

เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซีโดยใช้ไปป์ไลน์เอดีซี

นางสาวกมลทิพย์ พลอยกระจ่าง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A POCKET PC-BASED GAMMA SPECTROMETER USING PIPELINE ADC

Miss Kamontip Ploykrachang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนฟ็อกเก็ตพีซีโดยใช้ไปป์
ไลน์เอคิซี

โดย

นางสาวกมลทิพย์ พลอยกระจ่าง

สาขาวิชา

นิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์เดโช ทองอร่าม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ณรงค์ จันทน์ขาว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์เดโช ทองอร่าม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุนันต์)

กมลทิพย์ พลอยกระจ่าย : เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซีโดยใช้ไปป์ไลน์เอดีซี.
(A POCKET PC-BASED GAMMA SPECTROMETER USING PIPELINE ADC) อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: อ.เดโช ทองอร่าม, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, 86 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาชนิดเวลาการแปลงผันสัญญาณคงที่ขนาด 4096 ช่องวิเคราะห์ทำงานร่วมกับพ็อกเก็ตพีซี เพื่อให้มีขนาดกระทัดรัด น้ำหนักเบา และมีอัตราสูญเสียกำลังไฟฟ้าต่ำ โดยนำเอาเทคโนโลยี FPGA ไปป์ไลน์เอดีซีขนาด 12 บิตและไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิตมาใช้ในส่วนของการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์เป็นสัญญาณดิจิทัล ส่วนเชื่อมโยงสัญญาณและควบคุมการทำงานของระบบ สำหรับวงจรขยายสัญญาณพัลส์สามารถปรับอัตราขยายสัญญาณต่อเนื่องได้สูงสุด 100 เท่า

จากการวิจัยพบว่า วงจรขยายและแต่งรูปสัญญาณให้สัญญาณพัลส์เป็นสัดส่วนกับพลังงานที่ได้จากหัววัดรังสี โดยมีค่าเวลาแต่งสัญญาณ 0.7 ไมโครวินาที ความกว้างพัลส์ 2 ไมโครวินาทีและมีความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทริกัล 0.22 % การแปลงความสูงสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์เป็นสัญญาณดิจิทัลพบว่าใน 1 ลูกพัลส์ใช้เวลา 1.27 ไมโครวินาที โดยมีค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทริกัลเป็น 0.45 % และมีความเบี่ยงเบนในการแปลงผันที่ตำแหน่งกึ่งกลางของย่านวิเคราะห์ ± 2 ช่อง (FWHM) สำหรับการทดสอบระบบพบว่ามีความเร็วในการวิเคราะห์สัญญาณพัลส์สูงสุด 160 กิโลเคาน์ต่อวินาทีและมีความสามารถในการแจกแจงพลังงานรังสีแกมมาของ Cs - 137 ด้วยหัววัดรังสีชนิด NaI(Tl) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว และหัววัดรังสีชนิด CsI(Tl) คัปปลิงกับฟิโนไฟโตไดโอดขนาด 1 ซม. x ซม. เป็น 8.30 % และ 12.61 % ตามลำดับ

ภาควิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2551..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

4870203421 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD : PIPELINE ADC / HISTOGRAM MEMORY / GAMMA SPECTROMETER / POCKET PC

KAMONTIP PLOYKRACHANG: A POCKET PC-BASED GAMMA SPECTROMETER USING PIPELINE ADC. THESIS PRINCIPAL ADVISOR: DECHO THONG-ARAM, THESIS CO – ADVISOR: ASST. PROF. SUVIT PUNNACHAIYA, 86 pp.

This thesis, a 4096 channel fixed conversion time type pocket PC based gamma spectrometer was developed to achieve with a compact size, lightweight and low power consumption rate. The FPGA technology, 12-bit pipeline ADC and 8-bit microcontroller were employed for nuclear pulse height to digital converter, interfacing and control circuits of these system. For pulse amplifier circuit could be continuously gain adjust of 100 time.

The results of this research found that pulse amplifier and shaper circuit was corresponding to energy level from the detector with 0.7 μs of shaping time, 2 μs of pulse width and 0.22 % integral non-linearity. The processing time for each nuclear pulse height to digital converter was found to be 1.27 μs, with an integral non-linearity 0.45 % and channel deviation was found to be ± 2 channels (FWHM) at the center of the maximum analysis range. Test result of the system found that the maximum throughput was 160 kcps and the gamma energy resolutions of Cs-137 using 2” x 2” NaI(Tl) detector and 1 cm x cm CsI(Tl) coupled with PIN photo diode were found to be 8.30 % and 12.61 % respectively.

Department Nuclear Technology Student’s signature.....
 Field of study Nuclear Technology Principal Advisor’s signature.....
 Academic year 2008 Co- Advisor’s signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เค โชทองอร่าม และผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาและองค์ความรู้ต่างๆ พร้อมทั้งให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัย และการดำเนินชีวิตที่ดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ให้โอกาสในการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบคุณ Mr. Kazuaki SHIMIZU, Mr. Toshihito HIRUTA และ Mechanical Engineering and Electronics Section, Nuclear Science Research Institute Tokai Research and Development Center ประเทศญี่ปุ่น ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญวิศวกรรมเทคโนโลยีสำหรับวิเคราะห์และทดสอบวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการดำเนินงานวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณสมชาย เบ้าทอง พี่ๆ และน้องๆ ในศูนย์เชี่ยวชาญฯ ที่ให้ความช่วยเหลือสำหรับงานวิจัยนี้

ท้ายสุดนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรัก ให้การอบรมสั่งสอน ให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอมา ขอขอบคุณพี่สาว น้องชาย และหลานชายตัวน้อยของข้าพเจ้าที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	2
1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2. อุปกรณ์วิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา	4
2.1 คุณสมบัติของรังสีแกมมา.....	4
2.1.1 การเกิดโฟโตอิเล็กทริก	5
2.1.2 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน	5
2.1.1 การเกิดแพร่โพรดักชัน	6
2.2 กระบวนการตรวจวัดรังสีแกมมา.....	7
2.3 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา	8
2.3.1 หัววัดรังสีชนิดพินโฟโตไดโอดซินทิลเลชัน.....	8
2.3.2 ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา.....	9
2.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา	10
2.4 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	11
2.4.1 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีเวลาการแปลงผัน สัญญาณไม่คงที่.....	12

บทที่	หน้า
2.4.1.1 วงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบ วิลคินสัน	12
2.4.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีเวลาการแปลงผัน สัญญาณคงที่	13
2.4.2.1 วงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบแฟลช	13
2.4.2.2 วงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบ ซัคเซสซีฟแอมป์รอกซิมเมชัน	14
2.4.2.3 วงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบ ไปป์ไลน์	16
2.4.3 ประสิทธิภาพของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	17
2.4.3.1 ความเร็วในการแปลงผันสัญญาณ	17
2.4.3.2 ความเป็นเชิงเส้นของการแปลงผันสัญญาณ	17
2.4.3.3 ความละเอียดในการแจกแจงสัญญาณของการแปลงผันสัญญาณ	19
2.5 หน่วยความจำชนิดแรม	19
2.5.1 หน่วยความจำแบบสแตติกแรม	20
2.5.2 หน่วยความจำสแตติกแรมแบบพอร์ตคู่	20
2.5.3 บัฟเฟอร์แบบ FIFO	20
2.6 ชิพไอซีดิจิทัลเอนกประสงค์	21
2.6.1 ชิพ CPLD	22
2.6.2 ชิพ FPGA	22
2.7 ฟ্ল็อกเก็ตพีซี	23
2.7.1 หน่วยประมวลผล	23
2.7.2 หน่วยความจำ	24
2.7.2.1 หน่วยความจำถาวร (ROM)	24
2.7.2.2 หน่วยความจำชั่วคราว (RAM)	24
2.7.3 จอแสดงผล	24
2.7.4 การสื่อสารข้อมูล	25
3. การดำเนินการวิจัย	26
3.1 ข้อมูลพื้นฐานของการออกแบบและสร้างเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา	26

บทที่	หน้า
3.1.1 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับหัววัดรังสี.....	26
3.1.2 ข้อมูลพื้นฐานของระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา.....	27
3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา	28
3.2.1 วงจรขยายสัญญาณพัลส์	28
3.2.2 วงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล.....	31
3.2.3 วงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์.....	35
3.2.4 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุม	41
3.2.5 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซี	44
3.3 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับพ็อกเก็ตพีซี	47
3.4 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซี.....	49
4. การทดสอบสมรรถนะของระบบ	50
4.1 การทดสอบระบบวัดส่วนหน้าพร้อมหัววัดรังสี CsI(Tl)	50
4.2 การทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์.....	52
4.3 การทดสอบวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล.....	57
4.4 การทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณพัลส์ (Throughput) ของเครื่องวัด สเปกตรัมรังสีแกมมา.....	60
4.5 ทดสอบเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซี	63
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	69
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	70
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	70
รายการอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก	72
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งานโปรแกรมวัดและวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาบน พ็อกเก็ตพีซี.....	73
ภาคผนวก ข โปรแกรมวัดและวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาสำหรับพ็อกเก็ตพีซี.....	77
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	86

สารบัญญัตราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบความเร็วในการแปลงผัน ความละเอียดในการแจกแจงรายละเอียด และการสูญเสียกำลังของอุปกรณ์แปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลสำเร็จรูป	13
ตารางที่ 4.1	ผลการทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตรายายแบบอินทิกรัล	55
ตารางที่ 4.2	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลอัตรายายแบบต่อเนื่อง	56
ตารางที่ 4.3	ผลการทดสอบไม่เป็นเชิงเส้นของการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลแบบอินทิกรัล.....	58
ตารางที่ 4.4	ผลการทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้น	61
ตารางที่ 4.5	ผลของช่องพลังงานกับพลังงานที่ได้จากการวัดสเปกตรัมโดยหัววัด NaI(Tl)	64
ตารางที่ 4.6	ผลของช่องพลังงานกับพลังงานที่ได้จากการวัดสเปกตรัมโดยหัววัด CsI(Tl)	67

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนผังการสลายตัวของรังสีแกมมาของ Cs-137 และ Co-60.....	4
รูปที่ 2.2 การเกิดโฟโตอิเล็กทริก	5
รูปที่ 2.3 การเกิดกระเจิงแบบคอมป์ตัน	6
รูปที่ 2.4 การเกิดแพร์โพรคักชัน.....	7
รูปที่ 2.5 แผนภาพของระบบวิเคราะห์พลังงานอนุภาคนิวเคลียร์	8
รูปที่ 2.6 ย่านการปลดปล่อยความยาวคลื่นของผลึกซินทิลเลเตอร์ชนิด CsI(Tl)	9
รูปที่ 2.7 ฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์	10
รูปที่ 2.8 แผนภาพส่วนประกอบของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา.....	10
รูปที่ 2.9 การแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบวิลคินสัน	12
รูปที่ 2.10 แผนภาพการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล แบบแฟลช.....	14
รูปที่ 2.11 แผนภาพการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล แบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน	15
รูปที่ 2.12 แผนภาพการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล แบบไปป์ไลน์	17
รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับตำแหน่งช่องวิเคราะห์ ในการพิจารณาความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัล.....	18
รูปที่ 2.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับตำแหน่ง	19
รูปที่ 2.15 การจัดเก็บและส่งออกข้อมูลของบัฟเฟอร์แบบ FIFO	21
รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของหัววัดรังสีและวงจรขยายส่วนหน้า	26
รูปที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของระบบวิเคราะห์เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้น	27
รูปที่ 3.3 แผนภาพการทำงานและการออกแบบวงจรขยายสัญญาณพัลส์	29
รูปที่ 3.4 วงจรขยายสัญญาณพัลส์.....	30
รูปที่ 3.5 แผ่นวงจรขยายสัญญาณพัลส์	31
รูปที่ 3.6 แผนภาพการทำงานพื้นฐานของวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็น สัญญาณดิจิทัล	32
รูปที่ 3.7 แผ่นวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล	32

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 3.8 วงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล.....	33
รูปที่ 3.9 แผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็น สัญญาณดิจิทัล.....	34
รูปที่ 3.10 แผนภาพวงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์.....	37
รูปที่ 3.11 วงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ภายในชิพ FPGA.....	38
รูปที่ 3.12 แผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมไซเกิดการลบข้อมูลฮิสโตแกรม ในหน่วยความจำ.....	39
รูปที่ 3.13 แผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมไซเกิดการสร้างข้อมูลฮิสโตแกรม ในหน่วยความจำ.....	40
รูปที่ 3.14 แผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมไซเกิดการอ่านข้อมูลฮิสโตแกรม ออกจากหน่วยความจำ.....	41
รูปที่ 3.15 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณ ดิจิทัลภายในชิพ FPGA.....	42
รูปที่ 3.16 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกในไซเกิดการลบข้อมูลฮิสโตแกรมในหน่วยความจำ ภายในชิพ FPGA.....	43
รูปที่ 3.17 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกในไซเกิดการสร้างข้อมูลฮิสโตแกรมในหน่วยความ จำภายในชิพ FPGA.....	43
รูปที่ 3.18 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกในไซเกิดการอ่านข้อมูลฮิสโตแกรมออกจากหน่วย ความจำภายในชิพ FPGA.....	44
รูปที่ 3.19 แผนผังการทำงานของโปรแกรมสำหรับ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	45
รูปที่ 3.20 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซี.....	46
รูปที่ 3.21 แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซี.....	46
รูปที่ 3.22 แผนผังการทำงานของโปรแกรมสำหรับเครื่องพ็อกเก็ตพีซี.....	48
รูปที่ 3.23 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซีต้นแบบ.....	49
รูปที่ 3.24 ส่วนประกอบต่างๆ ภายในเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาต้นแบบ.....	49
รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบระบบวัดส่วนหน้าพร้อมหัววัดรังสีชนิดผลึก ซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl).....	51
รูปที่ 4.2 สัญญาณพัลส์ทางด้านเอาต์พุตจากวงจรขยายส่วนหน้าของหัววัดรังสีชนิดผลึก ซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl).....	51

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.3 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะของวงจรถายสัญญาณพัลส์.....	52
รูปที่ 4.4 สัญญาณพัลส์บวกจากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เลียนแบบหัววัดรังสี.....	53
รูปที่ 4.5 สัญญาณพัลส์เอาต์พุตของวงจรถายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น โดยเลือก โพลาริตีบวก	53
รูปที่ 4.6 สัญญาณพัลส์ลบจากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เลียนแบบหัววัดรังสี.....	54
รูปที่ 4.7 สัญญาณพัลส์เอาต์พุตของวงจรถายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น โดยเลือก โพลาริตีลบ.....	54
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล.....	55
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่อง	57
รูปที่ 4.10 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณ ดิจิทัล.....	58
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความสูงของพัลส์กับช่องพลังงาน	59
รูปที่ 4.12 สเปกตรัมของการทดสอบความคลาดเคลื่อนในการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์	60
รูปที่ 4.13 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณพัลส์ของเครื่องวัด สเปกตรัมรังสีแกมมา.....	61
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการตอบสนองอัตราวิเคราะห์สัญญาณพัลส์ที่ขนาดความสูงต่างๆ.....	62
รูปที่ 4.15 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน โดยใช้หัววัดรังสี NaI(Tl).....	63
รูปที่ 4.16 สเปกตรัมของ Cs-137 โดยหัววัด NaI(Tl) เวลา 1 นาที	64
รูปที่ 4.17 สเปกตรัมของ Co-60 โดยหัววัด NaI(Tl) เวลา 1 นาที	64
รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบพลังงานจากการวัดสเปกตรัมด้วยหัววัด NaI(Tl).....	65
รูปที่ 4.19 สเปกตรัมของ Cs-137 และ Co-60 โดยหัววัด NaI(Tl) เวลา 1 นาที.....	65
รูปที่ 4.20 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน โดยใช้หัววัดรังสี CsI(Tl).....	66
รูปที่ 4.21 สเปกตรัมของ Cs-137 โดยหัววัด CsI(Tl) เวลา 2 นาที.....	67
รูปที่ 4.22 สเปกตรัมของ Co-60 โดยหัววัด CsI(Tl) เวลา 2 นาที	67
รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบพลังงานจากการวัดสเปกตรัมด้วยหัววัด CsI(Tl).....	67
รูปที่ 4.24 สเปกตรัมของ Cs-137 และ Co-60 โดยหัววัด CsI(Tl) เวลา 2 นาที.....	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันได้มีการนำรังสีแกมมาไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ มากมาย อาทิเช่น ด้านการแพทย์ใช้ในการตรวจวินิจฉัยและบำบัดรักษาโรค ด้านอุตสาหกรรมสำหรับตรวจสอบวัสดุแบบไม่ทำลาย ตัวอย่างเช่น การใช้รังสีตรวจสอบรอยร้าวของชิ้นส่วนเครื่องบิน และใช้ควบคุมความหนาของแผ่นโลหะในกระบวนการรีดแผ่นโลหะ ด้านการเกษตรใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืช การถนอมอาหารและฆ่าแบคทีเรียในพืชผลต่างๆ อีกทั้งใช้ในด้านการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นต้น กอปรกับในปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา (Pocket Computer) กำลังเป็นที่นิยมในการนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ มากมาย เนื่องจากมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีจอแสดงผลที่ชัดเจนและสามารถเก็บข้อมูลได้ อีกทั้งในปัจจุบันการศึกษาทางด้านการแพทย์ได้นำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพานี้ไปใช้เป็นหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ในการศึกษาแทนการใช้หนังสือ เนื่องจากสามารถค้นหาข้อมูลได้ง่าย และมองเห็นรูปภาพต่างๆ ได้ชัดเจน ด้วยเหตุนี้เองผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพามาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้น เพื่อให้มีขนาดเล็ก กระทัดรัด และง่ายต่อการใช้งาน สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องวิเคราะห์ชนิดของไอโซโทปประเภทเคลื่อนย้ายในงานด้านความปลอดภัย เครื่องสำรวจรังสีที่สามารถวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาในตัวเพื่อใช้วัดรังสีในห้องปฏิบัติการ และวัดปริมาณรังสีแกมมาในธรรมชาติ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซี โดยใช้ไปป์ไลน์เอ็ดจีในการแปลงผันสัญญาณ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1. ออกแบบและสร้างส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา ได้แก่ วงจรขยายสัญญาณ และวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์แบบหลายช่องขนาดไม่ต่ำกว่า 4096 ช่อง
- 1.3.2. ออกแบบและสร้างส่วนเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซี พร้อมโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ และการแสดงผล

1.3.3. ทดสอบสมรรถนะการทำงานของระบบอันได้แก่ ความเร็ว และความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัลในการแปลงผันสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาขนาดพกพาที่ทำงานร่วมกับฟ็อกเก็ตพีซี และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือวัดรังสีแกมมาสำหรับงานด้านความปลอดภัยทางรังสี และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาและค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ออกแบบและสร้างส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา อันได้แก่ วงจรขยายสัญญาณพัลส์ วงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล วงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ในหน่วยความจำ และวงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุม

1.5.3 ออกแบบและสร้างส่วนเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซี พร้อมทั้ง โปรแกรมวัดและควบคุมการทำงานของระบบ และการแสดงผล

1.5.4 ทดสอบสมรรถนะการทำงานของระบบวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้น

1.5.5 สรุปและเขียนวิทยานิพนธ์

1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 ปี พ.ศ. 2536 วิรุพห์ มังคละวิรัช และ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ทำการวิจัยเรื่อง อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาระบบวิเคราะห์ความสูงของนิวเคลียร์พัลส์โดยใช้ระบบแปลงสัญญาณดิจิทัลแบบวิลคินสัน (Wilkinson ADC) ทำงานด้วยความถี่ฐานเวลา 50 ล้านเฮิร์ตซ์ มีความละเอียดในการวิเคราะห์ 1024 ช่องวัด และมีความจุแต่ละช่องวัดเท่ากับ $2^{16} - 1$ จำนวนนับ ทำการส่งข้อมูลดิจิทัลจากระบบแปลงสัญญาณผ่านช่องขยายการทำงาน (Slot) ขนาด 8 บิตบนไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC AT/XT

1.6.2 ปี พ.ศ. 2547 สิริยาภรณ์ แสงอรุณ ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบมอนิเตอร์รังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอส งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาระบบเพื่อวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อม ซึ่งระบบสามารถรายงานผลในรูปแบบของสเปกตรัม

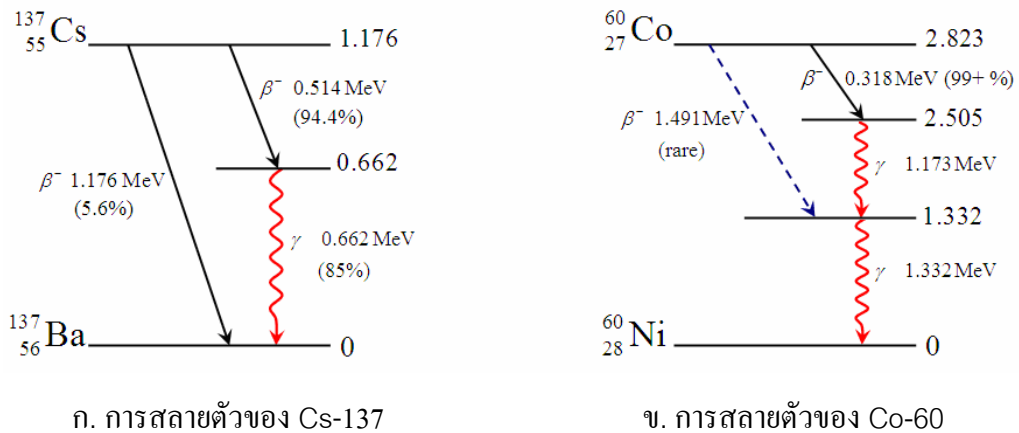
พลังงาน ความแรงรังสี พร้อมทั้งตำแหน่งพิกัดของเส้นรุ้ง (Latitude) และเส้นแวง (Longitude) โดยอาศัยการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตร่วมกับคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดปาล์มรุ่น m505

- 1.6.3 ปี พ.ศ. 2547 อภิรักษ์ ลอยแก้ว ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาบนพ็อกเก็ตพีซี งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาบนพ็อกเก็ตพีซีสำหรับวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาที่ได้จากการวัดโดยใช้หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง โดยสามารถรับข้อมูลสเปกตรัมจากเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่องของ Canberra Series 35 Plus และ 10 Plus ได้โดยตรงหรืออ่านข้อมูลสเปกตรัมที่บันทึกไว้ในหน่วยความจำบนพ็อกเก็ตพีซี หรือการ์ดความจำแล้วแสดงสเปกตรัมบนหน้าจอของพ็อกเก็ตพีซี โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถหาจุดกึ่งกลางพีก, หาจำนวนนับรวมของพีก, หาพื้นที่สุทธิใต้พีก, ประมาณค่าความกว้าง ณ ตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความสูงพีก, หาพลังงานนับรวมของพีก รวมทั้งการเปรียบเทียบพลังงานและการระบุชนิดของไอโซโทปได้
- 1.6.4 ปี พ.ศ. 2547 Herman P. Lima, Jr., Germano P. Guedes, Ademarlaudo F. Barbosa และ Jose M. Seixas ทำการวิจัยเรื่อง A Fast Multichannel-Analyzer for Radiation Detection Applications งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องความเร็วสูงสำหรับวัดรังสี โดยมีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลทั้งแบบซีกเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน และแบบแฟลช และใช้ CPLD ที่ความถี่ 20 MHz แทนไมโครโปรเซสเซอร์ในการควบคุมการประมวลผลข้อมูลดิจิทัล ทำให้ลดเดดไทม์ของระบบลงเหลือ 200 ns จึงทำให้สามารถวัดรังสีที่อัตราการนับสูงได้ดี

อุปกรณ์วิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา

2.1 คุณสมบัติของรังสีแกมมา

รังสีแกมมา (Gamma Radiation) เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่สามารถแผ่กระจายจากต้นกำเนิดออกไปในอากาศหรือตัวกลางใดๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเกิดรังสีแกมมาเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากการสลายตัวของไอโซโทปรังสีที่มีการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและรังสีบีตาเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสทำให้เกิดเป็นอะตอมธาตุใหม่ที่ยังคงอยู่ในสภาวะระดับพลังงานสูง จึงต้องทำการลดระดับพลังงานสู่สภาวะไอโซโทปเสถียรด้วยการปลดปล่อยพลังงานในรูปของรังสีแกมมาออกมา นิวเคลียสที่มีการปลดปล่อยรังสีแกมมาจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งเลขมวล และเลขอะตอม การสลายตัวของไอโซโทปรังสีของธาตุจะมีรูปแบบเฉพาะของแต่ละธาตุ โดยแผ่กัมมันตภาพรังสีหลายชนิดจากนิวไคลด์แม่ลงมาเป็นนิวไคลด์ลูกก่อนลงสู่สภาวะไอโซโทปเสถียร รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างแผนผังการสลายตัว (Decay Scheme) ของ Cs-137 และ Co-60 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 แผนผังการสลายตัวของรังสีแกมมาของ Cs-137 และ Co-60

รังสีแกมมาเมื่อไปกระทบกับตัวกลางใดๆ จะทำอันตรกิริยากับไอออนพลังงานจลน์ให้กับตัวกลางนั้นๆ โดยมีโอกาสที่จะเกิดอันตรกิริยากับอะตอมของตัวกลาง 3 รูปแบบ คือ การเกิดโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Effect) การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton Scattering) และการเกิดแพร์โปรดักชัน (Pair Production) ซึ่งโอกาสของการเกิดอันตรกิริยาทั้ง 3 รูปแบบนี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลางและพลังงานของโฟตอนที่มีความสัมพันธ์กับความถี่และความยาวคลื่นตามทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัมดังสมการที่ 1

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ h = ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck Constant , eV·s)

ν = ความถี่ของโฟตอน (s^{-1})

λ = ความยาวคลื่นของโฟตอน (m)

c = ความเร็วแสง (ms^{-1})

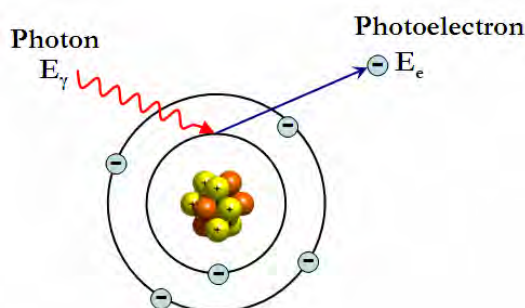
2.1.1 การเกิดโฟโตอิเล็กตริก (Photoelectric Effect)

การเกิดโฟโตอิเล็กตริกเป็นการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับอิเล็กตรอนที่โคจรล้อมรอบนิวเคลียสอะตอมของตัวกลางด้วยการถ่ายโอนพลังงานของโฟตอนทั้งหมดให้กับอิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากวงโคจรเป็นอิเล็กตรอนอิสระ เรียกว่า “โฟโตอิเล็กตรอน” ซึ่งมีพลังงานเท่ากับ E_e ดังสมการที่ 2

$$E_e = E_\gamma - BE \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ E_γ = พลังงานของรังสีแกมมาหรือโฟตอน

BE = พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในชั้นโคจรของอะตอมตัวกลาง



รูปที่ 2.2 การเกิดโฟโตอิเล็กตริก

2.1.2 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton Scattering)

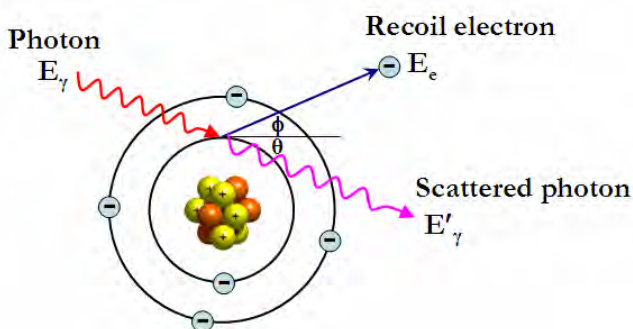
การกระเจิงแบบคอมป์ตันเกิดจากการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับอิเล็กตรอนที่ล้อมรอบนิวเคลียสอะตอมของตัวกลาง แต่การถ่ายโอนพลังงานทำให้อิเล็กตรอนได้รับพลังงานบางส่วนจากโฟตอนและกระเจิงออกจากวงโคจร ส่วนโฟตอนที่มีพลังงานเหลืออยู่จะกระเจิงในทิศทางทำมุม θ กับทิศทางเดิม ซึ่งอิเล็กตรอนที่กระเจิงออกมาจากวงโคจรเรียกว่า “รีคอยล์”

อิเล็กตรอน (Recoil Electron)” พลังงานของรีคอยล์อิเล็กตรอนและโฟตอนแสดงดังสมการที่ 3 และ สมการที่ 4 ตามลำดับ

$$E_e = E_\gamma - E'_\gamma \quad \dots\dots\dots(3)$$

โดยที่
$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + (1 - \cos \theta) \frac{E_\gamma}{mc^2}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

- เมื่อ E_γ = พลังงานของโฟตอน
 E'_γ = พลังงานของโฟตอนที่กระเจิงออกมา
 θ = มุมที่โฟตอนกระเจิงออกจากแนวเคลื่อนที่



รูปที่ 2.3 การเกิดกระเจิงแบบคอมป์ตัน

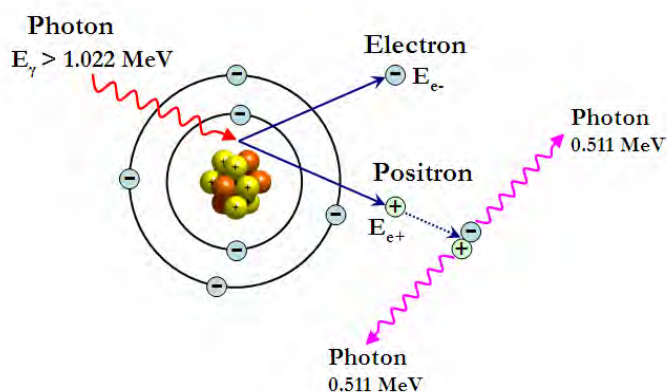
2.1.3 การเกิดแพร์โพรง (Pair Production)

การเกิดแพร์โพรงเป็นการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับนิวเคลียสในกรณีที่โฟตอนมีพลังงานมากกว่า 1.022 MeV โฟตอนพลังงานสูงมากนี้จะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณชั้นโคจรรีคอยล์อิเล็กตรอนและถ่ายโอนพลังงานบริเวณใกล้นิวเคลียส พลังงานของโฟตอนจะทำให้เกิดแถบพลังงานบริเวณสนามประจุและคู่อิเล็กตรอนที่เกิดในแถบพลังงานได้รับพลังงานที่เหลือจากการแปลงมวลหลุดจากแถบพลังงานเกิดเป็นอิเล็กตรอนประจุลบและอิเล็กตรอนประจุบวกคู่หนึ่ง จากนั้นอิเล็กตรอนประจุบวกจะจับอิเล็กตรอนอิสระในบริเวณใกล้เคียงแล้วสลายมวลทันทีทันใด (Annihilation) พร้อมทั้งปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมา 2 ตัว ซึ่งแกมมาทั้ง 2 ตัวที่ถูกปลดปล่อยออกมานั้นทำมุม 180 องศา โดยรังสีแกมมาแต่ละตัวมีพลังงานจากการสลายมวล 0.511 MeV อันตรกิริยานี้โฟตอนสูญเสียพลังงานไปดังสมการที่ 5 และ สมการที่ 6

$$E_{e^-} + E_{e^+} = E_\gamma - (mc^2)_{e^-} - (mc^2)_{e^+} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$E_{e^-} + E_{e^+} = E_\gamma - 1.022 \text{ MeV} \quad \dots\dots\dots(6)$$

เมื่อ m = มวลของอิเล็กตรอน หรือโพสิตรอน
 c = ความเร็วแสง



รูปที่ 2.4 การเกิดเพอร์โพร์คชัน

2.2 กระบวนการตรวจวัดรังสีแกมมา^[5]

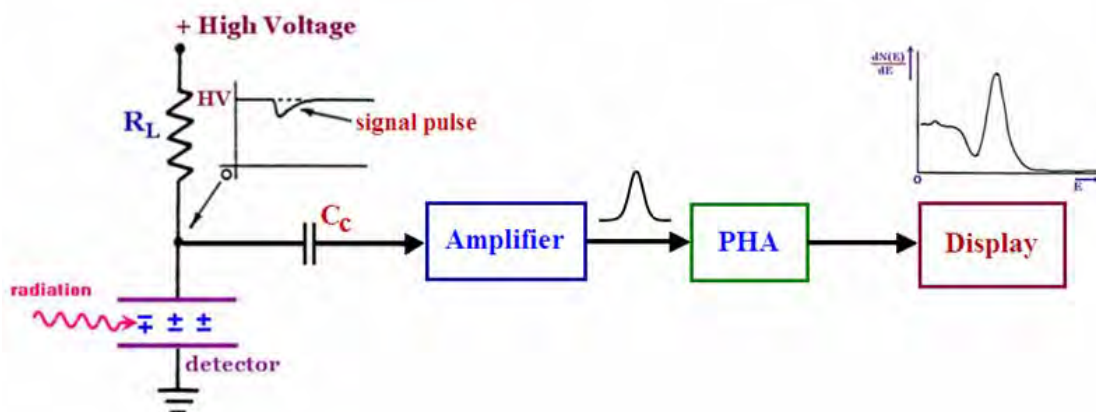
กระบวนการตรวจวัดรังสีแกมมาอาศัยหลักการเปลี่ยนพลังงานของรังสีแกมมาจากการถ่ายโอนพลังงานให้แก่ตัวกลางที่เหมาะสมภายในหัววัดรังสีเป็นปริมาณประจุไฟฟ้า ซึ่งปริมาณประจุที่ได้จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับระดับพลังงานที่ถ่ายโอนให้แก่ตัวกลางภายในหัววัดรังสี ปริมาณประจุไฟฟ้าที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าในรูปพัลส์นี้เรียกว่า “สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์” ขนาดความสูงของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์จะสัมพันธ์กับพลังงานของรังสีแกมมา สมการขนาดความสูงของพัลส์นิวเคลียร์ แสดงดังสมการที่ 7

$$V_d = \frac{qn}{C} e^{-t/RC} \dots\dots\dots(7)$$

เมื่อ V_d = ความสูงของพัลส์นิวเคลียร์
 q = ประจุอิเล็กตรอน ($1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$)
 n = ปริมาณของกลุ่มประจุบวกและลบที่เกิดขึ้น
 C = ค่าความจุในวงจรเทียบเท่าของหัววัดรังสี ซึ่งรวมความจุโครงสร้างของหัววัดด้วย
 $e^{-t/RC}$ = ตัวประกอบการสลายของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์

