนำไปต่อกับขา Interrupt ของไมโครคอนโทรลเลอร์

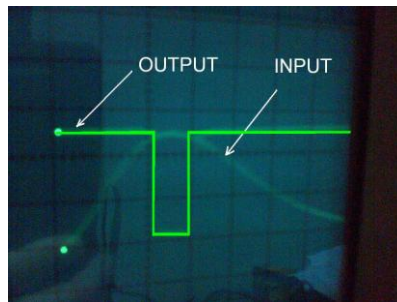
เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลเสร็จ จะส่งสัญญาณมาที่วงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ผ่านทางขา Control IC PKD01 (รูปที่ 2) เพื่อ Reset วงจรรวมเบอร์ PKD01 ให้รับสัญญาณพัลส์สัญญาณต่อไป

ผลการทดสอบการทำงานของวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ที่ได้ออกแบบขึ้นพบว่า สัญญาณที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ดังรูปที่ 3 (ก) จะถูกส่งเข้าสู่วงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ ส่งผลให้ได้

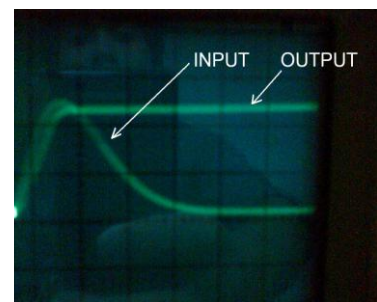
OUTPUT ดังรูปที่ 3 (ข) ซึ่งเป็น OUTPUT ที่ได้จากขาที่ 12 ของวงจรรวมเบอร์ PKD01 ซึ่งขานี้ทำหน้าที่ส่งสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อเกิดสัญญาณพัลส์สูงสุดขึ้น จากรูปเมื่อสังเกตกราฟ OUTPUT พบว่า เมื่อ INPUT มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเข้าใกล้จุดสูงสุด OUTPUT จะเปลี่ยนสถานะจากความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 โวลต์ เป็น 0 โวลต์และคงค่าสถานะ 0 โวลต์ไว้ช่วงเวลาหนึ่งโดยการทดลองนี้ให้คงสถานะ 0 โวลต์เป็นเวลา 2 มิลลิวินาที เพื่อให้ตัวเก็บประจุเก็บความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดไว้ จากนั้นจะกลับมาเป็น 5 โวลต์เช่นเดิม ในส่วนของรูปที่ 3 (ค) เป็นกราฟแสดง OUTPUT ที่ได้จากขาที่ 3 ของวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ มีหน้าที่คงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดไว้ เมื่อจ่ายพัลส์จากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ พบว่าเส้นกราฟ INPUT เริ่มจาก 0 โวลต์เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดโดยที่เส้นกราฟ INPUT และ OUTPUT จะมีค่าเท่ากัน แต่เมื่อสัญญาณ INPUT เกินจุดสูงสุดไปพบว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของ INPUT จะลดกลับลงมาถึงศูนย์ แต่ OUTPUT จะคงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดไว้ ซึ่งค่าที่คงไว้นี้จะถูกส่งให้กับวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแปลงสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อใช้ประมวลผลต่อไป ซึ่งการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับผลการทดลองของ Analog device² ที่ได้นำวงจรรวม PKD01 มาทดสอบวงจรเปรียบเทียบภายในพบว่าเมื่อเกิดพัลส์ขึ้น OUTPUT ที่ได้จะเปลี่ยนสถานะจาก 5 โวลต์ เป็น 0 จากนั้นทดสอบวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ พบว่าสามารถคงค่าพัลส์สูงสุดไว้ได้ เช่นเดียวกัน



(ก)



(ข)



