

การพัฒนาเครื่องนับรังสีชนิดเคลื่อนย้ายได้แบบประหยัดโดยใช้ CPLD



นายโกศล ว่างานต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

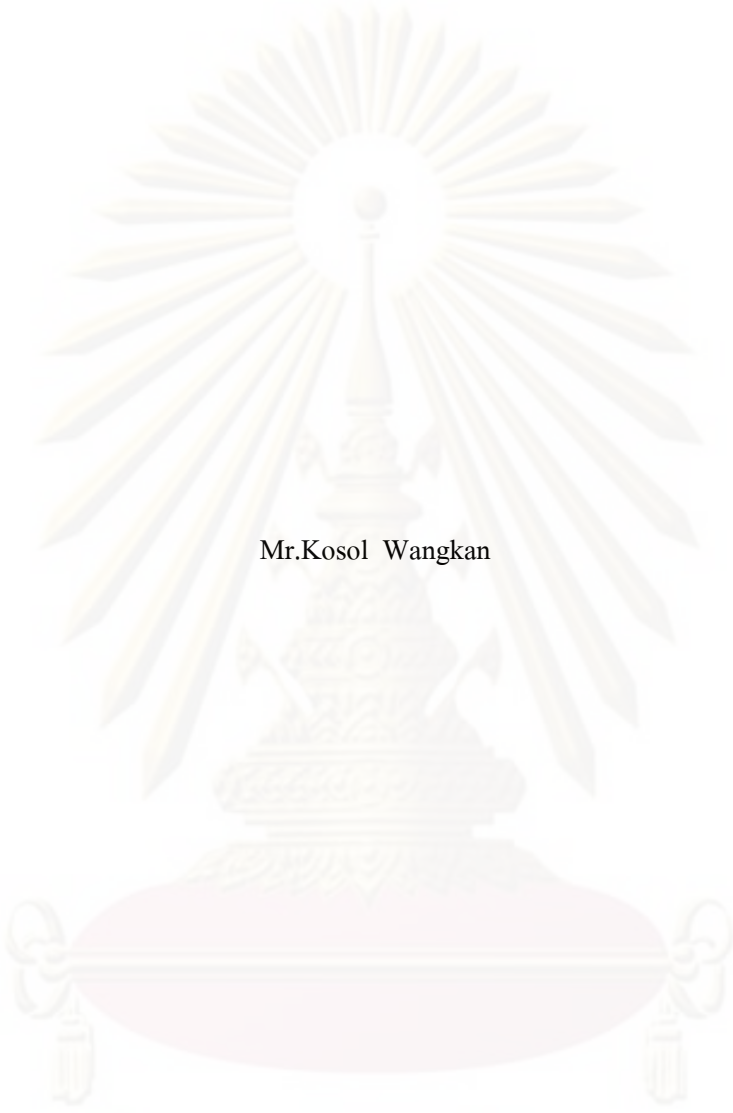
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF AN ECONOMICAL PORTABLE SCALER USING CPLD



Mr.Kosol Wangkan

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

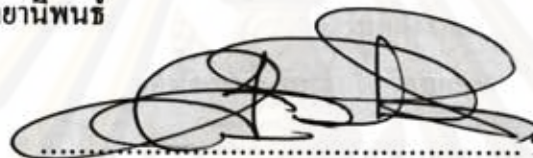
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องนับรังสีชนิดเคลื่อนย้ายได้แบบประหยัดโดยใช้ CPLD
โดย	นายโกศล ว่างานต์
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์เคโซ ทองอร่าม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

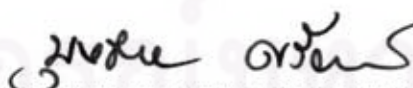

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สัญญา นิลสุวรรณ ไขมิด)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์เคโซ ทองอร่าม)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

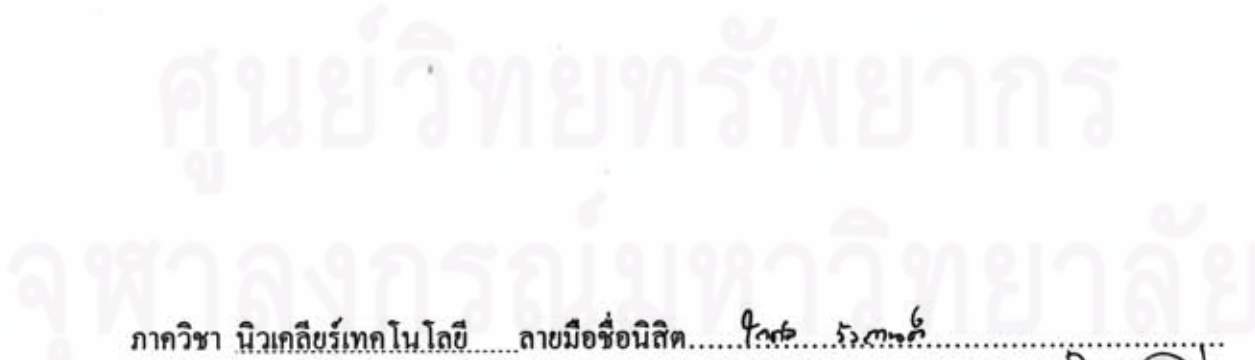

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์)


..... กรรมการนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.บุญช่วย ศรีธรรมศักดิ์)

โกศล วงกานต์ : การพัฒนาเครื่องนับรังสีชนิดเคลื่อนย้ายได้แบบประหยัดโดยใช้ CPLD.
 (DEVELOPMENT OF AN ECONOMICAL PORTABLE SCALER USING CPLD)
 อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ.เดโช ทองอร่าม, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. สุวิทย์
 ปุณณชัยยะ, 92 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องนับรังสีชนิดเคลื่อนย้ายได้แบบประหยัดโดย
 ใช้ CPLD ซึ่งระบบประกอบด้วยวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงขนาด 0 ถึง 2000 โวลต์ วงจรขยาย
 สัญญาณพัลส์ที่มีอัตราขยายสัญญาณสูงสุด 100 เท่า วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวที่สามารถ
 ปรับ LLD และ ULD ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10 โวลต์ วงจรเรตมิเตอร์ที่นับค่าอัตรารังสีเฉลี่ยได้ตั้งแต่ 0 ถึง
 100 kcps โดยแบ่งเป็น 4 ย่าน วงจรนับรังสีพร้อมด้วยวงจรตั้งเวลาที่ออกแบบอยู่ในชิป CPLD
 เพื่อลดขนาดของวงจรให้เล็กลงและเพิ่มขีดความสามารถในการนับอัตราสัญญาณพัลส์ให้สูงขึ้น
 และวงจรเชื่อมโยงสัญญาณซึ่งทำหน้าที่รับส่งข้อมูลและควบคุมการทำงานของวงจรต่างๆ ด้วย
 คอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม LabVIEW โดยสามารถเลือกโหมดการทำงานได้ 3 โหมด ได้แก่ โหมด
 การหาพลาโต โหมดนับรังสี และ โหมดสแกนสเปกตรัมพลังงาน

ผลทดสอบเครื่องนับรังสีที่พัฒนาขึ้นพบว่า ในโหมดการหาพลาโต สามารถตั้งค่าการสแกน
 ไฟฟ้าศักดาสูงได้ตั้งแต่ 0 ถึง 2000 โวลต์ ซึ่งตั้งค่าต่ำสุดได้ขั้นละ 16 โวลต์ โหมดนับรังสี ที่มี
 ความสามารถในการนับอัตราสัญญาณพัลส์สูงสุดเท่ากับ 1 MHz โดยตั้งเวลานับรังสีได้ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง
 99 ชั่วโมง และโหมดสแกนสเปกตรัมพลังงาน สามารถปรับค่าศักดาไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10 โวลต์ เป็น
 สัดส่วนกับพลังงาน ซึ่งตั้งค่าต่ำสุดได้ขั้นละ 0.1 โวลต์ จากการวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานด้วยหัววัด
 รังสี NaI(Tl) ด้วยโหมดสแกนสเปกตรัมพลังงานโดยใช้สารรังสีมาตรฐาน (Cs-137 และ Co-60)
 พบว่าการปรับเทียบพลังงานรังสีกับศักดาไฟฟ้ามี่ค่าความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.999 ซึ่งให้ผลเป็นที่
 พอใจสำหรับการใช้งานด้านการเรียนการสอน และการฝึกอบรม



ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่อนิสิต.....*พรช. รัชชช. 6*
 สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....*Dr. S.*
 ปีการศึกษา 2552.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....*Dr. S.*

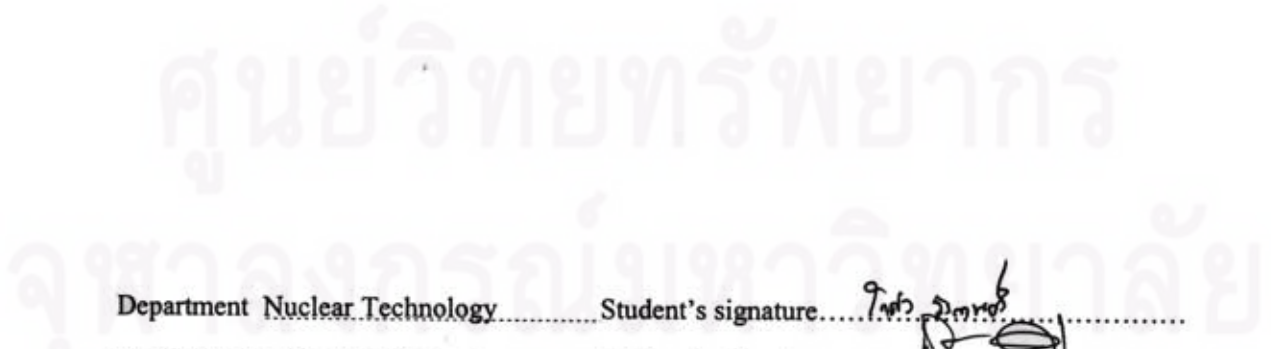
4970238521 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY


KEYWORD : PORTABLE SCALER, SINGLE CHANNEL ANALYZER, CPLD, LabVIEW

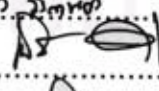
KOSOL WANGKAN: DEVELOPMENT OF AN ECONOMICAL PORTABLE SCALER USING CPLD. THESIS ADVISOR: DECHO THONG – ARAM, THESIS CO – ADVISOR: ASST. PROF. SUVIT PUNNACHAIYA, 92 pp.


The objective of this thesis is to develop an economical portable scaler using CPLD. The system consists of a high voltage power supply with a variable output range from 0 to 2000 volts, a pulse amplifier with a maximum gain of 100, a single channel analyzer with a variable voltage level from 0 to 10 volts for LLD and ULD, a rate meter with an average count rate from 0 to 100 kcps in 4 selectable ranges, and a counter and a timer that are designed within a CPLD chip in order to reduce circuit size and increase count rate capability. Interfacing circuit which facilitates data communication and operation controls of various circuits is developed on computer using LabVIEW. Three operating modes of plateau mode, scaler mode and SCA scanning mode are provided.

Performances of the system were evaluated. In the plateau mode, high voltage output can be set from 0 to 2000 volts with a minimum voltage step of 16 volts. A maximum count rate in the scaler mode is 1 MHz, with a 1 second to 99 hours presetable timer. In the SCA scanning mode, the voltage level which is proportional to the energy can be set from 0 to 10 volts with a minimum voltage step of 0.1 volts. Spectrum analysis was performed tested using a NaI(Tl) detector and standard radioactive sources, Cs-137 and Co-60, and the linearity of energy calibration was found to be 0.999. The results are satisfactory and the system can be used for teaching and training purposes.



Department Nuclear Technology..... Student's signature..... 

Field of study Nuclear Technology..... Advisor's signature..... 

Academic year 2009..... Co-Advisor's signature..... 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์เคโซ ทองอร่าม และผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาและองค์ความรู้ต่างๆ ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัย และการดำเนินชีวิตที่ดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชานิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ให้ความรู้ในการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญนิเวศลิษฐ์เทคโนโลยีสำหรับวิเคราะห์และทดสอบวัสดุ ภาควิชา นิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อำนวยความสะดวกด้าน เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณสมชาย เบ้าทอง, คุณกมลทิพย์ พลอยกระจ่าง, คุณปิยเทพ ชอบทำกิจ, คุณภัทรา ศรีสวัสดิ์ และน้องๆ ในศูนย์เชี่ยวชาญฯ ที่ให้ความช่วยเหลือสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณวดีชญ์ทิพย์ พุกละมุน ที่ให้กำลังใจสำหรับงานวิจัยนี้

ท้ายสุดนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และน้องชาย ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษา และให้โอกาสในการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
2. ระบบวัดนิวเคลียร์และโครงสร้างการทำงาน.....	4
2.1 ส่วนประกอบสำคัญของระบบวัดรังสี	4
2.2 การจัดระบบวัดรังสี	5
2.2.1ระบบวัดรังสีแบบนับรวมพลังงาน	5
2.2.2 ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน	6
2.2.3 ระบบวัดรังสีแบบโคอินซิเดนซ์.....	7
2.3 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องนับรังสี	9
2.3.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์.....	9
2.3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์สูง	9
2.3.3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์	9
2.3.4 วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว.....	9
2.3.5 วงจรนับรังสี	9
2.3.6 วงจรตั้งเวลา.....	9
2.3.7 วงจรเรตมิเตอร์.....	9
2.3.8 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ	9

2.4 โครงสร้างและหลักการทำงานของ CPLD	10
2.4.1 โครงสร้างของฟังก์ชันบล็อก (Function Block).....	11
2.4.2 โครงสร้างของแมคโครเซลล์ (Macrocell)	12
2.4.3 โครงสร้างของเฟลชคอนเน็คสวิตเมตริกซ์ (Fast CONNECT Switch Matrix)	13
2.4.4 โครงสร้างของวงจรในส่วนของไอโอบล็อก (I/O Block).....	13
2.5 ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องนับรังสี	14
2.5.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ PIC16F877A	15
2.6 ระบบการเชื่อมโยงสัญญาณภายในเครื่องนับรังสี	16
2.6.1 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Communication).....	16
2.6.2 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน (Parallel communication)	20
2.7 โปรแกรม LabVIEW	21
3. การดำเนินการวิจัย	23
3.1 ข้อมูลพื้นฐานของระบบ	23
3.2 การพัฒนาระบบวัดรังสี	24
3.2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ.....	24
3.2.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง	25
3.2.3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์	29
3.2.4 วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว	31
3.2.5 วงจรนับรังสีและวงจรตั้งเวลา.....	32
3.2.6 วงจรเรตมิเตอร์.....	34
3.2.7 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ	35
3.3 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมค่าต่างๆ ของเครื่องนับรังสี	37
4. การทดสอบสมรรถนะของระบบ	43
4.1 การทดสอบการทำงานและสมรรถนะของแต่ละวงจร.....	43
4.1.1 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ.....	43
4.1.2 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง	48
4.1.3 การทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์	52
4.1.4 การทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว	58
4.1.5 การทดสอบวงจรมับรังสีและวงจรตั้งเวลา	62
4.1.6 การทดสอบวงจรเรตมิเตอร์	65
4.2 การทดสอบเครื่องนับรังสีที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทั้ง 3 โหมด.....	69

4.2.1 การทดสอบ Platau Determination Mode	69
4.2.2 การทดสอบ SCA Scanning Mode.....	71
4.2.3 การทดสอบ Scaler Mode	74
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	77
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	77
5.1.1 ผลการทดสอบการทำงานแต่ละวงจร	77
5.1.2 การพัฒนาโปรแกรม	78
5.2 คุณสมบัติของเครื่องมือ	78
5.3 ปัญหาและอุปสรรค	79
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	79
รายการอ้างอิง	80
ภาคผนวก	81
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งาน โปรแกรมนับรังสีชนิดเคลื่อนย้ายได้แบบประหยัด โดยใช้ CPLD.....	82
ภาคผนวก ข โปรแกรมนับรังสีชนิดเคลื่อนย้ายได้แบบประหยัดโดยใช้ CPLD	86
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	92

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 การจัดเรียงขาสัญญาณของพอร์ต RS-232C แบบ DB9 และ DB25	19
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดของสัปดาห์ไฟฟ้า +5 โวลต์	44
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดของสัปดาห์ไฟฟ้า +15 โวลต์ และ -15 โวลต์	44
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าเอาท์พุทสูงสุด ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ไฟฟ้าสูง	49
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับสัปดาห์ไฟฟ้า	49
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับสัปดาห์ไฟฟ้าผ่านคอมพิวเตอร์	50
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของการปรับสเกลอัตราขยาย แบบต่อเนื่องจากหน้าปัด	55
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของการปรับสเกลอัตราขยาย แบบต่อเนื่องจากคอมพิวเตอร์	56
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล	57
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลสัปดาห์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD	60
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลสัปดาห์ไฟฟ้าอ้างอิง ULD	61
ตารางที่ 4.11 ผลการนับสัญญาณพัลส์ต่อค่าเวลาดำสุดและสูงสุดในหน่วย วินาที, นาที และ ชั่วโมง	63
ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบการนับสัญญาณพัลส์ที่ค่าความถี่เปลี่ยนแปลง ต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง	64
ตารางที่ 4.13 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ที่จ่ายให้กับวงจรนับรังสี	65
ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัลระหว่างความถี่อินพุตกับ สัปดาห์ไฟฟ้าทางออกของวงจรเรตมิเตอร์	67
ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัลระหว่าง สัปดาห์ไฟฟ้าอินพุตกับค่าเลขฐานสองที่แปลงได้	68
ตารางที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า LLD กับจำนวนรังสีที่นับได้	75

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนภาพของระบบวัดรังสีทั่วไป	5
รูปที่ 2.2 แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแบบนับรวมพลังงาน	6
รูปที่ 2.3 แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน	7
รูปที่ 2.4 สเปกตรัมของการวิเคราะห์พลังงาน	7
รูปที่ 2.5 แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแบบ โคอินซิเดนซ์	8
รูปที่ 2.6 สเปกตรัมของการวิเคราะห์เวลาของอนุภาคนิวเคลียร์	8
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของชิป CPLD	11
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของฟังก์ชันบล็อก	11
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของแมคโครเซลล์	12
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของแฟลชคอนเน็คสวิตเมตริกส์	13
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของไอโอบล็อก.....	14
รูปที่ 2.12 แผนภาพการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์	15
รูปที่ 2.13 ลักษณะโครงสร้างการต่อ巴士แบบ I ² C	17
รูปที่ 2.14 แผนภาพการส่งข้อมูลแบบ SPI แบบ Master/Slave.....	18
รูปที่ 2.15 รูปแบบของบิตที่ใช้สำหรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส	18
รูปที่ 2.16 การจัดขาต่างๆ ของพอร์ต RS-232C แบบ DB9 และ DB25.....	20
รูปที่ 2.17 แผนภาพการส่งข้อมูลแบบขนาน.....	20
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างฟังก์ชันไคอะแกรมของโปรแกรม LabVIEW ที่สร้างขึ้นบนคอมพิวเตอร์	21
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างโปรแกรม LabVIEW ที่สร้างขึ้นบนคอมพิวเตอร์.....	22
รูปที่ 3.1 แผนภาพระบบวัดที่พัฒนาขึ้น	23
รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น	24
รูปที่ 3.3 แผนภาพการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ.....	25
รูปที่ 3.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ.....	26
รูปที่ 3.5 แผนภาพการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง	27
รูปที่ 3.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง	28
รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรขยายสัญญาณพัลส์	29
รูปที่ 3.8 วงจรขยายสัญญาณพัลส์.....	30
รูปที่ 3.9 แผนภาพการทำงานของวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว	31

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 3.10 แผงวงจรวงจรวิเคราะห์ความสูงพลังงานแบบช่องเดี่ยว	32
รูปที่ 3.11 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรมับริงสีและตั้งเวลา.....	32
รูปที่ 3.12 วงจรมับริงสีและวงจรมับริง	33
รูปที่ 3.13 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรมับริงสี	34
รูปที่ 3.14 วงจรมับริงสี	35
รูปที่ 3.15 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ	36
รูปที่ 3.16 แผนผังการทำงานส่วนหลักของโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้น	37
รูปที่ 3.17 แผนผังการทำงานส่วน Platau Determination Mode ของโปรแกรมที่ ทำการพัฒนาขึ้น	38
รูปที่ 3.18 แผนผังการทำงานส่วน SCA Scanning Mode ของโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้น	39
รูปที่ 3.19 แผนผังการทำงานส่วน Scaler Mode ของโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้น	40
รูปที่ 3.20 การทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในโหมด Platau Determination	41
รูปที่ 3.21 การทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในโหมด SCA Scanning.....	41
รูปที่ 3.22 การทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในโหมด SCA Scaler	42
รูปที่ 4.1 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ	43
รูปที่ 4.2 Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า +5 โวลต์.....	45
รูปที่ 4.3 Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า +15 โวลต์.....	46
รูปที่ 4.4 Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า -15 โวลต์.....	47
รูปที่ 4.5 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง.....	48
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสเกลบนหน้าปัดและศักดาไฟฟ้าเอาท์พุท ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง	50
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสเกลบนคอมพิวเตอร์และศักดาไฟฟ้าเอาท์พุท ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง	51
รูปที่ 4.8 Ripple ของสัญญาณไฟฟ้าศักดาสูง.....	52
รูปที่ 4.9 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบวงจรมับริงสัญญาณพัลส์.....	52
รูปที่ 4.10 สัญญาณพัลส์ก่อนเข้าวงจรมับริงสัญญาณพัลส์	53
รูปที่ 4.11 สัญญาณพัลส์เอาท์พุทจากวงจรมับริงสัญญาณพัลส์	54
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของการปรับสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่องจากหน้าปัด ..	55
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของการปรับสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่องจาก คอมพิวเตอร์	56
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล	58

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.15 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว.....	59
รูปที่ 4.16 ภาพสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ขั้วขาของสัญญาณพัลส์.....	59
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง LLD.....	60
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง ULD.....	61
รูปที่ 4.19 การเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณพัลส์คู่ที่เกิดติดกัน.....	62
รูปที่ 4.20 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรนับรังสีและวงจรตั้งเวลา.....	63
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์การนับสัญญาณพัลส์ที่ค่าความถี่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง.....	64
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสามารถในการนับสัญญาณพัลส์สูงสุดของวงจรรับรังสี.....	65
รูปที่ 4.23 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรเรตมิเตอร์.....	66
รูปที่ 4.24 กราฟความไม่เป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ที่ได้จากการอ่านค่าศักดาไฟฟ้า.....	67
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ที่ได้จากการอ่านหน้าปัดบนคอมพิวเตอร์.....	68
รูปที่ 4.26 การจัดอุปกรณ์เพื่อหาค่าศักดาฟ้าเหมาะสม (Optimum Voltage).....	70
รูปที่ 4.27 กราฟ plateau ที่ได้จากวงจรระบบวัดแบบนับรวมพลังงานจากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น.....	70
รูปที่ 4.28 การจัดอุปกรณ์ทดสอบระบบวัดแบบนับแยกพลังงานด้วยโหมดสแกนสเปกตรัมพลังงาน.....	71
รูปที่ 4.29 สเปกตรัมของ Cs-137 ด้วยโหมดสแกนสเปกตรัมพลังงาน.....	72
รูปที่ 4.30 สเปกตรัมของ Co-60 ด้วยโหมดสแกนสเปกตรัมพลังงาน.....	72
รูปที่ 4.31 สเปกตรัมของ Cs-137 และ Co-60 ด้วยโหมดสแกนสเปกตรัมพลังงาน.....	73
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการปรับเทียบพลังงานของรังสีกับศักดาไฟฟ้า.....	73
รูปที่ 4.33 การจัดอุปกรณ์ทดสอบระบบวัดแบบนับแยกพลังงานด้วยโหมดนับรังสี.....	74
รูปที่ 4.34 โปรแกรมการวัดรังสีด้วยโหมดนับรังสี.....	75
รูปที่ 4.35 สเปกตรัมของ Cs-137 และ Co-60 ด้วยโหมดนับรังสี.....	76

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการใช้เทคนิคนิวเคลียร์ภายในประเทศมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเพื่อให้มีความสอดคล้องและเป็นการรองรับกับแนวโน้มที่เกิดขึ้นดังกล่าว จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเร่งผลิตบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถในสาขานี้ให้มากยิ่งขึ้น เพราะนอกจากจะทำให้ได้บุคลากรที่มีทักษะสามารถปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับรังสีได้อย่างถูกต้องและปลอดภัยแล้วยังเป็นการช่วยเพิ่มศักยภาพการทำงานให้ดีขึ้นตามไปด้วย ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาจะเห็นว่าการสร้างองค์ความรู้ใด ๆ ที่ต้องการให้ได้ผลสัมฤทธิ์สูงต้องมีการจัดฝึกอบรมทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติควบคู่กันไป ในทำนองเดียวกันการจัดฝึกอบรมความรู้พื้นฐานการใช้เทคนิคนิวเคลียร์ก็จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือวัดนิวเคลียร์เช่นกัน แต่เนื่องจากเครื่องมือวัดนิวเคลียร์มีราคาสูงเพราะต้องนำเข้าจากต่างประเทศและที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือเมื่อเกิดชำรุดเสียหาย การซ่อมบำรุงก็ค่อนข้างยุ่งยากเพราะต้องนำเข้าอะไหล่จากต่างประเทศ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะทำการพัฒนาเครื่องนับรังสีเพื่อใช้สำหรับการฝึกอบรมและการเรียนการสอน จากการศึกษาพบว่าโดยทั่วไประบบวัดนิวเคลียร์ที่มีใช้งานอยู่จะถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบระบบแยกส่วนโมดูล (Modular System) และแบบระบบรวม (Integrated System) ซึ่งทั้ง 2 ระบบมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการจัดฝึกอบรมและการเรียนการสอนเหมือนกัน แตกต่างกันในแบบระบบแยกส่วน โมดูลสามารถจัดระบบวัดให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการได้ดีกว่าแต่ผู้ใช้งานต้องมีความรู้เกี่ยวกับการจัดระบบวัดพื้นฐานทางด้านนิวเคลียร์มาบ้าง ส่วนแบบระบบรวมเป็นระบบซึ่งมีขนาดเล็กและผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องจัดระบบวัดเองทำให้มีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน จากหลักการและเหตุผลดังกล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าระบบรวมมีความเหมาะสมกับการจัดฝึกอบรมและการเรียนการสอนด้านนิวเคลียร์พื้นฐานมากกว่าระบบแบบแยกส่วนโมดูล ทำให้การพัฒนาเครื่องนับรังสีแบบรวมน่าจะมีความเหมาะสมกว่าแบบแยกส่วนโมดูลและเพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่าน่าที่จะต้องมีการเพิ่มเติมชุดอุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้สำหรับควบคุมการทำงานและการประมวลผลข้อมูล นอกจากนี้จะนำเอาซีพีแอลดี (CPLD) มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาวงจรดิจิทัลแทนแบบเดิมเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในด้านความเร็วในการทำงาน อีกทั้งยังช่วยลดขนาดและกำลังไฟฟ้าของเครื่องมือได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาเครื่องนับรังสีชนิดเคลื่อนย้ายได้แบบประหยัดโดยใช้ CPLD

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบสร้างเครื่องมือนับรังสีขนาดเล็กที่ประกอบด้วย วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง วงจรขยายสัญญาณพัลส์ วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว วงจรเรตมิเตอร์ และวงจรตั้งเวลากับวงจรรังสีที่ได้นำ CPLD มาออกแบบวงจร
2. ออกแบบและสร้างระบบเชื่อมโยงระหว่างเครื่องนับรังสีขนาดเล็กกับคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรมควบคุมการทำงานให้สามารถแสดงผลปดตรัมได้

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบสร้างวงจรต่างๆ
3. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์
4. ทดสอบการทำงานของเครื่องนับรังสีที่พัฒนาขึ้น
5. สรุปผลการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ได้เครื่องนับรังสีชนิดเคลื่อนย้ายที่สามารถควบคุมการทำงานและแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เป็นเครื่องในการเรียนการสอนและการฝึกอบรมทางนิวเคลียร์ต่อไป

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปี พ.ศ. 2543 สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, เดโช ทองอร่าม และ ศิริพงษ์ ไชยมงค์ ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับระบบวัดรังสีด้วยหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์บนไมโครคอมพิวเตอร์ โดยระบบวัดรังสีที่พัฒนาขึ้นเป็นการประยุกต์ไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อสนับสนุนการทำงานของระบบวัดรังสีในส่วนของวงจรรังสี วงจรตั้งเวลา การทำงานแบบอัตโนมัติและการแสดงผลในรูปแบบเส้นกราฟด้วยโปรแกรมที่ทำงานบนดอส (DOS) ใช้การสื่อสารทางสัญญาณกับระบบวัดรังสีส่วนหน้าผ่านทางพอร์ตขนาน หัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์ใช้ของแอลเอนดี (LND) รุ่น 712 ย่านการทำงานของไบอัสในช่วง 350-750 โวลต์ การแปรเปลี่ยนแรงดันไบอัสอัตโนมัติจากค่าแรงดันต่ำสุดถึงสูงสุดสามารถเลือกได้จากโปรแกรมการทำงาน

อัตราการนับพัลส์สัญญาณไม่น้อยกว่า 10 กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz) ตั้งเวลานับรังสีได้จาก 1-9999 วินาที โดยสามารถแสดงเวลาคงเหลือได้ ควบคุมการนับรังสีได้ทั้งแบบทีละครั้งหรือนับต่อเนื่อง รวมทั้งสามารถเลือกโปรแกรมใช้งานจากเมนูที่แสดงฟังก์ชันคีย์บนคอมพิวเตอร์ได้สะดวก

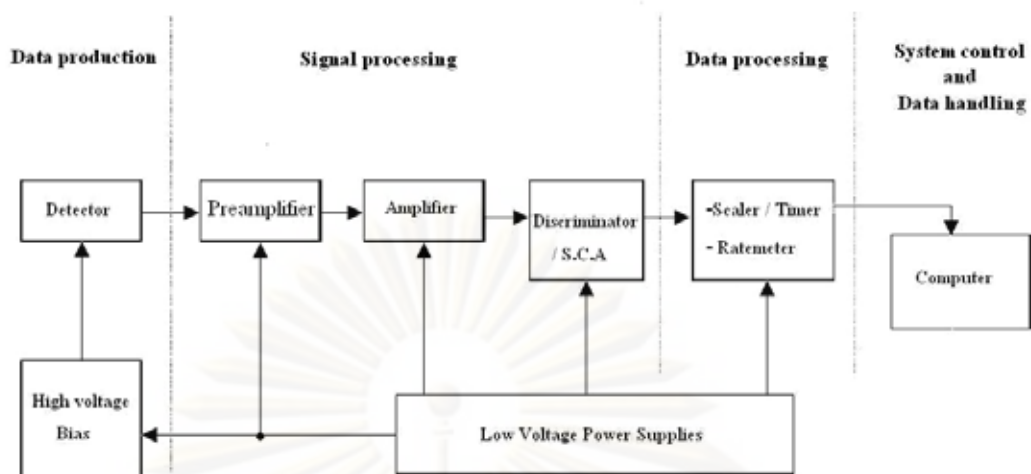
2. ปี พ.ศ. 2550 นายสุภฤกษ์ ลีตระกูลพิชิตชัย, เดโซ ทองอร่าม และ กมลทิพย์ พลอยกระจ่าง ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ CPLD เพื่อการฟื้นฟูสภาพอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบหลายช่อง งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ CPLD สำหรับสร้างเป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล(เอดีซี) แบบวิลกินสันขนาด 2048 ช่องวัด ที่ความถี่ใช้งาน 100 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) เพื่อใช้ฟื้นฟูสภาพของอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบหลายช่องที่มีใช้งานอยู่เดิม ซึ่งผลของการนำ CPLD มาประยุกต์ใช้ส่งผลให้ขนาด ความซับซ้อนของวงจร และอัตราการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของวงจรเอดีซีลดลง ขณะเดียวกันการทำงานที่ความถี่สูงก็ดีขึ้น โดยผลการทดสอบค่าความเป็นเชิงเส้นของการแปลงผันสัญญาณเท่ากับ $R^2 = 0.9995$ และมีอัตราการแปรผันสูงสุดถึง 48.828 จำนวนนับที่เป็นกิโลต่อวินาที (kcps) ดังนั้นจึงทำให้ระบบเอดีซีที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ทดแทนเอดีซีของระบบเดิมได้
3. ปี พ.ศ. 2548 Eftichios Koutroulis , Apostolos Dollas และ Kostas Kalaitzakis ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับ High-frequency pulse width modulation implementation using FPGA and CPLD ICs งานวิจัยนี้ Pulse width modulation (PWM)ถูกใช้งานอย่างกว้างขวางในการควบคุม กำลัง (Power) ระดับของ High Power จะดำเนินงานที่ ความถี่ที่มากกว่า 500 kHz แต่ไม่มากกว่า 1 MHz งานวิจัยนี้ควบคุมความถี่สูงใช้ PWM มี FPGA และ CPLD ในการควบคุม ความเร็ว กับ duty cycle การจำลอง (simulation) งานวิจัย นี้ได้ความถี่ใช้ PWM มากกว่า 3.985 MHz สามารถได้วัฏจักรการทำงาน (duty cycle) = 1.56%
4. ปี พ.ศ. 2548 S.R. Dugad ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับ Optically isolated high-voltage digital-to-analog converter งานวิจัยนี้ได้ออกแบบรูปแบบลักษณะพิเศษของเครื่องเปลี่ยนดิจิทัลเป็นอนาลอกไฟฟ้าศักดาสูง (High-Voltage Digital-to Analog Converter :HV-DAC) โดยอยู่ในช่วง 600 โวลต์ เมื่อลดไฟฟ้าของศักดาไฟฟ้าอนุกรม (Series Voltage) ในระบบการแบ่งแยกไฟฟ้าศักดาสูง (High Voltage) โดย HV-DAC สามารถถูกใช้ในการทดลองที่มีพลังงานสูง ที่ High Voltage ควบคุมได้ 2 ช่องทาง(Channels) ได้ถูกโปรแกรมลงในไฟฟ้าศักดาสูง

บทที่ 2

ระบบวัดนิวเคลียร์ และโครงสร้างการทำงาน

2.1 ส่วนประกอบสำคัญของระบบวัดรังสี

เนื่องจากการวัดรังสีเป็นกระบวนการจัดการสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะหน้าที่ ซึ่งโดยทั่วไปสามารถแบ่งระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการจัดการสัญญาณได้ 4 ส่วนคือ ส่วนสร้างข้อมูลการวัดรังสี (Data production) เป็นการทำงานที่ประกอบด้วยหัววัดรังสีที่ได้รับการไบอัสด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (High Voltage) ทำหน้าที่ตรวจวัดรังสีและสร้างปริมาณสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับการถ่ายโอนพลังงานของรังสีในตัวกลางของหัววัดรังสี ส่วนจัดการข้อมูลวัดรังสี (Signal processing) มีโครงสร้างการทำงานที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้า (Preamplifier), อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Amplifier) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากหัววัดรังสี และอุปกรณ์ตัดสัญญาณหรืออุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว (Discriminator or Single Channel Analyzer, SCA) ที่ทำหน้าที่ช่วยในการคัดเลือกสัญญาณที่ไม่ต้องการออก จึงทำให้สามารถเลือกช่วงสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์ได้ทั้งในรูปแบบของขนาดความสูงของสัญญาณพัลส์ และช่วงเวลาที่แตกต่างกันของสัญญาณลอจิกที่ได้รับการแปรผันหลังเกิดอันตรกิริยาภายในหัววัดรังสี ข้อมูลจากส่วนการทำงานนี้จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์และเก็บข้อมูล ส่วนประมวลผล (Data processing) เป็นส่วนการทำงานที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สะสมข้อมูลจำนวนนับรังสีรวม และการนับรังสีเฉพาะค่าพลังงาน ได้แก่ อุปกรณ์นับและตั้งเวลา (Counter/Timer) และเรตมิเตอร์ (Ratemeter) เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะสามารถเก็บข้อมูลจำนวนนับรังสีได้เพียงชั่วคราวเพื่อใช้สำหรับการแสดงผล และส่วนสุดท้ายคือส่วนควบคุมการทำงานของระบบและส่วนจัดการข้อมูล (System control and data handling) มีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด เช่น การควบคุมระยะเวลาวัดรังสี ควบคุมการวิเคราะห์สัญญาณพัลส์ของการวัดรังสีเฉพาะกลุ่มหรือการควบคุมตำแหน่งการวิเคราะห์พลังงานให้คงที่ โดยอุปกรณ์ควบคุมเหล่านี้จะส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ต่างๆ อย่างความเหมาะสมใช้งาน สำหรับอุปกรณ์จัดการข้อมูลจะทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลลงบนคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถนำข้อมูลต่างๆ เหล่านั้นกลับมาใช้ใหม่ได้ภายหลัง



รูปที่ 2.1 แผนภาพของระบบวัดรังสีทั่วไป[2]

2.2 การจักระบบวัดรังสี

โดยทั่วไปรูปแบบในการจักระบบวัดรังสีจะขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ต้องการวัดหรือตามลักษณะของข้อมูลวัดรังสี ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบ ดังนี้

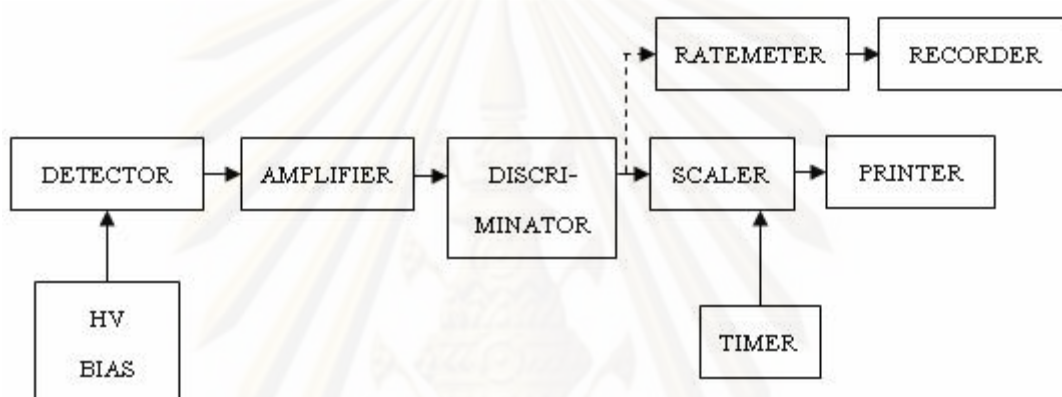
2.2.1 ระบบวัดรังสีแบบนับรวมพลังงาน (Integral counting system)