เนื่องจากสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่ได้จากหัววัดรังสีจะมีขนาดเล็กมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องส่งสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ไปยังภาคขยายสัญญาณเพื่อทำการขยายสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ขึ้นพร้อมทั้งแต่งรูปสัญญาณด้วยกระบวนการกรองความถี่ชนิดที่มีย่านตอบสนองความถี่แคบ (Narrow Band Amplifier) ตามเทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectroscopy) จึงทำ

ให้ได้อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal to Noise Ratio, S/N) สูง สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่ได้รับมีการขยายสัญญาณแล้วจึงมีขนาดความสูงของพัลส์แปรเปลี่ยนตามสัดส่วนพลังงาน ($dH \propto dE$) ที่ตกกระทบบนหัววัดรังสี จากนั้นจะถูกส่งต่อไปให้กับระบบวิเคราะห์พลังงานเพื่อจำแนกความสูงของพัลส์นิวเคลียร์เป็นสเปกตรัมพลังงาน ซึ่งกระบวนการวิเคราะห์พลังงานของอนุภาคนิวเคลียร์นี้เรียกว่า “การวิเคราะห์ความสูงพัลส์ (Pulse Height Analysis, PHA)”



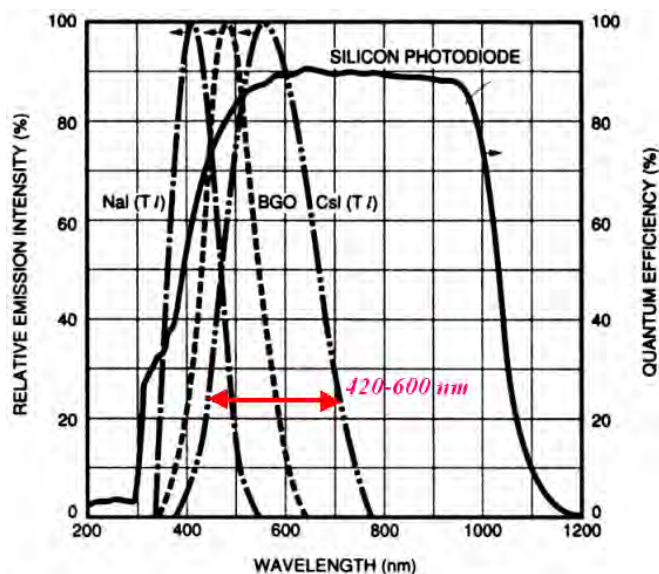
รูปที่ 2.5 แผนภาพของระบบวิเคราะห์พลังงานอนุภาคนิวเคลียร์

2.3 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา (Gamma Spectrometer)

2.3.1 หัววัดรังสีชนิดฟิโนโตไดโอดซินทิลเลชัน (PIN Photodiode scintillation detector)^[4]

โครงสร้างของหัววัดรังสีชนิดฟิโนโตไดโอดซินทิลเลชันเกิดจากการนำซิลิกอนโฟโตไดโอด (Silicon photodiode) ชนิดฟิโนโตไดโอด (PIN Photodiode) มาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดประกายแสง (Scintillated light) ที่เกิดขึ้นจากผลึกซินทิลเลเตอร์ชนิดซีเซียมไอโอไดด์ที่แอกติเวตด้วยทาลเลียม (CsI(Tl)) ซึ่งมีคุณสมบัติดูดกลืนพลังงานของอนุภาคที่มีประจุในตัวเอง รังสีเอกซ์และรังสีแกมมาได้ดี ย่นการปลดปล่อยแสงของผลึกซินทิลเลเตอร์ชนิดซีเซียมไอโอไดด์ (ทาลเลียม) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 420 - 600 นาโนเมตร แสดงดังรูปที่ 2.6 โดยจำนวนครั้งของการเกิดแสงและปริมาณความเข้มของแสงที่เกิดขึ้นบนผลึกซินทิลเลเตอร์จะขึ้นอยู่กับความแรงรังสีและพลังงานของรังสีที่ตกกระทบตามลำดับ สำหรับฟิโนโตไดโอดทำหน้าที่เป็นตัวรับแสงที่เกิดขึ้นแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังวงจรขยายส่วนหน้า (Preamplifier) ชนิดที่มีการทำงานแบบไวต่อประจุ (Charge Sensitive Preamplifier) และวงจรขยายหลัก (Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและเหมาะสมกับความต้องการของระบบวัดรังสีที่อยู่ส่วนถัดไป

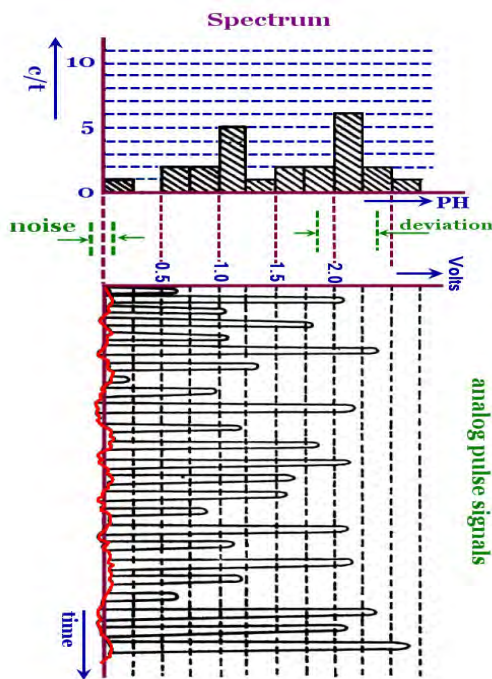
สำหรับข้อดีของการใช้ฟิโนโตไดโอด คือ อุณหภูมิและสนามแม่เหล็กจะไม่มีผลต่อการทำงานของวงจรจึงทำให้มีเสถียรภาพการทำงานที่ดีและยังสามารถสร้างเครื่องมือที่มีขนาดเล็กลงได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (High voltage power supply) แต่มีปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนที่เกิดจากตัวฟิโนโตไดโอด ซึ่งปริมาณของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามพื้นที่ของตัวฟิโนโตไดโอด วิธีการที่จะลดสัญญาณรบกวนเหล่านี้ต้องใช้ความเย็นจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกคูล (Thermoelectric Device)



รูปที่ 2.6 ย่านการปลดปล่อยความยาวคลื่นของฟลักซ์ซินเทลเลเตอร์ชนิด CsI(Tl)

2.3.2 ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา (Gamma Spectrometer) ^[2]

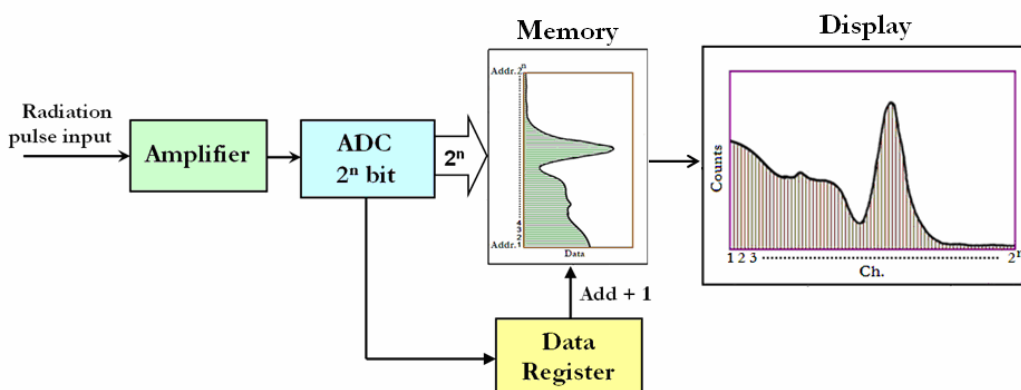
ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาเป็นระบบนับรังสีชนิดคัดเลือกนับจำนวนรังสีเฉพาะขนาดความสูงของสัญญาณพัลส์แต่ละขนาดที่สอดคล้องกับพลังงานของรังสีแกมมาที่ถ่ายโอนให้กับหัววัดรังสีโดยอาศัยอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง (MCA) ซึ่งมีหลักการวิเคราะห์ความสูงพัลส์ (PHA) ด้วยการแปลงความสูงของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่รับมาจากอุปกรณ์ขยายให้เป็นข้อมูลดิจิทัลที่เป็นตัวกำหนดตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำ (Address Memory) สำหรับบันทึกข้อมูลจำนวนนับรังสี โดยจะทำการบวกจำนวนครั้งของพัลส์ที่มีรหัสดิจิทัลตรงกับแอดเดรสช่องนั้น ๆ ครั้งละ 1 หน่วยนับ ข้อมูลการกระจายความสูงของสัญญาณพัลส์ในหน่วยความจำจะถูกเก็บไว้ในรูปของฮิสโตแกรม (Histogram) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เพื่อนำมาวิเคราะห์และแสดงผลในรูปของสเปกตรัมพลังงาน (Energy Spectrum) โดยมีแกนอนแสดงขนาดความสูงของสัญญาณพัลส์หรือเทียบเท่าพลังงานรังสี และแกนตั้งเป็นจำนวนนับความถี่ในแต่ละความสูงของสัญญาณพัลส์ หรือเทียบเท่าจำนวนนับรังสีต่อหน่วยเวลา



รูปที่ 2.7 ฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์

2.3.2 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา

เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมามีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ วงจรขยายสัญญาณพัลส์ ส่วนวิเคราะห์ความสูงสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ ส่วนเก็บข้อมูล และส่วนแสดงผล ดังแผนภาพในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แผนภาพส่วนประกอบของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา

1. วงจรขยายสัญญาณพัลส์ (Amplifier) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลส์ และปรับแต่งรูปสัญญาณของสัญญาณพัลส์ที่ได้จากหัววัดรังสี ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนสูง ความสูงของสัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณจะเป็นสัดส่วนกับระดับพลังงานของรังสีที่ตกกระทบหัววัด

2. วงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC) เป็นส่วนสำคัญทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกจากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่มีความสูงเทียบเท่าระดับพลังงานต่างๆ ของรังสีให้เป็นสัญญาณดิจิทัล สำหรับนำไปเป็นรหัสตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำ (Memory) เพื่อทำการบันทึกข้อมูล
3. ส่วนบันทึกข้อมูล (Data Register Unit) ทำหน้าที่บวกเพิ่มจำนวนพัลส์ที่มีรหัสตรงกับแอดเดรสช่องนั้นๆ ครั้งละ 1 หน่วยนับ
4. ส่วนหน่วยความจำ (Memory Unit) ทำหน้าที่บันทึกจำนวนนับของสัญญาณพัลส์ในแต่ละแชนแนลแอดเดรส (แต่ละระดับพลังงาน) ในรูปของรหัสไบนารี และมีความจุของแชนแนลแอดเดรสตามค่า 2^n ช่องขึ้นกับเครื่องแต่ละเครื่อง จำนวนช่องนี้จะสัมพันธ์กับขีดความสามารถของภาค ADC เช่น 2^9 เท่ากับ 512 ช่อง, 2^{10} เท่ากับ 1024 ช่อง เทียบเท่าระดับพลังงานที่ปรับเทียบไว้ ซึ่งหมายถึงความละเอียดของสเกลระดับพลังงาน (eV/Ch)
5. ส่วนแสดงผล (Display Unit) ทำหน้าที่แสดงผลข้อมูลที่บันทึกไว้ในหน่วยความจำบนจอแสดงผลในรูปของสเปกตรัม

2.4 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter, ADC)

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล เป็นส่วนที่สำคัญมากต่อระบบวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา เนื่องจากทำหน้าที่แปลงความสูงของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งสัญญาณดิจิทัลที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้ในการกำหนดค่าตำแหน่งแอดเดรส (Address) ของหน่วยความจำเพื่อเก็บข้อมูลการกระจายความสูงของสัญญาณพัลส์ในรูปแบบฮิสโตแกรม (Histogram) หรือสเปกตรัม (Spectrum) พลังงานของรังสี ในเครื่องมือวัดทั่วไปวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่นำไปประยุกต์ใช้จะทำกรแปลงผันสัญญาณอนาลอกอินพุตอย่างต่อเนื่อง แต่สำหรับการนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องมือวัดรังสีนั้น วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลจะแปลงผันเฉพาะตำแหน่งสูงสุดของสัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณเท่านั้น เนื่องจากตำแหน่งสูงสุดของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีนั้นๆ ปัจจุบันการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่นิยมนำมาใช้งานกับระบบวัดรังสีแกมมา สามารถแบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้ 2 ชนิดคือ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีเวลาการแปลงผันสัญญาณไม่คงที่ (Conventional ADC) และวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีเวลาการแปลงผันสัญญาณคงที่ (Fixed Conversion Time ADC) ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญในการเลือกใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลให้เหมาะกับการใช้งานที่สำคัญคือ ความเร็วของเวลาในการแปลงผันสัญญาณ

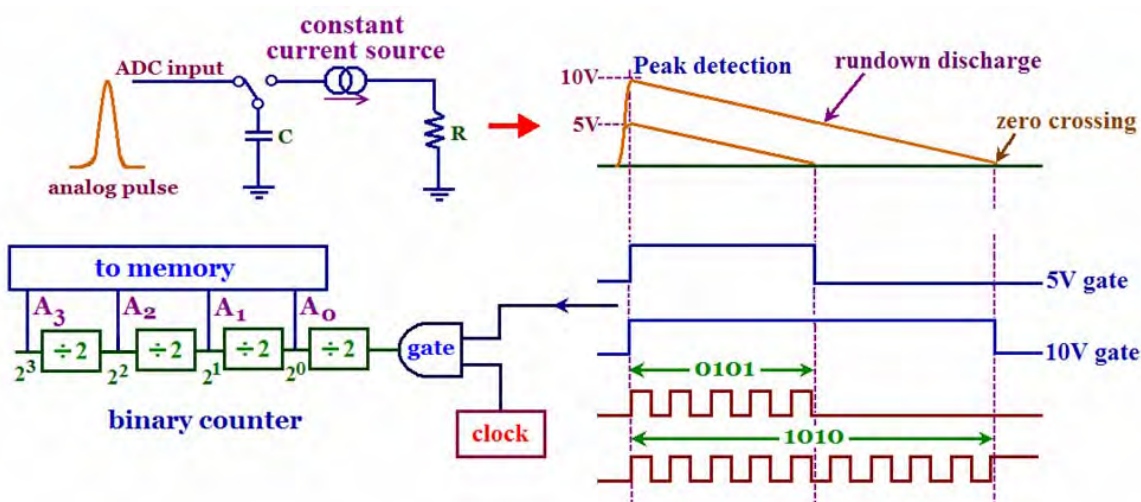
(Conversion Time) ความเป็นเชิงเส้นของการแปลงผันสัญญาณ (Linearity) และความละเอียดในการแจกแจงสัญญาณของการแปลงสัญญาณ (Resolution)

2.4.1 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีเวลาการแปลงผันสัญญาณไม่คงที่ (Conventional ADC หรือ Ramp Type ADC)

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลชนิดนี้จะใช้เวลาแปลงผันสัญญาณไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับขนาดความสูงของสัญญาณอนาลอกอินพุต ข้อดีของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลชนิดนี้คือ มีความเป็นเชิงเส้นของแปลงผันสัญญาณสูง แต่มีข้อเสียก็คือใช้เวลาในการแปลงผันสัญญาณนานขึ้นเมื่อขนาดความสูงสัญญาณอนาลอกอินพุตสูงขึ้น วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลชนิดนี้ได้แก่ ชนิดวิลคินสัน (Wilkinson)

2.4.1.1 วงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบวิลคินสัน

วงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบวิลคินสัน เป็นวงจรแปลงความสูงของสัญญาณพัลส์โดยใช้หลักการชาร์จบนคาปาซิเตอร์จนมีค่าศักดาไฟฟ้าเท่ากับค่าสูงสุดของสัญญาณพัลส์ที่เข้ามาทางอินพุต จากนั้นคาปาซิเตอร์จะถูกดิสชาร์จด้วยอัตรากระแสคงที่ (Constant Current Source) เพื่อใช้สร้างคาบเวลาในการเปิดและปิดเกตของวงจรรับไบนารี (Binary Counter) ให้นับสัญญาณนาฬิกาความถี่สูง ซึ่งคาบเวลาที่ได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสูงของสัญญาณพัลส์ที่เข้ามาทางอินพุต ดังนั้นจำนวนสัญญาณนาฬิกาที่นับได้จากช่วงการดิสชาร์จจึงเป็นสัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตของวงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบวิลคินสันนั่นเอง การแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบวิลคินสันแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบวิลคินสัน

2.4.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีเวลาการแปลงผันสัญญาณคงที่ (Fixed Conversion Time ADC)

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลชนิดนี้จะใช้เวลาการแปลงผันสัญญาณคงที่ เนื่องจากอาศัยการทำงานของไอซีสำเร็จรูปที่มีความเร็วในการแปลงผันสัญญาณสูง ดังนั้นเวลาในการแปลงผันสัญญาณจึงไม่ขึ้นอยู่กับความสูงของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ แต่มีข้อเสียคือมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงกว่าชนิดวิตคินสัน ดังนั้นในการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบวัดรังสีแกมมาจึงต้องอาศัยเทคนิคพิเศษในการปรับแก้ความไม่เป็นเชิงเส้น วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีเวลาการแปลงผันสัญญาณคงที่นี้ ได้แก่ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบแฟลช (Flash ADC) แบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน (Successive Approximation ADC) และแบบไปป์ไลน์ (Pipeline ADC) ซึ่งวงจรทั้ง 3 แบบ สามารถเปรียบเทียบความเร็วในการแปลงผันสัญญาณ (Conversion Time) ความละเอียดในการแจกแจงรายละเอียดของสัญญาณ (Resolution) และการสูญเสียกำลังไฟฟ้า (Power Dissipation) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

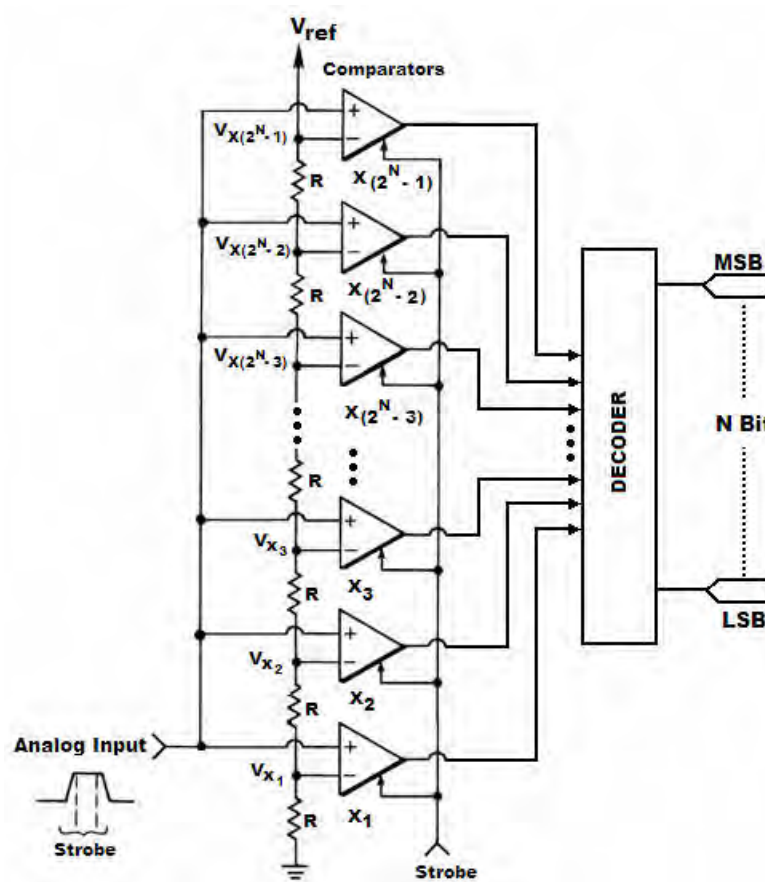
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความเร็วในการแปลงผัน ความละเอียดในการแจกแจงรายละเอียด และการสูญเสียกำลังของอุปกรณ์แปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลสำเร็จรูป

ADC Topology	$f_{\text{CONVERSION}}$	Resolution	Power Dissipation
SAR	< 1 MHz	8 - 18 bits	10 mW
Flash	< 500 MHz	4 - 8 bits	2 W
Pipeline	< 80 MHz	8 - 16 bits	100 mW

2.4.2.1 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบแฟลช

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบแฟลชเป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่เป็นไอซีสำเร็จรูป ซึ่งภายในประกอบด้วยคอมพารเตเตอร์ (Comparator) จำนวน $2^{n_{\text{bit}}} - 1$ ตัว เรียงขนานกันตามแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.10 คอมพารเตเตอร์แต่ละตัวจะมีแรงดันอ้างอิง (V_x) คงที่ค่าหนึ่งสำหรับเปรียบเทียบกับระดับความสูงของสัญญาณอนาลอกอินพุต ซึ่งระดับแรงดันอ้างอิงของคอมพารเตเตอร์จะเพิ่มขึ้นทีละ ΔV ในทุกระดับชั้นขึ้นไป วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบแฟลชจะมีช่องรับสัญญาณอินพุตเพียงช่องเดียว ดังนั้นคอมพารเตเตอร์ทุกตัวจะทำการแปลงผันสัญญาณพร้อมๆ กัน จึงอาจเรียกวงจรนี้ว่าเป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบขนาน (Parallel ADC) หลักการทำงานเริ่มจากเมื่อมีสัญญาณอนาลอกอินพุตเข้ามา คอมพารเตเตอร์แต่ละตัวจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณอนาลอกอินพุตกับแรงดันอ้างอิงของแต่ละตัว จากนั้นเอาท์พุตของคอมพารเตเตอร์จะถูกส่งไปยัง

ส่วนถอดรหัสข้อมูล (Decoder) เพื่อทำการแปลงเป็นรหัสดิจิทัลในลักษณะเปิดตาราง (Look Up Table, LUT) จึงทำให้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลนี้มีการแปลงผันสัญญาณที่มีความเร็วสูงสุด แต่มีข้อเสียคือ เป็นวงจรที่สูญเสียกำลังไฟฟ้ามาก เนื่องจากมีจำนวนคอมพารเตอรืเท่ากับ $2^{n\text{bit}} - 1$ ตัว ตัวอย่างเช่นในวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต จะต้องใช้คอมพารเตอรืทั้งหมด 4,095 ตัว อีกทั้งยังมีราคาแพง และมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงเมื่อจำนวนบิตมากขึ้น เนื่องจากไม่สามารถสร้างตัวต้านทานสำหรับอ้างอิง V_x ให้มีค่าเท่ากันได้ทั้งหมดจึงทำให้แรงดันอ้างอิงของคอมพารเตอรืมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบแฟลชจึงไม่เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านวัดความสูงของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่ต้องการความละเอียดสูงและประหยัดพลังงาน

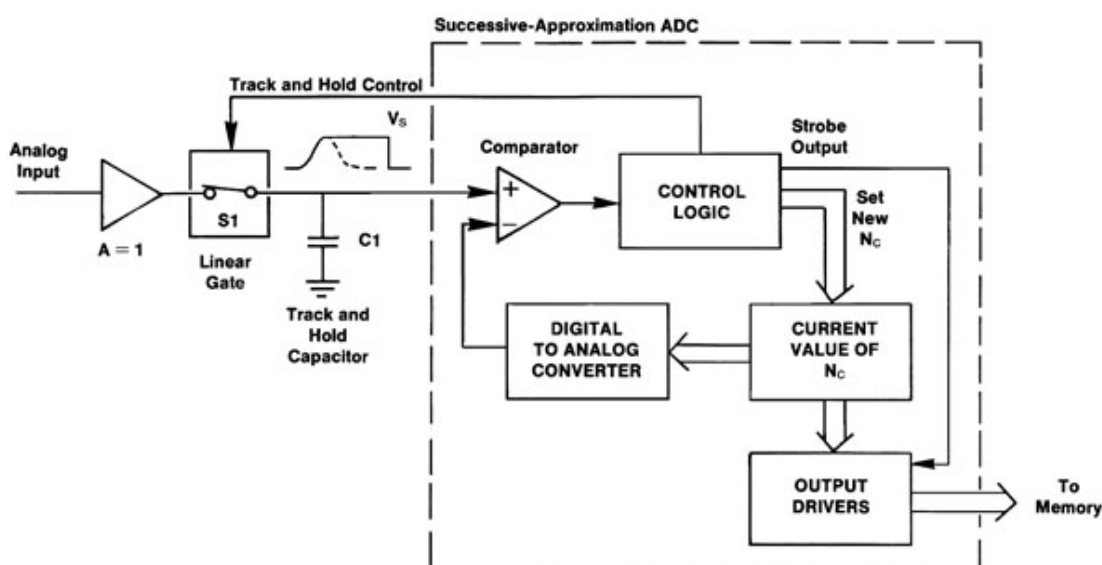


รูปที่ 2.10 แผนภาพการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบแฟลช

2.4.2.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบซัคเซสซีฟแอสเพรอกซิเมชัน^[3]

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบซัคเซสซีฟแอสเพรอกซิเมชันจะทำการแปลงผันสัญญาณโดยใช้วิธีการประมาณค่าของสัญญาณอย่างต่อเนื่อง (Successive approximation Method) ภายในวงจรประกอบด้วย คอมพารเตอรื (Comparator) วงจรแปลง

สัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (Digital to Analog Converter, DAC) และซัคเซสซีฟ แอปพรอกซิเมชันรีจิสเตอร์ (Successive Approximation Register, SAR) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 หลักการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบซัคเซสซีฟแอปพรอกซิเมชันนี้เป็นการแปลงสัญญาณแบบประมาณค่าโดยอาศัยการเปรียบเทียบขนาดแรงดันของสัญญาณอนาล็อกอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก เมื่อมีสัญญาณอนาล็อกอินพุตเข้ามาจะถูกตรวจค่าพีคด้วยวงจรพีคดีเทค (Peak Detector) และถูกโฮลด์ค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณนั้นไว้ด้วยวงจรแซมเปิลแอนด์โฮลด์ (Sample and Hold) พร้อมทั้งส่งสัญญาณเริ่มต้นทำการวัดและแปลงผันสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลออกไป วงจรเริ่มทำการแปลงสัญญาณ โดยเปรียบเทียบขนาดสัญญาณอนาลอกระดับอ้างอิงไปนารีที่เรียงลำดับน้ำหนักค่า หากขนาดสัญญาณสูงกว่าครึ่งหนึ่งของระดับอ้างอิงจะเซตบิต 1 ของซัคเซสซีฟแอปพรอกซิเมชันรีจิสเตอร์เป็น 1 ซึ่งจะตรงกับบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุด (Most Significant Bit, MSB) ของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ขณะที่บิตอื่นถูกเซตค่าเป็น 0 จากนั้นวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกแปลงค่าที่ได้เป็นแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้ออมพารเตอร์ทำการเปรียบเทียบว่ามีค่าสูงกว่าสัญญาณอนาล็อกอินพุตหรือไม่ ถ้าสูงกว่าค่า MSB จะถูกรีเซตเป็น 0 แต่ถ้าต่ำกว่าค่า MSB ยังคงเป็น 1 เช่นเดิม จากนั้นทำการทดสอบเหมือนเดิมกับบิตที่มีนัยสำคัญรองลงไปจนกระทั่งครบทุกบิตก็จะสิ้นสุดการแปลงสัญญาณ รหัสดิจิทัลที่ค้างในรีจิสเตอร์เมื่อทำการแปลงสัญญาณเสร็จแล้วคือดิจิทัลเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบซัคเซสซีฟแอปพรอกซิเมชันนั่นเอง



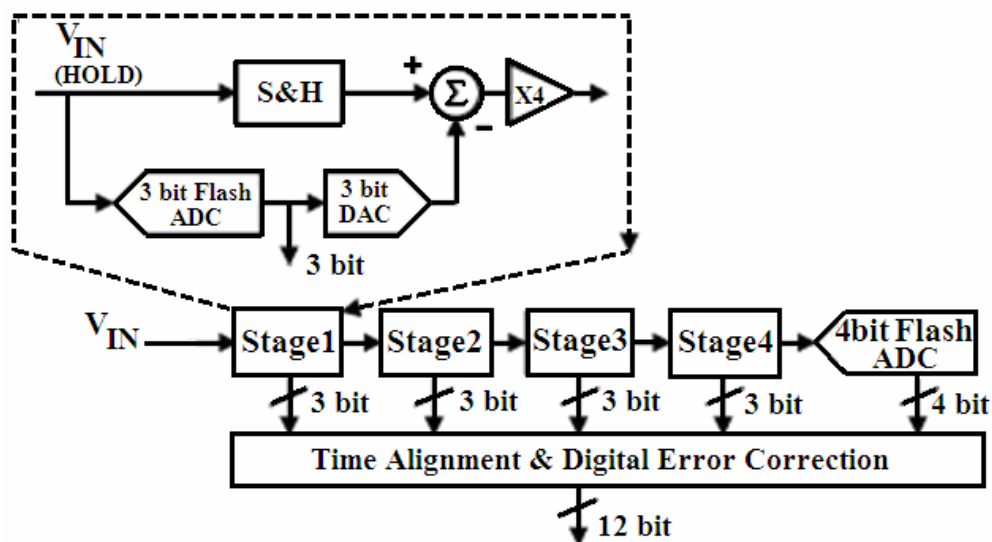
รูปที่ 2.11 แผนภาพการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบซัคเซสซีฟแอปพรอกซิเมชัน

2.4.2.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบไปป์ไลน์^[8]

เทคนิคการทำงานแบบไปป์ไลน์ (Pipeline Technique) เป็นเทคนิคที่ช่วยลดผลกระทบที่เกิดจาก Latency โดยจะแบ่งภาคการทำงานออกเป็นส่วนๆ ตามลำดับขั้น โดยขั้นที่ 1 รับข้อมูลมาก่อนและหลังจากส่งต่อข้อมูลให้ขั้นที่ 2 แล้ว ขั้นที่ 1 สามารถรับข้อมูลต่อได้เลยโดยไม่จำเป็นต้องรอให้ทำงานจนครบทุกๆ ขั้นก่อนแล้วจึงรับข้อมูลใหม่ ด้วยวิธีการนี้จึงทำให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และช่วยลดขั้นตอนที่จะต้องรอข้อมูลโดยเปล่าประโยชน์ไป จึงทำให้ลดระยะเวลาในการทำงานลง

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบไปป์ไลน์เป็นไอซีสำเร็จรูปที่อาศัยเทคนิคการทำงานแบบแฟลชและแบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชันมาผสมผสานกันเพื่อใช้ในการแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล กล่าวคือจะทำการแบ่งการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลออกเป็นสเตจ (Stage) ย่อยๆ โดยนำเอาวิธีการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบแฟลชเข้ามาช่วยในการแปลงสัญญาณในแต่ละสเตจ ซึ่งในแต่ละสเตจจะทำการแปลงสัญญาณไปพร้อมๆ กันจึงทำให้เวลาในการแปลงผันสัญญาณสั้นลง วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบไปป์ไลน์มีโครงสร้างภายในแสดงดังรูปที่ 2.12 หลักการทำงานของแต่ละสเตจเริ่มจากสัญญาณอนาลอกป้อนให้กับทางเข้าของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลจะถูกสุ่มและคงค่าไว้ด้วยวงจรแซมเปิลแอนด์โฮลด์ (Sample and Hold) ในขณะเดียวกันแฟลชเอดีซี (Flash ADC) ในสเตจแรกจะทำการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 3 บิต จากนั้นค่าดิจิทัลที่ได้จะถูกแปลงกลับไปเป็นสัญญาณอนาลอกโดยตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก (DAC) ขนาด 3 บิตเช่นกัน เพื่อนำไปหักลบกับสัญญาณอนาลอกที่ถูกสุ่มและคงค่าไว้แล้วด้วยวงจรแซมเปิลแอนด์โฮลด์ เนื่องจากการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลในแต่ละสเตจจะได้ค่าบิตนัยสำคัญที่สุดออกมาทำให้สัญญาณส่วนหนึ่งได้รับการแปลงไปแล้วจึงต้องนำสัญญาณขาเข้าลบค่าที่ถูกแปลงไปแล้วออกเกิดเป็นสัญญาณส่วนที่เหลือขึ้น (Residue Signal) ซึ่งเป็นค่าที่ยังไม่ได้รับการแปลงจริงส่งไปยังสเตจถัดไป แต่สเตจถัดไปจะเห็นค่าเต็มสเกลของสัญญาณลดลง ดังนั้นจึงต้องทำการปรับค่าเต็มสเกลใหม่โดยนำสัญญาณส่วนที่เหลือคูณด้วยอัตราขยายค่าหนึ่งเพื่อให้สเตจถัดไปเห็นค่าเต็มสเกลเท่าเดิม จากนั้นทำการแปลงสัญญาณแบบเดียวกับสเตจแรกจนครบทุกสเตจ สัญญาณดิจิทัลที่ได้จากการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลในแต่ละสเตจจะถูกส่งไปยังวงจรปรับแก้การผิดพลาดทางข้อมูลดิจิทัล (Digital Error Correction) วงจรปรับแก้เวลา (Time Alignment) และวงจรแลตช์ข้อมูลทางเอาต์พุต (Output Latch) จากโครงสร้างสถาปัตยกรรมและหลักการ