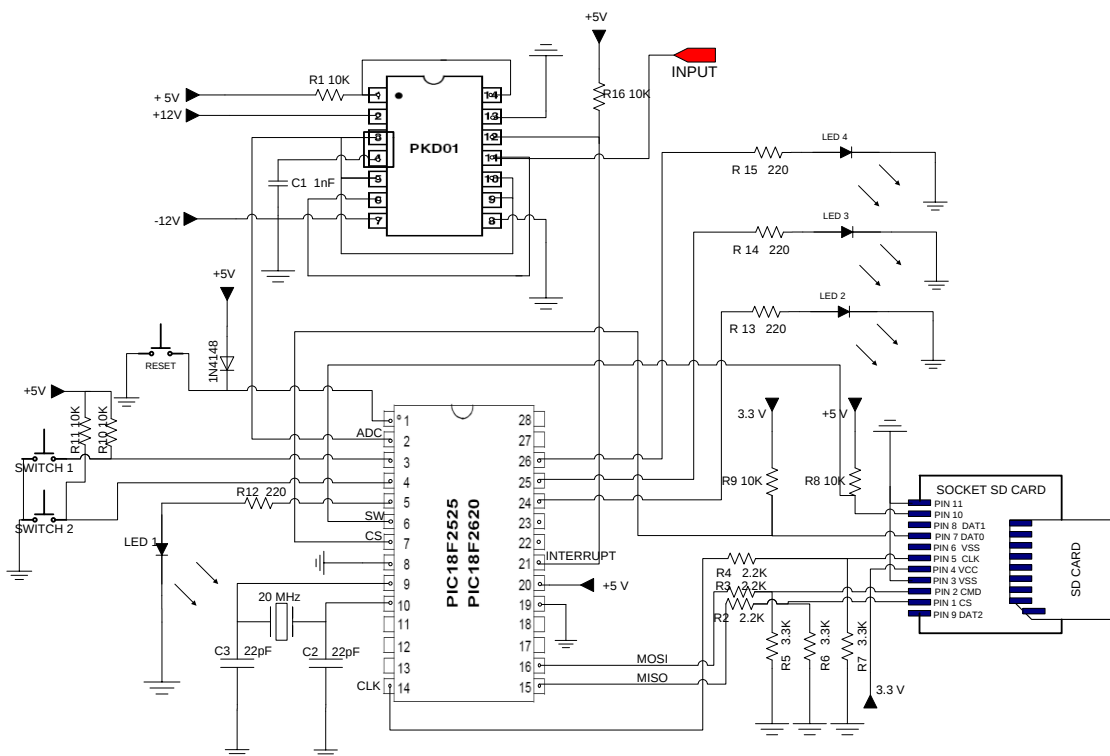
(ค)

รูปที่ 3 (ก) ลักษณะสัญญาณพัลส์ทางเข้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ (ข) สัญญาณพัลส์ทางออก จากวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ ขาที่ 12 ของวงจรรวม เบอร์ PKD01 (ค) สัญญาณพัลส์ทางออกจากวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ ขาที่ 3 คงค่าพัลส์สูงสุดไว้

3.2 การทดสอบความถูกต้องของระบบบันทึกข้อมูลของเครื่อง MCA ชนิดพกพา

3.2.1 การศึกษาและออกแบบวงจรติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเอสดีการ์ด

จากการทดลองพบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 18F2620 สามารถเชื่อมต่อกับเอสดีการ์ด แบบ SPI MODE ดังรูปที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Mikroelektronika³ ที่ได้นำเสนอการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F452 กับเอสดีการ์ด แบบ SPI MODE และพบว่าสามารถเขียนข้อมูลลงสู่เอสดีการ์ดได้จริง หลักการทำงานของเครื่อง MCA ที่วิจัยขึ้นเริ่มจากเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องการติดต่อกับเอสดีการ์ด จะส่งสัญญาณลอจิกต่ำ (0 โวลต์) จากขาที่ 7 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไปสู่ขา CS ของเอสดีการ์ด ถือเป็นการเริ่มต้นการเชื่อมต่อ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับเอสดีการ์ดสำเร็จแล้วจะสามารถส่งและรับข้อมูลระหว่างกันได้ โดยขาที่ 16 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเอสดีการ์ด และขาที่ 15 ทำหน้าที่ส่งข้อมูลเพื่อเขียนลงสู่เอสดีการ์ด เมื่อต้องการยกเลิกการติดต่อ ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะส่งสัญญาณลอจิกสูง (5 โวลต์) ไปที่ขา CS เพื่อยกเลิกการติดต่อ