ระบบวัดรังสีแบบนับรวมพลังงานเป็นระบบวัดรังสีที่จัดอุปกรณ์วัดสำหรับนับรังสีทุกพลังงานที่ตรวจวัดได้ กล่าวคือ เป็นการนับรังสีรวมที่ไม่มีการแยกนับเฉพาะพลังงาน เช่น การวัดความแรงรังสี (Activity) การวัดความเข้มรังสี (Intensity) ซึ่งมีการแสดงผลเป็นค่าของจำนวนนับต่อเวลา เช่น จำนวนนับต่อนาที (Counts per minute, cpm) หรือจำนวนนับต่อวินาที (Counts per second, cps) เป็นต้น ซึ่งระบบวัดรังสีประเภทนี้จะประกอบด้วย หัววัดรังสี (Detector) ที่มีความเหมาะสมกับคุณสมบัติของรังสีที่ต้องการวัด แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงทำหน้าที่ไบอัสหัววัดรังสี อุปกรณ์ขยายสัญญาณทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลส์และลดสัญญาณรบกวน อุปกรณ์ตัดสัญญาณทำหน้าที่ใช้คัดเลือกเฉพาะสัญญาณที่มีความสูงเหนือระดับศักดาไฟฟ้าอ้างอิงไปใช้งาน ซึ่งจะอยู่ในรูปของสัญญาณลอจิกพัลส์ เพื่อส่งต่อไปนับปริมาณรังสีที่อุปกรณ์นับรังสีถูกควบคุมเวลาในการนับวัดด้วยอุปกรณ์ตั้งเวลา หลังจากนั้นข้อมูลนับวัดที่ได้จะถูกบันทึกผลด้วยเครื่องพิมพ์ นอกจากนี้สัญญาณลอจิกพัลส์ที่ผ่านจากอุปกรณ์ตัดสัญญาณยังสามารถนำมาแสดงผลในรูปแบบอัตรานับรังสีเฉลี่ยด้วยเรตมิเตอร์ โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณลอจิกพัลส์จากการนับรังสีเป็นระดับศักดาไฟฟ้า แล้วแสดงค่าด้วยมิเตอร์แบบอนาล็อก หรือมิเตอร์แสดงผลแบบเชิงตัวเลข สำหรับแผนภาพการทำงานของระบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นว่าการวัดรังสีในระบบวัดแบบนับรวมจะให้ผลเป็นจำนวนนับต่อหน่วยเวลา ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบถึงประสิทธิภาพการวัดของระบบ โดยประสิทธิภาพการวัดของระบบ (η) สามารถหาได้จาก

$$\eta = \frac{\text{cps}}{\text{dps}}$$

เมื่อ dps คือ อัตราการสลายตัวต่อวินาทีของต้นกำเนิดรังสี
cps คือ อัตรานับรังสีต่อวินาทีที่อ่านค่าได้จากระบบวัด

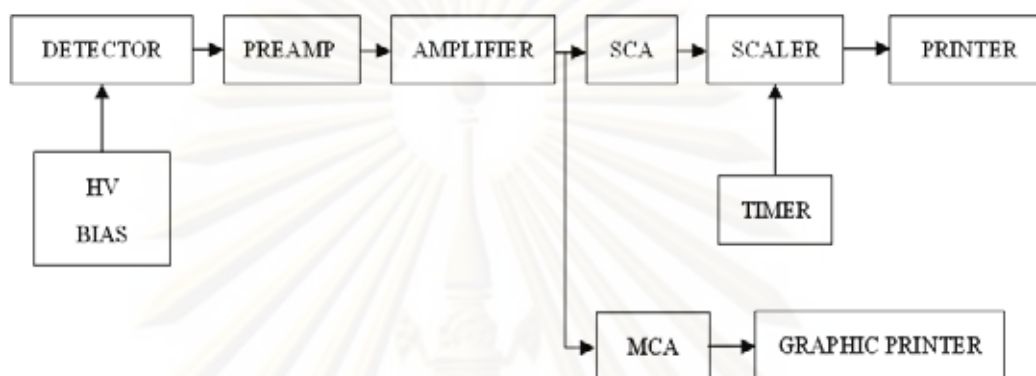


รูปที่ 2.2 แผนภาพการจักระบบวัดรังสีแบบนับรวมพลังงาน[2]

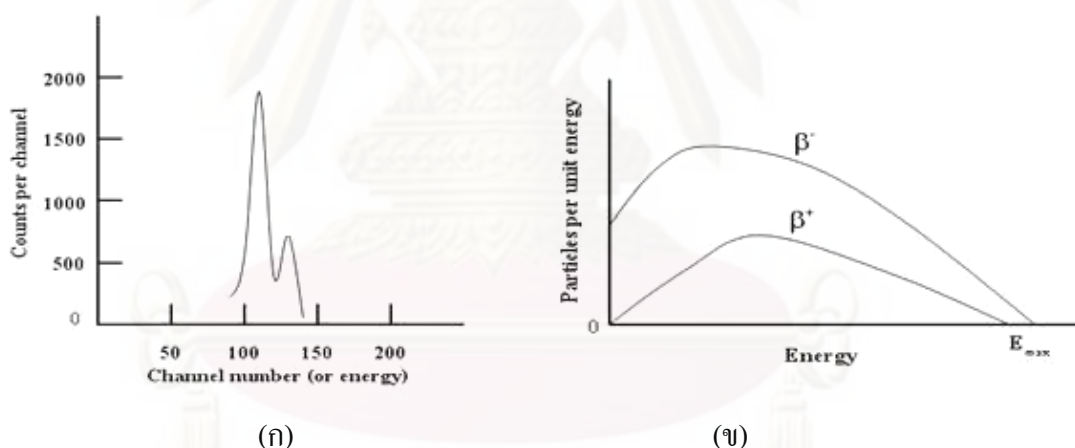
2.2.2 ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน (Differential counting system)

ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงานเป็นระบบวัดรังสีที่จัดอุปกรณ์วัดสำหรับวัดรังสีแบบแยกนับเฉพาะพลังงานซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบของสเปกตรัมพลังงาน (Energy spectrum) เช่น ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา (γ -spectrometer) และระบบวิเคราะห์รังสีอัลฟา (α -spectrometer) เป็นต้น ในระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงานนั้นมีการจักระบบที่คล้ายคลึงกับระบบวัดรังสีแบบนับรวมพลังงาน โดยมีส่วนที่แตกต่างกันตรงที่สัญญาณพัลส์จากอุปกรณ์ขยายจะถูกส่งต่อไปให้กับอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ (Pulse Height Analyzer, PHA) ทำการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์และแยกนับปริมาณรังสีเฉพาะพลังงาน สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์พลังงานอาจเป็นอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer) ที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์นับรังสี (Scaler) และอุปกรณ์ตั้งเวลา (Timer) เพื่อแสดงค่าจำนวนนับต่อเวลาของปริมาณรังสีในช่วงพลังงานที่สนใจ หรือใช้อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multi Channel Analyzer, MCA) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเก็บไว้ในหน่วยความจำแล้วแสดงสเปกตรัมบนจอภาพ การจักระบบวัดแบบนับแยกพลังงานแสดงดังแผนภาพรูปที่ 2.3 ข้อมูลนับรังสีที่วิเคราะห์ได้จะมีลักษณะ

เป็นปริมาณนับรังสีต่อเวลานับ ($c/t = N$) ที่ตำแหน่งของช่วงวิเคราะห์พลังงาน ต่างๆ เมื่อนำมาเขียนเส้นกราฟการกระจายค่าจำนวนนับที่พลังงานต่างๆ (Energy distribution) โดยแกน x เป็นแกนของพลังงาน E และแกน y เป็นแกนของจำนวนนับรังสี N จะได้เส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงของ $dN(E)/dE$ หรือ สเปกตรัมพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) สเปกตรัมพลังงานแยกเดี่ยว และรูปที่ 2.4 (ข) สเปกตรัมย่านพลังงานกว้าง



รูปที่ 2.3 แผนภาพการจักระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน[2]

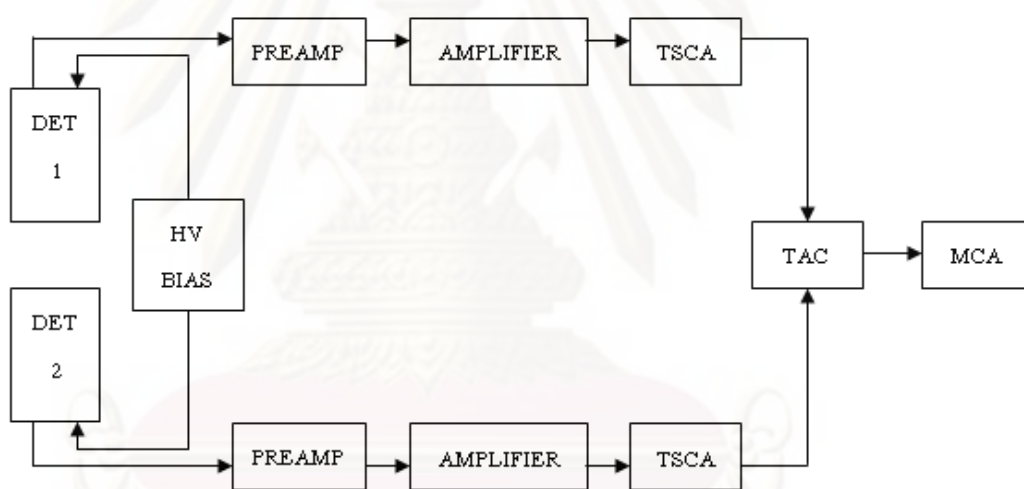


รูปที่ 2.4 สเปกตรัมของการวิเคราะห์พลังงาน[2] (ก) Discrete spectrum (ข) Broad spectrum

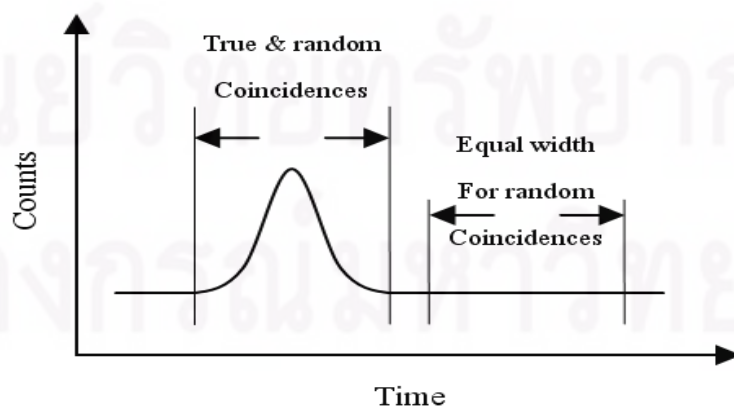
2.2.3 ระบบวัดรังสีแบบโคอินซิเดนซ์ (Coincidence counting system)

ระบบวัดรังสีแบบโคอินซิเดนซ์ เป็นระบบวัดรังสีที่จัดอุปกรณ์สำหรับวัดจำนวนนับรังสีแยกเฉพาะช่วงเวลาแล้วแสดงผลในรูปของเวลา (Times spectrum) เช่น ระบบวัดแบบฟาสต์โคอินซิเดนซ์ (Fast coincidence) ระบบวัดแบบสโลว์โคอินซิเดนซ์ (Slow coincidence) เป็นต้น และสามารถประยุกต์ใช้กับระบบวัดรังสีชนิดแบคกราวด์ต่ำ (Low background counting system) ระบบวัดชนิดนี้จะต้องมีระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน 2 ชุดประกอบกัน โดยที่หัววัดรังสีของระบบวัดรังสีแต่ละชุดจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของรังสีที่ต้องการวัดค่าความต่างเวลาด้วยเทคนิคโคอินซิเดนซ์ เช่น γ - γ , β - γ หรือ α - γ เป็นต้น และที่สำคัญคืออุปกรณ์วัดในระบบวัดแบบ

โคอินซิเดนซ์จะต้องมีการตอบสนองสัญญาณที่รวดเร็วและมีเวลากำหนดพัลส์ที่แน่นอน จึงทำให้ต้องใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ที่ให้สัญญาณลอคเอาท์พัลส์ที่ตำแหน่งเวลาแน่นอนในการวัดรังสีแต่ละครั้ง ดังนั้นจึงต้องใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ชนิดไทม์มิงเอสซีเอ (Timing SCA, TSCA) ซึ่งแสดงแผนภาพการทำงานได้ดังในรูปที่ 2.5 การสร้างข้อมูลเวลาในการวัดเริ่มจากอนุภาคนิวเคลียร์ที่วัดได้จากหัววัดรังสีชุดแรกเป็นตัวเริ่มต้นกระตุ้นการแปลงผันเวลาของอุปกรณ์แปลงผันเวลาเป็นความสูงของพัลส์ (Time to Amplitude Converter, TAC) และอนุภาคนิวเคลียร์ที่วัดได้จากหัววัดชุดที่สองเป็นตัวหยุดการแปลงผันเวลาทำให้ได้ค่าความสูงของพัลส์ที่เป็นสัดส่วนกับคาบเวลาส่งต่อให้อุปกรณ์วิเคราะห์หลายช่องวิเคราะห์ ข้อมูลนับรังสีที่วิเคราะห์ได้จะมีลักษณะเป็นปริมาณรังสีต่อเวลานับ (N) ที่ตำแหน่งของช่องวิเคราะห์เวลา (t) ต่างๆ ซึ่งได้จากการแปลงผันเวลาเป็นความสูงของพัลส์ เมื่อนำข้อมูลมาเขียนเส้นกราฟการกระจายค่าจำนวนนับที่เวลาต่างๆ โดยแกน x เป็นแกนของเวลา และแกน y เป็นแกนของจำนวนนับรังสี จะได้เส้นกราฟการเปลี่ยนแปลง $dN(t)/dt$ หรือสเปกตรัมเวลา (Time spectrum) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแบบ โคอินซิเดนซ์[2]



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมของการวิเคราะห์เวลาของอนุภาคนิวเคลียร์[2]

2.3 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องนับรังสี

ระบบวัดที่จะทำการพัฒนาต้องสามารถรองรับการจัดการระบบได้ 2 ระบบ คือ ระบบวัดรังสีแบบนับรวมพลังงานและระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.3.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ (Low voltage power supply) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนต่างๆ

2.3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (High voltage power supply) ทำหน้าที่กำเนิดไฟฟ้าศักดาสูงเพื่อใช้สำหรับการไบอัสหัววัดชนิดต่างๆ ประกอบด้วยวงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรทวีศักดาไฟฟ้า และวงจรปรับศักดาให้คงที่

2.3.3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ (Pulse Amplifier) เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลส์และกรองสัญญาณรบกวนให้ได้สัญญาณทางออกพร้อมจะวิเคราะห์พลังงาน ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรขยายที่สามารถเลือกช่วงของสัญญาณทางด้านอินพุตได้ วงจรปรับโพลซีโร (pole-zero) วงจรแต่งรูปสัญญาณแบบยูนิโพลลา และวงจรปรับสัญญาณพัลส์สู่เส้นฐานศูนย์ (Base Line Restorer)

2.3.4 วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer, SCA) ทำหน้าที่คัดเลือกสัญญาณพัลส์ที่ได้รับมาจากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ความสูงหรือระดับพลังงานด้วยการเปรียบเทียบกับศักดาไฟฟ้าอ้างอิงที่แปรเปลี่ยนแบบหน้าต่างต่าง (Window) ซึ่งประกอบด้วยวงจรปรับศักดาไฟฟ้าอ้างอิงที่มีเสถียรภาพสูง (High Stability Voltage Referent) ใช้สำหรับคัดเลือกขนาดความสูงของสัญญาณพัลส์ วงจรเปรียบเทียบแบบหน้าต่างต่าง (Window comparator) วงจรแอนติโคอินซิเดนซ์ (Anticoincidence) และวงจรโมนอสเตเบิล (Monostable)

2.3.5 วงจรนับรังสี (Counter or Scaler) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่นับสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ได้รับมาจากวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวแล้วแสดงผลอัตราการนับตามเวลาที่ตั้งไว้ผ่านเกตควบคุม (Control gate) ซึ่งวงจรส่วนนี้จะได้นำเอาชิป CPLD มาใช้งาน เพื่อช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการนับให้สูงขึ้น ขณะที่ขนาดและอัตราสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของวงจรลดลง โดยวงจรทั้งหมดจะถูกออกแบบไว้ในชิปของ CPLD

2.3.6 วงจรตั้งเวลา (Timer) ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการเปิดและปิดเกตเพื่อใช้ตั้งเวลาในการตรวจวัดรังสี โดยวงจรส่วนนี้จะออกแบบไว้ในชิปของ CPLD เช่นกัน

2.3.7 วงจรเรตมิเตอร์ (Ratemeter) ซึ่งประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้า วงจรโมนอสเตเบิล และวงจรเปลี่ยนปริมาณนับรังสีเป็นระดับศักดาไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนปริมาณนับรังสีให้เป็นอัตรานับรังสีเฉลี่ยในหน่วยจำนวนนับต่อวินาที

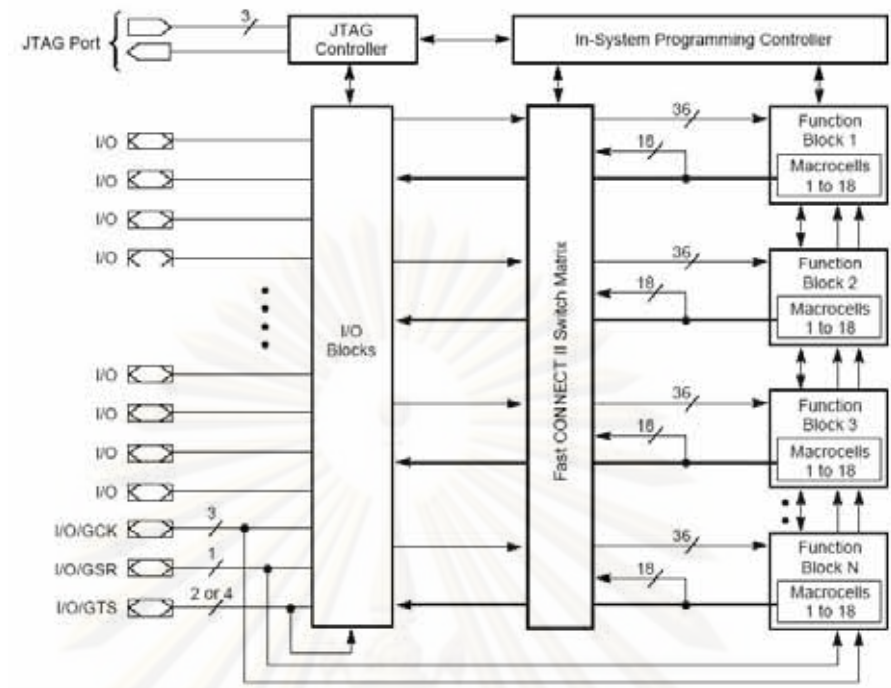
2.3.8 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ (Interfacing) ทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างวงจรในส่วนต่างๆ ที่ใช้สำหรับการควบคุมและประมวลการทำงานเข้ากับคอมพิวเตอร์

2.4 โครงสร้างและหลักการทำงานของ CPLD

CPLD ย่อมาจาก Complex Programmable Logic Device หมายถึงชิปไอซีสำเร็จรูปชนิดหนึ่งที่ผู้ใช้สามารถออกแบบวงจรลอจิกขนาดใหญ่ที่มีฟังก์ชันการทำงานทั้งแบบรวมหรือคอมบิเนชัน (Combination) และแบบเรียงลำดับหรือซีควเินเชียล (Sequential) บรรจุลงไปในชิป CPLD ได้ ซึ่งในการออกแบบวงจรลอจิกต่างๆ สามารถทำได้บนคอมพิวเตอร์ จากนั้นโปรแกรมลงไปในตัวชิปโดยใช้มาตรฐานการโปรแกรมแบบเจแทค (JTAG) สำหรับการออกแบบสามารถทำได้ทั้งการเขียนเป็นวงจรและเขียนเป็นโปรแกรมภาษาเอชดีแอล (HDL) โดยตัว CPLD มีเทคโนโลยีการเก็บรักษาวงจรแบบแฟลช (Flash) ที่สามารถคงสถานะของวงจรที่ฝังอยู่ประมาณ 20 - 40 ปี สามารถโปรแกรมซ้ำได้ประมาณมากกว่า 10,000 ครั้ง ขา I/O เป็นแบบเอนกประสงค์ที่สามารถกำหนดให้เป็นอินพุต และเอาต์พุตแบบต่างๆ ได้ มีจำนวนลอจิกเกตที่สามารถกำหนดให้เป็นเกตชนิดต่างๆ ได้จำนวนมาก เริ่มตั้งแต่ 800 ตัวไปจนถึงเป็นแสนเกต และมีฟลิปฟล็อปเริ่มจาก 36 ตัวไปจนถึงหลายพันตัว จึงทำให้สามารถรองรับการออกแบบวงจรลอจิกขนาดใหญ่และซับซ้อนมากๆ ได้

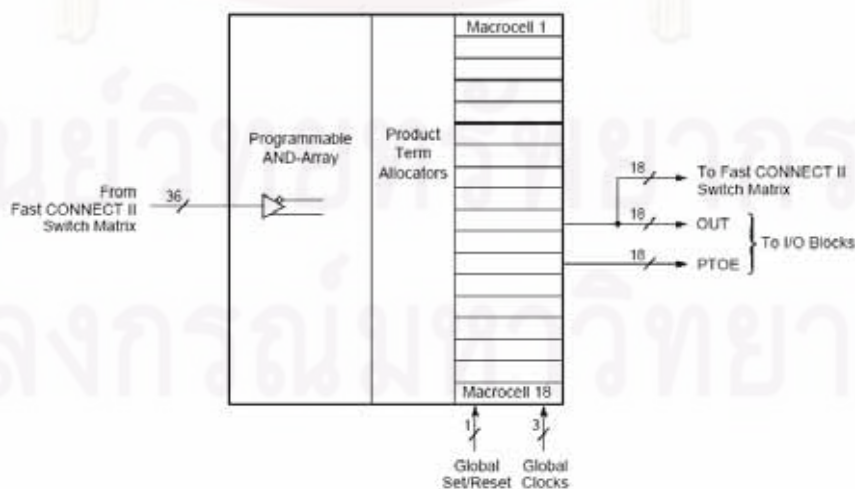
ภายในชิป CPLD ทุกตัวประกอบด้วยวงจรที่เป็นส่วนการทำงานหลัก คือ ฟังก์ชันบล็อก (Function Blocks :FBs) และไอโอบล็อก (I/O Blocks :IOBs) ซึ่งทั้งสองส่วนจะถูกเชื่อมต่อกันภายในโดยอาศัยส่วนของวงจรที่เรียกว่าแฟลชคอนเน็คสวิตเมตริกซ์ (Fast CONNECT switch matrix) ซึ่งวงจรส่วนนี้จะทำงานโดยอาศัยข้อมูลที่ถูกโปรแกรมเข้ามาจากส่วนวงจรอินซิสเต็มโปรแกรมมิงคอนโทรลเลอร์ (In-System Programming Controller) โดยวงจรส่วน แฟลชคอนเน็คสวิตเมตริกซ์ที่ทำงานร่วมกับฟังก์ชันบล็อกจะทำให้เกิดวงจรลอจิกตามที่ได้ออกแบบและโปรแกรมเข้าไป นอกจากนี้ภายในชิป CPLD ยังมีFunction Block หลายชุด โดยแต่ละชุดจะมีสายสัญญาณการโปรแกรมลอจิกจากแฟลชคอนเน็คสวิตเมตริกซ์เป็นอินพุตจำนวน นอกจากนี้ในแต่ละฟังก์ชันบล็อกก็ยังประกอบด้วยวงจรส่วนที่เรียกว่า แมคโครเซลล์ (Macrocell) ภายในวงจรแมคโครเซลล์ จะประกอบด้วยวงจรรีจิสเตอร์ หรือ ฟลิปฟล็อป ที่สามารถประกอบกันเป็นวงจรรีจิสเตอร์ หรือ เค้าเตอร์ได้ ส่วนวงจร ไอโอบล็อก จะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อกับขา I/O ของตัวชิป โดย สามารถโปรแกรมให้แต่ละขาเป็นอินพุต/เอาต์พุต หรือไบไดเรกชัน (Bi-direction) ได้ตามต้องการ และสามารถกำหนดสลูเรท (Slew rate) ได้ด้วย แสดงดังรูปที่ 2.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



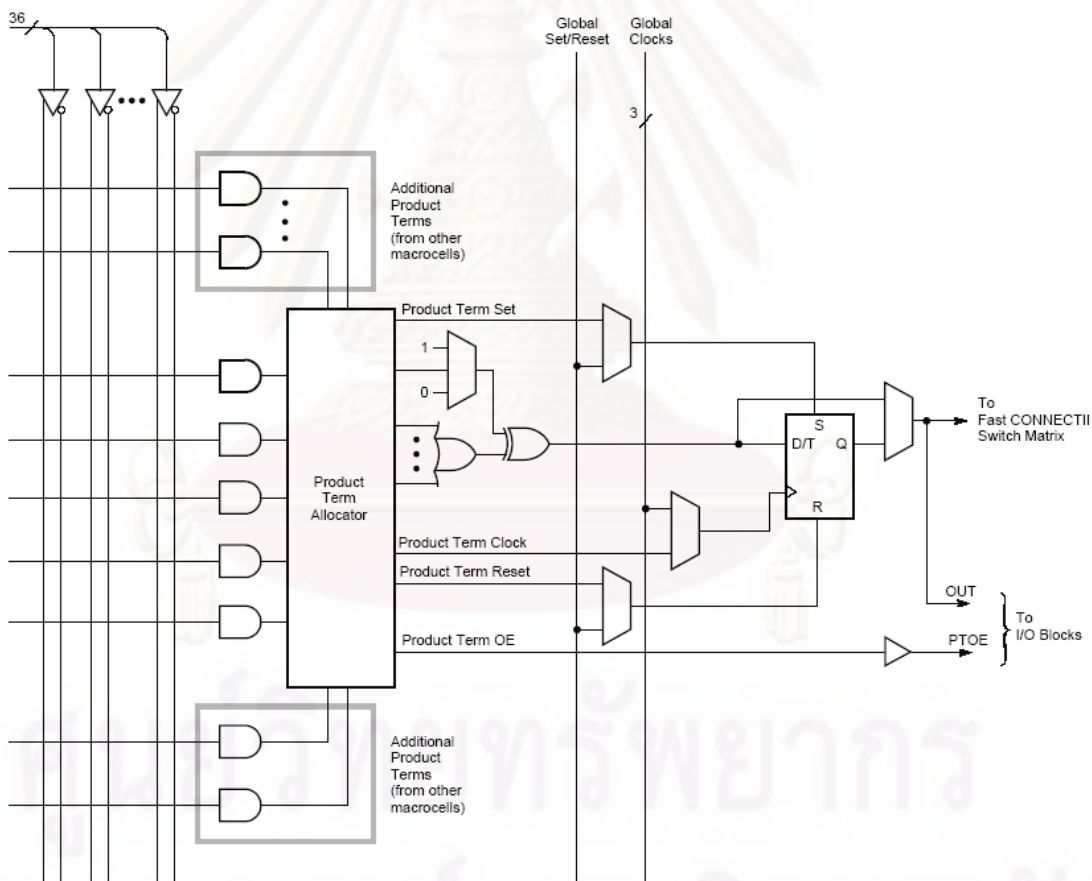
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของชิป CPLD [11]

2.4.1 โครงสร้างของฟังก์ชันบล็อก (Function Block) แต่ละฟังก์ชันบล็อก ประกอบด้วยแมคโครเซลล์จำนวน 18 ชุดโดยแต่ละชุดจะทำงานเป็นอิสระไม่ขึ้นต่อกัน วงจรส่วนนี้สามารถจะโปรแกรมให้สร้างได้ทั้งคอมบิเนชันลอจิก (Combination Logic) หรือซีควนเชียลลอจิก (Sequential Logic) วงจรโปรแกรมเมเบิลแอนดอาร์เรย์ (Programmable AND-Array) ทำหน้าที่นำเอาสายสัญญาณที่มาจากแฟลชคอนเน็คสวิตช์เมตริกส์มาทำให้เป็นสัญญาณทรู (true) และคอมพลิเมนต์ (complement) รวมเป็น 72 เส้นสัญญาณ ส่งไปยังวงจรโปรดัคส์เทอมแอลโลเคท (Product Term Allocators) และต่อไปยังแมคโครเซลล์ทั้ง 18 ตัว ดังรูปที่ 2.8



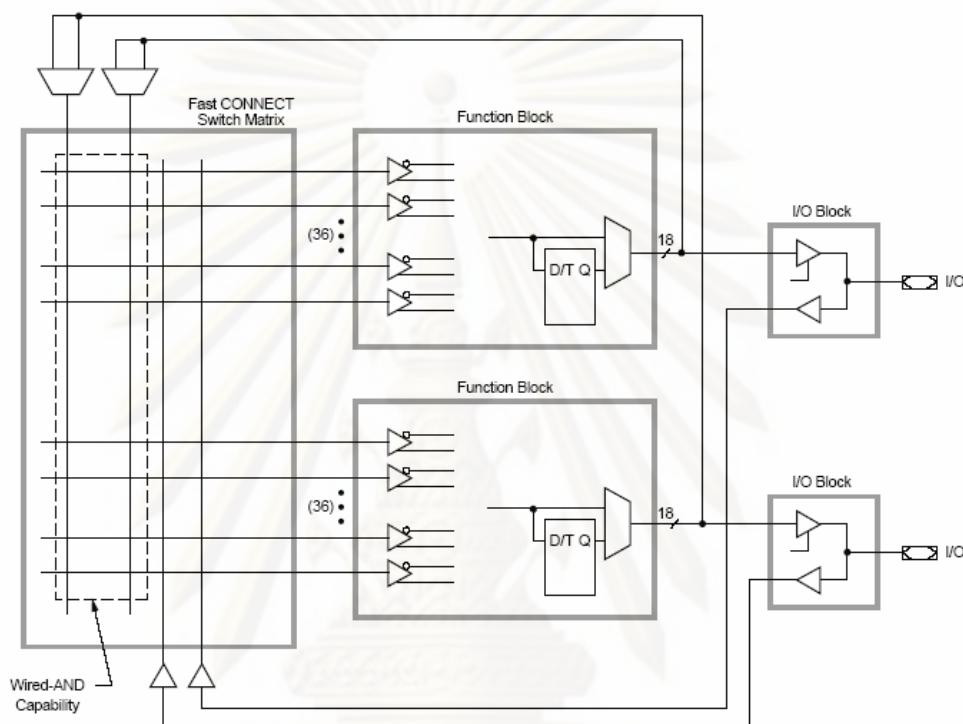
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของฟังก์ชันบล็อก [11]

2.4.2 โครงสร้างของแมคโครเซลล์ (Macrocell) ในแต่ละแมคโครเซลล์ที่อยู่ภายใน ฟังก์ชันบล็อก จะประกอบด้วยส่วนการทำงานที่เรียกว่าโปรดักต์เทอมแอลโลเคเตอร์ที่ต่อสัญญาณมาจากแอนอาร์รี่ สำหรับใช้เป็นข้อมูลลอจิกพื้นฐาน (ได้แก่ AND, OR และ NOT เป็นต้น) ที่จะนำมาสร้างเป็นวงจรลอจิกประเภทคอมบินเนชันหรือเป็นวงจรควบคุมทางของวงจรรีจิสเตอร์รวมทั้งสัญญาณนาฬิกา (Clock), เซต / รีเซต (Set / Reset) และสัญญาณเอนเอเบิล (Enable) ต่าง ๆ ในส่วนของแมคโครเซลล์รีจิสเตอร์ โปรแกรมสามารถจะกำหนดให้เป็น ฟลิปฟลอปแบบต่าง ๆ ได้ เช่น D-ฟลิปฟลอป, T-ฟลิปฟลอป หรืออาจกำหนดให้เป็นตัวผ่าน กรณีที่เป็นวงจรประเภทคอมบินเนชัน ในการกำหนดสัญญาณเซต / รีเซตให้ฟลิปฟลอป สามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งแบบซิงโครนัส (Synchronous), แบบอะซิงโครนัสและเป็นได้ทั้งอินดิวิดูว (Individual) และโกลเบิลโอเพอร์เรชัน (Global operation) และการทำงานขณะเริ่มเปิดไฟเข้าเลี้ยงวงจร ฟลิปฟลอป จะถูกกำหนดให้ผู้ใช้พร้อมจะโหลดข้อมูลเข้าได้ ดังรูปที่ 2.9



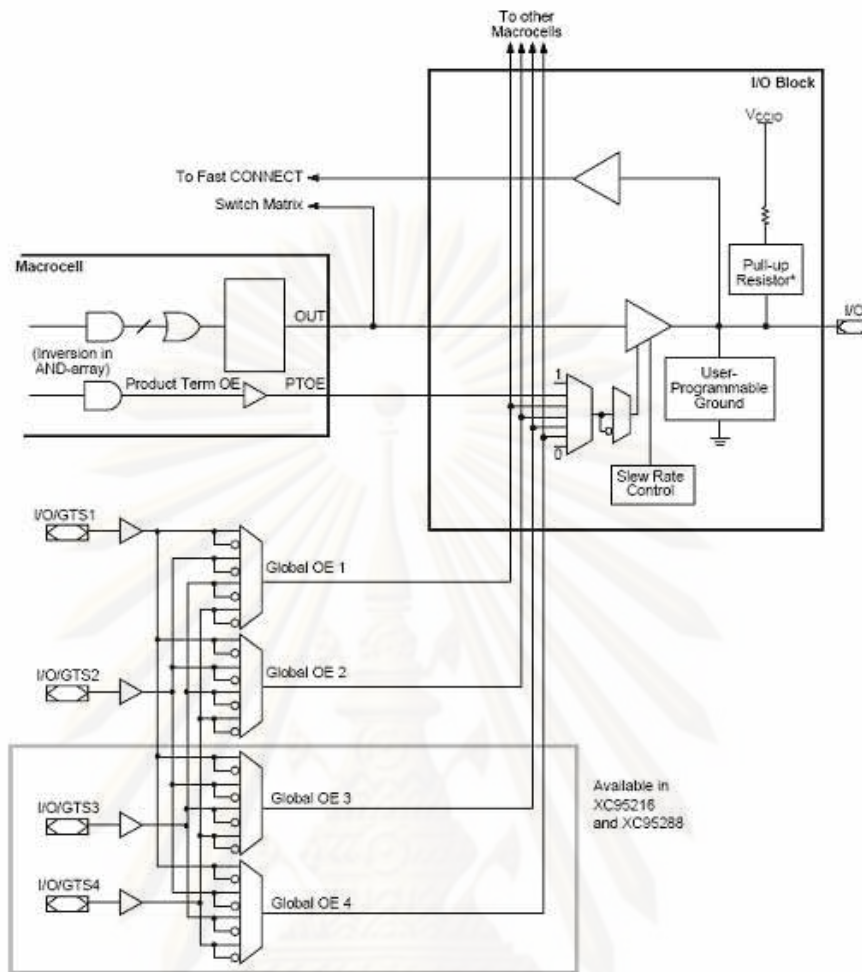
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของแมคโครเซลล์ [11]

2.4.3 โครงสร้างของแฟลชคอนเน็คสวิตเมตริกส์ (Fast CONNECT Switch Matrix) วงจรของแฟลชคอนเน็คสวิตเมตริกส์จะมีสายสัญญาณเชื่อมต่อไปยังฟังก์ชันบล็อกโดยในฟังก์ชันบล็อกหนึ่ง ๆ จะมีสายจากแฟลชคอนเน็คสวิตเมตริกส์จำนวน 36 เส้น การทำงานของวงจรจะเป็นตัวป้อนกลับเข้าไปยังวงจรในส่วนฟังก์ชันบล็อกเพื่อสร้างเป็นวงจรลอจิกเมื่อถูกโปรแกรม ตามที่ได้ออกแบบวงจรไว้ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของแฟลชคอนเน็คสวิตเมตริกส์ [11]

2.4.4 โครงสร้างของวงจรในส่วนของไอโอบล็อก (I/O Block) เป็นวงจรส่วนสุดท้ายที่ต่อเชื่อมจากแมคโครเซลล์ไปยังขา I/O ของตัวชิพ วงจรในส่วนของไอโอบล็อก จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วน คืออินพุตบัฟเฟอร์ (Input Buffer) ทำหน้าที่รับและปรับสภาพสัญญาณลอจิกที่ป้อนเข้าที่ขา I/O ของ CPLD เอาท์พุตบัฟเฟอร์ ทำหน้าที่ควบคุมการส่งค่าสัญญาณลอจิกออกทางขา I/O ของ CPLD วงจรส่วนนี้สามารถควบคุมค่าสโลว์เรทและ ค่าโกลเบิลไตรสเตจ (Global Tri-state: GTS) และเอาท์พุตเอนเอเบิล (Output Enable: OE) ที่ต่อสัญญาณควบคุมมาจากโปรดักต์สโตนได้ โดยตรงที่ขา I/O ยังมีวงจรควบคุมพูลอัพรีซิสเตอร์ (Pull-up Resistor) ซึ่งต่ออยู่กับ Vcc ซึ่งมีหน้าที่กำหนดให้ขา I/O เกิดพูลอัพ ให้เป็นลอจิก “1” เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนขณะที่มีการ โปรแกรมตัวชิพ และวงจรยูเซอร์โปรแกรมเมเบิลกราวด์ (User- Programmable Ground) มีไว้เพื่อให้ผู้ใช้งานโปรแกรมให้ลักราวด์ กรณีที่ขา I/O ไม่ได้ถูกใช้งาน ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของไอโอบล็อก [11]

2.5 ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องนับรังสี

ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องนับรังสีกับคอมพิวเตอร์เป็นระบบที่ค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน ดังนั้นในการพัฒนาจึงได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มาประยุกต์ใช้เพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการพัฒนา เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กที่มีขีดความสามารถในการทำงานที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ กล่าวคือภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู (CPU) หน่วยความจำ (Memory) และอินพุต/เอาต์พุตพอร์ต (Input/Output Port) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน อีกทั้งสามารถใส่ชุดคำสั่งให้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ ด้วยรูปแบบการเขียนโปรแกรมภาษาต่างๆ ตามความถนัด ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการควบคุมและเชื่อมโยงสัญญาณของระบบที่จะทำการพัฒนา โดยจะเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตของบริษัทไมโครชิปจำกัด เบอร์ PIC16F877A โดยการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์นี้

มีการแยกหน่วยความจำโปรแกรม (Program memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data memory) ออกจากกัน มีบัส (Bus) สำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าซีพียูที่อยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วยบัสแอดเดรสขนาด 13 บิต และบัสข้อมูลคำสั่งขนาด 14 บิต ในขณะที่บัสติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ภายในเป็นแบบ 8 บิต



รูปที่ 2.12 แผนภาพการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ [5]