ทำงานจะเห็นได้ว่าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบไปป์ไลน์มีการทำงานแบบคู่ขนานจึงทำให้มีความเร็วในการแปลงสัญญาณสูง นอกจากนั้นยังมีการปรับแก้ข้อมูลทางดิจิทัลเพื่อป้องกันการผิดพลาดจากการทำงานของเฟลชเอดีซี และการจัดเรียงข้อมูลในแต่ละชั้น อีกทั้งได้แก้ปัญหาเรื่องการล่าช้า (Time Delay) ของข้อมูลในแต่ละชั้น ไปยังบัสข้อมูล (Data Bus) ซึ่งโดยทั่วไปนิยมเรียกว่า “Latency” ด้วยเหตุผลต่างๆ ที่กล่าวข้างต้นจึงทำให้ไปป์ไลน์เอดีซีมีความไม่เป็นเชิงเส้นน้อยกว่าเอดีซีสำเร็จรูปชนิดอื่นๆ ที่มีความเร็วในการแปลงสัญญาณเท่ากัน



รูปที่ 2.12 แผนภาพการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบไปป์ไลน์

2.4.3 ประสิทธิภาพของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในระบบวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาคือ ตำแหน่งสเปกตรัมที่ได้จากการวัดต้องมีค่าความถูกต้องและเที่ยงตรงสูง เนื่องจากตำแหน่งของสเปกตรัมจะเป็นตัวบ่งบอกพลังงานของรังสีแกมมา นอกจากนี้ต้องสามารถรับอัตรานับรังสีได้รวดเร็ว ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกใช่วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพสูง และควรมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

2.4.3.1 ความเร็วในการแปลงผันสัญญาณ (Conversion Time)

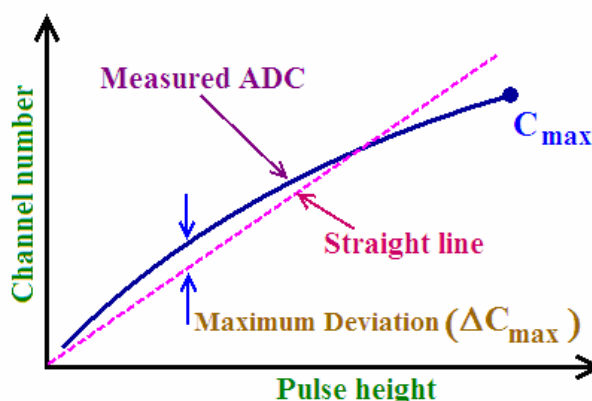
วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีความเร็วในการแปลงผันสัญญาณสูงจะช่วยทำให้ระบบวัดสเปกตรัมรังสีแกมมามีขีดความสามารถในการรับอัตราการนับที่สูงขึ้นหรือมีค่าเดดไทม์ (Dead Time) น้อยเมื่อเทียบกับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีความเร็วในการแปลงผันสัญญาณต่ำ จึงทำให้ระบบวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาสามารถวัดสัญญาณพัลส์ที่เกิดใกล้ๆ กันได้ดียิ่งขึ้น

2.4.3.2 ความเป็นเชิงเส้นของการแปลงผันสัญญาณ (Linearity)

ความเป็นเชิงเส้นของการแปลงผันสัญญาณมีความสำคัญต่อระบบวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา เนื่องจากความถูกต้องในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล จะมีผลกับการแจกแจงตำแหน่งของสเปกตรัมพลังงาน กล่าวคือจะทำให้ความสามารถในการวิเคราะห์ตำแหน่งพลังงานคลาดเคลื่อน โดยทั่วไปการวัดความเป็นเชิงเส้นของการแปลงผันสัญญาณจะนิยมวัดในรูปแบบของความไม่เป็นเชิงเส้นของการแปลงผันสัญญาณ (Non-Linearity) ซึ่งแบ่งออกเป็นความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัล (Integral Non-linearity, INL) และความไม่เป็นเชิงเส้นแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Non-linearity, DNL)

ก. ความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัล (Integral Non-linearity, INL) เป็นการทดสอบการทำงานของระบบด้วยการอ่านค่าของช่องการวัด (Channel Number) ที่ได้จากสัญญาณพัลส์ที่ทราบขนาดความสูงพัลส์ (Pulse Amplitude) จากนั้นทำการเปลี่ยนขนาดความสูงของพัลส์ไปถึงค่าสูงสุด แล้วนำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับช่องการวัดที่ได้ดังรูปที่ 2.13 แล้วหาค่าความเบี่ยงเบนสูงสุดที่เกิดขึ้นเทียบกับกราฟเส้นตรงซึ่งเป็นกราฟที่ได้จากการทำ Least Square Fitting ซึ่งค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัลแสดงดังสมการที่ 8

$$INL = \frac{\Delta C_{\max}}{C_{\max}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(8)$$

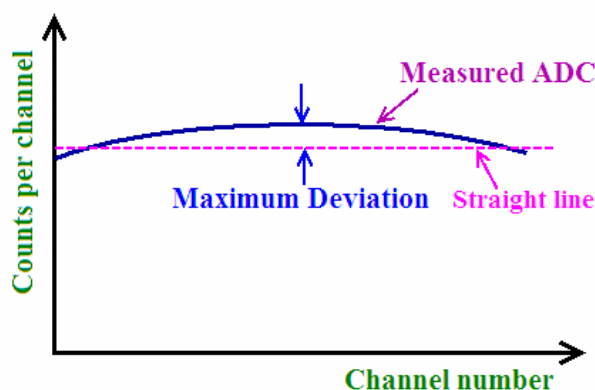


รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับตำแหน่งช่องวิเคราะห์ในการพิจารณาความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัล

ข. ความไม่เป็นเชิงเส้นแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Non-linearity, DNL) เป็นการทดสอบการทำงานของระบบที่ใช้การวิเคราะห์สัญญาณพัลส์ที่มีการกระจายความสูงของพัลส์เปลี่ยนแปลงจากย่านหวังผล ที่มีอัตราพัลส์คงที่แบบต่อเนื่อง ด้วยเวลาวัดที่คงที่สแกนไป

และกลับแล้วนำค่าที่อ่านได้ของปริมาณวิเคราะห์ในแต่ละช่วงการวัดมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการวัดในแต่ละช่องวิเคราะห์กับช่องวิเคราะห์ เพื่อหาค่าเบี่ยงเบนสูงสุดของความกว้างช่องวิเคราะห์เทียบกับเส้นกราฟหวังผลดังรูปที่ 2.14 ซึ่งค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแบบดิฟเฟอเรนเชียลสามารถคำนวณได้จากช่องวิเคราะห์ในการพิจารณาความไม่เป็นเชิงเส้นแบบดิฟเฟอเรนเชียล ดังแสดงในสมการที่ 9

$$DNL = \frac{\text{maximumwidth} - \text{minimumwidth}}{\text{Averagewidth}} \dots\dots\dots(9)$$



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับตำแหน่ง

2.4.3.3 ความละเอียดในการแจกแจงสัญญาณของการแปลงผันสัญญาณ (Resolution)

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีความละเอียดในการแจกแจงสัญญาณของการแปลงผันสัญญาณสูงจะมีความจุของช่องวิเคราะห์พลังงานสูงด้วย ทำให้ระบบวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ได้มีความสามารถรองรับระบบวิเคราะห์ที่มีความสามารถในการแจกแจงพลังงาน (Resolution) สูงเช่นเดียวกัน

2.5 หน่วยความจำชนิดแรม (Random Access Memory, RAM)

หน่วยความจำชนิดแรม (RAM) เป็นหน่วยความจำชั่วคราวที่ยอมให้เขียนและอ่านข้อมูลในตำแหน่งต่างๆ ได้อย่างอิสระและรวดเร็ว สามารถที่จะอ่านและเขียนข้อมูลกี่ครั้งก็ได้ แต่ต้องมีแหล่งจ่ายไฟมาเลี้ยงวงจรตลอดเวลา ถ้าไม่มีไฟเลี้ยงวงจรข้อมูลที่เก็บไว้จะหายไป โดยมีโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลแบบจัดเก็บสถานะแทนเลขไบนารี ซึ่งจะทำการกำหนดตำแหน่งที่จัดเก็บข้อมูลที่เรียกว่า แอดเดรส (Address) โดยทั่วไปโครงสร้างของหน่วยความจำมีความกว้างขนาด 8 บิต และตำแหน่งแอดเดรสบอกขนาดของ RAM ทั้งหมด เช่น ถ้า RAM มีขนาด 64 กิโลไบต์ (kByte) ก็หมายถึงขนาดของ RAM มีความกว้างขนาด 8 บิต หรือ 1 ไบต์ และมีตำแหน่งที่เก็บได้เท่ากับ

65536 ตำแหน่ง (2 ยกกำลัง 16) โดยมีแอดเดรสกำหนดตำแหน่งทั้งหมด 16 บิต หน่วยความจำประเภทนี้ถูกสร้างเป็นไอซีสารกึ่งตัวนำ ใช้เทคโนโลยีแบบไบโพลาร์ และแบบ MOS และแบบที่ใช้ทั้งสองประเภทรวมกัน เรียกว่า ไบโมส (BiMOS) ซึ่งได้แก่ หน่วยความจำแบบสแตติกแรม (SRAM)

ความเร็วของแรม (Access Time) หมายถึง ความเร็วที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำ ซึ่งการเข้าถึงข้อมูลก็คือ การอ่าน (Read) หรือเขียน (Write) ข้อมูลในหน่วยความจำมีหน่วยเป็น นาโนเซกกัน (Nano Second, ns) หรือหนึ่งส่วนพันล้านวินาที ซึ่งค่าความเร็วของแรมยิ่งสูง (มีค่าน้อย) ยิ่งดี แสดงว่าการนำข้อมูลออกมาทำได้เร็ว

2.5.1 หน่วยความจำแบบสแตติกแรม (Static Random Access Memory, SRAM)

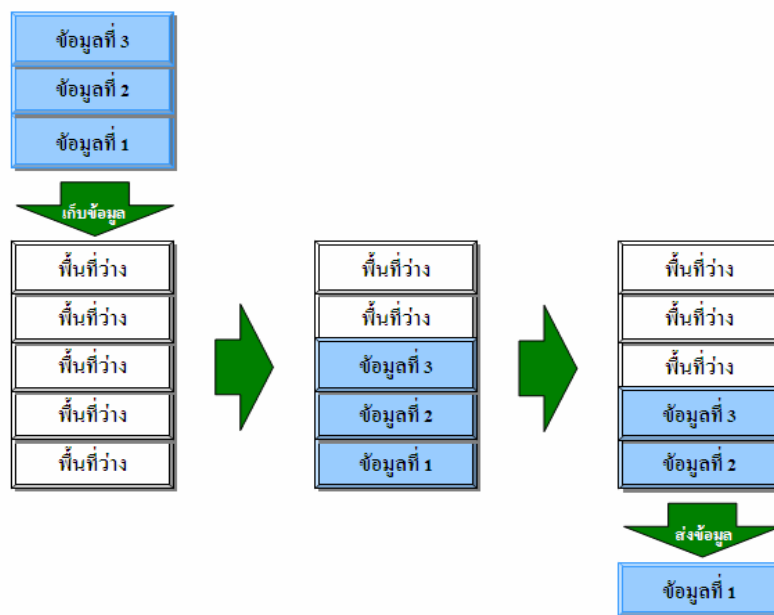
สแตติกแรม (SRAM) คือ หน่วยความจำชั่วคราว ที่เก็บรักษาข้อมูลบิตไว้ในหน่วยความจำของมันตราบเท่าที่ยังมีกระแสไฟฟ้าเลี้ยงอยู่ โครงสร้างภายในหน่วยความจำนี้ประกอบด้วยเซลล์ข้อมูลขนาด 1 บิตต่อเรียงกัน ซึ่งในแต่ละเซลล์ประกอบด้วยจำนวน Transistor อยู่ 4 หรือ 6 ตัว โดยอาศัย Gate Array ที่อยู่ภายนอก เป็นตัวช่วยรักษาข้อมูลไว้ไม่ให้หายไป เรียก Gate Array นี้ว่า Bistable Multivibrator ซึ่งทำหน้าที่คล้ายๆ กับ Flip-Flop ที่จะช่วยเก็บข้อมูลไว้ได้ ดังนั้นในแต่ละเซลล์ใน SRAM นี้ ก็จะสามารถรักษาข้อมูลบนสถานะของ Flip-Flop ไว้ไม่สูญหายตราบเท่าที่ยังมีไฟเลี้ยง โดยไม่จำเป็นต้องมีการ Refresh ข้อมูลทำให้ SRAM นี้ ทำงานได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย

2.5.2 หน่วยความจำสแตติกแรมแบบพอร์ตคู่ (Dual-Port Static RAM, DPSRAM)

หน่วยความจำสแตติกแรมแบบพอร์ตคู่เป็นหน่วยความจำสแตติกแรมที่มีการใช้พื้นที่ร่วมกัน (Sharing) ระหว่างพอร์ตซ้าย (Left Port) และพอร์ตขวา (Right Port) ซึ่งทั้งสองพอร์ตจะใช้พื้นที่หน่วยความจำเดียวกัน มีฟังก์ชันการทำงานที่เหมือนกันทุกอย่างแต่มีโปรเซสเซอร์ (Processor) ในการควบคุมการทำงานที่เป็นอิสระต่อกัน กล่าวคือการทำงานของพอร์ตทางซ้ายจะไม่มีผลกระทบต่อการใช้เวลาเข้าถึงข้อมูลของหน่วยความจำในพอร์ตขวา ระบบปฏิบัติการยอมให้ทั้งสองโปรเซสเซอร์ทำงานพร้อมกันได้ หมายความว่าขณะที่โปรเซสเซอร์หนึ่งทำเสร็จอีกโปรเซสเซอร์ที่รออยู่จะเข้าใช้หน่วยความจำทันที ข้อดีของหน่วยความจำสแตติกแรมแบบพอร์ตคู่คือ สามารถใช้พอร์ตข้างใดข้างหนึ่งนำข้อมูลมาเก็บไว้และอีกพอร์ตข้างหนึ่งนำเอาข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในตำแหน่งเดียวกันไปประมวลผลต่อไปได้ทันที

2.5.3 บัฟเฟอร์แบบ FIFO (First In First Out Memory)

First In First Out แปลว่า เข้าก่อนออกก่อน ซึ่งจะเหมือนกับการเข้าคิวในธนาคารที่ใครมาก่อนก็จะได้รับบริการก่อนและได้กลับบ้านก่อน บัฟเฟอร์แบบ FIFO ทำหน้าที่เก็บข้อมูลเพื่อรอที่จะส่งข้อมูลออกไป โดยจะทำการจัดลำดับก่อนหลังสำหรับการเก็บและส่งข้อมูล ดังนั้นเมื่อมีสัญญาณอ่านข้อมูลจากบัฟเฟอร์ บัฟเฟอร์จะทำการส่งข้อมูลที่ถูกเข้ามาเก็บไว้ก่อนให้ออกไปตามลำดับที่ถูกจัดเก็บในบัฟเฟอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ดังนั้นจึงมั่นใจได้ว่า ข้อมูลที่รับเข้ามาก่อนจะถูกส่งออกไปก่อนอย่างถูกต้อง



รูปที่ 2.15 การจัดเก็บและส่งออกข้อมูลของบัฟเฟอร์แบบ FIFO

2.6 ชิพไอซีดิจิทัลอเนกประสงค์

เนื่องจากการออกแบบวงจรดิจิทัลรุ่นเก่าได้ออกแบบวงจรดิจิทัลโดยใช้ไอซีลอจิกมาตรฐานตระกูล CMOS และ TTL หลายๆ ตัวมาต่อรวมกันบนแผ่นพิมพ์วงจร (PCB) ซึ่งถ้าวงจรที่ออกแบบมีขนาดใหญ่และซับซ้อนมาก ปริมาณไอซีที่นำมาประกอบก็ยังมีจำนวนมากขึ้นด้วยเช่นกัน จึงทำให้มีความยุ่งยากในการโยงสายนำสัญญาณของลายวงจรบนแผ่นพิมพ์วงจร และอาจเกิดปัญหาสัญญาณรบกวนภายในวงจรด้วย ดังนั้นปัจจุบันชิพไอซีดิจิทัลอเนกประสงค์ จึงได้ถูกพัฒนาและคิดค้นขึ้นมาเพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าวให้หมดไป ชิพไอซีดิจิทัลเป็นชิพที่ผู้ใช้สามารถโปรแกรมวงจรดิจิทัลหรือฟังก์ชันการทำงานลงไปภายในตัวชิพเพื่อให้ตัวชิพมีการทำงานตามที่ผู้ใช้ต้องการ ในปัจจุบันชิพไอซีดิจิทัลอเนกประสงค์นี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านต่างๆ มากมาย อาทิเช่น การสื่อสาร การแพทย์ การทหาร และเครื่องมือวัดต่างๆ ซึ่งบ่อยครั้งที่เราพบไอซี

ดิจิทัลลอจิกประสมค์เป็นส่วนประกอบอยู่บนแผงวงจรด้วยเสมอ เนื่องจากสามารถทำการออกแบบวงจรดิจิทัลขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนให้ถูกบรรจุอยู่ในชิพไอซีชิพเดียว สามารถทำการแก้ไขได้ง่าย ไม่มีความซับซ้อนของสายเชื่อมต่อสัญญาณ จึงทำให้ลดพื้นที่บนแผงวงจร มีผลให้แผงวงจรมีขนาดเล็กกลงมากและวงจรทำงานได้เร็วขึ้นเนื่องจากสายสัญญาณต่างๆ สั้นลง อีกทั้งยังสามารถสร้างไอซีที่มีฟังก์ชันการทำงานเฉพาะตามความต้องการของผู้ออกแบบอีกด้วย ชิพไอซีดิจิทัลลอจิกประสมค์ที่กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบันคือ ชิพ CPLD และ ชิพ FPGA

2.6.1 ชิพ CPLD

CPLD (Complex Programmable Logic Device, CPLD) เป็นชิพไอซีดิจิทัลลอจิกประสมค์ที่ผู้ใช้สามารถโปรแกรมให้มีฟังก์ชันตามที่ต้องการได้ โครงสร้างภายใน CPLD ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ ส่วน Function Block (FB) และส่วน I/O Block (IOB) ซึ่งทั้ง 2 ส่วนสามารถเชื่อมต่อถึงกันด้วย Matrix Switch ภายใน Function Block แต่ละชุดประกอบด้วยวงจรลอจิกพื้นฐานต่างๆ ที่สามารถโปรแกรมได้ ส่วน I/O Block จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ที่อินพุตหรือเอาต์พุตของตัวชิพ ชิพ CPLD สามารถสร้างวงจรลอจิกภายในได้ทั้งแบบ Combination และ Sequential การออกแบบวงจรดิจิทัลภายในชิพไอซีสามารถทำได้โดยการเลือกตัวลอจิกเกตมาต่อกันในลักษณะของการเขียนผังวงจร (Schematic) หรือโดยการเขียนด้วยโปรแกรมภาษา VHDL ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ในการออกแบบลอจิก การโปรแกรมไปบนตัวชิพจะใช้มาตรฐานการโปรแกรมแบบ JTAG Programmer ในการโปรแกรมฟังก์ชันการทำงานที่ได้ออกแบบไว้ลงบนชิพ ข้อดีของชิพ CPLD คือมีโครงสร้างตัวเก็บข้อมูลแบบ PROM ทำให้เมื่อทำการโปรแกรมวงจรลงในชิพ CPLD แล้วข้อมูลของวงจรมันจะคงอยู่ภายในชิพ CPLD ถึงแม้ว่าจะไม่มีไฟเลี้ยงตัวชิพแล้วก็ตาม แต่มีข้อเสียคือมีความจุวงจรต่ำมากเมื่อเทียบกับชิพ FPGA ซึ่งโดยทั่วไปชิพ CPLD จะมีความจุวงจรไม่เกิน 10,000 เกต

2.6.2 ชิพ FPGA

FPGA (Field Programmable Gate Array, FPGA) เป็นชิพไอซีดิจิทัลลอจิกประสมค์ที่สามารถโปรแกรมให้เป็นวงจรดิจิทัลได้เช่นเดียวกับชิพ CPLD แต่ชิพ FPGA จะมีโครงสร้างภายในแตกต่าง และซับซ้อนกว่าชิพ CPLD มาก โครงสร้างภายในของชิพ FPGA ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ ส่วน Logic Cell ต่างๆ และส่วน I/O Logic ซึ่งจะมีการเชื่อมต่อถึงกันภายในชิพแบบหลากหลายลำดับชั้น นอกจากนี้ภายในชิพ FPGA ยังมีอุปกรณ์ภายในที่ทำหน้าที่เฉพาะงาน เช่น Delay-Locked Loop (DLL) และ Memory Blocks ที่สามารถรองรับการออกแบบ

ให้มีหน่วยความจำภายในชิปได้ ชิป FPGA จะมีความจุเกตสูงตั้งแต่ระดับ 10,000 เกต จนถึงประมาณ 10 ล้านเกต ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต ดังนั้นชิป FPGA จึงเหมาะกับการออกแบบวงจรที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ และมีความซับซ้อนของระบบสูง การโปรแกรมชิป FPGA ทำได้โดยการโหลดข้อมูลวงจรที่ได้ออกแบบไว้ลงไปเก็บที่เซลล์หน่วยความจำแบบ RAM ซึ่งจะเป็นคนละส่วนกับ Memory Blocks ดังนั้นชิป FPGA จึงไม่มีข้อจำกัดในการโปรแกรมซ้ำ แต่มีข้อเสียคือข้อมูลของวงจรจะสูญหายหากไม่มีไฟเลี้ยง ดังนั้นการนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องมีหน่วยความจำภายนอกชิปที่สามารถเก็บข้อมูลวงจรอยู่ได้แม้ว่าจะไม่มีไฟเลี้ยงตัวชิป เช่น Serial PROM ต่อพ่วงอยู่ด้วยเสมอเพื่อทำการโหลดข้อมูลลงชิป FPGA อย่างอัตโนมัติทุกครั้งที่มีการจ่ายไฟเลี้ยง

2.7 พ็อกเก็ตพีซี (Pocket PC)^[1]

ในปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์มือถือ (Personnel Digital Assistant, PDA) กำลังเป็นที่นิยม สามารถแบ่งตามระบบปฏิบัติการที่ใช้ได้ 2 ระบบปฏิบัติการคือ เครื่องคอมพิวเตอร์มือถือที่ใช้ระบบปฏิบัติการปาล์ม โอเอส (Palm OS) ของบริษัททริคอม (3Com) หรือที่เราเรียกกันว่าเครื่องปาล์ม และเครื่องคอมพิวเตอร์มือถือที่ใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ โมบายต์ (Windows Mobile) ของบริษัทไมโครซอฟต์ (Microsoft) เรียกว่าเครื่องพ็อกเก็ตพีซี จุดเด่นและเป็นจุดขายของเครื่องพ็อกเก็ตพีซีที่เหนือกว่าปาล์ม คือ สามารถทำงานได้หลายๆ งานในเวลาเดียวกัน (Multitasking) ความสามารถทางด้านมัลติมีเดีย (Multimedia) ความเร็วของ CPU ที่สูงกว่า ความละเอียดของจอสูงกว่า สามารถอ่านไฟล์เดียวกับเครื่องคอมพิวเตอร์เดสก์ทอปได้โดยไม่ต้องทำการแปลงไฟล์ อีกทั้งยังเพิ่มโปรแกรมการทำงาน Pocket Word และ Pocket Excel เพื่อเพิ่มความสะดวกให้กับผู้ใช้งานยิ่งขึ้น ปัจจุบันเครื่องพ็อกเก็ตพีซีได้พัฒนาขีดความสามารถขึ้นมาเป็นลำดับ จนแทบจะทัดเทียมกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะได้แล้ว กอปรกับราคาที่ถูกลงจึงทำให้พ็อกเก็ตพีซีเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้นกับงานด้านต่างๆ มากมาย อาทิเช่น วงการธุรกิจ วิศวกรรม วงการแพทย์ ร้านอาหาร ฯลฯ การนำเอาพ็อกเก็ตพีซี มาใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นการใช้ประโยชน์จากโปรแกรมอำนวยความสะดวกสำเร็จรูป ฐานข้อมูล (Data Base) และหนังสือ อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Book) เนื่องจากมีน้ำหนักเบา พกพาสะดวก สามารถเพิ่มหน่วยความจำได้ด้วยโครงสร้างภายในของพ็อกเก็ตพีซีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านต่างๆ คือ หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ จอภาพ และการสื่อสารข้อมูล

2.7.1 หน่วยประมวลผล

ความเร็วของหน่วยประมวลผล (Processor) ของพ็อกเก็ตพีซีจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นเดียวกับกับหน่วยประมวลผลคอมพิวเตอร์อื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็น Desktop Computer หรือ

Notebook Computer ในขณะที่เดียวกันก็จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และใช้พลังงานลดลง ในยุคแรกๆ พ็อกเก็ตพีซีของแต่ละบริษัทจะมีหน่วยประมวลผลที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต ซึ่งทำให้เกิดการเปรียบเทียบกันในเรื่องของหน่วยประมวลผล หลังจากยุคแรกผ่านไปทางบริษัทไมโครซอฟต์ได้ประกาศออกมาว่าจะสนับสนุนหน่วยประมวลผลที่พัฒนาโดย Intel เท่านั้นจึงทำให้เครื่องพ็อกเก็ตพีซีในต่อมาใช้หน่วยประมวลผล StrongARM ของ Intel ซึ่งมีความเร็วอยู่ที่ 206 MHz เป็นมาตรฐานเดียวกันหมด ต่อมาในปีพ.ศ. 2545 ทาง Intel ได้ปรับปรุงหน่วยประมวลผลที่ออกแบบมาสำหรับใช้กับอุปกรณ์ประเภทคอมพิวเตอร์มือถือและโทรศัพท์มือถือ โดยมีชื่อเรียกว่า XScale PXA250 โดยจะมีความเร็วอยู่ที่ 200, 300 และ 400 MHz ซึ่งแล้วแต่ผู้ผลิตจะเลือกใช้ให้เหมาะกับอุปกรณ์ที่จะผลิตขึ้น พ็อกเก็ตพีซีจะทำงานได้ช้าหรือเร็วจะขึ้นอยู่กับความเร็วของหน่วยประมวลผล

2.7.2 หน่วยความจำ

พ็อกเก็ตพีซีมีหน่วยความจำภายในอยู่ 2 ประเภทคือ หน่วยความจำถาวร (Read Only Memory; ROM) และ หน่วยความจำชั่วคราว (Random Access Memory; RAM)

2.7.2.1 หน่วยความจำถาวร (ROM) เป็นหน่วยความจำที่เก็บข้อมูลได้อย่างถาวร ใช้สำหรับจัดเก็บระบบปฏิบัติการและโปรแกรมพื้นฐานของพ็อกเก็ตพีซีไว้ ข้อมูลและโปรแกรมต่างๆ จะไม่สูญหายไปเมื่อแบตเตอรี่หมด ประเภทและขนาดของหน่วยความจำถาวรเป็นสิ่งสำคัญ ถ้าเลือกความจำถาวรเป็นประเภท Flash ROM จะสามารถอัปเกรด (Up Grade) ระบบปฏิบัติการของพ็อกเก็ตพีซีเป็นระบบปฏิบัติการที่ออกมาใหม่ได้

2.7.2.2 หน่วยความจำชั่วคราว (RAM) เป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลต่างๆ รวมถึงโปรแกรมต่างๆ ที่เราติดตั้งเพิ่มเติมเข้าไป หน่วยความจำแบบนี้ข้อมูลต่างๆจะสูญหายไปทันทีเมื่อแบตเตอรี่หมด ดังนั้นพ็อกเก็ตพีซีบางรุ่นจะติดตั้งแบตเตอรี่สำรองมาให้แต่ก็มักใช้ไม่ได้ไม่นานดังนั้นเราต้องชาร์จแบตเตอรี่เป็นประจำเพื่อป้องกันไม่ให้ข้อมูลสูญหายไป แต่ส่วนใหญ่ผู้ใช้พ็อกเก็ตพีซีที่ใช้แรมแบบนี้มักจะเก็บข้อมูลและโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำเสริม

2.7.3 จอแสดงผลภาพ

จอแสดงผลภาพของพ็อกเก็ตพีซีส่วนใหญ่จะเป็นแบบ TFT LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display) ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 3.5 จนถึง 4 นิ้ว มาตรฐานความละเอียดของจอภาพในปัจจุบันจะอยู่ที่ 240x320 พิกเซล ส่วนความสามารถแสดงสีของจอภาพในปัจจุบันอยู่ที่ 65,536 สี (16 บิต)

2.7.4 การสื่อสารข้อมูล

การติดต่อสื่อสารในที่นี้จะหมายถึงการเชื่อมต่อพ็อกเก็ตพีซีกับอุปกรณ์อื่นๆ พ็อกเก็ตพีซีจะมีพื้นฐานฮาร์ดแวร์รองรับการสื่อสารข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม พอร์ต USB และพอร์ตอินฟราเรด สำหรับเชื่อมต่อกับมือถือหรือเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับพีซี หรือกับพ็อกเก็ตพีซีเครื่องอื่นๆ ในปัจจุบันพ็อกเก็ตพีซีได้ถูกออกแบบให้รองรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วย จึงมีการเพิ่ม WI-FI เข้ามาเพื่อใช้สำหรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย

บทที่ 3

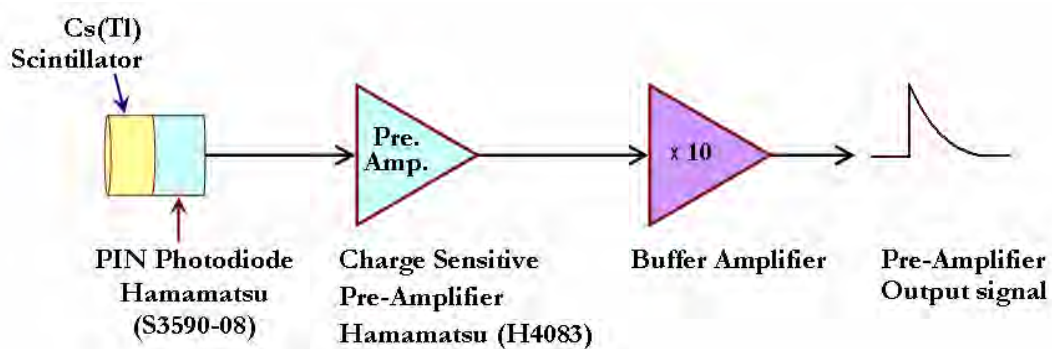
การดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อมูลพื้นฐานของการออกแบบและสร้างเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา

เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนฟ็อกเก็ตพีซีโดยใช้ไปป์ไลน์เอดีซีที่พัฒนาขึ้นได้ออกแบบให้มีขนาดของเครื่องที่เล็กกระทัดรัดสะดวกต่อการใช้งาน มีอัตราการสูญเสียกำลังไฟฟ้าน้อย และมีขนาดช่องวิเคราะห์ไม่ต่ำกว่า 4,096 ช่อง โดยใช้ไปป์ไลน์เอดีซีขนาด 12 บิตที่มีอัตราการสุ่มสัญญาณ 15 MS/s ทำการแปลงสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์เป็นสัญญาณดิจิทัล และใช้งานร่วมกับฟ็อกเก็ตพีซีในการควบคุมการทำงานและแสดงผลสเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมา

3.1.1 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับหัววัดรังสี

หัววัดรังสีที่นำมาใช้กับเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ออกแบบขึ้นนี้เป็นหัววัดชนิดซินทิลเลเตอร์ ซึ่งภายในหัววัดประกอบด้วยผลึกซีเซียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ประกอบกับฟิโนโตไดโอด (PIN Photodiode) ยี่ห้อ Hamamatsu รุ่น S3590-08 ไบอัสกลับทางด้วยไฟฟ้าศักดาต่ำขนาด - 24 โวลต์ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากฟิโนโตไดโอดจะถูกส่งไปยังวงจรขยายสัญญาณส่วนหน้าแบบไวต่อประจุ (Charge Sensitive Pre-Amplifier) ของ Hamamatsu เบอร์ H4083 ที่มีความไว 10 mV/MeV และวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer Amplifier) ที่มีอัตราขยายขนาด 10 เท่า โดยแผนภาพการทำงานของหัววัดรังสีและวงจรขยายส่วนหน้าแสดงดังรูปที่ 3.1

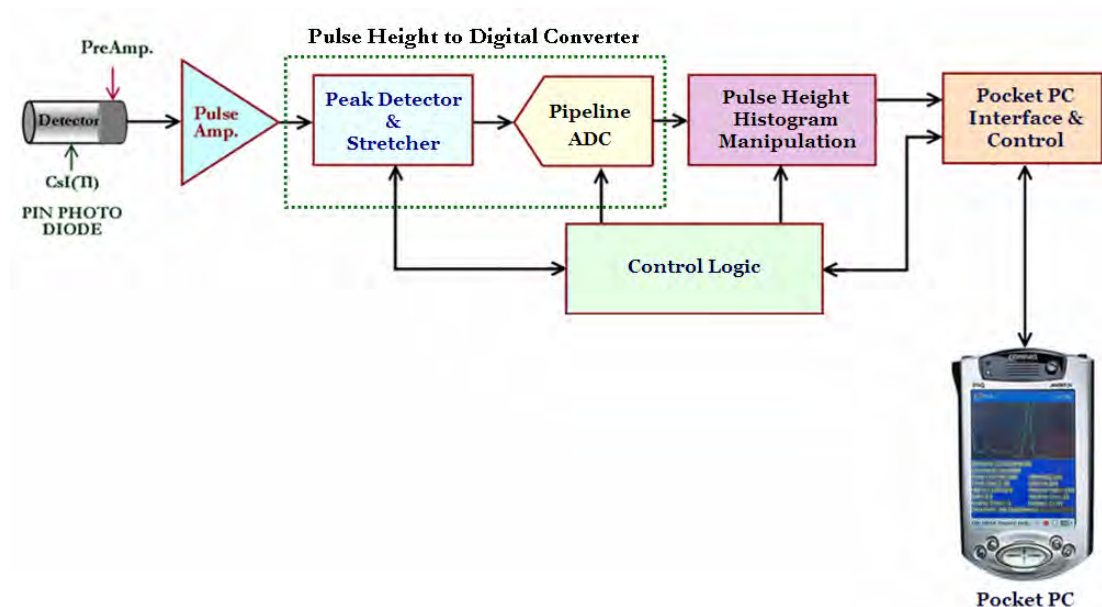


รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของหัววัดรังสีและวงจรขยายส่วนหน้า