รูปที่ 4 แสดงวงจร เครื่อง MCA ชนิดพกพาที่พัฒนาขึ้น

3.2.2 การทดสอบความถูกต้องในการเก็บค่าสัญญาณพัลส์ทางเข้าลงสู่เอสดีการ์ด

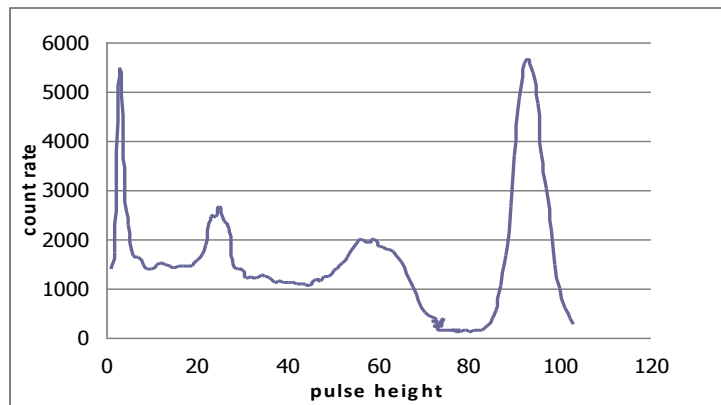
จากทดสอบความถูกต้องในการเก็บค่าสัญญาณพัลส์ทางเข้าลงสู่เอสดีการ์ดพบว่า ค่าเฉลี่ยของช่องที่สัมพันธ์กับความต่างศักย์ไฟฟ้าทางเข้า (INPUT) ในช่วง 0.2 โวลต์ ถึง 5.0 โวลต์ ที่ได้จากการทดลอง มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้จากการคำนวณ น้อยกว่าร้อยละ 5 (ตารางที่ 1)

3.2.3 การทดสอบความสามารถในการบันทึกผลการวัดรังสี

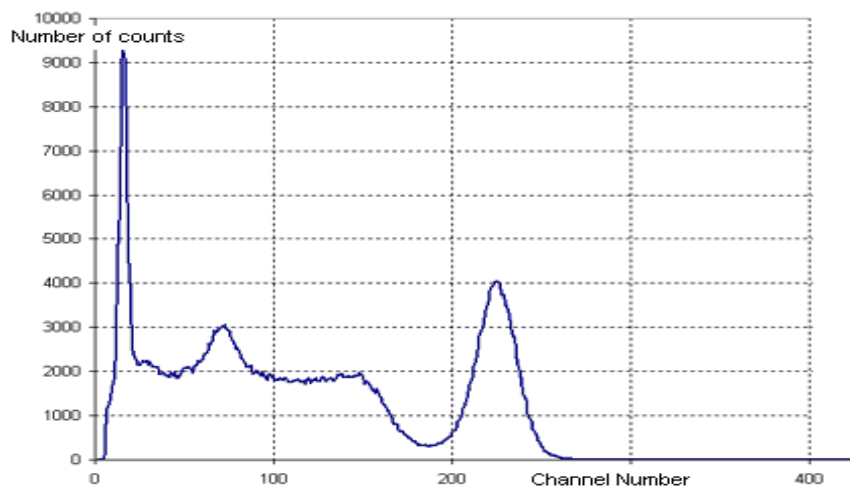
จากการทดลองนำเครื่อง MCA ชนิดพกพา ที่พัฒนาระบบบันทึกข้อมูลมาวัดรังสีจากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานซีเซียม-137 ความแรง 10 μCi เวลา 1 นาที และนำข้อมูลที่บันทึกได้จากเอสดีการ์ดมาเปิดอ่านด้วยโปรแกรม Microsoft Excel จากนั้นนำข้อมูลมาเขียนกราฟ พบว่าได้กราฟดังรูปที่ 5 ซึ่งกราฟที่ได้จากการทดลอง มีลักษณะเช่นเดียวกับกราฟมาตรฐานซีเซียม-137⁴ ดังรูปที่ 6