2.5.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ PIC16F877A

- มีซีพียูเป็นแบบริสค์ (RISC :Reduce Instruction-Set Computer) มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
- สามารถกระทำคำสั่งโดยใช้สัญญาณนาฬิกาเพียงหนึ่งลูก ยกเว้นคำสั่งการกระโดด
- มีความถี่สูงสุดของสัญญาณนาฬิกาที่ทำงานได้คือ 20 MHz
- มีหน่วยความจำโปรแกรม (FLASH program memory) 8 กิโลเวิร์ด (kilo word)
- มีหน่วยความจำแรมข้อมูล (RAM data memory) หรือรีจิสเตอร์ 368 ไบต์
- มีหน่วยความจำข้อมูลอีพรอม (EEPROM data memory) 256 ไบต์
- ตอบสนองแหล่งกำเนิดสัญญาณขัดจังหวะ (Interrupt) ได้ 14 แหล่ง
- มีสแต็ก (Stack) 8 ระดับ
- มีวงจรเพาเวอร์อนรีเซต (POR), เพาเวอร์อัปไทมเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์อัปไทมเมอร์ (OST)
- มีวงจรวอตช์ดีอกไทมเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
- เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล และเลือกระดับการป้องกันได้
- มีโหมดประหยัดพลังงาน
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5 โวลต์ได้

- แก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการ ICD (In-circuit Debugger) ผ่านพอร์ตเพียง 2 ขา
- มีซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
- ใช้ไฟเลี้ยง +2 โวลต์ ถึง +5.5 โวลต์
- ใช้กระแสซิงก์และซอร์สของพอร์ต 25 มิลลิแอมป์
- ใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลด น้อยกว่า 2 มิลลิแอมป์ ที่ +5 โวลต์ และสัญญาณนาฬิกา 4 MHz, 20 μ A ที่ไฟเลี้ยง +3 V และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz น้อยกว่า 1 μ A ในโหมดประหยัดพลังงาน
- มีไทมเมอร์ 3 ตัว คือ ไทมเมอร์ 0 ขนาด 8 บิต มีปริสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตในตัว ไทมเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต พร้อมปริสเกลเลอร์ และไทมเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต มีปริสเกลเลอร์ โพสท์สเกลเลอร์และรีจิสเตอร์คาบเวลา (Period register) ขนาด 8 บิตในตัว
- มีโมดูล CCP 2 ชุด โดยส่วนตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ (Capture) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 12.5 นาโนวินาที (ns) ส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ (Compare) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 200 นาโนวินาที วงจร PWM มีความละเอียดสูงสุด 10 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิต
- มีวงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และบัส I²C
- มีวงจรถูกส่งข้อมูลอนุกรม (USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส 9 บิต
- มีวงจรถูกจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (บราวน์เอาต์ดีเท็คชั่น : Brown-out detection) เพื่อการรีเซตซีพียู หรือเรียกว่า บราวน์เอาต์รีเซต (Brown-out reset, BOR)

2.6 ระบบการเชื่อมโยงสัญญาณภายในเครื่องนับรังสี

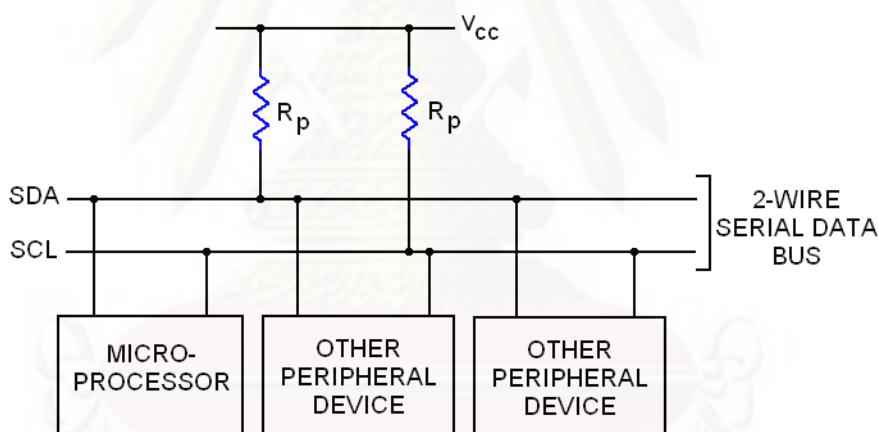
การเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องมือ โดยทั่วไปจะมีการใช้ระบบการเชื่อมโยงสัญญาณ 2 แบบ คือ แบบอนุกรม (Serial) และแบบขนาน (Parallel)

2.6.1 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Communication)

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม คือการสื่อสารรับส่งข้อมูลที่ละบิตต่อเนื่องกัน ซึ่งเหมาะสำหรับการสื่อสารข้อมูลระยะไกล เนื่องจากใช้สายสัญญาณเพียง 2 ถึง 3 เส้นเท่านั้น แต่ความเร็วจะน้อยกว่าการรับส่งข้อมูลแบบขนาน การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมสามารถแบ่งออกตามลักษณะของการทำงานได้เป็น 2 แบบ คือ

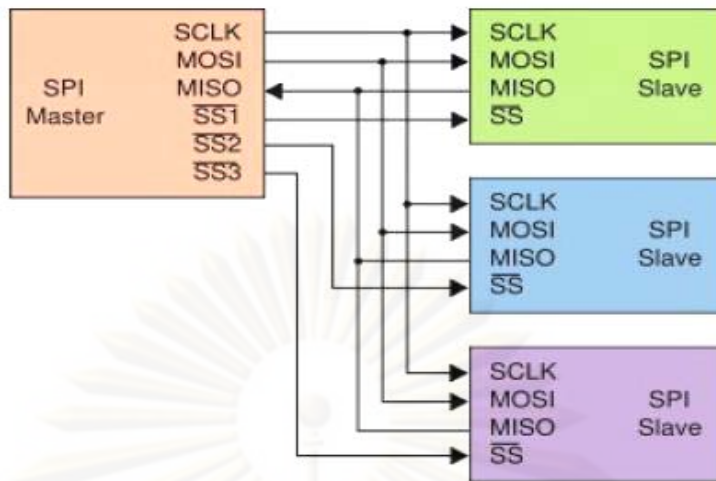
2.6.1.1 แบบซิงโครนัส (Synchronous) เป็นการรับส่งข้อมูลที่ต้องมีสัญญาณนาฬิกา มาช่วยในการเข้าจังหวะทั้งของอุปกรณ์ส่งและอุปกรณ์รับข้อมูล จึงทำให้การรับส่งข้อมูลมีความเร็ว และความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลสูง ตัวอย่างการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส เช่น

ก). การรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบ I²C Bus (Inter Integrate Circuit Bus) โดยทั่วไประบบบัสแบบ I²C เป็นระบบบัสที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อเพื่อรับส่งข้อมูลระหว่าง อุปกรณ์กับอุปกรณ์เข้าด้วยกัน ซึ่งจะใช้สายสัญญาณในการรับส่งข้อมูลเพียง 2 เส้น คือ สัญญาณนาฬิกาแบบอนุกรม (serial clock :SCL) และข้อมูลอนุกรม (serial data :SDA) โดยสายสัญญาณทั้ง 2 เส้นนี้สามารถทำงานได้ 2 ทิศทางและขณะใช้งานสายสัญญาณทั้งสองจะต้องต่อกับตัวต้านทาน Pull-Up ไว้ เพื่อให้สถานะของบัสมีสถานะเป็นบัสว่างหรือ “1” ทั้งคู่ แผนภาพการทำงานของระบบบัสแบบ I²C แสดงได้ดังรูปที่ 2.13 โดยอุปกรณ์ต่างๆ ที่ถูกออกแบบมาเชื่อมต่อกับระบบบัสแบบนี้จะต้องมีวงจรเอาท์พุท ให้เป็นแบบโอเพนเดรน (Open Drain) หรือโอเพนคอลเล็กเตอร์ (Open Collector) เสมอ เพื่อให้สามารถต่ออุปกรณ์ร่วมกันในระบบบัสเดียวกันได้มากกว่าหนึ่ง อุปกรณ์



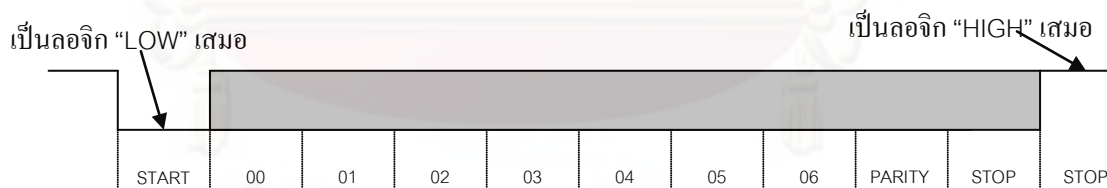
รูปที่ 2.13 ลักษณะโครงสร้างการต่อบัสแบบ I²C [5]

ข). การรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบ SPI (Serial Peripheral Interface Bus) เป็นรูปแบบการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมประเภทซิงโครนัส (Synchronous Serial Data Link) กล่าวคือในการทำงานต้องใช้สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูลระหว่างกันเหมือนกับระบบบัสแบบ I²C แต่มีความแตกต่างกับตรงที่ระบบบัสแบบ SPI มีการรับส่งข้อมูลสองทิศทางแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) โดยข้อมูลที่ส่งไปและรับกลับจะใช้สายสัญญาณคนละเส้น นอกจากนี้ยังสามารถทำงานแบบเป็นตัวหลัก (Master) และตัวลูกข่าย (Slave) ได้ ซึ่งตัวลูกข่ายสามารถต่อพ่วงได้มากกว่า 1 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แผนภาพการส่งข้อมูลแบบ SPI แบบ Master/Slave

2.6.1.2 แบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) เป็นการรับส่งข้อมูลโดยไม่ต้องการสัญญาณนาฬิกาใช้ในการเข้าจังหวะ ดังนั้นจึงทำให้ต้องมีการกำหนดรูปแบบของโปรโตคอล (Protocol) ที่จะใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ส่งและอุปกรณ์รับข้อมูลที่เหมาะสมก่อนเริ่มใช้งานอันได้แก่ อัตราบอด (Baud rate) ขนาดข้อมูล (Data bit) รูปแบบการตรวจสอบพาริตี (Parity bit) และจำนวนของบิตหยุด (Stop bit) เป็นต้น สำหรับโครงสร้างของข้อมูลที่ทำการรับส่งจะมีลักษณะเป็นบล็อกหรือเฟรมซึ่งแต่ละบล็อกประกอบด้วยบิตเริ่มต้น (Start Bit) บิตข้อมูลขนาด 7 ถึง 8 บิต และบิตหยุด ซึ่งคือบิตสิ้นสุดการรับส่งข้อมูล ในบางกรณีอาจจะมีการเพิ่มบิตพาริตีเข้าไประหว่างบิตสุดท้ายของข้อมูลกับบิตหยุดเพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลสุดท้ายดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 รูปแบบของบิตที่ใช้สำหรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส[5]

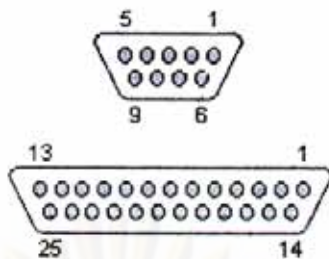
ในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้มาตรฐานพอร์ต RS-232C หัวต่อแบบดี (D-Type) จะมีอยู่ 2 ลักษณะคือแบบ 9 ขาและแบบ 25 ขา หรืออาจจะเรียกว่าดีพี9 (DB9) และดีพี25 (DB25) ตามลำดับ ซึ่งหัวต่อทั้ง 2 แบบจะมีลักษณะการทำงานของสัญญาณต่างๆ เหมือนกันแต่การจัดเรียงขาไม่เหมือนกัน สังเกตการจัดวางขาต่างๆ จากตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.16 สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้การเชื่อมโยงสัญญาณแบบอาร์เอส-232ซี (RS-232C) ในการติดต่อรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 2.1 การจัดเรียงขาสัญญาณของพอร์ต RS-232C แบบ DB9 และ DB25

อธิบายสัญญาณ	สัญญาณ	DB9 (9 ขา)	DB25 (25 ขา)
Data Carrier Detection	DCD	1	8
Receive data	Rx	2	3
Transmit data	Tx	3	2
Data Terminal Ready	DTR	4	20
Signal ground	GND	5	7
Data Set Ready	DSR	6	6
Request to Send	RTS	7	4
Clear to Send	CTS	8	5

ซึ่งชุดสัญญาณบนสายส่งสัญญาณ (Bus) ประกอบด้วย

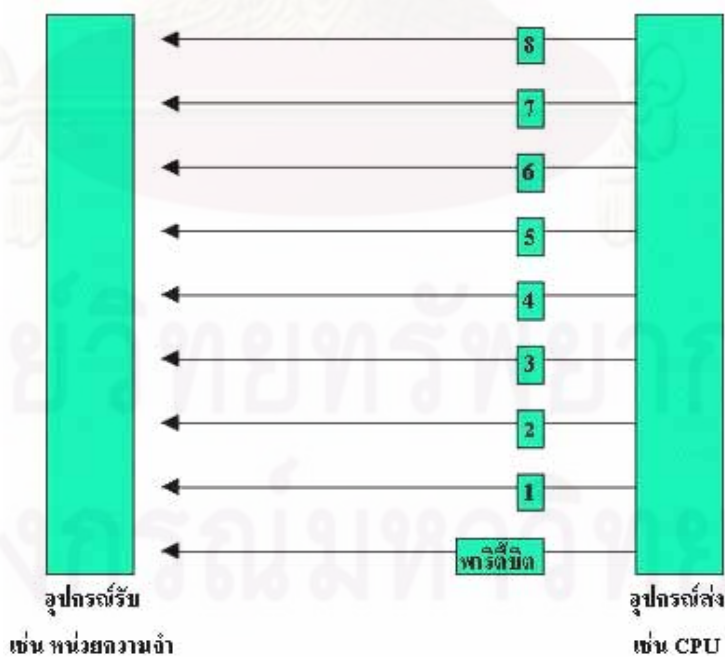
- Data Carrier Detection (DCD) เป็นสายแสดงสถานการณ์รับข้อมูลที่ส่งมาได้แล้ว เนื่องจากการสื่อสารข้อมูลอนุกรมด้วยวิธีนี้สิ้นเปลืองสายจำนวนหลายเส้น จึงไม่เหมาะกับการรับส่งสัญญาณระยะไกล
- Receive data (Rx) เป็นสายรับข้อมูลสัญญาณเข้า
- Transmit data (Tx) เป็นสายส่งข้อมูลสัญญาณออก
- Data Terminal Ready (DTR) เป็นสายแสดงสถานะการรับข้อมูลปลายทางแต่ละชุดข้อมูล
- Signal Ground (GND) เป็นสายกราวด์ของสัญญาณต้นทางและปลายทาง
- Data Set Ready (DSR) เป็นสายส่งสัญญาณตรวจสอบการเชื่อมต่อเพื่อยืนยันว่าอุปกรณ์ปลายทางพร้อมในการติดต่อ
- Request to Send (RTS) เป็นสายส่งสถานะสัญญาณความต้องการส่งข้อมูลไปปลายทาง
- Clear to Send (CTS) เป็นสายรับสถานะสัญญาณตอบรับข้อมูลจากปลายทาง



รูปที่ 2.16 การจัดขาต่างๆ ของพอร์ต RS-232C แบบ DB9 และ DB25

2.6.2 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน (Parallel communication)

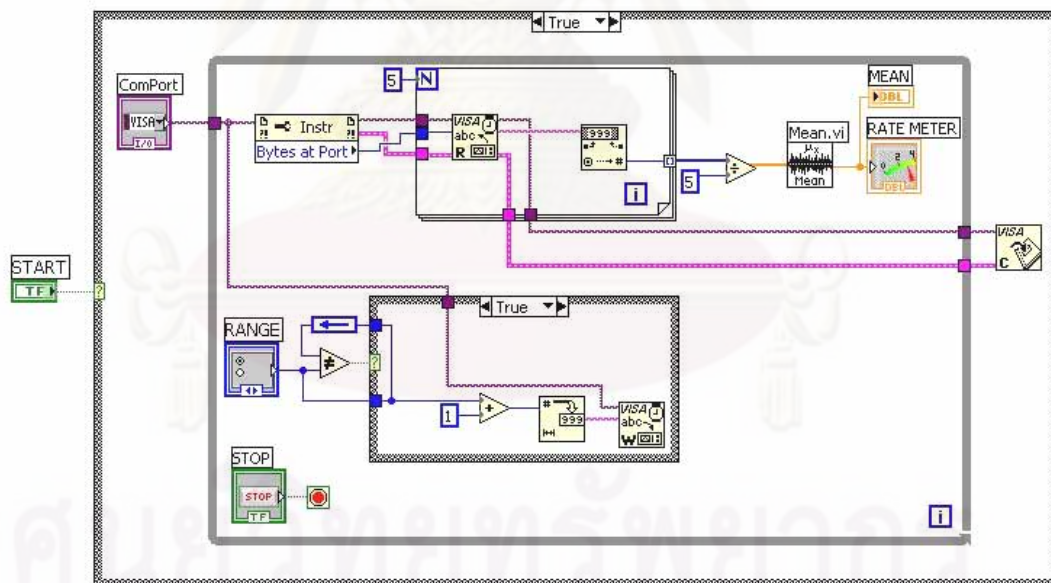
การรับส่งข้อมูลแบบขนานคือการรับส่งข้อมูลที่หลายๆ บิตพร้อมๆ กันของอุปกรณ์ ตัวอย่าง เช่น การรับส่งข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์กับหน่วยความจำ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 เป็นต้น จึงทำให้การรับส่งข้อมูลแบบขนานมีความเร็วสูงขณะทำงาน แต่ต้องใช้จำนวนสายรับส่งสัญญาณเท่ากับจำนวนบิตที่ต้องการรับส่งข้อมูลในแต่ละครั้ง เช่น ถ้าต้องการส่งค่าไบนารี 10011110 ทั้ง 8 บิต ออกไปพร้อมกันก็ต้องใช้สายส่งข้อมูลจำนวน 8 เส้น จึงทำให้การส่งข้อมูลแบบขนานไม่สามารถใช้สายที่ยาวมากได้เพราะอาจจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนตลอดจนสัญญาณข้อมูลที่อาจสูญหายไปกับความต้านทานของสายส่งได้ การรับส่งข้อมูลด้วยวิธีนี้จึงใช้กับการส่งข้อมูลในระยะทางใกล้ๆ และนอกจากจะใช้ในการรับส่งข้อมูลหลักแล้วยังสามารถใช้รับส่งข้อมูลของพาริตีบิตเพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบความผิดพลาดของการรับส่งสัญญาณข้อมูลหลักที่ปลายทางได้อีกด้วย



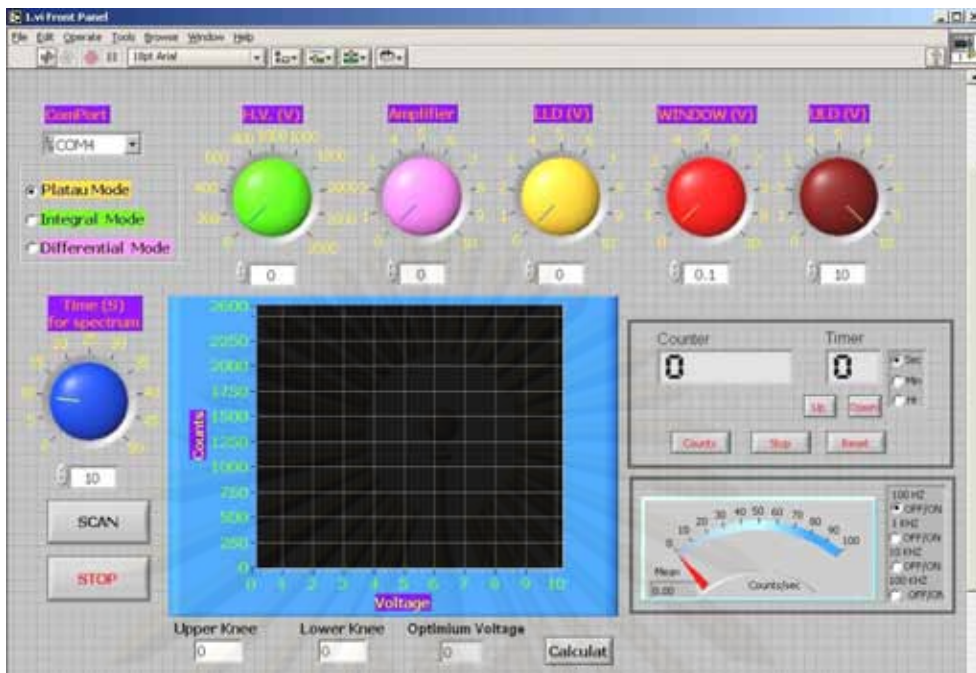
รูปที่ 2.17 แผนภาพการส่งข้อมูลแบบขนาน

2.7 โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench เป็นซอฟต์แวร์สำหรับใช้ในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ทางด้านวิศวกรรมที่มีผู้นิยมนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ณ ปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะมีลักษณะเป็นโปรแกรมเชิงกราฟิกที่มีเครื่องมือ (Tools) ช่วยในการเขียนโปรแกรมได้อย่างหลากหลาย อาทิ เช่น ปุ่มปรับ (Dial) สวิตช์เปิดปิด และกราฟแสดงผล เป็นต้น ดังนั้นจึงทำให้ง่ายและสะดวกในการใช้งาน ซึ่งขั้นตอนการเขียนโปรแกรมสามารถทำได้ง่ายเพียงแต่นำไอคอนของฟังก์ชันที่ต้องการใช้งานมาจัดวางเข้าด้วยกัน จากนั้นทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างไอคอนเข้าหากันโดยวิธีการลากสายสัญญาณ ดังตัวอย่างรูปที่ 2.18 โดยโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นด้วย LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือเรียกย่อๆ ว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือนดังแสดงในรูปที่ 2.19 จากรูปจะเห็นว่าหน้าจอที่เปรียบเสมือนเป็นหน้าปัดของเครื่องมืออยู่บนคอมพิวเตอร์ จึงทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมการทำงาน จากหน้าจอที่เห็นได้โดยตรง และทุกครั้งที่ทำการปรับเปลี่ยนค่าบนหน้าปัดโปรแกรม LabVIEW จะส่งข้อมูลที่มีความสอดคล้องกับค่าที่ปรับไปยังฮาร์ดแวร์ที่ออกแบบให้รองรับการทำงานตามที่ต้องการไว้แล้วก่อนหน้า



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างฟังก์ชันไออะแกรมของโปรแกรม LabVIEW ที่สร้างขึ้นบนคอมพิวเตอร์



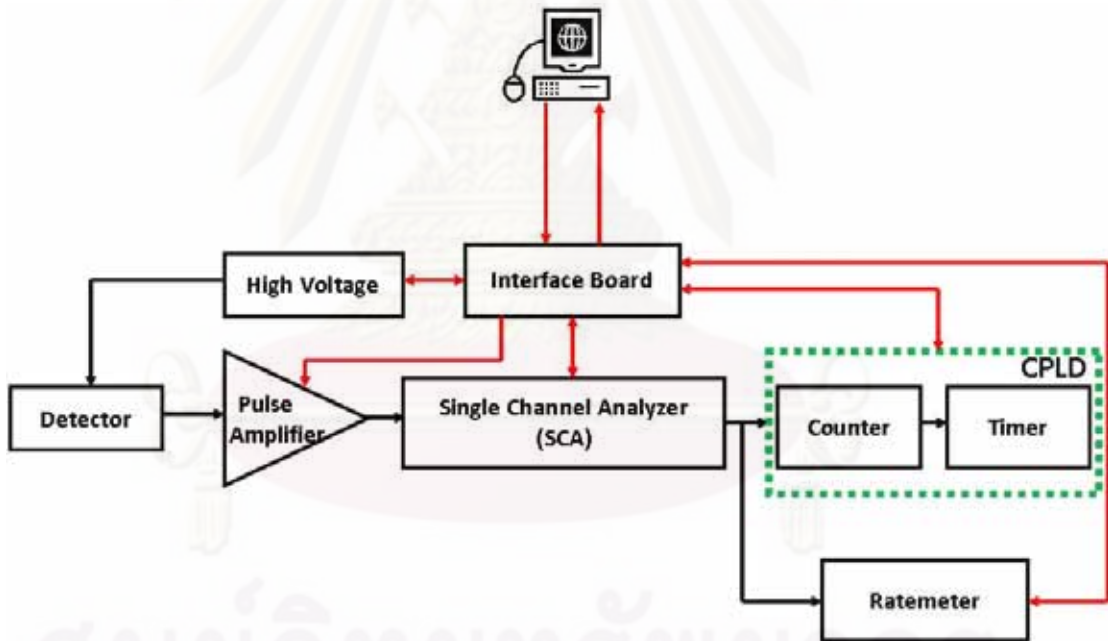
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างโปรแกรม LabVIEW ที่สร้างขึ้นบนคอมพิวเตอร์

บทที่ 3

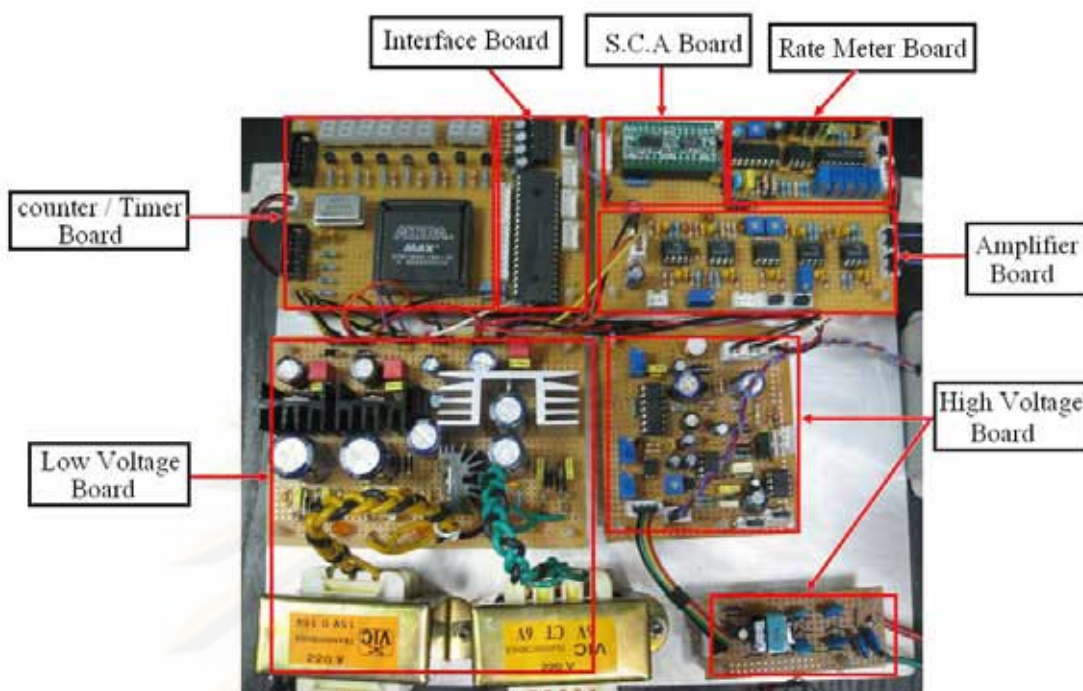
การดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อมูลพื้นฐานของระบบ

ระบบวัดนิวเคลียร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบระบบวัดรวม ซึ่งมีขนาดเล็กและใช้งานไม่จำเป็นต้องจัดระบบวัดเองทำให้มีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน โดยสามารถรองรับการจัดระบบวัดได้ 2 แบบ คือ แบบนับรวมพลังงาน และแบบนับแยกพลังงาน ซึ่งทั้งสองระบบสามารถนี้สามารถใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการควบคุมและแสดงการทำงานของเครื่องได้ เครื่องนับรังสีที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ (Low Voltage), วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (High Voltage), วงจรขยายสัญญาณพัลส์ (Pulse Amplifier), วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer, SCA), วงจรนับรังสี (Counter), วงจรตั้งเวลา (Timer), วงจรเรตมิเตอร์ (Ratemeter) และวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ (Interfaced) ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แผนภาพระบบวัดที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

3.2 การพัฒนาระบบวัดรังสี

3.2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าขนาด +15 โวลต์, -15 โวลต์, +10 โวลต์ และ +5 โวลต์ ในวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์จะประกอบไปด้วย หม้อแปลงที่เปลี่ยนศักดาไฟฟ้าจากศักดาสูงลงมาเป็นศักดาต่ำ (Step down transformer) วงจรเรียงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Rectifier) และวงจรรักษาศักดาไฟฟ้าคงที่ (Regulator) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยศักดาไฟฟ้าแต่ละค่าจะถูกจ่ายให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

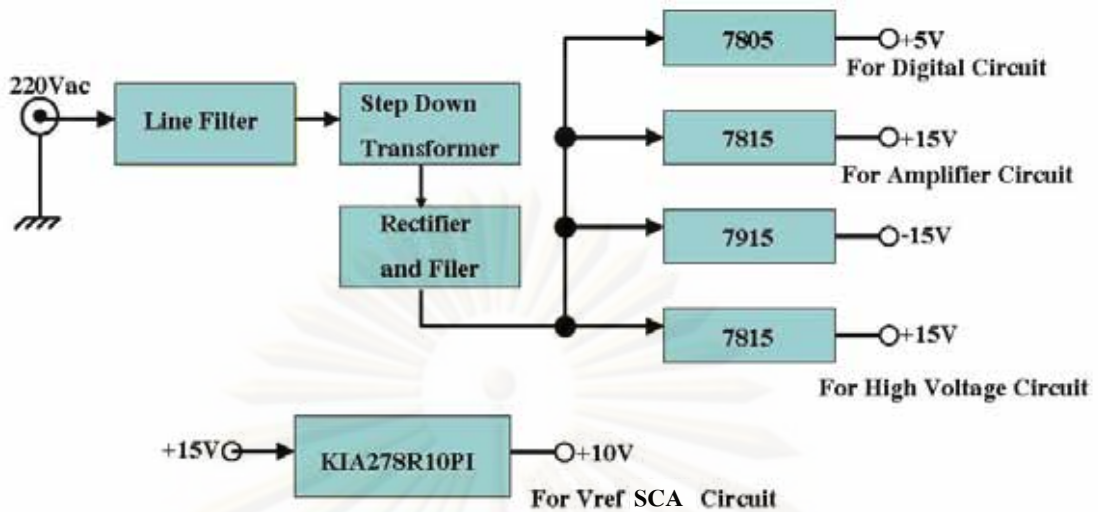
3.2.1.1 ศักดาไฟฟ้าขนาด ± 15 โวลต์ วงจรขยายสัญญาณพัลส์, วงจรเรตมิเตอร์ และ วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

3.2.1.2 ศักดาไฟฟ้าขนาด +15 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

3.2.1.3 ศักดาไฟฟ้าขนาด +5 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว, วงจรเรตมิเตอร์, วงจรนับรังสี, วงจรตั้งเวลา และวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

3.2.1.4 ศักดาไฟฟ้าขนาด +10 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับศักดาไฟฟ้าอ้างอิงของวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

ซึ่งวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์แสดงดังรูปที่ 3.4



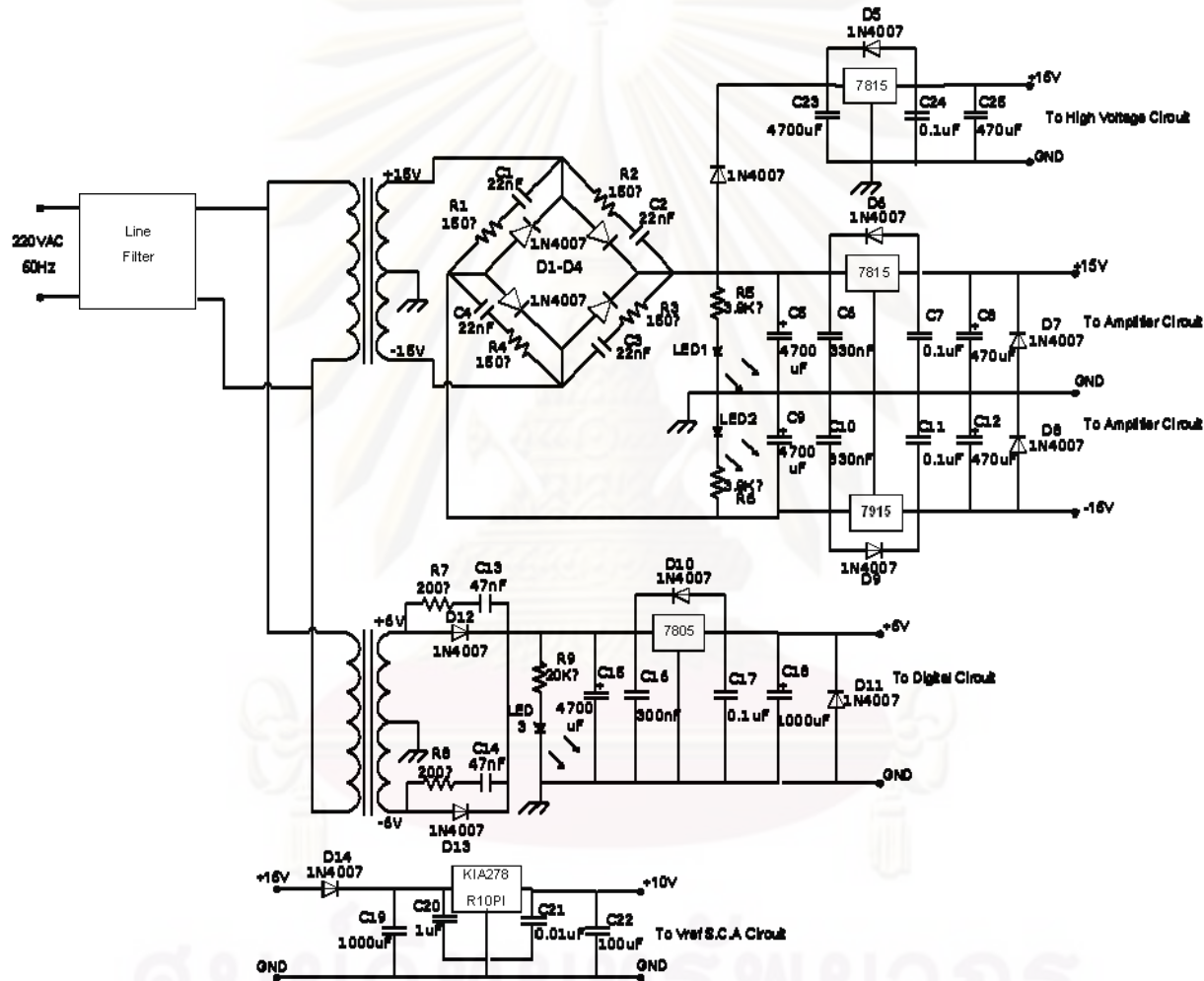
รูปที่ 3.3 แผนภาพการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์

3.2.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ที่พัฒนาขึ้นมีหลักการทำงานที่อาศัยโครงสร้างการทำงานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (FLYBACK Converter) โดยใช้หม้อแปลงสวิตชิงความถี่สูง ที่มีสัปดาห์ไฟฟ้าอินพุตเป็น +15 โวลต์ แล้วแปลงเป็นไฟฟ้าสัปดาห์ที่ปรับค่าสัปดาห์ไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 - 2000 โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้ 1 มิลลิแอมป์ ซึ่งวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ ประกอบด้วย วงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator) วงจรซีรี่ส์เรกูเลเตอร์ (Series Regulator) หม้อแปลงแบบเพิ่มสัปดาห์ไฟฟ้า (Stepup Transformer) วงจรทวีคูณสัปดาห์ไฟฟ้า (Voltage Multiplier) วงจรกรองกระแส (Filter) วงจรเปรียบเทียบสัปดาห์ไฟฟ้า (Comparator) และวงจรรักษาสัปดาห์ไฟฟ้าคงที่ (Driver) ดังแสดงในรูปที่ 3.5

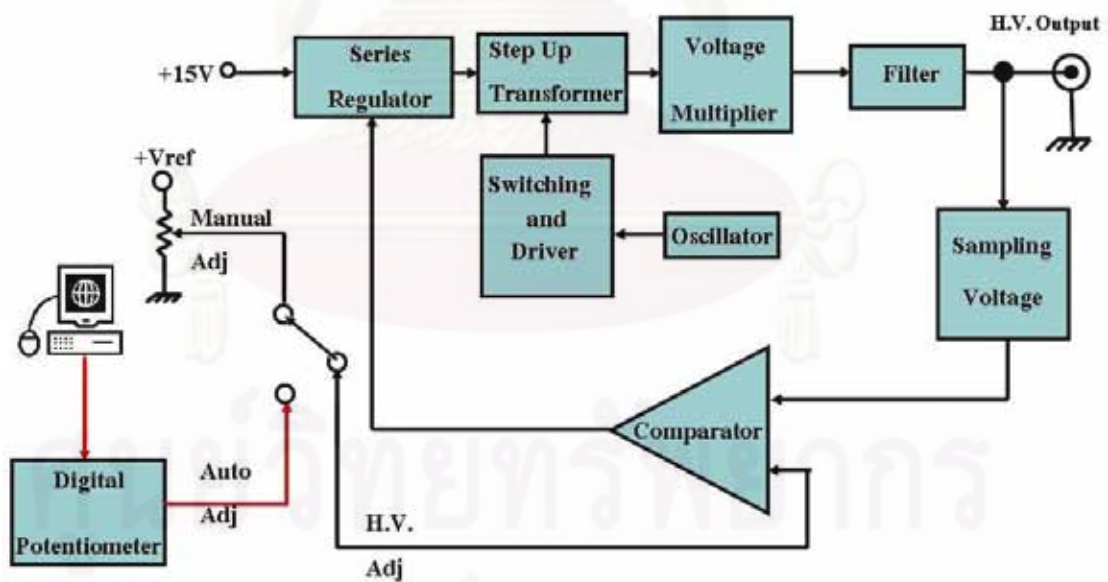
ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