3.1.2 ข้อมูลพื้นฐานของระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา

การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาเป็นการบันทึกจำนวนนับรังสีในแต่ละระดับพลังงานที่เข้ามาในหัววัดรังสี โดยระดับความสูงสัญญาณพัลส์ที่เทียบเท่ากับพลังงานของรังสีแต่ละระดับจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลของตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำ จากนั้นทำการบวกเพิ่มจำนวนนับครั้งละหนึ่งหน่วยนับที่ตำแหน่งนั้นในหน่วยความจำเพื่อเป็นการสะสมการกระจายข้อมูลความสูงสัญญาณพัลส์ที่สามารถนำไปแสดงผลในรูปของสเปกตรัมการแจกแจงพลังงาน (Energy Distribution Spectrum) หรือฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ (Pulse Height Histogram) บนจอภาพได้

ระบบวิเคราะห์เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยวงจรที่สำคัญได้แก่ วงจรขยายสัญญาณพัลส์ (Pulse Amplifier) วงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล (Pulse Height to Digital Converter) วงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ (Pulse Height Histogram Manipulation) วงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุม (Control Logic) และวงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซี (Pocket PC Interface and Control) แผนภาพการทำงานของระบบวิเคราะห์ของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของระบบวิเคราะห์เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้น

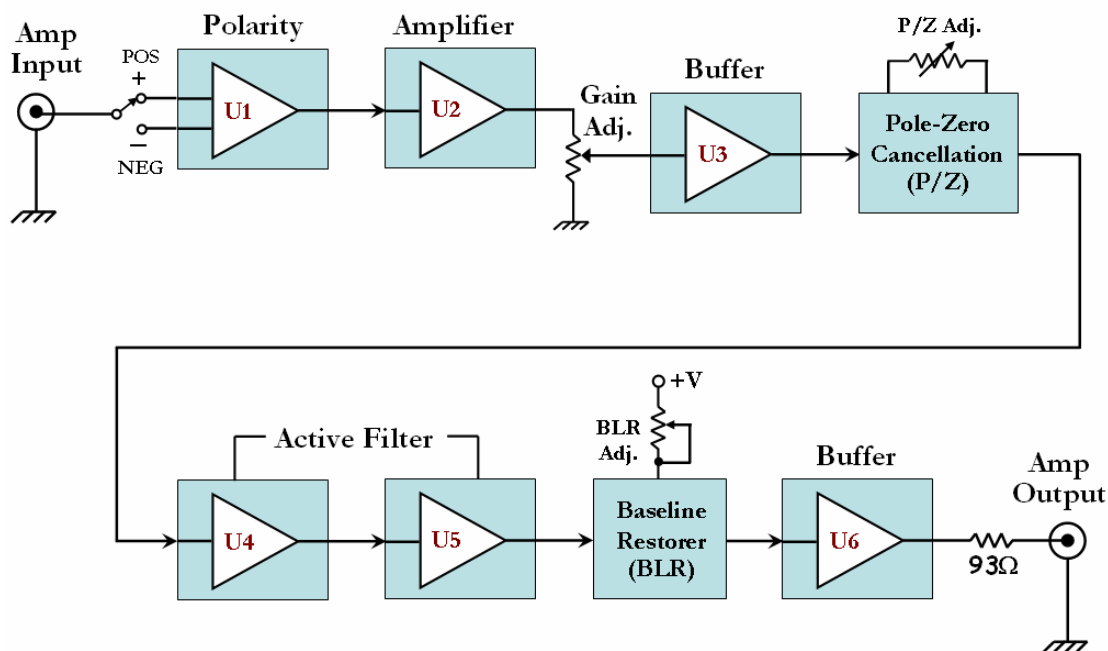
จากแผนภาพการทำงานของระบบวิเคราะห์เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาในรูปที่ 3.2 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลส์ขนาดเล็กที่ได้จากหัววัดรังสีให้มีขนาดใหญ่ขึ้น สัญญาณพัลส์ที่ถูกขยายจะถูกตรวจวัดความสูงแล้วคงค่าความสูงของสัญญาณไว้ด้วยวงจร

พีคดีเทคเตอร์และพีคสเตรตเชอร์ (Peak Detector and Stretcher) เพื่อให้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบไปป์ไลน์ (Pipeline ADC) ทำการแปลงความสูงของสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลส่งไปยังวงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์เพื่อบันทึกข้อมูลในหน่วยความจำ โดยมีสัญญาณลอจิกจากวงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล และการสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ ในส่วนของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซีจะทำหน้าที่รับส่งข้อมูลและสัญญาณควบคุมระหว่างพ็อกเก็ตพีซีกับระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาเพื่อควบคุมการทำงานและแสดงผลสเปกตรัม

3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา

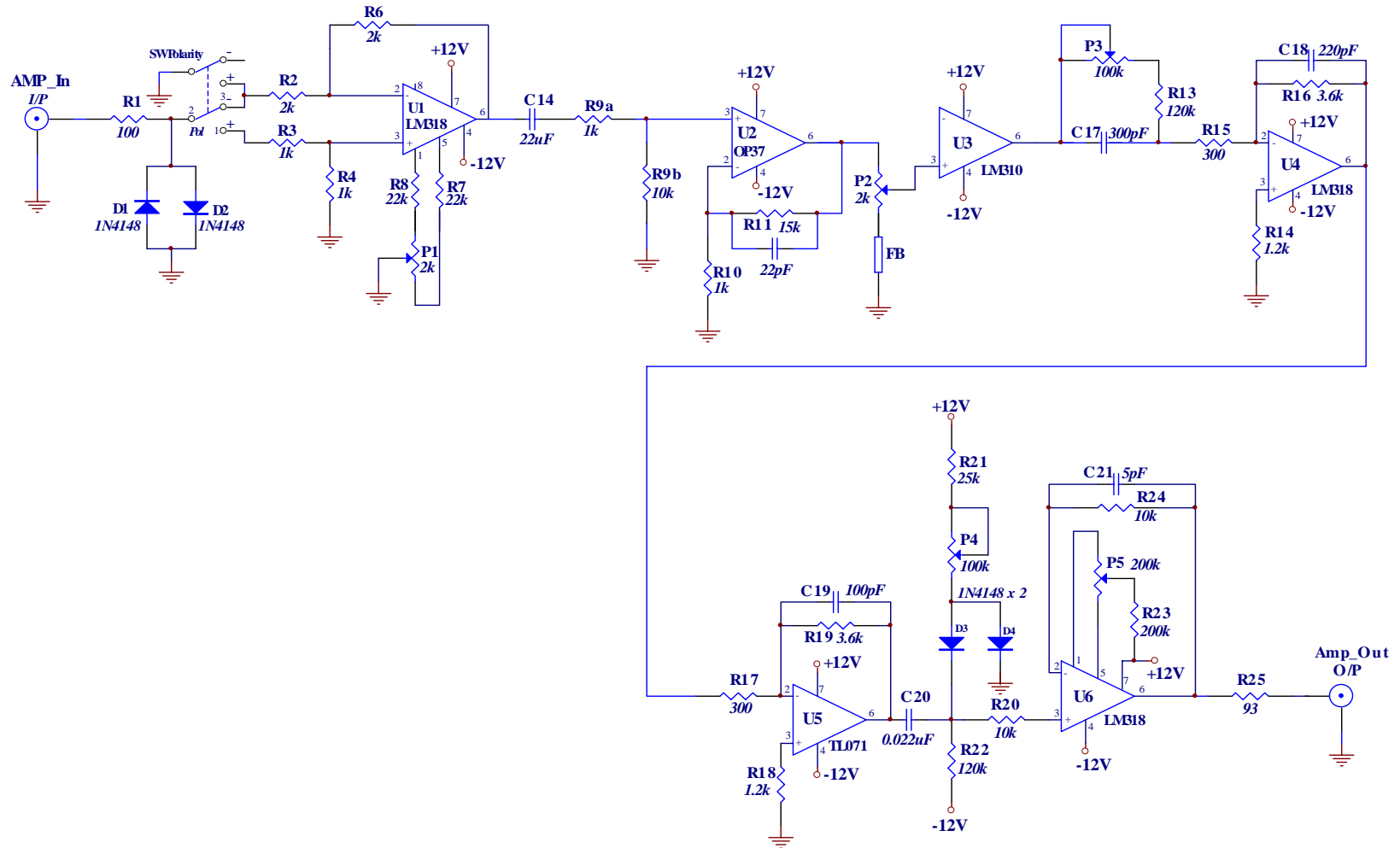
3.2.1. วงจรขยายสัญญาณพัลส์

วงจรขยายสัญญาณพัลส์สำหรับงานทางด้านนิวเคลียร์มีหน้าที่หลักอยู่ 2 ประการ คือ ขยายสัญญาณพัลส์ และปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์ วงจรขยายสัญญาณพัลส์จะต้องมีการขยายสัญญาณแบบเชิงเส้น (Linear Pulse Amplifier) เนื่องจากความสูงของสัญญาณพัลส์จะเป็นสัดส่วนกับระดับพลังงานของรังสี การแต่งรูปสัญญาณพัลส์นั้นมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ความสูงสัญญาณพัลส์ เนื่องจากสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่ได้จากวงจรขยายส่วนหน้าจะมีรูปสัญญาณที่มีลักษณะเป็นยอดแหลม คือมีค่าไรส์ไทม์ (Rise Time) ที่สั้นมาก ($\approx 5 - 100$ ns) ซึ่งไม่สะดวกต่อการตรวจวัดความสูงสัญญาณพัลส์ อีกทั้งยังมีค่าเวลาการสลายพัลส์ (Decay Time) ที่ยาว ($\approx 40 - 400$ μ s) จึงทำให้สัญญาณพัลส์ที่เข้ามาในช่วงเวลาใกล้เคียงกันเกิดการซ้อนกันระหว่างขอบขาขึ้นของสัญญาณพัลส์ที่ตามมา กับสัญญาณขาของสัญญาณพัลส์ตัวแรกที่กำลังสลายตัว เป็นเหตุให้สัญญาณยังไม่ลงสู่เส้นฐานศูนย์ จึงจำเป็นต้องแยกสัญญาณพัลส์แต่ละลูกอิสระจากกันให้ได้ ดังนั้นวงจรขยายสัญญาณพัลส์ทางนิวเคลียร์จึงต้องมีการปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์ เพื่อให้สัญญาณพัลส์เอาท์พุทที่ได้มีความกว้างของสัญญาณพัลส์แคบลง มีช่วงเวลาขาขึ้นและลงที่เหมาะสมกับวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล ในการออกแบบนี้เลือกการแต่งรูปสัญญาณพัลส์แบบเกาสเซียน (Gaussian) หรือใกล้เคียงเกาสเซียนมากที่สุด โดยมีแผนภาพการทำงานและออกแบบวงจรขยายสัญญาณพัลส์แสดงดังรูปที่ 3.3

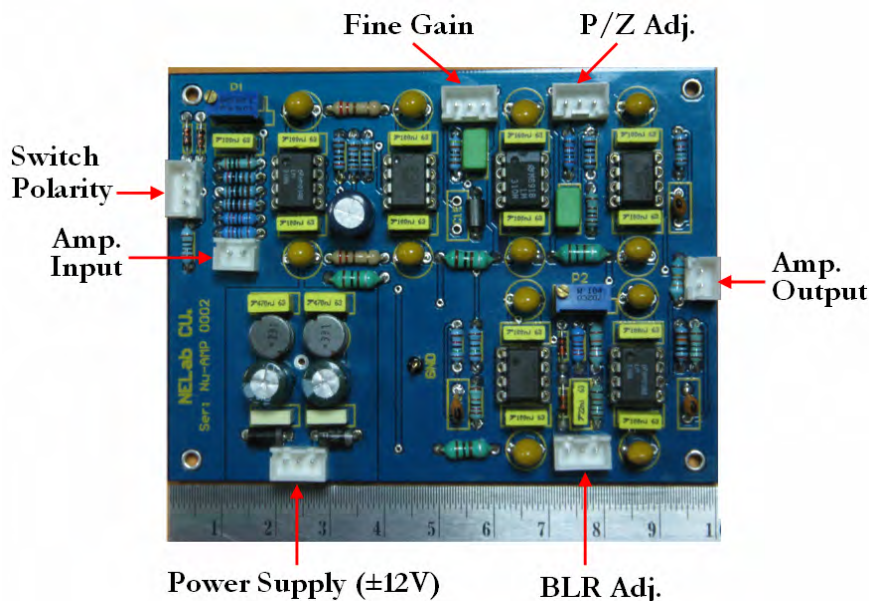


รูปที่ 3.3 แผนภาพการทำงานวงจรขยายสัญญาณพัลส์

จากแผนภาพการทำงานวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่ออกแบบขึ้นจะเห็นว่าวงจรขยายสัญญาณพัลส์ได้ออกแบบให้สามารถเลือกปรับโพลาริตี (Polarity) ของสัญญาณที่ไอซี U1 ได้เพื่อรองรับสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรขยายสัญญาณส่วนหน้าของหัววัดรังสีต่างๆ สัญญาณพัลส์จะถูกส่งมาทำการขยายสัญญาณที่ไอซี U2 (OP37) ที่ต่อขยายสัญญาณแบบอินเวอร์ติงสามารถปรับอัตราขยายแบบต่อเนื่องได้สูงสุด 100 เท่า โดยการปรับค่าของตัวต้านทานปรับค่าได้ (P2) ส่วนไอซี U3 ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (Buffer) สัญญาณพัลส์ก่อนส่งไปยังวงจรลบล้างโพล (Pole-Zero Cancellation, P/Z) เพื่อปรับแก้การเกิดอันเดอร์ชhoot (Undershoot) และโอเวอร์ชhoot (Overshoot) ของสัญญาณเมื่อผ่านวงจรดิฟเฟอเรนเชียล และสัญญาณพัลส์จะถูกลดสัญญาณรบกวนและปรับแต่งรูปสัญญาณด้วยวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ (Active Filter) ที่ไอซี U4 และ U5 จากนั้นสัญญาณพัลส์จะถูกปรับฐานของสัญญาณพัลส์ให้กลับสู่ศูนย์ด้วยวงจรปรับแก้ฐานสัญญาณ (Baseline Restorer, BLR) สัญญาณพัลส์ที่ผ่านการปรับแก้ฐานสัญญาณส่งผ่านไปยังวงจรบัฟเฟอร์ ไอซี U6 เพื่อป้องกันการโหลดสัญญาณเมื่อส่งสัญญาณไปยังวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล วงจรขยายสัญญาณพัลส์ และแผ่นวงจรขยายสัญญาณพัลส์แสดงดังรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ



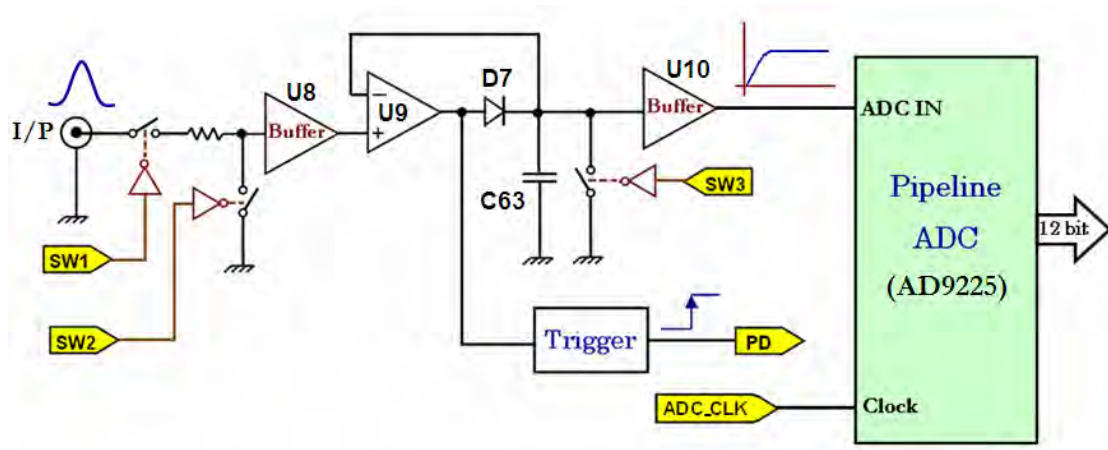
รูปที่ 3.4 วงจรขยายสัญญาณพัลส์



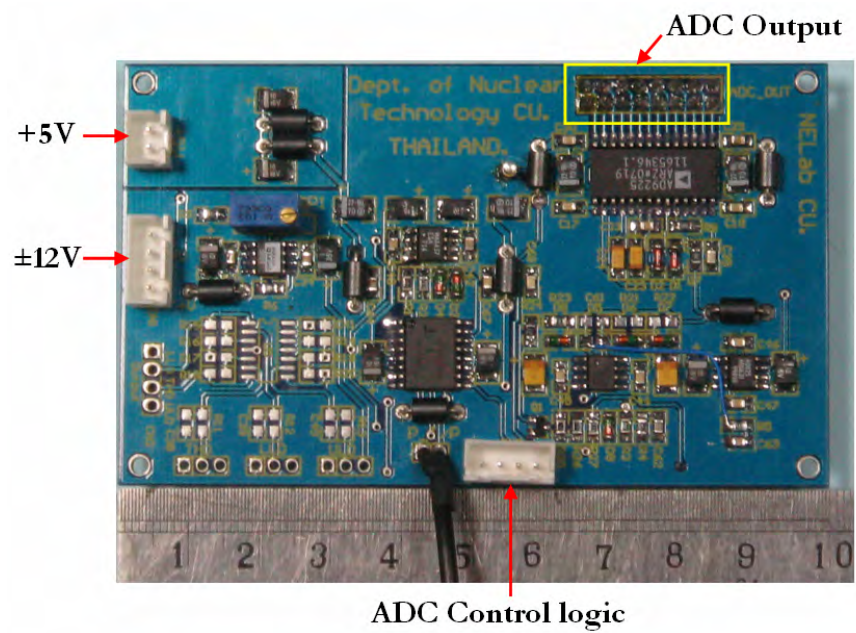
รูปที่ 3.5 แผ่นวงจรขยายสัญญาณพัลส์

3.2.2. วงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล

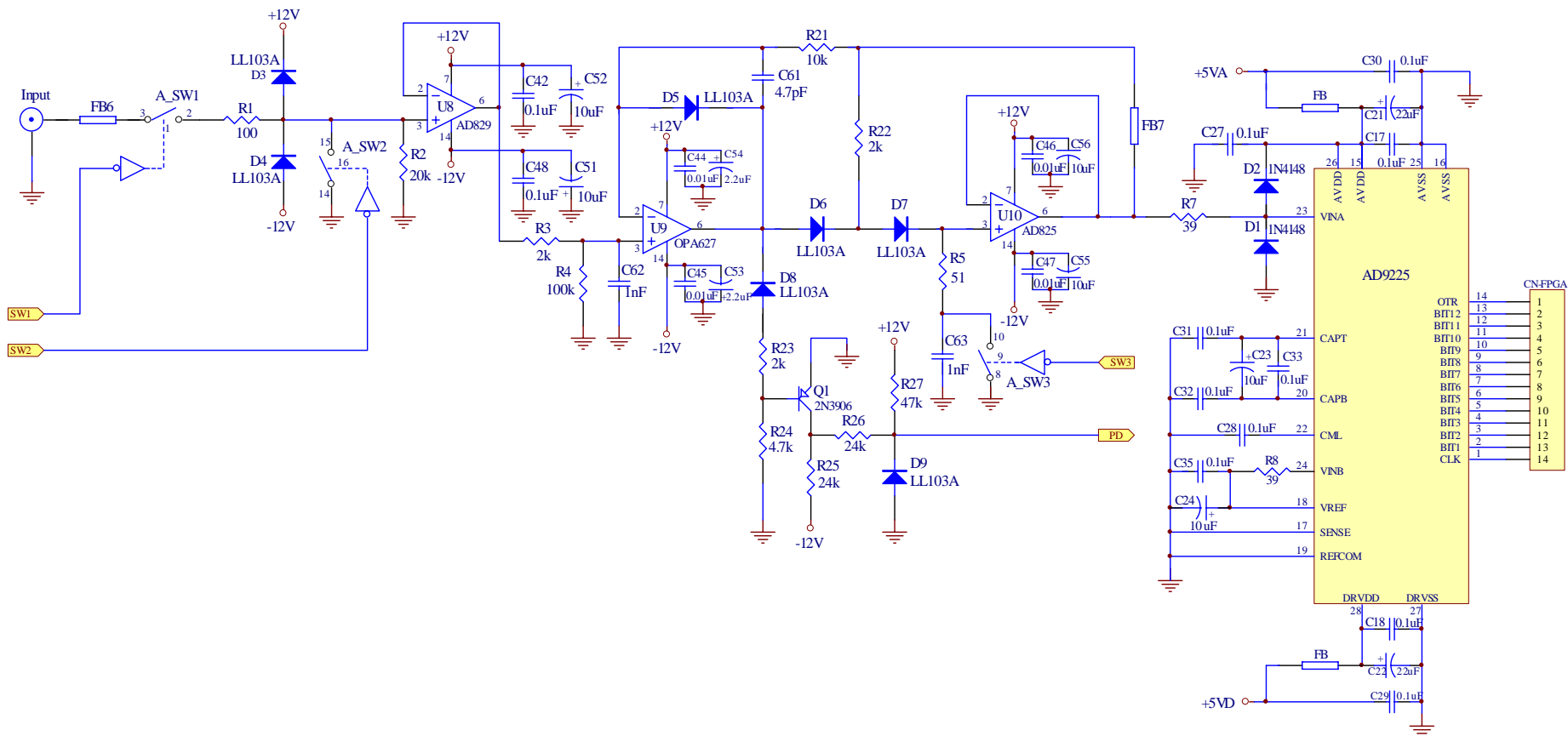
วงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลมีหลักการทำงานพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 3.6 ซึ่งจากแผนภาพการทำงานสามารถแบ่งส่วนของวงจรออกได้เป็น 3 ส่วน คือ วงจรฟีดแบ็คเทคเตอร์พร้อมฟีดสเตรทเซอร์ (U9, D7 และ C63) วงจรสร้างสัญญาณ PD (Q1) และ วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบไปป์ไลน์ขนาด 12 บิต ของบริษัท ANALOG DEVICES เบอร์ AD9225 ที่มีอัตราของการสุ่มสัญญาณสูงสุด (Maximum Sampling Rate) 25 MS/s โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อัตราการสุ่มสัญญาณของวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลที่ 15 MS/s เพื่อให้สอดคล้องกับสัญญาณนาฬิกาของระบบและช่วยลดสัญญาณรบกวนที่เกิดการใช้งานที่ความถี่สูงของไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลจะถูกควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณลอจิกจากวงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมอีกทีหนึ่ง สำหรับแผ่นวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล และวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลที่ได้พัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 แผนภาพการทำงานพื้นฐานของวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล

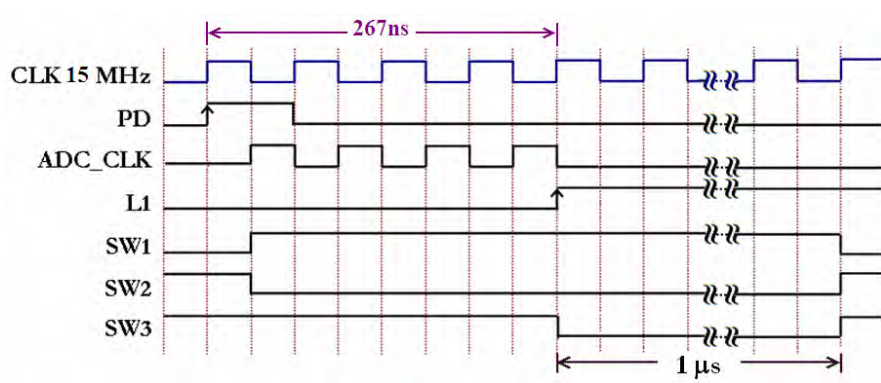


รูปที่ 3.7 แผ่นวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล



รูปที่ 3.8 วงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล

กระบวนการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลเริ่มจากสัญญาณพัลส์ จากวงจรขยายสัญญาณส่งผ่านสัญญาณพัลส์มายังอินพุตวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลผ่านทางไอซี U8 ทำหน้าที่บัฟเฟอร์สัญญาณพัลส์ จากนั้นสัญญาณพัลส์จะถูกตรวจวัดค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณด้วยวงจรวงจรพีคดีเทคเตอร์ และคงค่าแรงดันสูงสุดไว้เพื่อจ่ายให้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบไปป์ไลน์ทำการแปลงผันสัญญาณ จนกระทั่งเสร็จด้วยวงจรพีคสเตรทเทอร์ การตรวจวัดค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณพัลส์จะอาศัยการทำงานร่วมกันของไอซี U9 ไคโอด D5 D6 D7 และ D8 โดยเมื่อมีสัญญาณพัลส์เข้ามาที่ขาอินพุตของไอซี U9 สัญญาณที่ขาเอาต์พุตของไอซี U9 จะมีค่าเท่ากับสัญญาณอินพุตเข้าโดย ไคโอด D5 และ D8 จะทำหน้าที่คล้ายเป็นสวิตช์เปิดวงจร ส่วนไคโอด D6 และ D7 ทำหน้าที่คล้ายเป็นสวิตช์ปิดวงจรทำให้มีประจุชาร์จบนคาปาซิเตอร์ C63 ตามขนาดความสูงของสัญญาณพัลส์จนกระทั่งถึงค่าสูงสุดของสัญญาณพัลส์แรงดันทางอินพุต จากนั้นสัญญาณพัลส์แรงดันทางอินพุตนี้ก็จะเริ่มลดลงทำให้ไคโอด D6 และ D7 ทำหน้าที่คล้ายเป็นสวิตช์เปิดวงจร แต่ค่าแรงดันที่ตกคร่อมบนคาปาซิเตอร์ C63 จะยังคงมีค่าเท่ากับค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณพัลส์ ในขณะเดียวกันที่ค่าสูงสุดของสัญญาณพัลส์แรงดันทางอินพุตก็ทำให้ไคโอด D5 และ D8 ทำตัวเป็นสวิตช์ปิดทำให้ Q1 ทำงานและสร้างสัญญาณ PD ขึ้น ซึ่งสัญญาณ PD นี้จะไปกระตุ้นให้วงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลทำการสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลตามแผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล ดังรูปที่ 3.9 ไอซี U10 ทำหน้าที่บัฟเฟอร์สัญญาณและส่งต่อไปยังวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบไปป์ไลน์เพื่อทำการแปลงผันสัญญาณเป็นสัญญาณดิจิทัล



รูปที่ 3.9 แผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล

จากแผนภาพเวลาในรูปที่ 3.9 จะเห็นว่า หลังจากเกิดสัญญาณ PD วงจรสร้างสัญญาณลอจิกจะสร้างสัญญาณ SW1 และ SW2 ไปควบคุมอนาลอกสวิตช์ 1 และ 2 เพื่อไม่ให้รับ

สัญญาณพัลส์ถูกต่อไปในช่วงที่วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบไปป์ไลน์ทำการแปลงผันสัญญาณ ในขณะที่เดียวกันก็จะเปิดเกตให้สัญญาณ ADC_CLK ที่มีความถี่ 15 MHz จำนวน 3 ลูกสัญญาณนาฬิกาจ่ายให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบไปป์ไลน์ เนื่องจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบไปป์ไลน์ต้องการสัญญาณนาฬิกา 3 ลูกเพื่อใช้แปลงผันสัญญาณจนกระทั่งปรากฏข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุตออกมา จากนั้นสัญญาณ L1 จะถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้แลตช์ข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุตในกระบวนการเก็บข้อมูลดิจิทัลที่ได้เข้าไปไว้ในบัฟเฟอร์แบบ FIFO ต่อไป พร้อมกันนั้นสัญญาณ SW3 ก็จะถูกสร้างขึ้นเพื่อควบคุมอนาลอกสวิตช์ 3 ในการคายประจุของ C63 โดยมีเวลาในการคายประจุเท่ากับ $1\mu\text{s}$ โดยประมาณ เมื่อครบเวลาในการคายประจุของ C63 สัญญาณ SW1 และ SW2 ควบคุมอนาลอกสวิตช์ 1 และ 2 ให้เตรียมพร้อมสำหรับรับสัญญาณพัลส์ลูกถัดไป จะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล (ข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุต) ของสัญญาณพัลส์แต่ละลูกใช้เวลาในการแปลงสัญญาณคงที่เพียง $1.27\mu\text{s}$ เท่านั้นโดยไม่ขึ้นกับขนาดของสัญญาณพัลส์

3.2.3. วงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์

วงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้นได้ออกแบบไว้ภายในชิพ FPGA เพียงชิพเดียว เนื่องจากชิพ FPGA เป็นชิพดิจิทัลอนาลอกประสงค์ที่มีความจุเกตสูงและมี Memory Blocks ที่รองรับการออกแบบหน่วยความจำชนิดต่างๆ ภายในตัวชิพ ดังนั้นภายในชิพ FPGA จึงสามารถออกแบบวงจรดิจิทัลรวมและหน่วยความจำชนิดต่างๆ ได้ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ชิพ FPGA ตระกูล Cyclone ของบริษัท Altera เบอร์ EP1C12Q240C8 ที่มีจำนวนลอจิกอิเลเมนต์ (Logic Element, LE) 12,060 LEs (ความจุเกต $\approx 209,375$ เกต) และมี Memory Blocks ขนาด 239,616 bit มาประยุกต์ใช้ออกแบบวงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ โดยใช้โปรแกรม Quartus II เวอร์ชัน 7.2 ทำการออกแบบวงจรดิจิทัลและหน่วยความจำภายในตัวชิพด้วยวิธีการเขียนผังวงจร (Schematic) จากนั้นใช้มาตรฐานการโปรแกรมแบบ JTAG Programmer ทำการโปรแกรมวงจรที่ได้ออกแบบไว้ในโปรแกรม Quartus II ลงบนตัวชิพ FPGA และบนหน่วยความจำภายนอกสำหรับโหลดข้อมูลโปรแกรมลงชิพ FPGA เมื่อมีการจ่ายไฟเลี้ยง

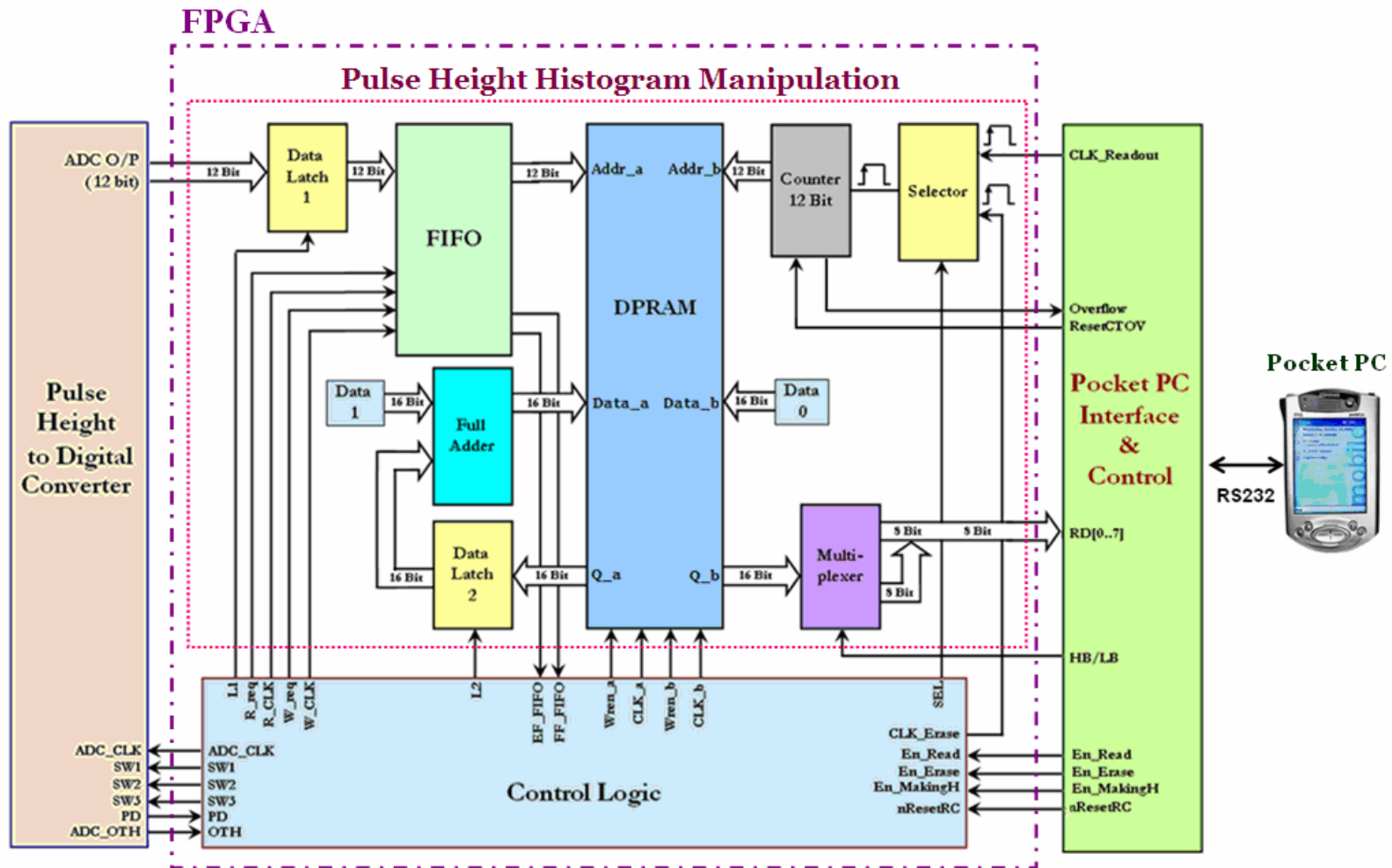
วงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ภายในชิพ FPGA ที่ออกแบบขึ้นประกอบด้วยวงจรร้อยและหน่วยความจำต่างๆ ดังนี้คือ