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความถูกต้องของเครื่อง MCA ช่องชนิดพกพา

ความต่างศักย์ไฟฟ้า ทางเข้า (โวลต์)	ช่องที่สัมพันธ์กับความต่างศักย์ไฟฟ้าทางเข้า		
	ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง	ค่าคำนวณ	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
0.2	40	41	2.435
0.4	79	82	3.656
0.6	120	123	2.435
0.8	159	164	3.049
1.0	196	205	4.390
1.2	237	246	3.656
1.4	278	287	3.136
1.6	321	328	2.134
1.8	360	369	2.439
2.0	410	410	0.000
2.2	450	451	0.222
2.4	491	492	0.203
2.6	532	532	0.000
2.8	570	573	0.523
3.0	610	614	0.651
3.2	653	655	0.305
3.4	695	696	0.144
3.6	728	737	1.221
3.8	765	778	1.650
4.0	806	819	1.587
4.2	845	860	1.744
4.4	877	901	2.664
4.6	910	942	3.397
4.8	944	983	3.967
5.0	977	1023	4.496



รูปที่ 5 ภาพแสดงสเปกตรัมพลังงานของซีเซียม-137 ที่ได้จากเครื่อง MCA ชนิดพกพาที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 6 ภาพแสดงสเปกตรัมพลังงานของซีเซียม-137
ที่มา: Wikimedia (2009)

5. สรุป

การพัฒนาระบบบันทึกข้อมูลของเครื่อง MCA ชนิดพกพาโดยใช้เอสดีการ์ด พบว่าระบบบันทึกข้อมูลที่พัฒนาขึ้นสามารถเขียนข้อมูลลงเอสดีการ์ดได้และสามารถเปิดอ่านข้อมูลได้ด้วยโปรแกรมที่รองรับแฟ้มนามสกุล .xls เช่น โปรแกรม Microsoft Excel ส่งผลดีในด้านการนำผลการวัดมาวิเคราะห์ทางสถิติ นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟหรือวิเคราะห์เพื่อพิจารณาปริมาณ

รังสีในช่วงเวลาต่างๆ ได้ เนื่องจากระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตั้งเวลาให้เขียนข้อมูลการวัดรังสีลงเอสดีการ์ดได้ นอกจากนี้การนำเอสดีการ์ดมาใช้เป็นส่วนบันทึกข้อมูลพบว่า เกิดความสะดวกในการถ่ายโอนข้อมูลและการเปิดอ่านข้อมูล เนื่องจากสามารถนำเอสดีการ์ดออกจากเครื่องและเปิดอ่านข้อมูลการวัดรังสีผ่านคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ที่รองรับได้ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มหน่วยความจำให้เครื่อง MCA ชนิดพกพาได้ โดยไม่ต้องมีการแก้ไขวงจรหรือโปรแกรมการทำงานใหม่ให้กับเครื่องดังเช่น MCA แบบเก่า

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนโครงการสนับสนุนทุนวิจัยด้านความปลอดภัยจากการใช้พลังงานปรมาณู จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

7. เอกสารอ้างอิง

1. อารัมภีร์ จันทรีไย, 2549. อ่านและเขียนการ์ด SD และ MMC ด้วย PIC 16F876 ตอนที่ 3. เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ 24 (291), 156-160.
2. Analog device. 2001, **Data sheet PKD01**. User's manual PKD01. Available Source: <http://www.analog-device.com>, February 20, 2008
3. Mikroelektronika, 2006. **MikroC C Compiler For Microchip PIC Microcontrollers**. User's manual MikroC. Available Source: <http://www.mikroelektronika.com>, February 14, 2008.
4. Wikimedia, 2009. **Cs137 Spectrum**. Cs137 Spectrum. Available Source: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cs137_Spectrum.PNG, February 24, 2009.