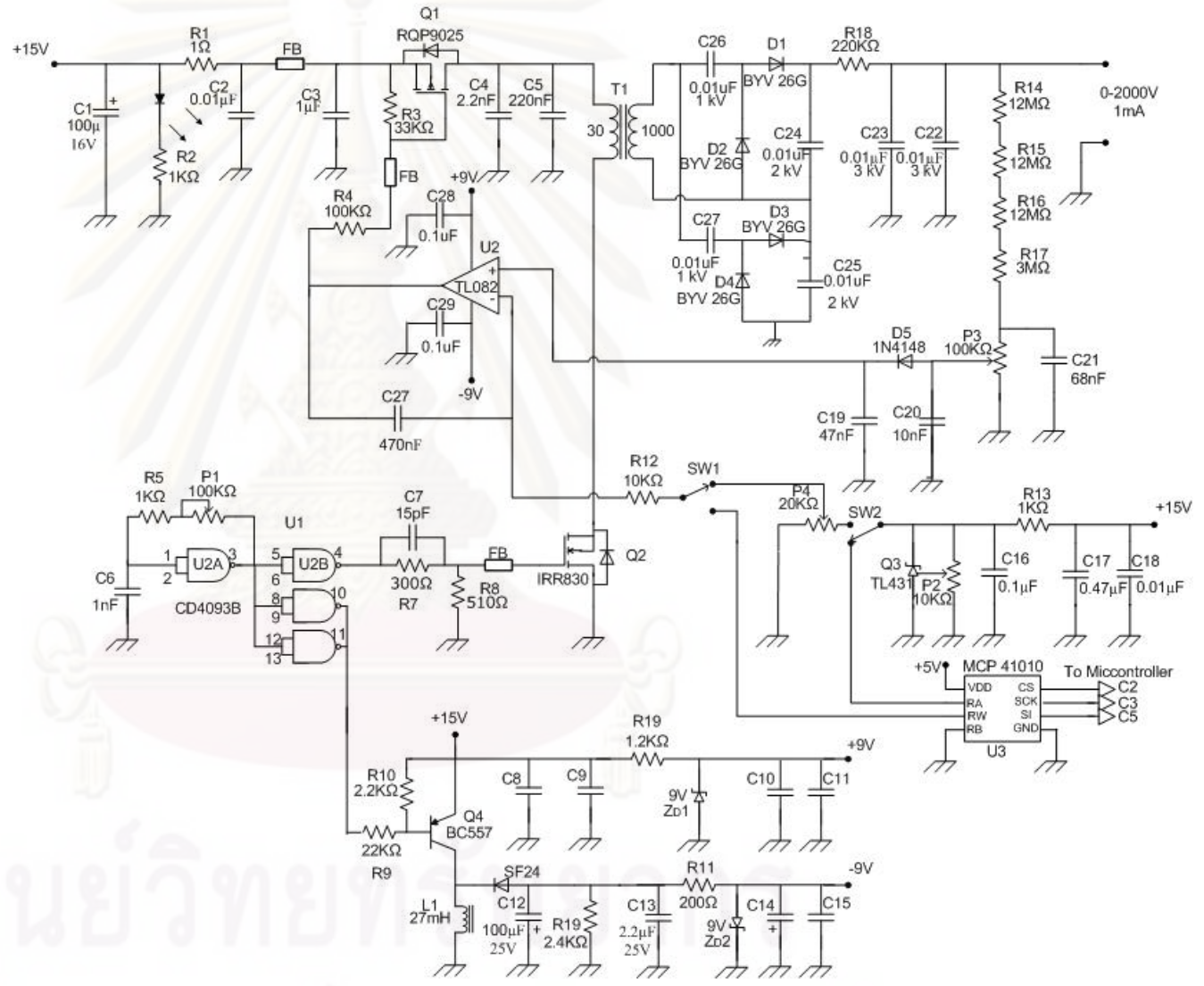


รูปที่ 3.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์สูงแสดงดังรูปที่ 3.6 ไอซี U2A และ U2B ทำหน้าที่เป็น วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) กำเนิดความถี่ 38.5 kHz (duty cycle 50%) เพื่อจ่ายให้มอสเฟต Q2 ที่ใช้ขับหม้อแปลงแบบเพิ่มศักดาไฟฟ้า (T1) ที่อัตรารอบ 1:33 ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำระหว่าง ขดลวดปฐมภูมิ และทุติยภูมิ เกิดเป็นศักดาไฟฟ้ากระแสสลับที่สูงขึ้นทางด้านทุติยภูมิ ซึ่ง ศักดาไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้นี้จะถูกทวีศักดาไฟฟ้าเป็น 4 เท่า โดยวงจรทวีศักดาไฟฟ้า พร้อมทั้ง เปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นก็จะถูกกรองกระแสให้เรียบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ R17, C22 และ C23 ไฟฟ้าศักดาสูงถูกแบ่งด้วยอัตราลดทอนของความต้านทาน 1000:1 ด้วย R14, R15, R16 และ P3 ส่งเข้าวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าที่ไอซี U2 เปรียบเทียบกับค่าศักดาไฟฟ้า อ้างอิงที่สามารถปรับได้ด้วย P4 หรือปรับจากคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต RS-232C ได้โดยผ่านไอซี U3 เพื่อทำการปรับค่าไฟฟ้าศักดาสูงและควบคุมศักดาไฟฟ้าให้คงที่ ส่วนค่าเปรียบเทียบที่ได้จากไอซี U2 จะถูกนำไปใช้ควบคุมการทำงานของซีร์สเรกกูเลเตอร์ Q1 ซึ่งทำการควบคุมกระแสที่ไหลผ่าน Q1 ให้สอดคล้องกับความต้องการของโหลดที่ด้านทางออกของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง และ สำหรับ Q4 ถูกออกแบบให้ทำงานเป็นสวิทช์เพื่อใช้ควบคุมการสร้างศักดาไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 9 โวลต์ ขณะที่ศักดาไฟฟ้าบวก 9 โวลต์ได้จากวงจรโวลต์เตจเรกกูเลเตอร์ (Voltage Regulator) ในส่วนของ R 19 และ ZD1 ซึ่งแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 9 โวลต์ นี้จะถูกใช้เป็นแหล่งจ่าย ให้กับวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้า (U2)



รูปที่ 3.5 แผนภาพการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

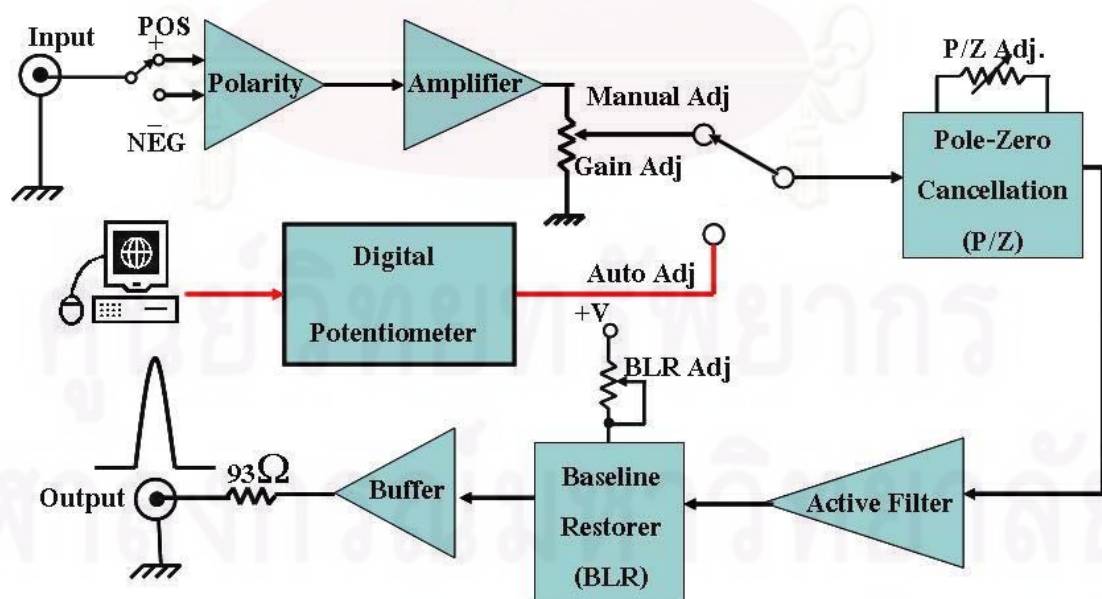


รูปที่ 3.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

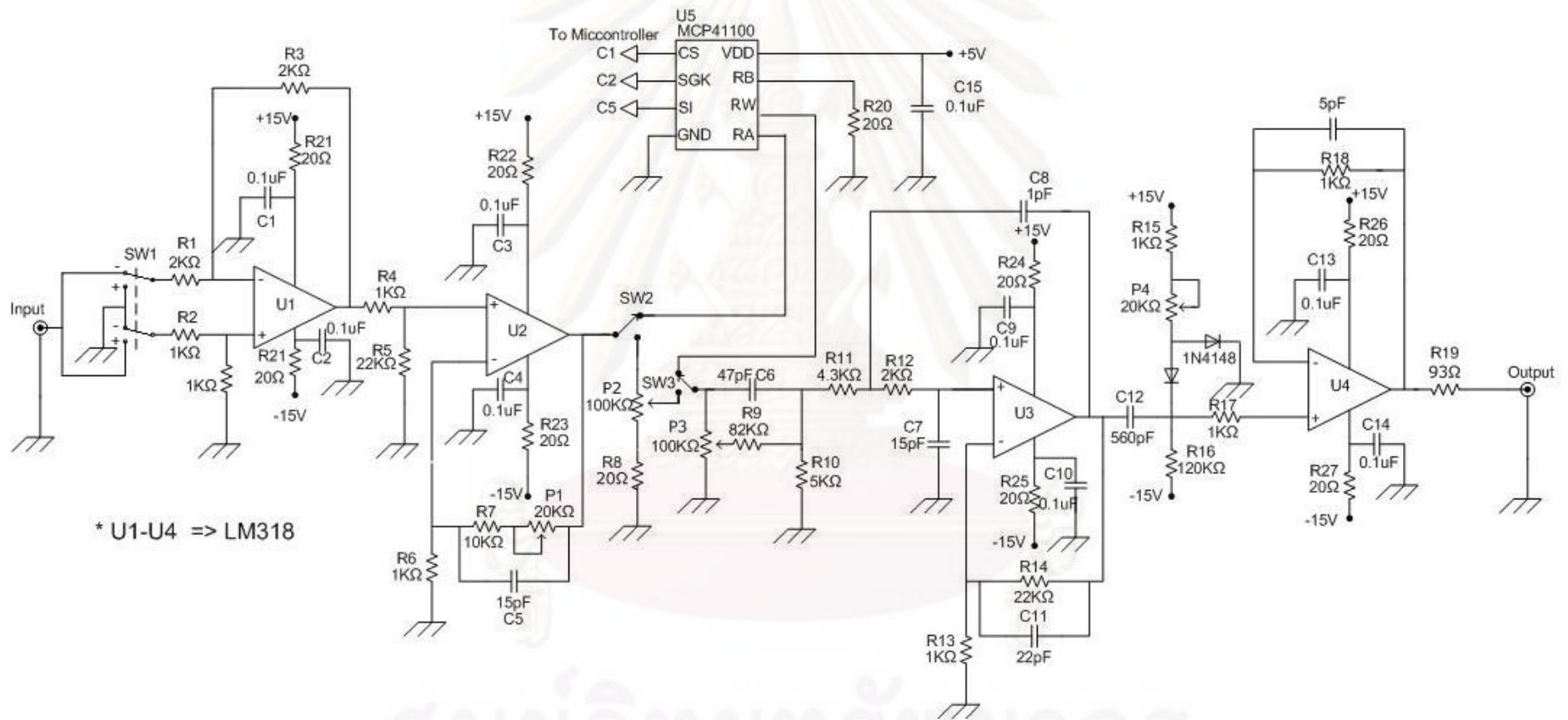
3.2.3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์

วงจรขยายสัญญาณพัลส์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณพร้อมทั้งปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์ และกรองสัญญาณรบกวนที่มาจากหัววัดรังสีให้ได้สัญญาณทางออกพร้อมที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไป ประกอบด้วยวงจรเลือกโพลาริตี (Polarity) วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) วงจรลบล้างโพลซิริโร (Pole-Zero Cancellation) วงจรปรับรูปสัญญาณ (Active Filter) และวงจรปรับสัญญาณสู่เส้นฐานศูนย์ (Baseline Restorer) ดังแสดงในรูปที่ 3.7

วงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่ออกแบบขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าวงจรขยายสัญญาณพัลส์ได้ออกแบบให้สามารถเลือกปรับโพลาริตีของสัญญาณที่ไอซี U1 เพื่อรองรับสัญญาณเอาท์พุทจากวงจรขยายสัญญาณส่วนหน้าของหัววัดรังสีชนิดต่างๆ สัญญาณพัลส์จะถูกส่งมาทำการขยายสัญญาณที่ไอซี U2 ที่ต่อขยายสัญญาณแบบอินเวอร์ตจึงสามารถปรับอัตราขยายแบบต่อเนื่องได้สูงสุด 100 เท่า โดยสามารถปรับจากตัวต้านทางปรับค่าได้ (P1) หรือปรับจากคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต RS-232C ได้โดยผ่านไอซี U5 และส่งต่อไปยังวงจรลบล้างโพลซิริโร (Pole-Zero Cancellation, P/Z) เพื่อปรับแก้การเกิดอันเดอร์ชูด (Undershoot) และโอเวอร์ชูด (Overshoot) ของสัญญาณ สัญญาณพัลส์จะถูกลดสัญญาณรบกวนและปรับแต่งรูปสัญญาณด้วยวงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟ (Active Filter) ที่ไอซี U4 จากนั้นสัญญาณพัลส์จะถูกปรับฐานของสัญญาณพัลส์ให้กลับสู่ศูนย์ด้วยวงจรปรับสัญญาณสู่เส้นฐานศูนย์ (Baseline Restorer, BLR) สัญญาณพัลส์ที่ผ่านการปรับแก้ฐานสัญญาณถูกส่งผ่านให้วงจรบัฟเฟอร์ไอซี U4 เพื่อป้องกันการโหลดสัญญาณเมื่อส่งสัญญาณไปยังวงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดียว



รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรขยายสัญญาณพัลส์

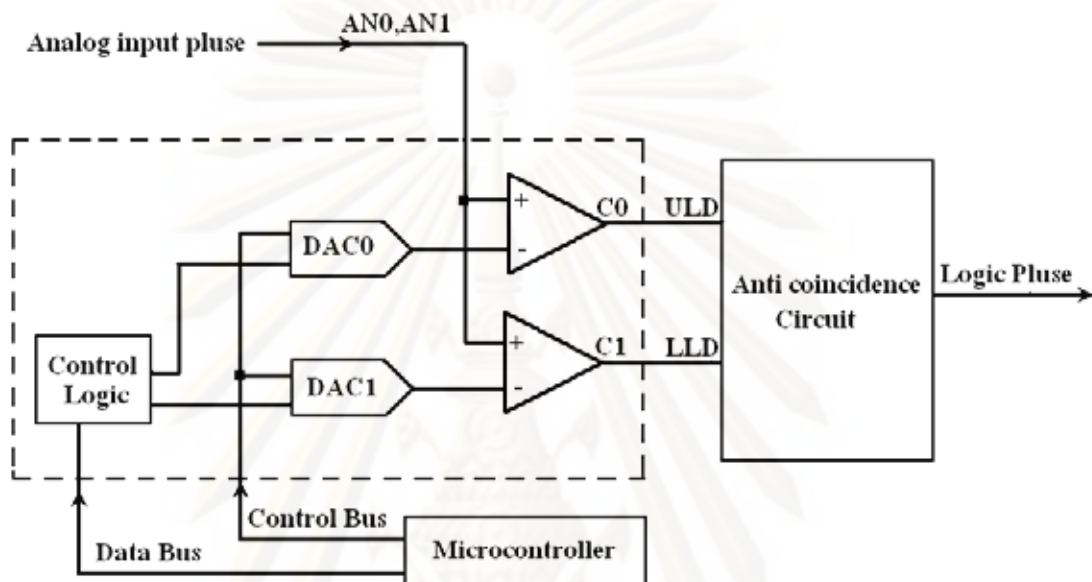


* U1-U4 => LM318

รูปที่ 3.8 วงจรขยายสัญญาณพัลส์

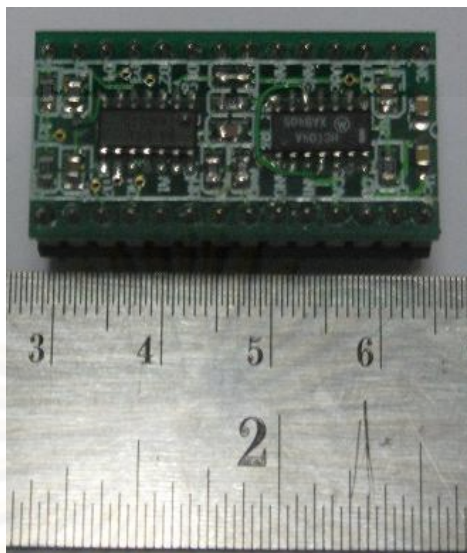
3.2.4 วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวทำหน้าที่รับสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์มาวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ และเปลี่ยนรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์เป็นสัญญาณลอจิกพัลส์ ที่มีความกว้าง 500 นาโนวินาที เพื่อป้อนให้กับวงจรมับรังสีหรือวงจรถมิตเตอร์ แผนภาพการทำงานดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แผนภาพการทำงานของวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

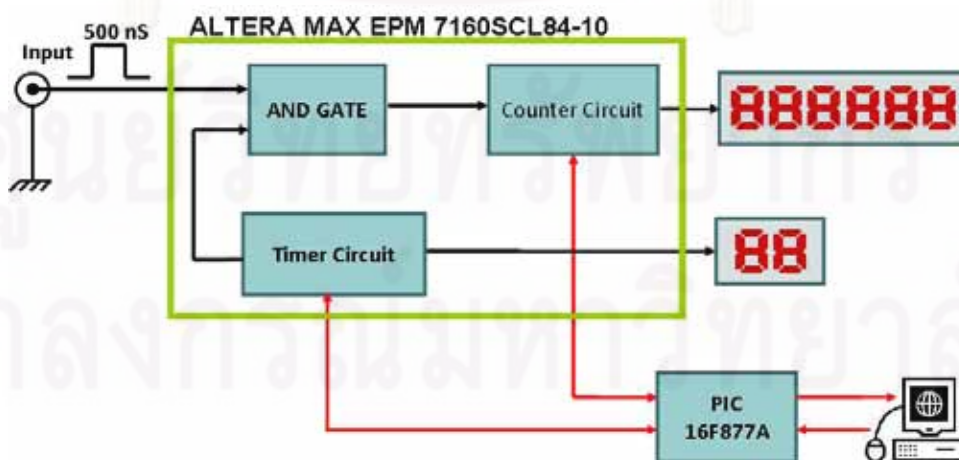
จากรูปที่ 3.9 โดยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ วงจรดิสคริเมเนเตอร์ชนิดโปรแกรมได้ 2 ระบบ และวงจรแอนติโคอิดินซิเดนซ์ (Anti coincidence) ในส่วนของวงจรถมิตเตอร์เลือกใช้ไอซีที่สามารถโปรแกรมค่าศักคาไฟฟ้าได้โดยรับข้อมูลควบคุมระดับดิสคริเมเนเตอร์ด้านต่ำและระดับ ดิสคริเมเนเตอร์ด้านสูงขนาด 8 บิต จากไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้สามารถสร้างช่องวิเคราะห์สัญญาณพัลส์ได้ 256 ช่อง และค่าศักคาไฟฟ้าอ้างอิงให้ไอซีเป็น 10 โวลต์ ดังนั้นความละเอียดสำหรับช่องวิเคราะห์สัญญาณความสูงพัลส์หรือหน้าต่าง (Window) สามารถปรับต่ำได้ถึง 40 มิลลิโวลต์ สัญญาณพัลส์จะถูกคัดเลือกโดยวงจรแอนติโคอิดินซิเดนซ์โดยจัดวงจรด้วยเกตแบบ NAND และเกตแบบ NOT เพื่อคัดเลือกสัญญาณ SCA Out เฉพาะสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่มีความสูงของพัลส์อยู่ในช่วงของหน้าต่าง (Window) ที่กำหนดเท่านั้น แผนวงจรวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวแสดงดังรูปที่ 3.10



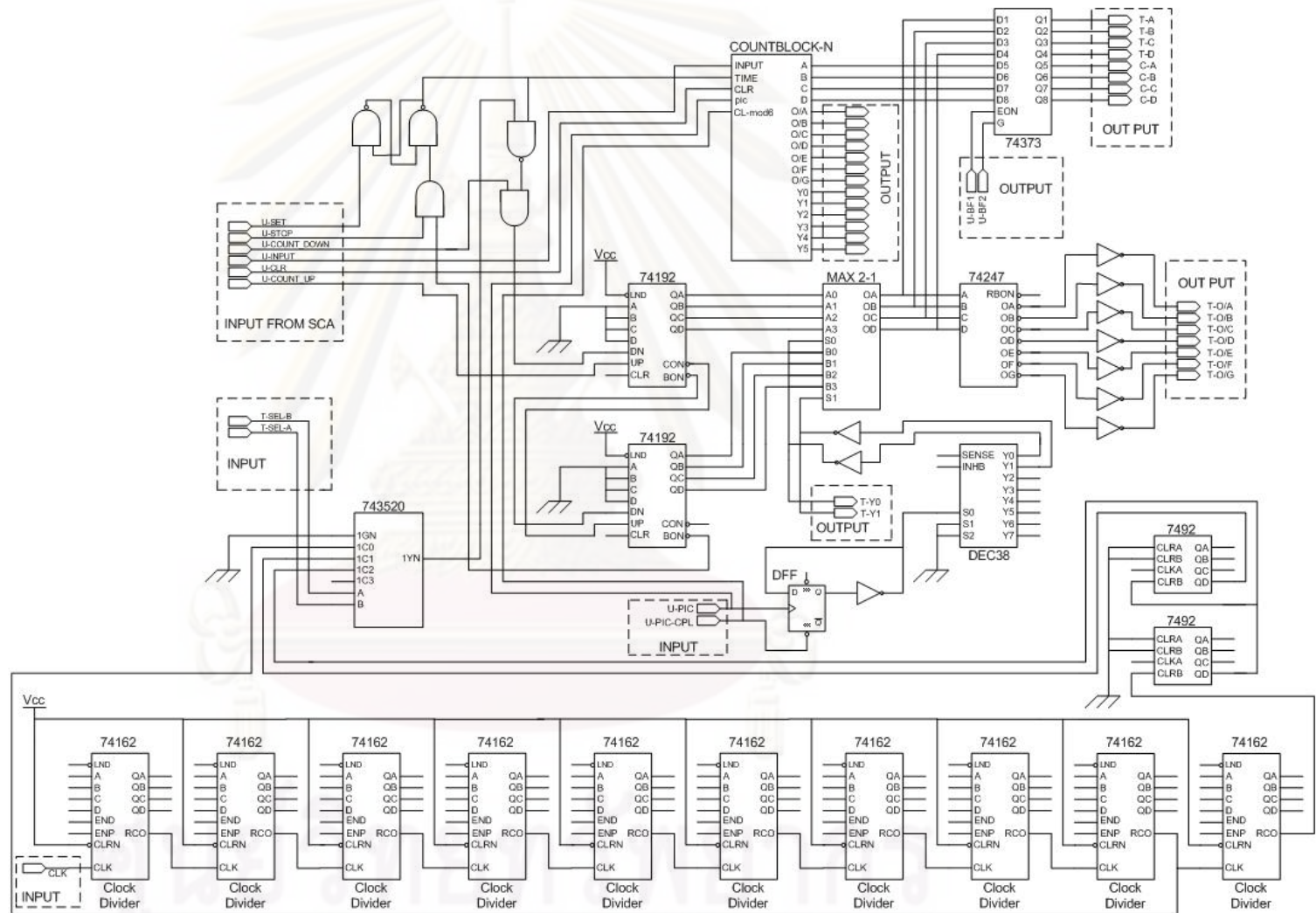
รูปที่ 3.10 แผงวงจรวิเคราะห์ความสูงพลังงานแบบช่องเดียว

3.2.5 วงจรนับรังสีและวงจรตั้งเวลา

วงจรรับรังสีและวงจรตั้งเวลาได้ถูกออกแบบให้อยู่ภายในชิปไอซี CPLD ทำหน้าที่นับสัญญาณลอจิกจากวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดียวพร้อมทั้งตั้งเวลาในการนับ โดยมีอุปกรณ์แสดงผลที่เช็กเมนต์ 7 ส่วน (7-Segment) ที่มีจำนวน 6 หลัก สามารถนับรังสีได้ตั้งแต่ 0-999,999 cps สำหรับแสดงค่าของการนับรังสี และเช็กเมนต์ 7 ส่วน (7-Segment) ที่มีจำนวน 2 หลัก แสดงค่าเวลาในการนับรังสี สามารถตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 1-99 วินาที, 1-99 นาที และ 1-99 ชั่วโมง การนับวัดปริมาณรังสีจะผ่านมาทางแอนดเกต (AND GATE) ที่มีวงจร Timer ทำหน้าที่ตั้งเวลาในการนับ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าอัตรานับวัดรังสีเพื่อส่งไปแสดงบนคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต RS-232C และส่งค่าเพื่อไปควบคุมวงจรตั้งเวลา วงจรออกแบบนับรังสีและวงจรตั้งเวลา ได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรรับรังสีและตั้งเวลา

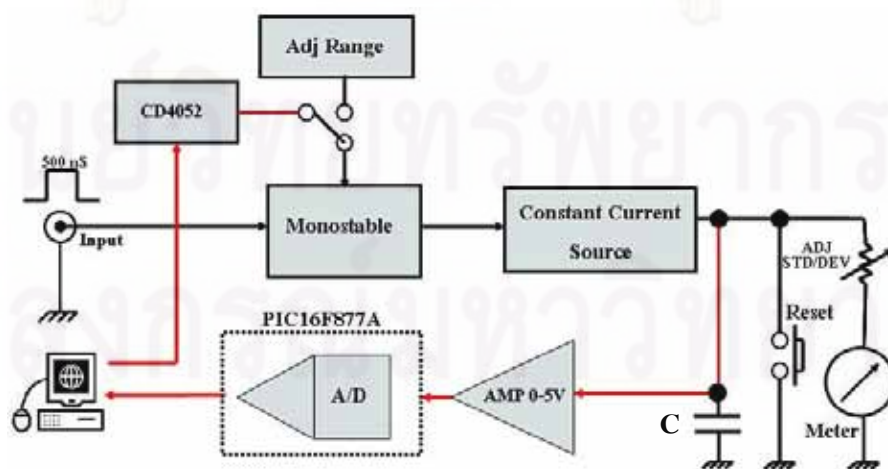


รูปที่ 3.12 วงจรนับรังสีและวงจรตั้ง

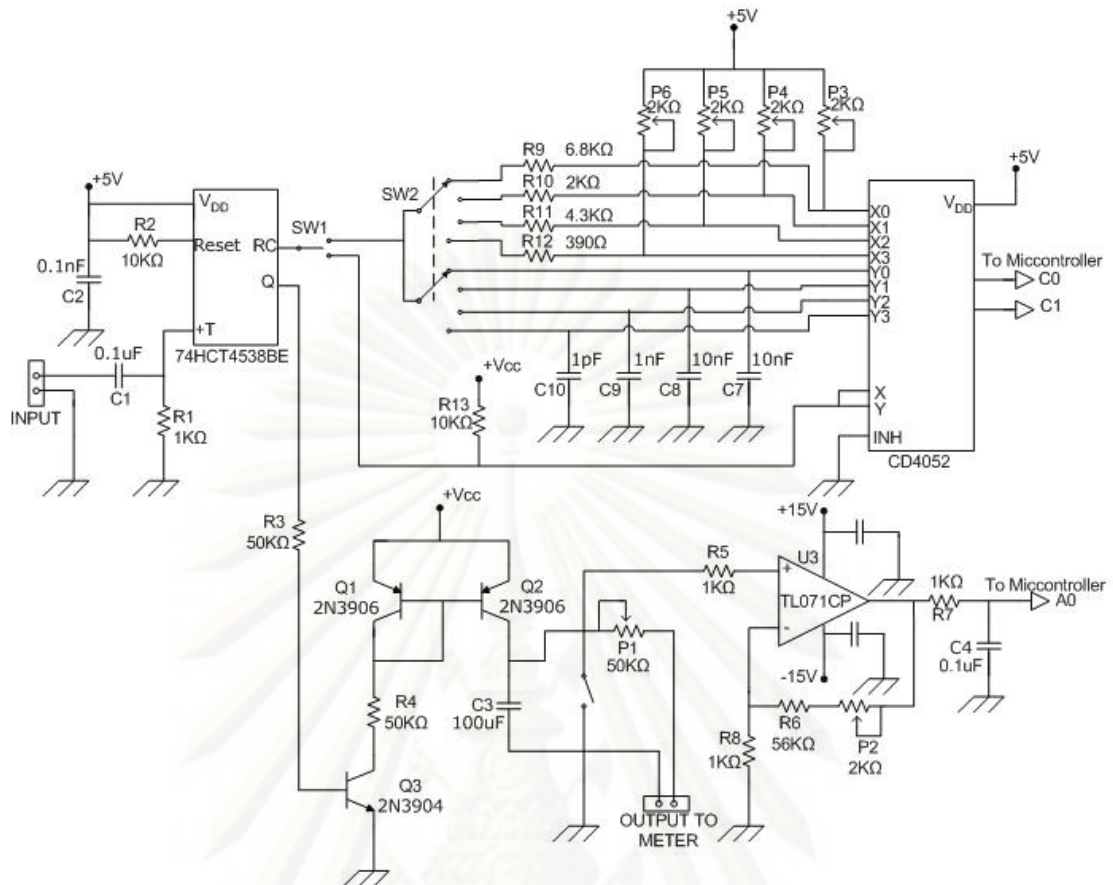
3.2.6 วงจรเรตมิเตอร์

วงจรเรตมิเตอร์ออกแบบให้สามารถเปลี่ยนสัญญาณลอจิกพัลส์ของอัตรานับรังสีเฉลี่ยในหน่วยจำนวนนับต่อวินาที (Counts/sec, cps) ให้เป็นค่าศักดาไฟฟ้าที่แปรผันตรงกับอัตรานับรังสี ซึ่งประกอบด้วยวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Monostable Multivibrator) ที่สามารถปรับค่าคงตัวเวลาได้ด้วยวงจรอาร์ซี (Adjustable RC-Time Constant) วงจรแหล่งจ่ายกระแสคงที่ (Constant Current Source) วงจรขยายศักดาไฟฟ้า (Voltage Amplifier) และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และวงจรที่ออกแบบขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.14

การทำงานของวงจรจากรูปที่ 3.14 เมื่อรับสัญญาณมาจากวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวเข้ามาที่อินพุตของวงจรเรตมิเตอร์ที่ไอซี U1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ จะสร้างสัญญาณลอจิกพัลส์ปรากฏขึ้นที่ขาเอาต์พุต โดยขนาดความกว้างของพัลส์ที่ขึ้นอยู่ค่าอาร์ซี ที่ได้ถูกกำหนดค่าของคาบเวลาที่แน่นอนไว้แล้วในแต่ละย่านซึ่งได้ออกแบบให้สามารถเลือกย่านอัตรานับพัลส์ได้ 4 ย่าน คือ 100 cps, 1 kcps, 10 kcps และ 100 kcps ตามลำดับ ส่วนไอซี U2 ทำหน้าที่เป็นสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับเลือกค่าอาร์ซีในแต่ละย่านวัดผ่านคอมพิวเตอร์ จากนั้นสัญญาณลอจิกพัลส์คาบเวลาที่จากไอซี U1 จะถูกส่งต่อไปยังวงจรแหล่งจ่ายกระแสคงที่ ซึ่งอาศัยการทำงานร่วมกันของ Q1 และ Q2 ผ่านทาง Q3 ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิทช์เพื่อแปลงสัญญาณลอจิกพัลส์คาบเวลาที่ให้เป็นระดับศักดาไฟฟ้าเอาต์พุตของเรตมิเตอร์ที่เป็นสัดส่วนกับค่าอัตรานับรังสี ตกคร่อมบน C3 โดยค่าคงที่เวลาตอบสนองอัตรานับรังสีขึ้นกับ C3 และ P1 โดยมี P1 ไว้สำหรับการปรับ Response time แต่เนื่องจากค่าเต็มสเกลของศักดาไฟฟ้ามีช่วงระหว่าง 0–85 mV จึงจำเป็นต้องเพิ่มวงจรขยายสัญญาณด้วยไอซี U3 เพื่อขยายขนาดสัญญาณดังกล่าวให้เป็น 0–5 V สำหรับป้อนให้กับวงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอก เป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC) ขนาด 10 บิต ที่บรรจุอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ U4 และข้อมูลนี้จะถูกส่งเข้าไปที่คอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต RS-232C



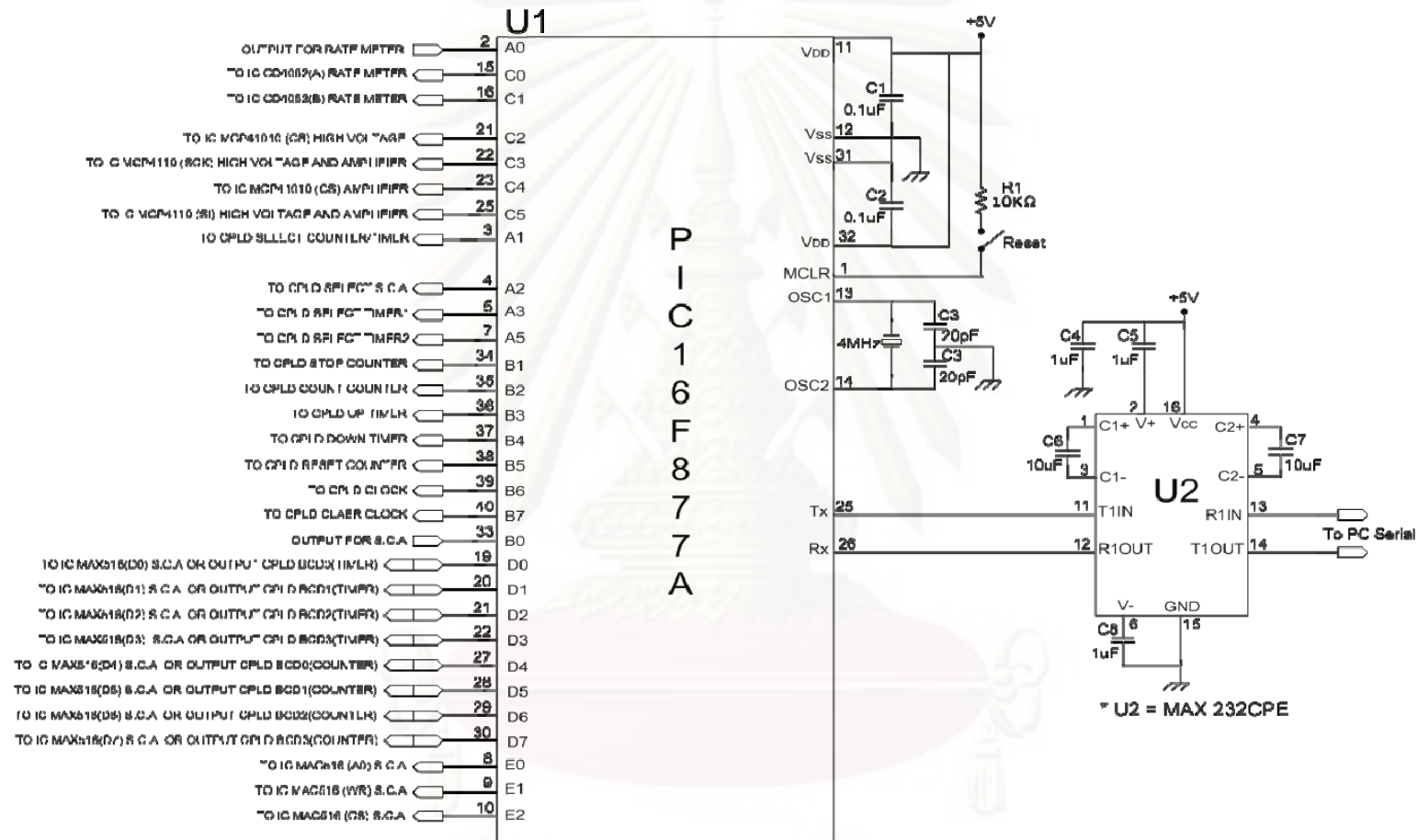
รูปที่ 3.13 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรเรตมิเตอร์



รูปที่ 3.14 วงจรเรตมิเตอร์

3.2.7 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

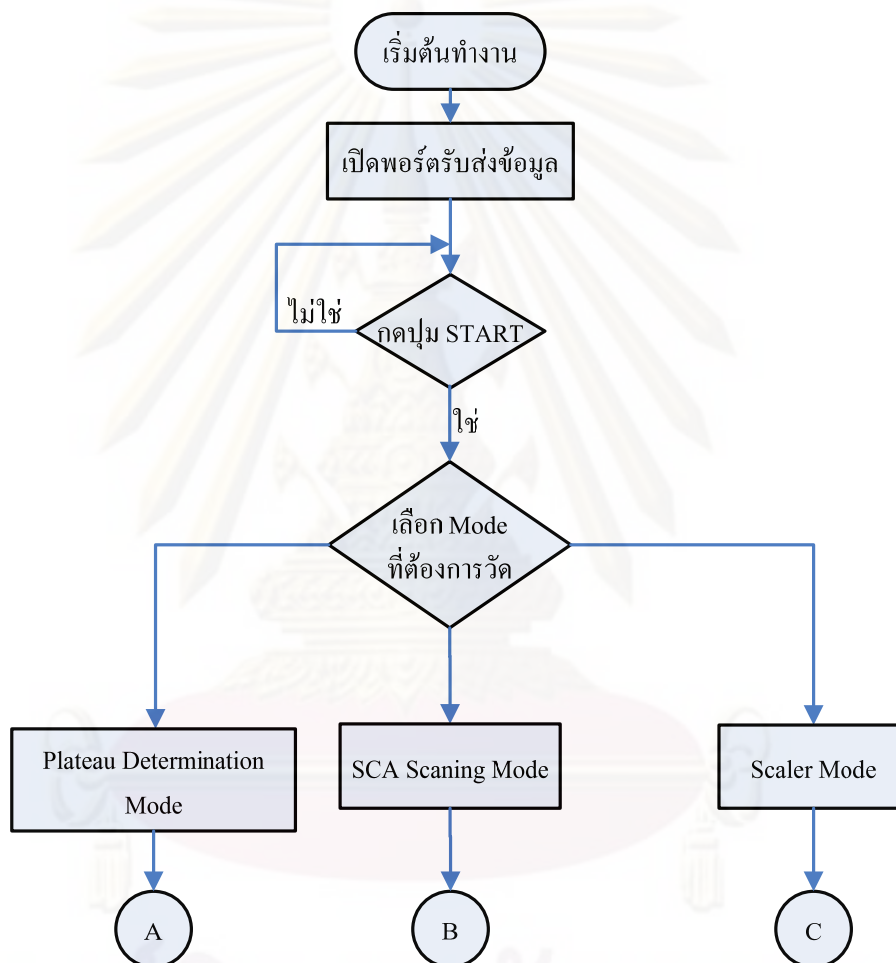
ทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างเครื่องนับรังสีกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม (RS-232C) ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 สามารถควบคุมการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์สูงโดยการปรับค่าศักดาไฟฟ้าควบคุมการทำงานของวงจรขยายสัญญาณพัลส์สามารถปรับอัตราขยายควบคุมวงจรวัดกระแสพลังงานแบบช่องเดี่ยว โดยสามารถปรับค่า LLD, ULD และ Window ควบคุมการทำงานของวงจรมับรังสีและวงจรถ่วงเวลา โดยสามารถรับค่านับรังสีมาแสดงบนคอมพิวเตอร์และตั้งเวลาผ่านคอมพิวเตอร์ได้ และควบคุมการทำงานของวงจเรตมิเตอร์สามารถแสดงค่าอัตรานับรังสีบนคอมพิวเตอร์ได้ และเลือกย่านการวัดได้ โดยไอซี U1 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการส่งค่าและรับค่าต่างๆในวงจรที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา ส่วน ไอซี U2 ทำหน้าที่ติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ โดยผ่านพอร์ต RS-232C