- 1) วงจรแลตช์ข้อมูล (Data Latch) ทำหน้าที่แลตช์ข้อมูลโดยวงจรแลตช์ข้อมูลที่ 1 (Data Latch 1) ทำการแลตช์ข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุตจากวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลก่อนเขียนข้อมูลลงในบัฟเฟอร์แบบ FIFO

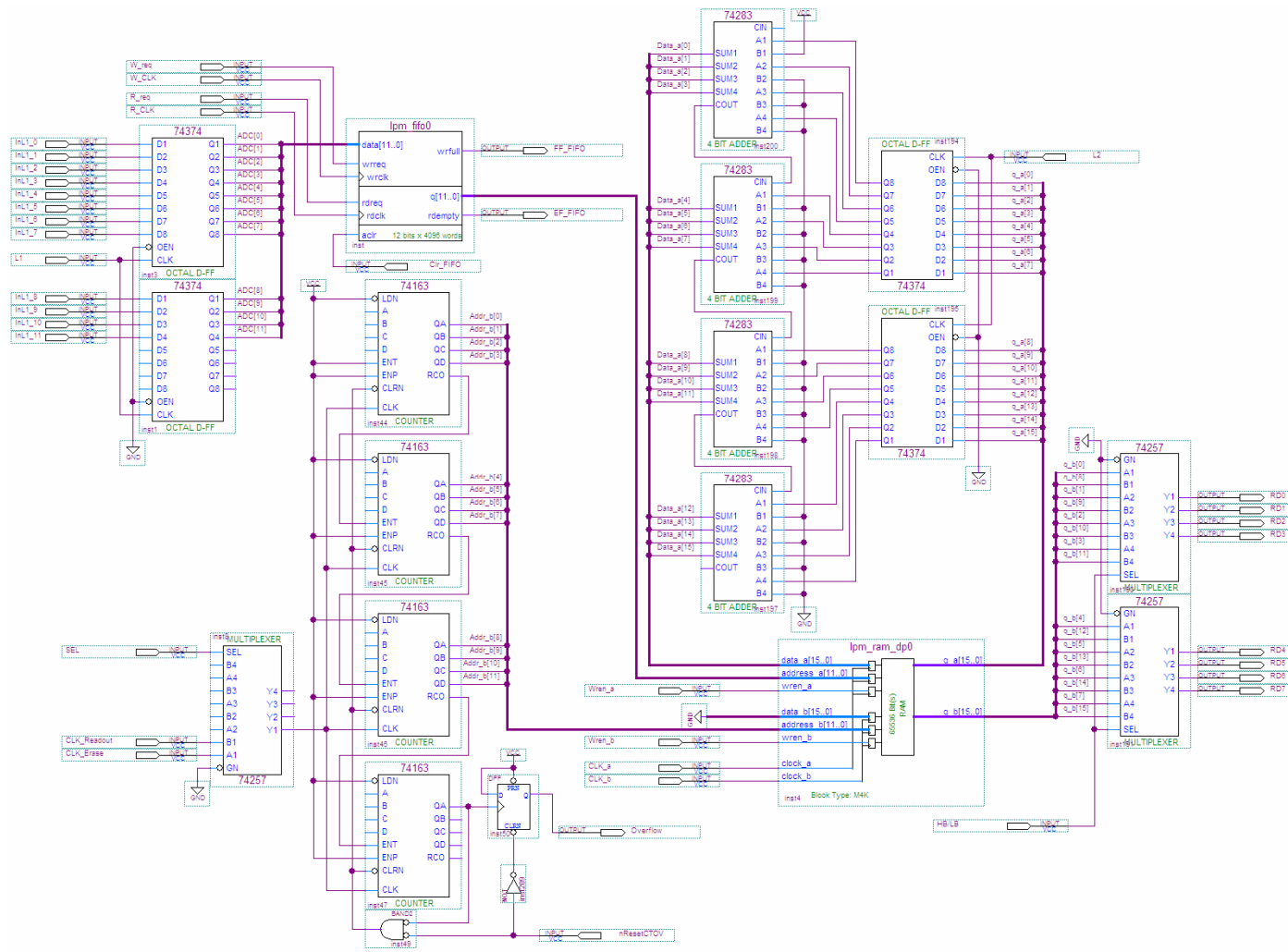
ส่วนวงจรแลตช์ข้อมูลที่ 2 (Data Latch 2) ทำการแลตช์ข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ให้กับวงจรบวกแบบฟูลแอดเดอร์ก่อนเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำแบบพอร์ตคู่

- 2) บัฟเฟอร์แบบ FIFO ขนาด 4K x 12 bit ทำหน้าที่เก็บข้อมูลดิจิทัลขนาด 12 บิตที่ได้จากวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลเมื่อทำการแปลงสัญญาณพัลส์เสร็จ จากนั้นวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลสามารถทำการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์ถูกถัดไปได้เลยโดยไม่ต้องรอกะบวนการประมวลผลสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ในหน่วยความจำในตำแหน่งแอดเดรสนั้น จึงทำให้ไม่เกิดเดดไทม์ของระบบขณะทำการสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ในหน่วยความจำ
- 3) หน่วยความจำแบบพอร์ตคู่ (Dual Port RAM) ขนาด 4K x 16 bit ทำหน้าที่เก็บข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ โดยใช้พอร์ต A ของหน่วยความจำทำการประมวลผลสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์เก็บไว้ในหน่วยความจำส่วนพอร์ต B ใช้สำหรับอ่านข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ออกจากหน่วยความจำเพื่อนำไปแสดงผลสเปกตรัม และเขียนข้อมูล 0 ลงในหน่วยความจำเมื่อต้องการเคลียร์ข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ในหน่วยความจำ
- 4) วงจรนับ (Counter) 12 บิต ทำหน้าที่สร้างแอดเดรสให้กับพอร์ต B ของหน่วยความจำแบบพอร์ตคู่สำหรับอ่านข้อมูลและเคลียร์ข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ในหน่วยความจำ
- 5) วงจรบวกแบบฟูลแอดเดอร์ (Full Adder) 16 บิต ทำหน้าที่บวกเพิ่มข้อมูลขนาด 16 บิตจากหน่วยความจำที่ละ 1 หน่วยนับ
- 6) วงจรเลือกสัญญาณ (Selector) ทำหน้าที่เลือกสัญญาณลอจิกเพื่อควบคุมฟังก์ชันการทำงานของพอร์ต B ในหน่วยความจำแบบพอร์ตคู่ระหว่างอ่านข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ในหน่วยความจำกับเคลียร์ข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ในหน่วยความจำ
- 7) วงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ (Multiplexer) ทำหน้าที่เลือกข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ขนาด 16 บิตให้ออกทีละ 8 บิต คือ ข้อมูล 8 บิตบน (High Byte) และ 8 บิตล่าง (Low Byte) เพื่อส่งไปยัง PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์

แผนภาพวงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ภายในชิพ FPGA แสดงดังรูป



รูปที่ 3.10 แผนภาพวงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์

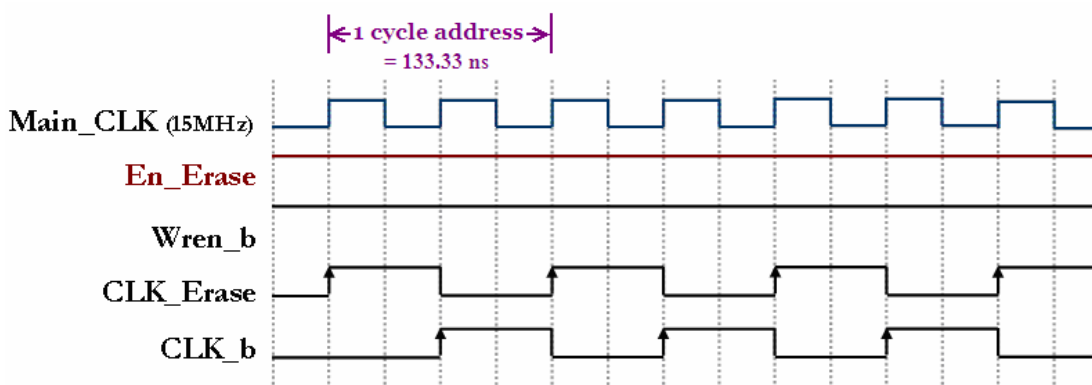


รูปที่ 3.11 วงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ภายในชิพ FPGA

วงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์จะมีไซเคิลการทำงานอยู่ 3 ไซเคิล คือ ไซเคิลลบข้อมูลฮิสโตแกรมในหน่วยความจำ ไซเคิลสร้างข้อมูลฮิสโตแกรมในหน่วยความจำและ ไซเคิลอ่านข้อมูลฮิสโตแกรมออกจากหน่วยความจำ ซึ่งการทำงานทุกไซเคิลจะถูกควบคุมด้วย สัญญาณลอจิกจากวงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมและวงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับฟ็อกเก็ตพีซี

3.2.3.1 ไซเคิลลบข้อมูลฮิสโตแกรมในหน่วยความจำ

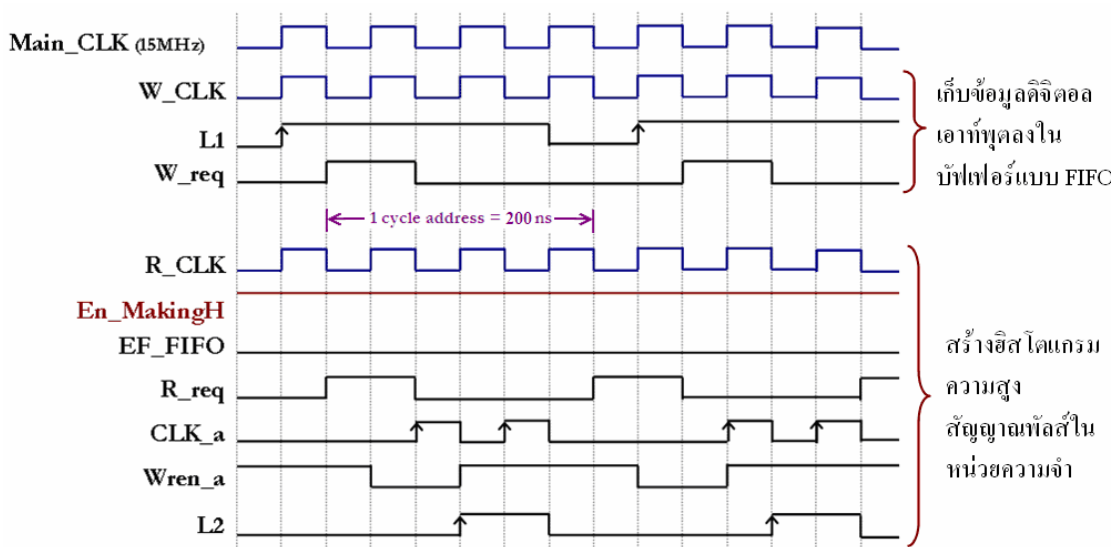
เนื่องจากหน่วยความจำแบบพอร์ตคู่ที่นำมาใช้ในการบันทึกฮิสโตแกรม ความสูงพัลส์นั้น ไม่มีขาสัญญาณเคลียร์ข้อมูลในหน่วยความจำ ดังนั้นการเคลียร์ข้อมูลใน หน่วยความจำสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล 0 เข้าไปในทุกแอดเดรสของหน่วยความจำเพื่อให้ ทุกแอดเดรสของหน่วยความจำมีข้อมูลเป็น 0 ซึ่งได้ออกแบบให้ทำการเขียนข้อมูล 0 ลงไปทาง พอร์ต B ของหน่วยความจำแบบพอร์ตคู่ โดยใช้วงจรนับ 12 บิต เป็นตัวกำหนดตำแหน่งแอดเดรส และทำการเลือกสัญญาณนาฬิกาอินพุตจากวงจรเลือกสัญญาณ (Selector) เป็นสัญญาณ CLK_Erase ซึ่งสัญญาณ CLK_Erase เป็นสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจากวงจรสร้างสัญญาณลอจิก ควบคุม เมื่อทำการเขียนข้อมูล 0 จนครบทุกแอดเดรสของหน่วยความจำแบบพอร์ตคู่ บิตโอเวอร์ โพล์วของวงจรนับจะมีสถานะเป็น 1 เพื่อแสดงว่าได้ทำการเขียนข้อมูล 0 ลงไปครบทุกแอดเดรส ของหน่วยความจำแล้ว แผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมการทำงานไซเคิลลบข้อมูลฮิสโต แกรมในหน่วยความจำแสดงดังรูปที่ 3.12 ซึ่งจะเห็นว่าใช้เวลาเขียนข้อมูล 0 เข้าไปใน หน่วยความจำในหนึ่งแอดเดรส (1 cycle address) ใช้เวลาเพียง 133.33 ns ดังนั้นจะใช้เวลาใน การเขียนข้อมูล 0 เข้าไปในหน่วยความจำจนครบ 4096 แอดเดรสจะใช้เวลาทั้งหมด 546 μ s



รูปที่ 3.12 แผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมไซเคิลการลบข้อมูลฮิสโตแกรมในหน่วย ความจำ

3.2.3.2 ไช้เกิดสร้างข้อมูลฮิสโตแกรมในหน่วยความจำ

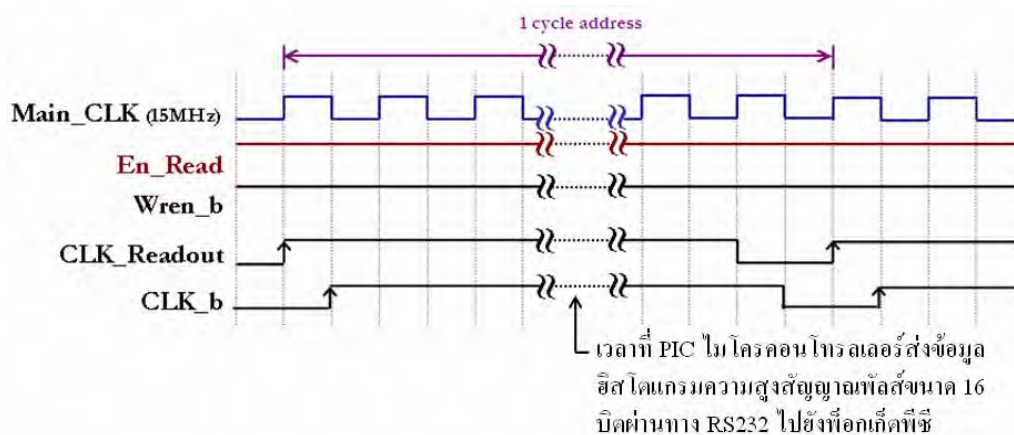
เมื่อวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลทำการแปลงสัญญาณเสร็จ ข้อมูลดิจิทัลเอาท์พุตจะถูกรวบรวมและจัดข้อมูลที 1 แลตซ์ข้อมูลดิจิทัลเอาท์พุต 12 บิตไว้เพื่อทำการเขียนข้อมูลดิจิทัลเอาท์พุตลงในบัฟเฟอร์แบบ FIFO แบบอัตโนมัติ ส่วนกระบวนการสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์จะทำการตรวจสอบว่ามีข้อมูลดิจิทัลอยู่ในบัฟเฟอร์แบบ FIFO หรือไม่ โดยการตรวจสอบสถานะของสัญญาณ Empty Flag (EF_FIFO) ของบัฟเฟอร์แบบ FIFO ถ้ามีข้อมูลดิจิทัลอยู่ในบัฟเฟอร์สถานะของสัญญาณ EF_FIFO จะเป็น 0 จากนั้นวงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมจะสร้างสัญญาณ R_req ขึ้นมาสำหรับอ่านข้อมูลดิจิทัลออกจากบัฟเฟอร์แบบ FIFO เพื่อเป็นตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำแบบพอร์ตคู่ทางพอร์ต A อ่านข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์จากตำแหน่งนั้น ข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ที่ได้จะถูกรวบรวมและจัดข้อมูลที 2 ทำการแลตซ์ข้อมูลไว้เพื่อให้งจรบวกแบบฟูลแอดเดอ์ขนาด 16 บิตบวกเพิ่มข้อมูลไปอีกหนึ่งหน่วยนับ จากนั้นจึงทำการเขียนข้อมูลที่ได้จากการบวกกลับไปยังตำแหน่งแอดเดรสเดิมของหน่วยความจำแบบพอร์ตคู่เพื่อสร้างฮิสโตแกรมความสูงของสัญญาณพัลส์ แผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมการทำงานไช้เกิดสร้างข้อมูลฮิสโตแกรมในหน่วยความจำแสดงดังรูปที่ 3.13 จะเห็นว่าในการประมวลผลของ 1 ไช้เกิดในการสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ใช้เวลาเพียง 200 ns เท่านั้น ไช้เกิดสร้างข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์นี้จะทำงานต่อเนื่องจนกระทั่งครบเวลาในการวัดรังสีแกมมา



รูปที่ 3.13 แผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมไช้เกิดการสร้างข้อมูลฮิสโตแกรมในหน่วยความจำ

3.2.3.3 ไช้เกิดอ่านข้อมูลฮิสโตแกรมออกจากหน่วยความจำ

ในขณะที่ไช้เกิดสร้างข้อมูลฮิสโตแกรมในหน่วยความจำทำการสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ทางพอร์ต A ของหน่วยความจำแบบพอร์ตคู่ ไช้เกิดอ่านข้อมูลฮิสโตแกรมออกจากหน่วยความจำจะทำการอ่านข้อมูลจำนวนนับรังสีแกมมาออกทางพอร์ต B ของหน่วยความจำแบบพอร์ตคู่ โดยใช้วงจรรับ 12 บิต เป็นตัวกำหนดตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำ และทำการเลือกสัญญาณนาฬิกาอินพุตจากวงจรเลือกสัญญาณ (Selector) เป็นสัญญาณ CLK_Readout ซึ่งเป็นสัญญาณนาฬิกาที่ควบคุมโดย PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ในวงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับฟ็อกเก็ตพีซี เพื่อควบคุมการอ่านข้อมูลจำนวนนับรังสีแกมมาที่ถูกเก็บไว้ในแต่ละแอดเดรสของหน่วยความจำแล้วส่งไปยังฟ็อกเก็ตพีซีเพื่อทำการประมวลผลและแสดงสเปกตรัมแจกแจงพลังงานรังสีแกมมา แผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมการทำงานไช้เกิดอ่านข้อมูลฮิสโตแกรมออกจากหน่วยความจำแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมไช้เกิดการอ่านข้อมูลฮิสโตแกรมออกจากหน่วยความจำ

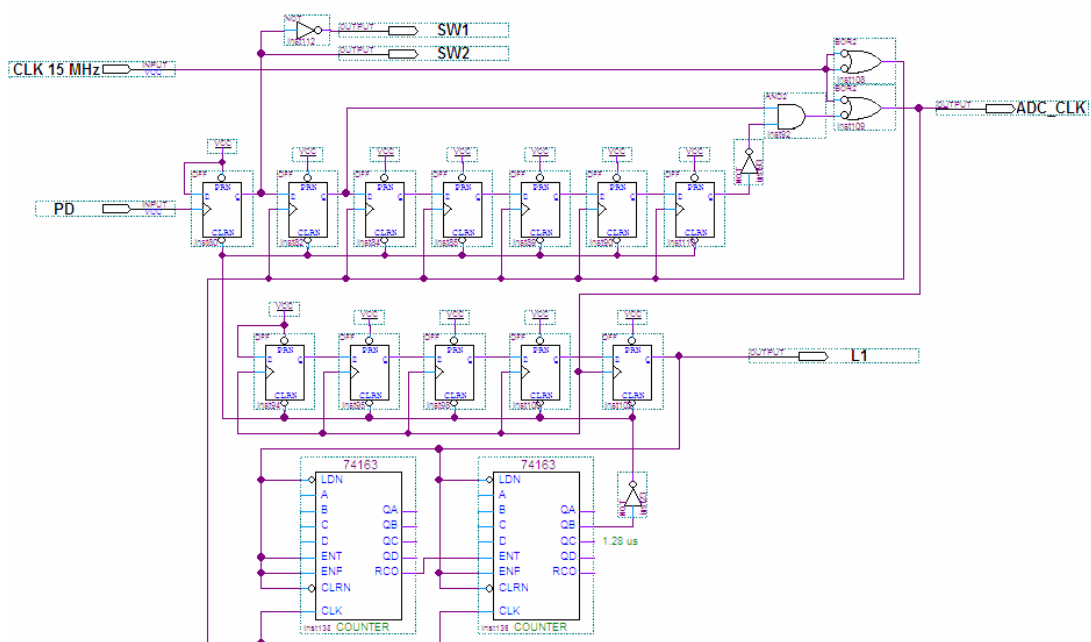
3.2.4. วงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุม

วงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมทำหน้าที่สร้างสัญญาณลอจิกเพื่อควบคุมการทำงานของวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลและไช้เกิดการทำงานต่างๆ ของวงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ วงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมนี้ได้ออกแบบไว้ภายในชิพ FPGA เช่นเดียวกับวงจรสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ เนื่องจากการออกแบบภายในตัวชิพ FPGA ช่วยลดความซับซ้อนและขนาดของแผ่นวงจรพิมพ์ อีกทั้งยังสามารถจำลองการทำงานเพื่อทำการตรวจสอบแผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกต่างๆ ที่ออกแบบไว้ได้ว่าถูกต้องหรือไม่ จึงทำให้ง่ายต่อการออกแบบและแก้ไขวงจร ในวงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมสามารถแบ่งออกเป็น 2 วงจรย่อย คือ วงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็น

สัญญาณดิจิทัลและวงจรสร้างสัญญาณลอจิกเพื่อควบคุมการสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์

3.2.4.1 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล

ในวงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล สัญญาณที่สำคัญ คือ สัญญาณพีคดีเทค (PD) จากวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล หลังจากที่มีสัญญาณ PD เกิดขึ้นวงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลจะทำการสร้างสัญญาณลอจิกต่างๆ เช่น ADC_CLK, SW1, SW2, SW3 และ L1 เพื่อควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งแผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลแสดงดังรูปที่ 3.9 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลที่ได้ออกแบบไว้ภายในชิพ FPGA แสดงดังรูปที่ 3.15

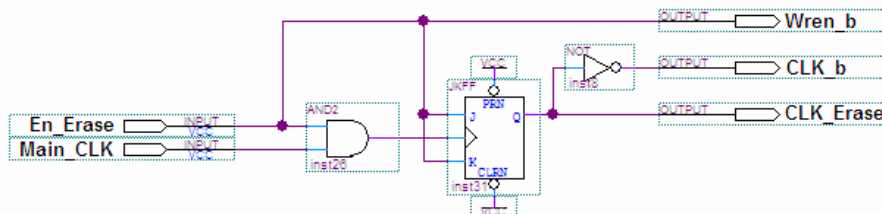


รูปที่ 3.15 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกควบคุมการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลภายในชิพ FPGA

3.2.4.2 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกเพื่อควบคุมการสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์

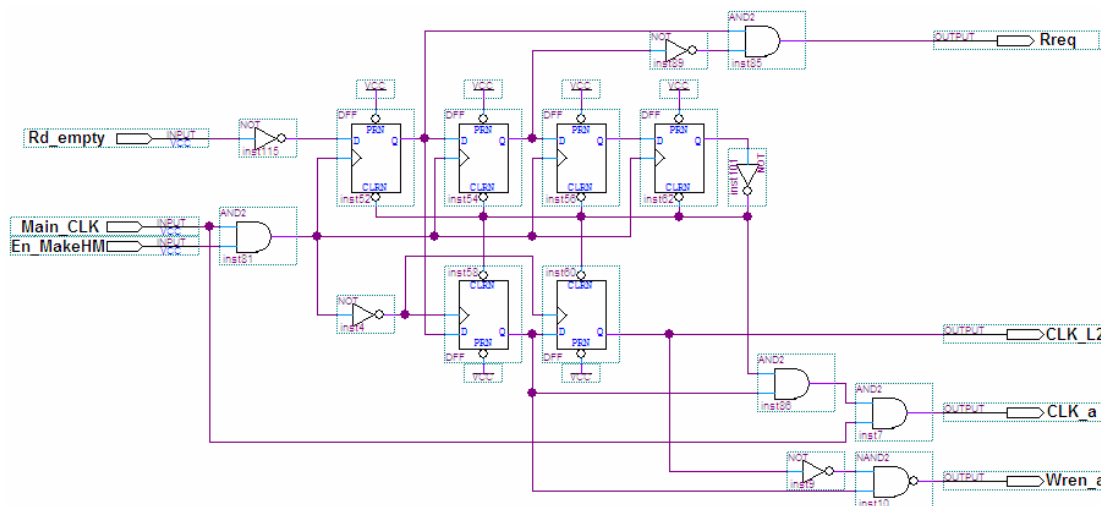
วงจรสร้างสัญญาณลอจิกเพื่อควบคุมการสร้างฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์จะมีสัญญาณเอาต์พุตจาก PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ในวงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับฟ็อกเก็ตพีซีควบคุมการสร้างสัญญาณลอจิกสำหรับควบคุมการทำงานของไซเคิลต่างๆ ดังนี้

ก. วงจรสร้างสัญญาณลอจิกของไอซีเคลือบข้อมูลฮาร์ดแวร์ในหน่วยความจำมีสัญญาณ En_Erase จาก PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการสร้างสัญญาณลอจิกตามแผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมการทำงานไอซีเคลือบข้อมูลฮาร์ดแวร์ดังรูปที่ 3.12 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกไอซีเคลือบข้อมูลฮาร์ดแวร์ในหน่วยความจำที่ออกแบบภายในชิพ FPGA แสดงดังรูป 3.16



รูปที่ 3.16 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกในไอซีเคลือบข้อมูลฮาร์ดแวร์ในหน่วยความจำภายในชิพ FPGA

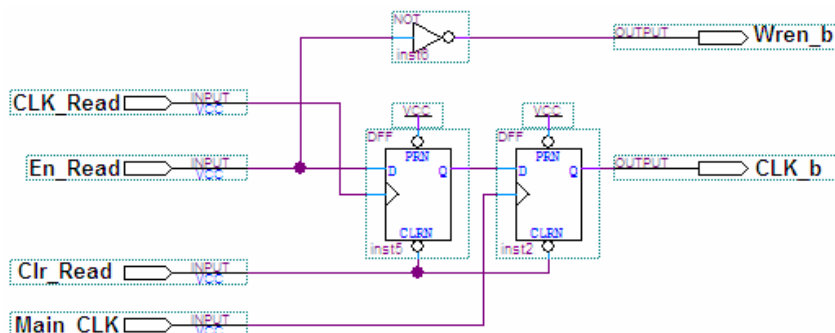
ข. วงจรสร้างสัญญาณลอจิกของไอซีเคลือบข้อมูลฮาร์ดแวร์ในหน่วยความจำมีสัญญาณ En_MakingH จาก PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการสร้างสัญญาณลอจิกตามแผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิกควบคุมการทำงานไอซีเคลือบข้อมูลฮาร์ดแวร์ในหน่วยความจำดังรูปที่ 3.13 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกไอซีเคลือบข้อมูลฮาร์ดแวร์ในหน่วยความจำที่ออกแบบภายในชิพ FPGA แสดงดังรูป 3.17



รูปที่ 3.17 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกในไอซีเคลือบข้อมูลฮาร์ดแวร์ในหน่วยความจำภายในชิพ FPGA

ค. วงจรสร้างสัญญาณลอจิกของไอซีเคลือบข้อมูลฮาร์ดแวร์ออกจากหน่วยความจำมีสัญญาณ En_Read จาก PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการสร้างสัญญาณลอจิกของไอซีเคลือบข้อมูลฮาร์ดแวร์ออกจากหน่วยความจำตามแผนภาพเวลาของสัญญาณลอจิก

ควบคุมการทำงานไซเคิลอ่านข้อมูลฮิสโตแกรมออกจากหน่วยความจำแสดงดังรูปที่ 3.14 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกของไซเคิลอ่านข้อมูลฮิสโตแกรมออกจากหน่วยความจำที่ได้ออกแบบไว้ภายในชิพ FPGA แสดงดังรูปที่ 3.18

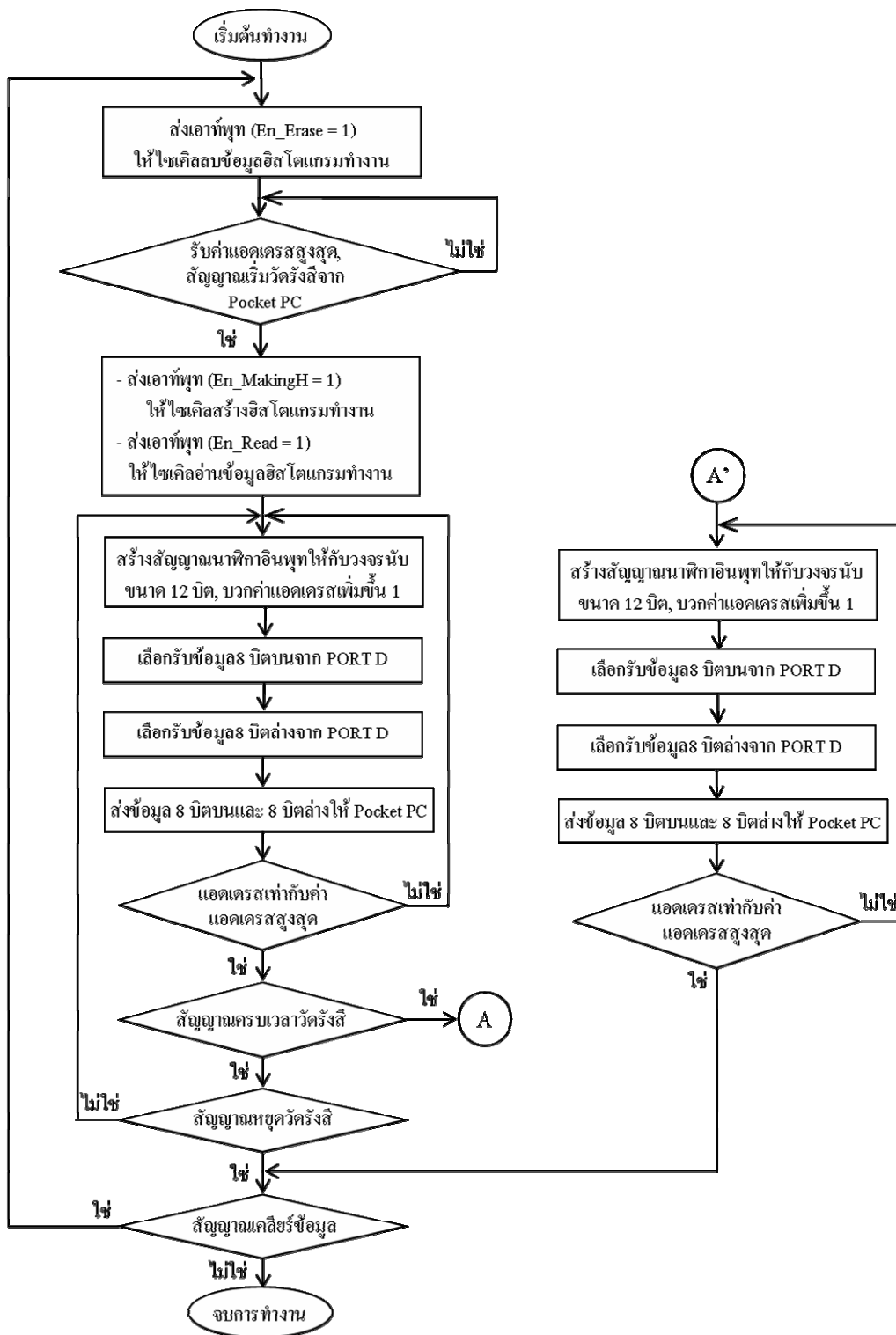


รูปที่ 3.18 วงจรสร้างสัญญาณลอจิกในไซเคิลการอ่านข้อมูลฮิสโตแกรมออกจากหน่วยความจำภายในชิพ FPGA

3.2.5. วงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซี

วงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซีทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณควบคุมและสัญญาณข้อมูลระหว่างพ็อกเก็ตพีซีกับ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC18F4550 ที่ความถี่ 20MHz ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานหลักๆ ของ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ 2 ส่วน คือ ส่วนเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซีผ่านทางพอร์ตอนุกรม (RS-232) และส่วนรับข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงของสัญญาณพัลส์แบบขนานที่ละ 8 บิตผ่านทางพอร์ตดี (Port D) ของ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ แผนผังการทำงานโปรแกรมสำหรับ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังรูปที่ 3.19 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซีและแผนผังวงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซีที่พัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.19 และ 3.20 ตามลำดับ

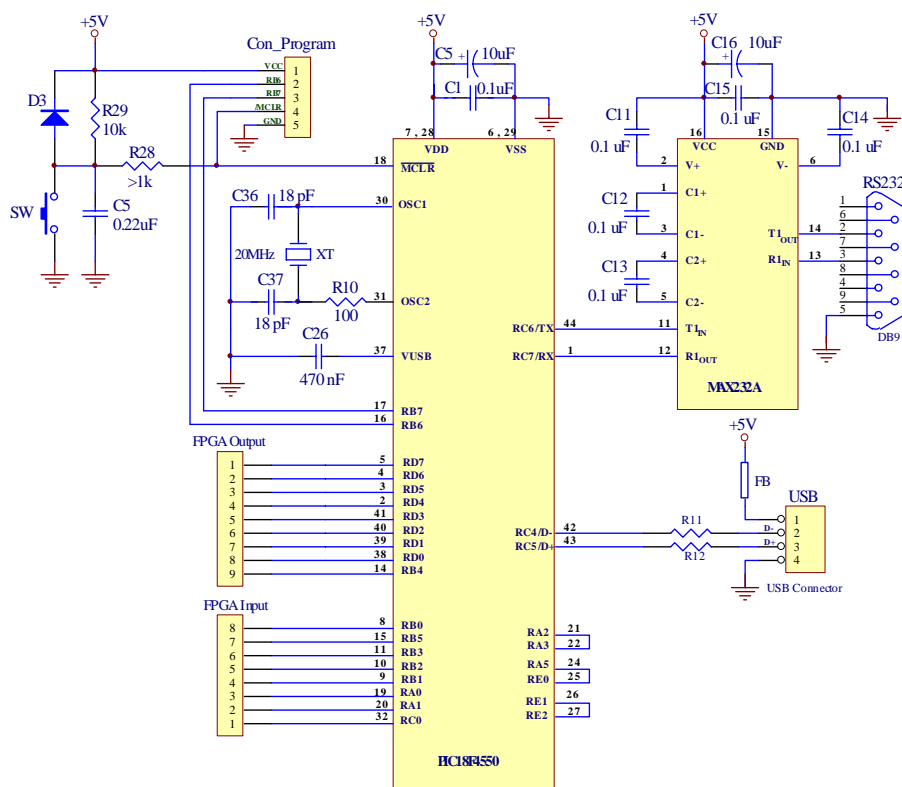
3.2.5.1 ส่วนเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซีผ่านทางพอร์ตอนุกรม (RS-232) ในส่วนนี้ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซีผ่านทางพอร์ตอนุกรม (RS-232) โดยมีไอซี MAX232 ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงระดับสัญญาณ (Level Converter) ที่ส่งผ่านกันระหว่าง PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์กับพ็อกเก็ตพีซี การเชื่อมโยงสัญญาณแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การรับสัญญาณ และการส่งสัญญาณ ในส่วนของการรับสัญญาณ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรอรับสัญญาณควบคุมระบบวิเคราะห์จากพ็อกเก็ตพีซี ซึ่งมีสัญญาณต่างๆ ดังนี้ สัญญาณค่าแอดเดรสสูงสำหรับอ่านข้อมูลออกจากหน่วยความจำ สัญญาณเริ่มวัดรังสี สัญญาณหยุดวัดรังสี สัญญาณครบเวลาวัดรังสี และสัญญาณเคลียร์ข้อมูล ในส่วนของการส่งสัญญาณ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงของสัญญาณพัลส์ให้กับพ็อกเก็ตพีซีเพื่อแสดงผลสเปกตรัม



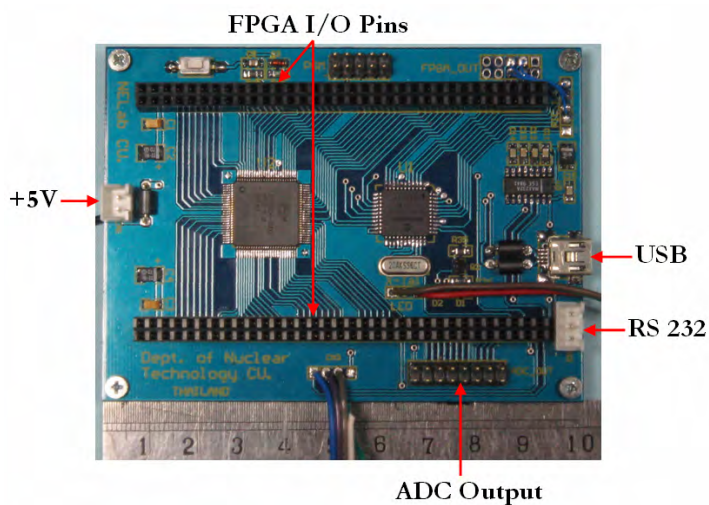
รูปที่ 3.19 แผนผังการทำงานของโปรแกรมสำหรับ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.5.2 ส่วนรับข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงของสัญญาณพัลส์แบบขนานทีละ 8 บิตผ่านทางพอร์ตดีของ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในส่วนนี้ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้างสัญญาณนาฬิกาอินพุต (CLK_Readout) ให้กับวงจรนับขนาด 12 บิตในวงจรสร้างฮิสโตแกรม

ความสูงสัญญาณพัลส์ในหน่วยความจำเพื่อกำหนดแอดเดรสสำหรับอ่านข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ออกจากหน่วยความจำ จากนั้นใช้พอร์ตดีขนาด 8 บิต ทำการรับข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงของสัญญาณพัลส์แบบขนานจากหน่วยความจำในแต่ละแอดเดรสซึ่งมี 16 บิต ดังนั้น PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงต้องทำการเลือกรับข้อมูล 8 บิตบน (High Byte) และ 8 บิตล่าง (Low Byte) ของข้อมูลโดยการควบคุมวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ในการรับข้อมูล



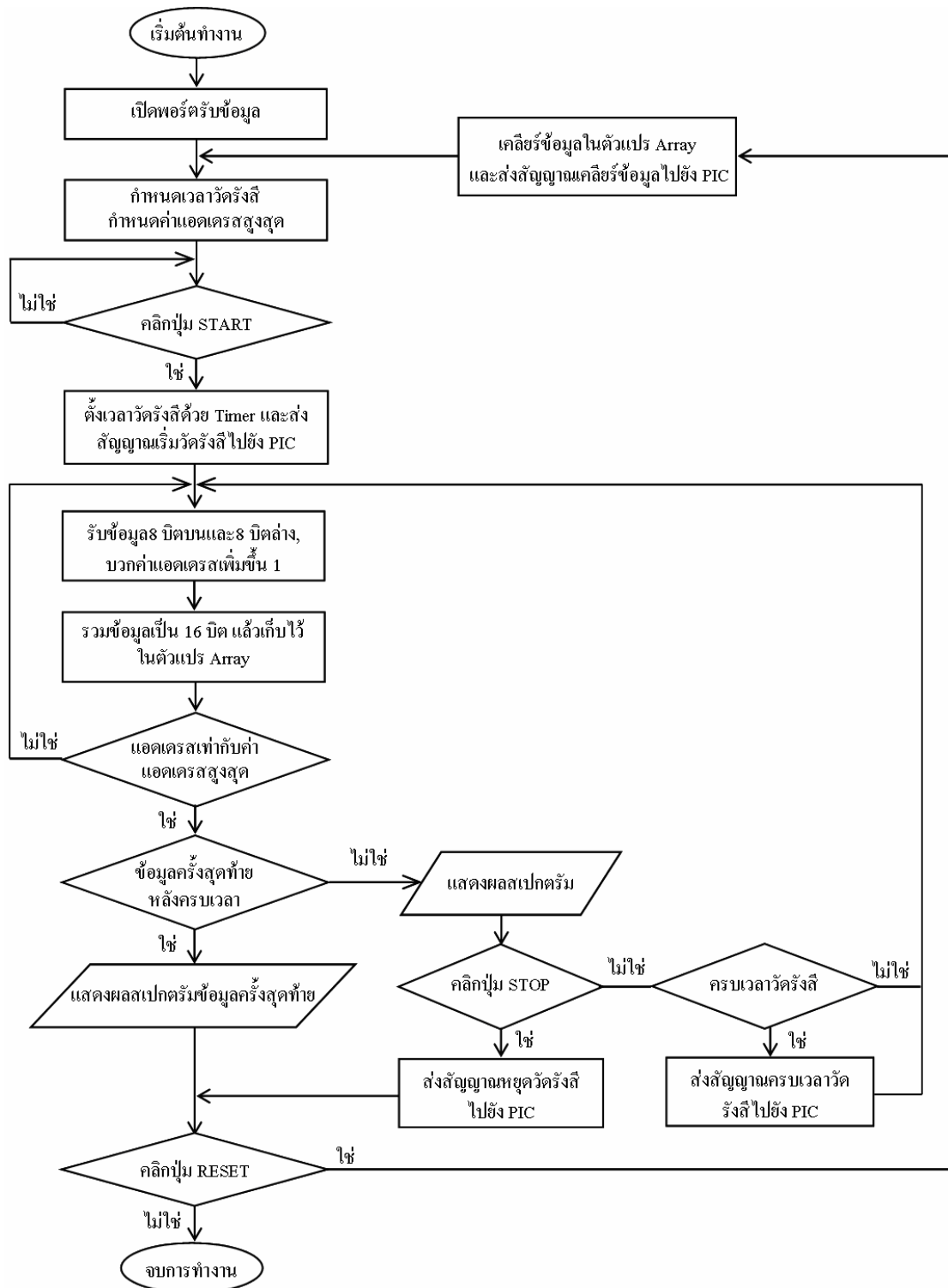
รูปที่ 3.20 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซี



รูปที่ 3.21 แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซี

3.3 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับพ็อกเก็ตพีซี

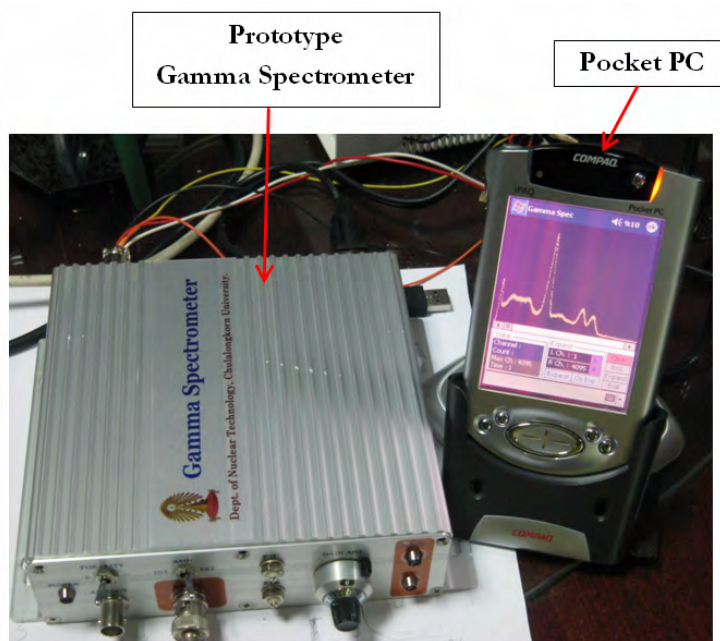
โปรแกรมสำหรับพ็อกเก็ตพีซีที่พัฒนาขึ้นได้ใช้โปรแกรมภาษา eMbedded Visual Basic 3.0 ซึ่งใช้งานร่วมกับระบบปฏิบัติการ Windows Mobile 2002 โปรแกรมสำหรับพ็อกเก็ตพีซีที่พัฒนาขึ้นสำหรับแสดงผลสเปกตรัมพลังงานรังสีและวิเคราะห์ผล มีส่วนประกอบหลักได้แก่ ส่วนรับ-ส่งข้อมูลและแสดงผล แผนผังการทำงาน โปรแกรมสำหรับพ็อกเก็ตพีซีแสดงดังรูปที่ 3.22 จากแผนภาพการทำงาน เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงานจะเปิดพอร์ตอนุกรมโดยอัตโนมัติ จากนั้นโปรแกรมจะให้ผู้ใช้งานกำหนดเวลาในการวัดรังสีและค่าแอดเดรสสูงสุดสำหรับอ่านข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์จากหน่วยความจำเพื่อแสดงผลสเปกตรัม รอการคลิกที่ปุ่ม START เมื่อปุ่ม START ถูกคลิก โปรแกรมจะส่งค่าแอดเดรสสูงสุดและสัญญาณเริ่มทำการวัดรังสีไปยัง PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำการจับเวลาในการวัดรังสี ในขณะที่เดียวกันก็จะทำการรับข้อมูล 8 บิตบนและ 8 บิตล่างของข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ของแต่ละแอดเดรสแล้วนำมารวมเป็นข้อมูล 16 บิต โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่ารับข้อมูลจนครบทุกแอดเดรสเท่ากับค่าสูงสุดแอดเดรสที่กำหนดหรือไม่ ถ้าครบให้นำข้อมูลไปพล็อตสเปกตรัม โปรแกรมจะทำการรับข้อมูลแล้วพล็อตสเปกตรัมไปเรื่อยๆ จนกระทั่งปุ่ม STOP ถูกคลิกโปรแกรมจะหยุดรับข้อมูลและทำการส่งสัญญาณหยุดการนับรังสีไปยัง PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือครบเวลาวัดรังสีที่ตั้งไว้ โปรแกรมจะส่งสัญญาณครบเวลาวัดรังสีไปยัง PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์จากหน่วยความจำและส่งข้อมูลมาอีกครั้งเพื่อนำไปพล็อตสเปกตรัมครั้งสุดท้าย จากนั้นถ้าปุ่ม RESET ถูกคลิกโปรแกรมจะทำการเคลียร์ข้อมูลฮิสโตแกรมสูงของสัญญาณพัลส์ที่ถูกเก็บไว้ในตัวแปร Array พร้อมทั้งส่งสัญญาณเคลียร์ข้อมูลไปยัง PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการเคลียร์ข้อมูลฮิสโตแกรมสูงของสัญญาณพัลส์ในหน่วยความจำ



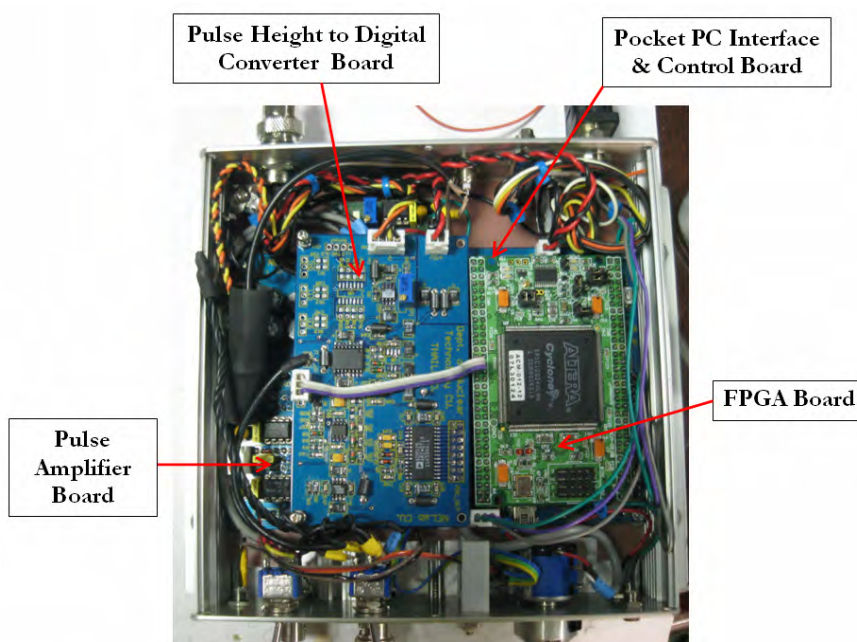
รูปที่ 3.22 แผนผังการทำงานของ โปรแกรมสำหรับเครื่องฟ็อกเก็ตพีซี

3.4 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซี

เมื่อนำวงจรต่างๆ ของระบบวัดรังสีแกมมาที่ได้ออกแบบขึ้นประกอบกับโปรแกรมสำหรับพ็อกเก็ตพีซีที่พัฒนาขึ้น ทำให้ได้เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซีต้นแบบที่มีขนาดกระทัดรัด น้ำหนักเบา แสดงดังรูปที่ 3.23 และส่วนประกอบต่างๆ ภายในเครื่องต้นแบบแสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.23 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซีต้นแบบ



รูปที่ 3.24 ส่วนประกอบต่างๆ ภายในเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาต้นแบบ

บทที่ 4

การทดสอบสมรรถนะของระบบ

เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซีโดยใช้ไปป์ไลน์เอดิซึที่พัฒนาขึ้น ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นบนพ็อกเก็ตพีซีผ่านทางวงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับพ็อกเก็ตพีซีแบบ RS-232 โดยอาศัยการทำงานของ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากที่ประกอบเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาสมบูรณ์แล้วได้ทำการทดสอบสมรรถนะการทำงานของวงจรต่างๆ และการทำงานโดยรวมของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา ได้แก่

1. ทดสอบระบบวัดส่วนหน้าพร้อมหัววัดรังสีชนิดผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl)
2. ทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์
3. ทดสอบวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล
4. ทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณพัลส์ (Throughput) ของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา
5. ทดสอบเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซี

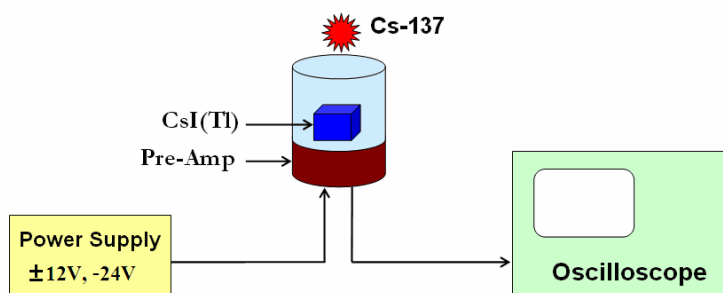
4.1 การทดสอบระบบวัดส่วนหน้าพร้อมหัววัดรังสี CsI(Tl)

4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ต้นกำเนิดรังสี Cs-137
2. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Oscilloscope) ของบริษัท TEKTRONIX รุ่น TDS 360
3. หัววัดรังสีชนิดผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) พร้อมทั้งวงจรขยายส่วนหน้า
4. แหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ ± 12 และ -24 โวลต์

4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

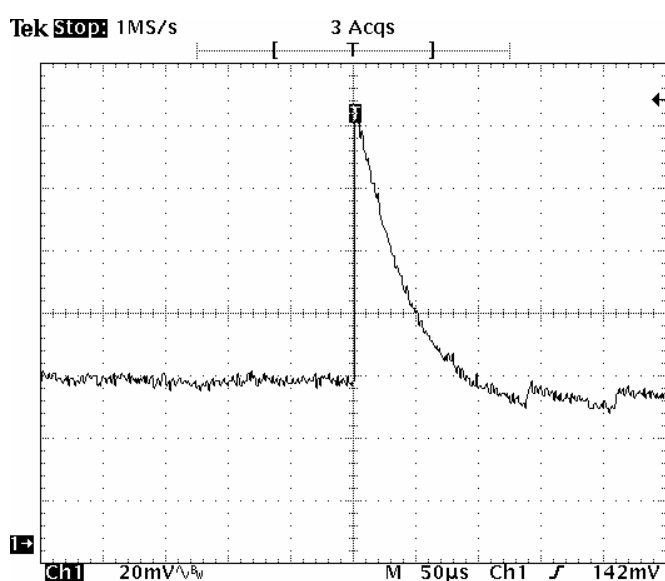
1. จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.1
2. ทำการไบอัสหัววัดรังสีชนิดผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) ด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ ± 12 และ -24 โวลต์ วัดรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 อ่านรูปสัญญาณพัลส์ทางด้านเอาต์พุตจากวงจรขยายส่วนหน้าด้วยเครื่องอ่านรูปสัญญาณ



รูปที่ 4.1 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบระบบวัดส่วนหน้าพร้อมหัววัดรังสีชนิดผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl)

4.1.3 ผลการทดสอบ

สัญญาณพัลส์ทางด้านเอาต์พุตจากวงจรรขยายส่วนหน้าของหัววัดรังสีชนิดผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) เมื่อทำการวัดต้นกำเนิดรังสี Cs-137 พบว่ามีความสูงของสัญญาณพัลส์เท่ากับ 80 mV เวลาสลายพัลส์ (τ) เท่ากับ 40 μ s ไม่มี DC offset วงจรรขยายส่วนหน้ามีความไว 121 mV/MeV ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 สัญญาณพัลส์ทางด้านเอาต์พุตจากวงจรรขยายส่วนหน้าของหัววัดรังสีชนิดผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl)

4.2 การทดสอบวงจรมายสัญญาณพัลส์

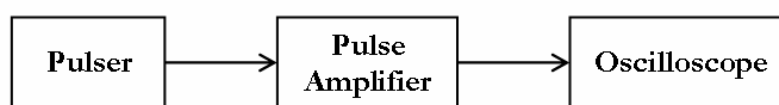
การทดสอบวงจรมายสัญญาณพัลส์ที่ได้ออกแบบขึ้น ได้ทำการทดสอบรูปสัญญาณพัลส์เอาท์พุท ทดสอบความเป็นไม่เชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล (Integral Non-Linearity) และทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่อง (Continuous Gain)

4.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เลียนแบบหัววัดรังสี (Pulser) ของบริษัท CANBERRA รุ่น 807
2. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Oscilloscope) ของบริษัท TEKTRONIX รุ่น TDS 360
3. วงจรมายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น

4.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.3
2. ทดสอบรูปสัญญาณพัลส์เอาท์พุทของวงจรมายสัญญาณ โดยป้อนสัญญาณพัลส์ที่เป็นบวกและลบขนาด 100 มิลลิโวลต์ จากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เลียนแบบหัววัดรังสีให้กับวงจรมายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น ปรับอัตราขยายที่ 100 เท่า ทำการอ่านรูปสัญญาณด้านเอาท์พุทของวงจรมายสัญญาณหลังจากปรับ Pole Zero Cancellation และ Base Line Restorer ที่สมบูรณ์แล้วด้วยเครื่องอ่านรูปสัญญาณ
3. ทดสอบความเป็นไม่เชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล โดยตั้งอัตราขยายคงที่ที่ 100 เท่า และทำการแปรเปลี่ยนขนาดความสูงของสัญญาณพัลส์ขาเข้าจากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เลียนแบบหัววัดรังสี บันทึกผลขนาดความสูงสัญญาณพัลส์ขาออกในตารางที่ 4.1
4. ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่อง โดยป้อนสัญญาณบวกขนาด 100 มิลลิโวลต์ จากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เลียนแบบหัววัดรังสีให้กับวงจรมายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น และทำการแปรเปลี่ยนค่าอัตราขยายที่สเกลหน้าปัดของเครื่อง บันทึกค่าความสูงสัญญาณพัลส์ทางเอาท์พุทในตารางที่ 4.2

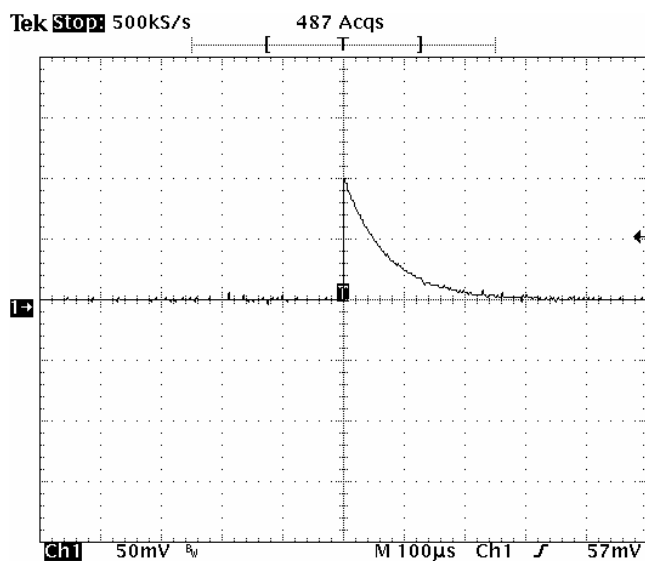


รูปที่ 4.3 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะของวงจรมายสัญญาณพัลส์

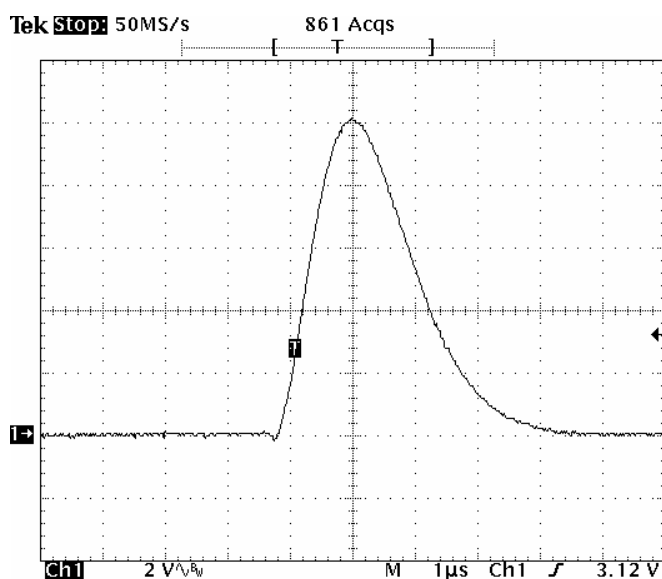
4.2.3 ผลการทดสอบ

1. ผลการทดสอบรูปสัญญาณพัลส์ทางด้านเอาต์พุต

ก. ป้อนสัญญาณพัลส์บวกขนาด 100 มิลลิโวลต์ จากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เลียนแบบหัววัดรังสี ซึ่งมีรูปสัญญาณดังรูปที่ 4.4 ให้กับวงจรมายสัญญาณพัลส์ โดยสับสวิตช์เลือกโพลาริตีเป็นบวก ผลการทดสอบรูปสัญญาณพัลส์เอาต์พุตของวงจรมายสัญญาณพัลส์หลังจากการปรับ Pole Zero Cancellation และ Base Line Restorer แสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งรูปสัญญาณพัลส์ที่ได้เป็น Semi Gaussian ที่มีค่าไรส์ไทม์ (Time to Peak) 1.2 μs และความกว้างพัลส์ขนาด 2 μs

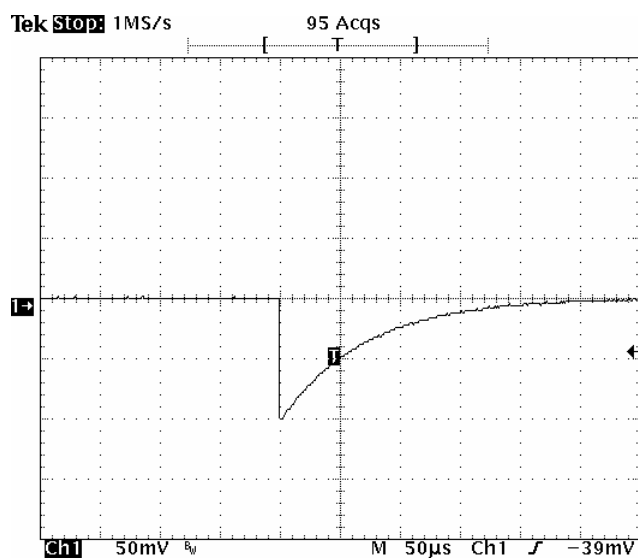


รูปที่ 4.4 สัญญาณพัลส์บวกจากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เลียนแบบหัววัดรังสี

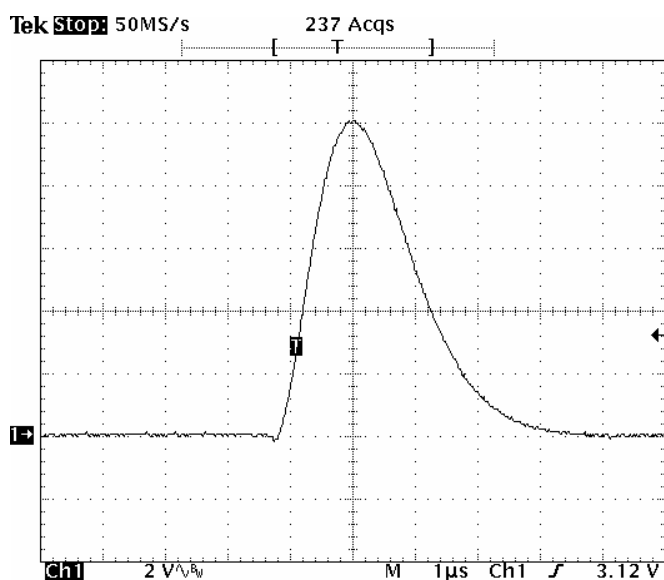


รูปที่ 4.5 สัญญาณพัลส์เอาต์พุตของวงจรมายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น โดยเลือกโพลาริตีบวก

ข. ป้อนสัญญาณพัลส์ลบขนาด 100 มิลลิโวลต์ จากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ เลียนแบบหัววัดรังสี ซึ่งมีรูปสัญญาณดังรูปที่ 4.6 ให้กับวงจรมายสัญญาณพัลส์ โดยสับสวิตช์ เลือกลโพลาริตีเป็นลบ ผลการทดสอบรูปสัญญาณพัลส์เอาต์พุตของวงจรมายสัญญาณพัลส์หลังทำการปรับ Pole Zero Cancellation และ Base Line Restorer แสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งรูปสัญญาณพัลส์ที่ได้เป็น Semi Gaussian ที่มีค่าไรส์ไทม์ $1.2 \mu\text{s}$ และความกว้างพัลส์ขนาด $2 \mu\text{s}$



รูปที่ 4.6 สัญญาณพัลส์ลบจากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เลียนแบบหัววัดรังสี



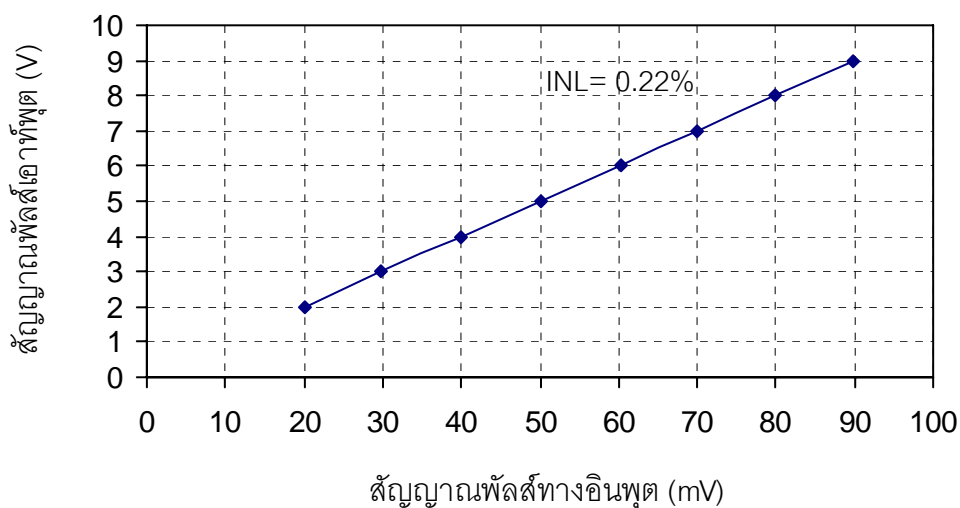
รูปที่ 4.7 สัญญาณพัลส์เอาต์พุตของวงจรมายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้นโดยเลือกลโพลาริตีลบ

2. ผลการทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล

ทำการทดสอบโดยการปรับอัตราขยาย 100 เท่าคงที่ และแปรเปลี่ยนขนาดความสูงสัญญาณพัลส์ทางอินพุต เพื่อให้ความสูงสัญญาณพัลส์ทางเอาต์พุตมีขนาด 2, 3, 4, ..., 9 โวลต์ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1 นำข้อมูลไปเขียนกราฟแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัลได้ดังรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล

สัญญาณพัลส์ทางอินพุต (mV)	สัญญาณพัลส์เอาต์พุต (V)	อัตราขยาย ($A_V = V_o/V_i$)
20.0	2	100.00
29.8	3	100.67
40.0	4	100.00
50.0	5	100.00
60.2	6	99.67
70.0	7	100.00
79.8	8	100.25
89.8	9	100.22



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 สามารถคำนวณหาความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล (INL) ได้จากสมการ

$$\text{INL} = \left| \frac{V - V_{(L)}}{V_{(\text{Max})}} \right| \times 100\%$$

- เมื่อ V = ความสูงสัญญาณพัลส์กราฟที่มีการเบี่ยงเบนสูงสุด
 $V_{(L)}$ = ความสูงสัญญาณพัลส์จากกราฟเส้นตรง
 $V_{(\text{Max})}$ = ความสูงสัญญาณพัลส์ทางอินพุตสูงสุดที่ได้จากการกราฟ

แทนค่าลงในสมการได้

$$\text{INL} = \left| \frac{6 - 6.02}{89.8} \right| \times 100\%$$

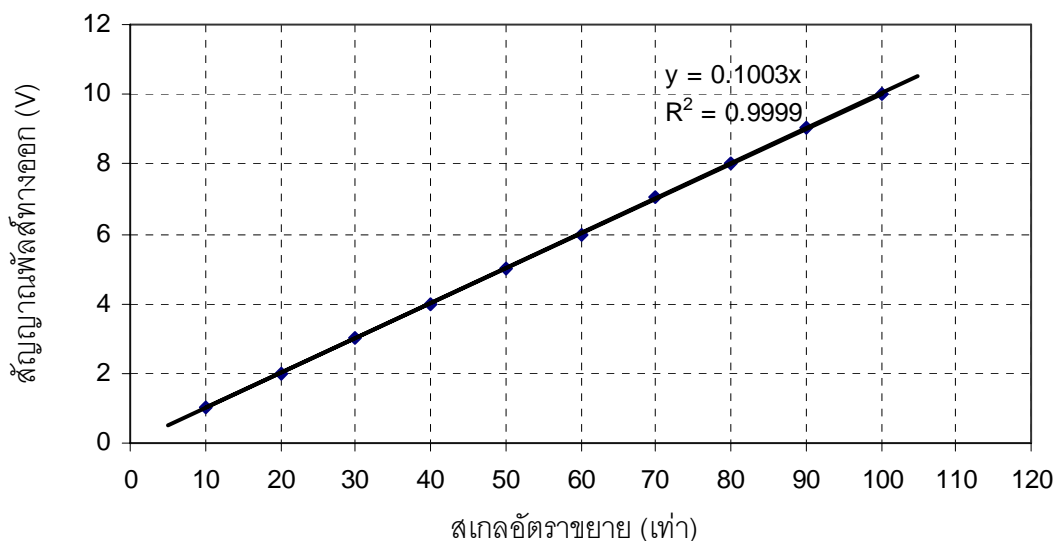
$$\text{INL} = 0.22\%$$

3. ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่อง

เมื่อทำการป้อนสัญญาณทางอินพุตขนาด 100 มิลลิโวลต์ และปรับสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่องเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 เท่า บันทึกค่าความสูงสัญญาณพัลส์ทางเอาต์พุต ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.2 นำข้อมูลไปเขียนกราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบต่อเนื่องได้ดังรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่อง

สเกลอัตราขยาย	สัญญาณพัลส์ทางเอาต์พุต (V)	อัตราขยาย ($A_V = V_o/V_i$)
10	1.01	10.1
20	2.00	20
30	3.02	30.2
40	4.00	40
50	5.02	50.2
60	6.00	60
70	7.04	70.4
80	8.04	80.4
90	9.04	90.4
100	10.00	100