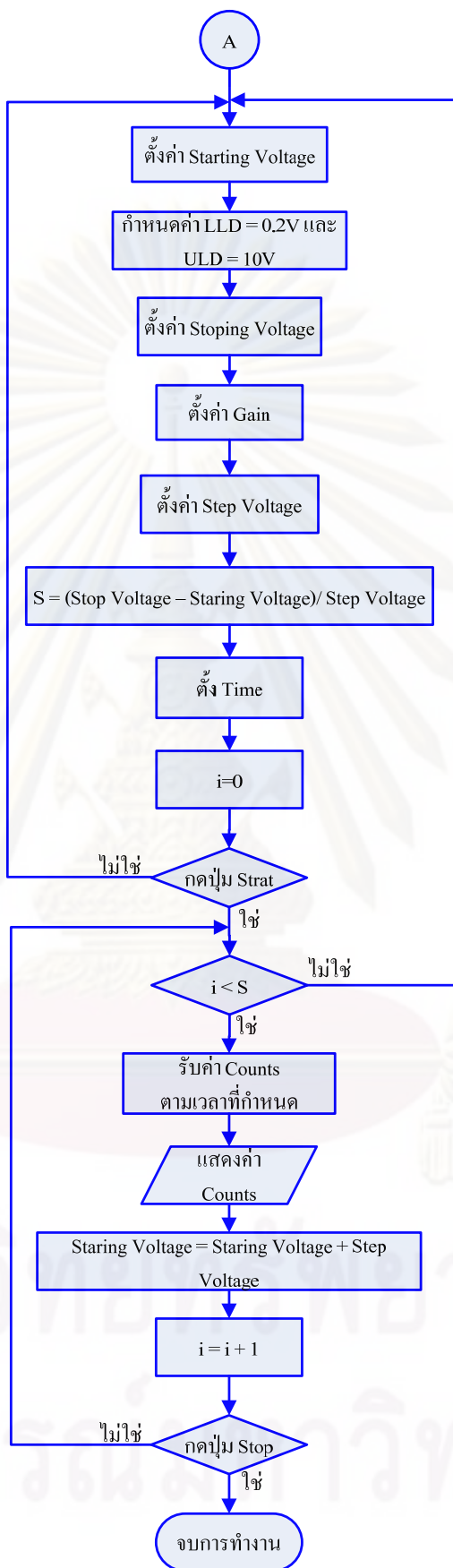
รูปที่ 3.15 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

3.3 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมค่าต่างๆ ของเครื่องนับรังสี

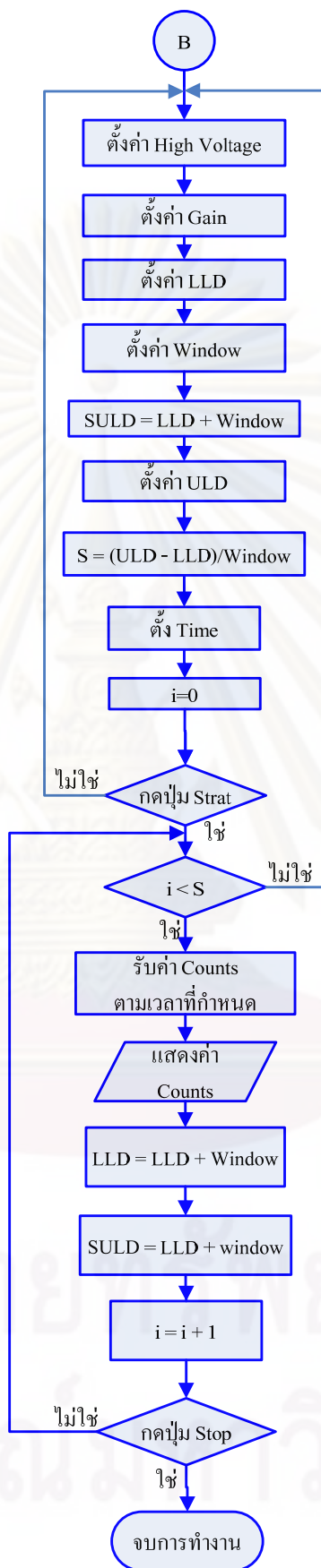
พัฒนาโดยใช้โปรแกรม LabVIEW และ Proton Plus สามารถแบ่งการทำงานได้ 3 โหมดมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.16, 3.17, 3.18 และ 3.19 คือ โหมดที่หนึ่งคือโหมด Plateau Determination Mode ใช้สำหรับการหาค่าศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสมกับหัววัด โหมดที่สองคือโหมด SCA Scanning Mode ใช้สำหรับการหาค่าพลังงานของรังสี โหมดที่สามคือโหมด Scaler Mode ใช้สำหรับการนับวัดรังสี แต่ละช่วงพลังงานได้ แสดงดังรูปที่ 3.20, 3.21 และ 3.22 ตามลำดับ



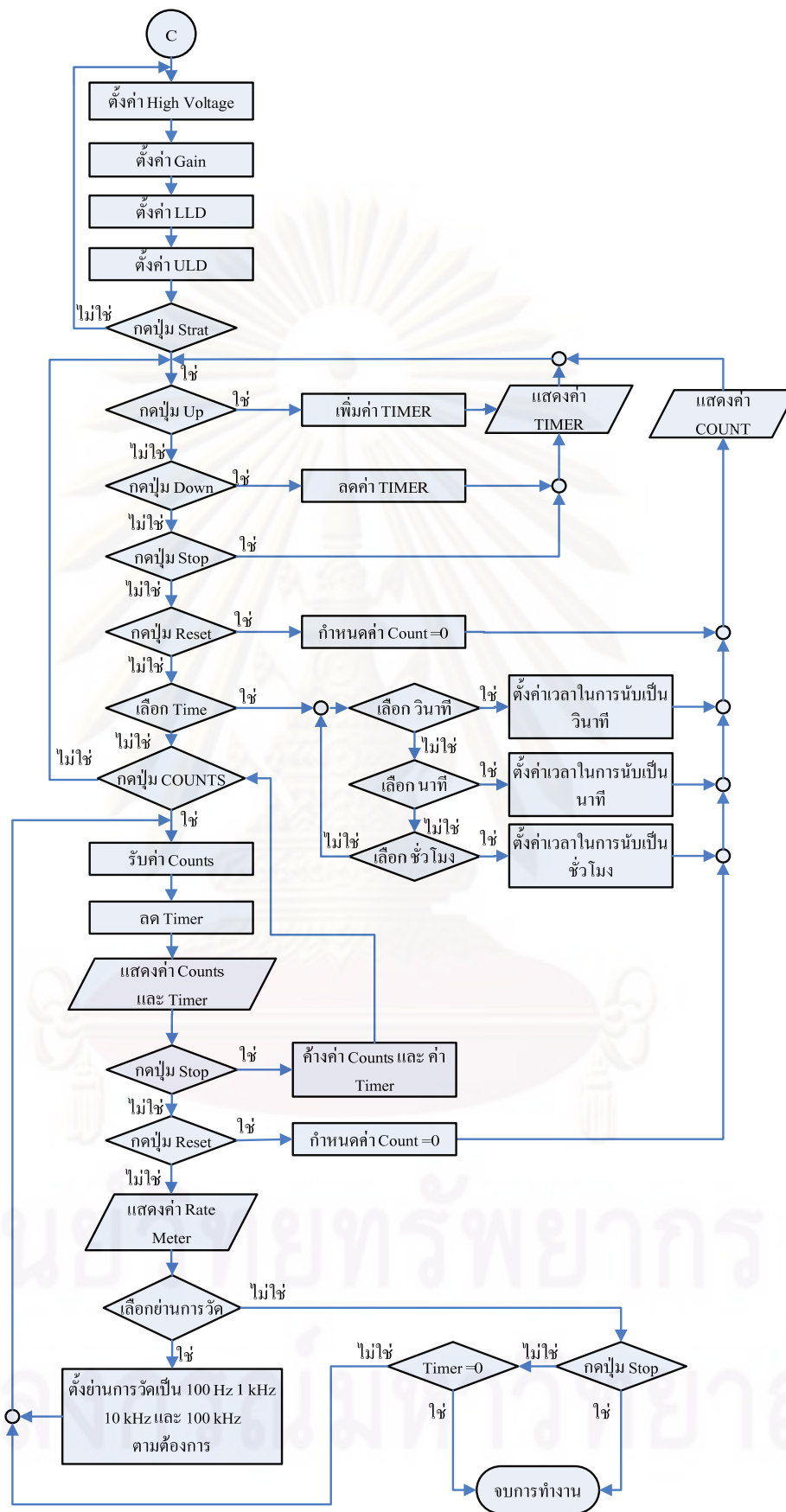
รูปที่ 3.16 แผนผังการทำงานส่วนหลักของโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้น



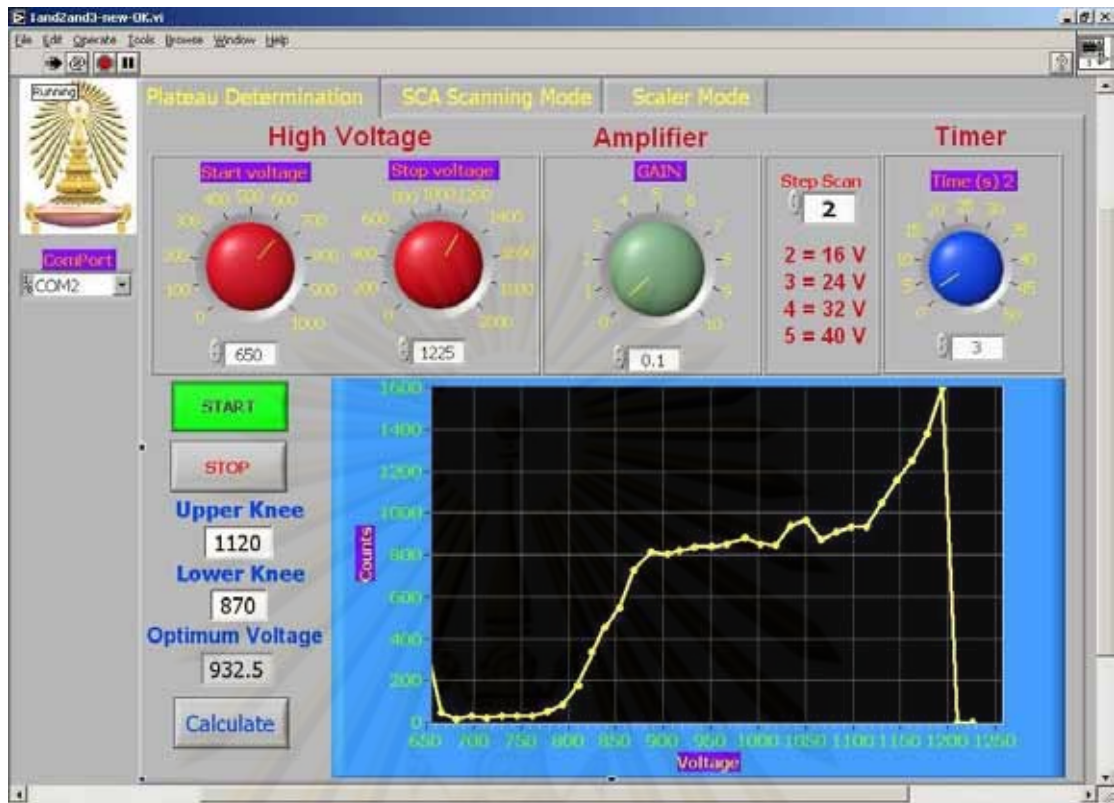
รูปที่ 3.17 แผนผังการทำงานส่วน Plateau Determination Mode ของโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้น



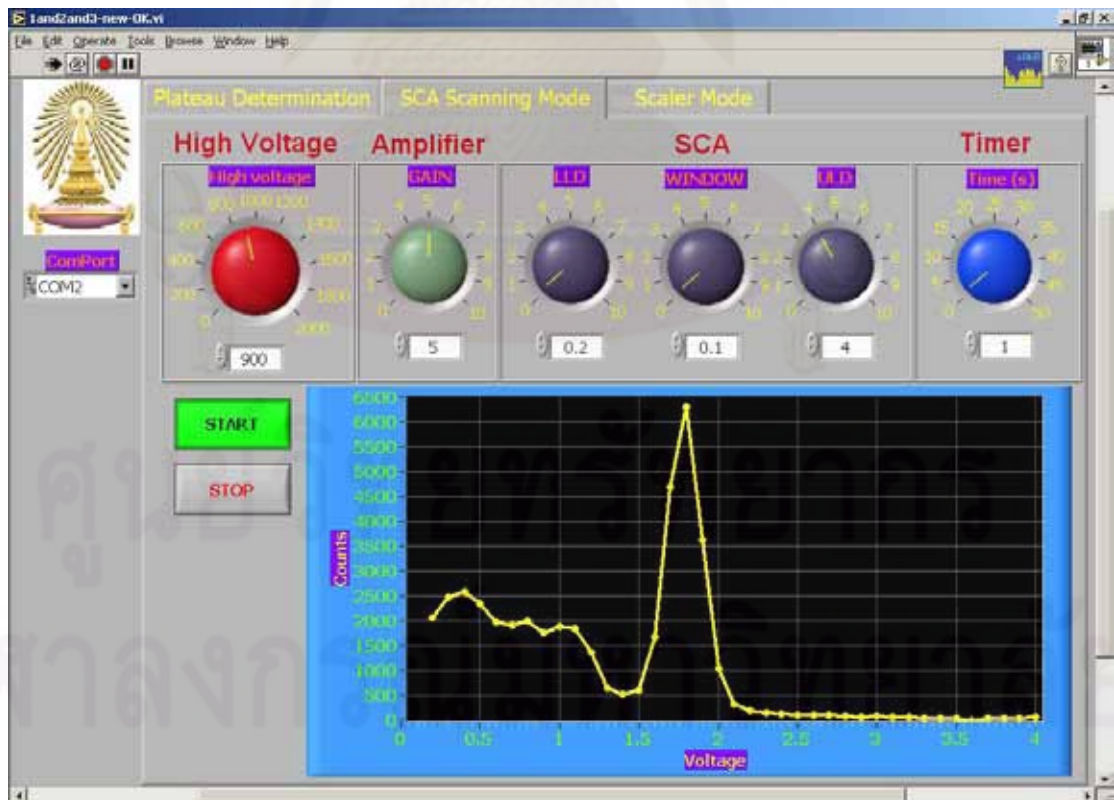
รูปที่ 3.18 แผนผังการทำงานส่วน SCA Scanning Mode ของโปรแกรมที่ทำกรพัฒนาขึ้น



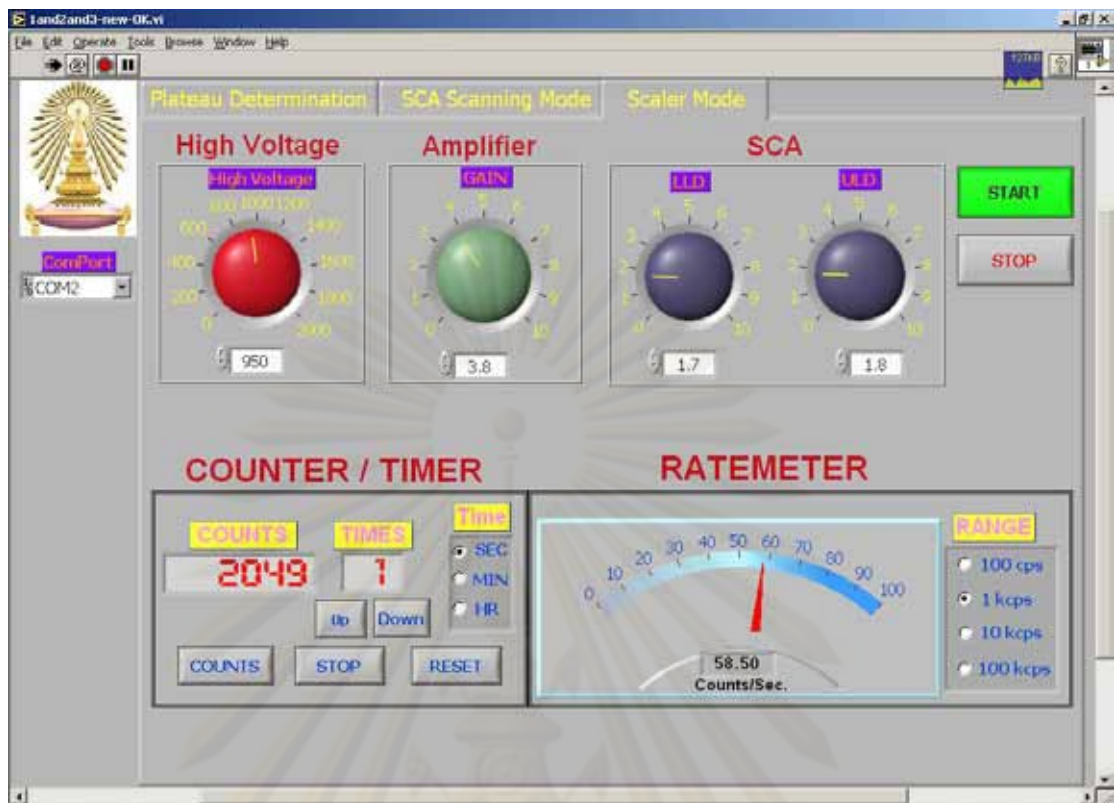
รูปที่ 3.19 แผนผังการทำงานส่วน Scaler Mode ของโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.20 การทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในโหมด Plateau Determination



รูปที่ 3.21 การทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในโหมด SCA Scanning



รูปที่ 3.22 การทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในโหมด Scaler

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดสอบสมรรถนะของระบบ

การทดสอบสมรรถนะของระบบได้ทำการทดสอบตามขั้นตอนดังนี้

1. ทดสอบการทำงานและสมรรถนะของแต่ละวงจร
2. ทดสอบเครื่องนับรังสีที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทั้ง 3 โหมด

4.1 การทดสอบการทำงานและสมรรถนะของแต่ละวงจร

ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้้าศักดาต่ำ การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้้าศักดาสูง การทดสอบวงจรขยายสัญญาณ การทดสอบวงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดียว การทดสอบวงจรการนับรังสี การทดสอบวงจรการตั้งเวลา การทดสอบวงจรเรตมิเตอร์ และการทดสอบวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น

4.1.1 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้้าศักดาต่ำ

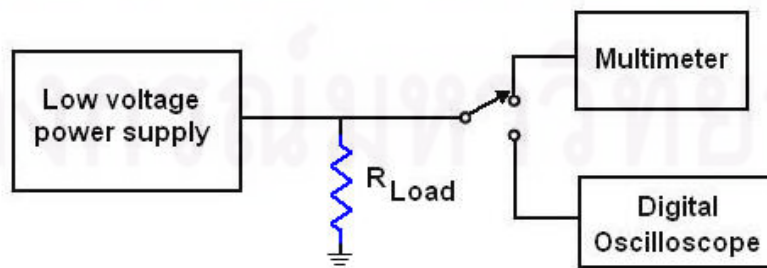
จากการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้้าศักดาต่ำขนาด +5 V, +15 V และ -15 V มีการทดสอบเพื่อหาค่าต่างๆ ดังนี้

4.1.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. มัลติมิเตอร์ (Multimeter) ของ BRYMEN รุ่น BM201
2. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Oscilloscope) ของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360
3. ตัวต้านทานแบบกระเบื้องขนาดต่าง ๆ
4. แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้้าศักดาต่ำที่พัฒนาขึ้น

4.1.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้้าสูงสุด (Maximum current) ทดสอบสัญญาณรบกวน (Noise) และการกระเพื่อม (Ripple) ของสัญญาณ สามารถจัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้้าศักดาต่ำ

4.1.1.3 ผลการทดสอบ

4.1.1.3.1 การทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุด (P_o) ของสัปดาห์ไฟฟ้านาขนาด +5 V, +15 V และ -15 V ขณะไม่มีโหลดมีค่าเท่ากับ +4.91 V, +14.92 V และ -15.21 V ตามลำดับ สัปดาห์ไฟฟ้านาเอาต์พุต (V_o) ขณะมีโหลดและเพาเวอร์เอาต์พุต (Power, P_o) แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดของสัปดาห์ไฟฟ้า +5 โวลต์

ความต้านทานโหลด (Ω)	สัปดาห์ไฟฟ้า เอาต์พุต (V)	กระแสไฟฟ้า เอาต์พุต (A)	เพาเวอร์ เอาต์พุต (W)
10	4.84	0.45	2.18
8	4.82	0.552	2.66
6	4.79	0.721	3.45
4	4.50	1.025	4.61
2	3.93	1.57	6.17

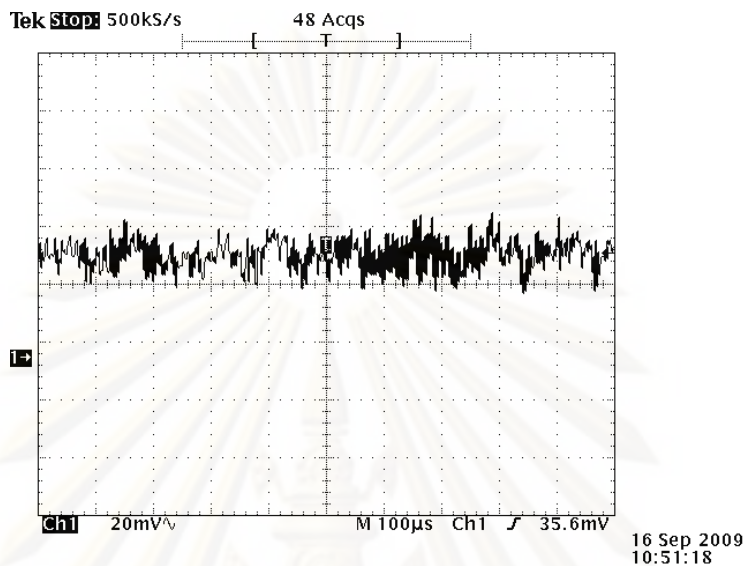
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดของสัปดาห์ไฟฟ้า +15 โวลต์ และ -15 โวลต์

ความต้านทานโหลด (Ω)	+15 V			-15 V		
	V_o (V)	I_o (A)	P_o (W)	V_o (V)	I_o (A)	P_o (W)
72	14.88	0.209	3.11	15.19	0.209	3.17
60	14.87	0.292	4.34	15.18	0.251	3.81
48	14.86	0.311	4.62	15.18	0.313	4.75
36	14.85	0.410	6.09	15.14	0.415	6.28
24	14.38	0.591	8.50	15.06	0.613	9.23
20	13.43	0.673	9.04	14.02	0.72	10.09
16	12.75	0.81	10.33	13.54	0.852	11.54
12	12.15	0.995	12.09	12.76	1.034	13.19

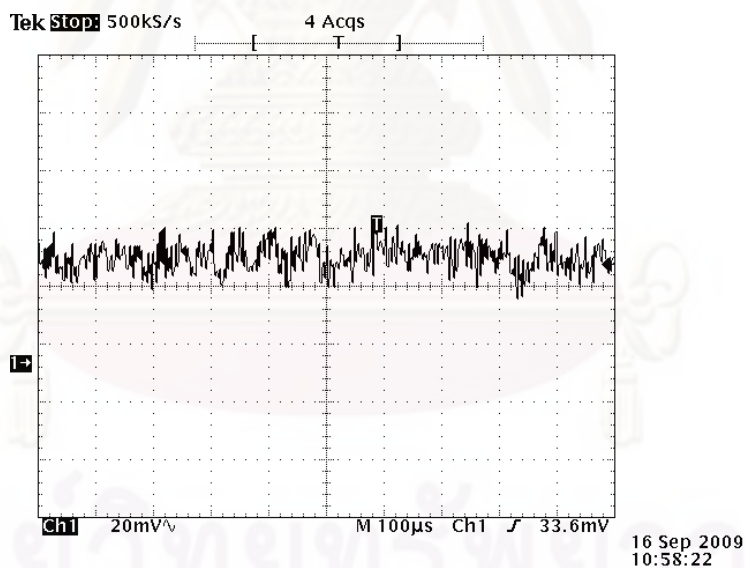
4.1.1.3.2 การทดสอบ Noise และ Ripple ของสัญญาณที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ไฟฟ้านาขนาดต่างๆ มีดังนี้

- สัปดาห์ไฟฟ้านาขนาด +5 V มีค่า Noise และ Ripple ของสัญญาณประมาณ 30 mV ทั้งขณะมีโหลดและไม่มีโหลด แสดงดังรูปที่ 4.2 (ก.) และ 4.2 (ข.) ตามลำดับ

- สักคาไฟฟ้าขนาด +15 V และ -15 V มีค่า Noise และ Ripple ของสัญญาณ ประมาณ 30 mV ขณะไม่มีโหลด และประมาณ 20 mV ขณะมีโหลด แสดงดังรูปที่ 4.3 (ก.), 4.3 (ข.), 4.4 (ก.) และ 4.4 (ข.) ตามลำดับ



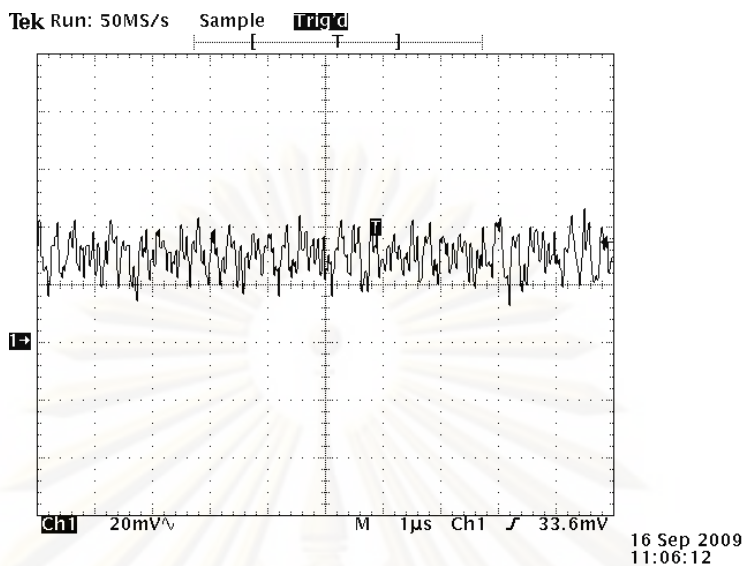
(ก.)



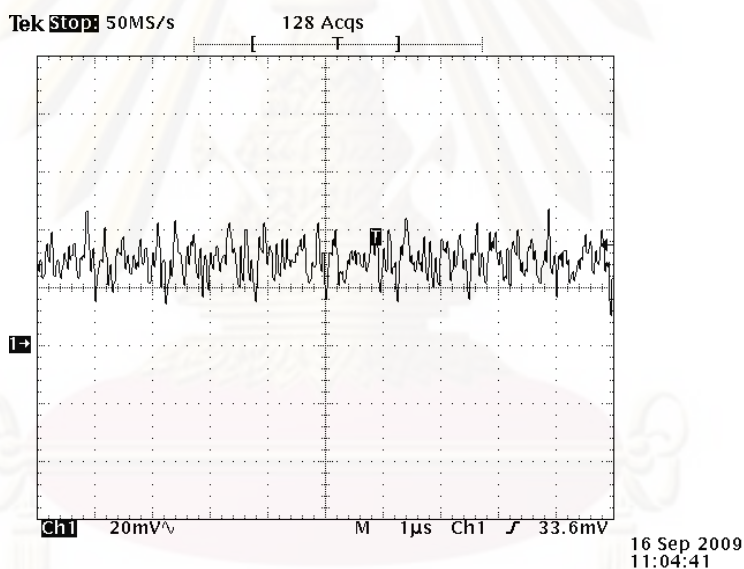
(ข.)

รูปที่ 4.2 Noise และ Ripple ของสัญญาณสักคาไฟฟ้า +5 โวลต์

(ก.) ขณะไม่มีโหลด (ข.) ขณะมีโหลด



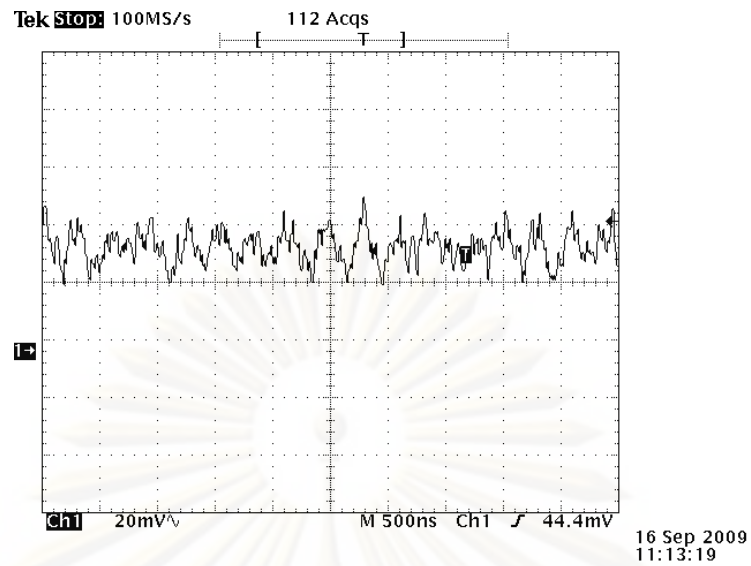
(ก.)



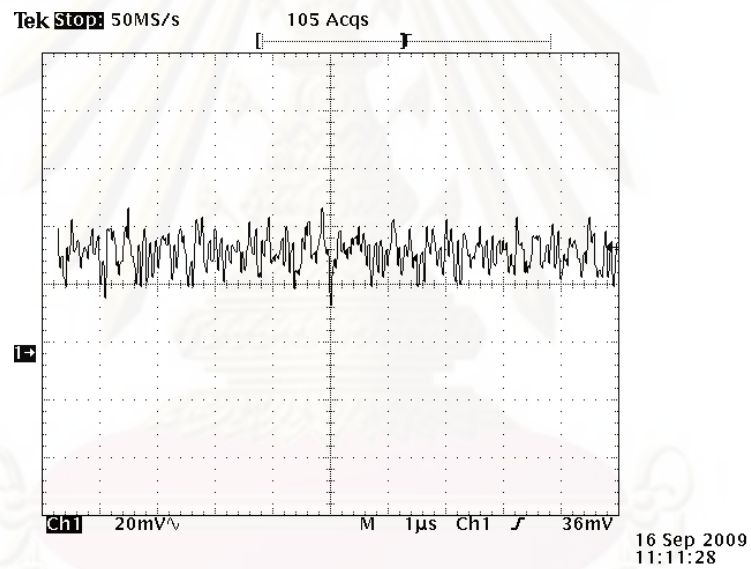
(ข.)

รูปที่ 4.3 Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า +15 โวลต์
(ก.) ขณะไม่มีโหลด (ข.) ขณะมีโหลด

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 4.4 Noise และ Ripple ของสัญญาณตัดดาไฟฟ้า -15 โวลต์

(ก.) ขณะไม่มีโหลด (ข.) ขณะมีโหลด

ศูนย์วิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

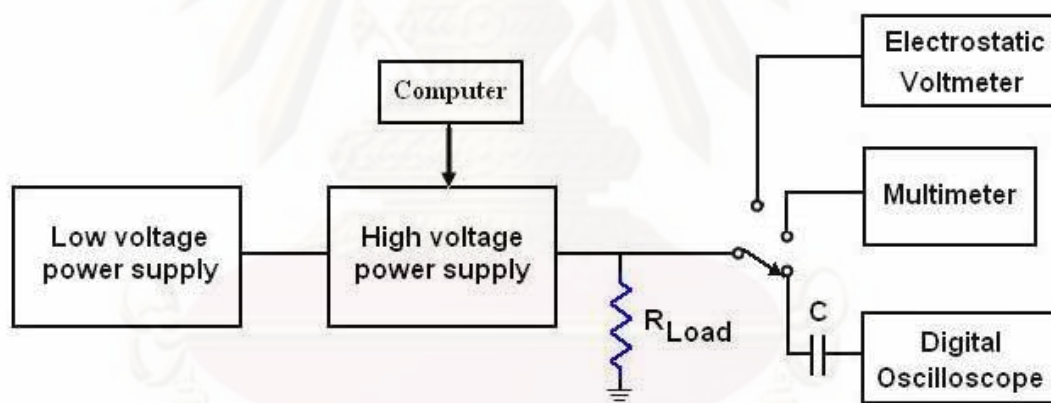
4.1.2 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

4.1.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำที่พัฒนาขึ้น
2. มัลติมิเตอร์ ของ HEWLETT PACKARD รุ่น 34401A
3. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ ของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360
4. เครื่องวัดไฟฟ้าศักดาสูง (Electrostatic voltmeter) ของ Electrical Instrument Service รุ่น ESD-9
5. ตัวต้านทานขนาดต่างๆ
6. ตัวเก็บประจุขนาด $0.01 \mu\text{F}$ 3000 V
7. แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่พัฒนาขึ้น

4.1.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าเอาท์พุทสูงสุด ความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับศักดาไฟฟ้า และทดสอบ Ripple ของสัญญาณสามารถจัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

4.1.2.3 ผลการทดสอบ

4.1.2.3.1 ทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด ที่ความต้านทานค่าต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.3

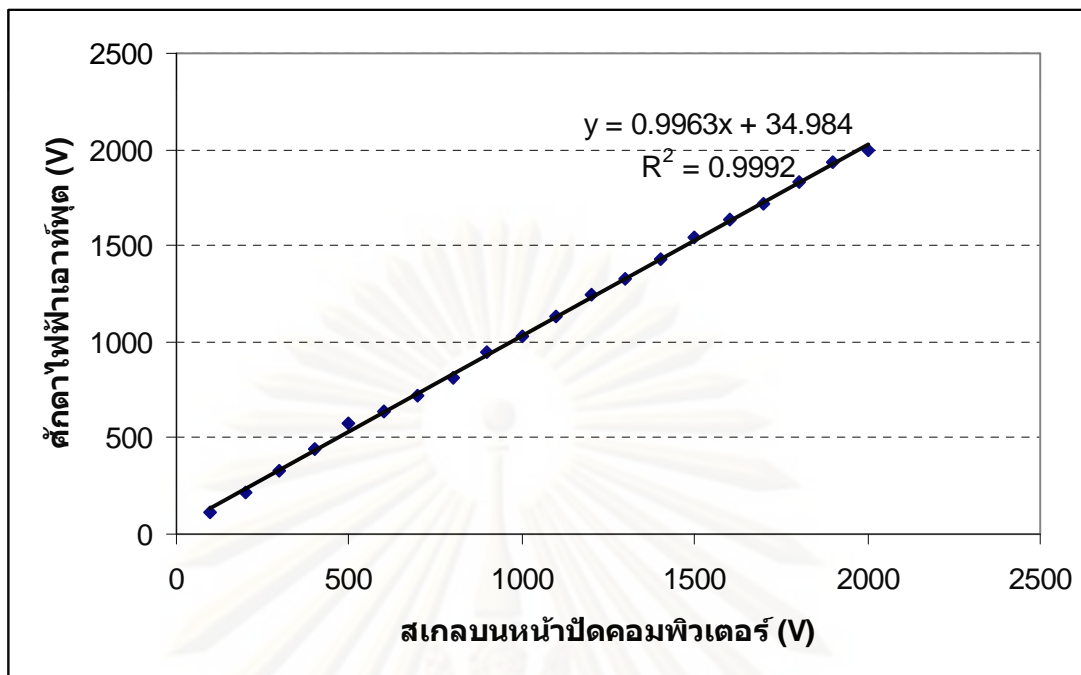
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ไฟฟ้าสูง

Load Voltage	0.5MΩ		1MΩ		2MΩ		4MΩ		6MΩ	
	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	250	0.5	250	0.25	250	0.125	250	0.063	250	0.042
500	500	1	500	0.50	500	0.250	500	0.125	500	0.083
750	750	1.5	750	0.75	750	0.375	750	0.188	750	0.125
1000	1000	2	1000	1	1000	0.500	1000	0.250	1000	0.167
1250	1250	2.5	1250	1.25	1250	0.625	1250	0.313	1250	0.208
1500	1400	2.8	1500	1.5	1500	0.750	1500	0.375	1500	0.250
1750	1445	2.89	1750	1.75	1750	0.875	1750	0.438	1750	0.292
2000	1460	2.92	1860	1.86	2000	1	2000	0.500	2000	0.333

4.1.2.3.2 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับศักดาไฟฟ้า ที่ค่าโหลดความต้านทาน 2 MΩ แสดงค่าดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับศักดาไฟฟ้า

สเกลบนหน้าปัด	ค่าศักดาไฟฟ้า (v)	สเกลบนหน้าปัด	ค่าศักดาไฟฟ้า (v)
0.5	108	5.5	1175
1	219	6	1276
1.5	334	6.5	1375
2	442	7	1471
2.5	552	7.5	1570
3	656	8	1664
3.5	764	8.5	1759
4	868	9	1852
4.5	975	9.5	1946
5	1072	10	2000

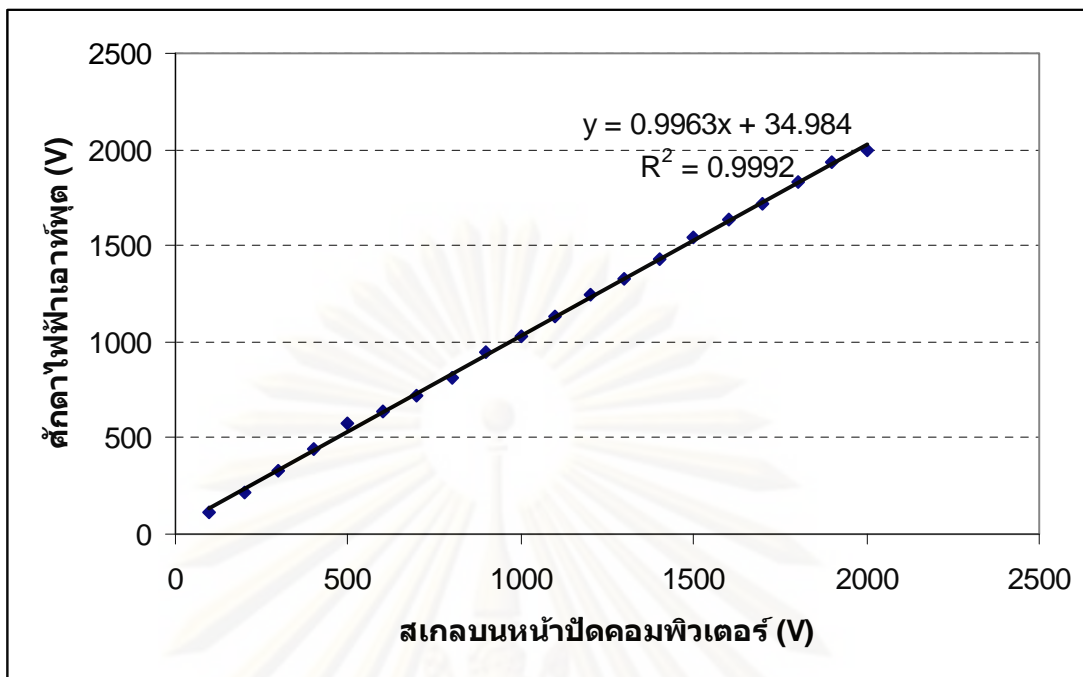


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสเกลบนหน้าปัดและศักดาไฟฟ้าเอาต์พุต
ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

4.1.2.3.3 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับศักดาไฟฟ้าผ่าน
คอมพิวเตอร ที่ค่าโหลดความต้านทาน 2 MΩ แสดงค่าดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.7

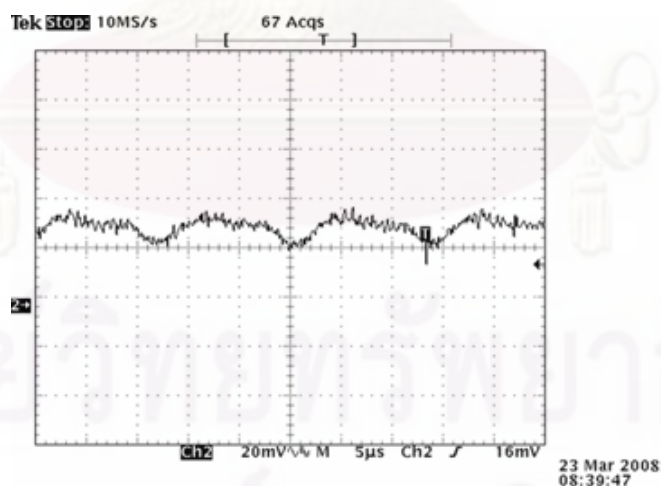
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับศักดาไฟฟ้าผ่านคอมพิวเตอร

สเกลบนหน้าปัดคอมพิวเตอร/ เลขฐานสอง	ค่าศักดาไฟฟ้า (V)	สเกลบนหน้าปัดคอมพิวเตอร/ เลขฐานสอง	ค่าศักดาไฟฟ้า (V)
100 / 00001101	110	1100 / 10001101	1135
200 / 00011010	214	1200 / 10011001	1246
300 / 00100111	332	1300 / 10100110	1325
400 / 00110011	447	1400 / 10110011	1431
500 / 01000000	579	1500 / 11000000	1540
600 / 01001101	638	1600 / 11001100	1634
700 / 01011010	720	1700 / 11011001	1719
800 / 01100110	810	1800 / 11100110	1832
900 / 01110011	943	1900 / 11110010	1936
1000 / 10000000	1031	2000 / 11111111	2000



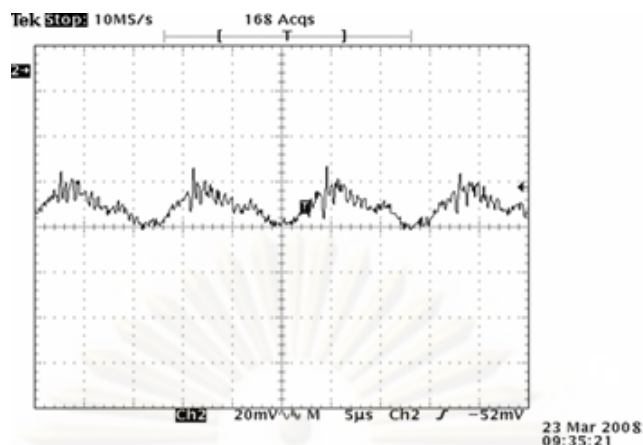
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสเกลปรับศักดาไฟฟ้าบนคอมพิวเตอรและศักดาไฟฟ้าเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

4.1.2.3.4 ทดสอบ Ripple ของไฟฟ้าศักดาสูงทางออก มีค่า Ripple ของสัญญาณประมาณ 20 mV ขณะไม่มีโหลด และประมาณ 30 mV ขณะมีโหลด แสดงดังรูปที่ 4.8 (ก.) และ 4.8 (ข.)