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่อง

4.3 การทดสอบวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล

ทดสอบวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลที่พัฒนาขึ้น โดยการทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นของการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลแบบอินทิกรัลทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัล และทดสอบความคลาดเคลื่อนในการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์บริเวณกึ่งกลางย่านวิเคราะห์

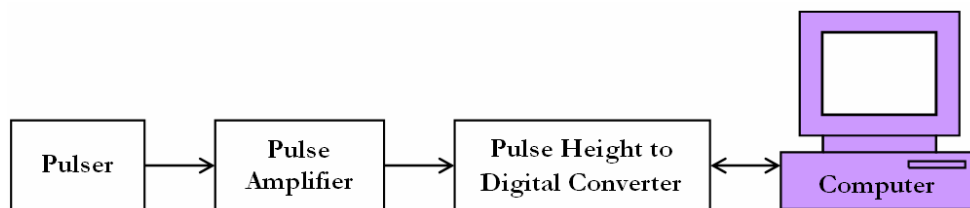
4.3.1 ทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัล

4.3.1.1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัวใจ (Pulser) ของบริษัท CANBERRA รุ่น 807
2. โมดูลขยายสัญญาณพัลส์ของบริษัท CANBERRA รุ่น 2022
3. วงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลที่พัฒนาขึ้น
4. เครื่องคอมพิวเตอร์

4.3.1.2. ขั้นตอนการทดสอบ

จัดอุปกรณ์ทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นของการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลแบบอินทิกรัลดังแผนภาพรูปที่ 4.10 ทำการแปรเปลี่ยนขนาดสัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้กับวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล บันทึกผลช่องพลังงานที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์ในตารางที่ 4.3 คำนวณหาความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัลในการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์



รูปที่ 4.10 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัล

4.3.1.3. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบไม่เป็นเชิงเส้นของการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลแบบอินทิกรัลแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบไม่เป็นเชิงเส้นของการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลแบบอินทิกรัล

ขนาดความสูงสัญญาณพัลส์ (V)	ช่องพลังงาน (Energy Channel)
0.4	365
0.8	812
1.2	1207
1.6	1611
2.0	2024
2.4	2402
2.8	2806
3.2	3214
3.6	3604
4.0	4012

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 สามารถคำนวณหาความไม่เป็นเชิงเส้นของการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลแบบอินทิกรัล (INL) ได้จากสมการ

$$INL = \left| \frac{Ch - Ch_{(L)}}{Ch_{(Max)}} \right| \times 100\%$$

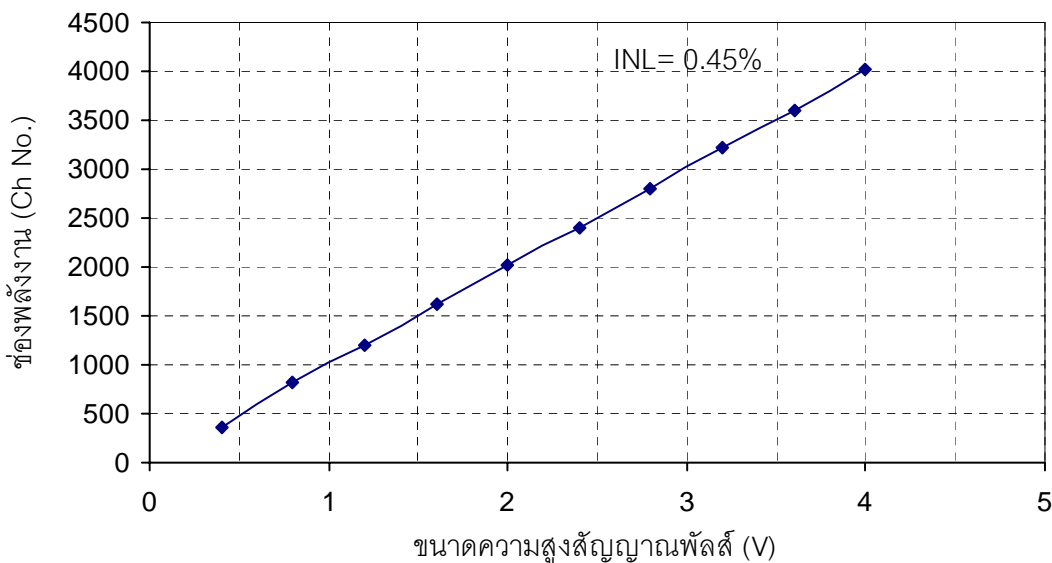
เมื่อ Ch = ช่องพลังงานจากการเส้นกราฟที่มีการเบี่ยงเบนสูงสุด
 $Ch_{(L)}$ = ช่องพลังงานที่ได้จากกราฟเส้นตรง

$Ch_{(Max)}$ = ช่องพลังงานสูงสุดที่ได้จากเส้นกราฟ

แทนค่าลงในสมการได้

$$INL = \left| \frac{2024 - 2006}{4012} \right| \times 100\%$$

$$INL = 0.45\%$$



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความสูงของพัลส์กับช่องพลังงาน

4.3.2 ทดสอบความคลาดเคลื่อนในการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์

4.3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสี (Pulser) ของบริษัท CANBERRA รุ่น 807
2. โมดูลขยายสัญญาณพัลส์ของบริษัท CANBERRA รุ่น 2022
3. วงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลที่พัฒนาขึ้น
4. เครื่องคอมพิวเตอร์

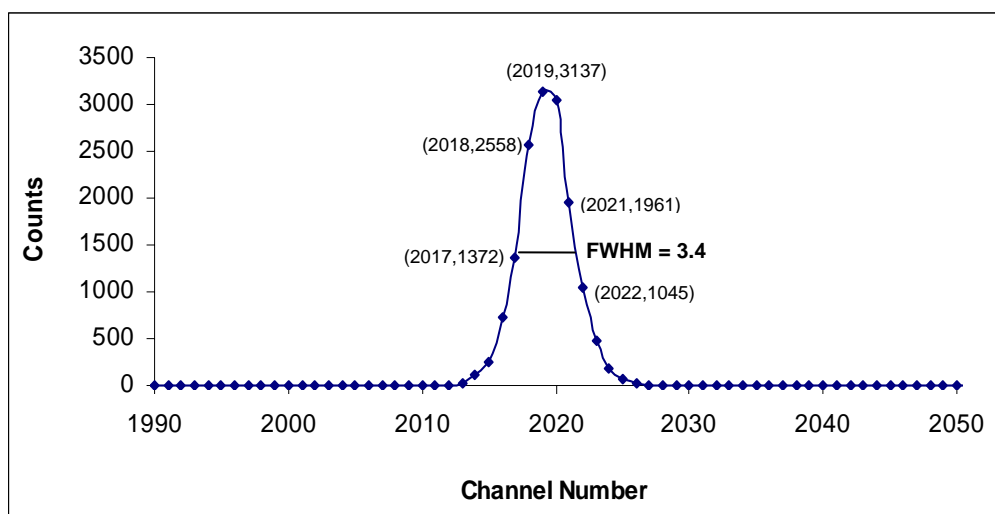
4.3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

จัดอุปกรณ์ทดสอบความคลาดเคลื่อนในการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์ บริเวณกึ่งกลางย่านวิเคราะห์ดังแผนภาพรูปที่ 4.10 ทำการปรับอัตราขยายสัญญาณพัลส์ให้ได้

สัญญาณเอาต์พุตขนาด 2 V ป้อนให้กับวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นวิเคราะห์สเปกตรัมโดยใช้โปรแกรม Excel คำนวณค่า FWHM และค่าเบี่ยงเบนจากกึ่งกลางช่วงวิเคราะห์

4.3.2.3 ผลการทดสอบ

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมโดยโปรแกรม Excel แสดงดังรูปที่ 4.12 ซึ่งจากการทดสอบพบว่ามีความเบี่ยงเบนในการแปลงผันที่ตำแหน่งกึ่งกลางของย่านวิเคราะห์ ± 2 ช่อง (FWHM)



รูปที่ 4.12 สเปกตรัมของการทดสอบความคลาดเคลื่อนในการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์

4.4 การทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณพัลส์ (Throughput) ของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา

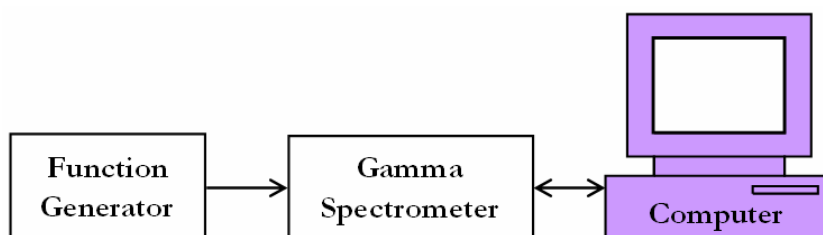
4.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ของบริษัท GMINSTEK รุ่น GFG-3015
2. เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้น
3. เครื่องคอมพิวเตอร์

4.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.13
2. ปรับเลือกรูปสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เป็นแบบ Sine Wave ที่
3. ปรับขนาดของสัญญาณพัลส์จากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ให้มีขนาด 1 Vpp

4. แปรเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณพัลส์จากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ให้เพิ่มขึ้น
ครั้งละ 10 kcps เริ่มจาก 10k, 20k, ..., 190k, 200k โดยใช้เวลาวเคราะห์ช่วงละ
1 วินาที
5. บันทึกผลจำนวนนับรวมได้พีคทั้งหมดลงในตารางที่ 4.4
6. ปรับขนาดของสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ให้มีขนาด 2 Vpp
7. ทำซ้ำข้อ 4 และ 5
8. ปรับขนาดของสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ให้มีขนาด 3 Vpp
9. ทำซ้ำข้อ 4 และ 5



รูปที่ 4.13 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณพัลส์ของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา

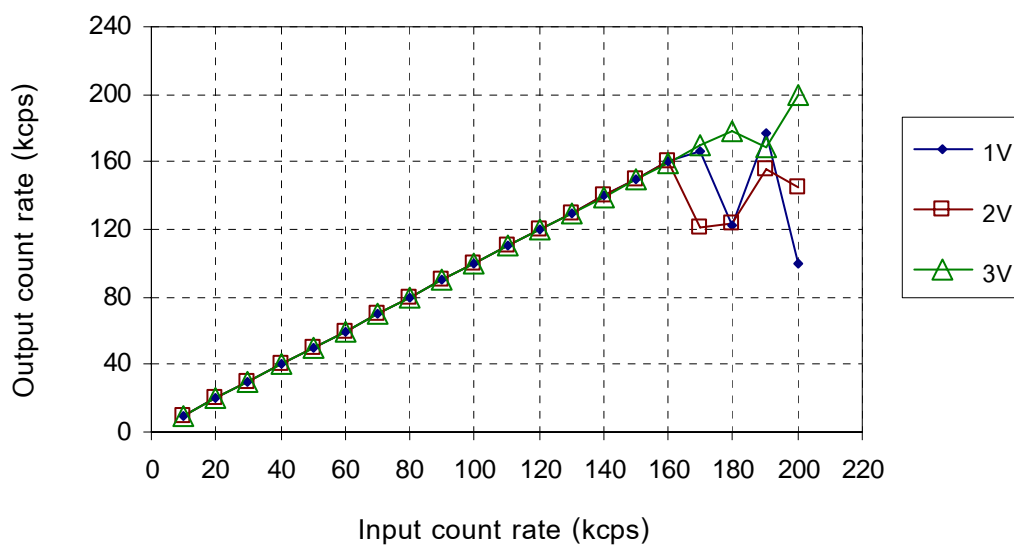
4.4.3 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้น

ความถี่ทางอินพุต (kcps)	ความถี่ทางเอาท์พุต (kcps)		
	at 1V	at 2V	at 3V
10	10.0	10.0	10.0
20	20.0	20.0	20.0
30	30.0	30.0	30.0
40	40.0	40.0	40.0
50	50.0	50.0	50.0
60	60.0	60.0	60.0
70	70.0	70.0	70.0
80	80.0	80.0	80.0
90	90.0	90.0	90.0
100	100.0	100.0	100.0

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ความถี่ทางอินพุต (kcps)	ความถี่ทางเอาต์พุต (kcps)		
	at 1V	at 2V	at 3V
110	110.0	110.0	110.0
120	120.0	120.0	119.9
130	130.0	130.0	129.6
140	140.0	140.0	139.6
150	150.0	150.0	149.2
160	160.0	160.0	159.6
170	165.8	121.0	169.5
180	122.6	123.5	178.7
190	177.0	156.1	168.8
200	100.0	144.8	199.4



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการตอบสนองอัตราวิเคราะห์สัญญาณพัลส์ที่ขนาดความสูงต่าง ๆ

4.5 การทดสอบเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาทำงานกับพ็อกเก็ตพีซี

นำเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซีต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมาทดสอบวัดสเปกตรัมรังสีแกมมามาตรฐาน Cs-137 และ Co-60 โดยใช้หัววัดรังสี NaI(Tl) และหัววัดรังสีชนิดผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการวัดสเปกตรัม

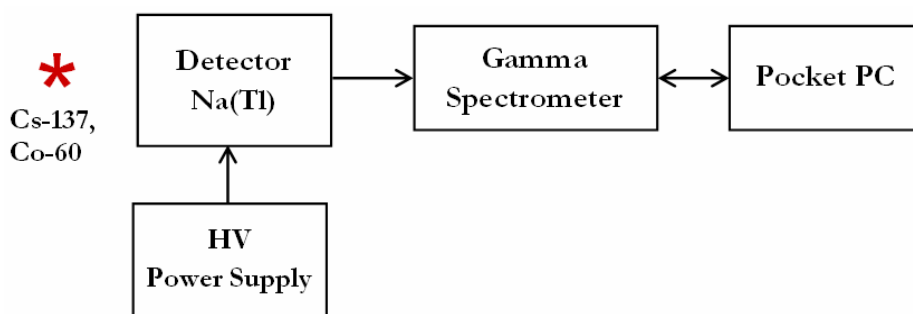
4.5.1 ทดสอบวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานโดยใช้หัววัดรังสี NaI(Tl)

4.5.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 และ Co-60
2. เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซีต้นแบบ
3. เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดพ็อกเก็ตพีซี รุ่น h3850
4. หัววัด NaI(Tl) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว พร้อมฐานหลอด PMT และอุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้า
5. โมดูล High Voltage Power Supply ของบริษัท ORTEC รุ่น 456

4.5.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

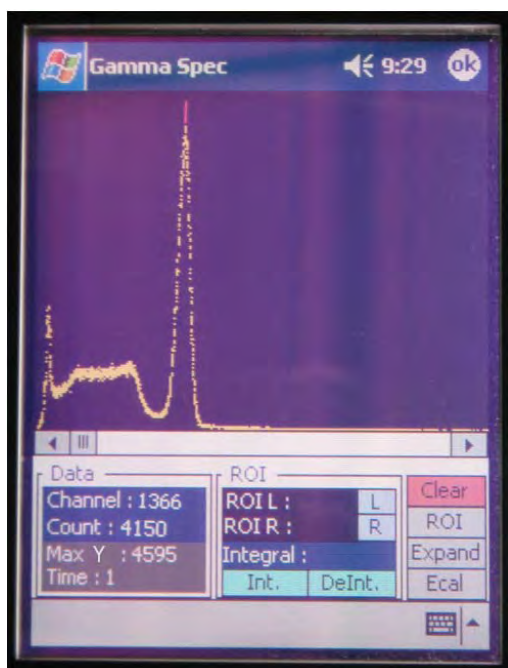
1. จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.15
2. วัดสเปกตรัมต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 เป็นเวลา 1 นาที
3. วัดสเปกตรัมต้นกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 เป็นเวลา 1 นาที
4. วัดสเปกตรัมต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 พร้อม Co-60 เป็นเวลา 1 นาที



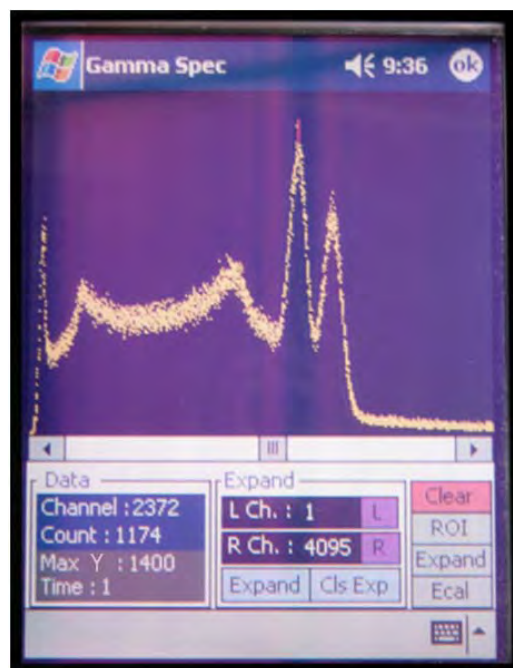
รูปที่ 4.15 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน โดยใช้หัววัดรังสี NaI(Tl)

4.5.1.3 ผลการทดสอบ

ผลการวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Cs-137 เป็นเวลา 1 นาที แสดงดังรูปที่ 4.16 ซึ่งมีพีคพลังงาน 0.662 MeV ที่ช่องพลังงาน 1366 ส่วนผลการวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Co-60 เป็นเวลา 1 นาที แสดงดังรูปที่ 4.17 มีพีคพลังงาน 1.173 MeV และ 1.332 MeV ที่ช่องพลังงาน 2372 และ 2702 ตามลำดับ ผลช่องพลังงานและพลังงานที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5 นำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบพลังงาน (Energy Calibration Curve) ดังรูปที่ 4.18 และผลการวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Cs-137 พร้อมกับ Co-60 เป็นเวลา 1 นาที แสดงดังรูปที่ 4.19



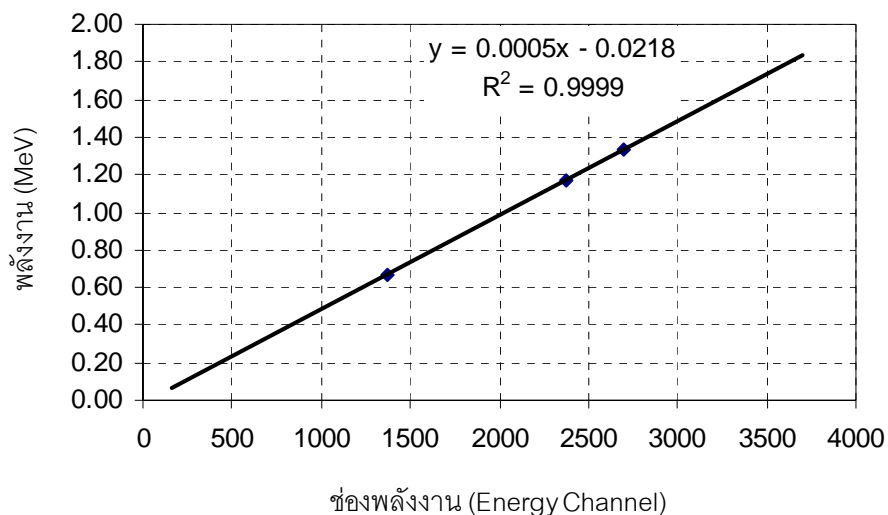
รูปที่ 4.16 สเปกตรัมของ Cs-137 โดยหัววัด NaI(Tl) เวลา 1 นาที



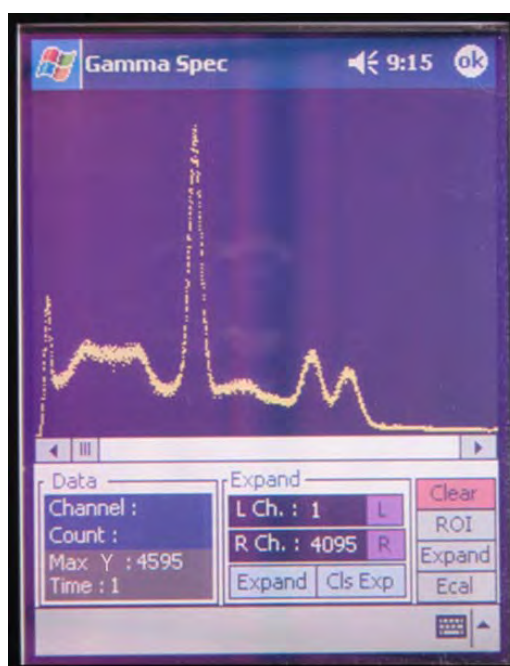
รูปที่ 4.17 สเปกตรัมของ Co-60 โดยหัววัด NaI(Tl) เวลา 1 นาที

ตารางที่ 4.5 ผลของช่องพลังงานกับพลังงานที่ได้จากการวัดสเปกตรัมโดยหัววัด NaI(Tl)

ช่องพลังงาน (Energy Channel)	พลังงาน (MeV)
1366	0.662
2372	1.173
2702	1.332



รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบพลังงานจากการวัดสเปกตรัมด้วยหัววัด CsI(Tl)



รูปที่ 4.19 สเปกตรัมของ Cs-137 และ Co-60 โดยหัววัด NaI(Tl) เวลา 1 นาที

4.5.2 ทดสอบวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน โดยใช้หัววัดรังสี CsI(Tl)

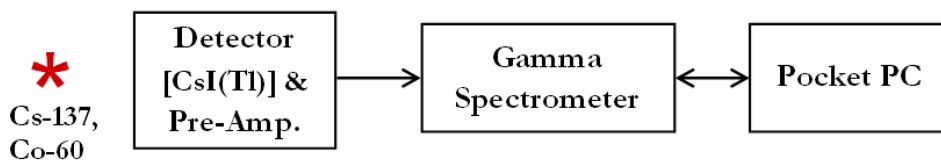
4.5.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 และ Co-60
2. เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพีซีชนิดแบบ

3. เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดพ็อกเก็ตพีซี รุ่น h3850
4. หัววัดรังสีชนิดผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) พร้อมทั้งวงจรขยายส่วนหน้า

4.5.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

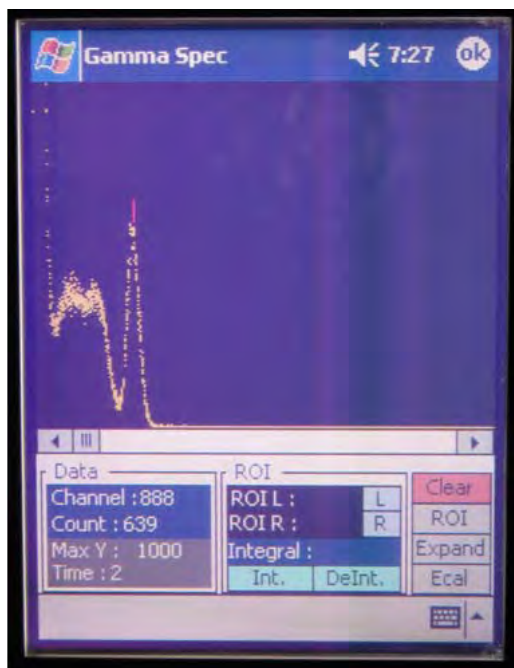
1. จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.20
2. วัดสเปกตรัมต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 เป็นเวลา 2 นาที
3. วัดสเปกตรัมต้นกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 เป็นเวลา 2 นาที
4. วัดสเปกตรัมต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 พร้อม Co-60 เป็นเวลา 2 นาที



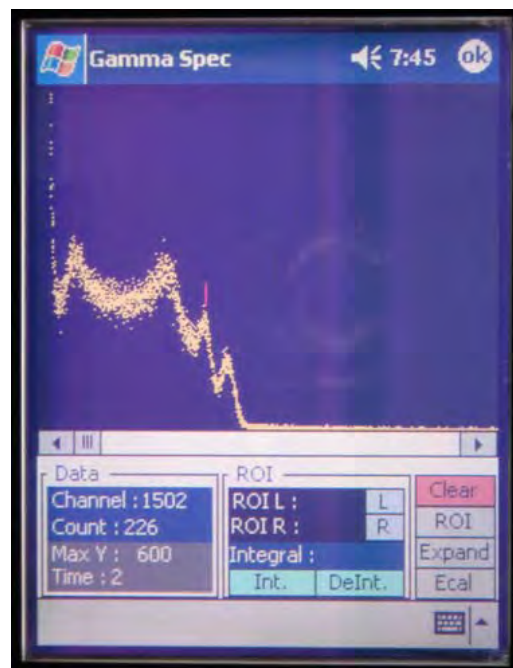
รูปที่ 4.20 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานโดยใช้หัววัดรังสี CsI(Tl)

4.5.2.3 ผลการทดสอบ

ผลการวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Cs-137 เป็นเวลา 2 นาที แสดงดังรูปที่ 4.21 ซึ่งมีพีคพลังงาน 0.662 MeV ที่ช่องพลังงาน 888 ส่วนผลการวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Co-60 เป็นเวลา 2 นาที แสดงดังรูปที่ 4.22 มีพีคพลังงาน 1.173 MeV และ 1.332 MeV ที่ช่องพลังงาน 1502 และ 1704 ตามลำดับ ผลช่องพลังงานและพลังงานที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.6 นำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบพลังงานดังรูปที่ 4.23 และผลการวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Cs-137 พร้อมกับ Co-60 เป็นเวลา 2 นาที แสดงดังรูปที่ 4.24



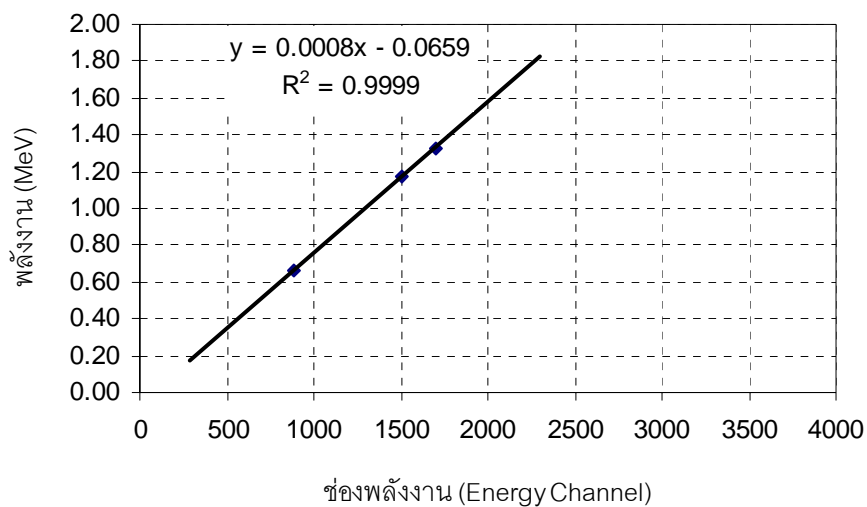
รูปที่ 4.21 สเปกตรัมของ Cs-137 โดยหัววัด
CsI(Tl) เวลา 2 นาที



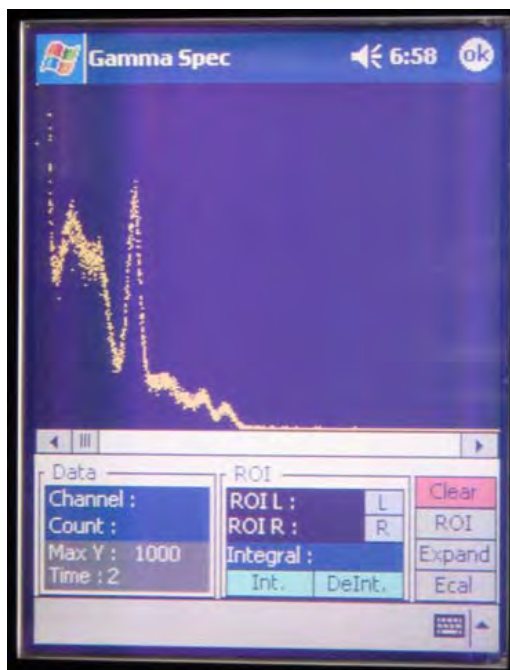
รูปที่ 4.22 สเปกตรัมของ Co-60 โดยหัววัด
CsI(Tl) เวลา 2 นาที

ตารางที่ 4.6 ผลของช่องพลังงานกับพลังงานที่ได้จากการวัดสเปกตรัมโดยหัววัด CsI(Tl)

ช่องพลังงาน (Energy Channel)	พลังงาน (MeV)
888	0.662
1502	1.173
1704	1.332



รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบพลังงานจากการวัดสเปกตรัมด้วยหัววัด CsI(Tl)



รูปที่ 4.24 สเปกตรัมของ Cs-137 และ Co-60 โดยหัววัด CsI(Tl) เวลา 2 นาที

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซีโดยใช้ไปป์ไลน์เอดีซีที่พัฒนาขึ้นมีขนาดของเครื่องที่เล็กกระทัดรัด น้ำหนักเบา สะดวกต่อการใช้งาน สูญเสียกำลังไฟฟ้าน้อย มีความละเอียดช่องวิเคราะห์ 4,096 ช่องวิเคราะห์ ใช้ไปป์ไลน์เอดีซีขนาด 12 บิต ที่อัตราของการสุ่มสัญญาณ 15 MS/s ทำการแปลงสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์เป็นสัญญาณดิจิทัล ใช้งานร่วมกับพ็อกเก็ตพีซีในการควบคุมการทำงานและแสดงผลสเปกตรัมรังสีแกมมา ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องสรุปได้ดังนี้

ก. วงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้นมีอัตราขยายสัญญาณ 100 เท่า มีค่าเวลาแต่งสัญญาณ (Shaping Time) เท่ากับ $0.7 \mu\text{s}$ สามารถสร้างพัลส์แบบ Semi Gaussian ที่มีค่าไรส์ไทม์ $1.2 \mu\text{s}$ และความกว้างพัลส์ขนาด $2 \mu\text{s}$ มีความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล 0.22% และความเป็นเชิงเส้นของสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่องมีค่า $R^2 = 0.9999$

ข. วงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นทำการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบไปป์ไลน์โดยใช้ไอซีเบอร์ AD9225 ขนาด 12 บิต สอดคล้องกับช่องวิเคราะห์ 4,096 ช่องวิเคราะห์ สามารถแปลงความสูงของสัญญาณพัลส์ได้ในช่วง 0-4 โวลต์ การแปลงความสูงของสัญญาณพัลส์ 1 ลูกใช้เวลา $1.27 \mu\text{s}$ จากผลการทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นของการแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลแบบอินทิกรัลพบว่ามีค่า 0.45% และจากการทดสอบความคลาดเคลื่อนในการแปลงผันสัญญาณพบที่มีความเบี่ยงเบนในการแปลงผันที่ตำแหน่งกึ่งกลางของย่านวิเคราะห์ ± 2 ช่อง (FWHM)

ค. จากผลการทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณพัลส์ (Throughput) ของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้นพบว่าสามารถวิเคราะห์สัญญาณพัลส์สูงสุดที่ 160 kcps โดยไม่ขึ้นอยู่กับความสูงของสัญญาณพัลส์ เนื่องจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบไปป์ไลน์มีเวลาการแปลงผันสัญญาณคงที่ ดังนั้นค่าเดดไทม์ของระบบจึงขึ้นอยู่กับเวลาในการแปลงผันสัญญาณและอัตราการนับรังสี

ง. โปรแกรมสำหรับพ็อกเก็ตพีซีพัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมภาษา eMbedded Visual Basic 3.0 ใช้งานร่วมกับระบบปฏิบัติการ Windows Mobile 2002 ซึ่งโปรแกรมสำหรับพ็อกเก็ต

พีซีที่พัฒนาขึ้นใช้สำหรับควบคุมการวัดรังสีแกมมา แสดงผลสเปกตรัมพลังงานรังสี และวิเคราะห์ผล โดยสามารถอ่านปริมาณนับรังสี และจำนวนนับรังสีรวมของพื้นที่ที่วัด นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชันขยายขนาดของพีซีเพื่ออำนวยความสะดวกในการเลือกช่องวิเคราะห์พลังงานที่ตำแหน่งกึ่งกลางพีซี

จ. ผลทดสอบเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพีซีโดยการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมามาตรฐาน Cs-137 และ Co-60 โดยใช้หัววัดรังสี NaI(Tl) และหัววัดรังสี CsI(Tl) พบว่าสามารถวัดและแสดงผลของสเปกตรัมได้เป็นที่น่าพอใจและมีความสามารถในการแจกแจงพลังงานเป็น 8.30% และ 12.61% ตามลำดับ แต่การวัดสเปกตรัมด้านพลังงานต่ำพบว่าพีซีของสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถแยกแยะได้ว่าเป็นพีซีของรังสีพลังงานต่ำหรือพีซีของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 ปัญหาเรื่องการออกแบบและสร้างแผ่นพิมพ์วงจรสำหรับวงจรความถี่สูงเนื่องจากบริษัทในประเทศยังไม่สามารถทำแผ่นพิมพ์วงจรแบบมัลติเลเยอร์ (Multilayer) จึงทำให้ไม่สามารถรองรับการสร้าง Ground Plan ที่ดีได้ ดังนั้นจึงทำให้การแก้ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนในวงจรที่เกิดจากแผ่นพิมพ์วงจรจึงทำได้ยาก

5.2.2 เนื่องจากเทคโนโลยีการพัฒนาระบบปฏิบัติการบนพีซีได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว จึงทำให้โปรแกรมที่ใช้สำหรับพัฒนานั้นไม่สามารถใช้ได้กับระบบปฏิบัติการที่ใหม่กว่าได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องใช้พีซีรุ่นเก่าที่มีความเร็วของ CPU ต่ำ ในการพัฒนาเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาส่งผลให้การประมวลผลในขั้นตอนต่างๆ ช้า

5.2.3 ความเร็วในการส่งข้อมูลฮิสโตแกรมความสูงสัญญาณพัลส์ไปยังพีซีผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232 นั้นยังช้าจึงทำให้การแสดงผลของสเปกตรัมทำได้ช้าด้วย และการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตยูเอสบี (USB) ทำได้ยากเนื่องจากพีซีไม่มี Driver สำหรับโปรแกรมพัฒนา