(ก.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ข.)

รูปที่ 4.8 Ripple ของสัญญาณไฟฟ้าศักดาสูง (ก.) ขณะไม่มีโหลด (ข.) ขณะมีโหลด

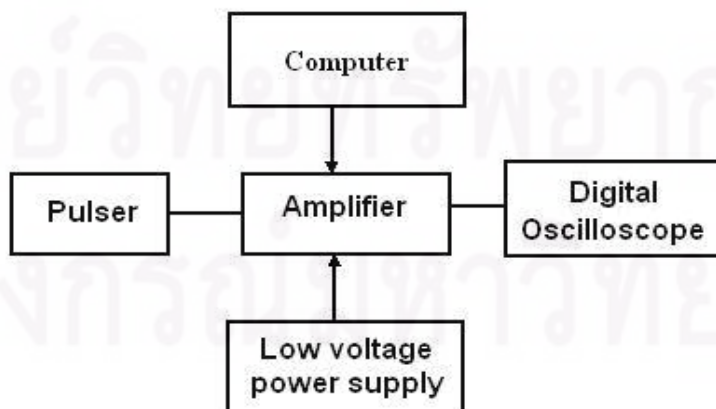
4.1.3 การทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์

4.1.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แหล่งกำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสี (Pulser) ของ CANBERRA รุ่น 807
2. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ ของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360
3. แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำที่พัฒนาขึ้น
4. แผงวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น

4.1.3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากแผงวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้นทดสอบอัตราขยายของวงจรขยายสัญญาณที่พัฒนาขึ้น การจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.9

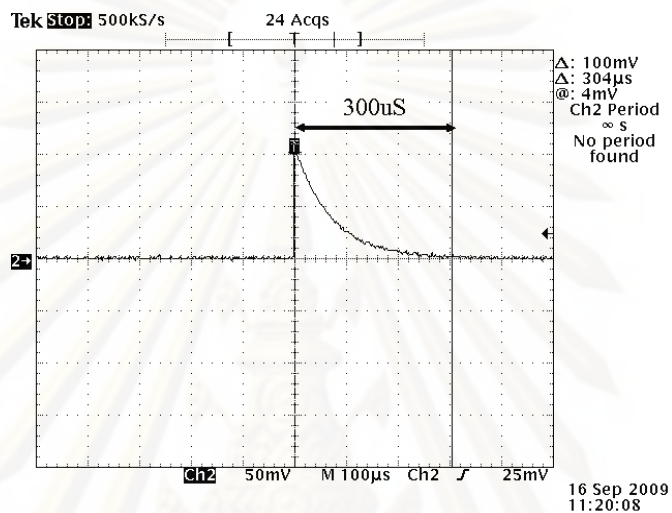


รูปที่ 4.9 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์

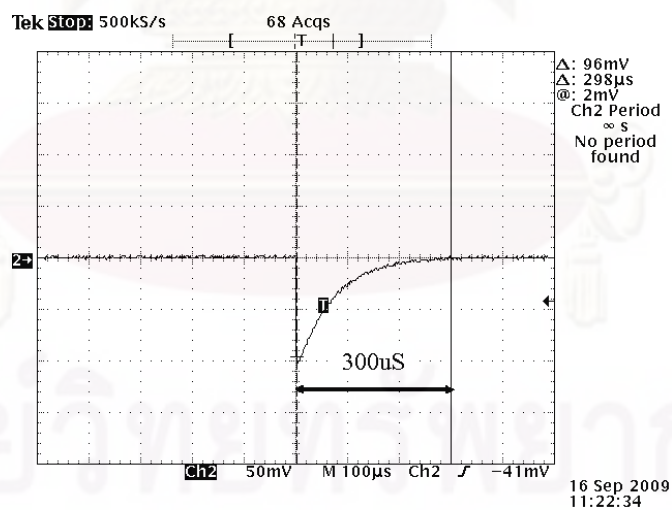
4.1.3.3 ผลการทดสอบ

ป้อนสัญญาณจาก Pulser มีขนาด 100 mV ให้กับวงจรขยายสัญญาณที่พัฒนาขึ้นตั้ง Fine gain เท่ากับ 100 เท่า

4.1.3.3.1 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ก่อนเข้าวงจรขยายทั้งแบบสัญญาณพัลส์บวก (Positive) และสัญญาณพัลส์ลบ (Negative) แสดงดังรูปที่ 4.10 (ก.) และ 4.10 (ข.) ตามลำดับ



(ก.)

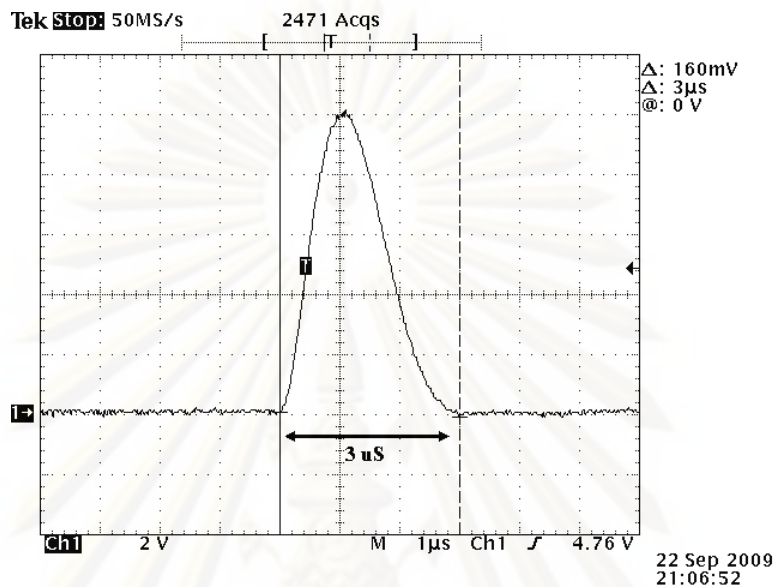


(ข.)

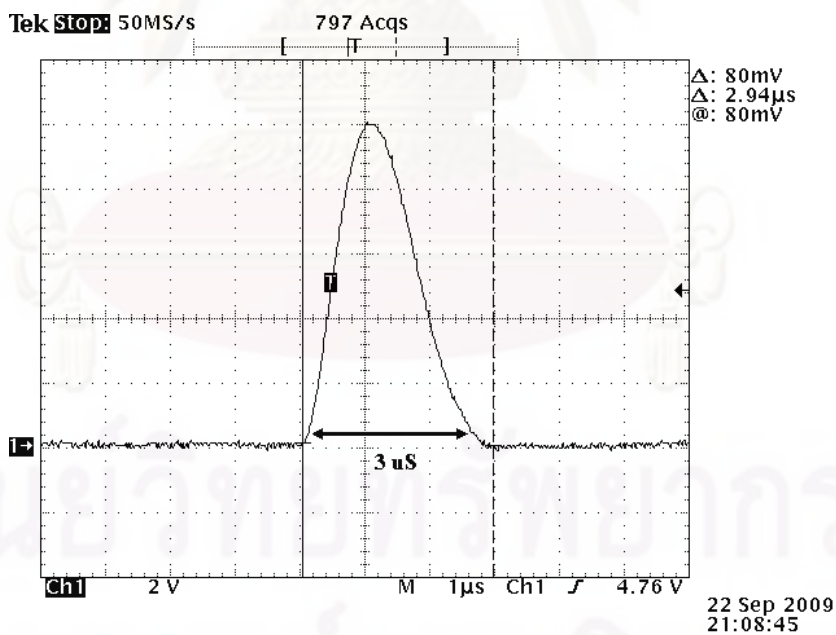
รูปที่ 4.10 สัญญาณพัลส์ก่อนเข้าวงจรขยายสัญญาณพัลส์

(ก.) สัญญาณบวก (ข.) สัญญาณลบ

4.1.3.3.2 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์เอาต์พุต เมื่อสัญญาณพัลส์อินพุต เป็นบวกเลือกโพลาริตีเป็นบวก และสัญญาณพัลส์อินพุตเป็นลบเลือกโพลาริตีเป็นลบ แสดงดังรูปที่ 14.11 (ก.) และ 14.11 (ข.)



(ก.)



(ข.)

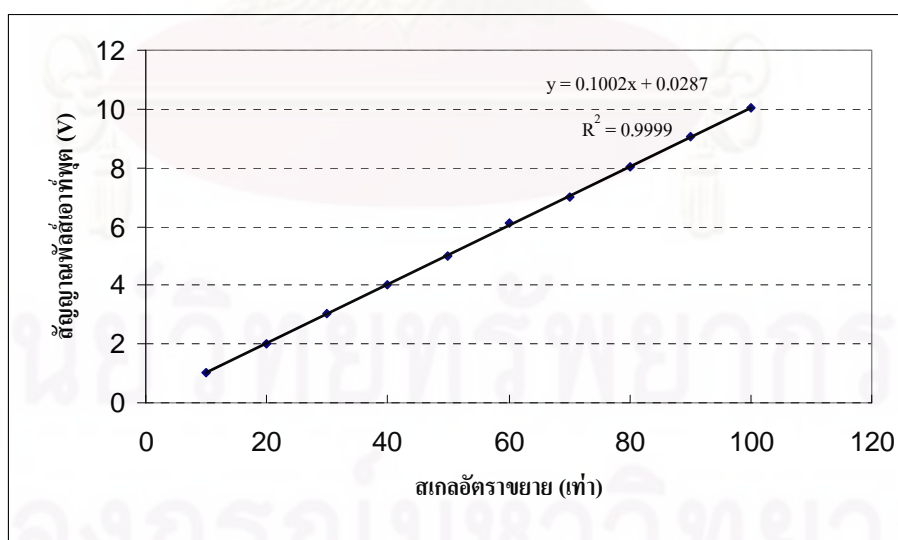
รูปที่ 4.11 สัญญาณพัลส์เอาต์พุตจากวงจรขยายสัญญาณพัลส์

(ก.) เลือกโพลาริตีเป็นบวก (ข.) เลือกโพลาริตีเป็นลบ

4.1.3.3.3 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่อง โดยป้อนสัญญาณอินพุตขนาด 100 มิลลิโวลต์ และปรับสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่องเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 เท่า บันทึกค่าความสูงพัลส์ทางเอาต์พุต ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.6 นำข้อมูลไปเขียนกราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของการปรับอัตราขยายแบบต่อเนื่องจากหน้าปัดได้ดังรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของการปรับสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่องจากหน้าปัด

สเกลอัตราขยาย (เท่า)	สัญญาณพัลส์ทางเอาต์พุต (V)	อัตราขยาย ($A_V = V_o / V_i$)
10	1.05	10.5
20	2.03	20.3
30	3.05	30.5
40	4.00	40
50	4.98	49.8
60	6.1	60.1
70	7.02	70.2
80	8.05	80.5
90	9.04	90.4
100	10.05	100.5

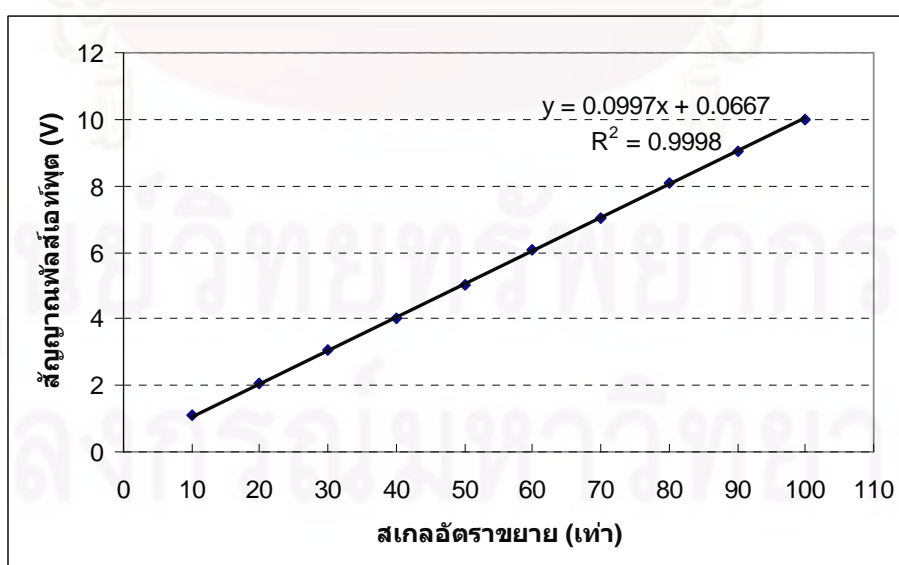


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของการปรับสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่องจากหน้าปัด

4.1.3.3.4 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่องบนคอมพิวเตอร์ โดยป้อนสัญญาณอินพุตขนาด 100 มิลิโวลต์ และปรับสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่องเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 เท่าจากคอมพิวเตอร์ บันทึกค่าความสูงพัลส์ทางเอาท์พุต ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.6 นำข้อมูลไปเขียนกราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของการปรับอัตราขยายแบบต่อเนื่องจากคอมพิวเตอร์ได้ดังรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของการปรับสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่องจากคอมพิวเตอร์

สเกลอัตราขยาย / เลขฐานสอง (เท่า)	สัญญาณพัลส์ทางเอาท์พุต (V)	อัตราขยาย ($A_V = V_o / V_i$)
10 / 00011010	1.1	11
20 / 00110011	2.05	20.5
30 / 01001101	3.04	30.4
40 / 01100110	4.03	40.3
50 / 10000000	5	5
60 / 10011001	6.1	61
70 / 10110011	7.02	70.2
80 / 11001100	8.1	81
90 / 11100110	9.05	90.5
100 / 11111111	10	10



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของการปรับสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่องจากคอมพิวเตอร์

4.1.3.3.5 ทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล โดยการปรับอัตราขยาย 100 เท่าครั้งที่ และแปรเปลี่ยนขนาดความสูงสัญญาณพัลส์ทางอินพุต เพื่อให้ความสูงของพัลส์มีขนาด 2, 3, 4, ..., 9 โวลต์ ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.8 นำข้อมูลไปเขียนกราฟแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัลได้ดังรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล

สัญญาณพัลส์ทางอินพุต (mV)	สัญญาณพัลส์ทางเอาต์พุต (V)	อัตราขยาย ($A_V = V_o / V_i$)
20	2.02	99
30	3.03	101
40	4.05	101.25
50	5.00	100
60	6.05	100.83
70	7.10	101.43
80	8.03	100.38
90	9.08	100.89
100	10.10	101

จากข้อมูลตารางที่ 4.8 สามารถคำนวณหาความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล (INL) ได้จากสมการ

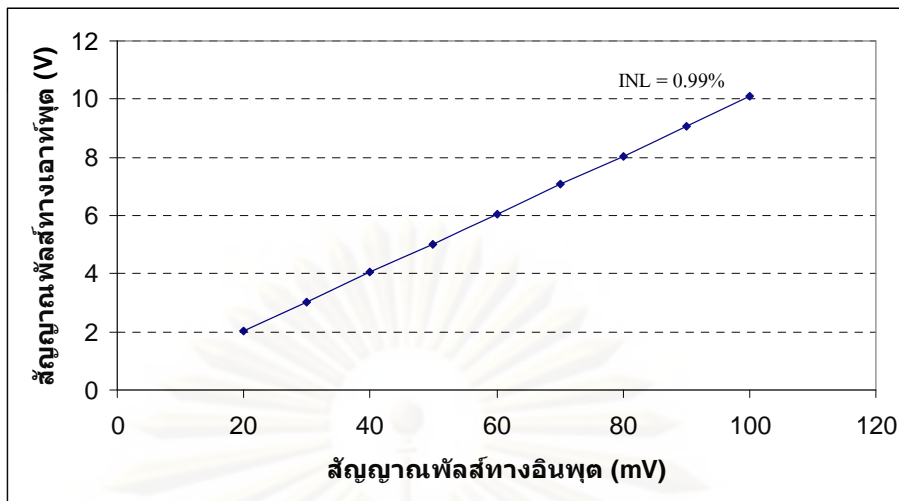
$$INL = \left| \frac{Y - Y_{(L)}}{Y_{(max)}} \right| \times 100\%$$

เมื่อ INL = ค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัล
 Y = ค่าแกน Y ของกราฟที่มีค่าเบี่ยงเบนสูงสุด
 $Y_{(L)}$ = ค่าแกน Y จากกราฟเส้นตรง
 $Y_{(max)}$ = ค่าแกน Y สูงสุดที่ได้จากกราฟ

แทนค่าลงในสมการได้

$$INL = \left| \frac{10.1 - 10}{10.1} \right| \times 100\%$$

$$INL = 0.99\%$$



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล

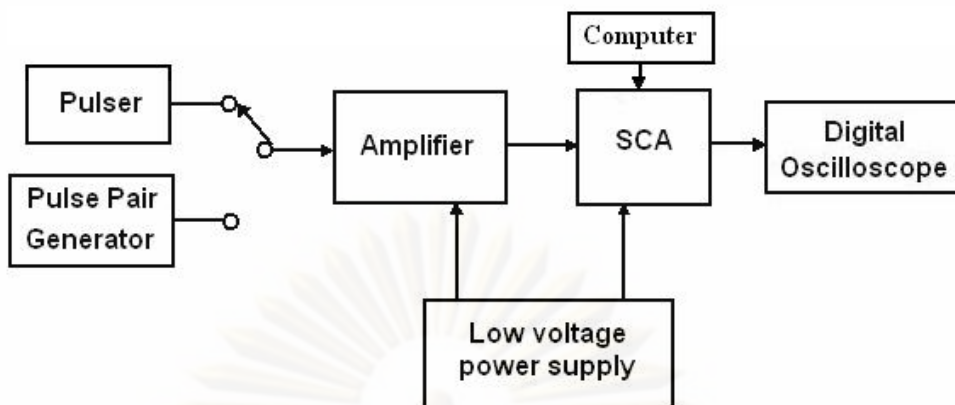
4.1.4 การทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดียว

4.1.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ของ CANBERRA รุ่น 807
2. แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์คู่ (Pulse Pair Generator) ของ CANBERRA รุ่น 1407P
3. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ ของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360
4. แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ที่พัฒนาขึ้น
5. แผงวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น
6. แผงวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดียว

4.1.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

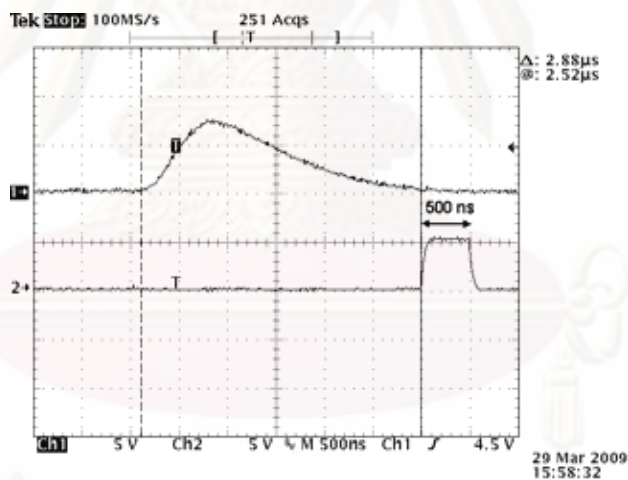
ทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดียว เป็นการทดสอบสัญญาณพัลส์ทางออก ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง LLD และULD พร้อมทั้งทดสอบความสามารถในการแยกสัญญาณพัลส์ที่เป็นแบบคู่สัญญาณ สามารถจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดียว

4.1.4.3 ผลการทดสอบ

4.1.4.3.1 ทดสอบสัญญาณลอจิกพัลส์ทางออกของวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดียว เมื่อรับสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์จะได้สัญญาณแบบลอจิกพัลส์ขนาดความกว้าง 500 ns ที่ขอบล่างของสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ แสดงดังรูปที่ 4.16

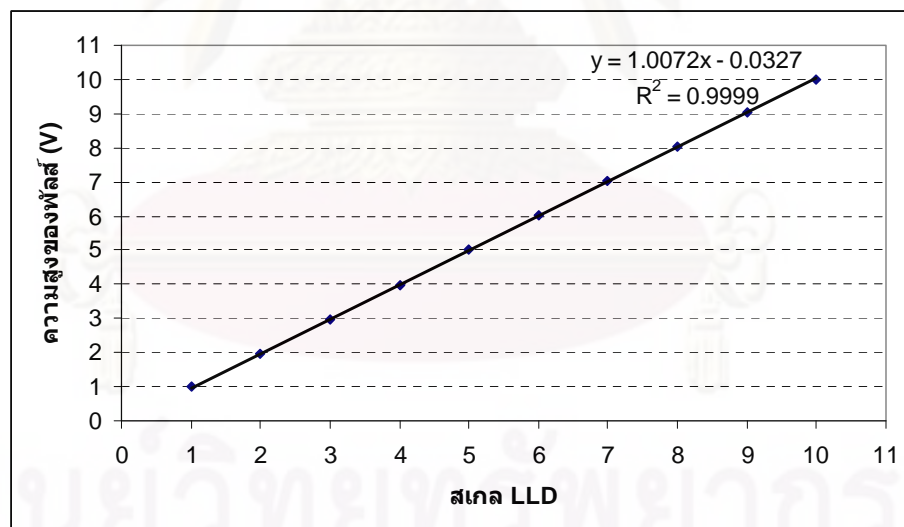


รูปที่ 4.16 ภาพสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ขอบล่างของสัญญาณพัลส์

4.1.4.3.2 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง LLD จากคอมพิวเตอรื โดยการแปรเปลี่ยนค่าความสูงของพัลส์และบันทึกสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง ณ ตำแหน่งที่เกิด HT (half triggering) ดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.17

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง LLD

สเกล LLD	ความสูงของพัลส์ (V)
1.0	0.99
2.0	1.97
3.0	2.96
4.0	3.98
5.0	5.03
6.0	6.02
7.0	7.03
8.0	8.04
9.0	9.05
10.0	10.00

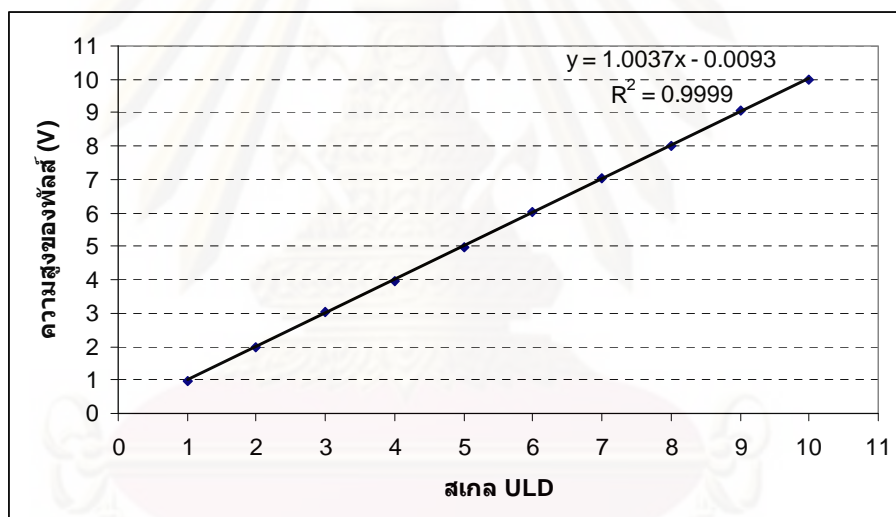


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง LLD

4.1.4.3.3 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง ULD จากคอมพิวเตอรื โดยการแปรเปลี่ยนค่าความสูงของพัลส์และบันทึกสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง ณ ตำแหน่งที่เกิด HT (half triggering) ดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.18

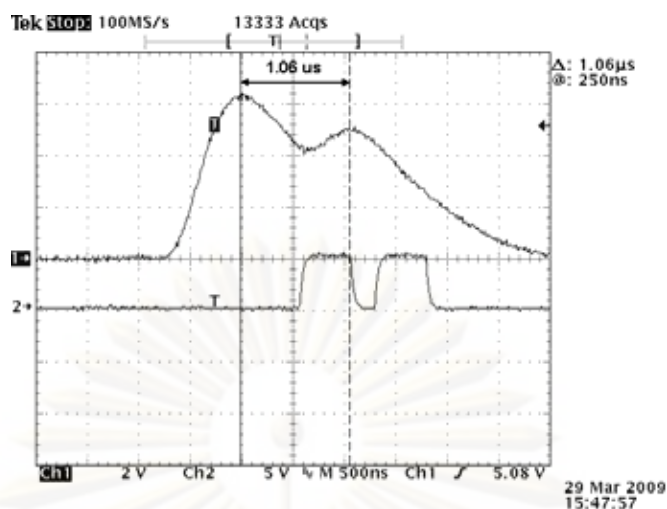
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกล ULD

สเกล ULD	ความสูงของพัลส์ (V)
1.0	0.99
2.0	1.99
3.0	3.47
4.0	3.97
5.0	4.99
6.0	6.02
7.0	7.04
8.0	8.03
9.0	9.05
10.0	10.00



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง ULD

4.1.4.3.4 ทดสอบความสามารถในการแยกสัญญาณพัลส์ที่เป็นแบบพัลส์คู่ โดยเปลี่ยนแหล่งกำเนิดสัญญาณเป็น Pulse Pair Generator เพื่อทดสอบความสามารถในการนับพัลส์ที่เข้ามาใกล้กันมาก โดยการเปลี่ยนค่า Delay ของสัญญาณพัลส์จากค่ามากที่สุดไปหาค่าต่ำสุดที่ยังเห็นสัญญาณลอจิกพัลส์ 2 พัลส์ปรากฏอยู่ พบว่าค่า Resolving time ที่น้อยที่สุดที่สามารถแยกพัลส์ออกจากกันมีค่าประมาณ $1.06 \mu\text{s}$ แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การเกิดสัญญาณลอคจิกพัลส์เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณพัลส์คู่ที่เกิดติดกัน

4.1.5 การทดสอบวงจรมัลติเพล็กซ์และวงจรถ่วงเวลา

4.1.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

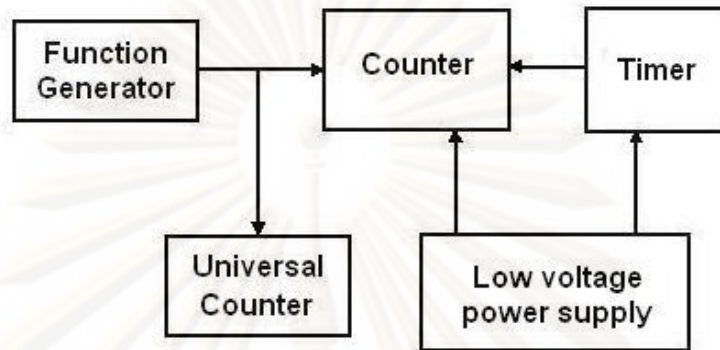
1. เครื่องกำเนิดความถี่ (PULSE/Function Generator 20 MHz) ของ HEWLETT PACKARD รุ่น 8111A
2. เครื่องนับพัลส์ (Universal Counter) ของ HEWLETT PACKARD รุ่น 5315A
3. แผงวงจรสวิตคาไฟฟ้าต่ำที่พัฒนาขึ้น
4. แผงวงจรมัลติเพล็กซ์ที่พัฒนาขึ้น
5. แผงวงจรถ่วงเวลาที่พัฒนาขึ้น

4.1.5.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการนับสัญญาณพัลส์ต่อค่าเวลาต่ำสุดและสูง หน่วยในหน่วยวินาทีและนาฬิกา ทดสอบความสัมพันธ์การนับสัญญาณพัลส์ที่ค่าความถี่เปลี่ยนแปลง ต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง และทดสอบความสามารถในการนับสัญญาณพัลส์สูงสุดของวงจรมัลติเพล็กซ์ การจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.20

4.1.5.3 ผลการทดสอบ

4.1.5.3.1 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการนับสัญญาณพัลส์ต่อค่าเวลาดำต่ำสุดและสูงหน่วยในหน่วยวินาทีและนาที โดยใช้ค่าความถี่ประมาณ 100 Hz จากเครื่องกำเนิดความถี่ แสดงผลดังตารางที่ 4.11



รูปที่ 4.20 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรนับรังสีและวงจรตั้งเวลา

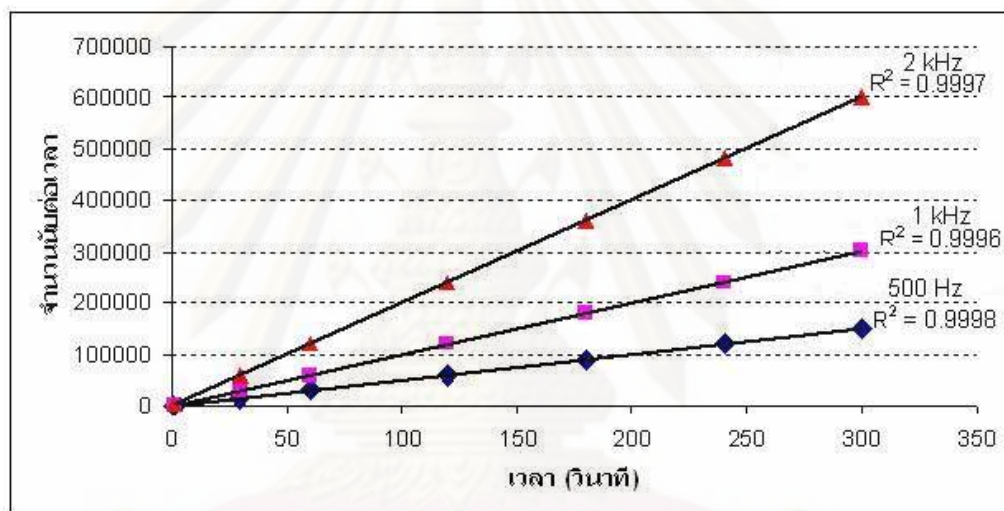
ตารางที่ 4.11 ผลการนับสัญญาณพัลส์ต่อค่าเวลาดำต่ำสุดและสูงสุดหน่วยในหน่วยวินาที, นาที และชั่วโมง

ครั้งที่ \ เวลา	1 s	99 s	1 min	99 min	1 hr
1	100	9908	6021	594086	360027
2	100	9905	6025	594062	360024
3	100	9908	6018	594076	360031
4	101	9909	6019	594060	360024
5	100	9910	6017	594072	360026
6	101	9909	6025	594082	360023
7	101	9910	6024	594037	360029
8	100	9906	6024	594054	360021
9	100	9907	6026	594046	360031
10	100	9910	6021	594085	360027
ค่าเฉลี่ย	100.3	9908.2	6022	594066	360026.3

4.1.5.3.2 ทดสอบความสัมพันธ์การนับสัญญาณพัลส์ที่ค่าความถี่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง แสดงผลดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.21

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบการนับสัญญาณพัลส์ที่ค่าความถี่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง

ความถี่ประมาณ 500 Hz		ความถี่ประมาณ 1 kHz		ความถี่ประมาณ 2 kHz	
เวลา (s)	จำนวนนับต่อเวลา	เวลา (s)	จำนวนนับต่อเวลา	เวลา (s)	จำนวนนับต่อเวลา
1	500	1	1000	1	2001
30	15009	30	30007	30	60010
60	30010	60	60010	60	120016
120	60010	120	120009	120	240020
180	9009	180	180018	180	360027
240	120012	240	240012	240	480020
300	150024	300	300017	300	600021



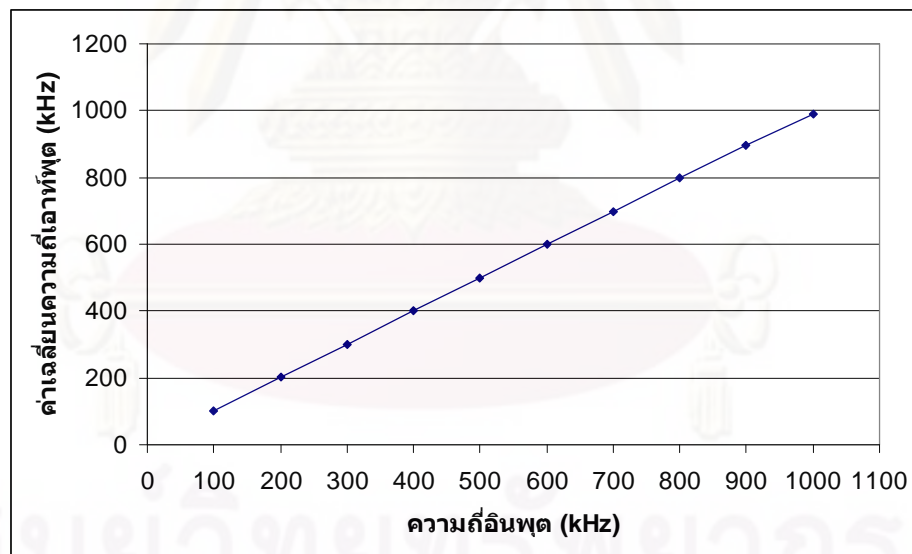
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์การนับสัญญาณพัลส์ที่ค่าความถี่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง

4.1.5.3.3 ทดสอบความสามารถในการนับสัญญาณพัลส์สูงสุดของวงจรนับรังสี ทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ที่จ่ายให้กับวงจรนับรังสีจนกระทั่งไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงบนสเกลแสดงผล แสดงผลดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.22 ซึ่งได้ค่าสูงสุดที่ 1 MHz

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ที่จ่ายให้กับวงจรนับรังสี

ความถี่ทางอินพุต (kHz)	ความถี่ทาง เอาต์พุตครั้งที่ 1 (kHz)	ความถี่ทาง เอาต์พุตครั้งที่ 2 (kHz)	ความถี่ทาง เอาต์พุตครั้งที่ 3 (kHz)	ค่าเฉลี่ยความถี่ ทางเอาต์พุต (kHz)
100	101.1	101.1	101.2	101.13
200	201.4	201.5	201.4	201.43
300	301.5	301.6	301.5	301.53
400	401.0	401.0	401.0	401
500	499.9	499.9	499.9	499.9
600	598.8	598.8	598.8	598.8
700	698.5	698.9	698.8	698.73
800	798.6	798.8	798.8	798.73
900	897.5	897.6	897.6	897.57
1000	991.0	991.2	991.2	991.13



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสามารถในการนับสัญญาณพัลส์สูงสุดของวงจรนับรังสี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

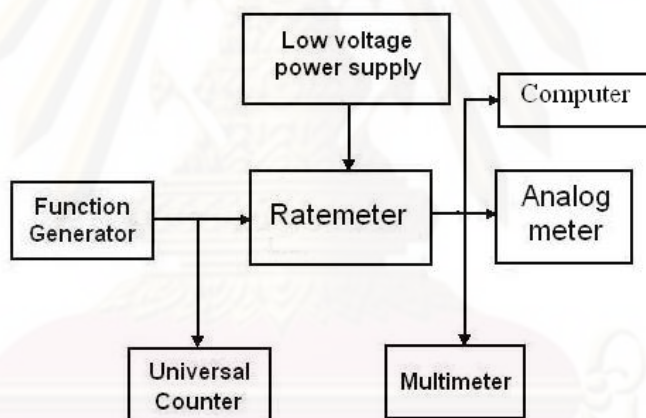
4.1.6 การทดสอบวงจรเรตมิเตอร์

4.1.6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แหล่งกำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสี (Pulser) ของ CANBERRA รุ่น 807
2. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ ของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360
3. เครื่องกำเนิดความถี่ ของ HEWLETT PACKARD รุ่น 8111 A
4. มัลติมิเตอร์ ของ METEC รุ่น 8007
5. แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ที่พัฒนาขึ้น
6. แผงวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น
7. แผงวงจรเรตมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

4.1.6.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัลของศักดาไฟฟ้าทางออกของวงจรเรตมิเตอร์ การจัดอุปกรณ์การทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรเรตมิเตอร์

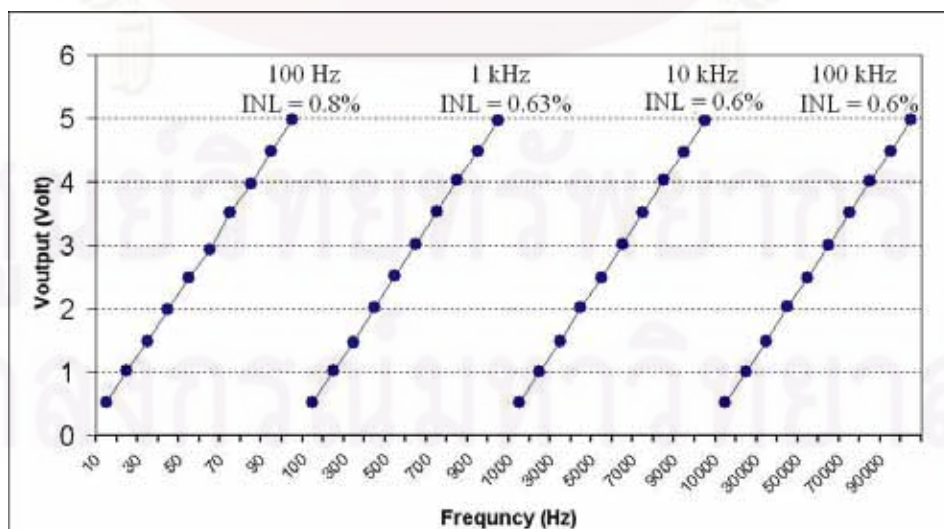
4.1.6.3 ผลการทดสอบ

4.1.6.3.1 ทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัลของวงจรเรตมิเตอร์ที่ช่วงความถี่ต่างๆ แสดงผลดังตารางที่ 4.14 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าและความถี่ของสัญญาณลอจิกพัลส์ได้ดังรูปที่ 4.24 ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ช่วงการทำงาน คือ ช่วงความถี่ 0 - 100 Hz มีค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัล 0.8% ช่วงความถี่ 0 - 1 kHz มีค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัล 0.63% ช่วงความถี่ 0 - 10 kHz มีค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัล 0.6% และช่วงความถี่ 0 - 100 kHz มีค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัล 0.6%

4.1.6.3.2 ทดสอบโดยการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับขาอินพุตของ ADC ที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นทำการแปรเปลี่ยนค่าศักดาไฟฟ้าจาก 0 – 5 โวลต์ โดยเพิ่มเป็นครั้งละ 0.2 โวลต์ พร้อมบันทึกค่าไบนารีทางเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ในแต่ละครั้งของการปรับค่าศักดาไฟฟ้าทางอินพุต พบว่าผลทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.25 ซึ่งจากการทดสอบพบว่ามีความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัล 0.13%

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัลระหว่างความถี่อินพุตกับ ศักดาไฟฟ้าทางออกของวงจรมิตเตอร์

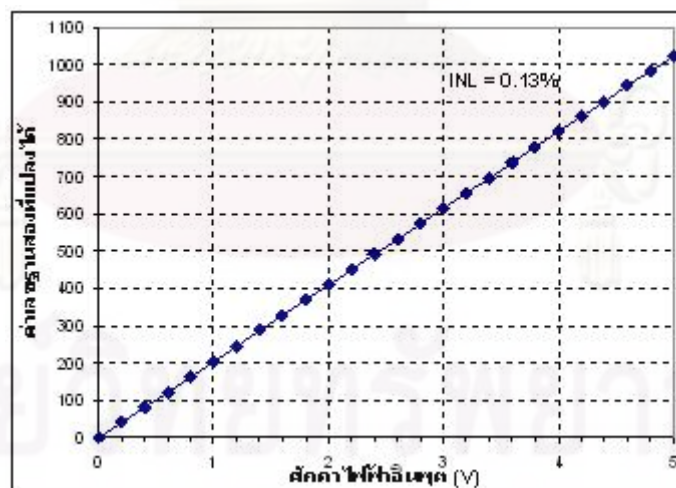
Range 100 Hz		Range 1kHz		Range 10kHz		Range 100 kHz	
f (in) Hz	V _{out} (V)	f (in) Hz	V _{out} (V)	f (in) kHz	V _{out} (V)	f (in) kHz	V _{out} (V)
10	0.51	100	0.51	1	0.51	10	0.51
20	1.02	200	1.02	2	1	20	1.02
30	1.49	300	1.47	3	1.49	30	1.48
40	1.98	400	2.04	4	2.04	40	2.03
50	2.48	500	2.51	5	2.48	50	2.48
60	2.94	600	3.06	6	3.04	60	3.06
70	3.52	700	3.53	7	3.52	70	3.52
80	3.97	800	4.08	8	4.08	80	4.06
90	4.48	900	4.48	9	4.47	90	4.48
100	4.98	1000	4.96	10	4.97	100	4.97



รูปที่ 4.24 กราฟความไม่เป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ที่ได้จากการอ่านค่าศักดาไฟฟ้า

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัลระหว่างศักดาไฟฟ้าอินพุตกับค่าเลขฐานสองที่แปลงได้

ศักดาไฟฟ้าอินพุต (V)	ค่าเลขฐานสองที่แปลงได้	ศักดาไฟฟ้าอินพุต (V)	ค่าเลขฐานสองที่แปลงได้
0	0	2.6	532
0.2	40	2.8	574
0.4	81	3.0	614
0.6	122	3.2	655
0.8	163	3.4	695
1.0	204	3.6	737
1.2	245	3.8	778
1.4	287	4.0	820
1.6	327	4.2	860
1.8	369	4.4	901
2.0	409	4.6	943
2.2	450	4.8	983
2.4	491	5.0	1023



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ที่ได้จากการอ่านหน้าปัดบนคอมพิวเตอร์

จากของมูลตารางที่ 4.14 สามารถคำนวณหาความไม่เป็นเชิงเส้นของการแปลงศักดาไฟฟ้า กับเลขฐานสองแบบอินทิกรัล (INL) ได้จากสมการ

$$INL = \left| \frac{Y - Y_{(L)}}{Y_{(max)}} \right| \times 100\%$$

- เมื่อ
- INL = ค่าความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินทิกรัล
 - Y = ค่าแกน Y ของกราฟที่มีค่าเบี่ยงเบนสูงสุด
 - $Y_{(L)}$ = ค่าแกน Y จากกราฟเส้นตรง
 - $Y_{(max)}$ = ค่าแกน Y สูงสุดที่ได้จากกราฟ

แทนค่าลงในสมการได้

$$INL = \left| \frac{695 - 696.32}{1023} \right| \times 100\%$$

$$INL = 0.13\%$$

4.2 การทดสอบเครื่องนับรังสีที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทั้ง 3 โหมด

นำเครื่องวัดรังสีชนิดเคลื่อนย้ายได้แบบประหยัดโดยใช้ CPLD ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมา ทดสอบการทำงานทั้ง 3 โหมด คือ Plateau Determination Mode, SCA Scanning Mode และ Scaler Mode

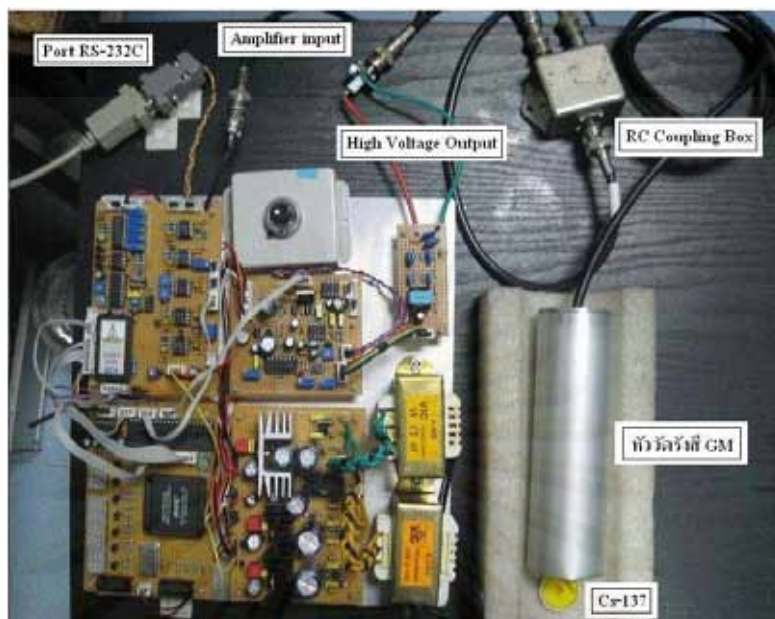
4.2.1 การทดสอบ Plateau Determination Mode

4.2.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หัววัดรังสี Geiger-Muller (GM) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว
2. Tube base ของ ORTEC รุ่น 276
3. ต้นกำเนิดรังสี Cs-137
4. เครื่องนับรังสีชนิดเคลื่อนย้ายได้ต้นแบบ
5. เครื่องคอมพิวเตอร์

4.2.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

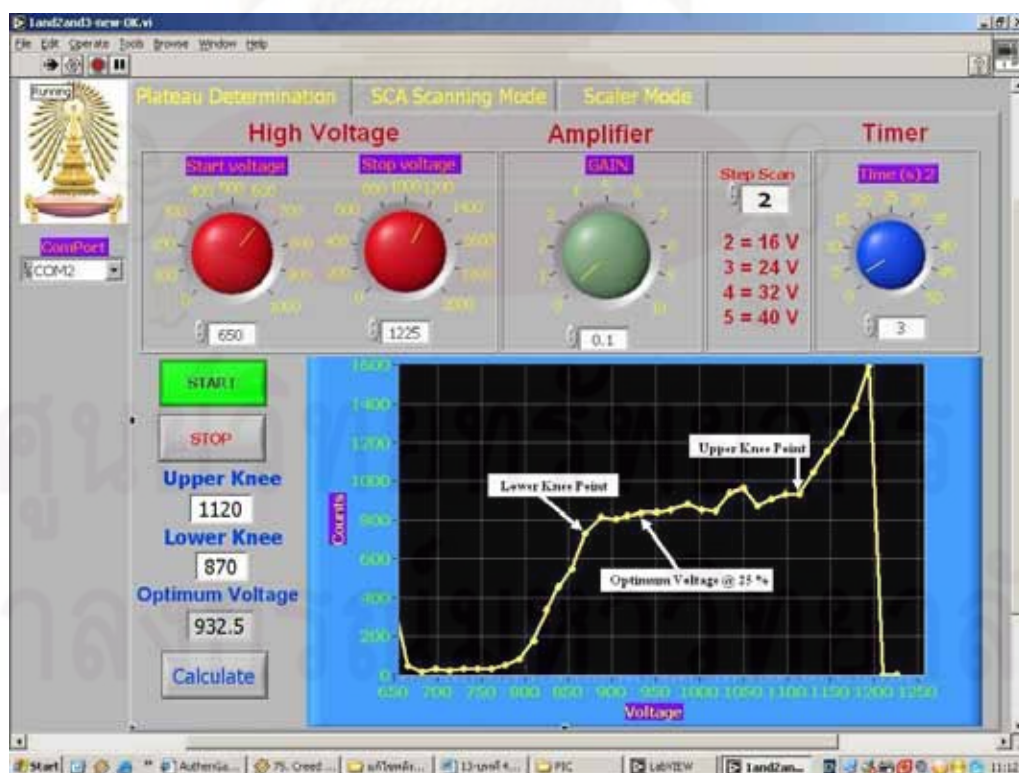
จัดการทดลองเพื่อหาค่าศักดาไฟฟ้าเหมาะสม (Optimum Voltage) ของหัววัด Geiger-Muller การจัดอุปกรณ์การทดสอบ แสดงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 การจัดอุปกรณ์เพื่อหาค่าศักดาไฟฟ้าเหมาะสม (Optimum Voltage)

4.2.1.3 ผลการทดสอบ

การทดสอบหาค่าศักดาไฟฟ้าเหมาะสม ของหัววัด ตั้งค่า Start High Voltage = 500 V, Stop High Voltage = 1200 V, Gain = 0.5, LLD = 0.2 V, ULD = 10 V และ Timer = 2 s แสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 กราฟ plateau ที่ได้จากการจัดระบบวัดแบบนับรวมพลังงานจากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

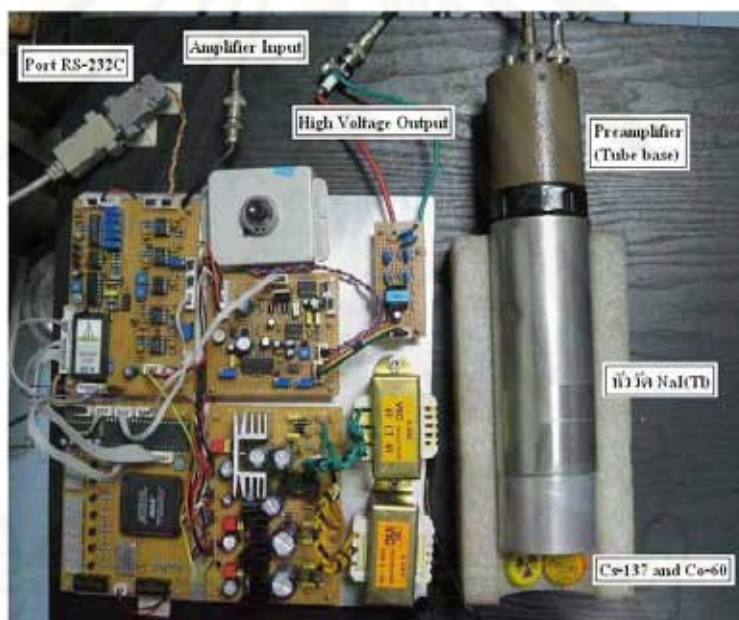
4.2.2 การทดสอบ SCA Scanning Mode

4.2.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หัววัดรังสี NaI(Tl) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว
2. Tube base ของ ORTEC รุ่น 276
3. ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 และ Co-60
4. เครื่องนับรังสีชนิดเคลื่อนย้ายได้ต้นแบบ
5. เครื่องคอมพิวเตอร์

4.2.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

จัดการทดลองเพื่อหาค่าฟลักพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 โดยใช้หัววัด Scintillation การจัดอุปกรณ์การทดสอบ แสดงดังรูปที่ 4.28



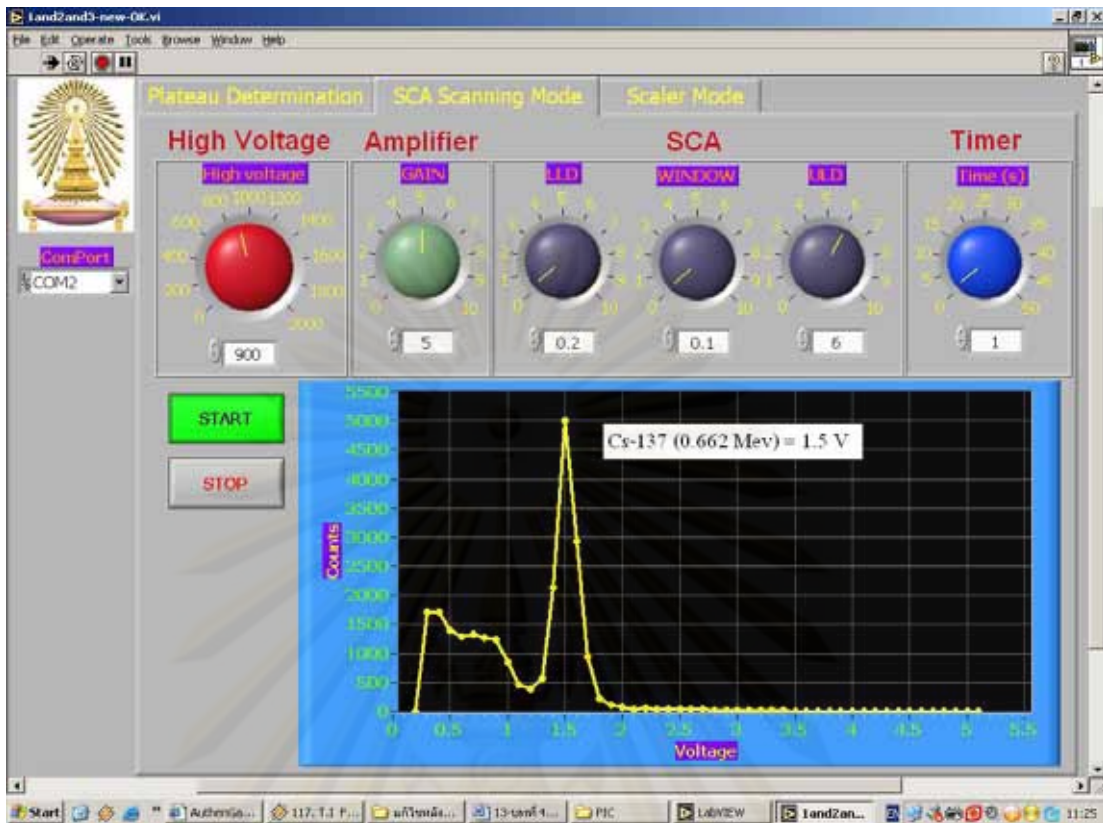
รูปที่ 4.28 การจัดอุปกรณ์ทดสอบระบบวัดแบบนับแยกพลังงานด้วยโหมดสแกน

สเปกตรัมพลังงาน

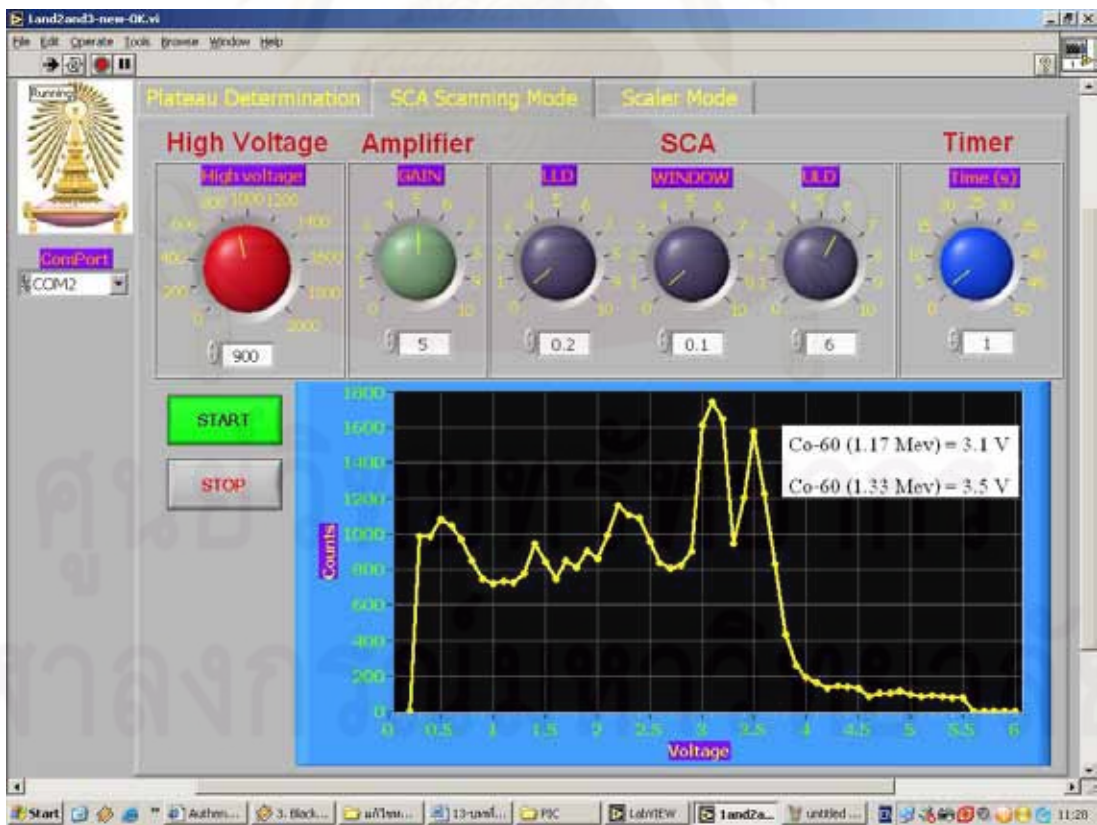
4.2.2.3 ผลการทดสอบ

4.2.2.3.1 การทดสอบหาค่าฟลักพลังงานของ Cs-137 ตั้งค่า HV = 900 V, Gain 5, LLD = 0.2 V, Window = 0.1 V, ULD = 6 V และ Timer = 1 s แสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 4.29

4.2.2.3.2 การทดสอบหาค่าฟลักพลังงานของ Co-60 ตั้งค่า HV = 900 V, Gain 5, LLD = 0.2 V, Window = 0.1 V, ULD = 6 V และ Timer = 1 s แสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 4.30

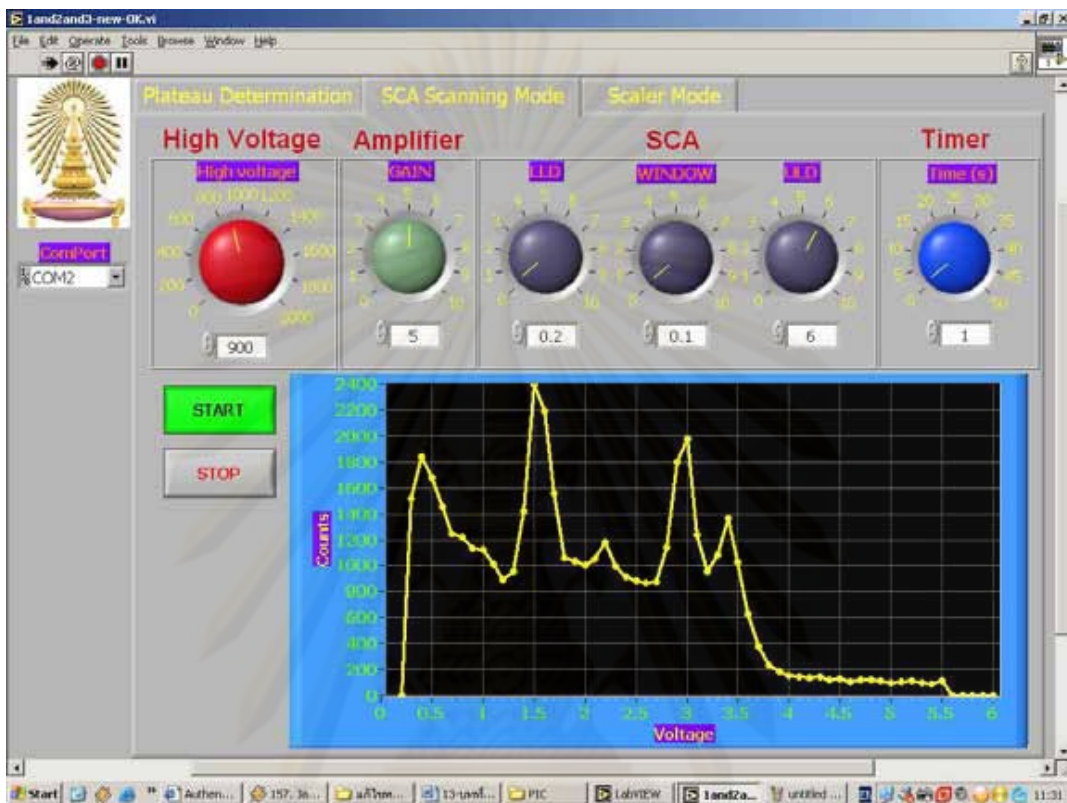


รูปที่ 4.29 สเปกตรัมของ Cs-137 ด้วยโหมดสแกนสเปกตรัมพลังงาน

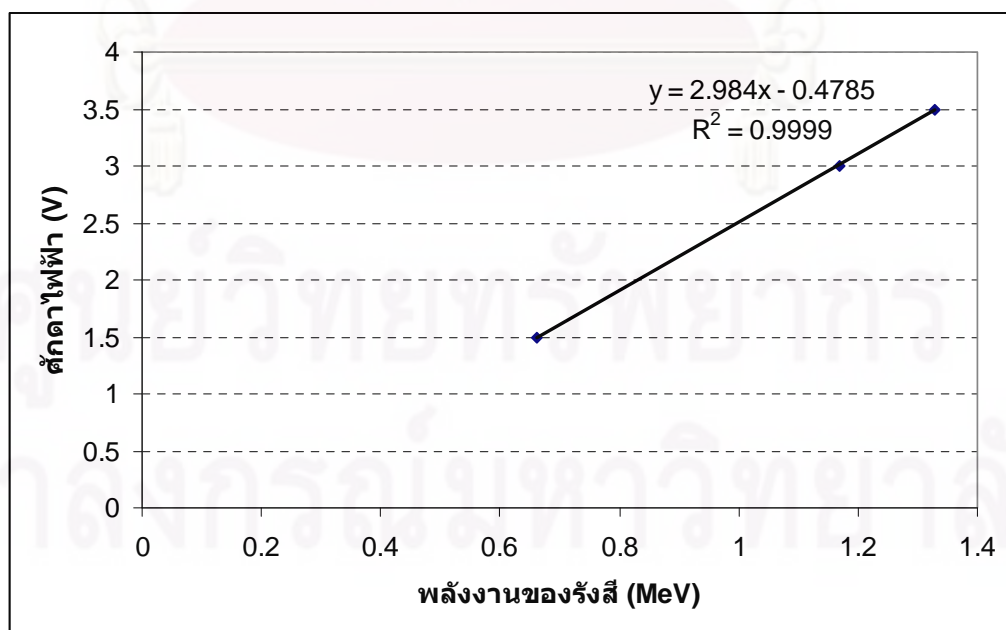


รูปที่ 4.30 สเปกตรัมของ Co-60 ด้วยโหมดสแกนสเปกตรัมพลังงาน

4.2.2.3.3 การทดสอบหาค่าฟิสิกพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 ตั้งค่า HV = 900 V, Gain 5, LLD = 0.2 V, Window = 0.1 V, ULD = 6 V และ Timer = 1 s แสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 4.31 เพื่อทำการเปรียบเทียบพลังงานกับศักดาไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.31 สเปกตรัมของ Cs-137 และ Co-60 ด้วยโหมดสแกนสเปกตรัมพลังงาน



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบพลังงานของรังสีกับศักดาไฟฟ้า

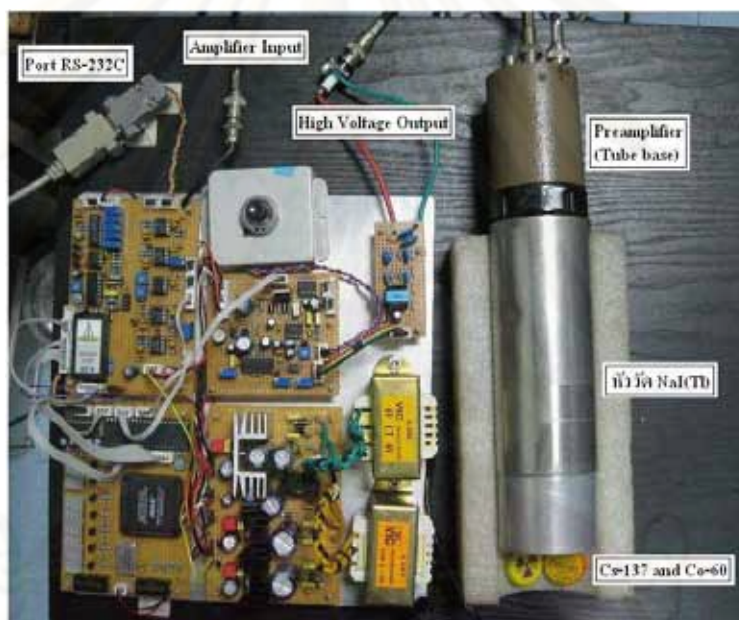
4.2.3 การทดสอบ Scaler Mode

4.2.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หัววัดรังสี NaI(Tl) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว
2. Tube base ของ ORTEC รุ่น 276
3. ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 และ Co-60
4. เครื่องนับรังสีชนิดเคลื่อนย้ายได้ต้นแบบ
5. เครื่องคอมพิวเตอร์

4.2.3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

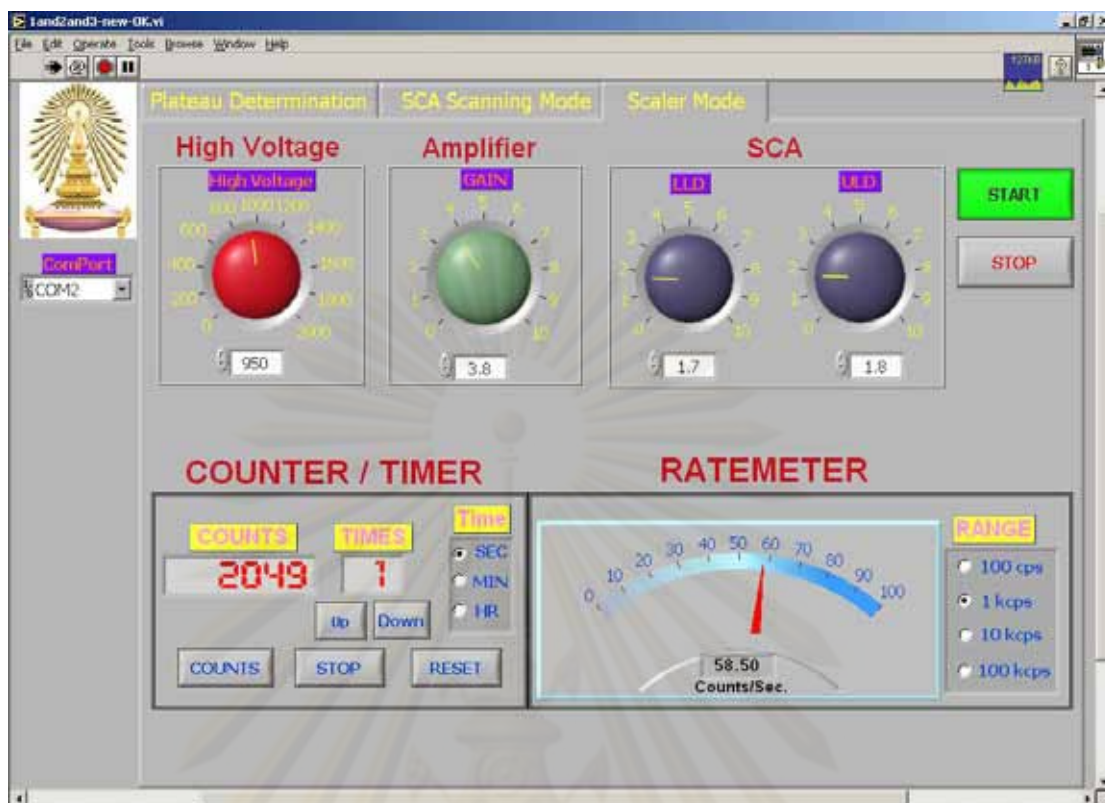
การทดลองเพื่อหาค่าฟิสิกพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 โดยใช้หัววัด Scintillation สามารถจัดอุปกรณ์การทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 การจัดอุปกรณ์ทดสอบระบบวัดแบบนับแยกพลังงานด้วยโหมคนับรังสี

4.2.3.3 ผลการทดสอบ

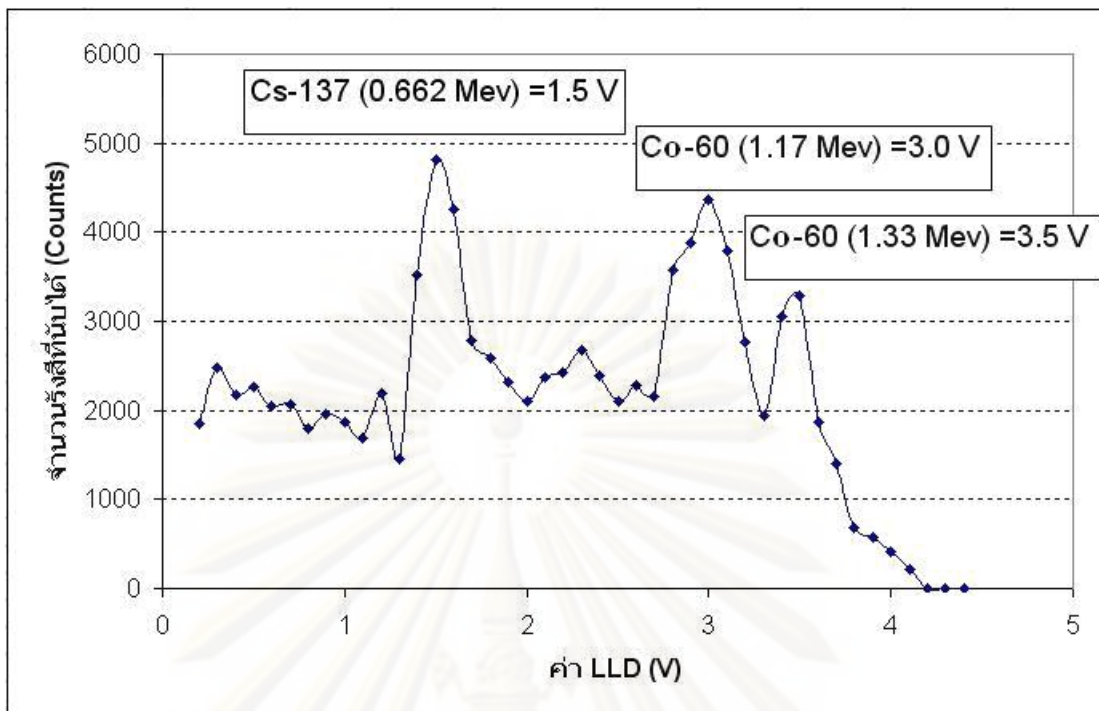
การทดสอบหาค่าฟิสิกพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 ตั้งค่า HV = 900 V, Gain 5, LLD = 0.2 V, ULD = 0.3 V และ Timer = 2 s จากนั้นเพิ่มค่า LLD และ ULD ขึ้นครั้งละ 0.1 V แสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 4.34 และตารางที่ 4.16 และนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า LLD กับ จำนวนรังสีที่นับได้ ดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.34 โปรแกรมการวัดรังสีด้วยโหมคนับรังสี

ตารางที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า LLD กับ จำนวนรังสีที่นับได้

ค่าศักดาไฟฟ้า อ้างอิง (LLD)	จำนวนนับรังสี (Counts)	ค่าศักดาไฟฟ้า อ้างอิง (LLD)	จำนวนนับรังสี (Counts)	ค่าศักดาไฟฟ้า อ้างอิง (LLD)	จำนวนนับรังสี (Counts)
0.2	1853	1.6	4256	3.0	4357
0.3	2482	1.7	2785	3.1	3786
0.4	2181	1.8	2578	3.2	2765
0.5	2260	1.9	2310	3.3	1945
0.6	2039	2.0	2102	3.4	3045
0.7	2060	2.1	2374	3.5	3285
0.8	1790	2.2	2430	3.6	1867
0.9	1967	2.3	2678	3.7	1406
1.0	1861	2.4	2385	3.8	674
1.1	1684	2.5	2103	3.9	576
1.2	2186	2.6	2278	4.0	412
1.3	1452	2.7	2164	4.1	210
1.4	3529	2.8	3572	4.2	0
1.5	4821	2.9	3874	4.3	0



รูปที่ 4.35 สเปกตรัมของ Cs-137 และ Co-60 ด้วยโหมคนับรังสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาเครื่องนับรังสีชนิดเคลื่อนย้ายได้แบบประหยัดโดยใช้ CPLD ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปจัดระบบวัดรังสีได้ 2 แบบ คือ ระบบวัดรังสีแบบนับรวมพลังงานและระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน ซึ่งทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวกในการใช้งาน อีกทั้งได้ออกแบบโหมดในการวัดรังสีไว้ 3 โหมด ได้แก่ โหมดการหาพลาโต โหมดนับรังสี และโหมดสแกนสเปกตรัมพลังงาน

ก. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 1.) 5 V 500 mA ค่า Noise และ ripple ของสัญญาณประมาณ 20 mV ทั้งขณะไม่มีโหลดและขณะต่อโหลด 2.) +15 V 1.9A และ -15 V 1.38A ค่า Noise และ ripple ของสัญญาณประมาณ 30 mV ทั้งขณะไม่มีโหลดและขณะต่อโหลด

ข. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงจ่ายแรงดันได้สูงสุด 2000 V 1 mA ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 -2000 V ที่หน้าปัด มีค่าความละเอียดในการปรับที่ 1 ช่องสเกลเล็กเท่ากับ 4 V ความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับค่าศักดาไฟฟ้าจากหน้าปัดเท่ากับ $R^2 = 0.9986$ และความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับค่าศักดาไฟฟ้าจากคอมพิวเตอร์เท่ากับ $R^2 = 0.9992$ ค่า Noise และ ripple ของสัญญาณอยู่ที่ประมาณ 20 mV ขณะไม่ต่อโหลดและประมาณ 30 mV ขณะต่อโหลด

ค. วงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้นมีอัตราขยายสัญญาณ 100 เท่า สามารถแต่งสัญญาณพัลส์ให้อยู่ในแบบ Semi Gaussian ที่มีความกว้างพัลส์ขนาด 3 μ S มีความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบอินทิกรัล 0.99% ความเป็นเชิงเส้นของสเกลอัตราขยายแบบต่อเนื่องจากหน้าปัดมีค่า $R^2 = 0.9999$ และความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับค่าศักดาไฟฟ้าจากคอมพิวเตอร์มีค่า $R^2 = 0.9998$

ง. วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว สร้างสัญญาณลอจิกพัลส์ทางออกขนาด 500 ns ปรับค่า LLD และ ULD ได้จาก 0 - 10 V ที่ค่าความละเอียดครั้งละ 0.1V ความเป็นเชิงเส้นของสเกล LLD มีค่า $R^2 = 0.9999$ และความเป็นเชิงเส้นของ ULD มีค่า $R^2 = 0.9999$ ความสามารถในการนับพัลส์ที่เข้ามาใกล้กันมาก พบว่าค่ารีซอลวิงไทม์ (Resolving time) ที่น้อยที่สุดที่สามารถแยกพัลส์ออกจากกันมีค่าประมาณ 1.06 μ s

จ. วงจรนับรังสี และวงจรตั้งเวลา ที่ได้นำเอาชิป CPLD มาออกแบบ สามารถแสดงผลการนับได้ตั้ง 1-999,999 Counts พร้อมทั้งเลือกตั้งเวลา 3 แบบคือ จาก 1-99 วินาที, จาก 1-

ฉ. วงจรเรตมิเตอร์ สามารถนับอัตราสัญญาณพัลส์ได้ตั้งแต่ 0 cps – 100 kcps เมื่อพิจารณาความไม่เป็นเชิงเส้นจากผลการปรับเทียบสเกลอัตรานับพัลส์ทั้ง 4 ย่านวัดพบว่ามีความน้อยกว่า 0.8% และค่าความไม่เป็นเชิงเส้นของการแปลงผันสัญญาณอานาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลมีค่าน้อยกว่า 0.13%