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื่องจากวงจรแปลงความสูงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นยังมีความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัลสูง ซึ่งสามารถที่จะปรับแก้ได้ด้วยวิธีการสไลด์ิงสเกล (Sliding Scale)

5.3.2 พีซีที่พีซีที่ใช้มีความเร็ว CPU เพียง 200 MHz เท่านั้นจึงทำให้การประมวลผลข้อมูลทำได้ช้า ถ้านำพีซีที่มีความเร็วมากกว่ามาประยุกต์ใช้จะทำให้การประมวลผลเร็วขึ้น

รายการอ้างอิง

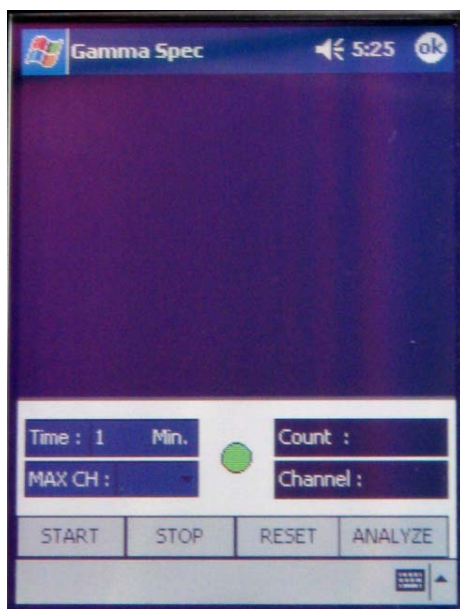
- [1] ชัยวัฒน์ โตปีตุมาตุคุณ และ ชัยณพพงศ์ รัชญญลักษณ์. คู่มือเลือกซื้อและใช้งาน Pocket PC Complete Guide. กรุงเทพฯ : ชัคเซส มีเดียม, 2549
- [2] วิรุฬห์ มังคละวิรัช และ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง. รายงานโครงการสิ่งประดิษฐ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536
- [3] วสันต์ อัมพูชนี. การพัฒนาส่วนเชื่อมโยงสัญญาณและโปรแกรมอิมัลเตเตอร์สำหรับเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ชนิดแจกแจงพลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- [4] สิริยาภรณ์ แสงอรุณ. การพัฒนาระบบมอนิเตอร์รังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- [5] สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. การตรวจวัดรังสีนิวเคลียร์และอุปกรณ์นิวเคลียร์. เอกสารการสอนวิชา 2111606 ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538
- [6] Gillmore G. And Hemingway J. Practical Gamma-Ray Spectrometry. New York: John Wiley & Son, 1995
- [7] Knoll, Glenn F. Radiation Detection and Measurement. New York: McGraw-Hill Book, 1983
- [8] Maxim Integrated Products. Understanding Pipelined ADCs. USA: Application note, 2001
- [9] P.W. NICHOLSON. Nuclear Electronics. New York: John Wiley & Son, 1973

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้งานโปรแกรมวัดและวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาบนพีคเก็ตพีซี

1. ไปที่ Start ----> Programs ----> GMS (ชื่อของโปรแกรมวัดและวิเคราะห์สเปกตรัม) จะปรากฏหน้าจอหลักสำหรับควบคุมการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา ดังรูปที่ 1



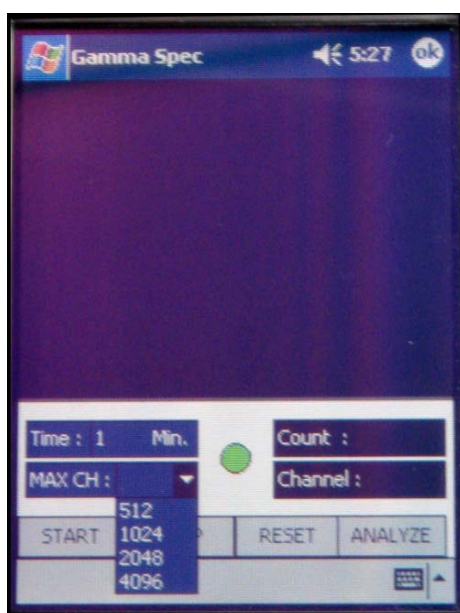
รูปที่ 1

2. ตั้งเวลาสำหรับการวัดสเปกตรัมที่ช่อง Time ซึ่งมีหน่วยเป็นนาที ดังรูปที่ 2



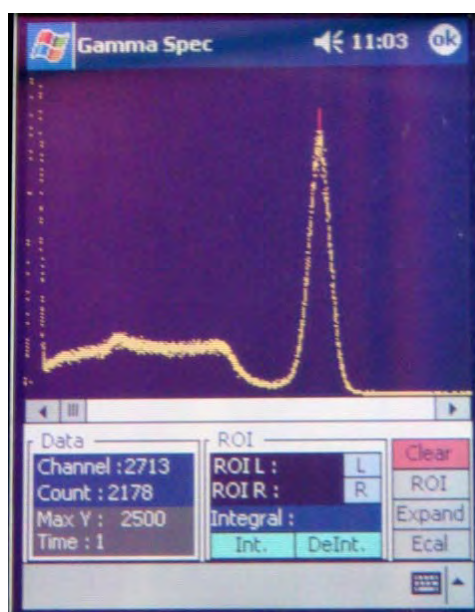
รูปที่ 2

3. เลือกจำนวนช่องวิเคราะห์พลังงานที่ต้องการวิเคราะห์ สามารถเลือกได้ 4 ค่า คือ 512, 1024, 2048 และ 4096 ช่องวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 3
4. คลิกปุ่ม START เพื่อเริ่มทำการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา
5. คลิกปุ่ม STOP เมื่อต้องการหยุดทำการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาก่อนครบเวลาที่ตั้งไว้
6. คลิกปุ่ม RESET เพื่อทำการเคลียร์ค่าต่างๆ ก่อนทำการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาครั้งต่อไป
7. คลิกปุ่ม ANALYZE เมื่อต้องการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาที่ได้จากการวัด ซึ่งจะปรากฏหน้าจอสําหรับวิเคราะห์สเปกตรัมดังรูปที่ 3



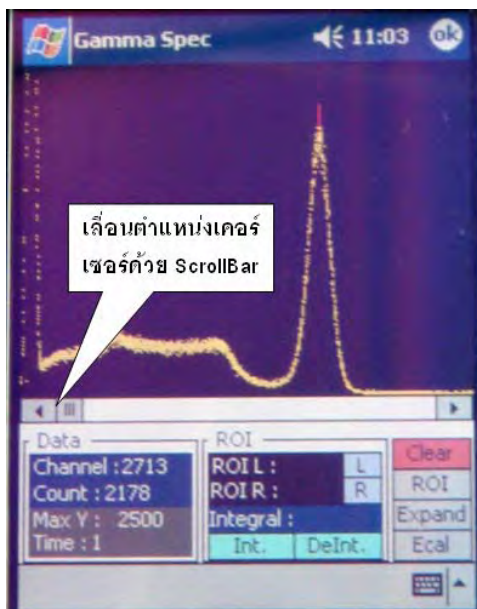
รูปที่ 3

- 7.1. คลิกปุ่ม Show เพื่อทำการพล็อตสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ได้จากการวัด ซึ่งจะมีความสูงที่สุดของแกน Y เท่ากับค่า Max Y ดังรูปที่ 4



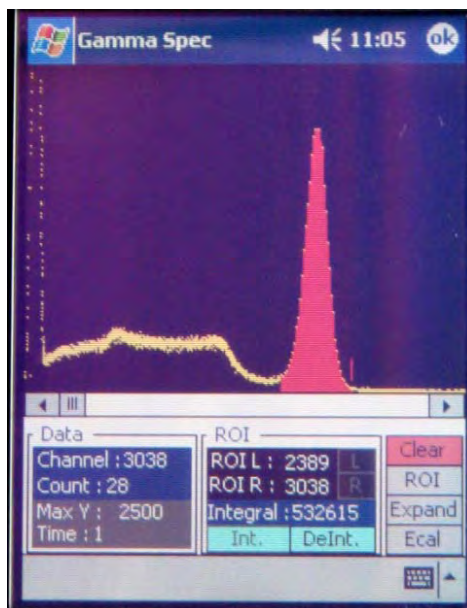
รูปที่ 4

- 7.2. เมื่อมีสเปกตรัมปรากฏที่หน้าจอแล้วนำปากกาไปแตะที่หน้าจอที่แสดงสเปกตรัมจะปรากฏเคอร์เซอร์ที่หน้าจอซึ่งตำแหน่งของเคอร์เซอร์จะบอกช่องวิเคราะห์พลังงานและจำนวนนับรังสีของช่องนั้น (Channel และ Count) ดังรูปที่ 5 สามารถเลื่อนตำแหน่งของเคอร์เซอร์ได้ 2 วิธีคือ เปลี่ยนตำแหน่งโดยใช้ปากกา และเลื่อนตำแหน่งโดย ScrollBar



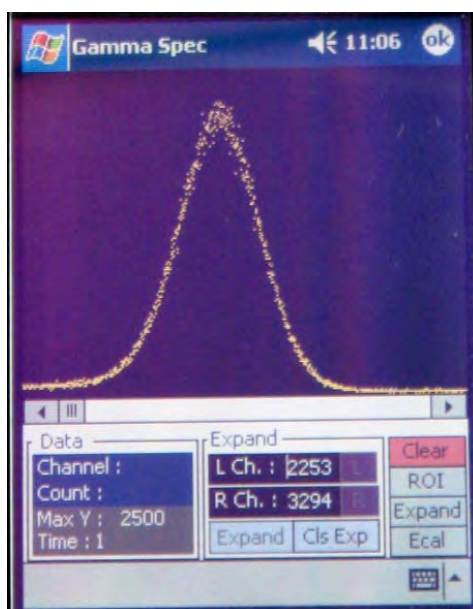
รูปที่ 5

- 7.3. คลิกปุ่ม ROI เมื่อต้องการเลือกเฉพาะตำแหน่งที่สนใจ (Region of Interest, ROI) ซึ่งสามารถกำหนดช่วงของ ROI ได้ 2 วิธี คือ ป้อนค่าช่องวิเคราะห์ทางซ้ายและขวา หรือใช้ปากกาเลือกตำแหน่งช่องวิเคราะห์ทางซ้ายจากนั้นคลิก L ทางขวาคลิก R จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Int. เพื่อทำการ Integrate จำนวนนับรังสีระหว่างช่องซ้ายและขวาที่ทำการเลือก ดังรูปที่ 6 ถ้าต้องการเคลียร์ ROI ให้คลิกปุ่ม DeInt.



รูปที่ 6

- 7.4. คลิกปุ่ม Expand เมื่อต้องการขยายความกว้างของพีคเพื่อง่ายต่อการเลือกช่องวิเคราะห์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางพีค สามารถกำหนดช่วงของช่องวิเคราะห์ที่ต้องการขยายได้ 2 วิธี คือ ป้อนค่าช่องวิเคราะห์ทางซ้ายและขวา หรือใช้ปากกาเลือกตำแหน่งช่องวิเคราะห์ทางซ้ายจากนั้นคลิก L ทางขวาคลิก R จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Expand ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7

- 7.5. คลิกปุ่ม Ok ที่มุมบนขวามือเมื่อสิ้นสุดการวิเคราะห์สเปกตรัม โปรแกรมจะกลับไปหน้าจอหลักสำหรับวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาดังรูปที่ 1

ภาคผนวก ข

โปรแกรมวัดและวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาสำหรับพ็อกเก็ตพีซี

```

Option Explicit
Public Vdata(4100) As String
Public MAXCH As Long
Public CntMAX As Long
Public ChMax As Integer
Public TimeSet As Integer
Option Explicit
Dim Data As String
Dim sData As String
Dim lHighByte As Long
Dim lLowByte As Long
Dim Ch As Integer
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim Y As Integer
Dim Cls As Integer
Dim CodeMAXCH As String
Dim t As Integer
Dim FinishTime As Boolean
Dim Stop_But As Boolean
Dim WData As String
Dim m As Integer
Dim Cursor As Boolean
Dim OPX_M As Integer
Dim PX_M As Integer
Dim Xpos_M As Integer
Dim HCursor_M As Integer
Dim OHCursor_M As Integer
Dim OXpos_M As Integer
Dim AxisYMAX As Integer
Private Sub Form_load()
    Timer1.Enabled = False
    If Comm1.PortOpen = True Then
        Comm1.PortOpen = False ' Close COM1
    End If
    Comm1.InputLen = 0
    If Comm1.InBufferCount > 0 Then
        WData = Comm1.Input
    End If
    Comm1.InputLen = 2
    If Comm1.PortOpen = False Then
        Comm1.PortOpen = True ' Open COM1
    End If
    CmdStart.Enabled = False
    CboMAXCh.Enabled = False
    WData = Comm1.Input
End If
***** COM PORT Properties Setting *****
Comm1.Settings = "19200,N,8,1"
Comm1.RThreshold = 2
Comm1.InputLen = 2
Comm1.DTREnable = False
Comm1.CommPort = 1
Comm1.InBufferCount = 0
***** Maximum Address Setting *****
CboMAXCh.AddItem "512"
CboMAXCh.AddItem "1024"
CboMAXCh.AddItem "2048"
CboMAXCh.AddItem "4096"
LED.BackColor = vbGreen
CmdStart.Enabled = True
Ch = 0
i = 0
FinishTime = False
Stop_But = False
Cursor = False
CntMAX = 2
End Sub
Private Sub CmdStart_Click()
    If Comm1.PortOpen = True Then
        Comm1.PortOpen = False ' Close COM1
    End If
    Comm1.InputLen = 0
    If Comm1.InBufferCount > 0 Then
        WData = Comm1.Input
    End If
    Comm1.InputLen = 2
    If Comm1.PortOpen = False Then
        Comm1.PortOpen = True ' Open COM1
    End If
    CmdStart.Enabled = False
    CboMAXCh.Enabled = False

```

```

CmdReset.Enabled = False
CmdAnalyze.Enabled = False
Cursor = False
LED.BackColor = vbRed
Ch = 0
j = 0
m = 0
FinishTime = False
Stop_But = False
TimeSet = Int(TxtTime.Text)
MAXCH = (Int(CboMAXCh.Text)) - 1
Select Case MAXCH
    Case 511
        CodeMAXCH = "A"
    Case 1023
        CodeMAXCH = "B"
    Case 2047
        CodeMAXCH = "C"
    Case 4095
        CodeMAXCH = "D"
End Select
Timer1.Interval = 60000
Timer1.Enabled = True
t = 0
Comm1.Output = CodeMAXCH
End Sub
Private Sub Comm1_OnComm()
    If Comm1.CommEvent = comEvReceive Then
        sData = Comm1.Input
        Ch = Ch + 1
        If Ch <= MAXCH Then
            HighByte = Asc(Mid(sData, 1, 1))
            lLowByte = Asc(Mid(sData, 2, 1))
            Data = (lHighByte * &H100) Or lLowByte
            Vdata(Ch) = Int(Data)
        End If
        If Vdata(Ch) - CntMAX >= 0 Then
            If Ch <> 4095 Then
                CntMAX = Vdata(Ch)
                ChMax = Ch
            End If
        End If
    End If
    If Ch = MAXCH Then
        If Comm1.PortOpen = True Then
            Comm1.PortOpen = False
        End If
        Comm1.InputLen = 0
        TxtCuntMM.Text = CntMAX
        TxtChM.Text = ChMax
        Call PlotSpec1
    End If
    If Ch > MAXCH Then
        WData = Comm1.Input
    End If
End Sub
Private Sub Finish()
    CmdAnalyze.Enabled = True
    CmdReset.Enabled = True
    LED.BackColor = vbYellow
    Ch = 0
End Sub
Private Sub PlotSpec1() ' Plot Spectrum
    AxisYMAX = ((CntMAX \ 1000) + 1) * 1000
    PicSpec1.Cls
    PicSpec1.Refresh
    For i = 1 To MAXCH Step 4
        On Error Resume Next
        PicSpec1.DrawPoint (i * (PicSpec1.ScaleWidth /
MAXCH)), PicSpec1.ScaleHeight - (Vdata(i) *
(PicSpec1.ScaleHeight / (AxisYMAX + (AxisYMAX *
0.1))))), vbYellow
    Next i
    If Comm1.InBufferCount > 0 Then
        WData = Comm1.Input
    End If
    Comm1.InputLen = 2
    If Comm1.PortOpen = False Then
        Comm1.PortOpen = True ' Close COM1
    End If
    Ch = 0
    If FinishTime = True Then

```

```

m = m + 1
If m = 2 Then
    CmdAnalyze.Enabled = True
    CmdReset.Enabled = True
    LED.BackColor = vbYellow
    Cursor = True
    PX_M = 1
End If
End If
Comm1.Output = "G"
End Sub
Private Sub PicSpec1_MouseDown(Button As Long,
Shift As Long, X As Integer, Y As Integer)
    If Cursor = True Then
        OPX_M = PX_M
        PX_M = X
        Xpos_M = Int(((PX_M * MAXCH) /
PicSpec1.ScaleWidth) + 1)
        HCursor_M = Int(Vdata(Xpos_M) *
(PicSpec1.ScaleHeight / (AxisYMAX + (AxisYMAX *
0.12))))
        OXpos_M = Int(((OPX_M * MAXCH) /
PicSpec1.ScaleWidth) + 1)
        OHCursor_M = Int(Vdata(OXpos_M) *
(PicSpec1.ScaleHeight / (AxisYMAX + (AxisYMAX *
0.12))))
        If OXpos_M = Xpos_M Or HCursor_M =
OHCursor_M Then
            PX_M = OPX_M
            Exit Sub
        End If
        PlotCursor_M OPX_M, PX_M
    Else
        Exit Sub
    End If
End Sub
Private Sub PlotCursor_M(OPX_M As Integer, PX_M
As Integer)
    Dim gab_M As Long
    Dim Cline_M As Long
    gab_M = PicSpec1.ScaleHeight / 40
    Cline_M = PicSpec1.ScaleHeight / 15
    PicSpec1.DrawLine PX_M, (PicSpec1.ScaleHeight
- HCursor_M - gab_M), PX_M, (PicSpec1.ScaleHeight
- HCursor_M - gab_M - Cline_M), vbRed
    PicSpec1.DrawLine OPX_M,
(PicSpec1.ScaleHeight - OHCursor_M - gab_M),
OPX_M, (PicSpec1.ScaleHeight - OHCursor_M -
gab_M - Cline_M), vbBlack
    If Xpos_M > MAXCH Then
        Xpos_M = MAXCH
    End If
    TxtCuntMM.Text = Vdata(Xpos_M)
    TxtChM.Text = Xpos_M
End Sub
Private Sub FinalPlot()
    PicSpec1.Cls
    PicSpec1.Refresh
    For i = 1 To MAXCH Step 4
        On Error Resume Next
        PicSpec1.DrawPoint (i * (PicSpec1.ScaleWidth /
MAXCH)), PicSpec1.ScaleHeight - (Vdata(i) *
(PicSpec1.ScaleHeight / (CntMAX + (CntMAX *
0.1))))), vbRed
    Next i
    If Comm1.InBufferCount > 0 Then
        WData = Comm1.Input
    End If
    Comm1.InputLen = 2
    If Comm1.PortOpen = False Then
        Comm1.PortOpen = True    ' Close COM1
    End If
    CmdAnalyze.Enabled = True
    Cursor = True
    Ch = 0
    Comm1.Output = "F"
    'Comm1.InBufferCount = 0
End Sub
Private Sub CmdAnalyze_Click()
    FrmAnalyze.Show
End Sub

```

```

Private Sub CmdReset_Click()
    CmdStart.Enabled = True
    CmdAnalyze.Enabled = False
    CboMAXCh.Enabled = True
    FinishTime = False
    PicSpec1.Cls
    TxtTime.Text = Empty
    TxtCuntMM.Text = Empty
    TxtChM.Text = Empty
    CntMAX = 2
    LED.BackColor = vbGreen
    Stop_But = False
    Cursor = False
    For Cls = 0 To MAXCH
        Vdata(Cls) = 0
    Next Cls
    Comm1.InputLen = 0
    If Comm1.InBufferCount > 0 Then
        WData = Comm1.Input
    End If
    Comm1.InputLen = 2
    If Comm1.PortOpen = False Then
        Comm1.PortOpen = True    ' Open COM1
    End If
    Ch = 0
    Comm1.Output = "R"
    Timer1.Enabled = False
End Sub

Private Sub CmdStop_Click()
    Stop_But = True
    FinishTime = False
    Comm1.Output = "S"
    Comm1.Output = "S"
    LED.BackColor = vbYellow
    CmdReset.Enabled = True
    CmdAnalyze.Enabled = True
    Comm1.Output = "S"
    Cursor = True
    Comm1.Output = "S"
    Comm1.InputLen = 0
    If Comm1.InBufferCount > 0 Then

```

```

        WData = Comm1.Input
    End If
    Timer1.Enabled = False
End Sub

Private Sub Form_OKClick()
    If Comm1.PortOpen = True Then
        Comm1.PortOpen = False    ' Close COM1
    End If
    App.End
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
    t = t + 1
    If t = TimeSet And Stop_But = False Then
        FinishTime = True
        Comm1.Output = "F"
    Else
        Exit Sub
    End If
End Sub

Option Explicit
Dim k As Integer
Dim OPX As Integer
Dim PX As Integer
Dim Xpos As Integer
Dim HCursor As Integer
Dim OHCursor As Integer
Dim OXpos As Integer
Dim MaxChANZ As Integer
Dim MaxCuntANZ As Integer
Dim ValueMin As Integer
Dim ValueMax As Integer
Dim I As Integer
Dim MaxCuntROI As Integer
Dim ValueHSC As Integer
Dim ROIL As Integer
Dim ROIR As Integer
Dim IntCount As Long
Dim Expand As Boolean
Dim ROI As Boolean
Dim ExpL As Integer
Dim ExpR As Integer

```

```

Dim Ymax As Integer

Private Sub CmdClsExp_Click()
    PX = 1
    MaxChANZ = MAXCH
    'MaxCuntANZ = CntMAX
    MaxCuntANZ = Int(TxtMCHSSet.Text) 'new
    ValueMax = MAXCH
    ValueMin = 1
    MaxChANZ = ValueMax
    Expand = False
    CmdExp.Enabled = True
    TxtMinCh.Text = 1
    TxtMaxCh.Text = MAXCH
    CmdExpR.BackColor = &HC000C0
    CmdExpR.Enabled = True
    CmdExpL.BackColor = &HC000C0
    CmdExpL.Enabled = True
    TxtCrCh.Text = ""
    TxtCrCunt.Text = ""
    PicAnalyze.Cls
    Screen.MousePointer = 11
    For k = 1 To MaxChANZ Step 1
        On Error Resume Next
        PicAnalyze.DrawPoint (k *
(PicAnalyze.ScaleWidth / MaxChANZ)),
PicAnalyze.ScaleHeight - (Vdata(k) *
(PicAnalyze.ScaleHeight / (MaxCuntANZ +
(MaxCuntANZ * 0.12))))), vbYellow
    Next k
    Screen.MousePointer = 0
End Sub

Private Sub CmdClsSpec_Click()
    PicAnalyze.Cls
    CmdClsSpec.Visible = False
    CmdShowSpec.Visible = True
End Sub

Private Sub CmdExp_Click()
    Expand = True
    PicAnalyze.Cls
    PicAnalyze.Refresh
    ValueMin = Int(TxtMinCh.Text)
    ValueMax = Int(TxtMaxCh.Text)
    CmdExp.Enabled = False
    If ValueMax > MAXCH Then
        MsgBox "Over Maximum Channel",
vbInformation
    End If
    MaxChANZ = ValueMax - ValueMin
    Call FindMAXCuntROI
    Call PlotExpand
End Sub

Private Sub CmdExpL_Click()
    ExpL = Xpos
    TxtMinCh.Text = ExpL
    CmdExpL.BackColor = &H800080
    CmdExpL.Enabled = False
End Sub

Private Sub CmdExpR_Click()
    ExpR = Xpos
    TxtMaxCh.Text = ExpR
    CmdExpR.BackColor = &H800080
    CmdExpR.Enabled = False
End Sub

Private Sub CmdROIDeInt_Click()
    IntCount = 0
    TxtROIR.Text = ""
    TxtROIL.Text = ""
    TxtInt.Text = ""
    CmdROIL.BackColor = &HFFC0C0
    cmdROIR.BackColor = &HFFC0C0
    CmdROIInt.Visible = True
    CmdROIDeInt.Visible = True
    CmdROIInt.Enabled = True
    CmdROIL.Enabled = True
    cmdROIR.Enabled = True
    If Expand = True Then
        Screen.MousePointer = 11
        For k = ROIL To ROIR Step 1
            On Error Resume Next
            PicAnalyze.DrawLine (k - ValueMin) *
(PicAnalyze.ScaleWidth / MaxChANZ),

```

```

PicAnalyze.ScaleHeight, (k - ValueMin) *
(PicAnalyze.ScaleWidth / MaxChANZ),
PicAnalyze.ScaleHeight - (Vdata(k) *
(PicAnalyze.ScaleHeight / (MaxCuntANZ +
(MaxCuntANZ * 0.12))))), vbBlack
    Next k
    Screen.MousePointer = 0
Else
    Screen.MousePointer = 11
    For k = ROIL To ROIR Step 1
        On Error Resume Next
        PicAnalyze.DrawLine (k) *
(PicAnalyze.ScaleWidth / MaxChANZ),
PicAnalyze.ScaleHeight, (k) * (PicAnalyze.ScaleWidth
/ MaxChANZ), PicAnalyze.ScaleHeight - (Vdata(k) *
(PicAnalyze.ScaleHeight / (MaxCuntANZ +
(MaxCuntANZ * 0.12))))), vbBlack
    Next k
    Screen.MousePointer = 0
End If
End Sub
Private Sub CmdROIInt_Click()
    Dim h As Integer
    Dim gab_Int As Integer
    For h = ROIL To ROIR
        IntCount = IntCount + Vdata(h)
    Next h
    TxtInt.Text = IntCount
    CmdROIInt.Enabled = False
    CmdROIL.Enabled = False
    cmdROIR.Enabled = False
    If Expand = True Then
        Call PlotROIExp
    Else
        Call PlotROINoExp
    End If
End Sub
Private Sub PlotExpand()
    TxtCrCh.Text = ""
    TxtCrCunt.Text = ""
    Screen.MousePointer = 11
    For k = ValueMin To ValueMax Step 1
        On Error Resume Next
        PicAnalyze.DrawPoint ((k - ValueMin) *
(PicAnalyze.ScaleWidth / (MaxChANZ - 1))),
PicAnalyze.ScaleHeight - (Vdata(k) *
(PicAnalyze.ScaleHeight / (MaxCuntANZ +
(MaxCuntANZ * 0.12))))), vbYellow
    Next k
    Screen.MousePointer = 0
End Sub
Private Sub PlotROIExp()
    Screen.MousePointer = 11
    For k = ROIL To ROIR Step 1
        On Error Resume Next
        PicAnalyze.DrawLine (k - ValueMin) *
(PicAnalyze.ScaleWidth / (MaxChANZ - 1)),
PicAnalyze.ScaleHeight, (k - ValueMin) *
(PicAnalyze.ScaleWidth / MaxChANZ),
PicAnalyze.ScaleHeight - (Vdata(k) *
(PicAnalyze.ScaleHeight / (MaxCuntANZ +
(MaxCuntANZ * 0.12))))), vbRed
    Next k
    Screen.MousePointer = 0
End Sub
Private Sub PlotROINoExp()
    Screen.MousePointer = 11
    For k = ROIL To ROIR Step 1
        On Error Resume Next
        PicAnalyze.DrawLine (k) *
(PicAnalyze.ScaleWidth / (MaxChANZ - 1)),
PicAnalyze.ScaleHeight, (k) * (PicAnalyze.ScaleWidth
/ MaxChANZ), PicAnalyze.ScaleHeight - (Vdata(k) *
(PicAnalyze.ScaleHeight / (MaxCuntANZ +
(MaxCuntANZ * 0.12))))), vbRed
    Next k
    Screen.MousePointer = 0
End Sub
Private Sub FindMAXCuntROI()
    For l = ValueMin To ValueMax Step 1
        If Vdata(l) - MaxCuntROI > 0 Then
            MaxCuntROI = Vdata(l)
        End If
    Next l
End Sub

```

```

        End If
    Next I
    MaxCuntANZ = MaxCuntROI
End Sub
Private Sub CmdROIL_Click()
    ROIL = Xpos
    TxtROIL.Text = ROIL
    CmdROIL.BackColor = &H404040
    CmdROIL.Enabled = False
End Sub
Private Sub CmdROIR_Click()
    ROIR = Xpos
    TxtROIR.Text = ROIR
    cmdROIR.BackColor = &H404040
    cmdROIR.Enabled = False
End Sub
Private Sub CmdShowExp_Click()
    FrameROI.Visible = False
    FrameEXP.Visible = True
End Sub
Private Sub CmdShowROI_Click()
    FrameROI.Visible = True
    FrameEXP.Visible = False
End Sub
Private Sub CmdShowSpec_Click()
    MaxChANZ = MAXCH
    MaxCuntANZ = Int(TxtMCHSSet.Text)
    'MaxCuntANZ = CntMAX
    TxtTimeShow.Text = TimeSet
    'TxtMCHSSet.Text = MAXCH
    CmdROIInt.Visible = True
    CmdROIDeInt.Visible = True
    CmdShowSpec.Visible = False
    IntCount = 0
    ValueMax = MAXCH
    ValueMin = 1
    TxtMinCh.Text = 1
    TxtMaxCh.Text = MaxChANZ
    MaxChANZ = ValueMax
    TxtMinCh.Text = 1
    TxtMaxCh.Text = MAXCH

    CmdExpR.BackColor = &HC000C0
    CmdExpR.Enabled = True
    CmdExpL.BackColor = &HC000C0
    CmdExpL.Enabled = True
    CmdExp.Enabled = True
    CmdClsExp.Enabled = True
    TxtCrCh.Text = ""
    TxtCrCunt.Text = ""
    MaxCuntROI = 1
    PicAnalyze.Cls
    Screen.MousePointer = 11
    For k = 1 To MAXCH Step 1
        On Error Resume Next
        PicAnalyze.DrawPoint (k *
(PicAnalyze.ScaleWidth / MaxChANZ)),
PicAnalyze.ScaleHeight - (Vdata(k) *
(PicAnalyze.ScaleHeight / (MaxCuntANZ +
(MaxCuntANZ * 0.12))))), vbYellow
    Next k
    Screen.MousePointer = 0
    CmdClsSpec.Visible = True
End Sub
Private Sub Form_load()
    MaxChANZ = MAXCH
    TxtMCHSSet.Text = CntMAX ' new
    MaxCuntANZ = Int(TxtMCHSSet.Text) 'new
    'MaxCuntANZ = CntMAX
    FrameROI.Visible = True
    FrameEXP.Visible = False
    CmdClsSpec.Visible = False
    CmdShowSpec.Visible = True
    CmdROIDeInt.Visible = True
    CmdROIInt.Visible = True
    IntCount = 0
    ValueMax = MAXCH
    ValueMin = 1
    MaxChANZ = ValueMax
    MaxCuntROI = 1
    HSCCursor.Min = 0
    HSCCursor.Max = (PicAnalyze.ScaleWidth)

```



```

HSCCursor.LargeChange =
((PicAnalyze.ScaleWidth * 10) / MaxChANZ)
HSCCursor.SmallChange =
(PicAnalyze.ScaleWidth / MaxChANZ)
TxtMinCh.Text = ""
TxtMaxCh.Text = ""
TxtCrCh.Text = ""
TxtCrCunt.Text = ""
TxtTimeShow.Text = ""
End Sub
Private Sub HSCCursor_Change()
Call HSCCursor_Scroll
End Sub
Private Sub HSCCursor_Scroll()
ValueHSC = HSCCursor.Value
OPX = PX
PX = ValueHSC
Xpos = Int(((PX * MaxChANZ) /
PicAnalyze.ScaleWidth) + ValueMin)
HCursor = Int(Vdata(Xpos) *
(PicAnalyze.ScaleHeight / (MaxCuntANZ +
(MaxCuntANZ * 0.12))))

OXpos = Int(((OPX * MaxChANZ) /
PicAnalyze.ScaleWidth) + ValueMin)
OHCursor = Int(Vdata(OXpos) *
(PicAnalyze.ScaleHeight / (MaxCuntANZ +
(MaxCuntANZ * 0.12))))

If OXpos = Xpos Or HCursor = OHCursor Then
PX = OPX
Exit Sub
End If
PlotCursor OPX, PX
End Sub
Private Sub PicAnalyze_MouseDown(Button As Long,
Shift As Long, X As Integer, Y As Integer)
OPX = PX
PX = X
Xpos = Int(((PX * MaxChANZ) /
PicAnalyze.ScaleWidth) + ValueMin)
HCursor = Int(Vdata(Xpos) *
(PicAnalyze.ScaleHeight / (MaxCuntANZ +
(MaxCuntANZ * 0.12))))
OHCursor = Int(Vdata(OXpos) *
(PicAnalyze.ScaleHeight / (MaxCuntANZ +
(MaxCuntANZ * 0.12))))
If OXpos = Xpos Or HCursor = OHCursor Then
PX = OPX
Exit Sub
End If
PlotCursor OPX, PX
End Sub
Private Sub Form_OKClick() ' Close Application
Form
PicAnalyze.Cls
IntCount = 0
TxtCrCh.Text = ""
TxtCrCunt.Text = ""
TxtMinCh.Text = ""
TxtMaxCh.Text = ""

```

```
TxtInt.Text = ""
TxtROIL.Text = ""
TxtROIR.Text = ""
CmdROIL.BackColor = &HFFC0C0
cmdROIR.BackColor = &HFFC0C0
CmdROInt.Visible = True
CmdROIDelnt.Visible = True
FrmAnalyze.Visible = False

CmdROIL.Enabled = True
cmdROIR.Enabled = True
TxtMCHSset.Text = ""
CmdClsSpec.Visible = False
CmdShowSpec.Visible = True
TxtTimeShow.Text = ""
End Sub
```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกมลทิพย์ พลอยกระจ่าง เกิดวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 2) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ในปีการศึกษา 2545 จากนั้นทำงานที่ศูนย์เชี่ยวชาญนิวเคลียร์เทคโนโลยีสำหรับวิเคราะห์และทดสอบวัสดุ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548