ช. วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ควบคุมการทำงานจากคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต RS-232 ปรับค่า HV ได้ตั้งแต่ 0 - 2000 V ควบคุมการปรับอัตราขยาย ได้ตั้งแต่ 0 – 100 เท่า ควบคุมการปรับค่า LLD และ ULD ได้ตั้งแต่ 0 – 10 V ควบคุมการปรับค่า Timer ได้ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 99 ชั่วโมง ที่ความละเอียดครั้งละ 1 วินาที, 1 นาที และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ และควบคุมการเลือกย่านความถี่ที่ต้องการของวงจรเรตมิเตอร์ได้ 4 ย่าน คือ 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz และ 100 kHz ตามลำดับ พร้อมทั้งสามารถแสดงจำนวนนับรังสีได้ตั้งแต่ 0 – 999,999 Counts

5.1.2 การพัฒนาโปรแกรม

การพัฒนาโปรแกรมมี 3 ส่วนคือ ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ใช้โปรแกรม Proton Plus เพื่อเป็นตัวเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ส่วนต่างๆ กับคอมพิวเตอร์ ส่วนคอมพิวเตอร์ ได้ใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อเป็นตัวแสดงผลที่รับคำสั่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมทั้งส่งคำสั่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์ส่วนต่างๆ และส่วน CPLD ได้ใช้โปรแกรม Quartus ในการออกแบบวงจรนับรังสีและวงจรตั้งเวลา เพื่อลดขนาดของวงจรให้เล็กลงและเพิ่มขีดความสามารถในการนับอัตราสัญญาณพัลส์ให้สูงขึ้น

5.2 คุณสมบัติของเครื่องมือ

5.2.1 LINE POWER: 220 VAC, 50 Hz

5.2.2 INPUT SENSITIVITY: สามารถใช้หัววัดได้ 3 ประเภท ได้แก่ G-M, Proportional และ Scintillation

5.2.3 HIGH VOLTAGE: ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 - 2000 โวลต์ โดยรองรับโหลด 2 MΩ

5.2.4 PULSE AMPLIFIER: ปรับอัตราขยายได้ 0-100 เท่า

5.2.5 SCALER: โปรแกรมอยู่ในชิป CPLD สามารถแสดงผลได้ 6 หลัก และความสามารถในการนับสัญญาณพัลส์สูงสุดเท่ากับ 1 MHz

5.2.6 TIMER: โปรแกรมอยู่ในชิป CPLD สามารถตั้งเวลาตั้งแต่ 0 วินาที ถึง 99 ชั่วโมง ที่ความละเอียดครั้งละ 1 วินาที, 1 นาที และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ

5.2.7 RATEMETER: นับสัญญาณพัลส์ได้ 0 – 100 kcps เลือกย่านความถี่ได้ 100 cps, 1 kcps, 10 kcps และ 100 kcps

5.2.8 THRESHOLD and WINDOW: ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0.1 – 10 โวลต์

5.2.9 INTERFACING: เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต RS-232C

5.2.10 SIZE: กว้าง 25 เซนติเมตร X ยาว 26 เซนติเมตร X สูง 10 เซนติเมตร

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

5.3.1 ความละเอียดของการปรับ Digital Potentiometer ขนาด 8 บิต มีผลต่อการตั้งค่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงในการสแกนการหาปลาโต เนื่องจากไฟฟ้าศักดาสูงจะต้องเพิ่มค่าขึ้นเรื่อยๆ ทำให้มีการบิดจุดทศนิยมในการแปลงเลขฐานสองเป็นเลขฐานสิบทำให้ค่าจะเปลี่ยนแปลงไปจากค่าความเป็นจริง

5.3.2 การเชื่อมโยงอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงผลบนคอมพิวเตอร์มีปัญหาในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลทำให้บางครั้งข้อมูลอาจจะขาดหายบ้าง

5.4 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการทดสอบเครื่องนับรังสีที่พัฒนาขึ้นโดยการนำไปใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการเพื่อการเรียนการสอนทางด้านนิวเคลียร์ เพื่อที่จะได้ทราบข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นและนำข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมาปรับปรุงการทำงานให้ดีขึ้นและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับของที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เป็นการช่วยลดการนำเข้าอุปกรณ์จากต่างประเทศ

รายการอ้างอิง

- [1] สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, เดโช ทองอร่าม และศิริพงษ์ ไชยมงค้. ระบบวัดรังสีด้วยหัววัดไกเกอร์มูลเลอร์บนไมโครคอมพิวเตอร์. วารสารศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 8(2543) : 38-50.
- [2] สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. Nuclear radiation detection and instrumentation. เอกสารการสอนวิชา 2111606 นิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [3] เดโช ทองอร่าม. การพัฒนาระบบควบคุมความหนาแบบนิวคลีโอนิกสำหรับเครื่องรีดโลหะบาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- [4] สิริยาภรณ์ แสงอรุณ. การพัฒนาระบบมอนิเตอร์รังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [5] ชีระยุทธ เพลิดพริ้ง. การพัฒนาระบบวัดรังสีแบบโมดูลขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [6] กลมทิพย์ พลอยกระจำง. เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ทำงานบนพ็อกเก็ตพีซีโดยใช้ไปป์ไลน์เอดีซี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [7] ฌัญฐพล วงศ์สุนทรชัย และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87X. กรุงเทพฯ : อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์, (ม.ป.ป).
- [8] สมบูรณ์ เนียมกล้า. การเรียนรู้และประยุกต์การใช้งาน PIC Microcontroller. กรุงเทพฯ : เอ็ดดิสันเพรสโปรดักส์, 2547.
- [9] เจริญ เพชรมณี. เรียนลัด LabVIEW. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2547.
- [10] P.W. NICHOLSON. Nuclear Electronics. John Wiley & Sons, Ltd, 1974.
- [11] วัชรินทร์ เคารพ. เรียนรู้และเข้าใจ CPLD XC95108. กรุงเทพฯ: บริษัท อีทีที จำกัด, 2546.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



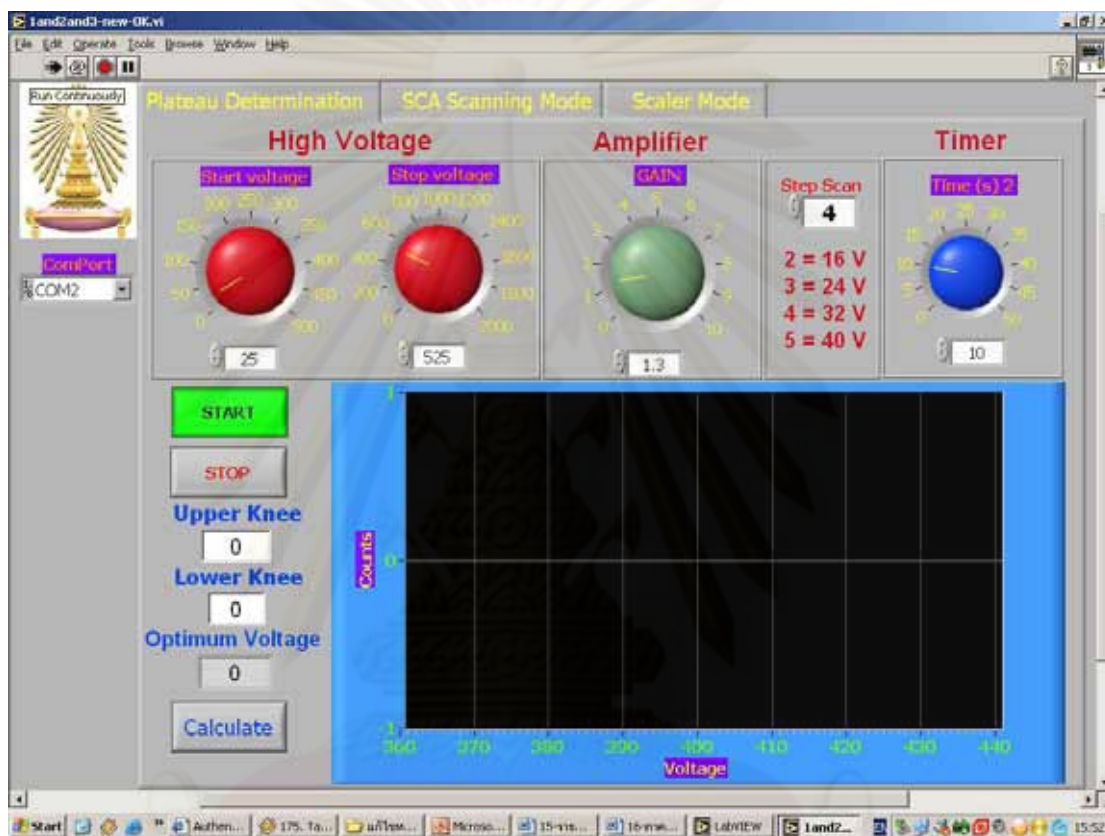
ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

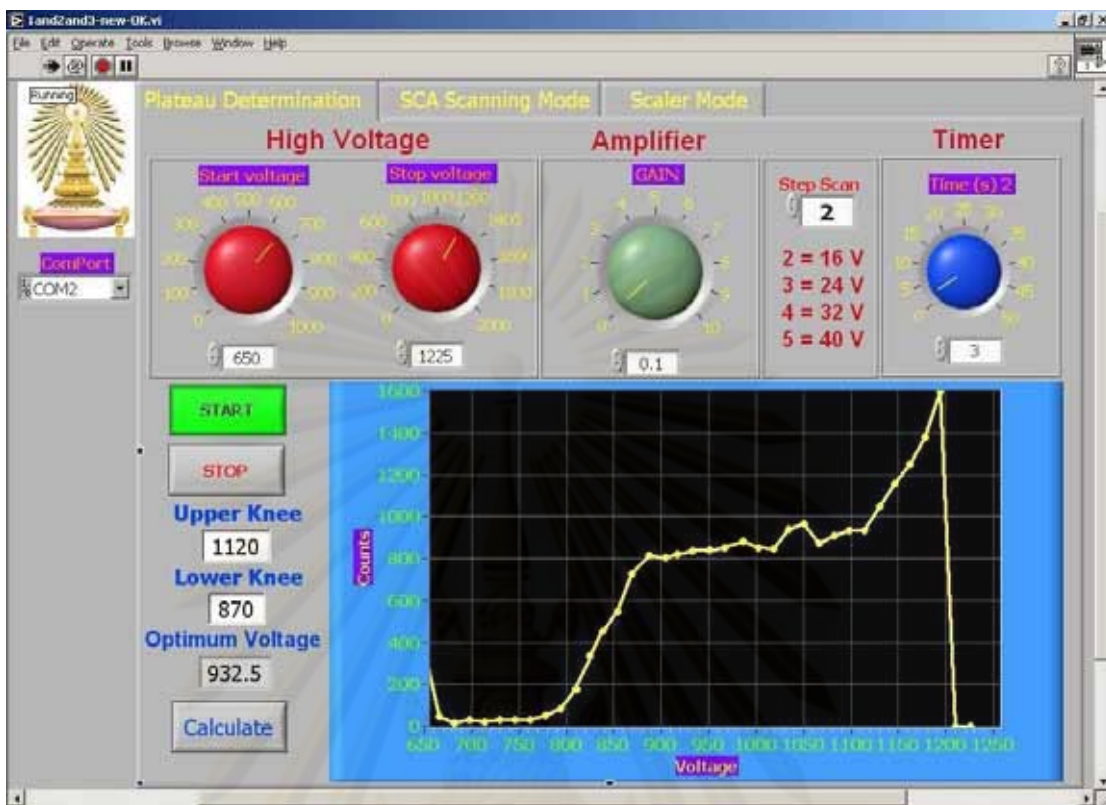
คู่มือการใช้งาน โปรแกรมนับรังสีชนิดเคลื่อนย้ายได้แบบประหยัดโดยใช้ CPLD

1. ทำการเลือกพอร์ต RS-232 ที่เชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการเลือกโหมดในการวัดรังสีด้วยกัน 3 โหมด คือ Plateau Determination Mode, SCA Scanning Mode และ Scaler Mode ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพหน้าจอปกติ

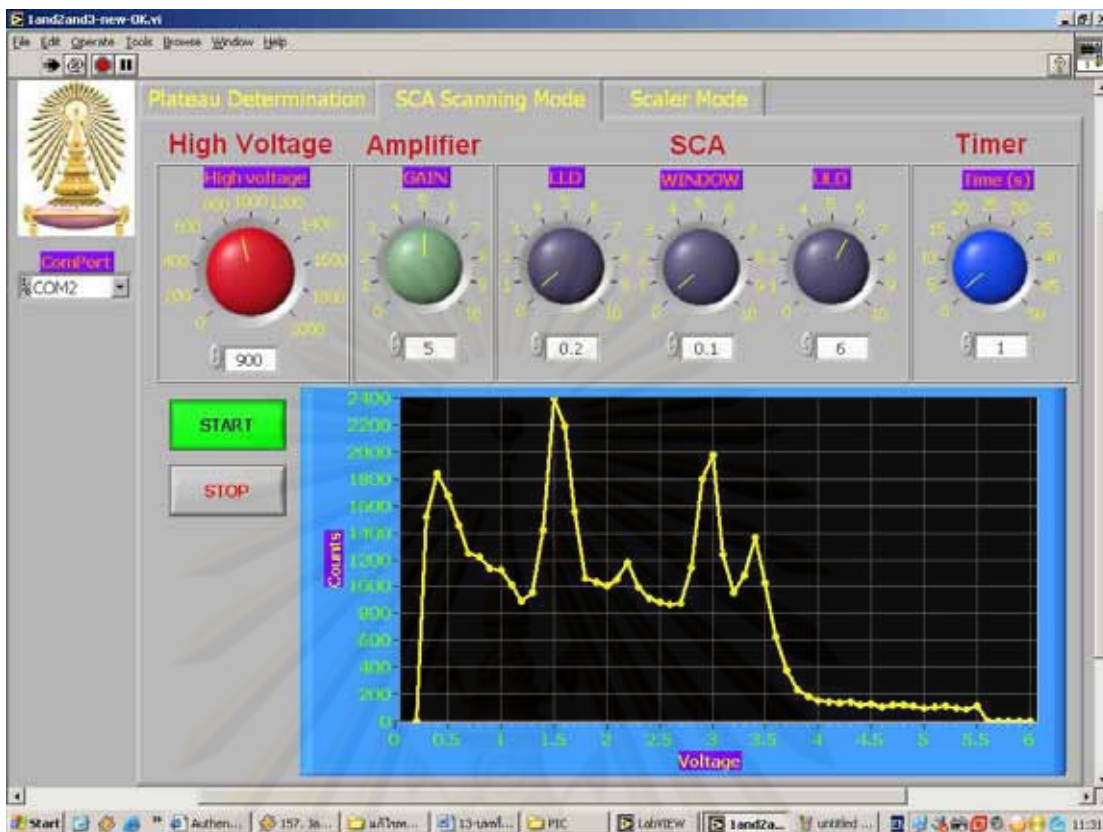
2. โหมดที่ 1 Plateau Determination Mode เริ่มจากปรับ Start Voltage, Stop Voltage, Gain และ Step Scan ตามที่ต้องการ
3. คลิกปุ่ม START เพื่อต้องการวัดค่า Optimum Voltage ที่เหมาะสมกับหัววัด
4. คลิกปุ่ม STOP เพื่อต้องการหยุดการทำงานของโปรแกรมและสามารถเลือกโหมดอื่นได้
5. การคำนวณค่า Optimum Voltage หลังจากโปรแกรมทำงานเสร็จแล้วให้ใส่ค่าที่ Upper Knee และ Lower Knee จากนั้น คลิกปุ่ม Calculate จากนั้นจะได้ค่า Optimum Voltage ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Plateau Determination Mode

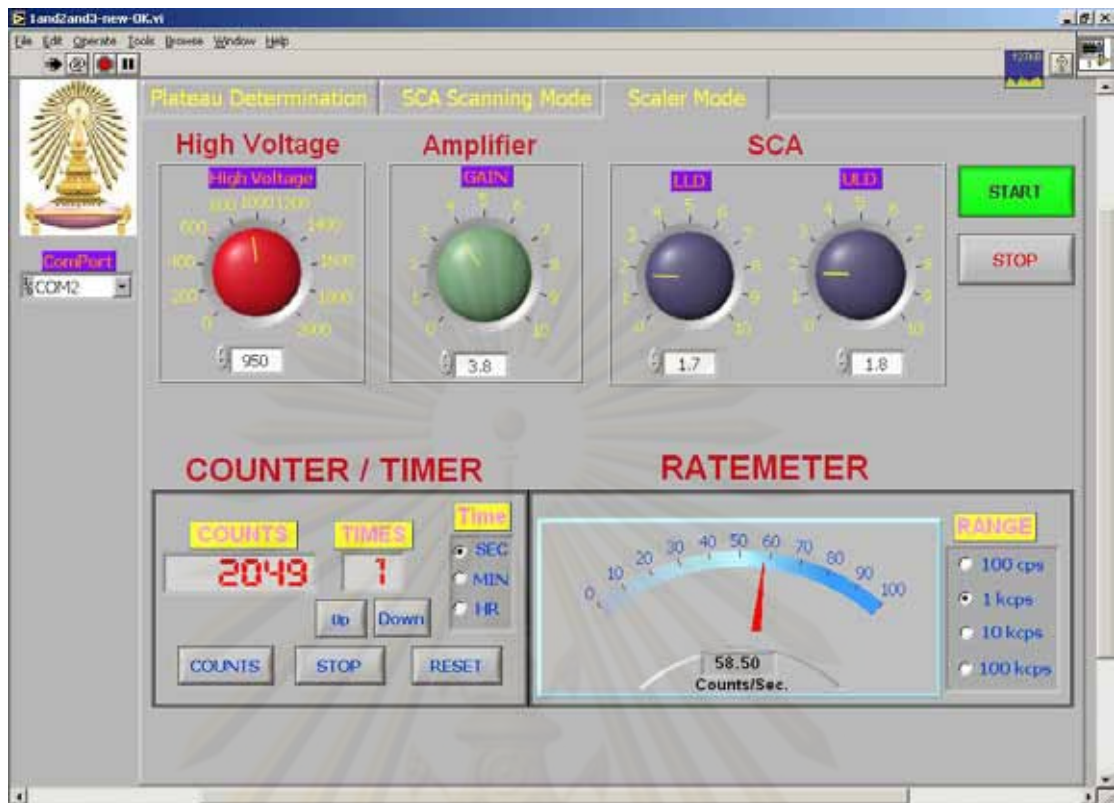
6. โหมดที่ 2 SCA Scanning Mode เริ่มจากปรับ High Voltage, Gain, LLD, WINDOW, ULD, Timer(S) ตามที่ต้องการ จากนั้นคลิกปุ่ม START เพื่อต้องการวัดสเปกตรัม ดังรูปที่ 3
7. คลิกปุ่ม STOP เพื่อต้องการหยุดการทำงานของโปรแกรมและสามารถเลือกโหมดอื่นได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3 SCA Scanning Mode

8. โหมดที่ 3 Scaler Mode เริ่มจากปรับ High Voltage, Gain, LLD และ ULD ตามที่ต้องการ จากนั้นคลิกปุ่ม START เพื่อเข้าสู่โหมดการวัดรังสี ดังรูปที่ 4
9. คลิกปุ่ม Up, Down เพื่อต้องการเพิ่มหรือลดเวลาในการวัดรังสี ตามลำดับ
10. เลือกคลิกปุ่ม SEC, MIN และ HR เพื่อตั้งเวลานับรังสีให้เป็น วินาที, นาที, ชั่วโมง ตามลำดับ
11. เลือกคลิกปุ่ม 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz และ 100 kHz เพื่อเลือกย่านการวัด (RANGE) ของ RATE METER
12. คลิกปุ่ม COUNTS เพื่อต้องการให้นับรังสีตามที่เวลากำหนด
13. คลิกปุ่ม STOP (ปุ่มข้างล่าง) เพื่อต้องการหยุดการนับรังสี
14. คลิกปุ่ม RESET เพื่อต้องการเคลียร์ค่า COUNTS
15. คลิกปุ่ม STOP (ปุ่มข้างบน) เพื่อต้องการหยุดการทำงานของโปรแกรมและสามารถเลือกโหมดอื่นได้



รูปที่ 4 Scaler Mode

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมนับรังสีชนิดเคลื่อนย้ายได้แบบประหยัดโดยใช้ CPLD

```

*****
*****
***
'* Name      : PORTABLE
SCALER.BAS
*
'* Author    : [select
VIEW...EDITOR OPTIONS]
*
'* Notice    : Copyright (c)
2009 [select VIEW...EDITOR
OPTIONS] *
'*          : All Rights
Reserved
*
'* Date      : 9/9/2009
*
'* Version   : 1.0
*
'* Notes     :
*
'*          :
*
*****
*****
***
Include "PROTON_4.INC"
        ADIN_RES 10
        ' Set the
resolution to 10
        ADIN_TAD  FRC
        ' Choose the
RC osc for ADC samples
        ADIN_STIME 50
        ' Allow 100us
for charge time

ADCON1 = %10001110
TRISD  = %00000000
TRISA.0 = 1
TRISE  = $00
PORTE  = $00

Dim Semode[2] As Byte

Dim Column As Byte
Dim IN_DATA[4] As Byte
Dim i As Byte
Dim rTime As Byte
Dim LLD As Byte
Dim ULD As Byte
Dim F_ULD As Byte
Dim Window As Byte
Dim LL,UU,WIN,F_UU As Byte
Dim Stp As Byte

Dim xTime As Byte
Dim Pulse As Word
Dim tFlag As Word

Dim settime[2] As Byte
Dim index As Byte
Dim dataTime[2] As Byte
Dim dataCount[6] As Byte
Dim DTime As Byte
Dim DCount As Byte
Dim jj[1] As Byte
Dim kk[1] As Byte
Dim j As Byte
Dim k As Byte

Dim iii As Byte
Dim jjj As Byte
Dim dataTime1[2] As Byte
Dim dataCount1[6] As Byte
Dim Rangel As Byte
Dim Range2 As Byte
Dim InputADC As Word

Dim OutputADC As Word

Dim ZZ As Byte
Dim StartV As Word
Dim UpV As Byte
Dim StopV As Byte
Dim StepV As Byte
Dim StepScan As Byte

Symbol OEN=PORTA.1
Symbol CSSCA=PORTA.2
Symbol STA=PORTA.3
Symbol STB=PORTA.5

Symbol STSTOP=PORTB.1
Symbol STCOUN=PORTB.2
Symbol Up=PORTB.3
Symbol Down=PORTB.4
Symbol STCLR=PORTB.5
Symbol Clk1=PORTB.6
Symbol Clmod=PORTB.7

Symbol SEL_R1 = PORTC.0
Symbol SEL_R2 = PORTC.1

Symbol A0 = PORTE.0
' dac address input 0 (select 1
of 4 comparator)

```

```

Symbol WR = PORTE.1
' write (enable low)
Symbol CS = PORTE.2
' chip select (enable low)
Symbol Pin = PORTB.0

Symbol SCK = PORTC.3
' Clock pin
Symbol SO = PORTC.5
' Data out pin
Symbol CSAMP = PORTC.4
Symbol CSHV = PORTC.2

```

```

CS=1
Low SEL_R1
Low SEL_R2
Output Up
Output Down
Output Clk1
Output Clmod

```

```

Output CSAMP
Output CSHV
Clmod=0
Down=1
High STCOUN
High STSTOP
Low STA
Low STB

```

```

main:
  CSAMP = 1
  CSHV = 0
  SHOut SO, SCK,
msbfirst,[$11,20]
  CSHV = 1
  DelayMS 10
  HSerIn [Str Semode]

  Select Semode[0]

  Case "X"
    index = Val
(Semode,Dec)
    If index = 0 Then
      'hserout ["PP"]
      GoTo Platau
    EndIf
    If index = 1 Then
      'hserout ["Scan"]
      GoTo ScanMode
    EndIf
    If index = 2 Then
      GoTo ScalerMode
    EndIf

  EndSelect
.....

```

ScalerMode:

```

INTCON.7=0 'dis all interrupt
ADCON1 = %10001110
TRISD = %00000000
TRISA.0 = 1
TRISE = $00
PORTE = $00

```

```

CS=1
Low SEL_R1
Low SEL_R2
Output Up
Output Down
Output Clk1
Output Clmod

Output CSAMP
Output CSHV
Clmod=0

```

```

i=1
j=5
iii=1
jjj=5
Up=1
Down=1
High STCOUN
High STSTOP
Low STA
Low STB

```

Setscaler:

```

TRISD = %00000000
For k=0 To 3
  HSerIn [Str IN_DATA]

  Select IN_DATA[0]

  Case "H"
    CSAMP = 1
    index = Val
(IN_DATA,Dec)
    CSHV = 0
    SHOut SO, SCK,
msbfirst,[$11,index]
    CSHV = 1
    DelayUS 10

  Case "A"
    index = Val
(IN_DATA,Dec) 'conver str to
dec

    CSAMP=0
    SHOut SO, SCK,
msbfirst, [$11,index]
Send write enable command
    CSAMP = 1
' Disable to execute command
    DelayUS 10

```

```

Case "L"
  TRISD = $00
  Low OEN
  Low CSSCA
  DelayUS 10
  CS = 0 'RE1
  A0 = 0 'RA3
  WR = 0 'RE0
  index = Val
(IN_DATA,Dec) 'conver str to
dec

  LLD = (index* 255)/100
  DelayUS 10
  PORTD = LLD
  WR = 1
  CS = 1

Case "U"
  TRISD = $00
  Low OEN
  Low CSSCA
  DelayUS 10
  CS = 0
  A0 = 1
  WR = 0
  index = Val
(IN_DATA,Dec)
  ULD = (index*255)/100
  DelayUS 10
  PORTD = ULD
  WR = 1
  CS = 1

EndSelect
  DelayUS 10
Next

CounterTimer:

TRISD = $FF
High OEN
Low CSSCA
  HSerIn 10,T1 ,[Str settime]
  Select settime[0]

    Case "Z"
      index = Val
      (settime,Dec) 'conver str to
      dec
      If index = 1 Then
        GoTo main
      EndIf

    Case "U"
      index = Val
      (settime,Dec) 'conver str to
      dec
      If index = 1 Then
        Up=0
        DelayUS 1
        Up=1

```

```

.....
      EndIf
    Case "D"
      index = Val
      (settime,Dec) 'conver str to
      dec
      If index = 1
        Then
          Down=0
          DelayUS 1
          Down=1
        .....
      EndIf
    Case "C"
      index = Val
      (settime,Dec) 'conver str to
      dec
      If index = 1
        Then
          Low STCOUN
          DelayUS 1
          High STCOUN
          iii=1
          jjj=5
          GoTo C1
        EndIf
    Case "S"
      index = Val
      (settime,Dec) 'conver str to
      dec
      If index = 1
        Then
          Low STSTOP
          DelayUS 1
          High STSTOP
        .....
      EndIf
    Case "R"
      index = Val
      (settime,Dec) 'conver str to
      dec
      If index = 1
        Then
          Low STCLR
          DelayUS 1
          High STCLR
        .....
      EndIf
    Case "T"
      index = Val
      (settime,Dec) 'conver str to
      dec
      If index = 1 Then
        Clmod=0

```

```

        Low STA
        Low STB
    EndIf
    If index = 2 Then
        Clmod=0
        High STA
        Low STB
    EndIf
    If index = 3 Then
        Clmod=0
        Low STA
        High STB
    EndIf
EndSelect
.....
T1:
    'TRISD = $FF
    If i=1 Then
        Clmod=1
        Clk1=1
        DelayUS 1
        DTime = PORTD &
%00001111
        StrN jj = Str$(Dec
DTime)
        dataTime[i]= jj[0]
        DelayUS 1

        Clk1=0
        DelayUS 1
        i=0
        Clk1=1
        DelayUS 1
        DTime = PORTD &
%00001111
        StrN jj = Str$(Dec
DTime)
        dataTime[i]= jj[0]
        HSerOut [Str dataTime]
        HSerOut [10]
        DelayUS 1
        Clk1=0
        DelayUS 1

        i=1
        Clmod=0
    EndIf
GoTo CounterTimer
.....
C1:
    TRISD = %11111111
    '-----
    Clmod=1
    If iii=1 Then
        Clmod=1
        Clk1=1
        DelayUS 1
        DTime = PORTD &
%00001111

```

```

        StrN jj = Str$(Dec
DTime)
        dataTime1[iii]= jj[0]
        '-----
        DelayUS 1
        Clk1=0
        DelayUS 1
        iii=0
        Clk1=1
        DelayUS 1
        DTime = PORTD &
%00001111
        StrN jj = Str$(Dec
DTime)
        dataTime1[iii]=
        jj[0]
        'HSerOut ["T"]
        HSerOut [Str
dataTime1]
        'hserout[13]
        '-----
        DelayUS 1
        Clk1=0
        Clmod=0
        DelayUS 1
        iii=10
    EndIf

    If jjj<6 Then
        Clk1=1
        Clmod =1
        DelayUS 1

        DCount = PORTD &
%11110000
        DCount = DCount >> 4
        StrN kk = Str$(Dec
DCount)
        dataCount1[jjj]= kk[0]
        DelayUS 1
        Clk1=0
        DelayUS 1
        jjj=jjj-1
    EndIf

    If jjj=0 Then
        Clk1=1
        DelayUS 1
        '-----
        DCount = PORTD &
%11110000
        DCount = DCount >> 4
        StrN kk = Str$(Dec
DCount)
        dataCount1[jjj]= kk[0]
        ' HSerOut ["C"]
        HSerOut [Str dataCount1]
        'hserout [13]

```

```

'-----
DelayUS 1
Clk1=0
Clmod=0
DelayUS 1
iii=1
jjj=5

InputADC = ADIn 0

OutputADC = (InputADC /
10)*48.924
' HSerOut [" R"]
HSerOut [DEC4 OutputADC]
' HSerOut [13]
EndIf

.....

HSerIn 20,C1 ,[Str settime]
Select settime[0]

Case "Z"
index = Val
(settime,Dec) 'conver str to
dec

If index = 1
Then
GoTo main

.....

EndIf

Case "R"
index = Val
(settime,Dec) 'conver str to
dec

Then
Low STSTOP
DelayUS 1
High STSTOP
'-----
Low STCLR
DelayUS 1
High STCLR
iii=1
GoTo
CounterTimer

.....

EndIf

Case "S"
index = Val
(settime,Dec) 'conver str to
dec

Then
Low STSTOP
DelayUS 1

High STSTOP
GoTo C1

.....

EndIf

Case "C"
index = Val
(settime,Dec) 'conver str to
dec

If index = 1
Then
Low STCOUN
DelayUS 1
High STCOUN
iii=1
jjj=5
Clmod=0
GoTo C1
EndIf

Case "M"
index = Val
(settime,Dec)

If index = 1
Then
Low SEL_R1
Low SEL_R2
'HSerOut ["M1"]
'HSerOut [13]
Clmod=0
iii=1
jjj=5
GoTo C1
EndIf

If index = 2
Then
High SEL_R1
Low SEL_R2
' HSerOut ["M2"]
'HSerOut [13]
Clmod=0
iii=1
jjj=5
GoTo C1
EndIf

If index = 3
Then
Low SEL_R1
High SEL_R2
'HSerOut ["M3"]
'HSerOut [13]
Clmod=0
iii=1
jjj=5
GoTo C1
EndIf

If index = 4
Then

```

```

High SEL_R1
High SEL_R2
'HSerOut ["M4"]
'HSerOut [13]
Clmod=0
iii=1
jjj=5
GoTo C1
EndIf

EndSelect

GoTo C1

.....

Platau:

ADCON1 = $06
'Configure all A/D pin of
portA/E to digital I/O

CS=1
Output CSAMP
Output CSHV
TRISC.4=0 ' csamp out
TRISC.2=0 ' cs hv out
TRISA = $00 ' All portd
pins are output
TRISD = $00
TRISE = $00
PORTA = $00 ' Initial
value on PORTB
PORTD = $00
PORTE = $00

TMR0 = 6 '
start timer0 from 6
rTime = 0 '
Initial value for measurement
time
tFlag = 0 '
Initial value for count timer0
interrupt
Pulse = 0
ZZ = 0
On Interrupt GoTo
count2
OPTION_REG = %11000100
'100=1:32
INTCON = %10110000

SetPlatau:

Low OEN
Low CSSCA

For i=0 To 4
HSerIn [Str IN_DATA]

```

```

Select IN_DATA[0]

Case "Q"
index = Val
(IN_DATA,Dec)
StartV = index+1

Case "W"
index = Val
(IN_DATA,Dec) 'conver str to
dec
StopV = index+1

Case "A"
CSHV = 1
index = Val
(IN_DATA,Dec) 'conver str to
dec
CSAMP=0
SHOut SO, SCK,
msbfirst, [$11,index] '
Send write enable command
CSAMP = 1
'Disable to execute command

Case "P"
index = Val
(IN_DATA,Dec) 'conver str to
dec
StepV = index
StepScan = (StopV -
StartV)/StepV
StepScan = StepScan +
1

Case "T"
xTime = Val
(IN_DATA,Dec)

EndSelect
DelayUS 10

Next

SetSCA:

Low OEN
Low CSSCA
INTCON.7 = 1 ' enable
all interrupt
'set LLD
CS = 0 'RE1
A0 = 0 'RA3
WR = 0 'RE0
'HSerOut [DEC4 LLD]
PORTD = %00000110 'set
LLD=0.2V
DelayUS 10
WR = 1
CS = 1
DelayUS 10

```



```

' /-----
' set ULD
  CS = 0
  A0 = 1
  WR = 0
  PORTD = %11111111 'set
ULD=10V
  DelayUS 10
  WR = 1
  CS = 1
  DelayUS 10

GoTo setHV

' /-----

setHV:

  While ZZ <= StepScan
    CSAMP = 1
    Inc ZZ
    CSHV = 0
    SHOut SO, SCK,
msbfirst,[$11,StartV]
    CSHV = 1
    DelayMS 50

GoTo Meas1

Meas1:

  ' start measurement
  INTCON.7=1 'enable all
  interrupt

  If tFlag = 125 Then
    Inc rTime '
  increase time 1 s 1s=625 ,
  100ms=62
  tFlag = 0 '
  clear tFlag
  End If
  If rTime = xTime Then
    INTCON.7 = 0 '
  disable all interrupt
  DelayMS 50
  HSerOut [Dec Pulse]
  HSerOut [13]
  TMR0 = 6
  StartV = StartV +

StepV
  '-----
  Pulse = 0
  ' clear counter
  rTime = 0
  ' clear timer
  GoTo setHV
  End If

GoTo Meas1

Wend
GoTo main
Disable

count2:

  If INTCON.1 = 1 Then '
  External interrupt (RB0 pin) ?
    Inc Pulse
  ' increase Pulse when RB0
  change
    INTCON.1 = 0

  Else
    If INTCON.2 = 1 Then
  ' TMR0 interrupt occurred ?
    Inc tFlag
  ' increase time tFlag
    TMR0 = 6
  ' for 20 MHz (256-
  6)*1/(20/4)*32*625 = 1s
    INTCON.2 = 0
    End If
  End If

Resume
Enable

'-----

ScanMode:

  ADCON1 = $06
  'Configure all A/D pin of
  portA/E to digital I/O

  CS=1
  Output CSAMP
  Output CSHV
  TRISC.4=0 ' csamp out
  TRISC.2=0 'cs hv out
  TRISA = $00 ' All portd
  pins are output
  TRISD = $00
  TRISE = $00
  PORTA = $00 ' Initial
  value on PORTB
  PORTD = $00
  PORTE = $00

  TMR0 = 6 '
  start timer0 from 6
  rTime = 0 '
  Initial value for measurement
  time

```

```

tFlag = 0
Initial value for count timer0
interrupt
Pulse = 0

On Interrupt GoTo
count1
OPTION_REG = %11000100
'100=1:32
INTCON = %10110000

setscan:
Low OEN
Low CSSCA
For i=0 To 5
HSerIn [Str IN_DATA]

Select IN_DATA[0]

Case "H"
CSAMP = 1
index = Val
(IN_DATA,Dec)
CSHV =0
SHOut SO, SCK,
msbfirst,[$11,index]
CSHV = 1
DelayUS 10

Case "A"
CSAMP = 1
index = Val
(IN_DATA,Dec) 'conver str to
dec
CSAMP=0
SHOut SO, SCK,
msbfirst, [$11,index]
Send write enable command
CSAMP = 1
'Disable to execute command

Case "L"
index = Val
(IN_DATA,Dec) 'conver str to
dec
LL = index
LLD = (index* 255)/100

Case "E"
index = Val
(IN_DATA,Dec)
WIN = index
UU = LL + WIN
Window =
(index*255)/100
ULD=LLD + Window

Case "U"
index = Val
(IN_DATA,Dec)
F_UU = index
F_ULD = (index*255)/100

```

```

Case "T"
xTime = Val
(IN_DATA,Dec)

EndSelect
DelayUS 10

Next

SCA:
Low OEN
Low CSSCA

While UU < F_UU

Inc i
INTCON.7 = 1 ' enable
all interrupt
'set LLD
CS = 0 'RE1
A0 = 0 'RA3
'A1 = 1 'RA5
WR = 0 'RE0

PORTD = LLD
DelayMS 10
WR = 1
CS = 1

DelayMS 10

'////////////////////////////////////
'set ULD
CS = 0
A0 = 1
'A1 = 1
WR = 0
PORTD = ULD
DelayMS 10
WR = 1
CS = 1
DelayMS 10

GoTo Meas

'////////////////////////////////////

Meas:

'start measurement
INTCON.7=1 'enable all
interrupt
If tFlag = 125 Then
Inc rTime
increase time 1 s 1s=625 ,
100ms=62
tFlag = 0
clear tFlag
End If
If rTime = xTime Then

```

```

        INTCON.7 = 0
    disable all interrupt

    HSerOut [Dec Pulse]
    HSerOut [13]

        TMR0 = 6
        LLD = ULD
        ULD = LLD + Window
        .....
        LL = UU
        UU = LL + WIN
        .....
        Pulse = 0
    ' clear counter
        rTime = 0
    ' clear timer
    GoTo SCA
    End If

    'INTCON.7=0 'dis all
interrupt

GoTo Meas
Wend
GoTo main
Disable

count1:

    If INTCON.1 = 1 Then
        External interrupt (RBO pin) ?
        Inc Pulse
        ' increase Pulse when RBO
change
        INTCON.1 = 0

    Else
        If INTCON.2 = 1 Then
            ' TMR0 interrupt occurred ?
            Inc tFlag
            ' increase time tFlag
            TMR0 = 6
            ' for 20 MHz (256-
6)*1/(20/4)*32*625 = 1s
            INTCON.2 = 0
        End If
    End If

    Resume
    Enable

GoTo main

```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายโกศล ว่างานต์ เกิดวันที่ 8 กันยายน พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดปราจีนบุรี สำเร็จการศึกษา
ระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 2) สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง เมื่อปีการศึกษา 2548 และในปีการศึกษา 2549 ได้เข้า
ศึกษาระดับปริญญาโทที่ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย