การพัฒนาระบบวัดรังสีแบบโมดูลขนาดเล็ก

นายธีระยุทธ เพลิดพริ้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A MINI-MODULAR RADIATION MEASURING SYSTEM

Mr.Theerayuth Plirdping

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบวัดรังสีแบบโมดูลขนาดเล็ก
โดย	นายธีระยุทธ เพลิดพริ้ง
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์เดโช ทองอร่าม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์เดโช ทองอร่าม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธีระยุทธ เพลิดพริ้ง : การพัฒนาระบบวัดรังสีแบบโมดูลขนาดเล็ก. (DEVELOPMENT OF A MINI-MODULAR RADIATION MEASURING SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา: อ.เดโช ทองอร่าม, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, 134 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบวัดรังสีแบบโมดูลขนาดเล็ก โดยอาศัยสัดส่วนโครงโมดูลตามมาตรฐานยูโรคาร์ดเฟรม (Eurocard frame) เป็นแนวทางและได้ออกแบบโมดูลบรรจุวงจรขนาดความกว้าง 4.5 และ 9.0 ซ.ม สำหรับประกอบชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็น ในการจัดระบบวัดรังสีแบบนับรวมและแบบนับแยกเฉพาะพลังงาน ประกอบด้วยโมดูลวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ วงจรแหล่งจ่ายไบอัสศักดาสูง วงจรขยายสัญญาณพัลส์ วงจรวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (SCA) วงจรนับรังสี วงจรตั้งเวลา วงจรตัดสัญญาณ/เรตมิเตอร์ และวงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อถ่ายโอนข้อมูล ระบบวัดรังสีแบบโมดูลที่พัฒนาขึ้นออกแบบและสร้างโดยเลือกวัสดุพร้อมอุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศเป็นหลักเพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษา

ผลการทดลองจัดระบบวัดรังสีแบบนับรวมพบว่าสามารถนับรังสีที่อัตรานับสูงสุด 4.5×10^6 cps แสดงค่านับวัดสูงสุดที่ 10^6-1 ครั้ง ตั้งเวลานับรังสีได้ตั้งแต่ 1 วินาที - 99 นาที และสามารถแสดงค่าเฉลี่ยของการนับรังสีด้วยเรตมิเตอร์ได้ในย่าน 100 -10^5 cps ในขณะที่ระบบแยกนับเฉพาะพลังงานนั้นผลทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกล LLD และ ΔE ของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยวพบว่าให้ค่า $R^2 = 0.999$ และ 0.999 ตามลำดับ และจากการทดลองวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานด้วยหัววัดรังสี NaI(Tl) พบว่าให้ผลเป็นที่พอใจสำหรับการใช้งานด้านการเรียนการสอนและงานวิจัยพื้นฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4770313721 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: MINI-MODULAR, INTEGRAL COUNTING SYSTEM, DIFFEREENTIAL COUNTING SYSTEM, SINGLE CHANNEL ANALYZER

THEERAYUTH PLIRDPING: DEVELOPMENT OF A MINI-MODULAR RADIATION MEASURING SYSTEM. THESIS ADVISOR: DECHO THONG–ARAM, THESIS CO – ADVISOR: ASST. PROF. SUVIT PUNN ACHAIYA, 134 pp.

This thesis was aimed to develop a Mini-modular Radiation Measuring System (MRMS) using a guideline of Eurocard frame size for MRMS dimensional construction. The single and double width (4.5 and 9.0 cm) of MRMS-modules were designed for assembling a set of essential electronic modules of integral and differential counting systems. Those circuit modules were: Low voltage power supply, High voltage bias supply, Pulse amplifier, Single channel analyzer, Scaler, Timer, Discriminator/Ratemeter and data interfacing circuit for data transferring to a microcomputer.

The testing results for integral counting system at maximum count rate of 4.5×10^6 cps, maximum display of 10^6-1 counts, the elapse time setting between 1 s - 99 min and the average count by ratemeter ranged from 100-10^5 cps could be displayed. While the linearity test of LLD and ΔE of SCA function in the differential counting system were found at $R^2 = 0.999$ and 0.999, respectively. From the energy spectrum analysis using NaI(Tl) scintillation detector showed satisfactory results. The system performance of MRMS was capable for educational and basic research utilizations.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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

Academic year 2006 ..... Co-Advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์เดโช ทองอร่าม ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาและองค์ความรู้ต่าง ๆ ให้คำปรึกษาชี้แนะ อีกทั้งให้โอกาสในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคุณกมลทิพย์ พลอยกระจ่าง และศูนย์เชี่ยวชาญนิวเคลียร์เทคโนโลยีสำหรับวิเคราะห์และทดสอบวัสดุที่ได้อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับงานวิจัยนี้และขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนวิจัยวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษา และให้โอกาสในการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
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 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 2

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2 ระบบวัดนิวเคลียร์และโครงสร้างโมดูล 5

2.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบวัดรังสี 5

2.1.1 ส่วนสร้างข้อมูลการวัดรังสี 6

2.1.2 ส่วนจัดการข้อมูลวัดรังสี 6

2.1.3 ส่วนประมวลผล 6

2.1.4 ส่วนควบคุมการทำงานของระบบและส่วนจัดเก็บข้อมูลถาวร 6

2.2 มาตรฐานของระบบวัด 6

2.3 ระบบวัดรังสี 7

2.3.1 ระบบวัดรังสีแบบนับรวมพลังงาน 7

2.3.2 ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน 8

2.3.3 ระบบวัดรังสีแบบโคอินซิเดนซ์ 9

2.4 โครงสร้างของโมดูลอุปกรณ์วัดต่าง ๆ 11

2.4.1 โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ 11

2.4.2 โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง 11

2.4.3 โมดูลขยายสัญญาณพัลส์ 11

บทที่ หน้า

2.4.4 โมดูลวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว 11
2.4.5 โมดูลนับรังสี 12
2.4.6 โมดูลตั้งเวลา 12
2.4.7 โมดูลตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ 12
2.4.8 โมดูลเชื่อมโยงสัญญาณ 12
2.5 การพัฒนาระบบควบคุมโมดูลที่ใช้เชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ 12
2.5.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ 13
2.6 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ 14
2.6.1 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม 14
2.6.2 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน 16
3 การดำเนินการวิจัย 19
3.1 ข้อมูลพื้นฐานของระบบ 19
3.2 การพัฒนาระบบวัดรังสี 19
3.2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ 19
3.2.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง 22
3.2.3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ 25
3.2.4 วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว 28
3.2.5 วงจรนับรังสี 32
3.2.6 วงจรตั้งเวลา 35
3.2.7 วงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ 40
3.2.8 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ 43
3.3 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมค่า HV, LLD และ ULD 46
3.4 การสร้างโครงบรรจุโมดูลและโครงโมดูลของระบบ 47
3.5 ระบบขั้วต่อของโครงบรรจุโมดูลและโครงโมดูล 49
4 การทดสอบสมรรถนะของระบบ 50
4.1 การทดสอบการทำงานและสมรรถนะของแต่ละโมดูล 50
4.1.1 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ 50
4.1.2 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง 58
4.1.3 การทดสอบวงจรขยายสัญญาณ 63
4.1.4 การทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว 70

บทที่ หน้า

4.1.5 การทดสอบวงจรนับรังสีและวงจรตั้งเวลา 74
4.1.6 การทดสอบวงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ 77
4.1.7 การทดสอบวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ 82
4.2 การทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับรวมและการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงานที่เป็นอิสระจากคอมพิวเตอร์ 86
4.2.1 การทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับรวมพลังงาน 86
4.2.2 การทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงาน 89
4.3 การทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับรวมและการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ 93
4.3.1 การทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับรวมพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ 93
4.3.2 การทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ 95
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 98
5.1 สรุปผลการวิจัย 98
5.2 คุณสมบัติของเครื่อง 99
5.3 ปัญหาและอุปสรรค์ 99
5.4 ข้อเสนอแนะ 100
รายการอ้างอิง 101
ภาคผนวก ก 103
ภาคผนวก ข 107
ภาคผนวก ค 115
ภาคผนวก ง 122
ภาคผนวก จ 133
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 134

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

บทที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 คำอธิบายขาสัญญาณต่าง ๆ ในพรินเตอร์พอร์ต 17
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดของศักดาไฟฟ้า +5 V 52
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดของศักดาไฟฟ้า +15 V และ -15 V .. 52
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดของศักดาไฟฟ้า +24 V และ -24 V.. 53
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบ Stability ของไฟฟ้าศักดาต่ำขนาดต่าง ๆ 57
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดของศักดาไฟฟ้าสูง 59
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับศักดาไฟฟ้า 60
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบอัตราการขยาย 100 เท่า 69
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบอัตราการขยาย 500 เท่า 69
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบอัตราการขยาย 1000 เท่า 69
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกล LLD 72
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกล ΔE 73
ตารางที่ 4.12 ผลการนับสัญญาณพัลส์ต่อค่าเวลาต่ำสุดและสูงสุดในหน่วยวินาทีและนาที 76
ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบการนับสัญญาณพัลส์ที่ค่าความถี่เปลี่ยนแปลงต่อ
เวลาที่เปลี่ยนแปลง 76
ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ 80
ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าศักดาสูงกับวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ 85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 แผนภาพของระบบวัดรังสีทั่วไป 5
รูปที่ 2.2 แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแบบ Intergral counting 8
รูปที่ 2.3 แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแบบ Differential counting 9
รูปที่ 2.4 สเปกตรัมของการวิเคราะห์พลังงาน 9
รูปที่ 2.5 แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแบบ Coincidence counting 10
รูปที่ 2.6 สเปกตรัมของการวิเคราะห์เวลาของอนุภาคนิวเคลียร์ 11
รูปที่ 2.7 แผนภาพการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 13
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะโครงสร้างการต่อบัสแบบ I^2C 15
รูปที่ 2.9 รูปแบบของบิตที่ใช้สำหรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 16
รูปที่ 2.10 ลักษณะของหัวต่อของพอร์ตขนานแบบ D-Type 25 ขา 17
รูปที่ 2.11 แสดงไดอะแกรมเวลาของการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์ 18
รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ 20
รูปที่ 3.2 แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ 20
รูปที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ 21
รูปที่ 3.4 แผนภาพการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง 22
รูปที่ 3.5 แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง 23
รูปที่ 3.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง 24
รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรขยายสัญญาณพัลส์ 25
รูปที่ 3.8 แผงวงจรขยายสัญญาณพัลส์ 26
รูปที่ 3.9 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ 27
รูปที่ 3.10 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว 28
รูปที่ 3.11 แผงวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว 30
รูปที่ 3.12 วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว 31
รูปที่ 3.13 แผนภาพการทำงานของวงจรนับรังสี 32
รูปที่ 3.14 วงจรนับรังสี 33
รูปที่ 3.15 โฟลวชาร์ตการทำงานของโปรแกรมนับรังสี 34
รูปที่ 3.16 แผงวงจรนับรังสี 35

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 3.17 แผนภาพการทำงานของวงจรตั้งเวลา 35
รูปที่ 3.18 แผงวงจรตั้งเวลา 36
รูปที่ 3.19 วงจรตั้งเวลา 37
รูปที่ 3.20 โฟลวชาร์ตการทำงานโปรแกรมหลักของวงจรตั้งเวลา 38
รูปที่ 3.21 โฟลวชาร์ตการทำงานโปรแกรมย่อยของวงจรตั้งเวลา 39
รูปที่ 3.22 แผนภาพการทำงานของวงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ 40
รูปที่ 3.23 แผงวงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ 41
รูปที่ 3.24 วงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ 42
รูปที่ 3.25 แผนภาพการทำงานของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ 43
รูปที่ 3.26 แผงวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ 43
รูปที่ 3.27 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ 44
รูปที่ 3.28 โฟลวชาร์ตการทำงานโปรแกรมของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ 45
รูปที่ 3.29 หน้าจอควบคุมการปรับค่า HV, LLD และ ULD 46
รูปที่ 3.30 ภาพโครงบรรจุโมดูล 47
รูปที่ 3.31 ภาพโครงโมดูลขนาดมาตรฐาน 47
รูปที่ 3.32 ภาพโครงโมดูลขนาด 2 เท่าของขนาดมาตรฐาน 48
รูปที่ 3.33 ภาพการใช้งานของขา Centronics ชนิด 24 pin 49
รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ 51
รูปที่ 4.2 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ 51
รูปที่ 4.3 Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า +5 V 53
รูปที่ 4.4 Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า +15 V 54
รูปที่ 4.5 Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า -15 V 55
รูปที่ 4.6 Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า +24 V 55
รูปที่ 4.7 Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า -24 V 56
รูปที่ 4.8 เส้นกราฟแสดง stability ของศักดาไฟฟ้าต่ำขนาดต่าง ๆ 57
รูปที่ 4.9 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง 58
รูปที่ 4.10 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง 59
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ของสเกลบนหน้าปัดและศักดาไฟฟ้าของวงจร
แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง 61

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.12 กราฟแสดง Stability ของศักดาไฟฟ้าทางออก 61
รูปที่ 4.13 Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้าสูง 62
รูปที่ 4.14 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์ 63
รูปที่ 4.15 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์ 64
รูปที่ 4.16 ก.) สัญญาณพัลส์บวกก่อนเข้า Amplifier รุ่น 2022 64
ข.) สัญญาณพัลส์บวกก่อนเข้าวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น 65
รูปที่ 4.17 ก.) สัญญาณพัลส์ลบก่อนเข้า Amplifier รุ่น 2022 65
ข.) สัญญาณพัลส์ลบก่อนเข้าวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น 65
รูปที่ 4.18 ก.) สัญญาณพัลส์ที่ได้จาก Amplifier รุ่น 2022 และเลือกโพลาริตี้บวก 66
ข.) สัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น
และเลือกโพลาริตี้บวก 66
รูปที่ 4.19 ก.) สัญญาณพัลส์ที่ได้จาก Amplifier รุ่น 2022 และเลือกโพลาริตี้ลบ 66
ข.) สัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น
และเลือกโพลาริตี้ลบ 67
รูปที่ 4.20 ก.) สัญญาณพัลส์ที่ได้จาก Amplifier รุ่น 2022 และเลือกโพลาริตี้บวก 67
ข.) สัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น
และเลือกโพลาริตี้บวก 67
รูปที่ 4.21 ก.) สัญญาณพัลส์ที่ได้จาก Amplifier รุ่น 2022 และเลือกโพลาริตี้ลบ 68
ข.) สัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น
และเลือกโพลาริตี้ลบ 68
รูปที่ 4.22 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว 70
รูปที่ 4.23 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว 71
รูปที่ 4.24 ภาพสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ขอบขาลงของสัญญาณพัลส์ 71
รูปที่ 4.25 กราฟความเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง LLD และ ΔE 73
รูปที่ 4.26 การเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณคู่ที่เกิดติดกัน 74
รูปที่ 4.27 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรนับรังสีและวงจรตั้งเวลา 75
รูปที่ 4.28 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรนับรังสีและวงจรตั้งเวลา 75
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์การนับสัญญาณพัลส์ที่ค่าความถี่เปลี่ยนแปลง
ต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง 77

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.30 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรตัดสัญญาณ 78
รูปที่ 4.31 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรเรตมิเตอร์ 78
รูปที่ 4.32 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ 79
รูปที่ 4.33 ภาพการเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ของวงจรตัดสัญญาณ 79
รูปที่ 4.34 กราฟความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ที่ได้จากการอ่านค่าแรงดัน 81
รูปที่ 4.35 กราฟความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ที่ได้จากการอ่าน Anolog meter 81
รูปที่ 4.36 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบแรงดันทางออกของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ
ของค่า HV, LLD และ ULD 82
รูปที่ 4.37 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างวงจรแหล่งจ่าย
ไฟฟ้าศักดาสูงกับวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ 82
รูปที่ 4.38 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ 83
รูปที่ 4.39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางออกกับค่าแรงดันจากหน้าปัด
ของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ค่า HV 83
รูปที่ 4.40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางออกกับค่าแรงดันจากหน้าปัด
ของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ค่า LLD 84
รูปที่ 4.41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางออกกับค่าแรงดันจากหน้าปัด
ของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ค่า ULD 84
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์การปรับค่าแรงดันไฟฟ้าศักดาสูงกับ
วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ 86
รูปที่ 4.43 แผนภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับรวมพลังงาน 87
รูปที่ 4.44 ภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับรวมพลังงาน 87
รูปที่ 4.45 ภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับรวมพลังงานของอุปกรณ์
ที่พัฒนาขึ้น 88
รูปที่ 4.46 กราฟ plateau ที่ได้จากการจัดระบบวัดแบบนับรวมพลังงาน 88
รูปที่ 4.47 กราฟ plateau ที่ได้จากการจัดระบบวัดแบบนับรวมพลังงานจากอุปกรณ์
ที่พัฒนาขึ้น 89
รูปที่ 4.48 แผนภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับแยกพลังงาน 90
รูปที่ 4.49 ภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับแยกพลังงาน 90

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.50 ภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับแยกพลังงานของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น 91
รูปที่ 4.51 สเปกตรัมของ Cs-137 91
รูปที่ 4.52 สเปกตรัมของ Co-60 92
รูปที่ 4.53 สเปกตรัมของ Cs-137 ที่ได้จากระบบวัดที่พัฒนาขึ้น 92
รูปที่ 4.54 สเปกตรัมของ Co-60 ที่ได้จากระบบวัดที่พัฒนาขึ้น 93
รูปที่ 4.55 แผนภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับรวมพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ 94
รูปที่ 4.56 ภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับรวมพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ 94
รูปที่ 4.57 กราฟ plateau ที่ได้จากการจัดระบบวัดแบบนับรวมพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ 95
รูปที่ 4.58 แผนภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับแยกพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ 96
รูปที่ 4.59 ภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับแยกพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ 96
รูปที่ 4.60 สเปกตรัมของ Cs-137 ที่ได้จากการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ 97
รูปที่ 4.61 สเปกตรัมของ Co-60 ที่ได้จากการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ 97

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการใช้เทคนิคนิวเคลียร์ของโรงงานอุตสาหกรรมภายในประเทศมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นการพัฒนากำลังคนเพื่อรองรับการปฏิบัติงานทางด้านนิวเคลียร์จึงเป็นเรื่องสำคัญ เพราะจะทำให้บุคลากรเหล่านั้นสามารถปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับรังสีได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย และคงหลีกเหลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องจัดการฝึกอบรมกระบวนการวัดรังสีในขั้นพื้นฐาน แต่ในการจัดฝึกอบรมก็จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือวัดที่มีความเฉพาะที่มีราคาค่อนข้างสูงเนื่องจากมีผู้ผลิตเพียงไม่กี่ราย จึงส่งผลให้การจัดหาเครื่องมือวัดที่มีความเฉพาะทำได้ยากเพราะต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด ซึ่งนอกจากราคาของเครื่องที่มีราคาสูงแล้วการบำรุงรักษาก็ค่อนข้างยุ่งยากเมื่อเกิดการเสียหาย โดยทั่วไประบบวัดนิวเคลียร์ที่มีใช้อยู่จะถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบระบบเดี่ยว (Single System) และแบบแยกส่วนโมดูล (Modular System) ซึ่งทั้ง 2 ระบบมีความเหมาะที่จะใช้ในการจัดฝึกอบรมโดยขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ต้องการ แต่ถ้าต้องการให้ได้รับทักษะเกี่ยวกับการจัดระบบวัดที่มีความสอดคล้องกับแต่ละเทคนิคในการวัด ระบบวัดแบบแยกส่วนโมดูลจะมีความเหมาะสมกว่าเพราะมีความยืดหยุ่นในการออกแบบระบบ ในประเทศไทยได้มีการพัฒนาระบบวัดแบบแยกส่วนโมดูลขึ้นโดยภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งระบบวัดที่พัฒนาขึ้นเป็นระบบที่มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับนิม (Nuclear Instrument Module, NIM) แต่มีขนาดที่เล็กกว่าและด้วยเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปทำให้อุปกรณ์บางอย่างล้าสมัย และไม่สามารถเชื่อมโยงกับระบบคอมพิวเตอร์ได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการพัฒนาระบบวัดแบบเดิมให้มีความทันสมัยมากขึ้นและราคาไม่แพง รวมทั้งสามารถที่จะเชื่อมโยงระบบวัดเข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อให้การฝึกทักษะเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือมีความหลากหลายมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบวัดรังสีแบบโมดูลขนาดเล็กที่สามารถทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างโครงบรรจุโมดูลและโครงโมดูลระบบวัด โดยโครงบรรจุโมดูลมีขนาด 49 ซม. x 24 ซม. x 14 ซม. และโมดูลระบบวัดช่องเดี่ยวขนาด 4.5 ซม. x 20 ซม. x 14 ซม.
2. ออกแบบและสร้างโมดูลระบบวัดรังสีขนาดเล็ก ได้แก่ โมดูลขยายสัญญาณพัลส์ โมดูลวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว โมดูลตั้งเวลา โมดูลนับรังสี โมดูลตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ และโมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง เป็นต้น
3. ออกแบบและสร้างระบบเชื่อมโยงระหว่างโมดูลกับคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมควบคุมการทำงาน

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบและสร้างโครงบรรจุโมดูลและโครงโมดูลระบบวัด
3. ออกแบบและสร้างวงจรแต่ละโมดูลของระบบวัด
4. ออกแบบและสร้างระบบเชื่อมโยงระหว่างโมดูลกับคอมพิวเตอร์ พร้อมพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงาน
5. ทดสอบสมรรถนะการทำงานของระบบวัดรังสีและการทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์
6. สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ได้ระบบวัดรังสีแบบโมดูลขนาดเล็กที่สามารถทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการศึกษาในระดับวิจัยพื้นฐานทางด้านนิวเคลียร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. วิรุฬห์ มังคละวิรัช, สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และ เดโช ทองอร่าม ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์แบบมินิบิน ผลจากการวิจัยทำให้ได้เครื่องต้นแบบอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์ที่สามารถจัดระบบวัดได้ทั้งแบบการนับรังสีรวมและนับแยกเฉพาะพลังงาน อีกทั้งยังสามารถเชื่อมโยงข้อมูลวัดกับไมโครคอมพิวเตอร์ สมรรถนะในการวัดรังสีที่อัตรานับสูงสุด 10^5 ครั้งต่อวินาที ความจุ 10^5 – 1 หลัก ตั้งเวลานับรังสีได้จาก 1 ถึง $9x10^4$ วินาที จ่ายไฟฟ้าศักดาสูงได้ตั้งแต่ 0 ถึง 2500 โวลต์ ที่กระแส 100 ไมโครแอมแปร์ และภาคขยายสัญญาณพัลส์มีอัตราขยาย 100 เท่า ปรับอัตราขยายได้ต่อเนื่องด้วยอัตราส่วน 1 : 100 ให้สัญญาณทางออกแบบยูนิโพลาซึ่งมีความกว้างพัลส์ 2 ไมโครวินาที วิเคราะห์พลังงานด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว
2. ปี พ.ศ. 2543 สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, เดโช ทองอร่าม และ ศิริพงษ์ ไชยมงค์**[1]** ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับระบบวัดรังสีด้วยหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์บนไมโครคอมพิวเตอร์ โดยระบบวัดรังสีที่พัฒนาขึ้นเป็นการประยุกต์ไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อสนับสนุนการทำงานของระบบวัดรังสีในส่วนของวงจรนับรังสี วงจรตั้งเวลา การทำงานแบบอัตโนมัติและการแสดงผลในรูปเส้นกราฟด้วยโปรแกรมที่ทำงานบน DOS ใช้การสื่อสารทางสัญญาณกับระบบวัดรังสีส่วนหน้าผ่านทางพอร์ตขนาน หัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์ใช้ของ LND รุ่น 712 ย่านการทำงานของไบอัสในช่วง 350-750 โวลต์ การแปรเปลี่ยนแรงดันไบอัสอัตโนมัติจากค่าแรงดันต่ำสุดถึงสูงสุดสามารถเลือกได้จากโปรแกรมการทำงาน อัตราการนับพัลส์สัญญาณไม่น้อยกว่า 10 kHz ตั้งเวลานับรังสีได้จาก 1-9999 วินาที โดยสามารถแสดงเวลาคงเหลือได้ ควบคุมการนับรังสีได้ทั้งแบบทีละครั้งหรือนับต่อเนื่อง รวมทั้งสามารถเลือกโปรแกรมใช้งานจากเมนูที่แสดงฟังก์ชันคีย์บนคอมพิวเตอร์ได้สะดวก
3. ปี ค.ศ. 1999 J.Bouchard และ P.Cassette**[8]** ทำงานวิจัยเรื่อง MAC3: an electronic module for the processing of pulses delivered by a three photomultiplier liquid scintillation counting system เป็นการพัฒนาโมดูล MAC3 (Module d'acquisition de coincidences triples) ขึ้นเพื่อที่จะใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์ที่เกิดจากการใช้หัววัดรังสีชนิดซินทิเลชันแบบของเหลว 3 หัว โดยใช้วิธีการวัดแบบ TDCR (Triple to double coincidence ratio method) ซึ่งจากการพัฒนาโมดูล MAC3 สามารถที่จะทำการกำหนดค่าของ resolving-time ให้ได้เท่ากับ 40 ns และยังสามารถตั้งค่า dead-time ได้ระหว่าง 9 - 100 μs นอกจากนี้ยังมีคุณลักษณะเฉพาะอีกหลายอย่าง เช่น ขนาดของโมดูลกว้างเป็นสองเท่าของ NIM standard, มี input-output อย่างละ 3 ช่อง, Input(signal): 0/-5 V, Output (counting): 0/-1 V (50Ω), power supply: +6 V (370 mA) / -6 V (100 mA)

4. ปี ค.ศ. 2001 J.Bouchard**[9]** ทำงานวิจัยเรื่อง A new set of electronic modules (NIM standard) for a coincidence system using the pulse mixing method ในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาโมดูลใหม่ 3 โมดูล ได้แก่ โมดูล Interface 1, โมดูล Interface 2 และ โมดูล Interface 3 โดยจุดประสงค์ของการใช้งานคือ โมดูลที่หนึ่งใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์ของรังสีแกมมา โมดูลที่สอง ใช้ในงานทั่วไป ส่วนโมดูลที่สามใช้ในการตั้งค่าขีดเริ่ม (threshold) แล้วผู้วิจัยได้นำทั้งสามโมดูลไปออกแบบระบบวัดโดยใช้งานร่วมกับโมดูล MTR2 (Module de Temps-mort Reconductible) อีก 2 โมดูล โดยระบบวัดที่ออกแบบเป็นแบบโคอินซิเดนซ์และใช้เทคนิควิธีการผสมสัญญาณเพื่อวัดรังสี β กับ γ ผลที่ได้มีหลายอย่างเช่น อัตราการนับความแรงของรังสีสามารถนับได้ถึง 260 kBq สามารถที่จะวัดการสลายตัวของ ^{85}Sr ได้เหมือนกับการวัด ^{60}Co และลดปัญหาเรื่องเวลาที่ไม่สามารถวัดรังสีได้ (dead time)

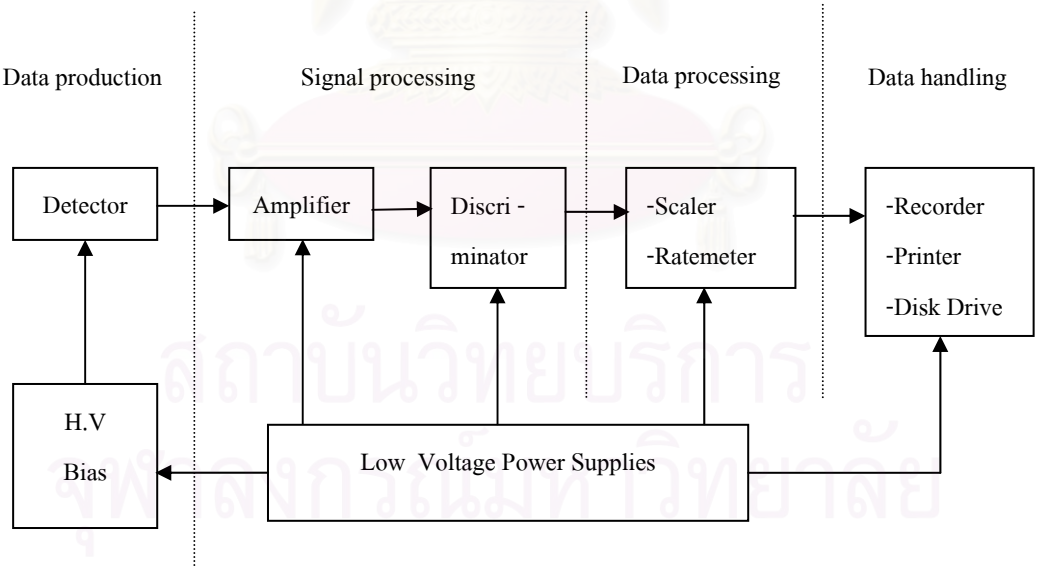
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ระบบวัดนิวเคลียร์ และโครงสร้างโมดูล

2.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบวัดรังสี

ในส่วนของระบบวัดรังสีนั้นจำเป็นจะต้องอาศัยกระบวนการทางสัญญาณซึ่งทำงานด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะหน้าที่ เพื่อจัดการสัญญาณจากการตรวจวัดซึ่งเริ่มจากหัววัดรังสีให้เป็นสัญญาณอนาลอกซึ่งแฝงรายละเอียดของพลังงานที่รับการถ่ายโอนในหัววัดรังสี ที่พร้อมที่จะรับการคัดเลือกขนาดของสัญญาณหรือลักษณะของรูปสัญญาณ ด้วยการทำงานทางสัญญาณเชิงเส้น (Linear signal) หรือสัญญาณดิจิตอล (Digital signal) ตามความเหมาะสม สัญญาณที่ได้รับการคัดเลือกแล้วจะส่งเข้าสู่ขั้นตอนการนับปริมาณสัญญาณที่เกิดจากการวัดรังสีทั้งในรูปแบบของการนับเฉพาะพลังงานและการนับที่ไม่แจกแจงพลังงาน ดังแสดงการทำงานในรูปที่ 2.1 การวัดรังสีมีลักษณะเป็นการนับจำนวนรังสีที่ผ่านการคัดเลือกแล้วจึงมักเรียกระบบวัดรังสีว่า ระบบนับรังสี (Counting system)



รูปที่ 2.1 แผนภาพของระบบวัดรังสีทั่วไป

ระบบวัดรังสีโดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งหน้าที่การทำงานของกลุ่มอุปกรณ์การวัดเฉพาะหน้าที่ในการจัดการสัญญาณได้เป็น 4 ส่วนหลักคือ

2.1.1 ส่วนสร้างข้อมูลการวัดรังสี (Data production) เป็นส่วนการทำงานที่ประกอบด้วยหัววัดรังสีที่ได้รับการไบอัสด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง ทำหน้าที่ตรวจวัดรังสีและสร้างปริมาณสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนต่อการถ่ายโอนพลังงานของรังสีในตัวกลางของหัววัดรังสี

2.1.2 ส่วนจัดการข้อมูลวัดรังสี (Signal processing) เป็นส่วนการทำงานที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณ และอุปกรณ์ตัดสัญญาณซึ่งมีหน้าที่ในการตัดสัญญาณที่ไม่ต้องการออก ทำให้สามารถเลือกช่วงสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง ทั้งในรูปแบบของขนาดความสูงของสัญญาณพัลส์ และช่วงเวลาที่แตกต่างกันของสัญญาณลอจิกที่ได้รับการแปลงผันหลังเกิดอันตรกิริยาภายในหัววัดรังสี ข้อมูลจากส่วนการทำงานนี้จะส่งเข้ากระบวนการวิเคราะห์และเก็บข้อมูลต่อไป

2.1.3 ส่วนประมวลผล (Data processing) เป็นส่วนการทำงานที่ประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับทำหน้าที่สะสมข้อมูลจำนวนนับรังสีรวม และการนับรังสีเฉพาะค่าพลังงาน ซึ่งได้แก่ อุปกรณ์นับรังสี หรือเรตมิเตอร์ เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้จะทำการเก็บข้อมูลจำนวนนับรังสีเพื่อแสดงผลชั่วคราวเท่านั้น

2.1.4 ส่วนควบคุมการทำงานของระบบและส่วนจัดเก็บข้อมูลถาวร (System control and data handling) ในส่วนของอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบจะจัดการด้านการควบคุมระยะเวลาวัดรังสี ควบคุมการวิเคราะห์สัญญาณพัลส์ของการวัดรังสีเฉพาะกลุ่มหรือการควบคุมตำแหน่งการวิเคราะห์พลังงานให้คงที่ อุปกรณ์ควบคุมเหล่านี้จะส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์การทำงานส่วนต่าง ๆ ตามความเหมาะสมดังรูปที่ 2.1 อีกส่วนหนึ่งคืออุปกรณ์บันทึกข้อมูลถาวรได้แก่ เครื่องเขียนกราฟ เครื่องพิมพ์ผล และเครื่องบันทึกข้อมูลแบบแผ่นจานแม่เหล็ก**[2]** เป็นต้น

2.2 มาตรฐานของระบบวัดรังสี

ระบบเครื่องมือนิวเคลียร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมีอยู่ด้วยกัน 2 ระบบ คือ NIM (Nuclear Instrument Module) และ CAMAC (Computer Automated Measurement and Control) ซึ่งทั้งสองระบบมีข้อดีดังนี้

- ระบบมีความยืดหยุ่นกล่าวคือสามารถเลือกใช้โมดูลได้ตามลักษณะการจัดระบบวัด
- ระบบไม่ล้าสมัย
- สามารถที่จะมีการสลับเปลี่ยนตำแหน่งโมดูลระหว่างการติดตั้งได้
- สะดวกในการซ่อมบำรุง
- มีความเชื่อถือได้สูง

ทั้งมาตรฐาน NIM และ CAMAC จะรวมโมดูลเสียบไว้ในบิน (Bin) และ เครท (Crate) ตามลำดับ ซึ่งตัวบินและเครทจะมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำติดตั้งมาด้วย โดยมาตรฐานของ CAMAC จะต่างจากมาตรฐาน NIM อยู่ 2 อย่างคือ

ก. ที่เครทของ CAMAC จะมีตัวต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์เพื่อส่งถ่ายข้อมูลติดอยู่ในโมดูล

ข. ความกว้างโมดูลของ CAMAC จะเล็กกว่าโมดูลของ NIM ครึ่งหนึ่ง

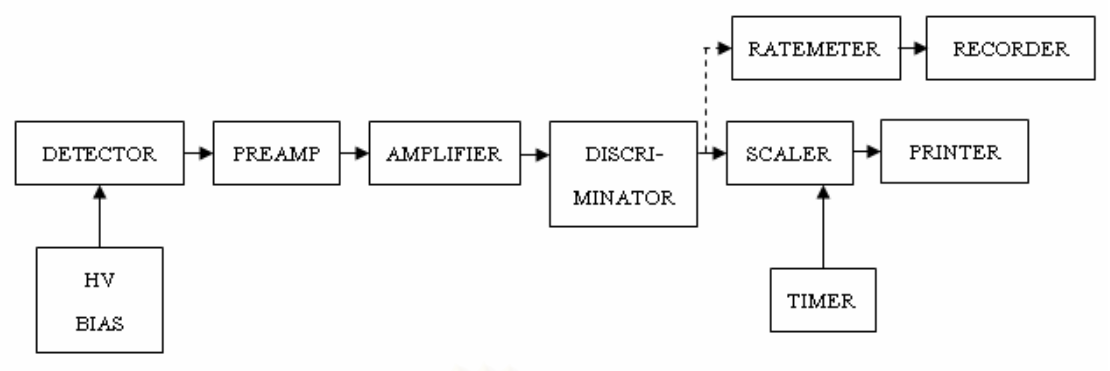
นอกจากนี้ในมาตรฐาน NIM ได้มีการพัฒนามาตรฐานระบบวัดรังสีเพิ่มขึ้นอีก 2 มาตรฐาน คือ CCNIM (Computer-Controlled Nuclear Instrument Module) และ ICB NIM (Instrument Control Bus Nuclear Instrument Module) มาตรฐานแบบ CCNIM เป็นการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการควบคุมการปรับค่าของโมดูลต่าง ๆ ผ่านทางพอร์ต RS-232-C หรือ IEEE-488 ซึ่งในการพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานสามารถทำได้โดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูปทั่วไป ตัวอย่างเช่น LabVIEW หรือ Vistual Basic ส่วนมาตรฐาน ICB NIM เป็นแบบ computer-programmable หรือ computer-controlled family เป็นการใช้โมดูลควบคุมที่ชื่อ Acquisition Interface Module (AIM) เข้ามาช่วยเป็นตัวเชื่อมต่อในแต่ละโมดูล และนอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มตัวเลือก (Option) เพื่อให้มีการติดต่อผ่านทาง Ethernet Network มาตรฐานแบบ IEEE 802.3 และ 802.4 ได้ สำหรับโปรแกรมที่ใช้ควบคุมจะเป็นของ Genie Family systems คือ Genie-2000 และ The DEC Alpha processor based Genie-ESP เท่านั้น

2.3 ระบบวัดรังสี

รูปแบบของการจัดระบบวัดรังสีเฉพาะงานแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของข้อมูลวัดรังสีดังนี้

2.3.1 ระบบวัดรังสีแบบนับรวมพลังงาน (Integral counting system) เป็นระบบวัดรังสีที่จัดอุปกรณ์วัดสำหรับนับรังสีทุกพลังงานที่ตรวจวัดได้ กล่าวคือ การนับรังสีรวมไม่แยกนับเฉพาะพลังงาน เช่น การวัดความแรงรังสี (Activity) การวัดความเข้มรังสี (Intensity) ในหน่วยแสดงผลจำนวนนับต่อเวลา เช่น ต่อนาที (Counts per minute, cpm) ต่อวินาที (Counts per second, cps)

ระบบวัดนี้จะประกอบด้วย หัววัดรังสีที่เหมาะกับคุณสมบัติของรังสีที่ต้องการวัด แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงทำหน้าที่ไบอัสหัววัดรังสี อุปกรณ์ขยายสัญญาณทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลส์และลดสัญญาณรบกวน อุปกรณ์ตัดสัญญาณทำหน้าที่เลือกสัญญาณเหนือระดับศักดาไฟฟ้าอ้างอิงในรูปของสัญญาณลอจิกส่งไปนับปริมาณรังสีที่อุปกรณ์นับรังสีซึ่งตั้งเวลาด้วยอุปกรณ์ตั้งเวลาและบันทึกผลด้วยเครื่องพิมพ์ ดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแบบ Intergral counting

การวัดรังสีในระบบวัดแบบนับรวมจะให้ผลเป็นจำนวนนับต่อหน่วยเวลา การพิจารณาประสิทธิภาพการวัดระบบ (η) หาได้จาก

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

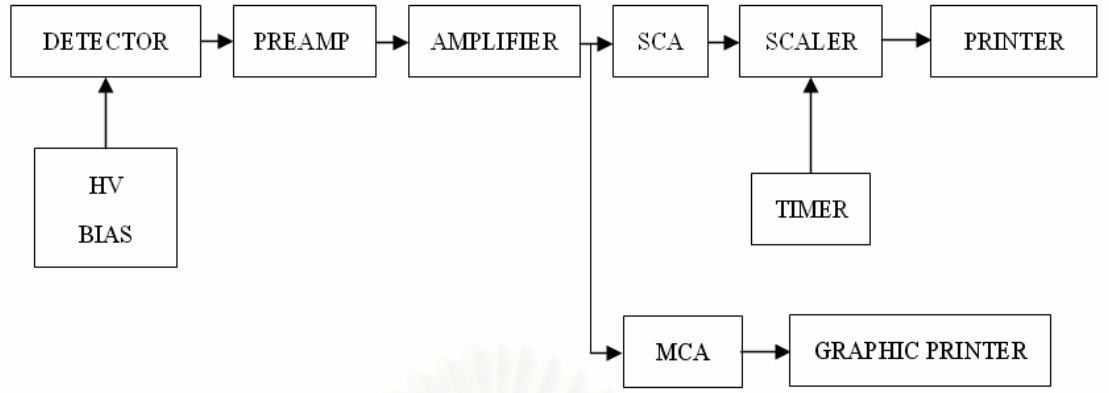
เมื่อ dps คือ จำนวนรังสีที่ปลดปล่อยจากต้นกำเนิดรังสี

cps คือ จำนวนรังสีที่อ่านค่าได้จากระบบวัด

นอกจากนี้สัญญาณลอจิกจากอุปกรณ์ตัดสัญญาณยังสามารถเลือกแสดงผลแบบอัตรานับรังสีเฉลี่ยด้วยเรตมิเตอร์ ซึ่งอาศัยหลักการเปลี่ยนความถี่ของพัลส์จากการนับรังสีเป็นระดับศักดาไฟฟ้าและแสดงค่าด้วยมิเตอร์แบบเข็มชี้ หรือมิเตอร์แบบแสดงผลเชิงตัวเลข

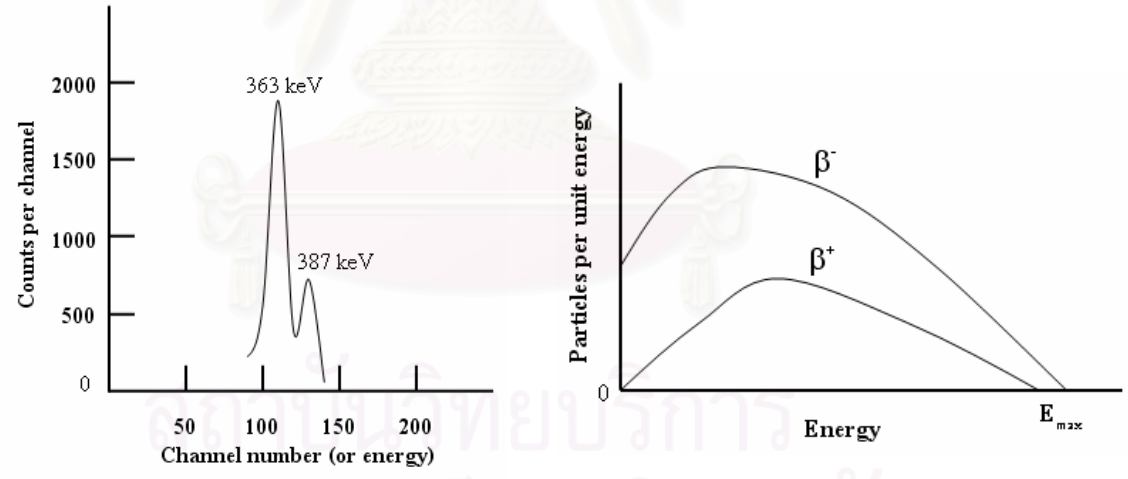
2.3.2 ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน (Differential counting system) เป็นระบบวัดรังสีที่จัดอุปกรณ์วัดสำหรับวัดรังสีแบบแยกนับเฉพาะพลังงานซึ่งแสดงผลในรูปแบบของสเปกตรัมพลังงาน (Energy spectrum) เช่น ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา (γ-spectrometer) และระบบวิเคราะห์รังสีอัลฟา (α-spectrometer) เป็นต้น

ในระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงานนั้นมีการจัดระบบที่คล้ายคลึงกับระบบวัดรังสีแบบนับรวม โดยมีส่วนที่แตกต่างกันตรงที่สัญญาณพัลส์จากอุปกรณ์ขยายจะถูกส่งต่อให้กับอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ (PHA) ทำการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์และแยกนับปริมาณรังสีเฉพาะพลังงาน ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำการวิเคราะห์พลังงานอาจจะเป็นอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว แล้วส่งสัญญาณนับให้กับอุปกรณ์นับรังสีและตั้งเวลา หรือใช้อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multichannel Aanlyzer; MCA) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเก็บไว้ในหน่วยความจำแสดงสเปกตรัมบนจอภาพ การจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงานสามารถแสดงได้ดังแผนภาพรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแบบ Differential counting

ข้อมูลนับรังสีที่วิเคราะห์ได้จะมีลักษณะเป็นปริมาณนับรังสีต่อเวลานับ (c/t = N) ที่ตำแหน่งของช่วงวิเคราะห์พลังงาน (E) ต่าง ๆ เมื่อนำมาเขียนเส้นกราฟการกระจายค่าจำนวนนับที่พลังงานต่าง ๆ (Energy distribution) โดยแกน x เป็นแกนของพลังงาน E และแกน y เป็นแกนของจำนวนนับรังสี N จะได้เส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงของ dN(E)/dE หรือ สเปกตรัมพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ก. สเปกตรัมพลังงานแยกเดี่ยวและรูปที่ 2.4 ข. สเปกตรัมย่านพลังงานกว้าง



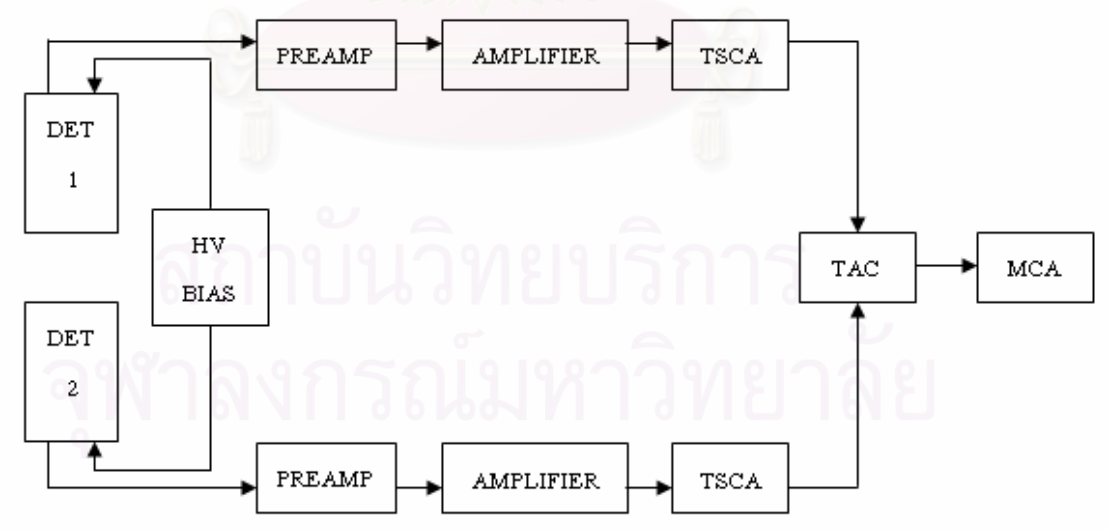
2.4 ก. discrete spectrum 2.4 ข. Broad spectrum

รูปที่ 2.4 สเปกตรัมของการวิเคราะห์พลังงาน

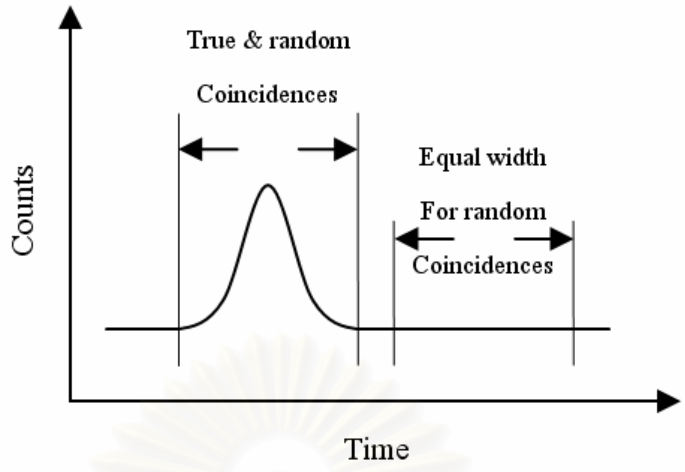
2.3.3 ระบบวัดรังสีแบบโคอินซิเดนซ์ (Coincidence counting system) เป็นระบบวัดรังสีที่จัดอุปกรณ์สำหรับวัดจำนวนนับรังสีแยกเฉพาะช่วงเวลาแล้วแสดงผลในรูปของเวลา (Time spectrum) เช่น ระบบวัดแบบฟาสต์โคอินซิเดนซ์ (Fast coincidence) ระบบวัดแบบสโลว์โคอินซิเดนซ์

(Slow coincidence) เป็นต้น และสามารถประยุกต์ใช้กับระบบวัดรังสีรบกวนต่ำ (Low background counting system)

ระบบวัดชนิดนี้จะต้องมีระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน 2 ชุดประกอบกัน โดยที่หัววัดรังสีของระบบวัดรังสีแต่ละชุดจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของรังสีที่ต้องการวัดความต่างเวลาด้วยเทคนิคโคอินซิเดนซ์ต่าง ๆ เช่น γ-γ, β-γ หรือ α-γ เป็นต้น ที่สำคัญคืออุปกรณ์วัดในระบบวัดแบบโคอินซิเดนซ์จะต้องมีการตอบสนองสัญญาณที่รวดเร็ว และมีเวลากำหนดพัลส์แน่นอน ดังแสดงแผนภาพรูปที่ 2.5 อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์จะต้องให้สัญญาณลอจิกที่ตำแหน่งเวลาแน่นอนในการวัดรังสีแต่ละครั้งดังนั้นจึงต้องใช้ไทม์มิงเอสซีเอ (Timing SCA: TSCA) การสร้างข้อมูลเวลาในการวัดเริ่มจากอนุภาคนิวเคลียร์ที่วัดได้จากหัววัดรังสีชุดแรกเป็นตัวเริ่มต้นกระตุ้นการแปลงผันเวลาของอุปกรณ์แปลงผันเวลาเป็นความสูงของพัลส์ (Time to Amplitude Converter; TAC) และอนุภาคนิวเคลียร์ที่วัดได้จากหัววัดชุดที่สองเป็นตัวหยุดการแปลงผันเวลาได้ค่าความสูงของพัลส์ที่เป็นสัดส่วนกับคาบเวลาส่งให้อุปกรณ์วิเคราะห์หลายช่วงวิเคราะห์ข้อมูลนี้ ข้อมูลนับรังสีที่วิเคราะห์ได้จะมีลักษณะเป็นปริมาณรังสีต่อเวลานับ (N) ที่ตำแหน่งของช่องวิเคราะห์เวลา (t) ต่าง ๆ ซึ่งได้จากการแปลงผันเวลาเป็นความสูงของพัลส์ เมื่อนำข้อมูลมาเขียนเส้นกราฟการกระจายค่าจำนวนนับที่เวลาต่าง ๆ โดยแกน x เป็นแกนของเวลา t และแกน y เป็นแกนของจำนวนนับรังสี จะได้เส้นกราฟการเปลี่ยนแปลง dN(t)/dt หรือสเปกตรัมเวลา (Time spectrum) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแบบ Coincidence counting



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมของการวิเคราะห์เวลาของอนุภาคนิวเคลียร์**[2]**

2.4 โครงสร้างของโมดูลอุปกรณ์วัดต่าง ๆ

ระบบวัดที่จะทำการพัฒนาจะสามารถรองรับการจัดระบบได้ 2 ระบบ คือ ระบบวัดรังสีแบบนับรวมและระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน ดังนั้นโครงสร้างของโมดูลต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

2.4.1 โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ (Low voltage power supply) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรอิเล็กโทรนิคส์ในโมดูลต่าง ๆ

2.4.2 โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (High voltage power supply) ทำหน้าที่กำเนิดไฟฟ้าศักดาสูงให้กับหัววัดชนิดต่าง ๆ ประกอบด้วยวงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับรูปเหลี่ยม วงจรทวีศักดาไฟฟ้า และวงจรปรับศักดาให้คงที่

2.4.3 โมดูลขยายสัญญาณพัลส์ (Amplifier) ประกอบด้วยวงจรขยายส่วนหน้า วงจรปรับ pole zero วงจรแต่งรูปสัญญาณแบบยูนิโพลา วงจรขยายหลัก และวงจรปรับเส้นฐานศูนย์ เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณและกรองสัญญาณรบกวนให้ได้สัญญาณทางออกพร้อมจะวิเคราะห์พลังงาน

2.4.4 โมดูลวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer; SCA) ประกอบด้วยวงจรปรับศักดาอ้างอิงเพื่อวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ วงจรเปรียบเทียบแบบหน้าต่าง (Window comparator) วงจรแอนติโคอินซิเดนซ์ (Anticoicidence) และวงจรโมโนสเตเบิล ทำหน้าที่รับ

สัญญาณพัลส์จากโมดูลขยายสัญญาณมาวิเคราะห์ความสูงหรือระดับพลังงานด้วยการเปรียบเทียบกับศักดาอ้างอิงที่แปรเปลี่ยนแบบช่องหน้าต่าง

2.4.5 โมดูลนับรังสี (Counter or Scaler) ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์แสดงผล เป็นโมดูลที่ทำหน้าที่รับสัญญาณลอจิกจากโมดูลวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวเข้ามาสะสมทางช่อง signal ตามเวลาที่ตั้งไว้ผ่าน gate

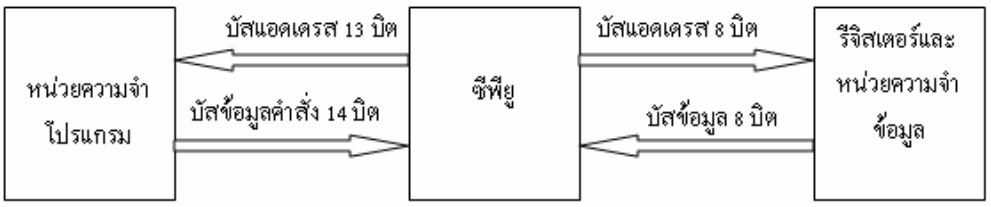
2.4.6 โมดูลตั้งเวลา (Timer) ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) และอุปกรณ์แสดงผล (Display) ซึ่งจะทำหน้าที่ตั้งเวลาในการตรวจวัดรังสี โดยจะส่งสัญญาณปิดและเปิดเกตออกทางช่อง interval output

2.4.7 โมดูลตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ (Discriminator and Ratemeter) โมดูลที่ทำงาน 2 หน้าที่คือ ทำหน้าที่ตัดสัญญาณรบกวนและเปลี่ยนปริมาณนับรังสีให้เป็นอัตรานับรังสีเฉลี่ยในหน่วยจำนวนนับต่อวินาที ซึ่งประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้า วงจรโมโนสเตเบิล และวงจรเปลี่ยนปริมาณนับรังสีเป็นระดับศักดาไฟฟ้า

2.4.8 โมดูลเชื่อมโยงสัญญาณ (Interfaced) ทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างโมดูลกับคอมพิวเตอร์

2.5 การพัฒนาระบบควบคุมโมดูลที่ใช้เชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์

การทำงานจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวควบคุมและเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ (Microcomputer) การทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์มีการแยกหน่วยความจำโปรแกรม (program memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data memory) ออกจากกัน มีบัส (Bus) สำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าซีพียู (CPU) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วยบัสของแอดเดรส 13 บิต และบัสของข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรม 14 บิต ในขณะที่บัสติดต่อหน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ภายในเป็นแบบ 8 บิต



รูปที่ 2.7 แผนภาพการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.5.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์

- ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduce Instruction-Set Computer) มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
- สามารถกระทำคำสั่งโดยใช้สัญญาณนาฬิกาเพียงหนึ่งลูก ยกเว้นคำสั่งการกระโดด
- ความถี่สูงสุดของสัญญาณนาฬิกาที่ทำงานได้คือ 20 MHz
- หน่วยความจำโปรแกรม (FLASH program memory) 8 กิโลเวิร์ด (kilo word)
- หน่วยความจำแรมข้อมูล (RAM data memory) หรือรีจิสเตอร์ 368 ไบต์
- หน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม (EEPROM data memory) 256 ไบต์
- ตอบสนองแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ (Interrupt) ได้ 14 แหล่ง
- มีสแต็ก (Stack) 8 ระดับ
- มีวงจรเพาเวอร์ออนรีเซต (POR), เพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์อัปไทเมอร์ (OST)
- มีวงจรวอตช์ด็อกไทเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
- เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลและเลือกระดับการป้องกันได้
- มีโหมดประหยัดพลังงาน
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5V ได้
- แก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการ ICD (In-circuit Debugger) ผ่านพอร์ตเพียง 2 ขา
- ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
- ไฟเลี้ยง +2 V ถึง +5.5 V
- กระแสซิงก์และซอร์สของพอร์ต 25 mA

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลด น้อยกว่า 2 mA ที่ +5 V และสัญญาณนาฬิกา 4 MHz, 20 μA ที่ไฟเลี้ยง +3 V และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz น้อยกว่า 1 μA ในโหมดประหยัดพลังงาน
- ไทเมอร์ 3 ตัว คือ ไทเมอร์ 0 ขนาด 8 บิต มีปรีสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตในตัว ไทเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต พร้อมปรีสเกลเลอร์ และไทเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต มีปรีสเกลเลอร์ โพสต์สเกลเลอร์และรีจีสเตอร์คาบเวลา (Period register) ขนาด 8 บิตในตัว
- มีโมดูล CCP 2 ชุด โดย
- ส่วนตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ (Capture) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 12.5 นาโนวินาที (ns) ส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ (Compare) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 200 นาโนวินาที วงจร PWM มีความละเอียดสูงสุด 10 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต จำนวน 8 ช่องสำหรับ
- วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และบัส I^2C
- วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส 9 บิต
- มีวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (บราวน์เอาต์ดีเท็กชั่น: Brown-out detection) เพื่อการรีเซตซีพียู หรือเรียกว่า บราวน์เอาต์รีเซต (Brown-out reset: BOR)**[6]**

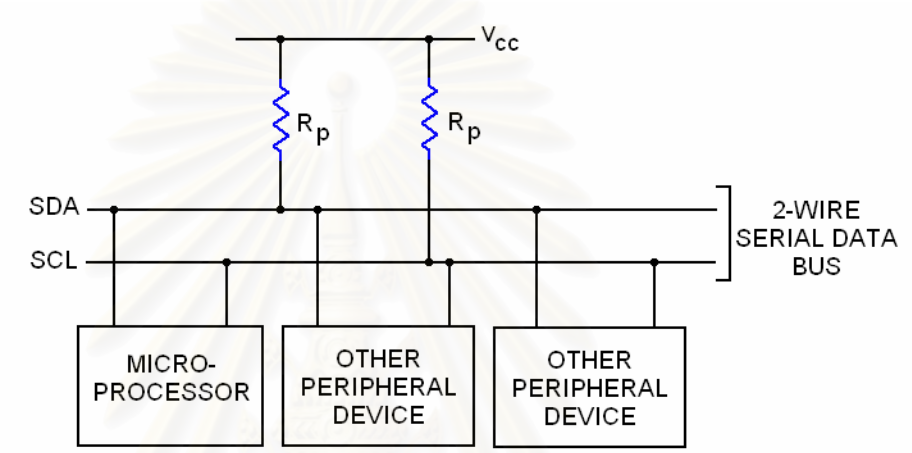
2.6 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ

ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ จะใช้ระบบเชื่อมต่อ 2 แบบ

2.6.1 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

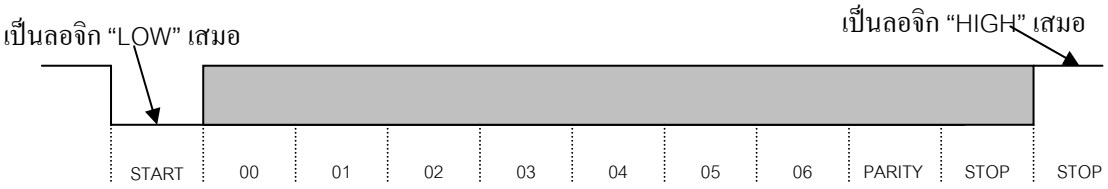
2.6.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous) เป็นการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอัตราการรับส่งและความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลสูง ซึ่งจะต้องมีการตรวจสอบการเข้าจังหวะรับส่งและความผิดพลาดของข้อมูล ตัวอย่างการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส เช่น

การรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบ I^2C Bus ซึ่งในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ โดยใช้บัสแบบ I^2C Bus (Inter Integrate Circuit Bus) นี้จะใช้สัญญาณทั้งหมด 2 เส้น คือ serial clock (SCL) และ serial data (SDA) โดยการติดต่อระหว่างอุปกรณ์จะเป็นแบบ 2 ทิศทาง โดยสัญญาณทั้งสองเส้นจะต้องต่อกับตัวต้านทาน Pull-Up ไว้ เพื่อให้สถานะของบัสในขณะไม่ถูกใช้งานมีสภาวะเป็นบัสว่างหรือ “1” ทั้งคู่ การทำงานแบบ I^2C bus แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 โดยอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ถูกออกแบบมาเชื่อมต่อกับระบบบัสแบบนี้จะต้องสร้างวงจรภาคเอาต์พุท ให้เป็นแบบ Open Drain หรือ Open Collector เสมอ เพื่อให้สามารถต่ออุปกรณ์ร่วมกันในระบบบัสเดียวกันได้มากกว่าหนึ่งอุปกรณ์



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะโครงสร้างการต่อบัสแบบ I^2C

2.6.1.2 การรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) เป็นการส่งข้อมูลโดยไม่ต้องการอัตราการส่งสูง โดยใช้สายสัญญาณข้อมูลเท่านั้น ไม่ต้องการชุดสายควบคุมข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัส โครงสร้างของข้อมูลที่ส่งจะมีลักษณะเป็นบล็อกหรือเฟรม ซึ่งแต่ละบล็อกประกอบด้วยบิตเริ่มต้น (Start Bit) ส่วนของบิตข้อมูล (Data Bit) และบิตสุดท้าย (Stop Bit) ซึ่งคือบิตสิ้นสุดข้อมูล โดยบิตเริ่มต้นจะแสดงถึงการเริ่มต้นของกลุ่มข้อมูล แล้วตามด้วยส่วนของกลุ่มข้อมูลและบางกรณีอาจจะมีการเพิ่มบิตพาริตี้ (Parity) เพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล สุดท้ายจะเป็นบิตสิ้นสุดข้อมูลเป็น 1 ชุดข้อมูล แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 รูปแบบของบิตที่ใช้สำหรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

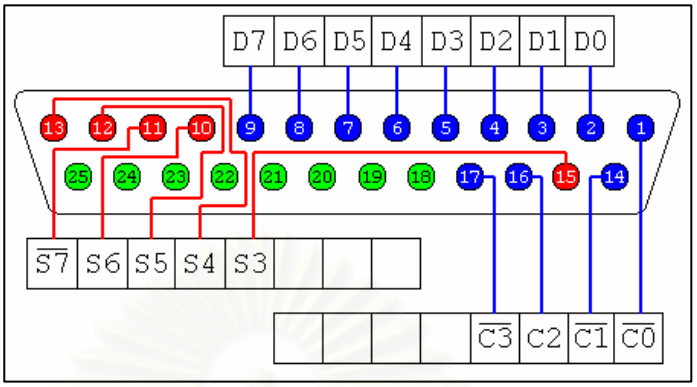
ซึ่งชุดสัญญาณบนสายส่งสัญญาณ (Bus) ประกอบด้วย

- Signal Ground (GND) เป็นสายกราวนด์ของสัญญาณต้นทางและปลายทาง
- Transmitted (Tx) เป็นสายส่งข้อมูลสัญญาณออก
- Received (Rx) เป็นสายรับข้อมูลสัญญาณเข้า
- Request to Send (RTS) เป็นสายส่งสถานะสัญญาณความต้องการส่งข้อมูลไปปลายทาง
- Clear to Send (CTS) เป็นสายรับสถานะสัญญาณตอบรับข้อมูลจากปลายทาง
- Data Terminal Ready (DTR) เป็นสายแสดงสถานการณ์รับข้อมูลปลายทางแต่ละชุดข้อมูล
- Data Careier Detection (DCD) เป็นสายแสดงสถานการณ์รับข้อมูลที่ส่งมาได้แล้ว เนื่องจากการสื่อสารข้อมูลอนุกรมด้วยวิธีนี้สิ้นเปลืองสายจำนวนหลายเส้น จึงไม่เหมาะกับการรับส่งสัญญาณระยะไกล**[5]**

2.6.2 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน

พอร์ตขนาน (Parallel port) บางครั้งเรียกว่า Printer port เพราะการใช้งานส่วนใหญ่ของพอร์ตขนานเป็นการใช้งานโดยต่อเข้ากับพรินเตอร์เป็นหลัก โดยที่พอร์ตขนานนั้นสามารถให้ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลได้รวดเร็วกว่าพอร์ตอนุกรมประมาณ 8-10 เท่า และการประมวลผลข้อมูลส่วนใหญ่จะมีขนาด 8 บิต ดังนั้นพอร์ตขนานจึงสามารถรองรับการถ่ายโอนข้อมูล 8 บิตได้โดยไม่ต้องต่อส่วนเพิ่มเติมใด ๆ ลักษณะของหัวต่อของพอร์ตขนานจะเป็นหัวต่อคอนเน็ตเตอร์ชนิดตัวเมีย มีขาสัญญาณจำนวน 25 ขา (Connector DB25 Female Type) ดังแสดงตามรูปที่ 2.10 ประกอบไปด้วยขาสัญญาณที่เป็นบิตข้อมูล (Data bit) จำนวน 8 ขา ขาสัญญาณเอาท์พุตที่เป็นบิต

ควบคุม (Control bit) จำนวน 4 ขา และขาสัญญาณอินพุตที่เป็นบิตสถานะ (Status bit) จำนวน 5 ขา ดังตารางที่ 2.1



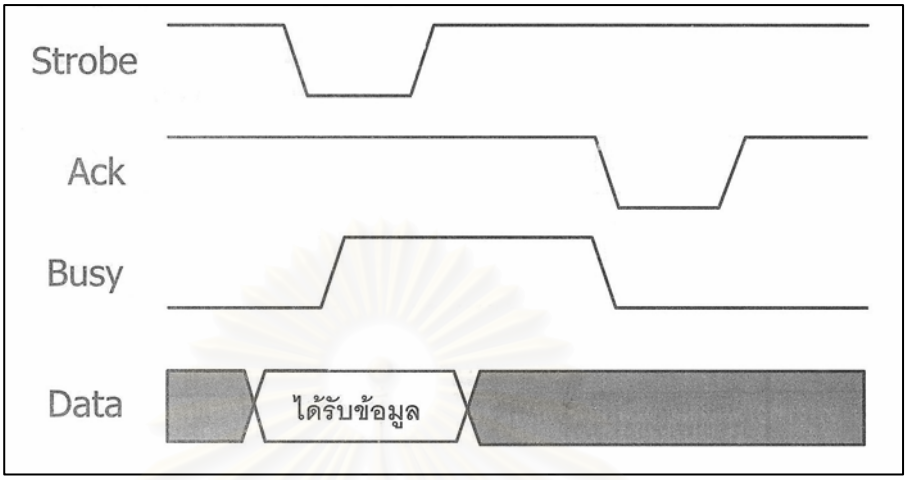
รูปที่ 2.10 ลักษณะของหัวต่อของพอร์ตขนานแบบ D-Type 25 ขา

ตารางที่ 2.1 คำอธิบายขาสัญญาณต่าง ๆ ในพรินเตอร์พอร์ต

ขาสัญญาณ	คำอธิบาย	ขาสัญญาณ	คำอธิบาย
1	Strobe (Control Bit0)	10	ACK (Status Bit6)
2	Data 0 (Data Bit0)	11	Busy (Status Bit7)
3	Data 1 (Data Bit1)	12	Paper Empty (Status Bit5)
4	Data 2 (Data Bit2)	13	Select (Status Bit4)
5	Data 3 (Data Bit3)	14	Auto Feed (Control Bit1)
6	Data 4 (Data Bit4)	15	Error (Status Bit3)
7	Data 5 (Data Bit5)	16	Initialize Printer (Control Bit2)
8	Data 6 (Data Bit6)	17	Select Input (Control Bit3)
9	Data 7 (Data Bit7)	18-25	กราวน์ (Ground Signal)

รูปแบบการติดต่อผ่านทางพอร์ตขนาน การทำงานจะเริ่มจากคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณข้อมูล (Data) ออกไปยังเครื่องพิมพ์ พร้อมทั้งส่งสัญญาณ Strobe ออกไปด้วย เพื่อให้เครื่องพิมพ์รับรู้ว่ามีการส่งข้อมูลใหม่มาที่ขา Data แล้ว จากนั้นคอมพิวเตอร์จะต้องรอการตอบกลับจากเครื่องนั้นคือเครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณ Busy เพื่อบอกว่าเครื่องพิมพ์ยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่

จนกระทั่งเมื่อเครื่องพิมพ์พร้อม เครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณ ACK (Acknowledge) ส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแจ้งว่า พร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่แล้ว แสดงการทำงานดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงไดอะแกรมเวลาของการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์**[7]**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อมูลพื้นฐานของระบบ

ระบบวัดนิวเคลียร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นระบบวัดแบบแยกส่วนโมดูลที่มีความยืดหยุ่นในการออกแบบระบบ โดยสามารถรองรับการจัดระบบวัดได้ 2 แบบ คือ แบบนับรวมพลังงาน และแบบนับแยกพลังงาน ซึ่งทั้งสองระบบยังสามารถที่จะใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการควบคุมการปรับเปลี่ยนค่าบางค่าได้ ในการจัดระบบวัดจะมีโมดูลให้เลือกใช้ 8 โมดูล ประกอบไปด้วย โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ, โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง, โมดูลขยายสัญญาณพัลส์, โมดูลวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว, โมดูลนับรังสี, โมดูลตั้งเวลา, โมดูลตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ และโมดูลเชื่อมโยงสัญญาณ

3.2 การพัฒนาระบบวัดรังสี

3.2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด ±24 โวลต์ (Volt), ±15 โวลต์ และ +5 โวลต์ ในวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำจะประกอบไปด้วย หม้อแปลงที่เปลี่ยนแรงดันจากแรงดันสูงลงมาเป็นแรงดันต่ำ (Step down transformer) วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าสลับให้เป็นกระแสตรง (Rectifier) และวงจรรักษาแรงดันให้คงที่ (Regulator) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยแรงดันไฟฟ้าแต่ละค่าจะทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

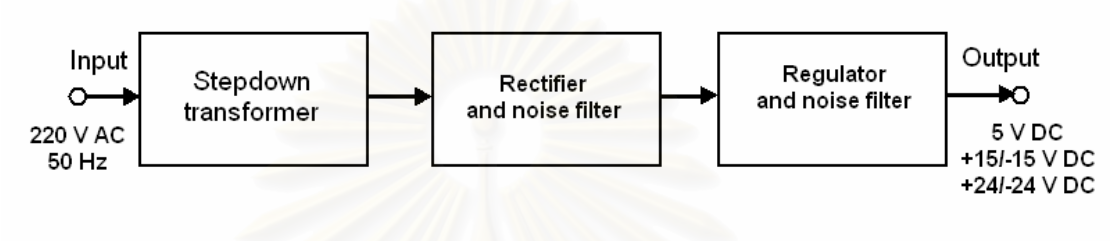
ก. ศักดาไฟฟ้าขนาด ±24 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับปรีแอมป์ที่อยู่กับส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนประกายแสงเป็นสัญญาณอิเล็กตรอนและทวีปริมาณอิเล็กตรอน (Potomultiplier tube base, PMT)

ข. ศักดาไฟฟ้าขนาด +15 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับโมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง, โมดูลขยายสัญญาณพัลส์, โมดูลวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว, โมดูลตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ และโมดูลเชื่อมโยงสัญญาณ

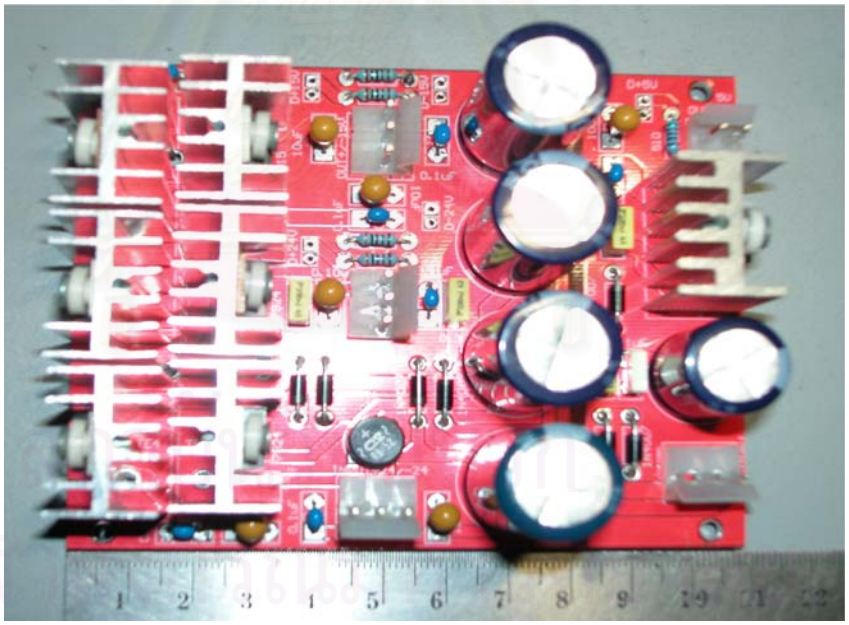
ค. ศักดาไฟฟ้าขนาด -15 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับโมดูลขยายสัญญาณพัลส์, โมดูลวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว, โมดูลตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ และโมดูลเชื่อมโยงสัญญาณ

ง. ศักดาไฟฟ้าขนาด +5 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับโมดูลวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว, โมดูลตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์, โมดูลนับรังสี, โมดูลตั้งเวลา และโมดูลเชื่อมโยงสัญญาณ

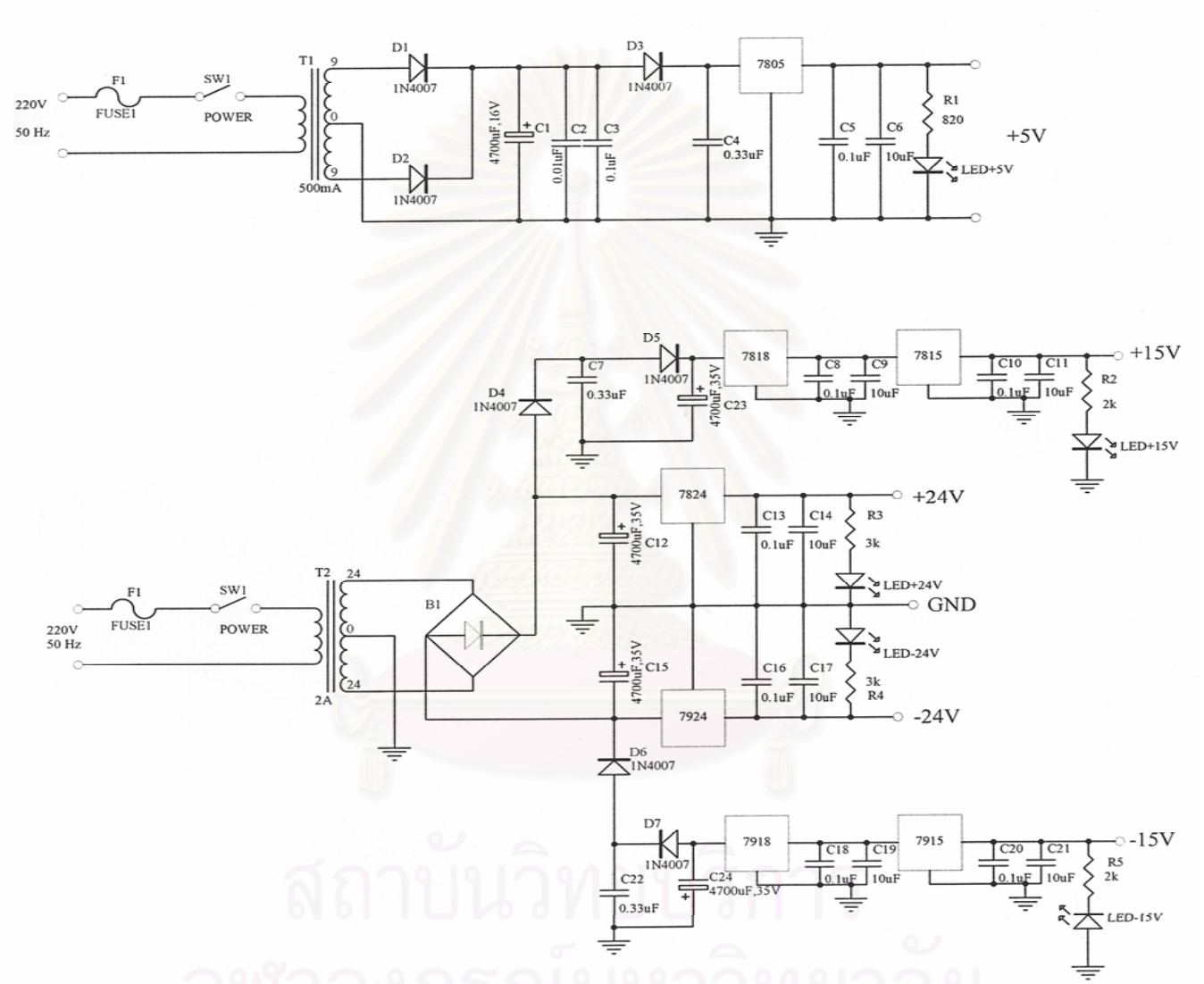
ซึ่งวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 และสามารถสร้างแผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ



รูปที่ 3.2 แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ

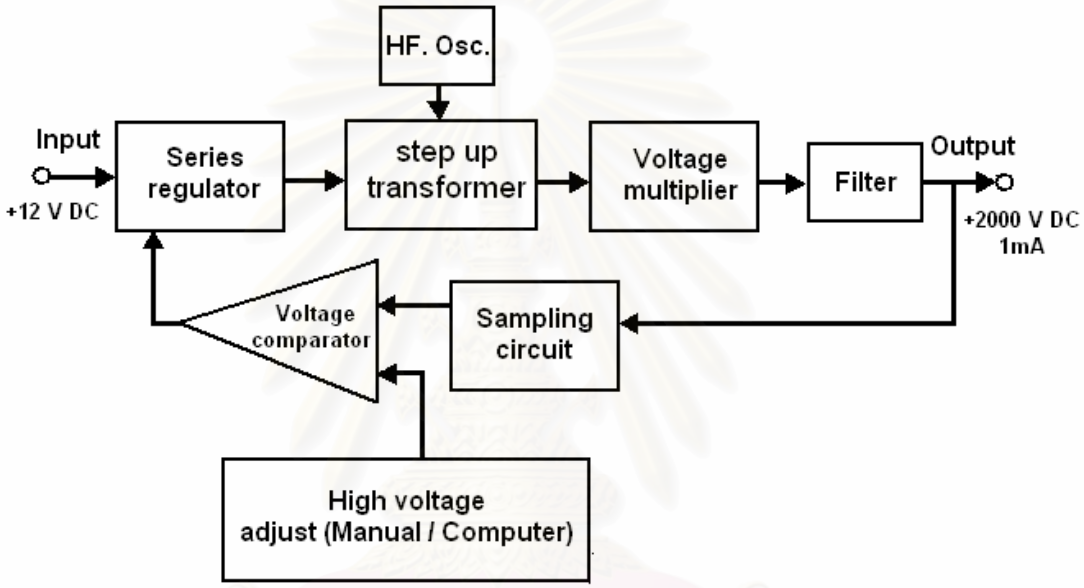


รูปที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังต่ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

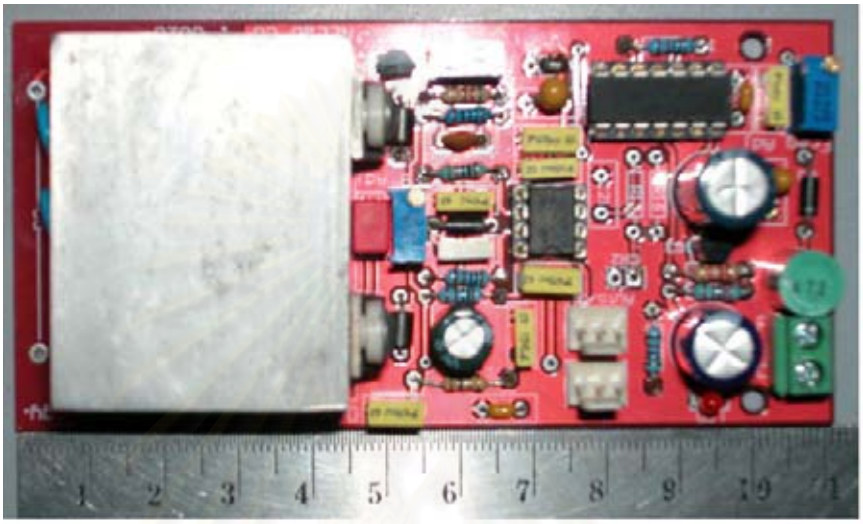
วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่พัฒนาขึ้นเป็นชนิดฟลายแบค (FLY BACK) โดยใช้หม้อแปลงสวิตชิ่งความถี่สูง ทำการรับศักดาไฟฟ้าขาเข้าที่ +12 โวลท์ แล้วแปลงเป็นไฟฟ้าศักดาสูงที่ปรับค่าศักดาไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 2000 โวลท์ และสามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้ 1000 ไมโครแอมป์ ซึ่งวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงจะประกอบด้วย วงจรกำเนิดความถี่ เซียรีเร็กกูเลเตอร์ (Series Regulator) หม้อแปลงแบบเพิ่มศักดาไฟฟ้า วงจรทวีศักดาไฟฟ้า วงจรกรองกระแส วงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้า และวงจรควบคุมศักดาไฟฟ้าคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนภาพการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

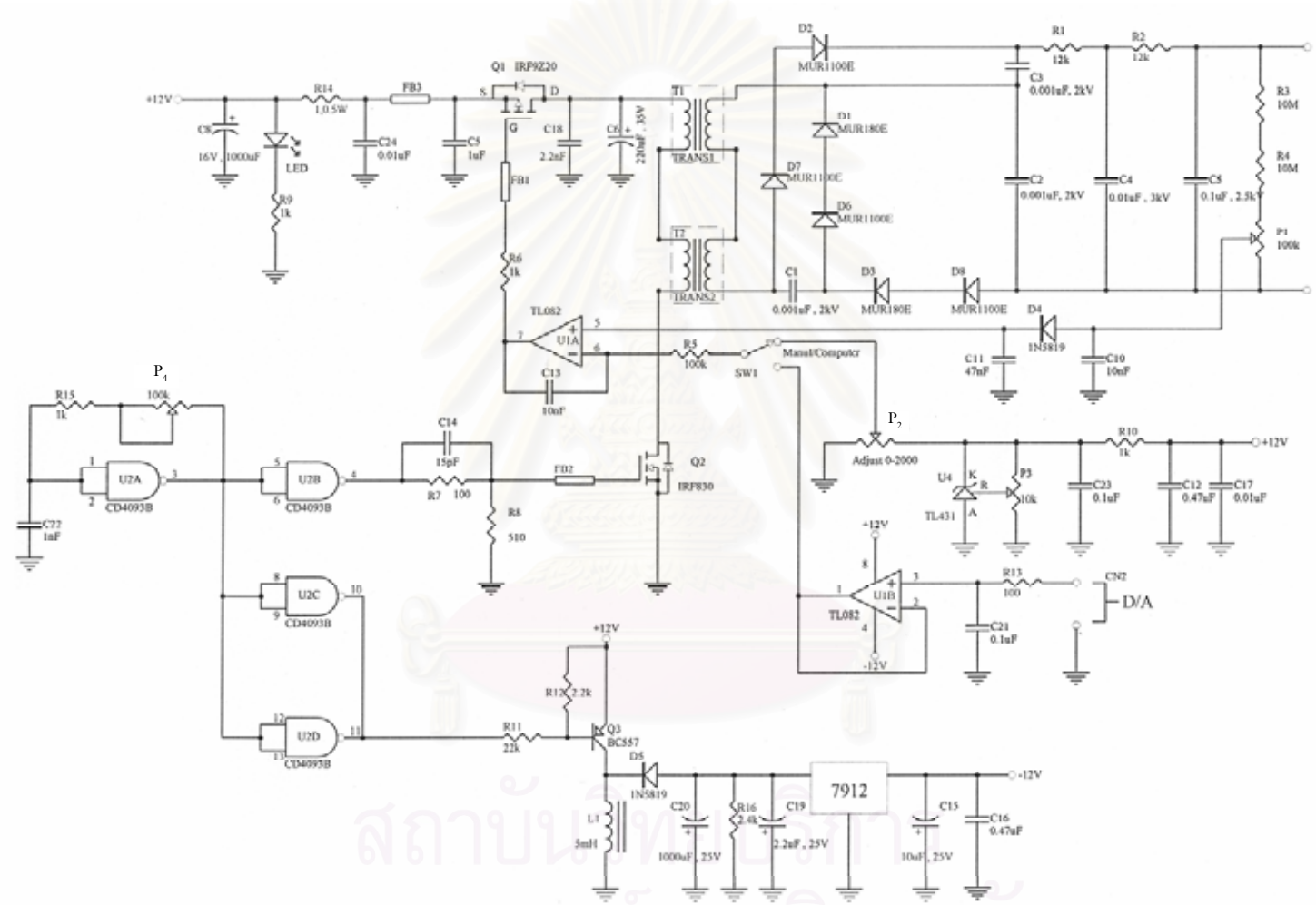
การทำงานในวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงดังแสดงในรูปที่ 3.6 ไอซี U2A และU2B ทำหน้าที่เป็นออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) กำเนิดความถี่ 74 kHz (duty cycle 50%) เพื่อจ่ายให้มอสเฟส Q2 ที่ใช้ขับหม้อแปลงแบบเพิ่มศักดาไฟฟ้า (T1,T2) ที่อัตรารอบ 1:21 ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดปฐมภูมิ และทุติยภูมิ เกิดเป็นศักดาไฟฟ้ากระแสสลับที่สูงขึ้นทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งศักดาไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้นี้จะถูกทวีศักดาไฟฟ้าเป็น 3 เท่า โดยวงจรทวีแรงดันพร้อมทั้งเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นก็จะถูกกรองกระแสให้เรียบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ R1, C4 และ R2, C5 ไฟฟ้าศักดาสูงจะถูกแบ่งด้วยอัตราลดทอนของความต้านทาน 200:1 ด้วย R3, R4 และ P1 ส่งเข้าวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าที่ IC U1A เปรียบเทียบกับค่าศักดาไฟฟ้าอ้างอิงที่สามารถปรับได้ด้วย P2 เพื่อทำการปรับค่าไฟฟ้าศักดาสูงและควบคุมศักดาไฟฟ้าให้คงที่ ส่วนค่าเปรียบเทียบที่ได้จาก IC U1A จะถูกนำไปใช้ควบคุมการทำงานของเซียรีเรกกูเลเตอร์ Q1 ซึ่งจะทำการควบคุมกระแสที่ไหลผ่าน Q1 ให้สอดคล้องกับความต้องการของโหลดที่ด้านทางออกของ

แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง สำหรับ U2C และU2D จะทำหน้าที่เป็น Buffer ระหว่าง U2B และ Q3 ซึ่ง Q3 ถูกออกแบบให้เป็นสวิตช์เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของวงจรสร้างศักดาไฟฟ้ากระแสตรงขนาด ลบ 12 โวลท์ เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้า จากวงจรทั้งหมดที่กล่าวมา สามารถสร้างแผ่นวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

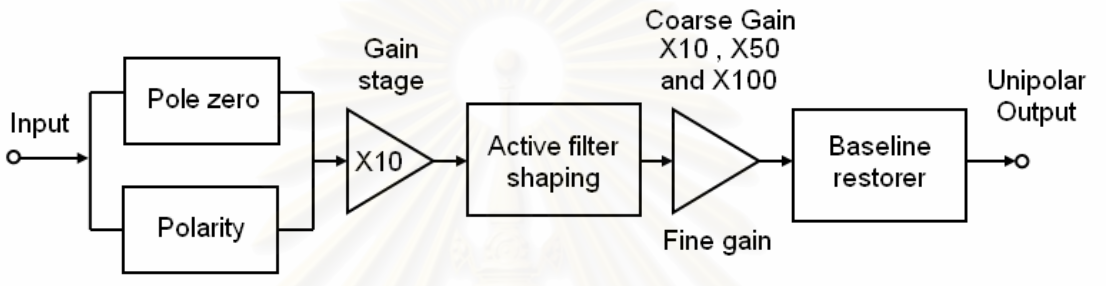


รูปที่ 3.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์

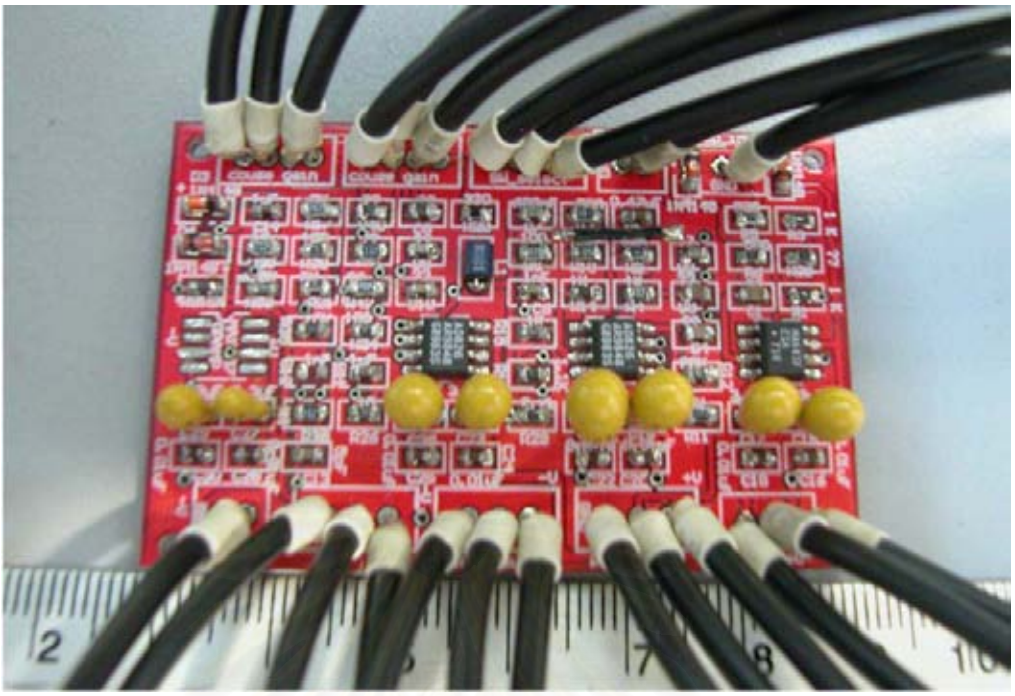
วงจรขยายสัญญาณพัลส์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ ปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์และกรองสัญญาณรบกวนที่มาจากหัววัดรังสีให้ได้สัญญาณทางออกพร้อมที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไป ประกอบด้วย วงจรเลือกโพลาริตี้ วงจรลบล้างโพลซีโร วงจรขยายสัญญาณ 10 เท่า วงจรปรับรูปสัญญาณ วงจรขยายสัญญาณหลัก วงจรปรับสัญญาณละเอียดและวงจรปรับเบสไลน์กลับสู่ศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรขยายสัญญาณพัลส์

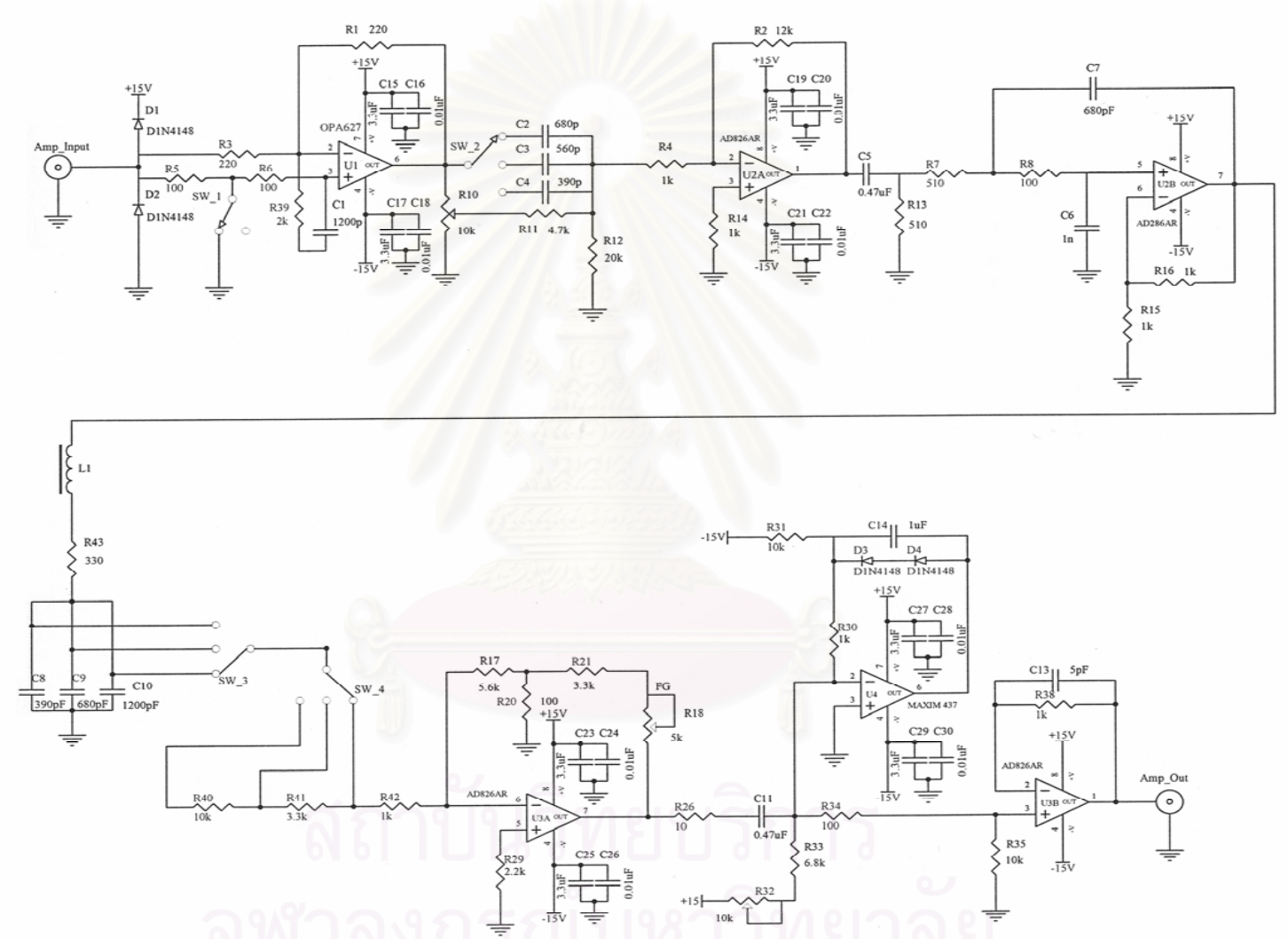
จากรูปที่ 3.9 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ถูกออกแบบให้มีสวิตช์เลือกโพลาริตี้ (Polarity) ได้ และมีวงจรลบล้างโพลซีโร (Pole/Zero Cancellation) ที่มีค่าคงตัวเวลาการสลาย 4.8 ไมโครวินาที เพื่อใช้ปรับแก้อันเดอร์ชูท (Undershoot) และโอเวอร์ชูท (Overshoot) ของสัญญาณด้านขาเข้าก่อนถูกส่งไปขยายต่อ 10 เท่าด้วยวงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) จากนั้นสัญญาณพัลส์จะถูกปรับแต่งรูปร่างสัญญาณด้วยวงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบพาสซีฟ (Passive high pass filter) และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟ (Active low pass filter) ที่มีการจัดรูปแบบการทำงานเป็น CR-n$(RC)^n$ โดย n = 2 เพื่อแต่งรูปสัญญาณให้เป็นพัลส์แบบ Gaussian approximation ทำให้ค่า Relative ของสัญญาณรบกวนต่อสัญญาณพัลส์เท่ากับ 1.22**[4]**

วงจรขยายสัญญาณหลัก U3A (ไอซีเบอร์ AD826/AD) ต่อแบบอินเวอตติงที่สามารถเลือกอัตราขยายแบบหยาบ (Coarse gain) ได้เท่ากับ 100, 500 และ 1000 เท่าด้วยสวิตช์ และปรับอัตราการขยายแบบละเอียด (Fine gain) ด้วย R18 หลังจากนั้นสัญญาณพัลส์จะถูกปรับแต่งค่าเบสไลน์กลับสู่ศูนย์ (Baseline Restorer) ที่ U4 ก่อนส่งสัญญาณพัลส์ไปยังวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer Amplifier: U3B) ซึ่งแผ่นวงจรขยายสัญญาณที่ได้ทำการออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผงวงจรขยายสัญญาณพัลส์

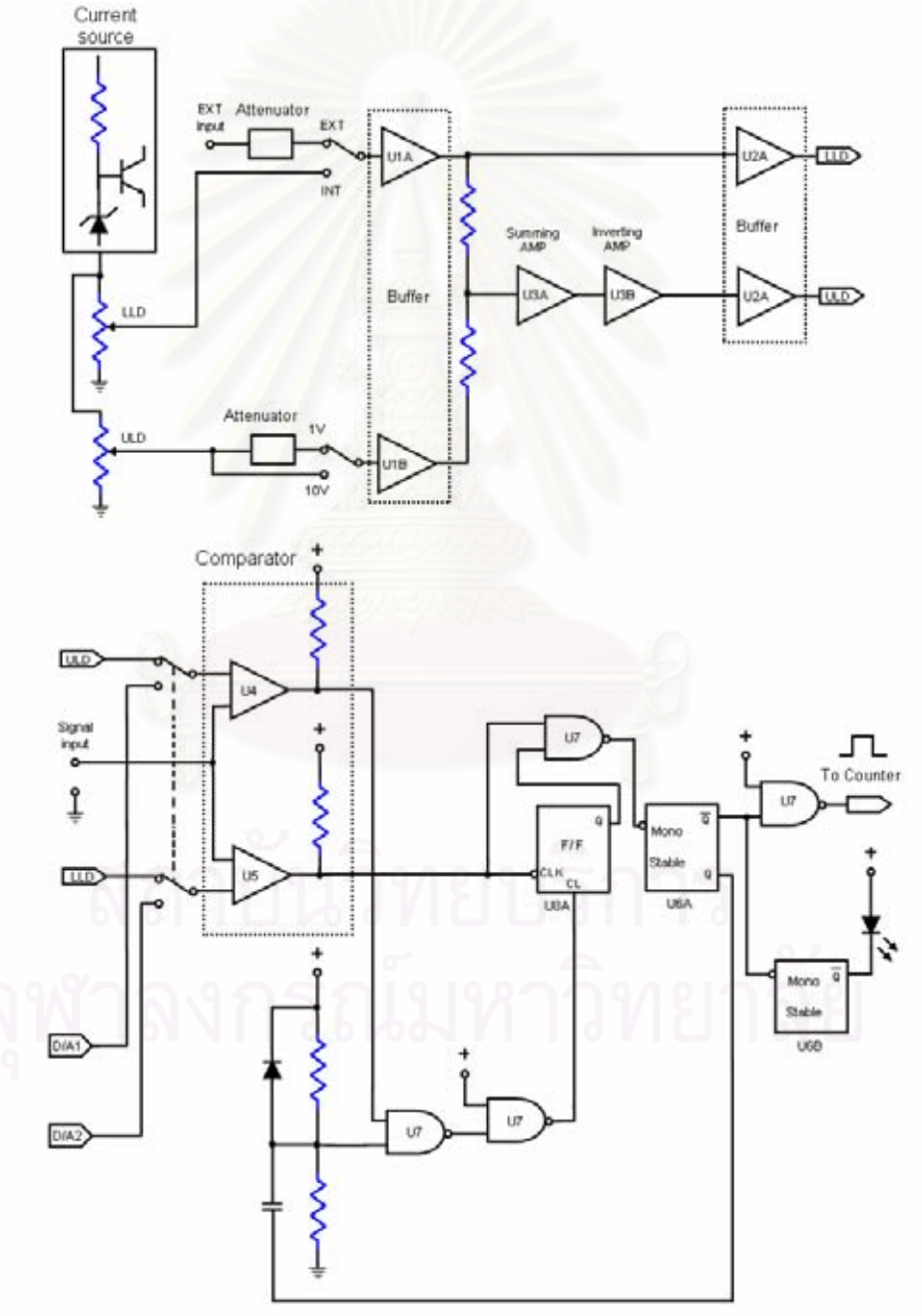
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 วงจรขยายสัญญาณพัลส์

3.2.4 วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวทำหน้าที่รับสัญญาณพัลส์จากโมดูลขยายสัญญาณพัลส์มาวิเคราะห์ความสูงของพัลส์และเปลี่ยนรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์เป็นสัญญาณลอจิกพัลส์ ที่มีความกว้าง 0.5 ไมโครวินาที เพื่อป้อนให้กับวงจรนับรังสีหรือวงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ ประกอบด้วย วงจรปรับศักดาอ้างอิงเพื่อวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ วงจรเปรียบเทียบแบบหน้าต่าง และวงจรโมโนสเตเปิล ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

จากรูปวงจรที่ 3.12 ประกอบด้วย ไอซี U4 และ U5 เป็นวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าอ้างอิง (Voltage comparator) ทำหน้าที่เปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าอ้างอิงกับศักดาไฟฟ้าของสัญญาณพัลส์ที่ต้องการวิเคราะห์ โดยช่วงพลังงานที่ต้องการวิเคราะห์ถูกกำหนดด้วยศักดาไฟฟ้าอ้างอิงระดับล่าง (Low level discriminator) และศักดาไฟฟ้าอ้างอิงระดับบน (Upper level discriminator) ซึ่งศักดาไฟฟ้าทั้งสองนี้สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10 โวลต์ ผลต่างของศักดาอ้างอิงในการวิเคราะห์พลังงาน เรียกว่า"ช่องวิเคราะห์พลังงานหรือหน้าต่างพลังงาน, ΔE" $(\Delta E = ULD - LLD)$

วงจรกำเนิดศักดาไฟฟ้าอ้างอิงออกแบบการทำงานโดยมี Q1 เป็นวงจรจ่ายกระแสคงที่ให้ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR1 และ VR2 กำเนิดศักดาอ้างอิง LLD และ ΔE ขนาด 0 ถึง 10 โวลต์ โดยศักดาไฟฟ้าอ้างอิง ΔE สามารถจะเลือกค่าเต็มสเกล 10 โวลต์ หรือศักดาลดทอน 1 โวลต์ ได้โดยการปรับสวิตซ์ที่ SW2 ศักดาไฟฟ้าอ้างอิงดังกล่าวจะส่งผ่านวงจรบัฟเฟอร์ U1A และ U1B เพื่อป้องกันผลกระทบของการโหลดศักดาไฟฟ้า ศักดาไฟฟ้าจาก U1A เป็นศักดาอ้างอิง LLD จะส่งไปยังวงจรบัฟเฟอร์ U2A เพื่ออ้างอิงให้กับวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าระดับล่าง U5 ในขณะที่ศักดาอ้างอิงจาก U1B จะรวมกับศักดาอ้างอิงจาก U1A ที่วงจรรวมสัญญาณ (Summing amplifier) แบบกลับสัญญาณทำให้ได้ศักดาอ้างอิง $\Delta E + LLD = ULD$ ส่งผ่านวงจรบัฟเฟอร์ U2B เพื่ออ้างอิงให้กับวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าระดับบน U4

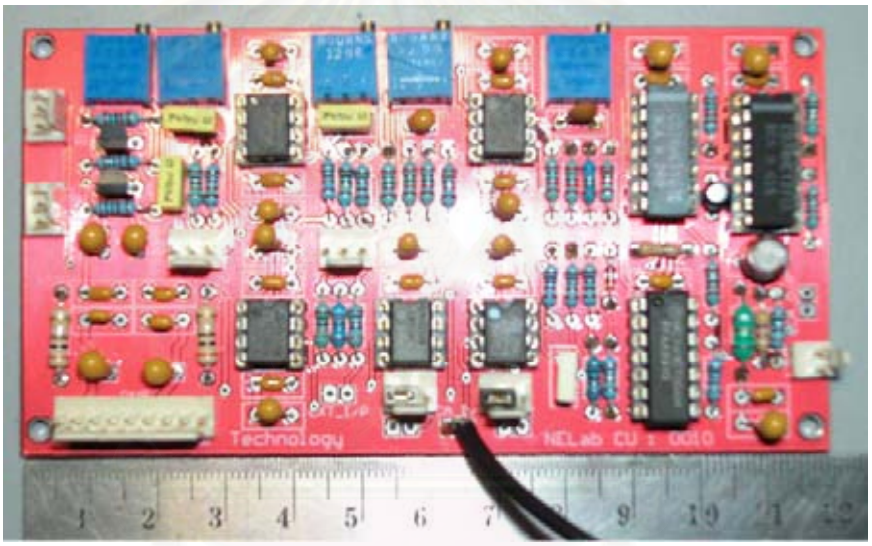
การวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ในวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าเริ่มจากสัญญาณความสูงของพัลส์ที่ต้องการวิเคราะห์ถูกป้อนให้ทางเข้าสัญญาณ (Input signal) U4 และ U5 ซึ่งมีศักดาไฟฟ้าอ้างอิง LLD ป้อนที่ U5 และศักดาไฟฟ้าอ้างอิง ULD ป้อนที่ U4 สภาวะการวิเคราะห์จะเป็นใน 2 กรณี คือ

กรณีแรกเมื่อ LLD ≤ Input signal < ULD ศักดาไฟฟ้าที่ทางออกสัญญาณของ U5 จะเปลี่ยนจากลอจิก "1" เป็น "0" ฟลิปฟลอฟ U8 จะถูกเซทให้เป็นลอจิก "1" ทำให้สัญญาณทางออกของ U7C เปลี่ยนเป็นลอจิก "0" วงจรโมโนสเตเบิล U6A ถูกกระตุ้นให้ทำงานด้วยขอบขาของ U7C ทำให้ได้สัญญาณพัลส์บวกขนาดความกว้าง 0.5 ไมโครวินาทีที่ทางออกสัญญานของ U7D ในขณะเดียวกัน U6B ทำงานทำให้ไดโอดเปล่งแสงติดสว่างขึ้น หลังจากนั้นโมโนสเตเบิล U6A จะกลับสู่สภาวะเดิม ขา Q ของ U6A เปลี่ยนจาก "1" เป็น "0" ทำให้ฟลิปฟลอฟ U8 ถูกรีเซท

กรณีที่สอง เมื่อ LLD < Input signal > ULD ในช่วงเวลาที่ Input signal ≥ LLD ทางออกสัญญาณของ U5 จะเป็นลอจิก "0" ฟลิปฟลอฟ U8 ถูกเซทให้ Q เป็นลอจิก "1" และช่วงที่ Input signal ≥ ULD ทางออกสัญญาณของ U4 เป็นลอจิก "0" ฟลิปฟลอฟ U8 ถูกรีเซทให้ Q เป็นลอจิก "0" ก่อนที่สัญญาณทางออกของ U5 จะเปลี่ยนจากลอจิก "0" เป็น "1" ในช่วงเวลาที่ Input signal ≤ LLD ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ทางออกสัญญาณของ U7D จึงไม่มีการกระตุ้นให้โมโนสเตเบิล U6A และ U7B ทำงาน ดังนั้นที่ทางออกสัญญาณของ U7D จะไม่ปรากฏสัญญาณพัลส์ออกไป

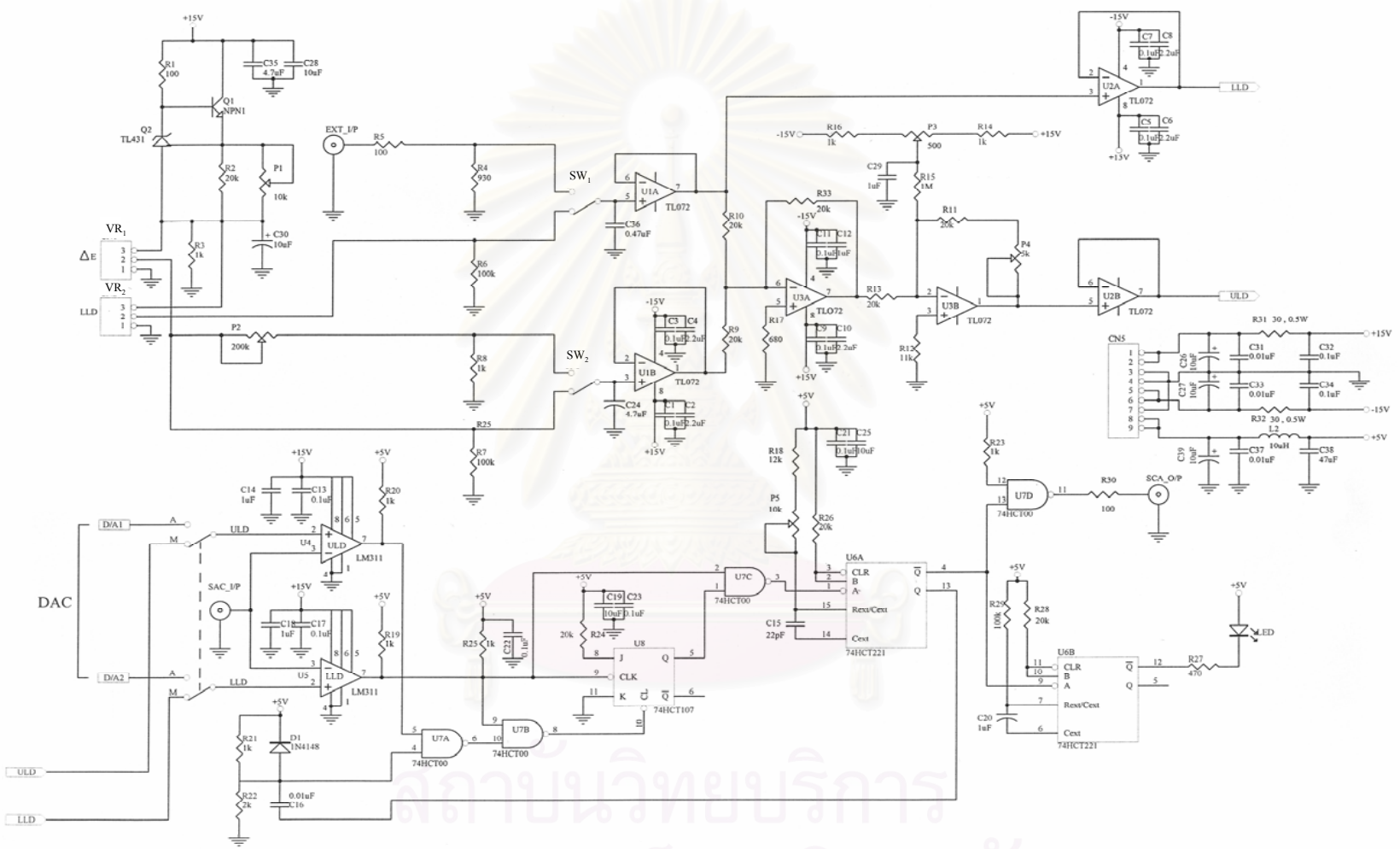
จากการทำงานที่กล่าวมาข้างต้นทั้งสองกรณี สรุปได้ว่าการทำงานของวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ จะให้สัญญาณพัลส์ออกมาเมื่อสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายหลักมีความสูงมากกว่าหรือเท่ากับระดับศักดาไฟฟ้าอ้างอิง LLD แต่น้อยกว่าศักดาไฟฟ้าอ้างอิง ULD และในสภาวะนอกเหนือไปจากนี้จะไม่มีสัญญาณพัลส์ใด ๆ ปรากฏที่ทางออกสัญญาณ (SCA_0/P)**[3]**

นอกจากการปรับค่า VR1 และ VR2 เพื่อตั้งค่า LLD และ ULD ในการกำหนดค่าช่องวิเคราะห์พลังงาน ยังสามารถที่จะตั้งค่าของ LLD และ ULD ได้จากคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพริ้นเตอร์พอร์ตและวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ เข้ามาทาง D/A1 และ D/A2 เพื่อกำหนดค่าช่องวิเคราะห์พลังงาน ซึ่งหลักการทำงานในการวิเคราะห์ LLD และ ULD จะเมื่อกับกรณีที่หนึ่งและกรณีที่สองตามข้างบนที่ได้กล่าวมา และสามารถสร้างเป็นแผนวงจรได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผงวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

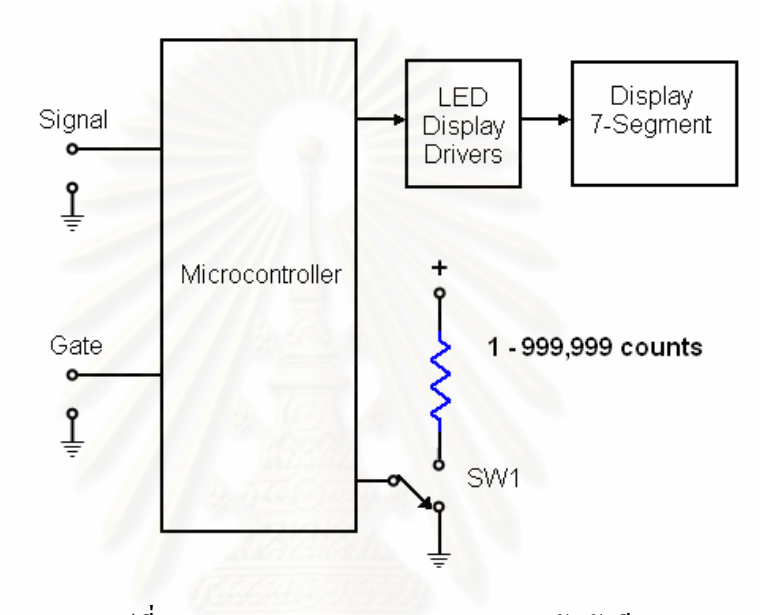


รูปที่ 3.12 วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

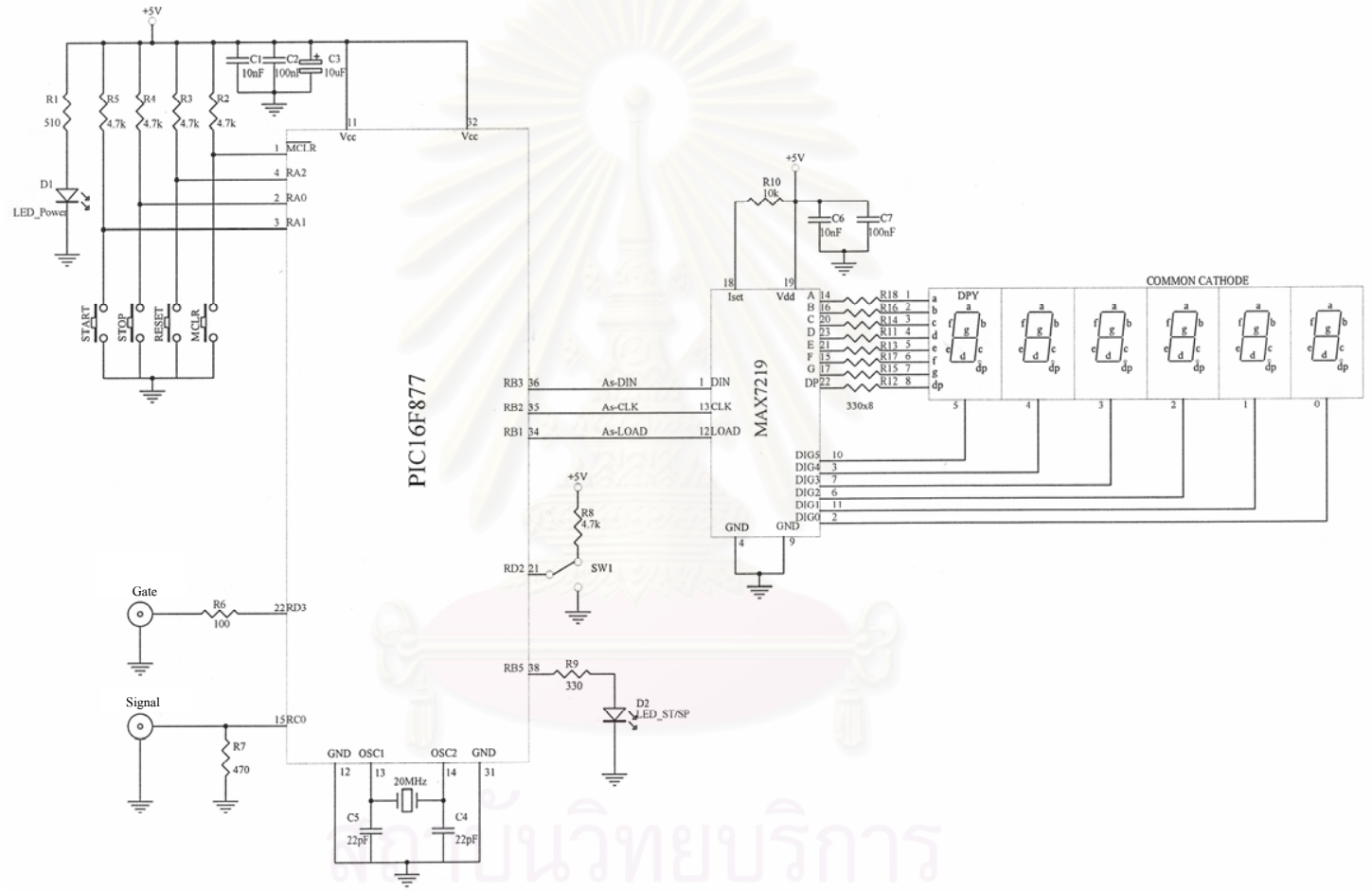
3.2.5 วงจรนับรังสี

ประกอบด้วยไมโครคอน โทรลเลอร์และอุปกรณ์แสดงผล ดังแสงในรูปที่ 3.13 ทำหน้ารับสัญญาณลอจิกจากโมดูลวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว หรือโมดูลตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ เข้ามาสะสมทางช่อง Signal โดยสามารถนับจำนวนรังสีได้ทั้งแบบที่ไม่มีเวลามาควบคุม หรือมีเวลามาควบคุม ซึ่งเวลาที่ใช้ในการควบคุมจะผ่านทางช่อง Gate



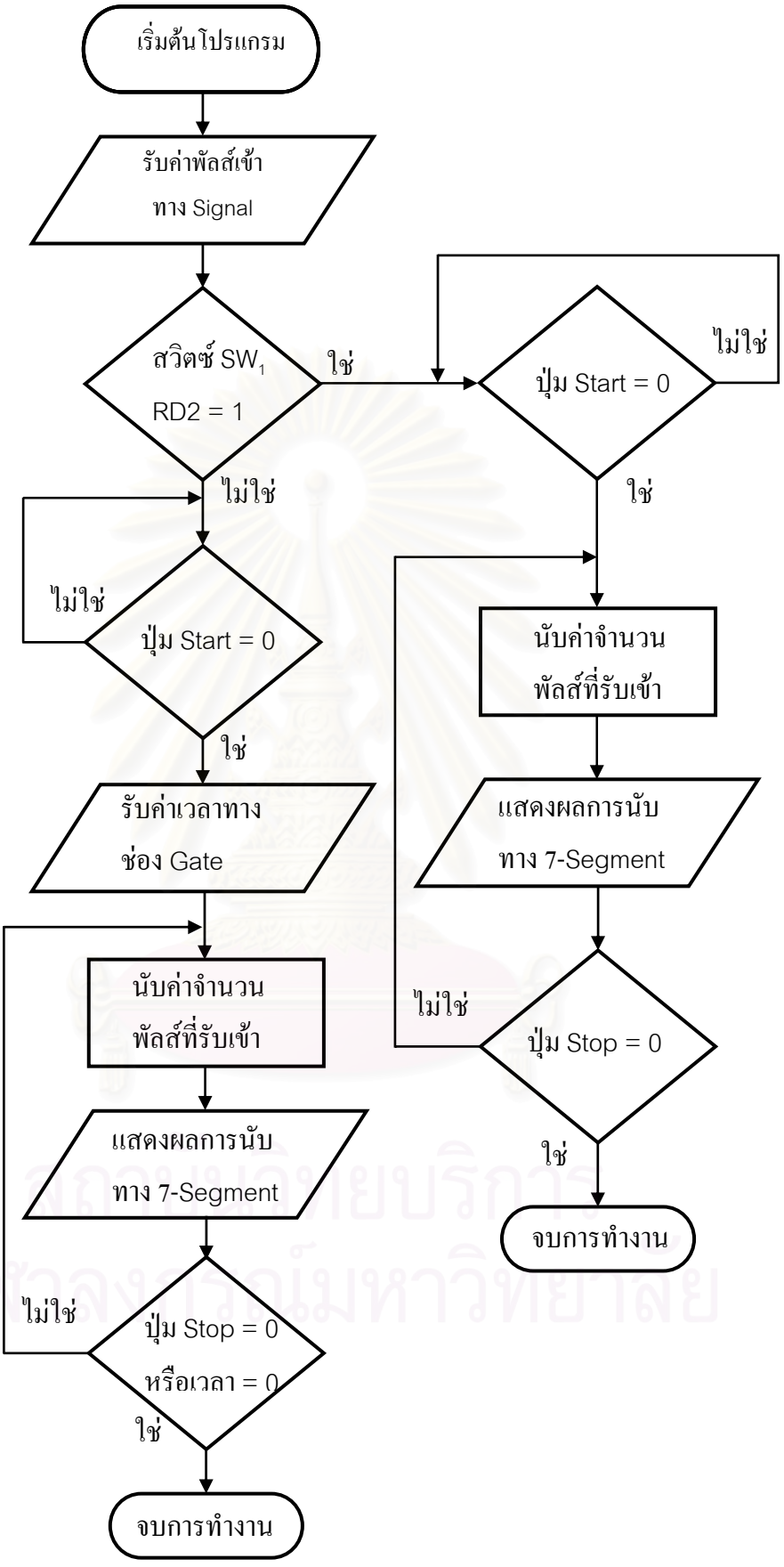
รูปที่ 3.13 แผนภาพการทำงานของวงจรนับรังสี

จากรูปที่ 3.14 วงจรนับรังสีจะทำงานโดยการควบคุมของไมโครคอนโทรเลอร์และส่งผลไปแสดงที่เซ็กเม็นต์ 7 ส่วน (7-Segment) ที่มีจำนวน 6 หลัก ทำให้สามารถแสดงค่าของการนับรังสีได้ตั้งแต่ 0-999,999 cps เมื่อไมโครคอนโทรเลอร์รับค่าสัญญาณพัลส์เข้าทางช่อง Signal ไมโครคอนโทรเลอร์จะทำการตรวจสอบแรงดันที่ขา RD2 = 1 (High) จะทำการนับค่าของสัญญาณพัลส์โดยไม่ต้องมีเวลาเข้ามาควบคุม ถ้า RD2 = 0 (Low) จะทำการนับพัลส์สัญญาณได้ต้องใช้เวลาเข้ามาควบคุมผ่านทางช่อง Gate ซึ่งขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมนับรังสีแสดงดังรูปที่ 3.15 และแสดงแผงวงจรได้ดังรูปที่ 3.16

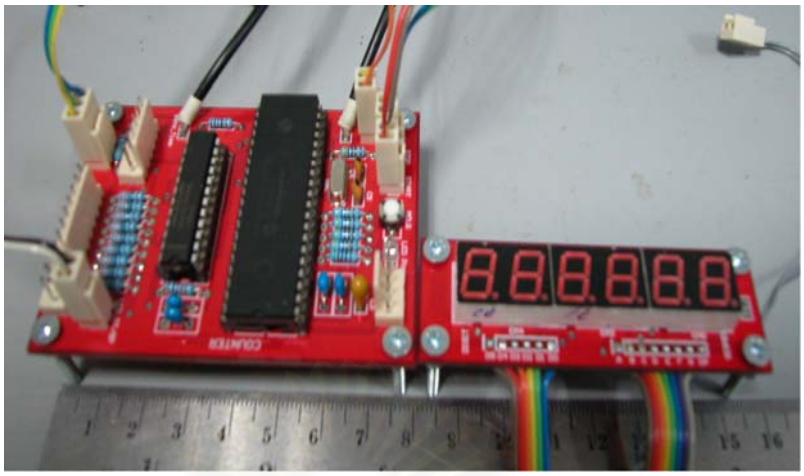


รูปที่ 3.14 วงจรนับรังสี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



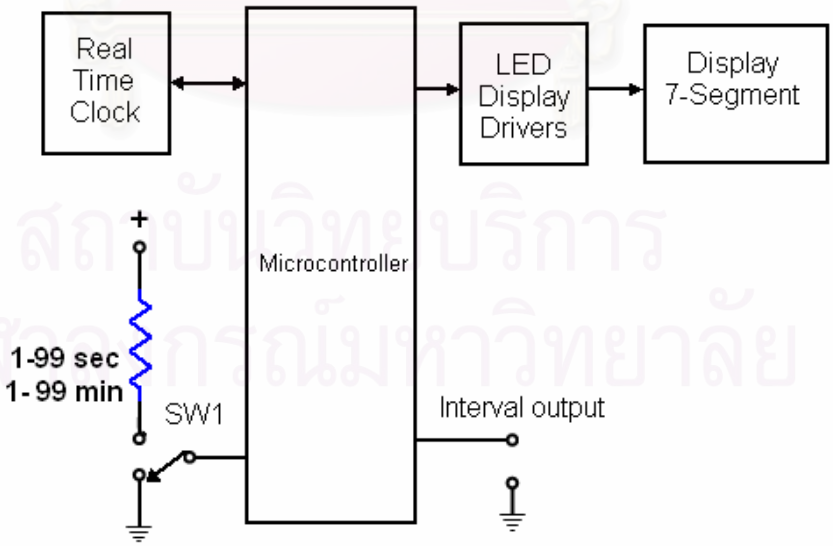
รูปที่ 3.15 โฟลวชาร์ตการทำงานของโปรแกรมนับรังสี



รูปที่ 3.16 แผงวงจรนับรังสี

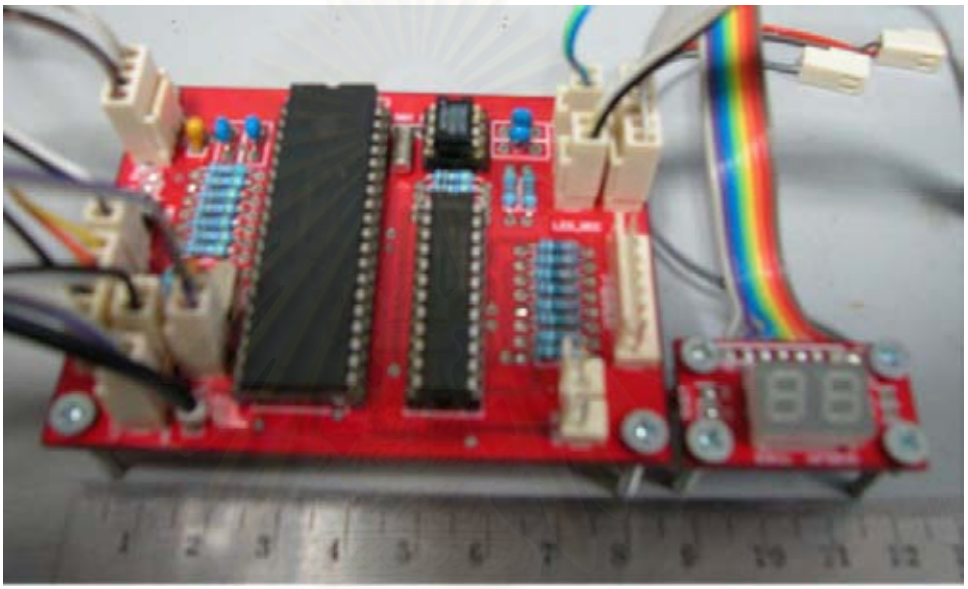
3.2.6 วงจรตั้งเวลา

ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวสร้างฐานเวลา (Real time clock) และอุปกรณ์แสดงผล ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ทำหน้าตั้งเวลาในการตรวจวัดรังสี โดยจะส่งสัญญาณเปิดและปิดเกตของโมดูลนับรังสีเมื่ออยู่ในโหมดการนับที่ต้องใช้เวลามาควบคุมออกทางช่อง Interval output



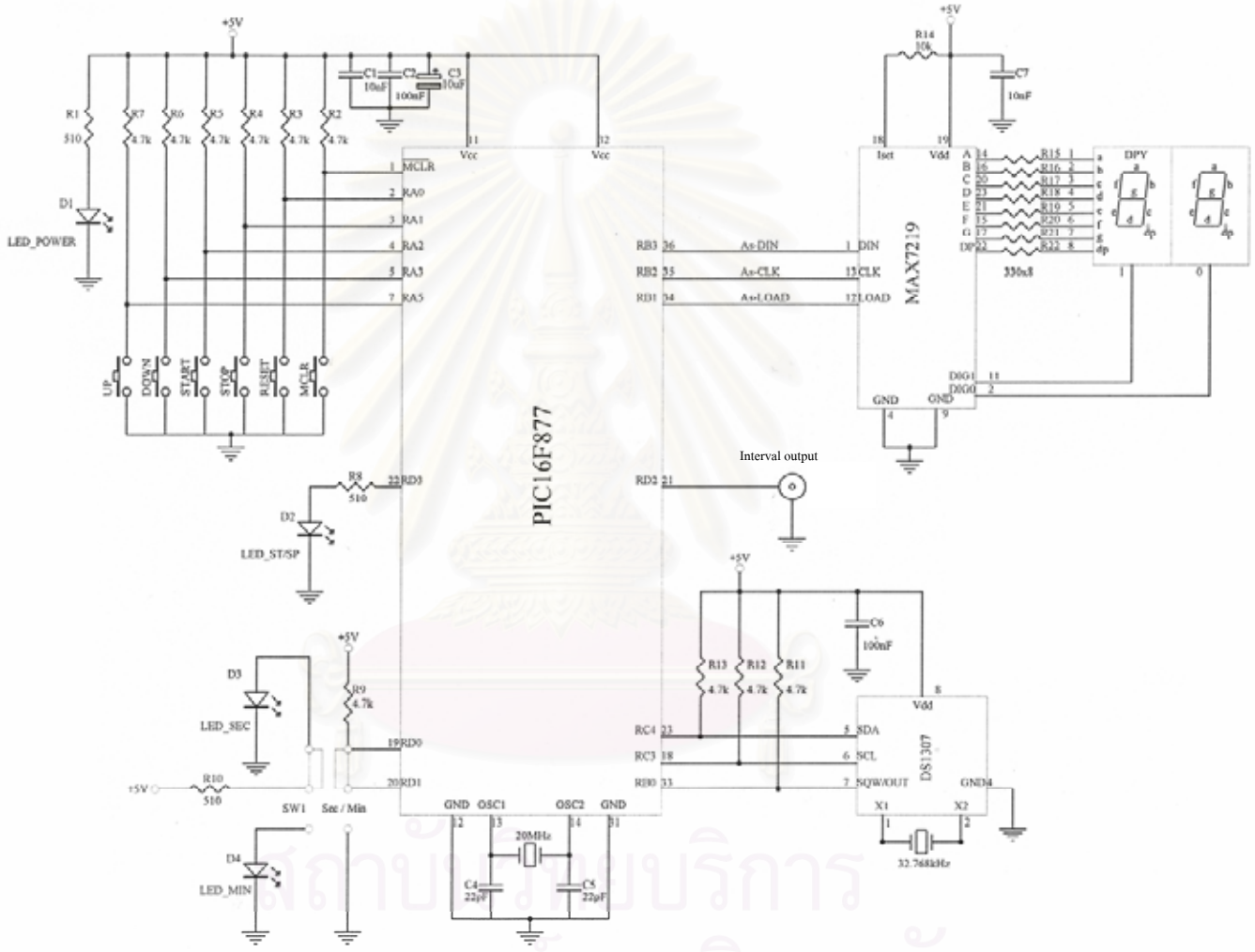
รูปที่ 3.17 แผนภาพการทำงานของวงจรตั้งเวลา

จากรูปที่ 3.19 วงจรตั้งเวลาจะทำงานโดยการควบคุมของไมโครคอนโทรเลอร์ ซึ่งสามารถเลือกตั้งค่าเวลาในหน่วยวินาทีหรือนาที ในหน่วยวินาทีสามารถตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 1-99 วินาที และในหน่วยนาทีสามารถตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 1-99 นาที และส่งผลไปแสดงที่เซ็กเม็นต์ 7 ส่วน ที่มีจำนวน 2 หลัก ในการเลือกหน่วยเวลาไมโครคอนโทรเลอร์จะทำการตรวจสอบที่ขา RD1 = 1 (High) เวลาจะอยู่ในหน่วยวินาที ถ้า RD1 = 0 (Low) เวลาจะอยู่ในหน่วยนาที โดยขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตั้งเวลาแสดงดังรูปที่ 3.20, รูปที่ 3.21 และแสดงแผงวงจรได้ดังรูปที่ 3.18



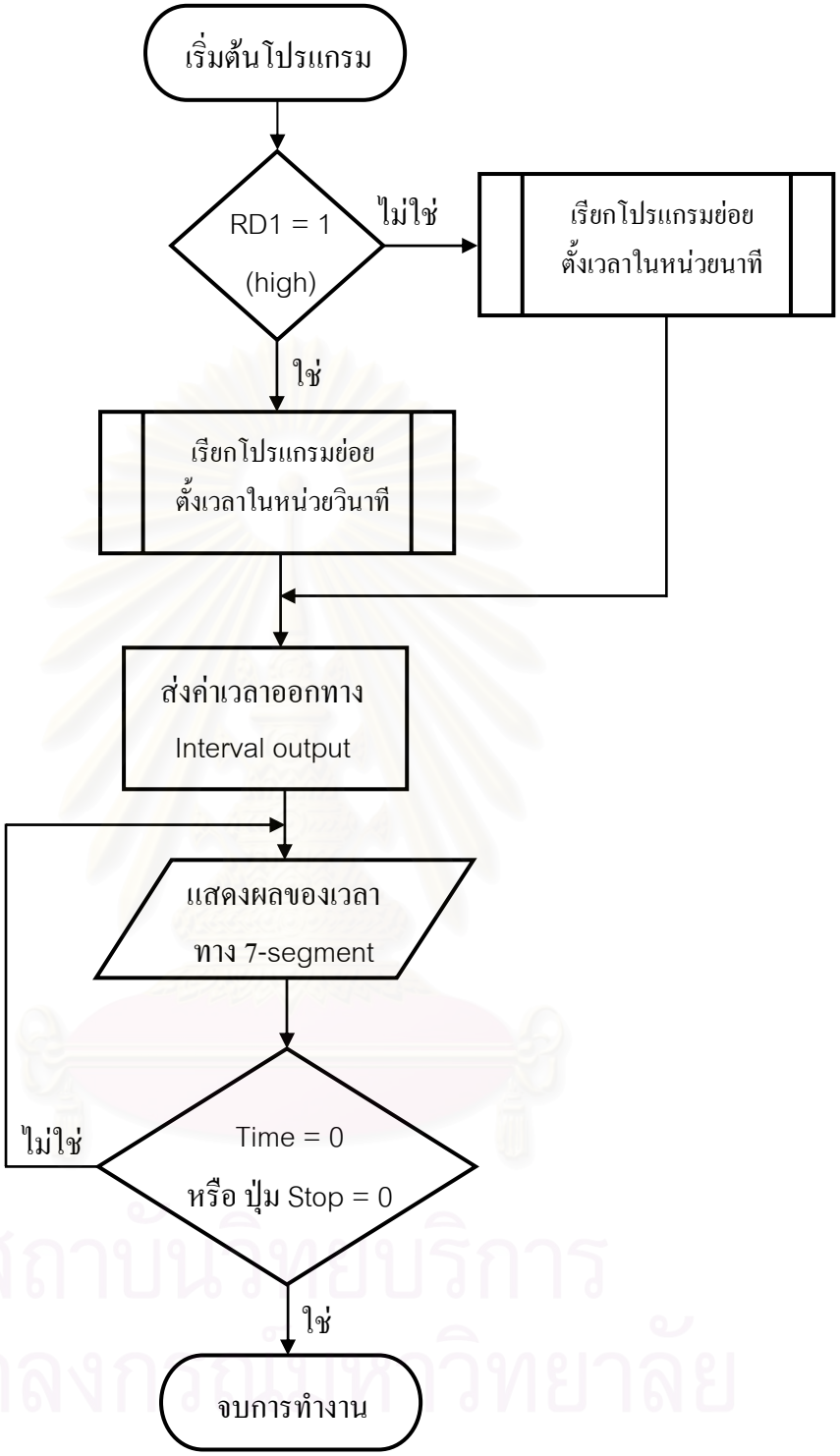
รูปที่ 3.18 แผงวงจรตั้งเวลา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



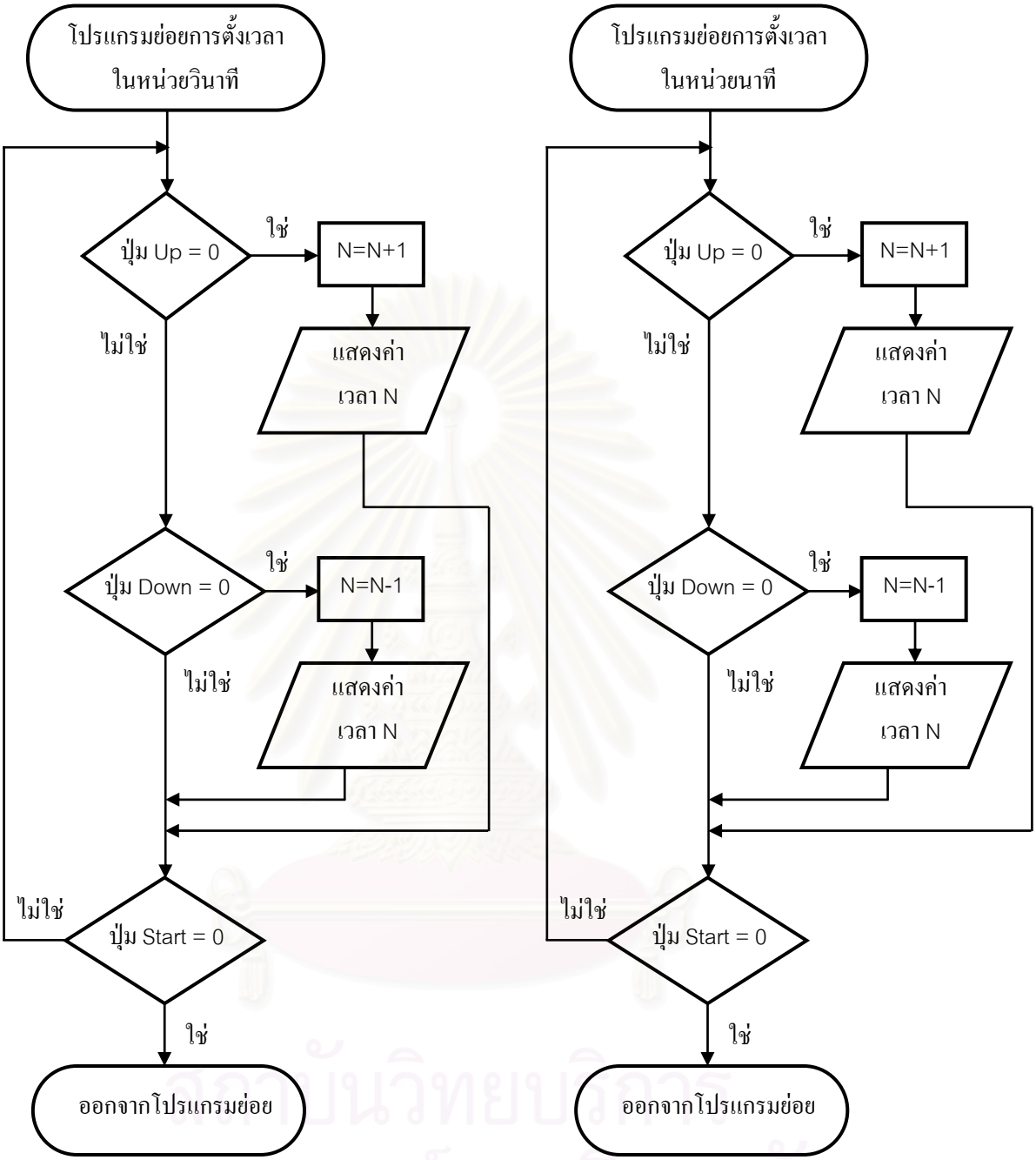
รูปที่ 3.19 วงจรตั้งเวลา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.20 โฟลวชาร์ตการทำงานโปรแกรมหลักของวงจรตั้งเวลา

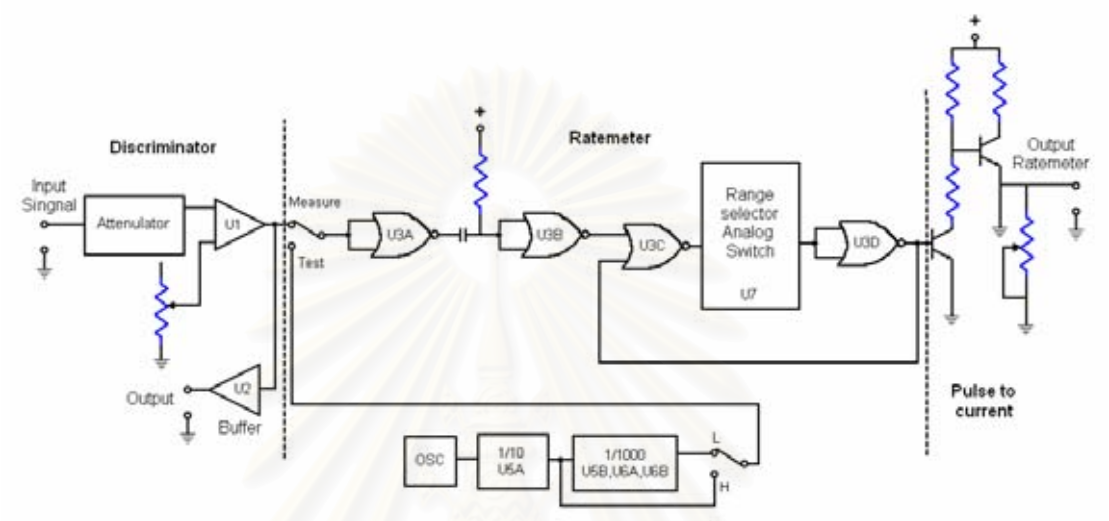
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.21 โฟลวชาร์ตการทำงานโปรแกรมย่อยของวงจรตั้งเวลา

3.2.7 วงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์

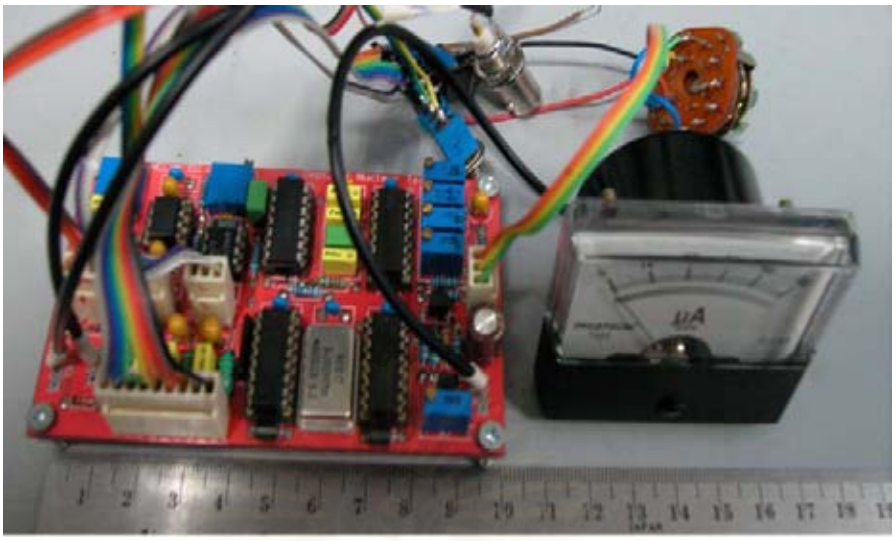
ประกอบด้วยวงจรตัดสัญญาณ ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณลอจิกพัลส์เมื่อมีสัญญาณทางเข้าเพื่อส่งต่อไปที่เรตมิเตอร์หรือโมดูลนับรังสี เรตมิเตอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนปริมาณนับรังสีให้เป็นศักดาไฟฟ้าเฉลี่ยเพื่อแสดงอัตรานับรังสีเฉลี่ยในหน่วยจำนวนนับต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แผนภาพการทำงานของวงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์

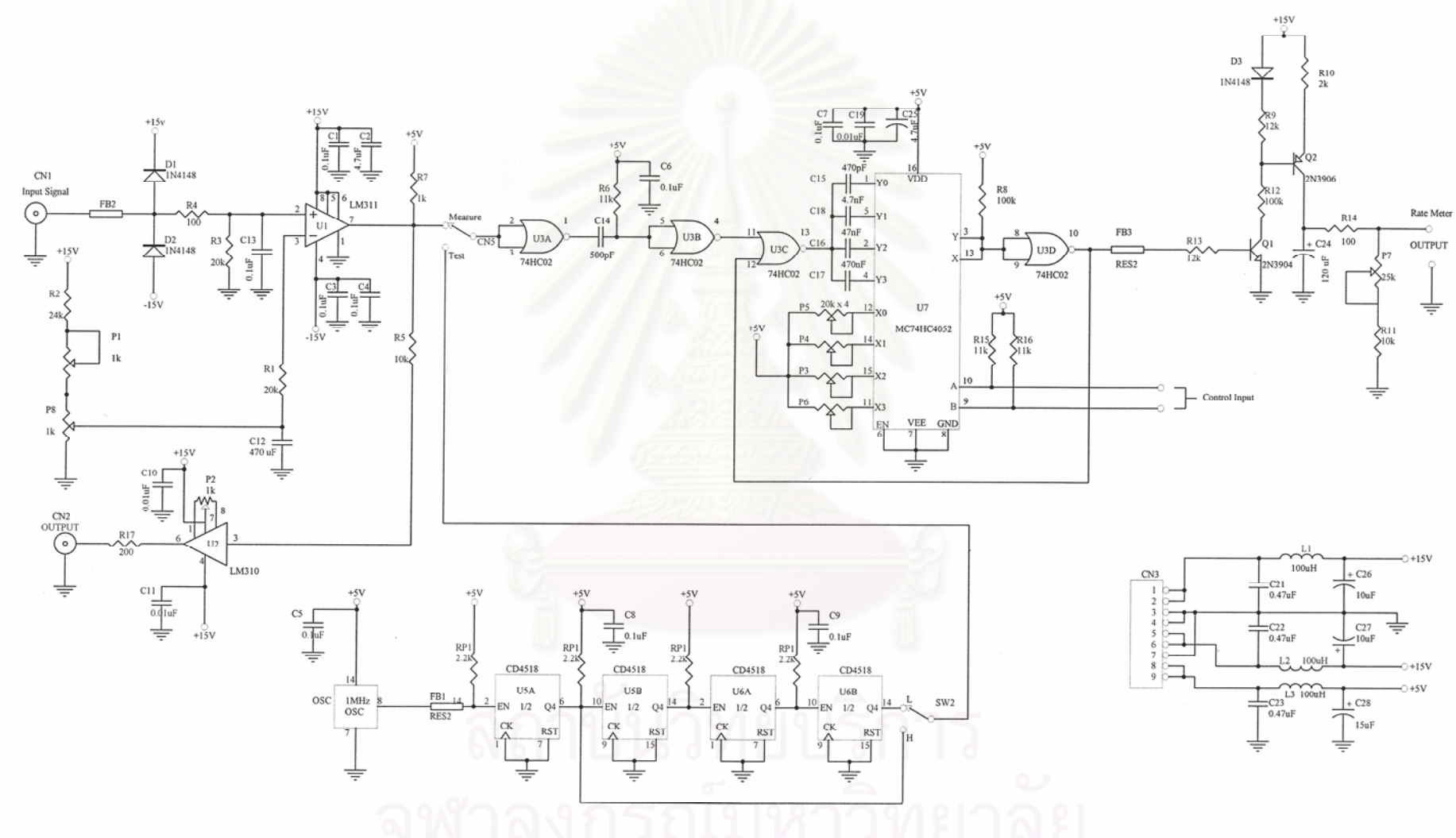
จากรูปที่ 3.24 วงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ เมื่อมีสัญญาณป้อนเข้าที่ทางเข้าสัญญาณ (CN1) สัญญาณจะถูกลดทอนลงที่ R3 และ R4 ก่อนเข้า U1 ซึ่ง U1 ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณลอจิกพัลส์เมื่อสัญญาณทางเข้ามีขนาดสูงกว่าระดับศักดาไฟฟ้าที่ตั้งไว้ แล้วส่งต่อสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ได้ไปที่ U2 ที่ทำหน้าที่เป็นบับเฟอร์ เพื่อส่งออกทางออกสัญญาณ หรือส่งสัญญาณสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ได้ให้กับเรตมิเตอร์เพื่อเปลี่ยนเป็นค่าศักดาไฟฟ้าเฉลี่ยเพื่ออ่านเฉลี่ยของพัลส์ต่อหน่วยเวลา เรตมิเตอร์สามารถควบคุมการเลือกช่วงความถี่ได้ 4 ช่วงความถี่ที่ไอซี U7 คือ ช่วงที่ 1 นับสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ในช่วง 1 Hz – 100 Hz ช่วงความถี่ที่ 2 นับสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 100 Hz – 1 kHz ช่วงความถี่ที่ 3 นับสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 1 kHz – 10 kHz และช่วงความถี่ที่ 4 นับสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 10 kHz – 100 kHz

เพื่อความสะดวกในการใช้งานและซ่อมบำรุงได้ออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์มาตราฐานที่มีค่าความถี่ต่ำ 100 Hz (L) และความถี่สูง 100 kHz (H) เพื่อใช้ในการตรวจสอบการทำงานของวงจรเรตมิเตอร์เองโดยความถี่ 100 Hz ใช้สำหรับสเกลที่อัตรานับต่ำและความถี่ 100 kHz ใช้สำหรับสเกลที่อัตรานับสูง ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์จากภายนอกมาทำการทดสอบการทำงานของวงจรเรตมิเตอร์ และสามารถสร้างแผงวงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ได้ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 แผงวงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์

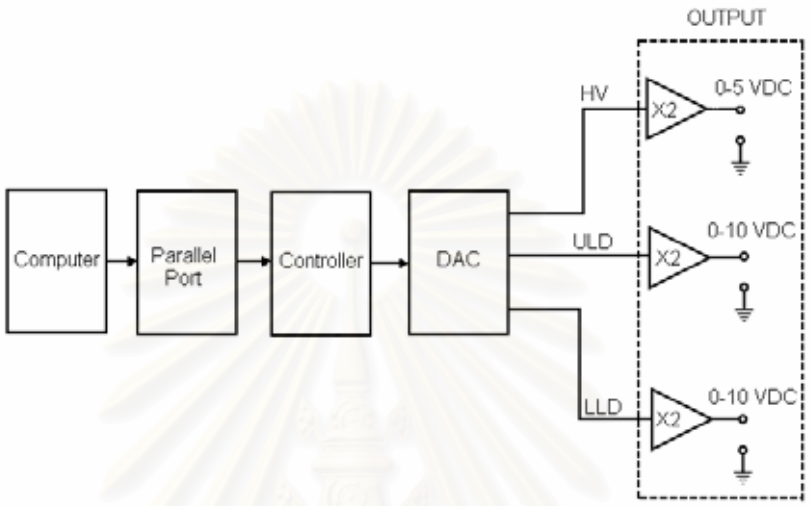
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.24 วงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์

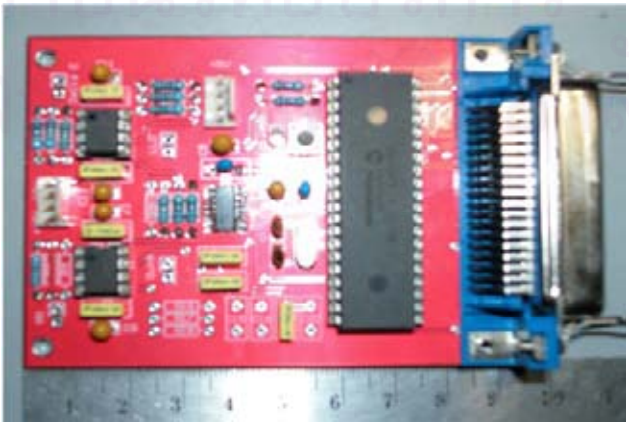
3.2.8 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

ทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างโมดูลศักดาไฟฟ้าสูงและโมดูลวิเคราะห์พลังงานเดี่ยวกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตขนาน ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.25

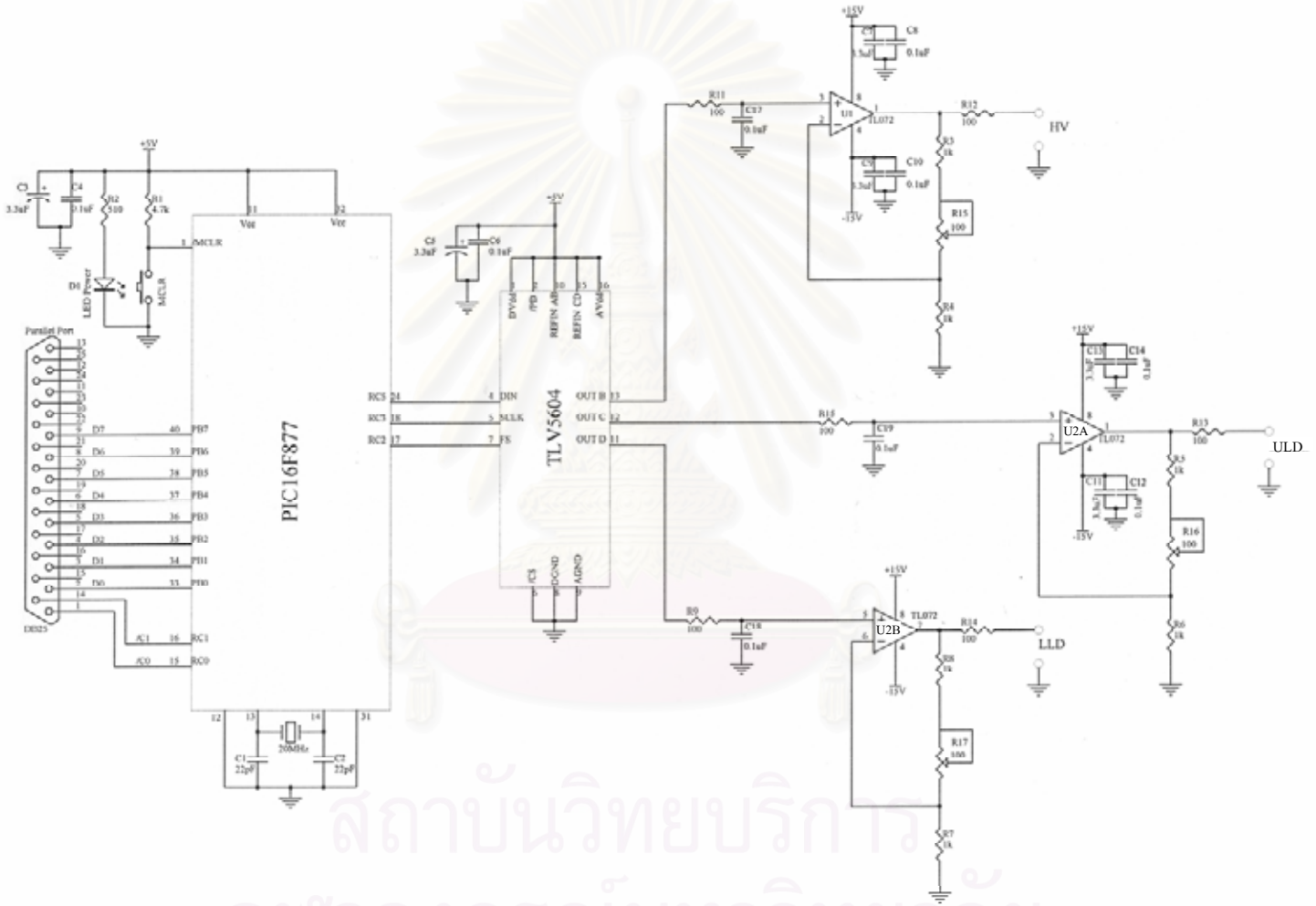


รูปที่ 3.25 แผนภาพการทำงานของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

จากรูปที่ 3.27 เมื่อไมโครคอนโทรเลอร์รับข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิตอลจากคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตขนาน ไมโครคอนโทรเลอร์จะส่งข้อมูลต่อไปให้ไอซี TLV5604 เปลี่ยนสัญญาณจากดิจิตอลเป็นอนาลอก (DAC) เพื่อเปลี่ยนให้เป็นแรงดันไฟฟ้าและส่งต่อแรงดันไฟฟ้าไปทำการทวีขยายแรงดัน 2 เท่า ที่ U1, U2A, U2B สำหรับนำไปใช้ในการปรับค่าศักดาไฟฟ้าสูงของโมดูลศักดาไฟฟ้าสูง และปรับค่าของ ULD และ LLD ของโมดูลวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวตามลำดับ โดยขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเชื่อมโยงสัญญาณแสดงดังรูปที่ 3.28 และแสดงแผงวงจรได้ดังรูปที่ 3.26

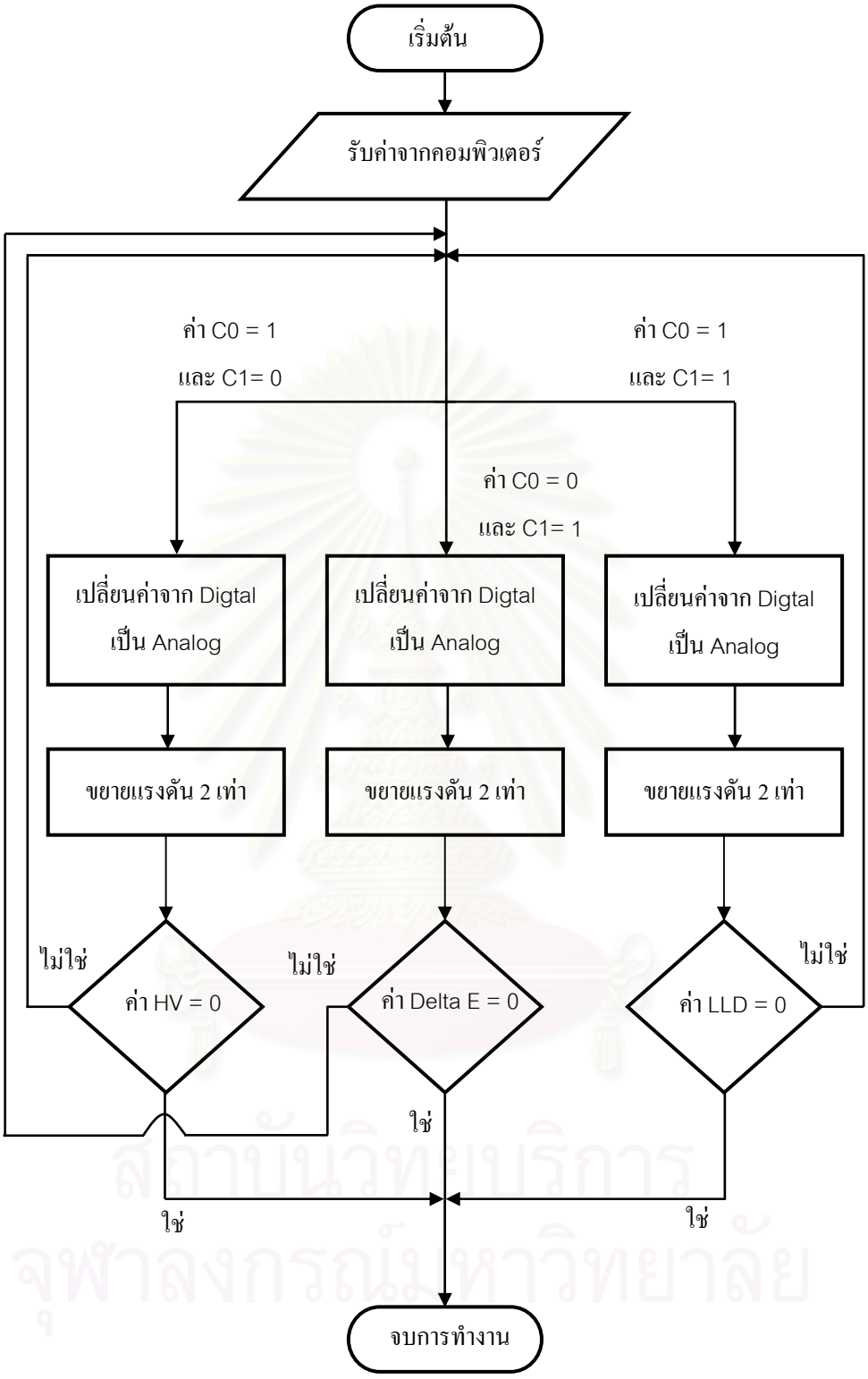


รูปที่ 3.26 แผงวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ



รูปที่ 3.27 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

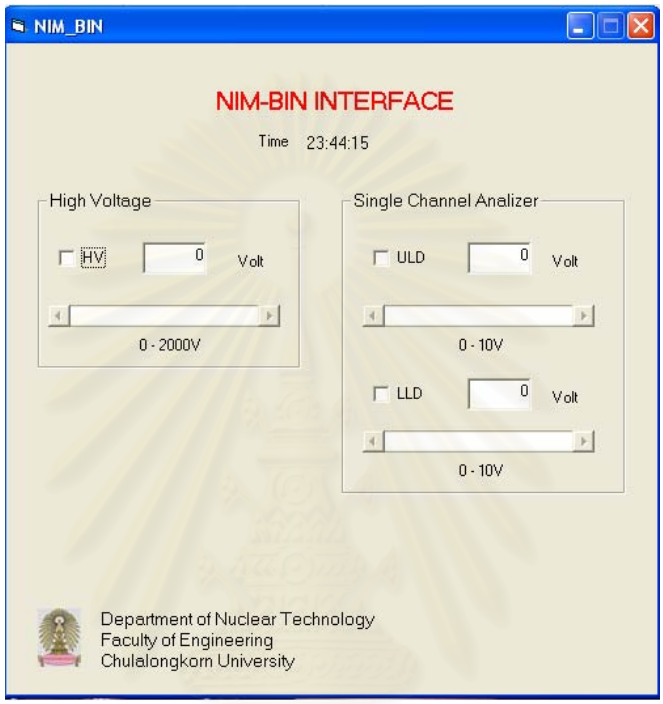


รูปที่ 3.28 โฟลวชาร์ตการทำงานโปรแกรมของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมค่า HV, LLD และ ULD

พัฒนาโดยใช้ภาษา Visual Basic 6 ควบคุมการปรับค่า HV, LLD และ ULD ของโมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงและโมดูลวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวผ่านทางสาย Parallel Port แสดงหน้าจอควบคุมได้ดังรูป 3.29 และโปรแกรมควบคุมที่พัฒนาขึ้นแสดงในภาคผนวก ก.



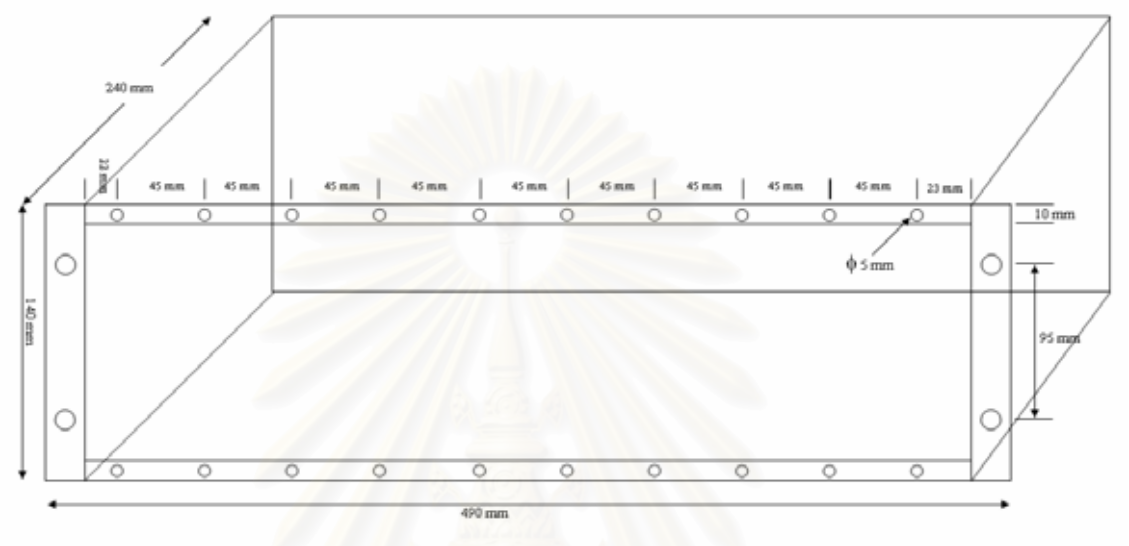
รูปที่ 3.29 หน้าจอควบคุมการปรับค่า HV, LLD และ ULD

การปรับค่า HV สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 – 2000 V ที่ค่าความละเอียดครั้งละ 10 V ส่วนการปรับค่า LLD และ ULD ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 – 10 V ที่ค่าความละเอียดครั้งละ 0.05 V

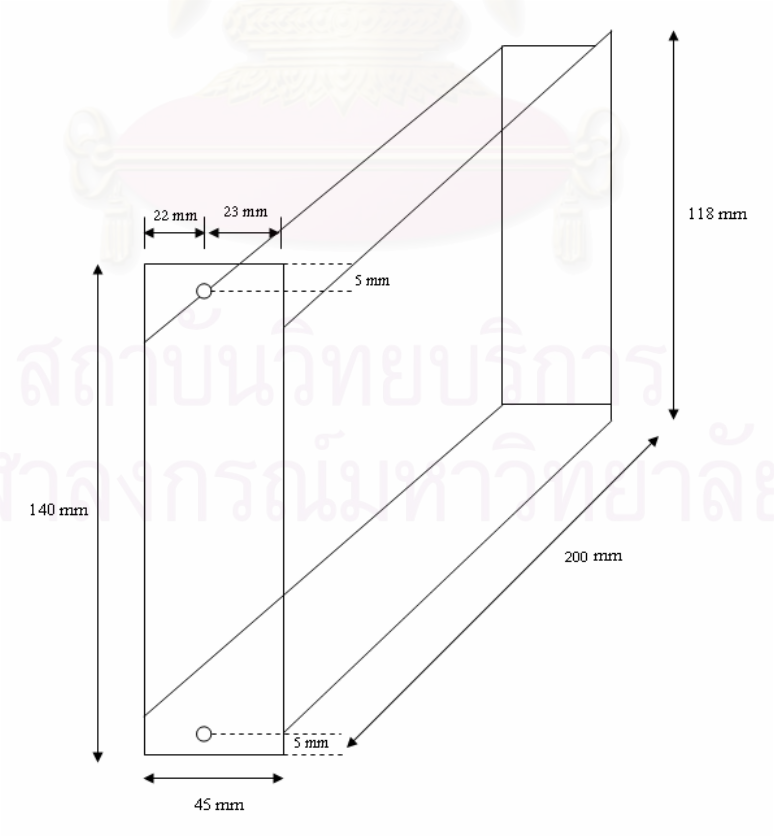
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การสร้างโครงบรรจุโมดูลและโครงโมดูลของระบบ

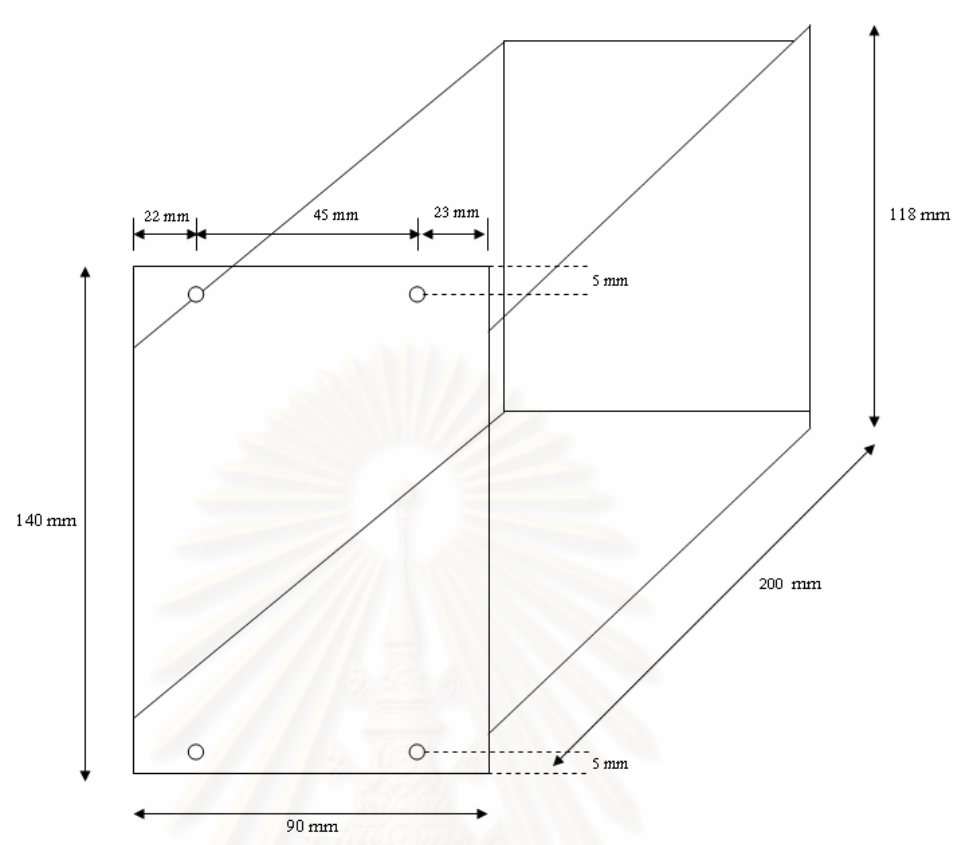
ใช้อะลูมิเนียมเป็นวัสดุในการสร้างโครงบรรจุโมดูลและโครงโมดูล ตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ 3.30, รูปที่ 3.31 และรูปที่ 3.32 โดยโครงบรรจุโมดูลสามารถที่จะบรรจุโมดูลทั้งหมดได้ 7 โมดูล



รูปที่ 3.30 ภาพโครงบรรจุโมดูล



รูปที่ 3.31 ภาพโครงโมดูลขนาดมาตรฐาน

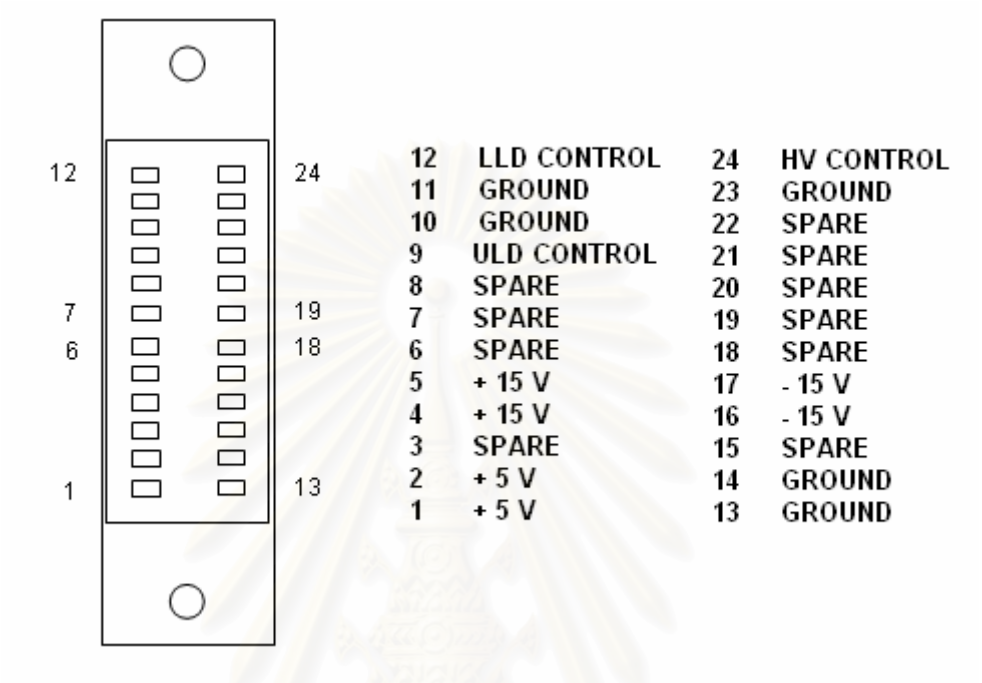


รูปที่ 3.32 ภาพโครงโมดูลขนาด 2 เท่าของขนาดมาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 ระบบขั้วต่อของโครงบรรจุโมดูลและโครงโมดูล

ได้ทำการออกแบบโดยใช้ขั้วต่อ (Connector) แบบเซนโทรนิกส์ (Centronics) ชนิด 24 pin กำหนด pin สำหรับการใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 ภาพการใช้งานของขา Centronics ชนิด 24 pin

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดสอบสมรรถนะของระบบ

การทดสอบสมรรถนะของระบบได้ทำการทดสอบตามขั้นตอนดังนี้

1. ทดสอบการทำงานและสมรรถนะของแต่ละโมดูล
2. ทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับรวมและการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงานทำงานอิสระจากคอมพิวเตอร์
3. ทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับรวมและการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงาน ที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์

4.1 การทดสอบการทำงานและสมรรถนะของแต่ละโมดูล

ได้ทำการแบ่งการทดสอบออกเป็น การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง การทดสอบวงจรขยายสัญญาณ การทดสอบวงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดี่ยว การทดสอบวงจรการนับรังสี การทดสอบวงจรการตั้งเวลา การทดสอบวงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ และการทดสอบวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น

4.1.1 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ

จากการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำขนาด +5 V, +15 V / -15 V และ +24 V / -24 V สามารถทดสอบเพื่อหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

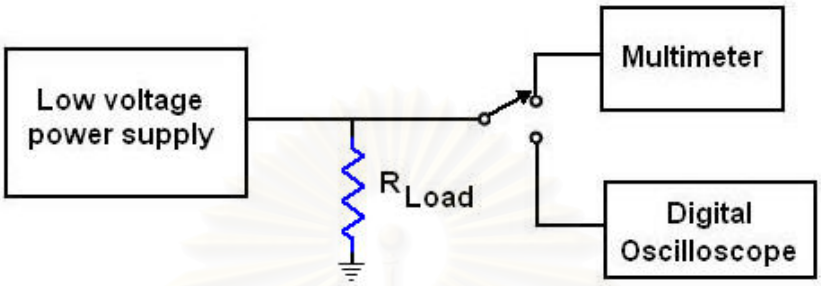
4.1.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

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

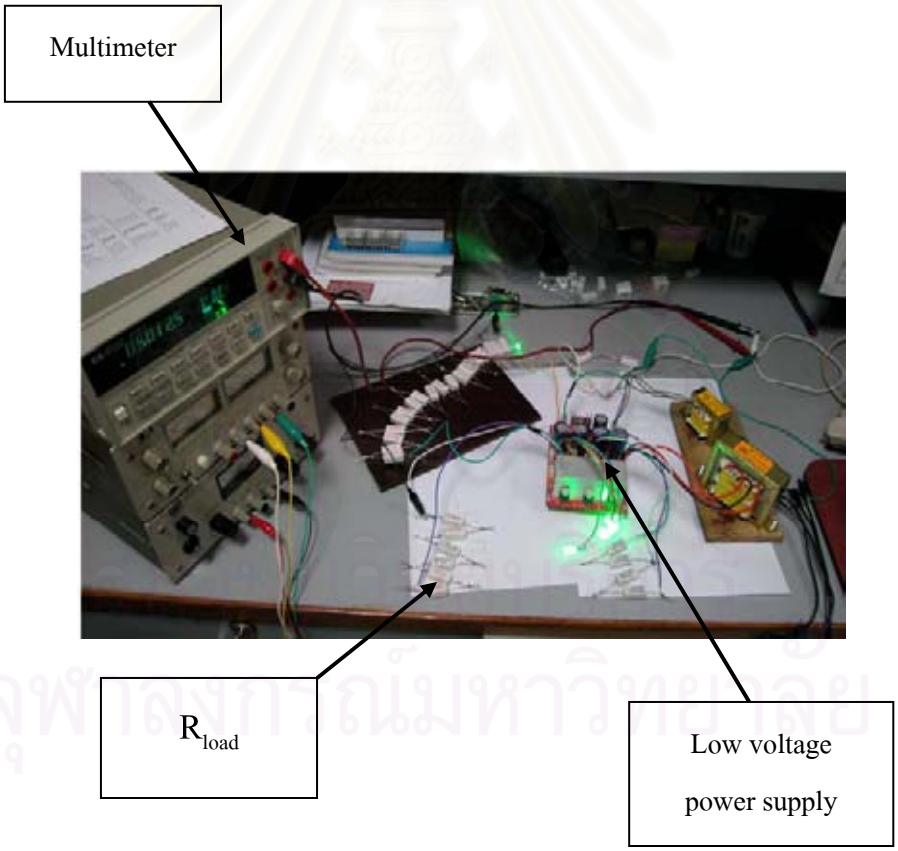
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด (Maximum current) ทดสอบการรบกวน (Noise) และการกระเพื่อม (Ripple) ของสัญญาณ และทดสอบความเสถียร (Stability) ของศักดาไฟฟ้าทางออก สามารถจัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ



รูปที่ 4.2 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ

4.1.1.3 ผลการทดสอบ

4.1.1.3.1 การทดสอบความสามา รถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าขนาน +5 V, +15 V, -15 V, +24 V และ -24 V ขณะไม่มีโหลดมีค่าเท่ากับ 5.02 V, 15.24 V, -15.25 V, 24.2 V และ -24.0 V ตามลำดับ แรงดันไฟฟ้าขณะมีโหลดแสดงได้ดังตารางที่ 4.1, ตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดของศักดาไฟฟ้า +5 V

ความต้านทานโหลด (Ω)	ศักดาไฟฟ้าทางออก (V)	I (A)	P (W)
20	5.02	0.25	1.25
15	5.02	0.33	1.66
12	5.01	0.38	1.90
10	5.01	0.50	2.50
7	4.98	0.71	3.50
5	4.9	0.92	4.23
2	2.97	0.72	1.05

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดของศักดาไฟฟ้า +15 V และ -15 V

ความต้านทานโหลด (Ω)	+15 V			-15 V		
	ศักดาไฟฟ้าทางออก (V)	I (A)	P (W)	ศักดาไฟฟ้าทางออก (V)	I (A)	P (W)
75	15.24	0.20	3.05	-15.25	0.20	3.05
60	15.24	0.25	3.81	-15.25	0.25	3.81
45	15.24	0.33	5.02	-15.25	0.33	5.02
30	15.23	0.51	7.76	-15.25	0.51	7.76
15	15.21	1.00	15.44	-15.22	1.00	15.44
10	13.09	1.30	17.02	-13.90	1.39	19.32

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดของศักดาไฟฟ้า +24 V และ -24 V

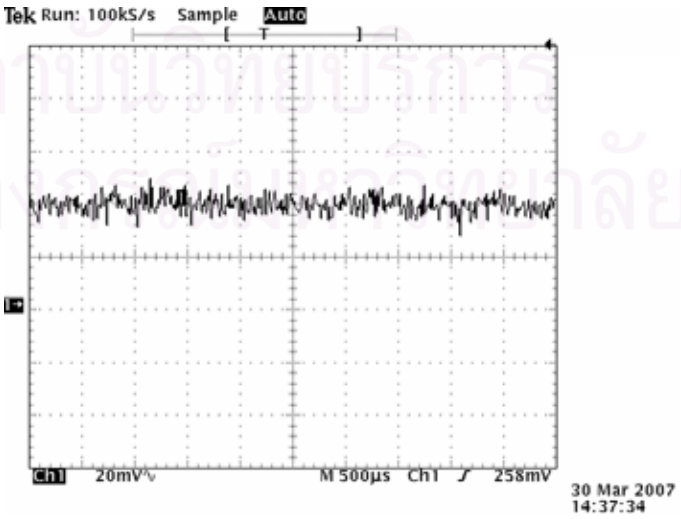
ความต้านทานโหลด (Ω)	+24 V			-24 V		
	ศักดาไฟฟ้าทางออก (V)	I (A)	P (W)	ศักดาไฟฟ้าทางออก (V)	I (A)	P (W)
2000	24.20	0.010	0.24	-24.00	0.012	0.24
1500	24.20	0.016	0.39	-24.00	0.016	0.39
1200	24.20	0.020	0.48	-24.00	0.020	0.48
1000	23.60	0.023	0.54	-23.90	0.023	0.54
700	19.75	0.028	0.55	-20.43	0.029	0.59

4.1.1.3.2 การทดสอบ Noise และ Ripple ของสัญญาณที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำขนาดต่าง ๆ มีดังนี้

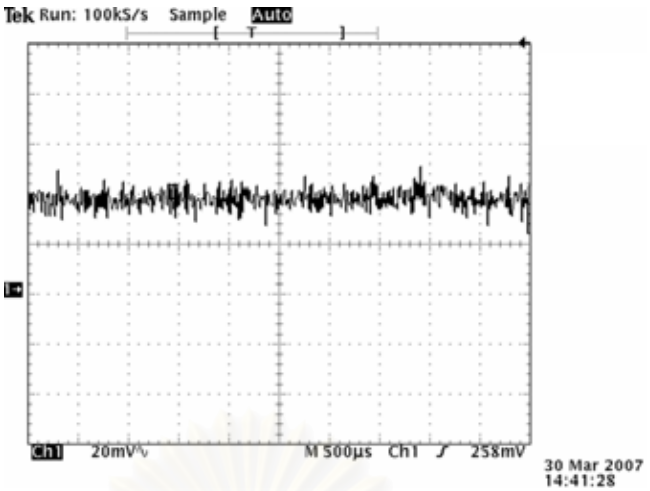
- ศักดาไฟฟ้าขนาด +5 V มีค่า Noise และ Ripple ของสัญญาณประมาณ 10 mV ทั้งขณะมีโหลดและไม่มีโหลด แสดงดังรูปที่ 4.3 ก. และ 4.3 ข.

- ศักดาไฟฟ้าขนาด +15 V / -15 V มีค่า Noise และ Ripple ของสัญญาณประมาณ 20 mV ขณะไม่มีโหลด และประมาณ 30 mV ขณะมีโหลด แสดงดังรูปที่ 4.4 ก., 4.4 ข., 4.5 ก. และ 4.5 ข.

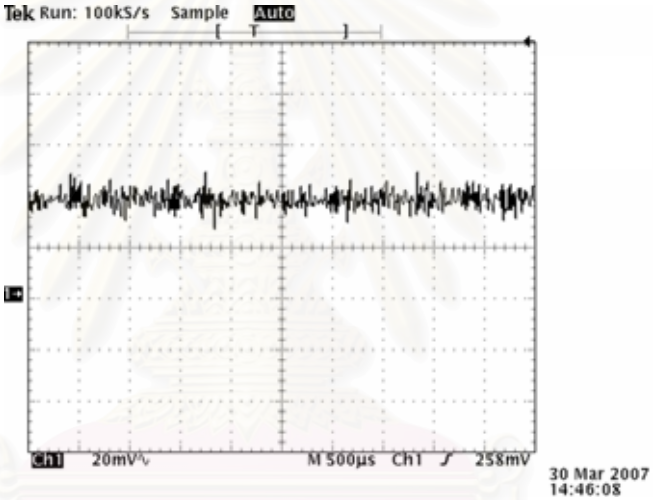
- ศักดาไฟฟ้าขนาด +24 V / -24 V มีค่า Noise และ Ripple ของสัญญาณประมาณ 20 mV ขณะไม่มีโหลด และประมาณ 30 mV ขณะมีโหลด แสดงดังรูปที่ 4.6 ก., 4.6 ข., 4.7 ก. และ 4.7 ข.



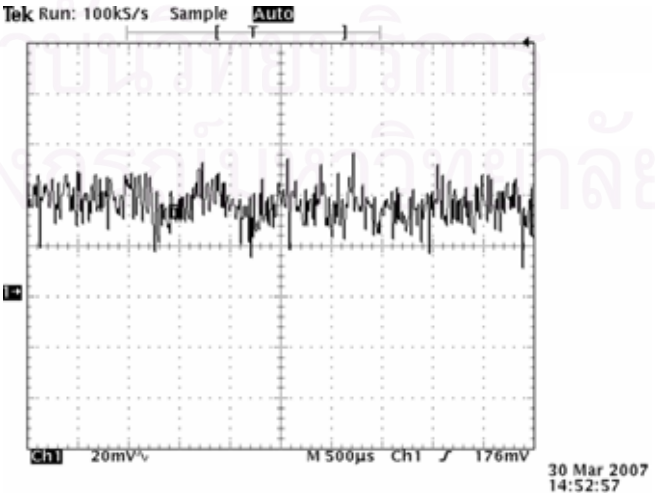
รูปที่ 4.3 ก. Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า +5 V ขณะไม่มีโหลด



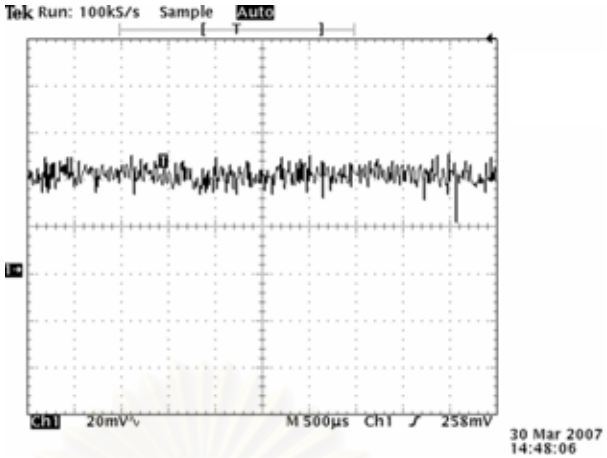
รูปที่ 4.3 ข. Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า +5 V ขณะมีโหลด



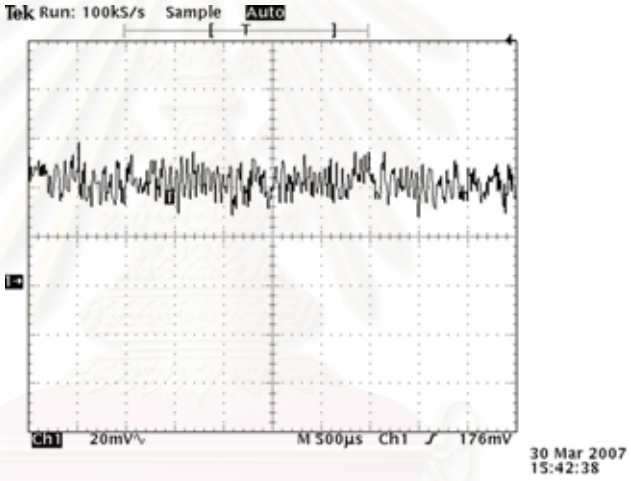
รูปที่ 4.4 ก. Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า +15 V ขณะไม่มีโหลด



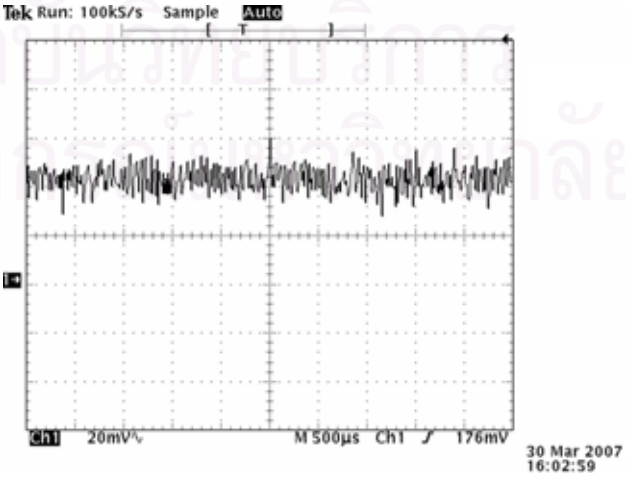
รูปที่ 4.4 ข. Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า +15 V ขณะมีโหลด



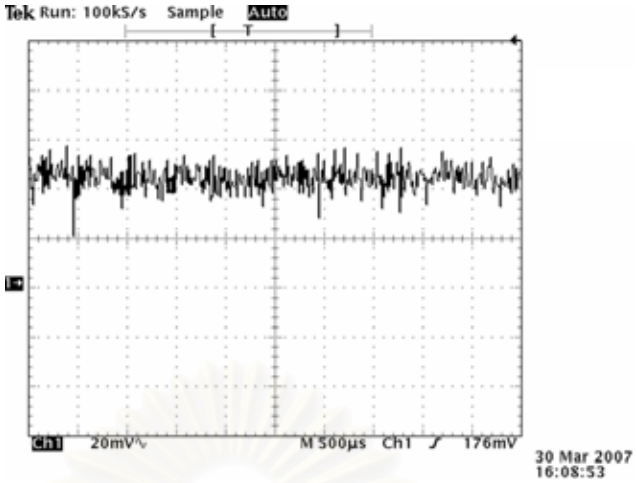
รูปที่ 4.5 ก. Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า -15 V ขณะไม่มีโหลด



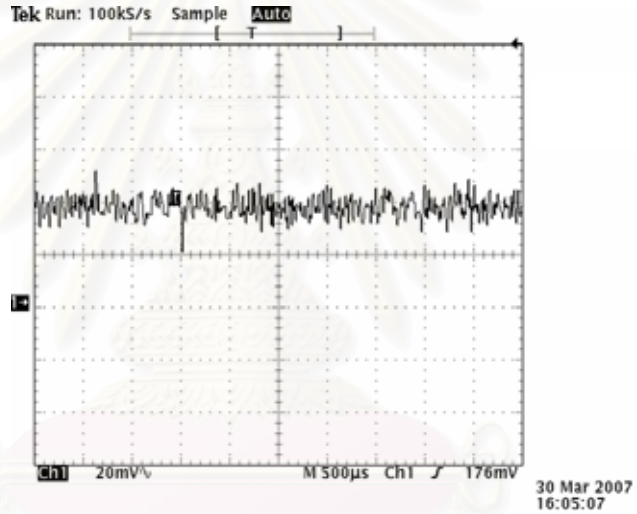
รูปที่ 4.5 ข. Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า -15 V ขณะมีโหลด



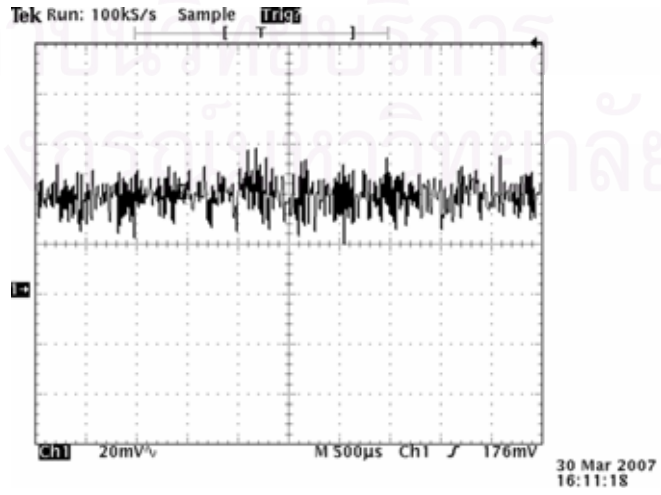
รูปที่ 4.6 ก. Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า +24 V ขณะไม่มีโหลด



รูปที่ 4.6 ข. Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า +24 V ขณะมีโหลด



รูปที่ 4.7 ก. Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า -24 V ขณะไม่มีโหลด

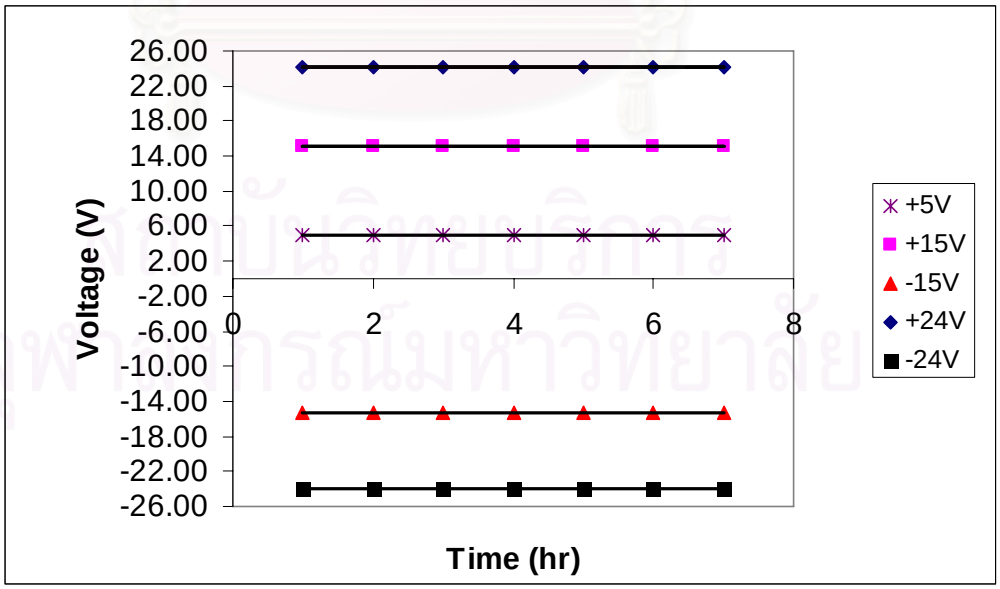


รูปที่ 4.7 ข. Noise และ Ripple ของสัญญาณศักดาไฟฟ้า -24 V ขณะมีโหลด

4.1.1.3.3 การทดสอบ stability ของศักดาไฟฟ้าทางออกที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำขนาดต่าง ๆ ทดสอบโดยใช้ค่าความต้านทานที่ให้ค่ากระแสสูงสุด คือ 10 Ω, 15 Ω และ 1200 Ω ของแรงดันไฟฟ้า +5 V, +15 V / -15 V และ +24 V / -24 V ตามลำดับ แสดงผลดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบ stability ของไฟฟ้าศักดาต่ำขนาดต่าง ๆ

เวลา (hr)	ศักดาไฟฟ้าทางออกของแรงดัน +5V	ศักดาไฟฟ้าทางออกของแรงดัน +15V	ศักดาไฟฟ้าทางออกของแรงดัน -15V	ศักดาไฟฟ้าทางออกของแรงดัน +24V	ศักดาไฟฟ้าทางออกของแรงดัน -24V
1	5.02	15.20	-15.24	24.20	-23.90
2	5.02	15.20	-15.24	24.20	-23.90
3	5.02	15.20	-15.24	24.20	-23.90
4	5.02	15.20	-15.24	24.20	-23.90
5	5.02	15.20	-15.24	24.20	-23.90
6	5.02	15.20	-15.24	24.20	-23.90
7	5.02	15.20	-15.24	24.20	-23.90



รูปที่ 4.8 เส้นกราฟแสดง Stability ของศักดาไฟฟ้าต่ำขนาดต่าง ๆ

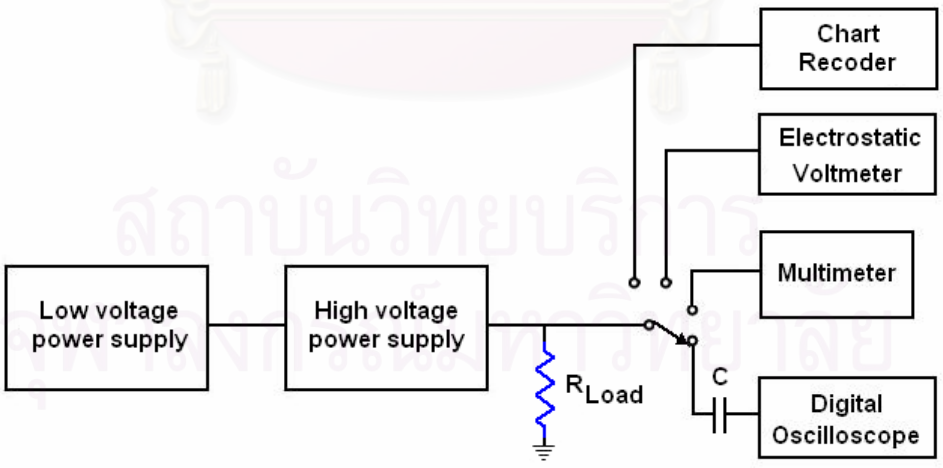
4.1.2 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

4.1.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

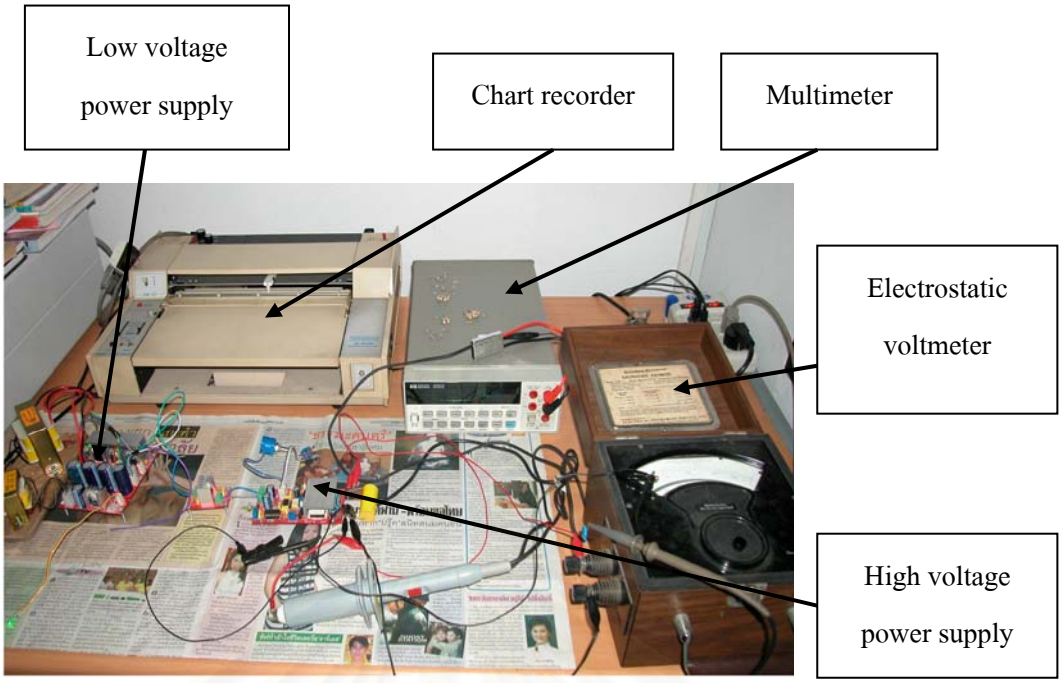
1. แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำที่พัฒนาขึ้น
2. มัลติมิเตอร์ ของ HEWLETT PACKARD รุ่น 34401A
3. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ ของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360
4. เครื่องวัดศักดาไฟฟ้าสูง (Electrostatic voltmeter) ของ Electrical Instrument Service รุ่น ESD-9
5. เครื่องบันทึกสัญญาณ (Chart recorder) ของ FUJITSU รุ่น M3349B
6. ตัวต้านทานขนาดต่าง ๆ
7. ตัวเก็บประจุขนาด 0.01 uF 3000 V
8. แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่พัฒนาขึ้น

4.1.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด ความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับศักดาไฟฟ้า ความเสถียรของศักดาไฟฟ้าทางออก และทดสอบ Ripple ของสัญญาณ สามารถจัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง



รูปที่ 4.10 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

4.1.2.3 ผลการทดสอบ

4.1.2.3.1 ทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด ที่ความต้านทานค่าต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดของศักดาไฟฟ้าสูง

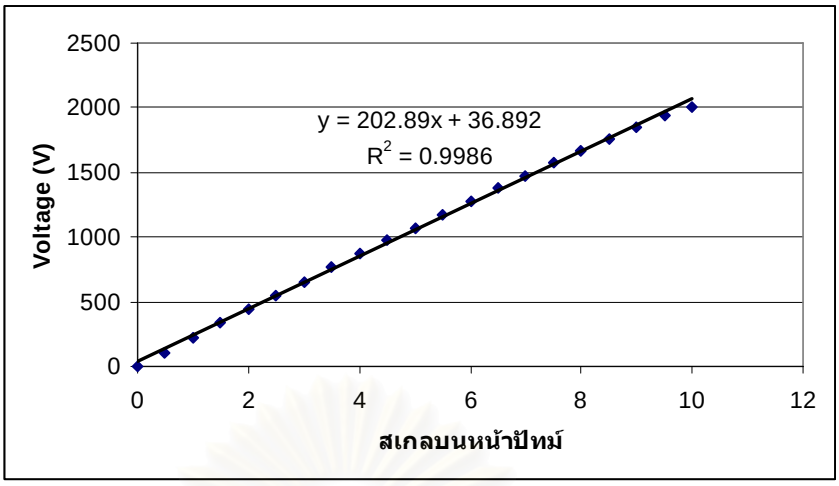
Load / Voltage	0.5MΩ		1MΩ		2MΩ		4MΩ		6MΩ	
	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	250	0.5	250	0.25	250	0.125	250	0.063	250	0.042
500	500	1	500	0.50	500	0.250	500	0.125	500	0.083
750	750	1.5	750	0.75	750	0.375	750	0.188	750	0.125
1000	1000	2	1000	1	1000	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 4.6 และรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับศักดาไฟฟ้า

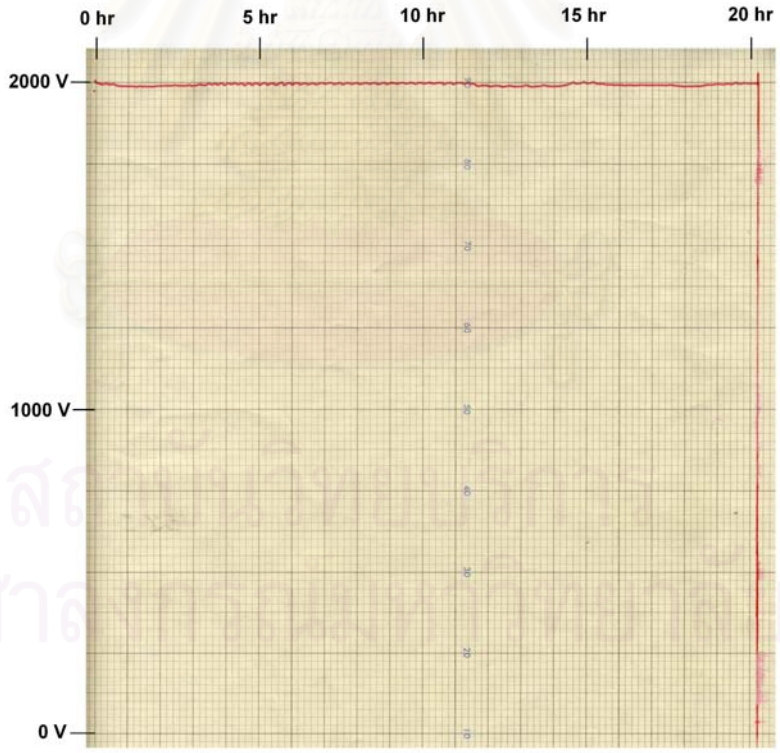
สเกลบนหน้าปัทม์	ค่าศักดาไฟฟ้า (V)
0	0
0.5	108
1	219
1.5	334
2	442
2.5	552
3	656
3.5	764
4	868
4.5	975
5	1072
5.5	1175
6	1276
6.5	1375
7	1471
7.5	1570
8	1664
8.5	1759
9	1852
9.5	1946
10	2000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ของสเกลบนหน้าปัดและศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

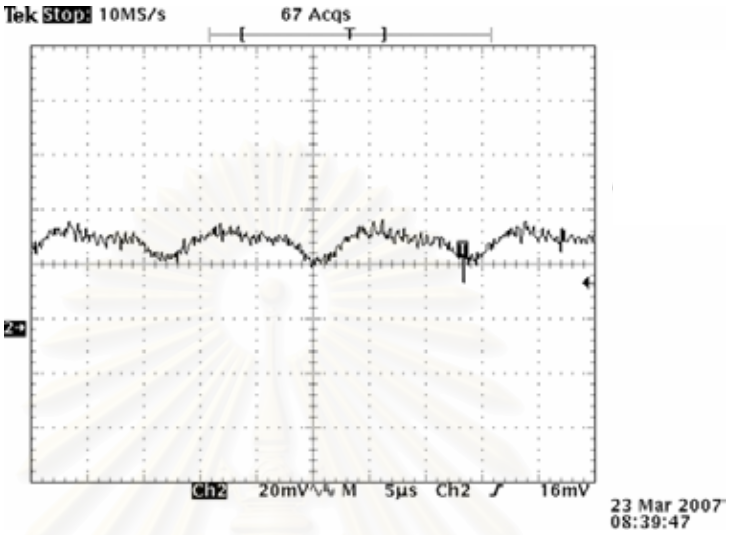
4.1.2.3.3 ทดสอบ Stability ของศักดาไฟฟ้าทางออก เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของศักดาไฟฟ้าสูงเมื่อเวลาผ่านไป 20 ชั่วโมง ใช้ค่าความต้านทาน 2 MΩ เป็นโหลดในการทดสอบและบันทึกผลโดย Chart recorder แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟแสดง Stability ของศักดาไฟฟ้าทางออก

จากรูปที่ 4.12 ค่า Stability ของศักดาไฟฟ้าทางออก มีค่าไม่เกินเท่ากับ $\pm$ 25 V คิดเป็น 1.25 % ของค่าสูงสุด

4.1.2.3.4 ทดสอบ Ripple ของไฟฟ้าศักดาสูงทางออก มีค่า Ripple ของสัญญาณประมาณ 20 mV ขณะไม่มีโหลด และประมาณ 30 mV ขณะมีโหลด แสดงดังรูปที่ 4.13 ก. และ 4.13 ข.



รูปที่ 4.13 ก. Ripple ของสัญญาณไฟฟ้าศักดาสูงขณะไม่มีโหลด

รูปที่ 4.13 ข. Ripple ของสัญญาณไฟฟ้าศักดาสูงขณะมีโหลด

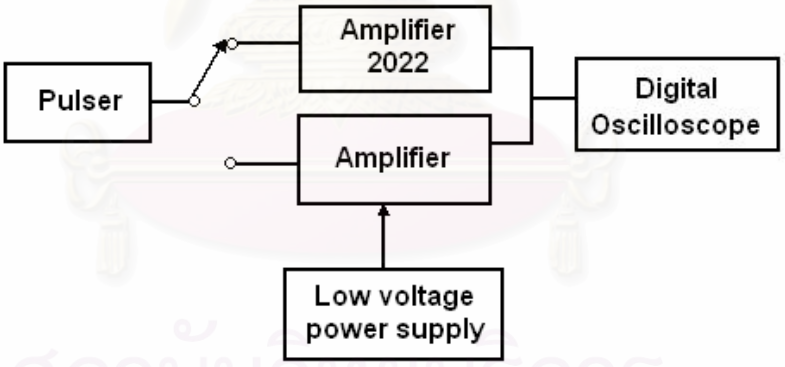
4.1.3 การทดสอบวงจรขยายสัญญาณ

4.1.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

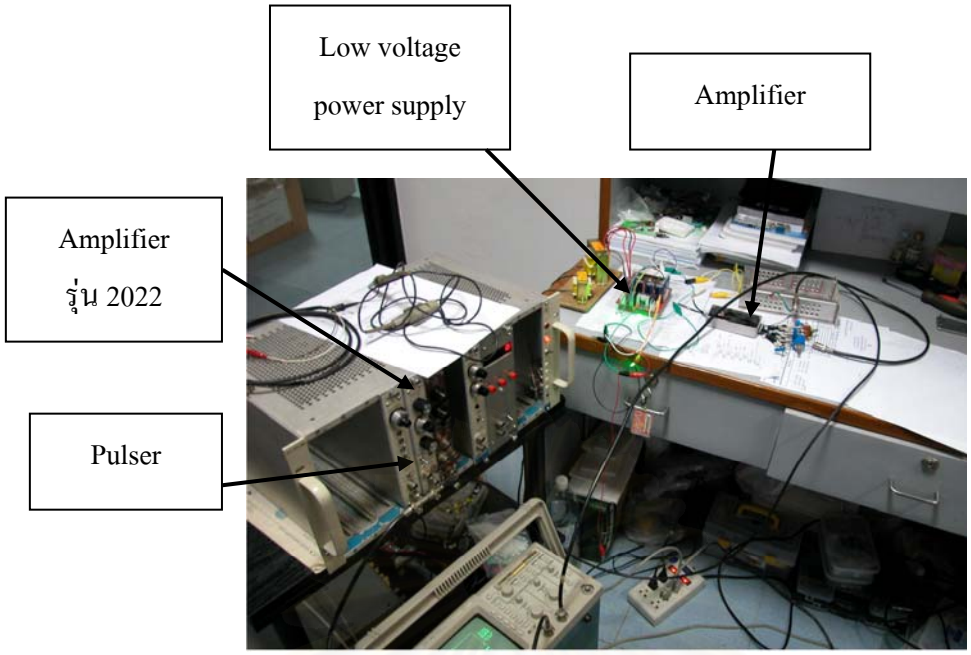
1. แหล่งกำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสี (Pulser) ของ CANBERRA รุ่น 807
2. โมดูลขยายสัญญาณพัลส์ ของ CANBERRA รุ่น 2022
3. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ ของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360
4. แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำที่พัฒนาขึ้น
5. แผงวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น

4.1.3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบสัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากแผงวงจรขยายสัญญาณที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกันในกรณีต่าง ๆ กับโมดูลขยายสัญญาณพัลส์ ของ CANBERRA รุ่น 2022 โดย และทดสอบอัตราการขยายของวงจรขยายสัญญาณที่พัฒนาขึ้น แสดงการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์

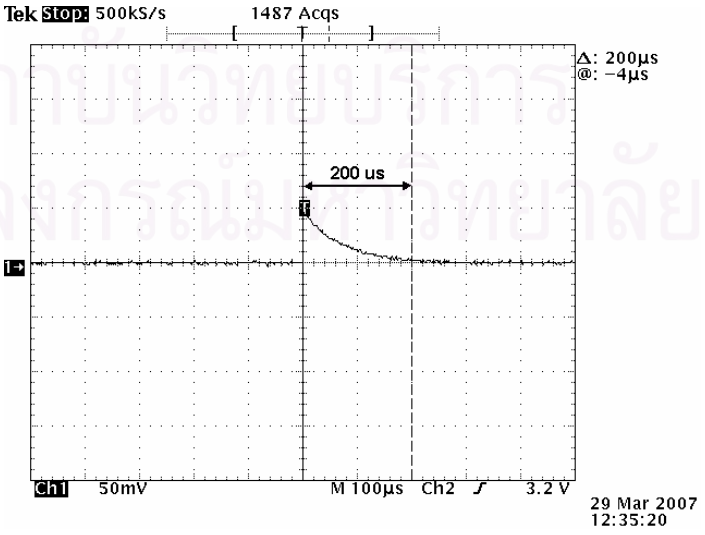


รูปที่ 4.15 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์

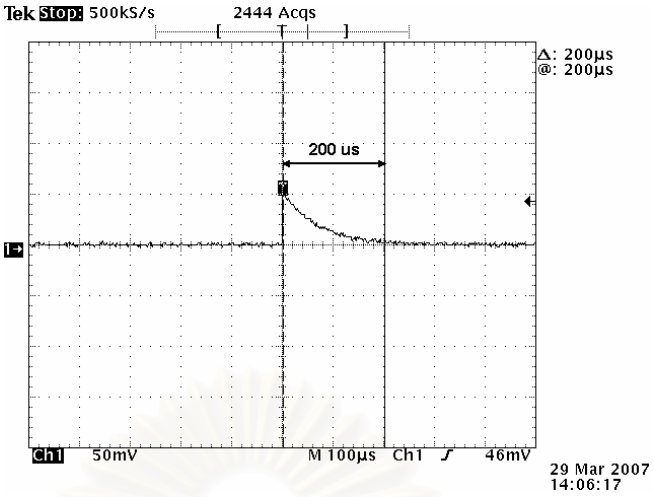
4.1.3.3 ผลการทดสอบ

ให้สัญญาณจาก Pulser มีขนาด 50 mV Amplifier รุ่น 2022 ให้ Coarse gain เท่ากับ 100, Fine gain เท่ากับ 1.1, Shaping 0.5 µs และวงจรขยายสัญญาณที่พัฒนาขึ้นให้ Coarse gain เท่ากับ 100 เท่า

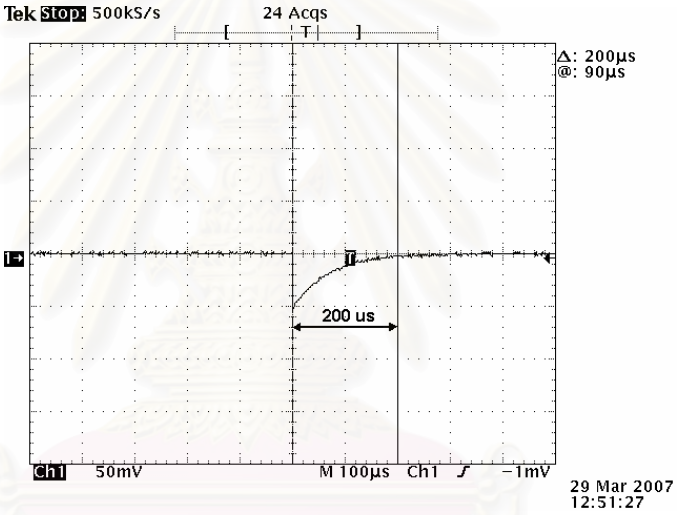
4.1.3.3.1 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ก่อนเข้าวงจรขยายแบบที่เป็นสัญญาณพัลส์บวก (Positive) และสัญญาณพัลส์ลบ (Negative) แสดงดังรูปที่ 4.16 ก., 4.16 ข., 4.17 ก. และ 4.17 ข.



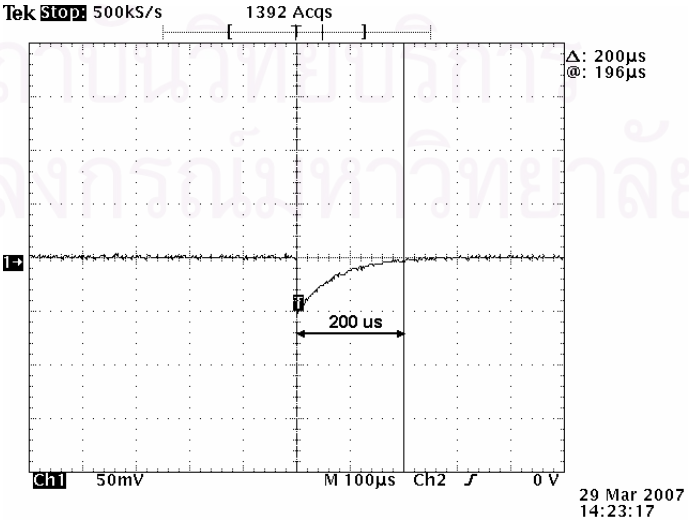
รูปที่ 4.16 ก. สัญญาณพัลส์บวกก่อนเข้า Amplifier รุ่น 2022



รูปที่ 4.16 ข. สัญญาณพัลส์บวกก่อนเข้าวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น

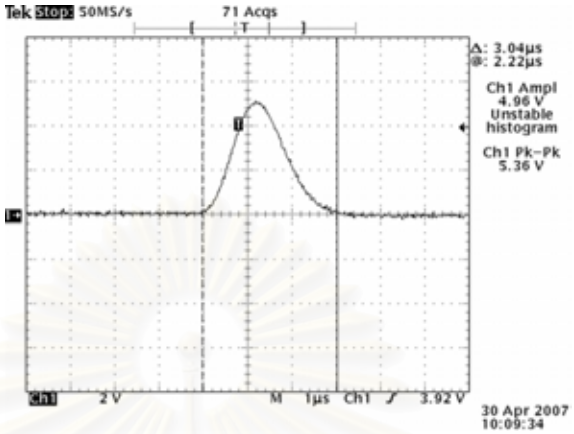


รูปที่ 4.17 ก. สัญญาณพัลส์ลบก่อนเข้า Amplifier รุ่น 2022

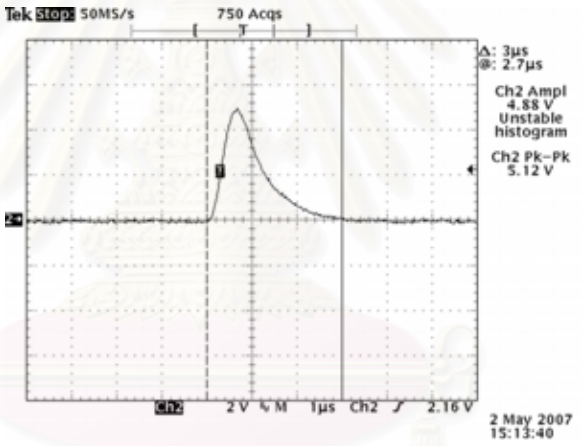


รูปที่ 4.17 ข. สัญญาณพัลส์ลบก่อนเข้าวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น

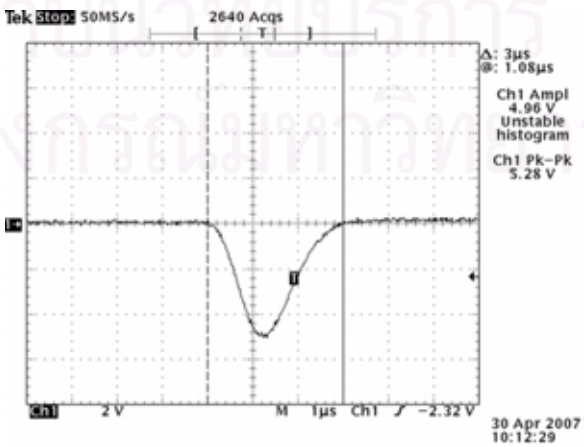
4.1.3.3.2 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ทางออก เมื่อสัญญาณพัลส์ทางเข้าเป็นบวก เลือกโพลาริตี้ (Polarity) เป็นบวกและลบ แสดงดังรูปที่ 14.18 ก., 14.18 ข., 14.19 ก. และ 14.19 ข.



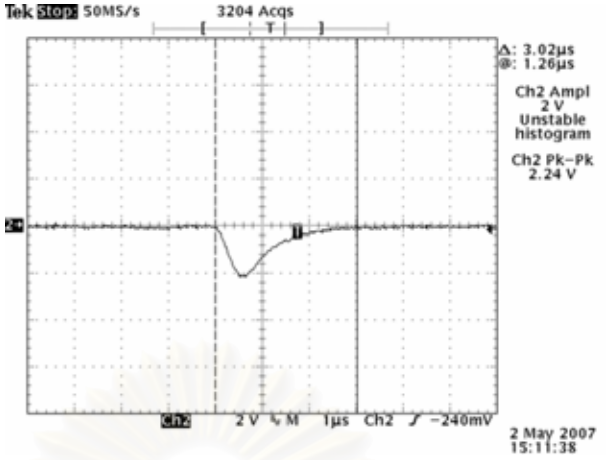
รูปที่ 4.18 ก. สัญญาณพัลส์จาก Amplifier รุ่น 2022 และเลือกโพลาริตี้บวก



รูปที่ 4.18 ข. สัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้นและเลือกโพลาริตี้บวก

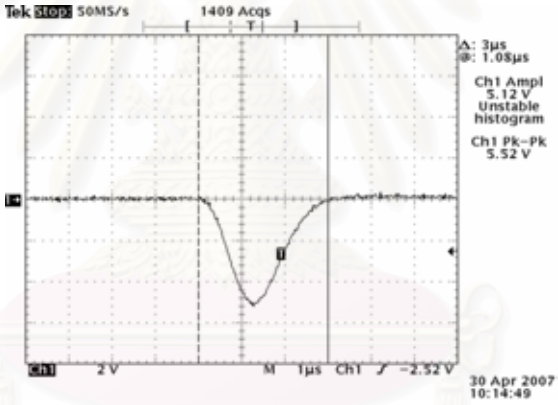


รูปที่ 4.19 ก. สัญญาณพัลส์จาก Amplifier รุ่น 2022 และเลือกโพลาริตี้ลบ

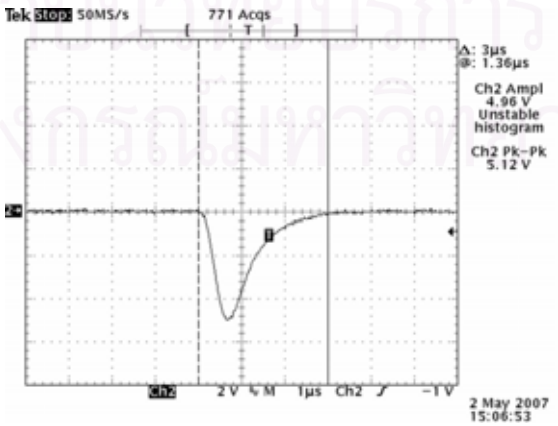


รูปที่ 4.19 ข. สัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้นและเลือกโพลาริตี้ลบ

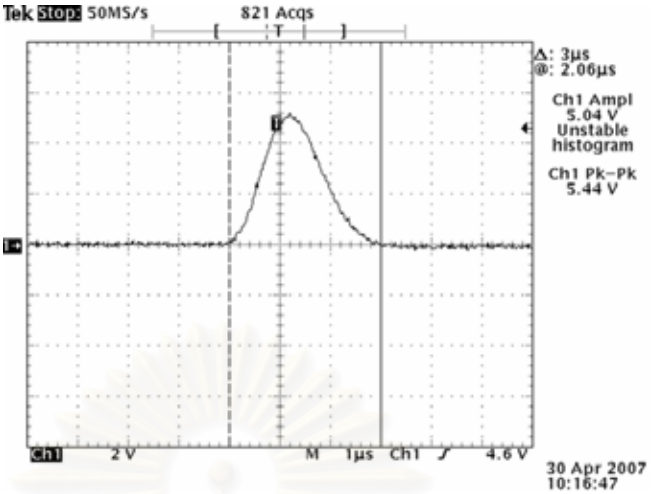
4.1.3.3.3 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ทางออก เมื่อสัญญาณพัลส์ทางเข้าเป็นลบ เลือกโพลาริตี้เป็นบวกและลบ แสดงดังรูปที่ 4.20 ก., 4.20 ข., 4.21 ก. และ 4.21 ข.



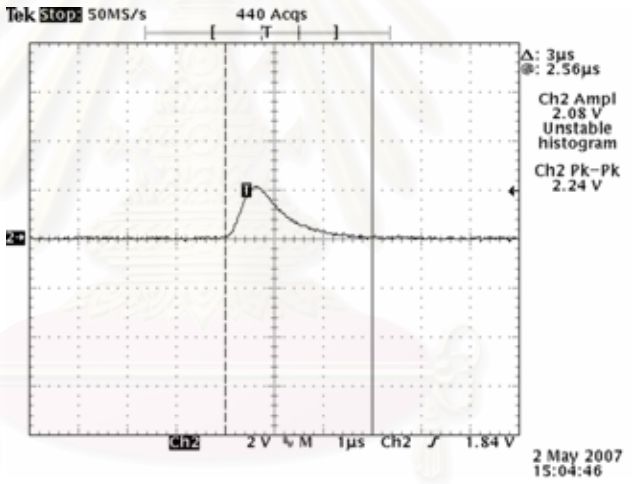
รูปที่ 4.20 ก. สัญญาณพัลส์จาก Amplifier รุ่น 2022 และเลือกโพลาริตี้บวก



รูปที่ 4.20 ข. สัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้นและเลือกโพลาริตี้บวก



รูปที่ 4.21 ก. สัญญาณพัลส์จาก Amplifier รุ่น 2022 และเลือกโพลาริตี้ลบ



รูปที่ 4.21 ข. สัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้นและเลือกโพลาริตี้ลบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3.3.4 ทดสอบอัตราการขยาย 100 เท่า, 500 เท่า และ 1000 เท่า ของวงจรขยายสัญญาณที่พัฒนาขึ้น แสดงผลดังตารางที่ 4.7, ตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบอัตราการขยาย 100 เท่า

V_{input} (mV)	อัตราขยายคูณ 100 เท่า			
	V_{out}		อัตราขยาย	
	Fine gain ต่ำสุด	Fine gain สูงสุด	Fine gain ต่ำสุด	Fine gain สูงสุด
5	300 mV	800 mV	60	160
7	416 mV	1.16 V	59	165
10	580 mV	1.64 V	58	164

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบอัตราการขยาย 500 เท่า

V_{input} (mV)	อัตราขยายคูณ 500 เท่า			
	V_{out}		อัตราขยาย	
	Fine gain ต่ำสุด	Fine gain สูงสุด	Fine gain ต่ำสุด	Fine gain สูงสุด
5	720 mV	2.04 V	144	408
7	1.12 V	2.88 V	160	411
10	1.46 V	4.08 V	146	408

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบอัตราการขยาย 1000 เท่า

V_{input} (mV)	อัตราขยายคูณ 1000 เท่า			
	V_{out}		อัตราขยาย	
	Fine gain ต่ำสุด	Fine gain สูงสุด	Fine gain ต่ำสุด	Fine gain สูงสุด
5	1.76 V	3.92 V	352	784
7	2.56 V	5.68 V	365	811
10	3.56 V	7.92 V	356	792

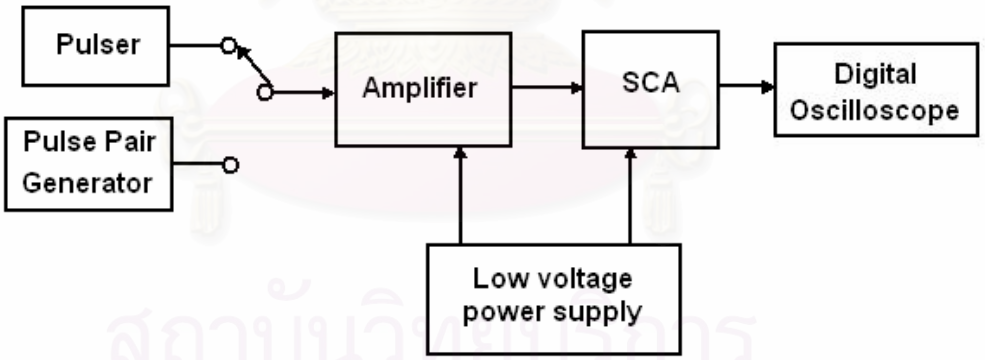
4.1.4 การทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

4.1.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

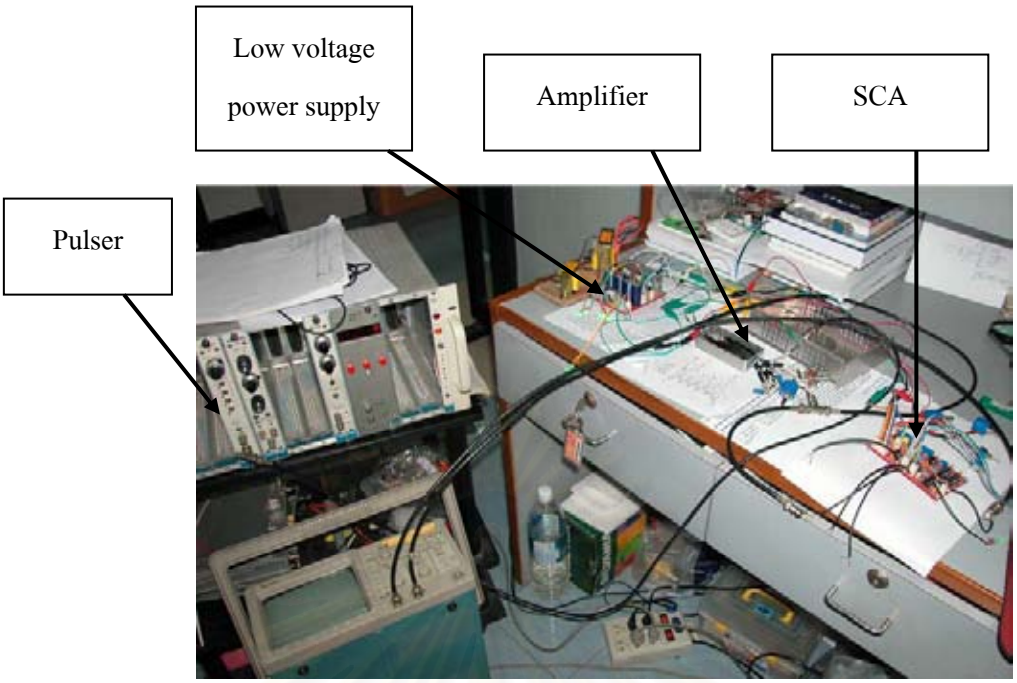
1. แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ของ CANBERRA รุ่น 807
2. แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์คู่ (Pulse Pair Generator) ของ CANBERRA รุ่น 1407P
3. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ ของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360
4. แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำที่พัฒนาขึ้น
5. แผงวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น
6. แผงวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

4.1.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว เป็นการทดสอบสัญญาณพัลส์ทางออก ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง LLD, ΔE และทดสอบความสามารถในการแยกสัญญาณพัลส์ที่เป็นแบบคู่สัญญาณ สามารถจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.22



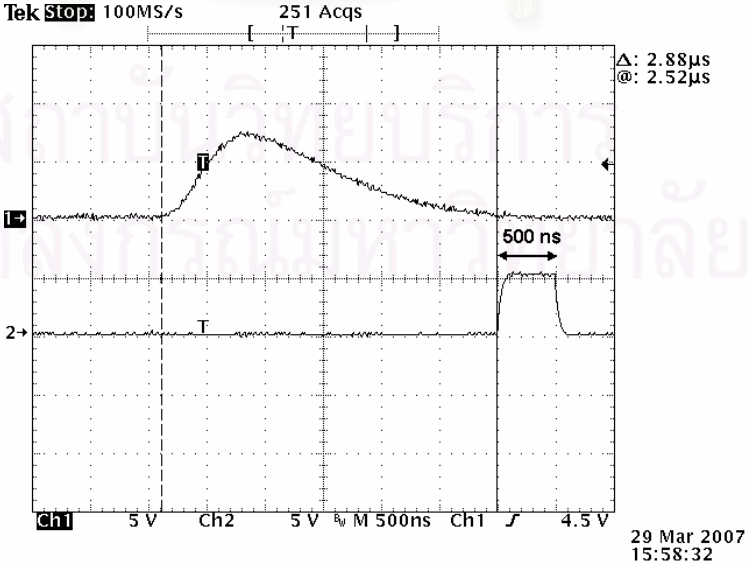
รูปที่ 4.22 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว



รูปที่ 4.23 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

4.1.4.3 ผลการทดสอบ

4.1.4.3.1 ทดสอบสัญญาณลอจิกพัลส์ทางออกของวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว เมื่อรับสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์จะได้สัญญาณแบบลอจิกพัลส์ขนาดความกว้าง 500 ns ที่ขอบขาลงของสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ภาพสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ขอบขาลงของสัญญาณพัลส์

4.1.4.3.2 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง LLD โดยการแปรเปลี่ยนค่าความสูงของพัลส์และบันทึกสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง ณ ตำแหน่งที่เกิด HT (half triggering) ดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.25

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกล LLD

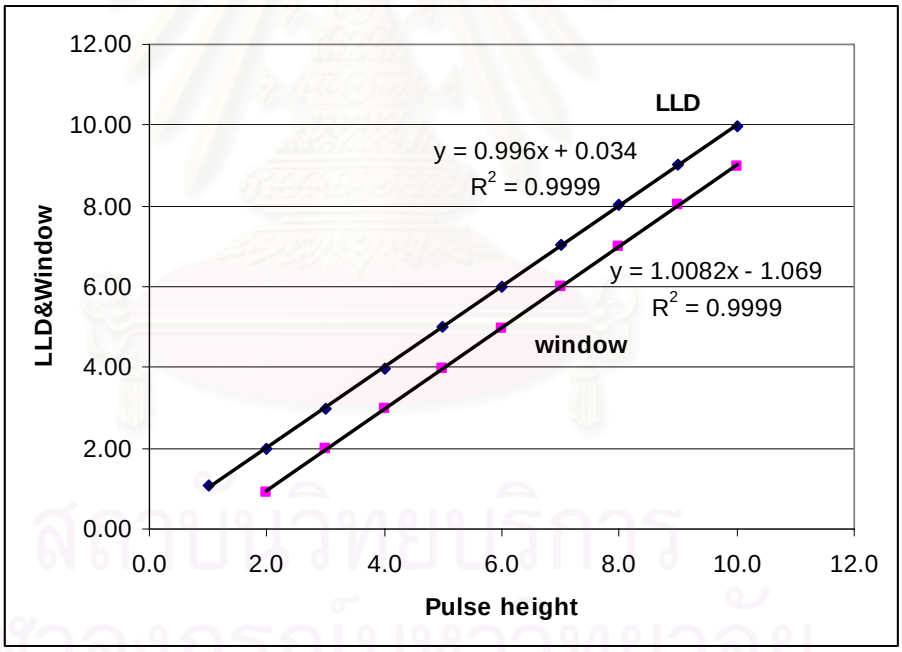
ความสูงของพัลส์ (V)	สเกล LLD
1.0	1.02
2.0	1.99
3.0	2.99
4.0	3.99
5.0	5
6.0	6.01
7.0	7.03
8.0	8.02
9.0	9.01
10.0	9.98

4.1.4.3.3 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง window (ΔE) โดยตั้งค่า LLD ที่ 1.0 V แปรเปลี่ยนค่าความสูงของพัลส์และบันทึกสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง ณ ตำแหน่งที่เกิด HT (half triggering) ดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกล window

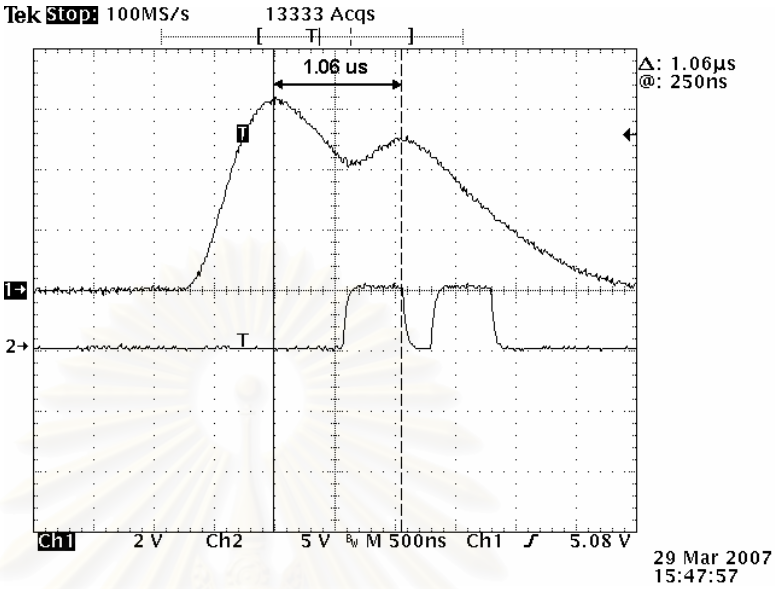
ความสูงของพัลส์ (V)	สเกล ΔE
2.0	0.9
3.0	1.99
4.0	2.98
5.0	3.97
6.0	4.97
7.0	6.02
8.0	6.99
9.0	8.01
10.0	8.99



รูปที่ 4.25 กราฟความเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง LLD และ window (ΔE)

4.1.4.3.4 ทดสอบความสามารถในการแยกสัญญาณพัลส์ที่เป็นแบบคู่สัญญาณ เมื่อเปลี่ยนแหล่งกำเนิดสัญญาณเป็น Pulse Pair Generator เป็นการทดสอบความสามารถในการนับพัลส์ที่เข้ามาใกล้กันมาก โดยการเปลี่ยนค่า Delay ของสัญญาณพัลส์จากมากที่สุดไปหาค่า

ต่ำสุดที่ยังเห็นสัญญาณลอจิกพัลส์ 2 พัลส์ปรากฏอยู่ พบว่าค่า Resolving time ที่น้อยที่สุดที่สามารถแยกพัลส์ออกจากกันมีค่าประมาณ 1.06 μs แสดงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 การเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณคู่ที่เกิดติดกัน

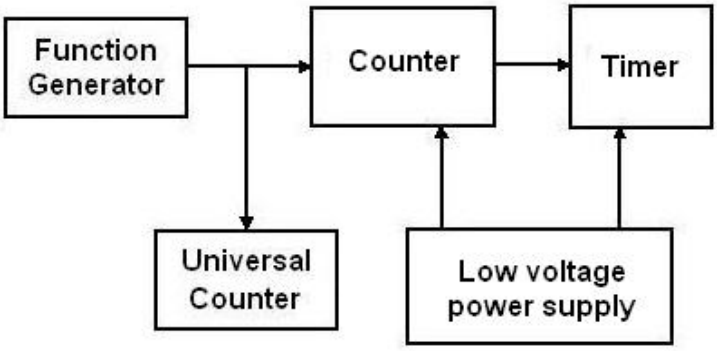
4.1.5 การทดสอบวงจรนับรังสีและวงจรตั้งเวลา

4.1.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

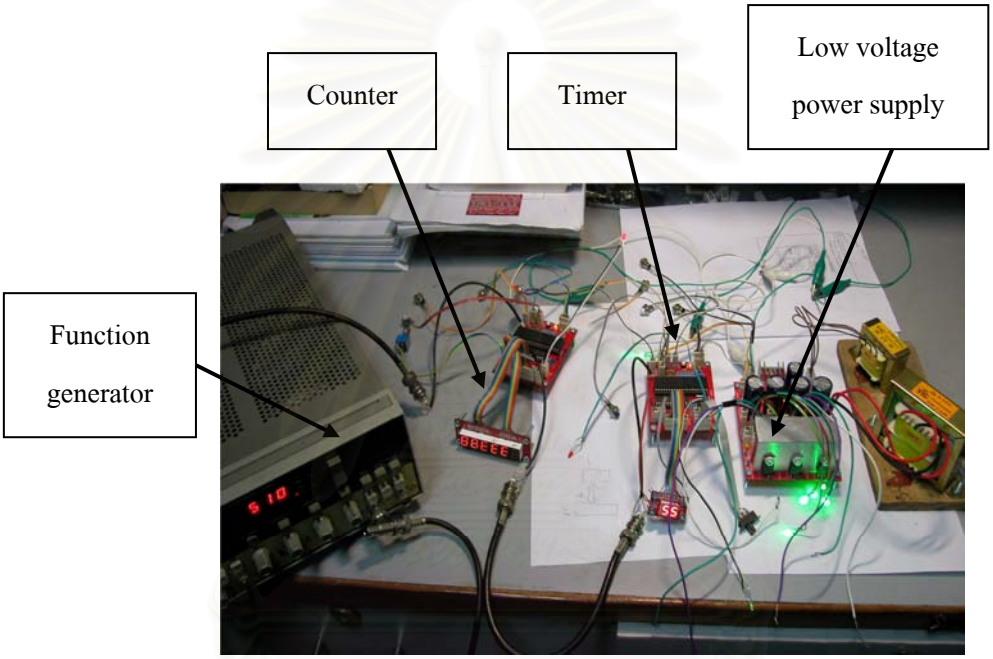
1. เครื่องกำเนิดความถี่ (PULSE/Function Generator 20 MHz) ของ HEWLETT PACKARD รุ่น 8111A
2. เครื่องนับพัลส์ (Universal Counter) ของ HEWLETT PACKARD รุ่น 5315A
3. แผงวงจรศักดาไฟฟ้าต่ำที่พัฒนาขึ้น
4. แผงวงจรนับรังสีที่พัฒนาขึ้น
5. แผงวงจรนับตั้งเวลาที่พัฒนาขึ้น

4.1.5.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการนับสัญญาณพัลส์ต่อค่าเวลาต่ำสุดและสูงหน่วยในหน่วยวินาทีและนาที ทดสอบความสัมพันธ์การนับสัญญาณพัลส์ที่ค่าความถี่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง และทดสอบความสามารถในการนับสัญญาณพัลส์สูงสุดของวงจรนับรังสี สามารถจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรนับรังสีและวงจรตั้งเวลา



รูปที่ 4.28 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรนับรังสีและวงจรตั้งเวลา

4.1.5.3 ผลการทดสอบ

4.1.5.3.1 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการนับสัญญาณพัลส์ต่อค่าเวลาต่ำสุดและสูงหน่วยในหน่วยวินาทีและนาที โดยใช้ค่าความถี่ประมาณ 100 Hz จากเครื่องกำเนิดความถี่ แสดงผลดังตารางที่ 4.12

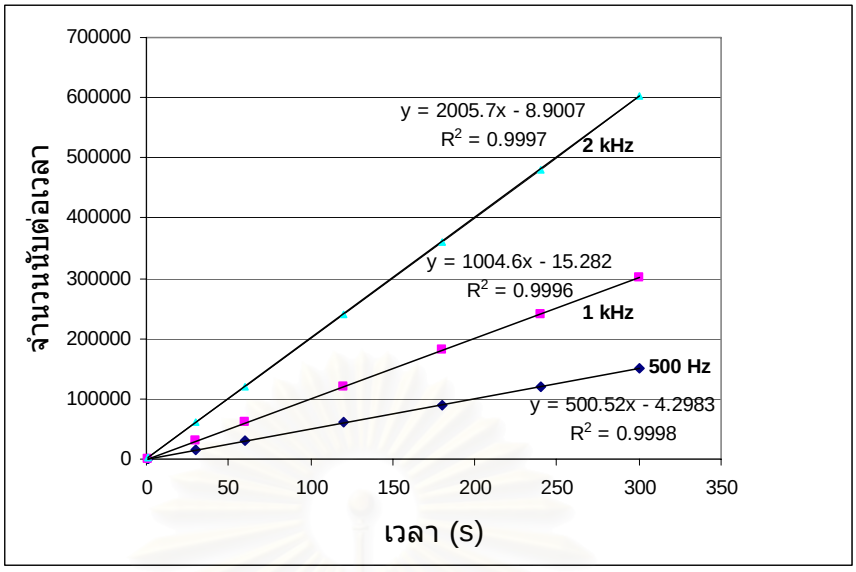
ตารางที่ 4.12 ผลการนับสัญญาณพัลส์ต่อค่าเวลาต่ำสุดและสูงสุดในหน่วยวินาทีและนาที

เวลา / ครั้งที่	1 s	99 s	1 min	99 min
1	100	9990	6055	598936
2	100	9989	6056	598959
3	100	9990	6055	598861
4	101	9992	6056	598797
5	100	9992	6055	598902
6	101	9993	6055	598835
7	101	9993	6055	598908
8	100	9992	6055	598842
9	100	9993	6053	598896
10	100	9992	6054	598900

4.1.5.3.2 ทดสอบความสัมพันธ์การนับสัญญาณพัลส์ที่ค่าความถี่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง แสดงผลดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.29

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบการนับสัญญาณพัลส์ที่ค่าความถี่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง

ความถี่ประมาณ 500 Hz		ความถี่ประมาณ 1 kHz		ความถี่ประมาณ 2 kHz	
เวลา (s)	จำนวนนับต่อเวลา	เวลา (s)	จำนวนนับต่อเวลา	เวลา (s)	จำนวนนับต่อเวลา
1	500	1	1002	1	2003
30	15010	30	30116	30	60148
60	30025	60	60258	60	120329
120	60056	120	120537	120	240688
180	90091	180	180819	180	361027
240	120118	240	241107	240	481372
300	150154	300	301374	300	601693



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์การนับสัญญาณพัลส์
ที่ค่าความถี่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง

4.1.5.3.3 ทดสอบความสามารถในการนับสัญญาณพัลส์สูงสุดของวงจรนับรังสี ทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ที่จ่ายให้กับวงจรนับรังสีจนกระทั่งไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงบนสเกลแสดงผล ซึ่งได้ค่าสูงสุดที่ 4.5 MHz

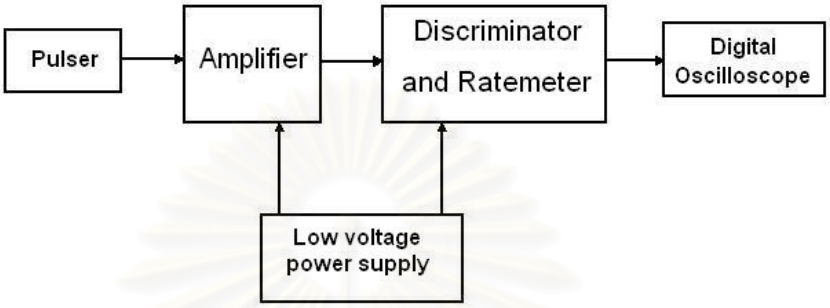
4.1.6 การทดสอบวงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์

4.1.6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

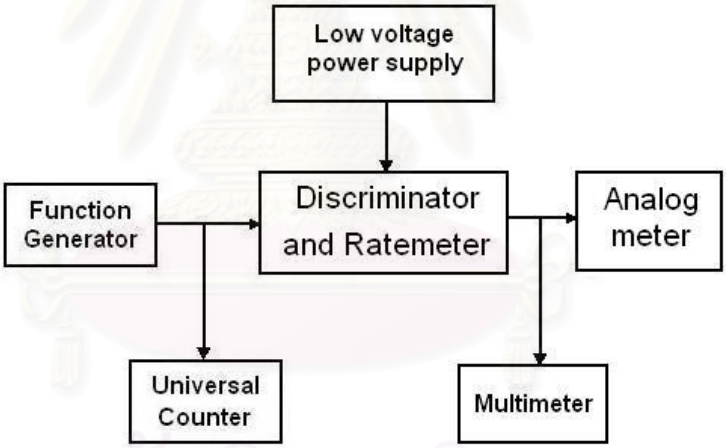
1. แหล่งกำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสี ของ CANBERRA รุ่น 807
2. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ ของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360
3. เครื่องกำเนิดความถี่ ของ HEWLETT PACKARD รุ่น 8111 A
4. เครื่องนับพัลส์
5. มัลติมิเตอร์ ของ METEC รุ่น 8007
6. แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำที่พัฒนาขึ้น
7. แผงวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น
8. แผงวงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์

4.1.6.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบความสามารถในการเกิดรูปสัญญาณลอจิกพัลส์ของวงจรตัดสัญญาณ ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของศักดาไฟฟ้าทางออกของวงจรเรตมิเตอร์ สามารถจัดอุปกรณ์การทดสอบได้ดังรูปที่ 4.30 และรูปที่ 4.31

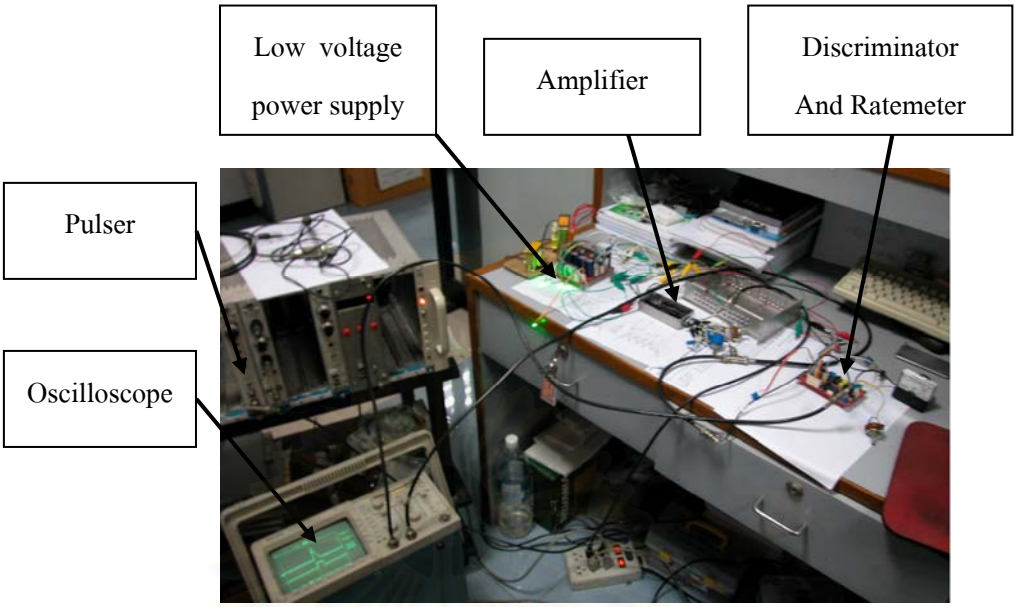


รูปที่ 4.30 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรตัดสัญญาณ



รูปที่ 4.31 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรเรตมิเตอร์

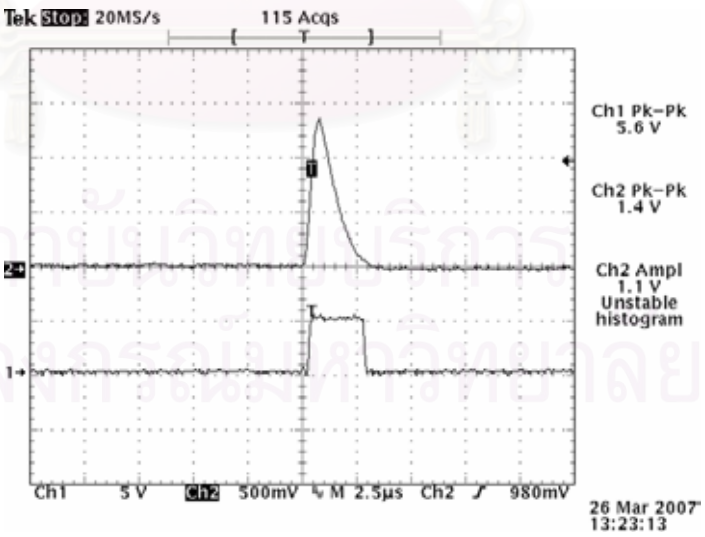
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.32 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์

4.1.6.3 ผลการทดสอบ

4.1.6.3.1 ทดสอบความสามารถในการเกิดรูปสัญญาณลอจิกพัลส์ของวงจรตัดสัญญาณ สัญญาณลอจิกพัลส์ที่ได้จากวงจรตัดสัญญาณจะเกิดขึ้นที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณลอจิกพัลส์ แสดงดังรูปที่ 4.33



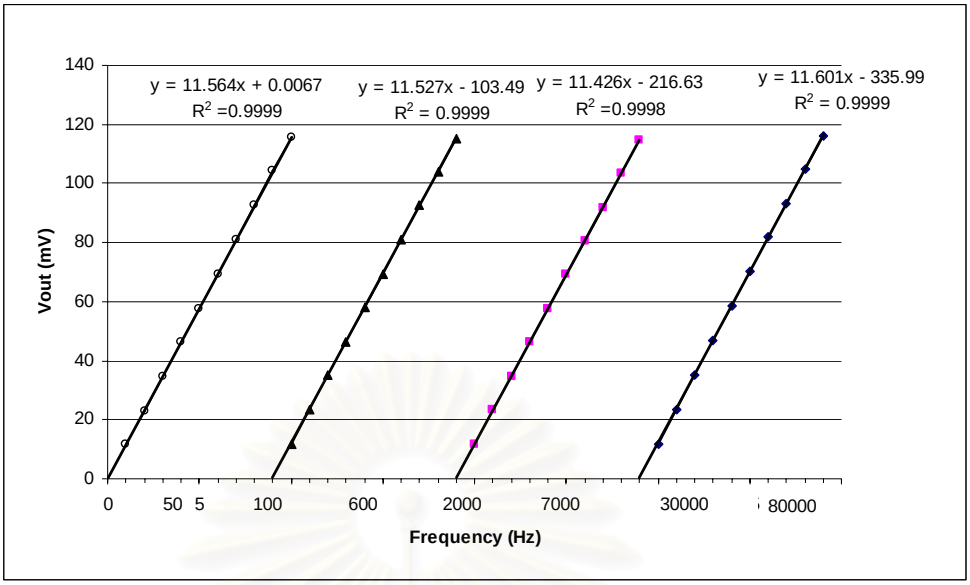
รูปที่ 4.33 ภาพการเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ของวงจรตัดสัญญาณ

4.1.6.3.2 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของศักดาไฟฟ้าทางออกของวงจรเรตมิเตอร์กับความถี่ที่ป้อนเข้าทางด้านขาเข้าของวงจรใน 4 ย่านการทำงาน คือ Range x 1, Range x 10, Range x 100 และ Range x 1000 ได้ผลดังตารางที่ 4.14, รูปที่ 4.34 และรูปที่ 4.35

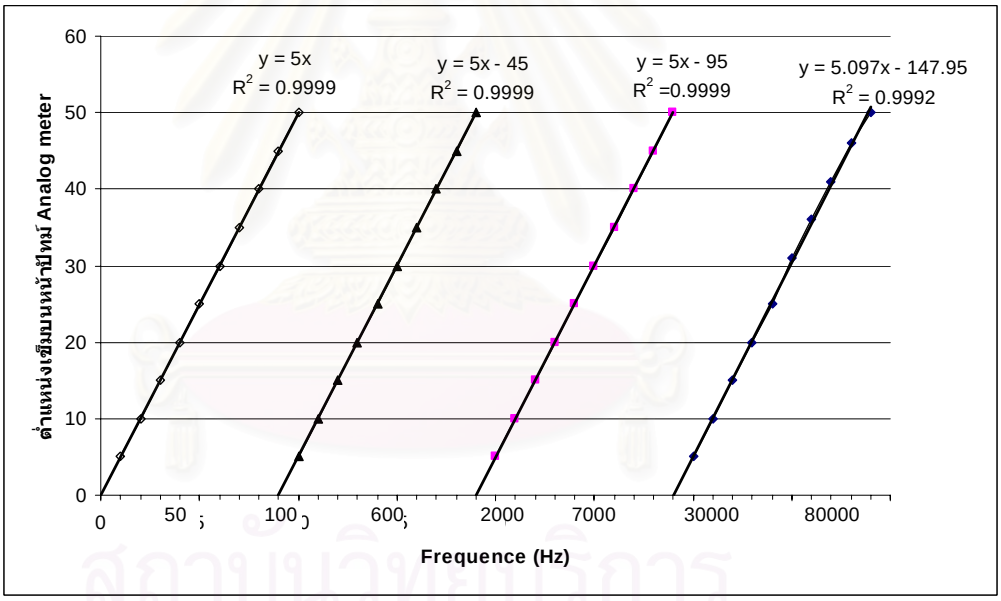
ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์

Range x 2			Range x 20			Range x 200			Range x 2000		
F(in) Hz	V_{out} (mV)	Analog Meter	F(in) Hz	V_{out} (mV)	Analog meter	F(in) kHz	V_{out} (mV)	Analog meter	F(in) kHz	V_{out} (mV)	Analog meter
10	11.6	5	100	11.7	5	1	11.7	5	10	11.8	5
20	23.1	10	200	23.2	10	2	23.2	11	20	23.4	10
30	34.7	14	300	34.9	15	3	34.8	15	30	35.2	15
40	46.3	20	400	46.4	19	4	46.3	20	40	47.0	20
50	57.8	25	500	58.0	25	5	57.8	25	50	58.6	25
60	69.4	30	600	69.5	30	6	69.1	31	60	70.3	31
70	80.9	35	700	81.0	36	7	80.5	35	70	81.9	36
80	92.5	41	800	92.6	40	8	91.9	40	80	93.4	41
90	104.2	45	900	103.9	45	9	103.3	45	90	104.8	46
100	115.6	50	1000	115.4	50	10	114.5	50	100	115.9	50

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.34 กราฟความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ที่ได้จากการอ่านค่าแรงดัน



รูปที่ 4.35 กราฟความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ที่ได้จากการอ่าน Anolog meter

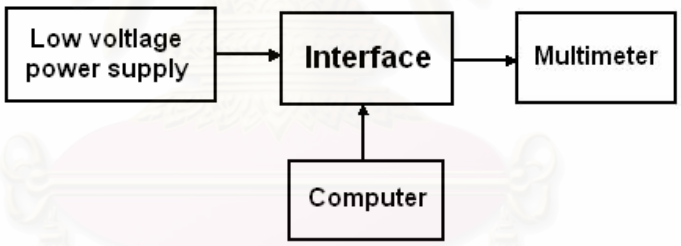
4.1.7 การทดสอบวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

4.1.7.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

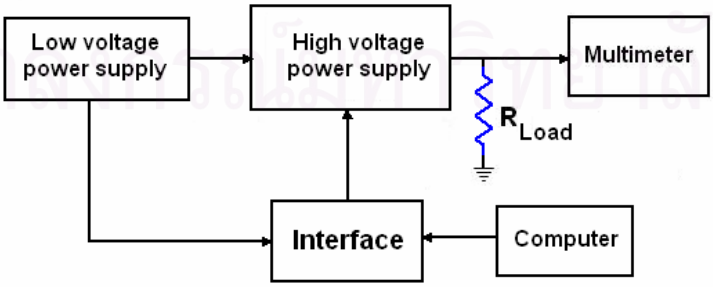
1. มัลติมิเตอร์ ของ HEWLETT PACKARD รุ่น 34401A
2. ตัวต้านทานขนาด 2 MΩ
3. แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่พัฒนาขึ้น
4. แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำที่พัฒนาขึ้น
5. แผงวงจงเชื่อมโยงสัญญาณที่พัฒนาขึ้น
6. คอมพิวเตอร์พร้อมสาย Parallel port 1 ชุด

4.1.7.2 ขั้นตอนการทดสอบ

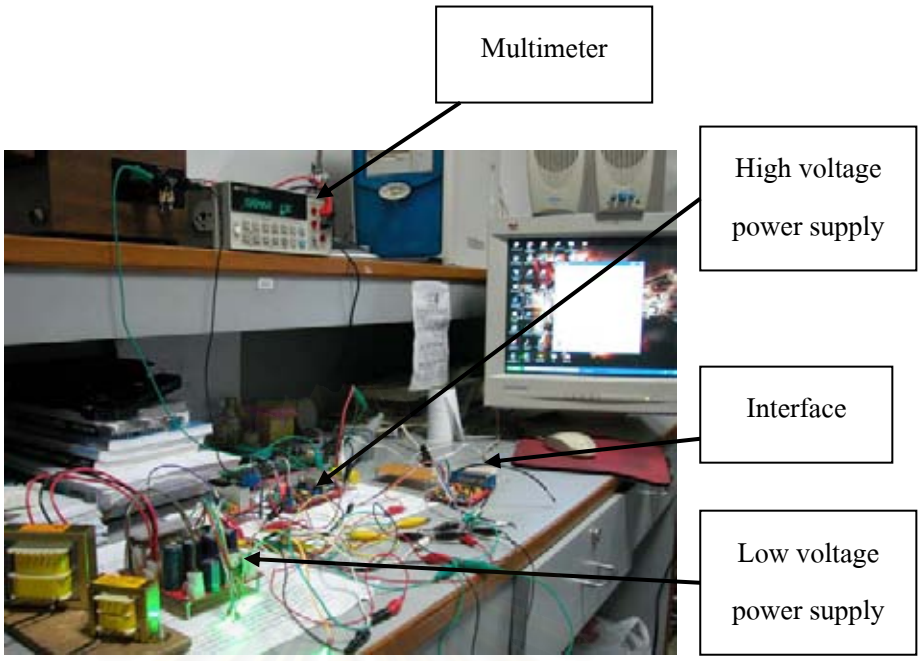
ทดสอบค่าแรงดันทางออกของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ของค่า HV, LLD และ ULD ทดสอบการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงกับวงจรเชื่อมโยงสัญญาณเพื่อปรับค่าแรงดันไฟฟ้าขณะต่อโหลด สามารถจัดอุปกรณ์ทดสอบได้ดังรูปที่ 4.36 และรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.36 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบแรงดันทางออกของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณของค่า HV, LLD และ ULD



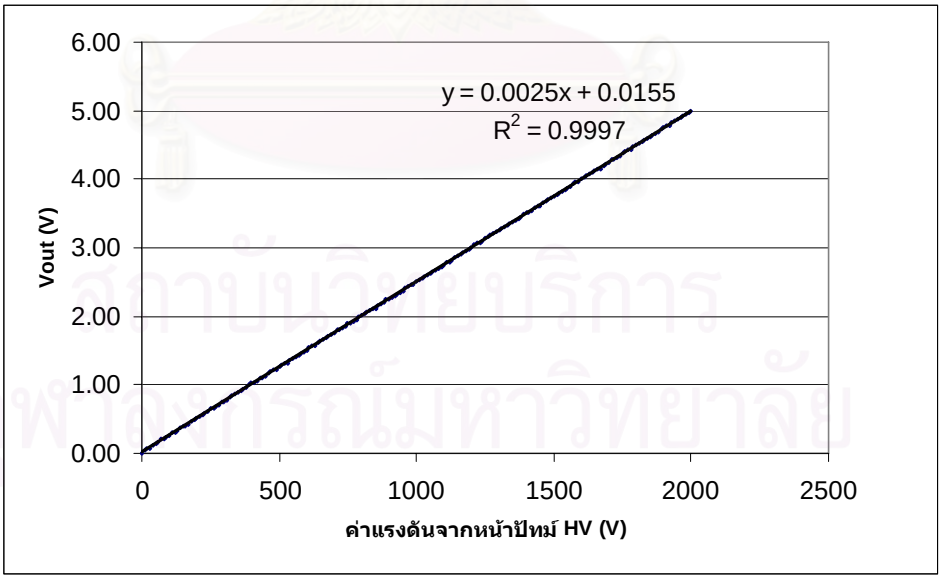
รูปที่ 4.37 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงกับวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ



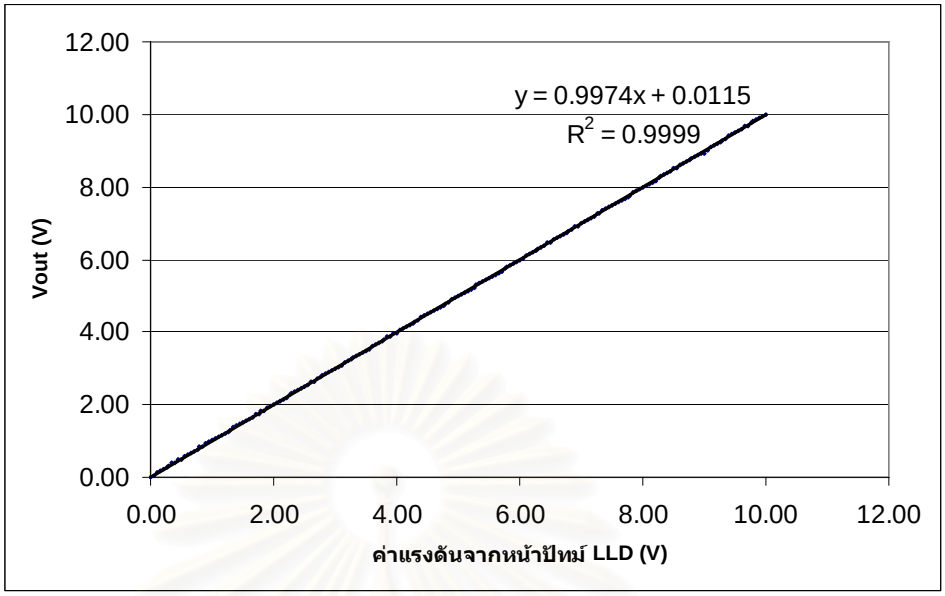
รูปที่ 4.38 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

4.1.7.3 ผลการทดสอบ

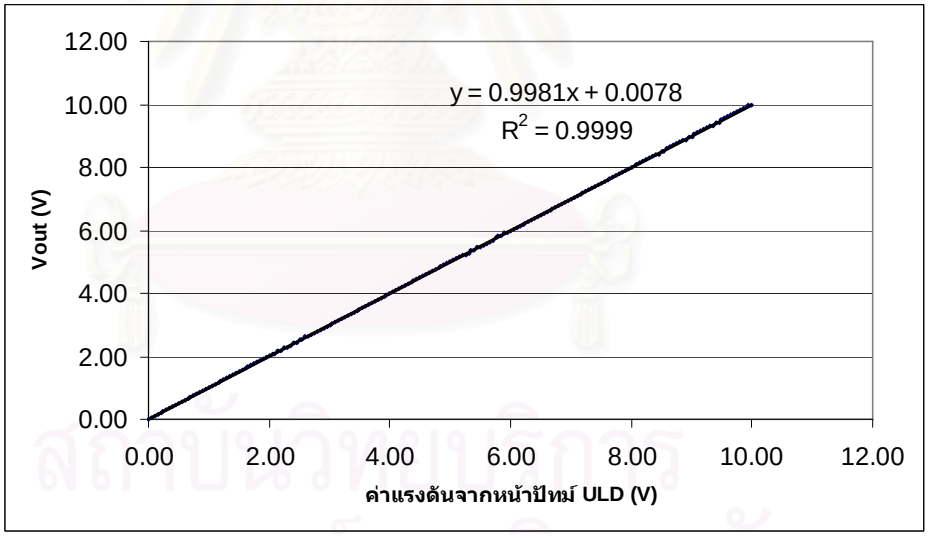
4.1.7.3.1 ทดสอบค่าแรงดันทางออกของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ของค่า HV, LLD และ ULD แสดงอยู่ในภาคผนวก ข., รูปที่ 4.39, รูปที่ 4.40 และรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางออกกับค่าแรงดันจากหน้าปัดของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ค่า HV



รูปที่ 4.40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางออกกับค่าแรงดัน
จากหน้าปัดของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ค่า LLD



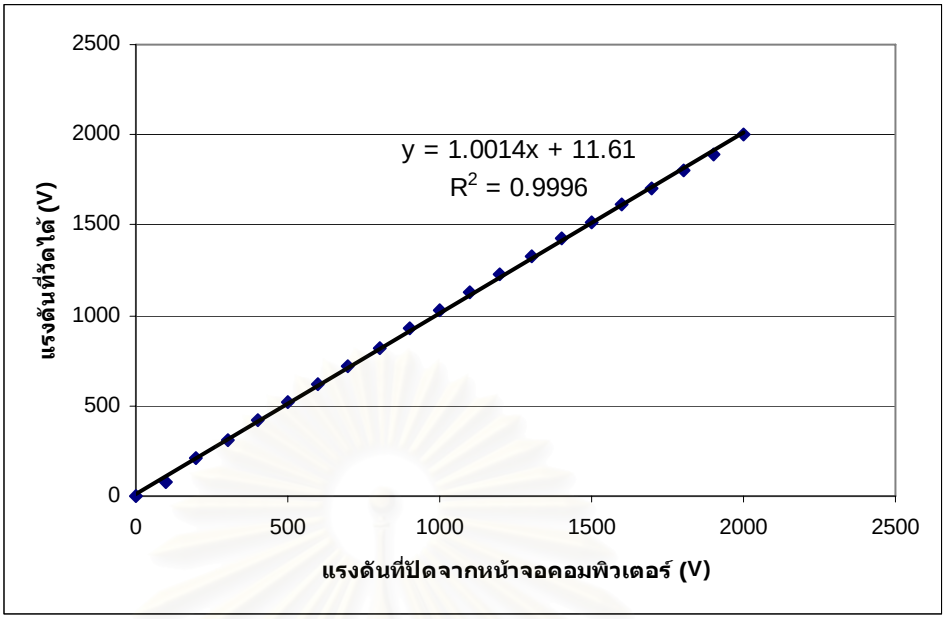
รูปที่ 4.41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางออกกับค่าแรงดัน
จากหน้าปัดของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ค่า ULD

4.1.7.3.2 ทดสอบการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงกับวงจรเชื่อมโยงสัญญาณเพื่อปรับค่าแรงดันไฟฟ้าขณะต่อโหลดความต้านทาน 2 MΩ แสดงผลดังตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.42

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าศักดาสูงกับวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

ค่าแรงดันที่หน้าปัดจอคอมพิวเตอร์ (V)	ค่าแรงดันที่วัดได้ (V)
0	0
100	80
200	205
300	310
400	415
500	520
600	616
700	720
800	824
900	926
1000	1030
1100	1123
1200	1223
1300	1323
1400	1422
1500	1520
1600	1610
1700	1706
1800	1803
1900	1897
2000	2000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์การปรับค่าแรงดันไฟฟ้าศักดาสูง
กับวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

4.2 การทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับรวมและการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงาน ที่เป็นอิสระจากคอมพิวเตอร์

เป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจัดระบบวัดระหว่างโมดูลที่พัฒนาขึ้นกับโมดูลต่าง ๆ ที่มีใช้อยู่ทั่วไป

4.2.1 การทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับรวมพลังงาน

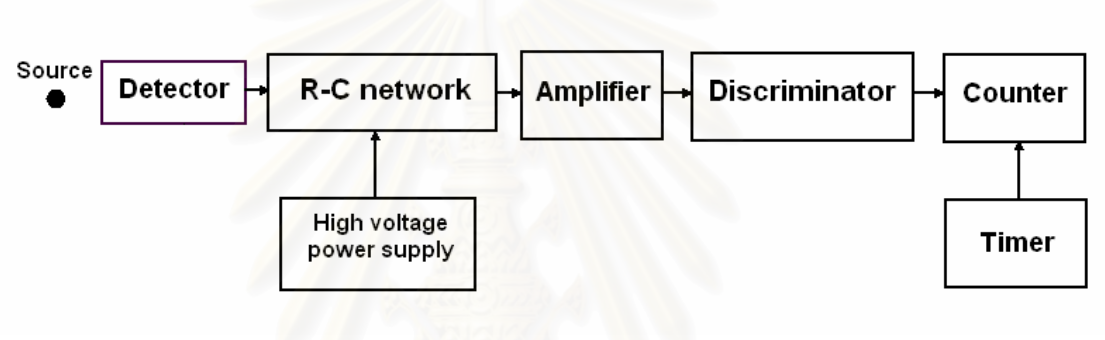
4.2.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง ของ ORTEC รุ่น 556
2. โมดูลขยายสัญญาณพัลส์ ของ CANBERRA รุ่น 2022
3. โมดูลขยายสัญญาณพัลส์และดิสคริมิเนเตอร์ (PAD) ของ CANBERRA รุ่น 814 A
4. โมดูลนับรังสีและตั้งเวลา (Counter & Timer) ของ ORTEC รุ่น 776
5. หัววัดรังสีแบบไกเกอร์ (Geiger-Muller detector)
6. R-C network
7. ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี Sr-90

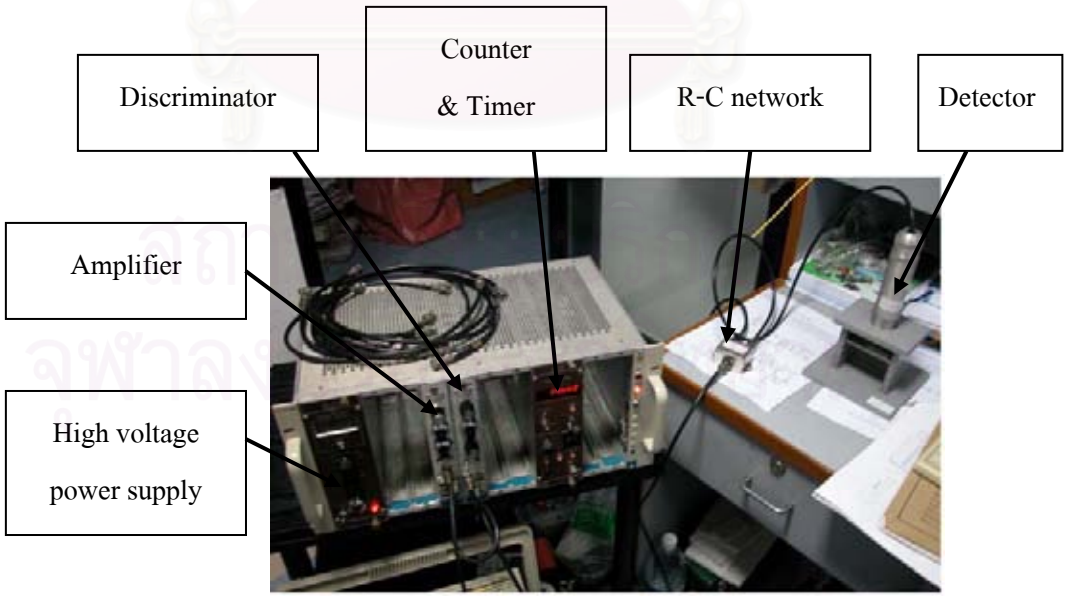
8. โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำที่พัฒนาขึ้น
9. โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่พัฒนาขึ้น
10. โมดูลขยายสัญญาณที่พัฒนาขึ้น
11. โมดูลตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้น
12. โมดูลนับรังสีที่พัฒนาขึ้น
13. โมดูลตั้งเวลาที่พัฒนาขึ้น

4.2.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

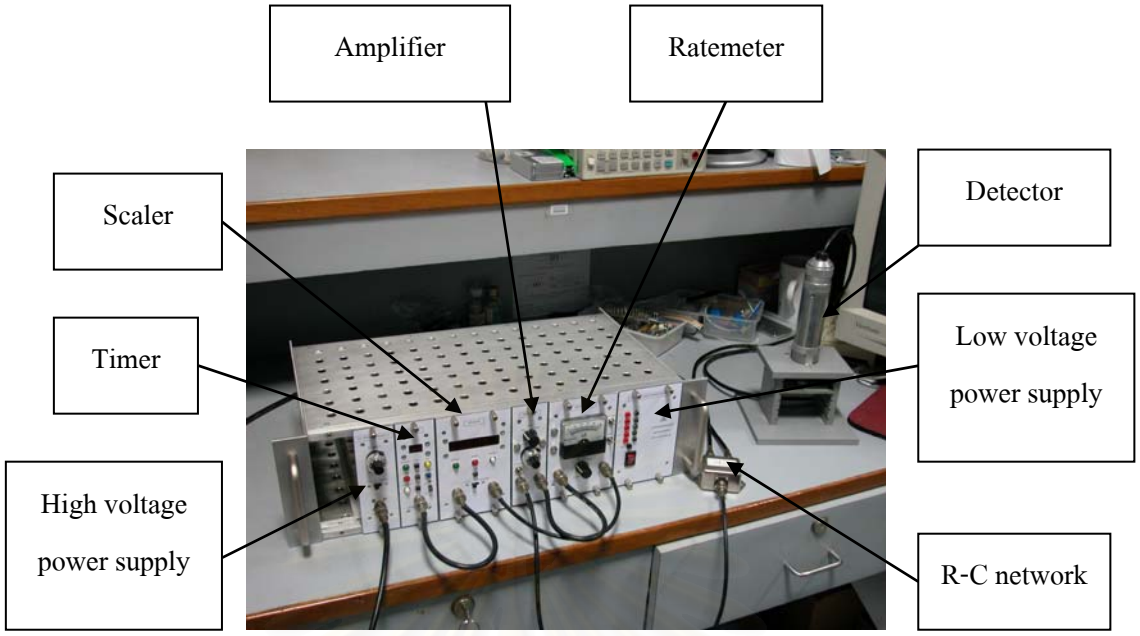
จัดการทดลองเพื่อหาค่าพลาโต (plateau) ของหัววัด GM สามารถจัดอุปกรณ์การทดสอบได้ดังรูปที่ 4.43



รูปที่ 4.43 แผนภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับรวมพลังงาน



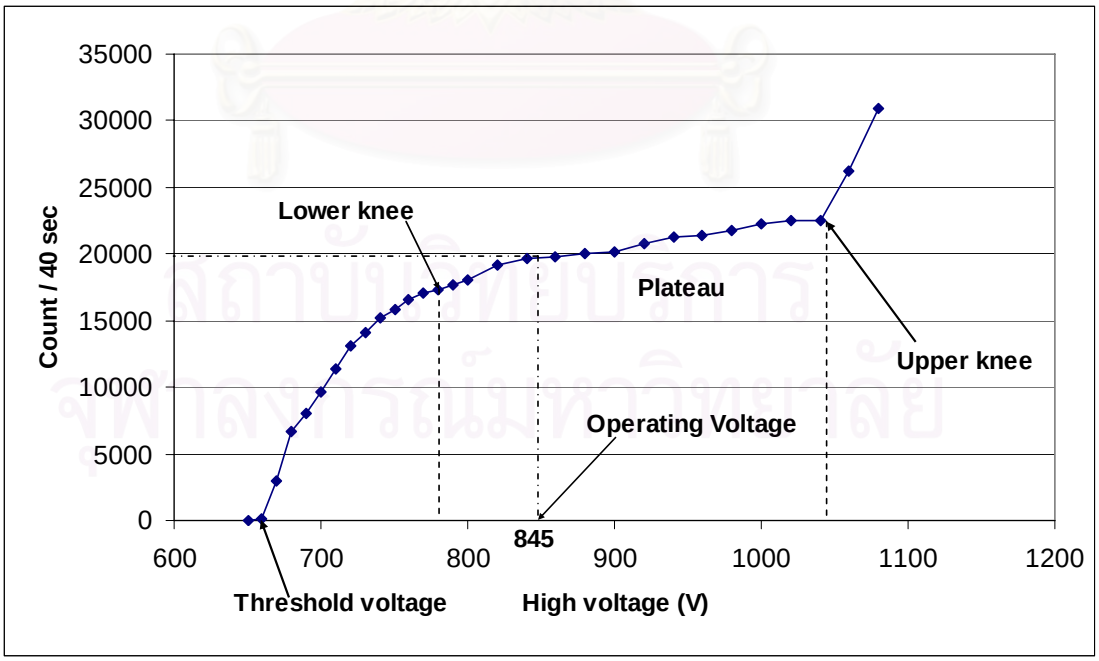
รูปที่ 4.44 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบระบบวัดแบบนับรวมพลังงาน



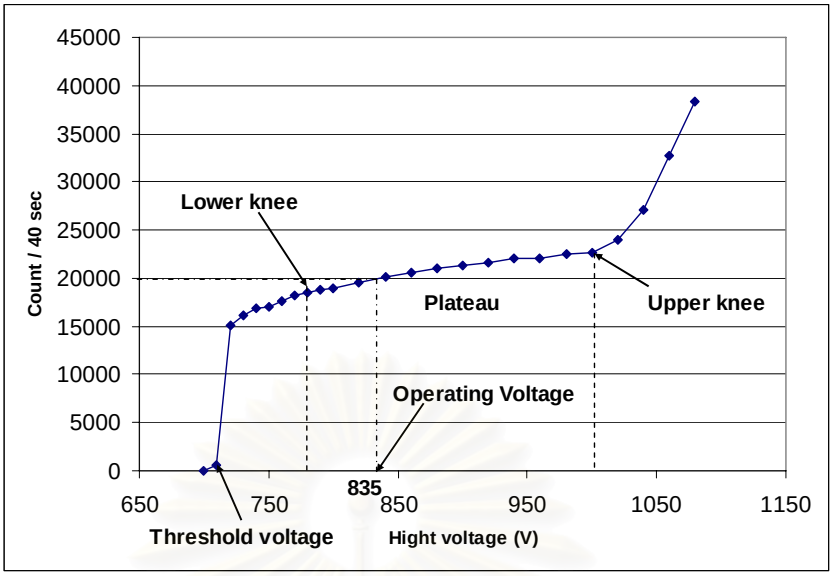
รูปที่ 4.45 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบระบบวัดแบบนับรวมพลังงานของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

4.2.1.3 ผลการทดสอบ

แสดงดังรูปกราฟที่ 4.46 และรูปกราฟที่ 4.47



รูปที่ 4.46 กราฟ plateau ที่ได้จากการจัดระบบวัดแบบนับรวมพลังงาน



รูปที่ 4.47 กราฟ plateau ที่ได้จากการจัดระบบวัดแบบนับรวมพลังงาน จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

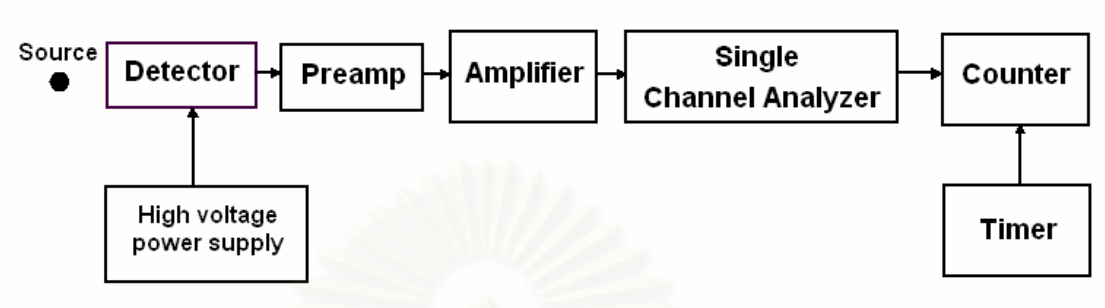
4.2.2 การทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงาน

4.2.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

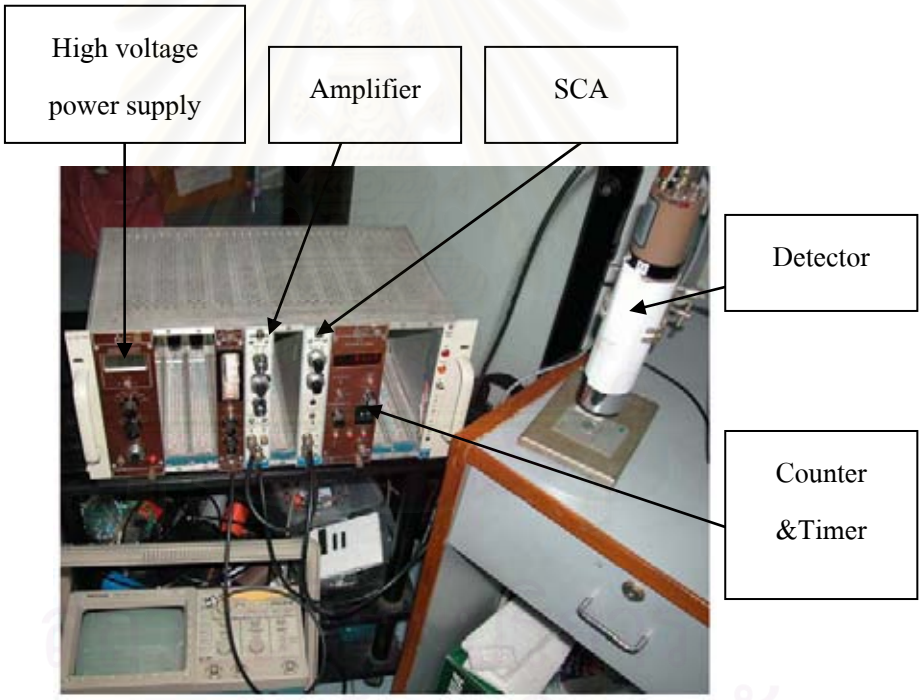
1. โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง ของ ORTEC รุ่น 556
2. โมดูลขยายสัญญาณพัลส์ ของ CANBERRA รุ่น 2022
3. โมดูลขยายวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว ของ CANBERRA รุ่น 2030
4. โมดูลนับรังสีและตั้งเวลา ของ ORTEC รุ่น 776
5. หัววัดรังสี NaI(TI) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว
6. Tube base ของ ORTEC รุ่น 276
7. ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี Cs-137 และ Co-60
8. โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำที่พัฒนาขึ้น
9. โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่พัฒนาขึ้น
10. โมดูลขยายสัญญาณที่พัฒนาขึ้น
11. โมดูลวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวที่พัฒนาขึ้น
12. โมดูลนับรังสีที่พัฒนาขึ้น
13. โมดูลตั้งเวลาที่พัฒนาขึ้น

4.2.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

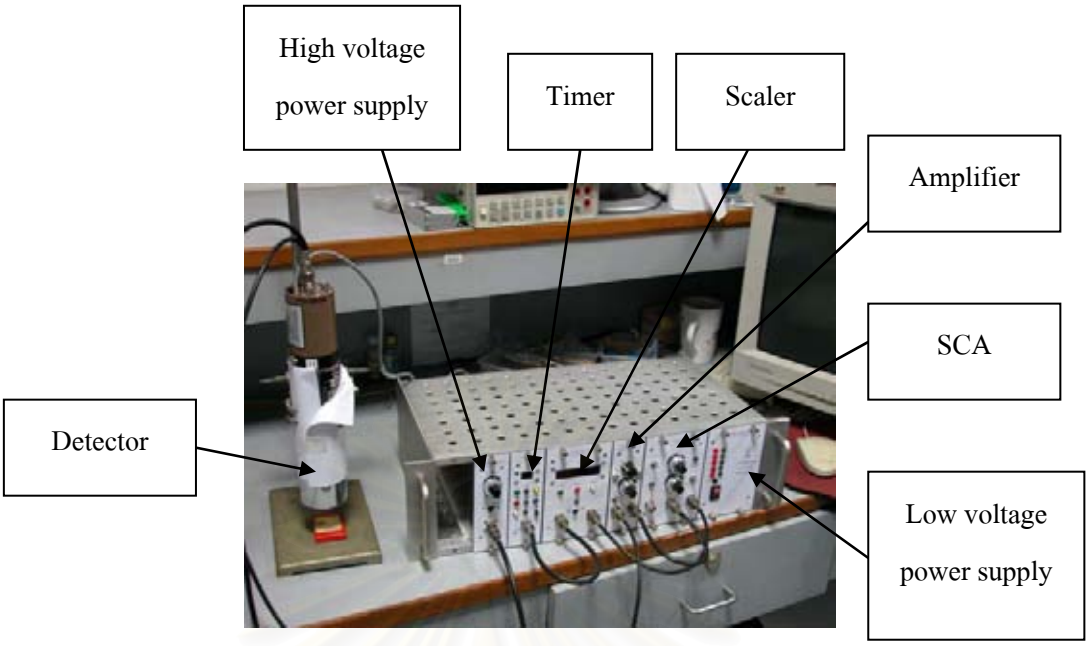
จัดการทดลองเพื่อหาค่าพีกพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 โดยใช้หัววัด NaI(TI) สามารถจัดอุปกรณ์การทดสอบได้ดังรูปที่ 4.48



รูปที่ 4.48 แผนภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับแยกพลังงาน



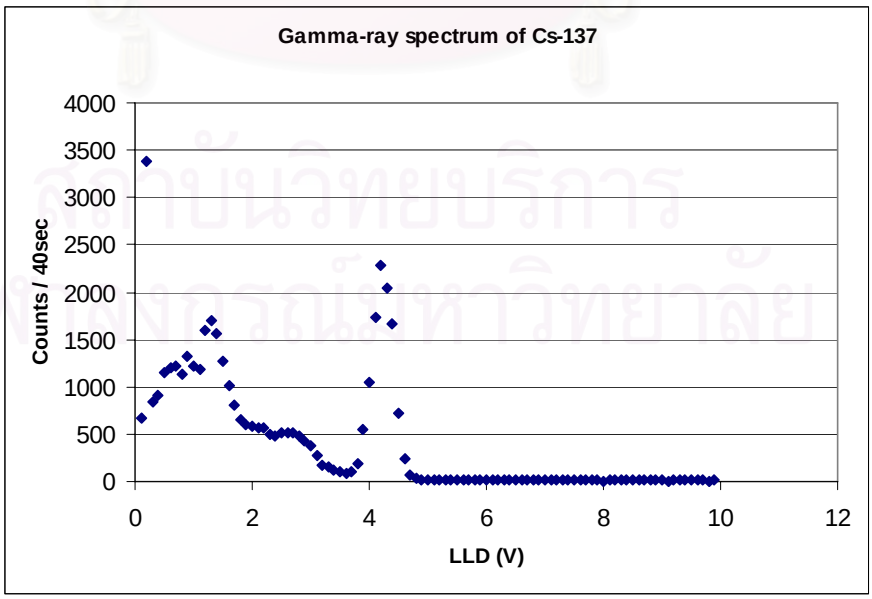
รูปที่ 4.49 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบแบบนับแยกพลังงาน



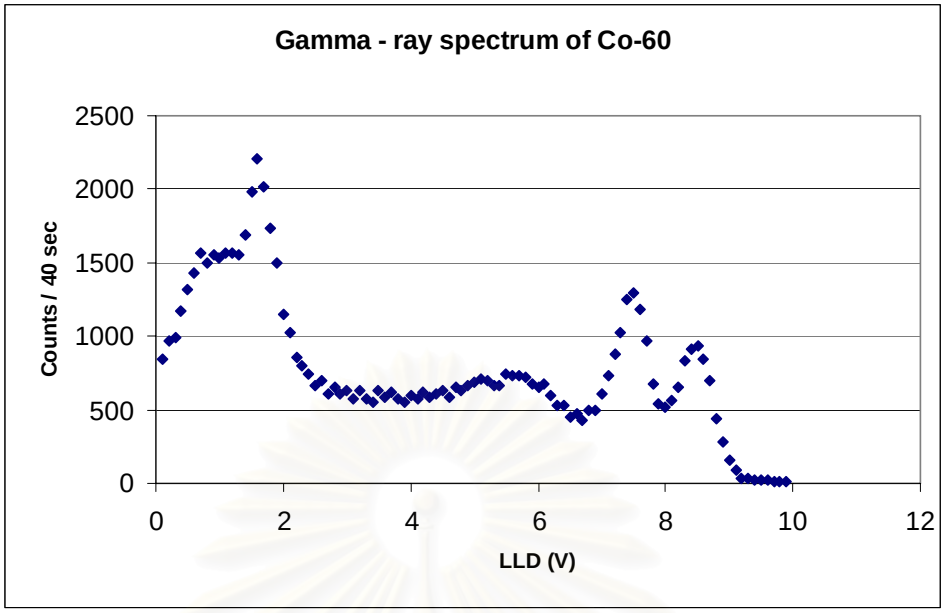
รูปที่ 4.50 ภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบระบบวัดแบบนับแยกพลังงานของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

4.2.2.3 ผลการทดสอบ

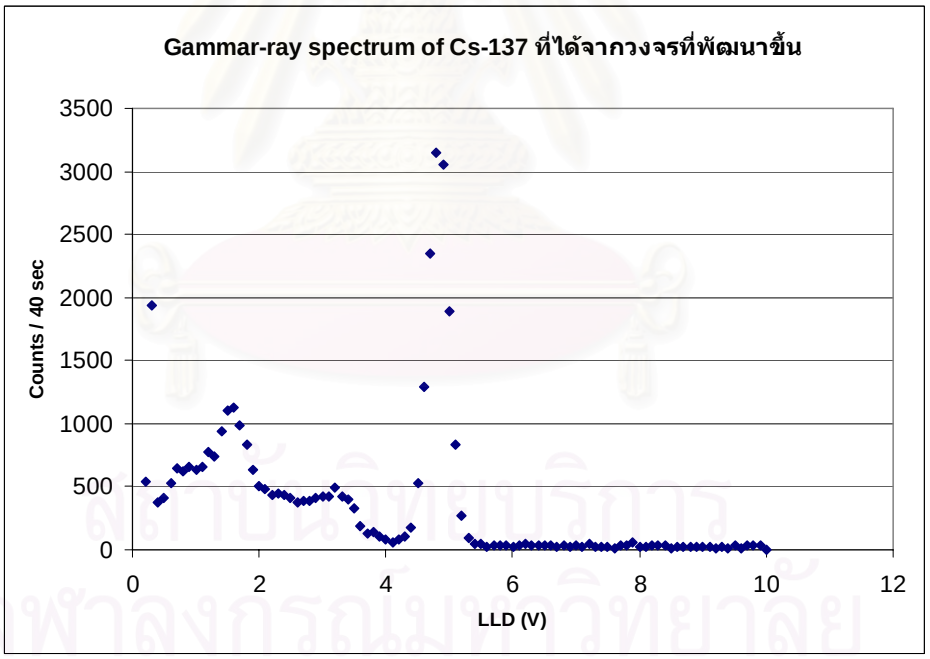
การทดสอบหาค่าพีกของ Cs-137 และ Co-60 ของระบบที่ใช้ทั่วไป จะใช้ HV เท่ากับ 800 V, Gain X 100, Fine ganin 0.3, ตั้งค่า $\Delta E = 0.1$ V และปรับค่า LLD ครั้งละ 0.1 V ส่วนระบบที่ทำการพัฒนาขึ้น ใช้ HV เท่ากับ 600, Gain x 100, ตั้งค่า $\Delta E = 0.1$ V และปรับค่า LLD ครั้งละ 0.1 V แสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 4.51, รูปที่ 4.52, รูปที่ 4.53 และ รูปที่ 4.54



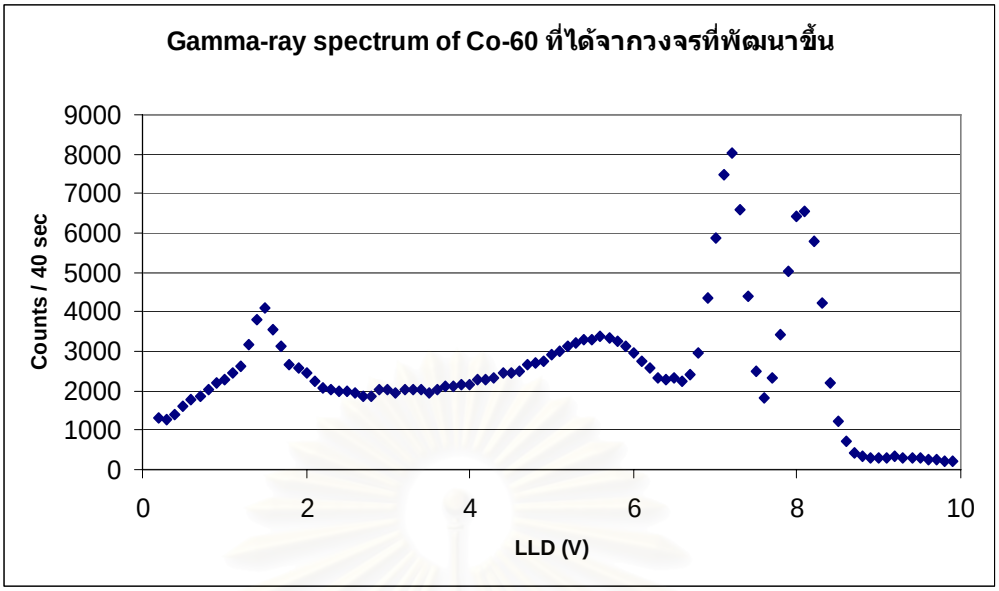
รูปที่ 4.51 สเปกตรัมของ Cs-137



รูปที่ 4.52 สเปกตรัมของ Co-60



รูปที่ 4.53 สเปกตรัมของ Cs-137 ที่ได้จากระบบวัดที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 4.54 สเปกตรัมของ Co-60 ที่ได้จากระบบวัดที่พัฒนาขึ้น

4.3 การทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับรวมและการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงาน ที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์

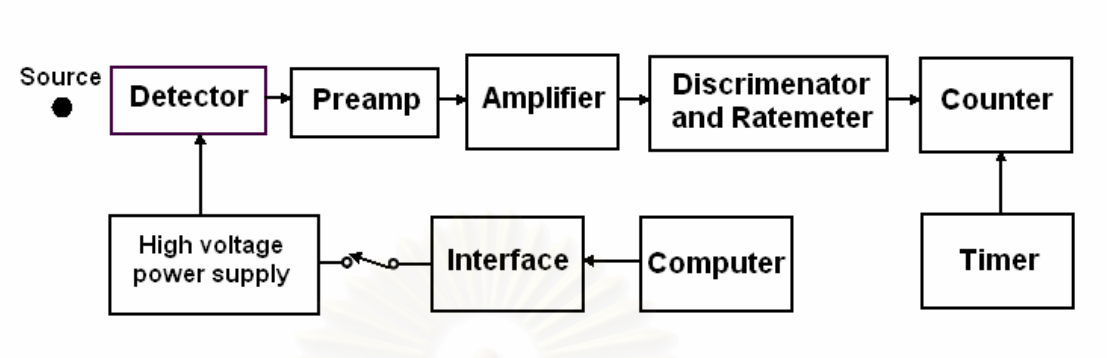
4.3.1 การทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับรวมพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์

4.3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

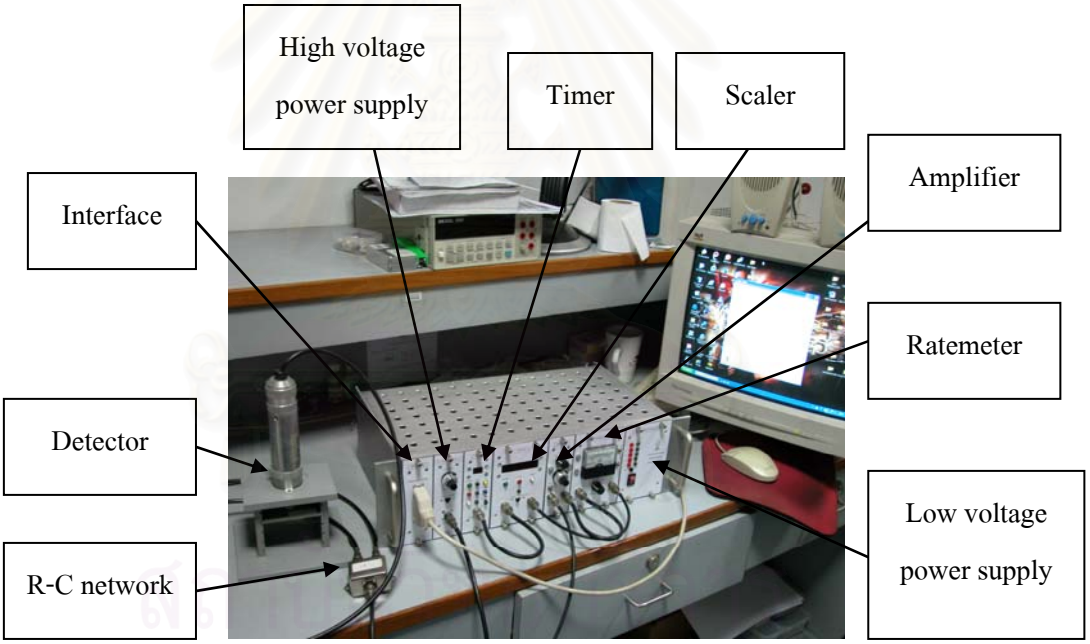
1. หัววัดรังสีแบบไกเกอร์
2. R-C network
3. ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี Sr-90
4. โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำที่พัฒนาขึ้น
5. โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่พัฒนาขึ้น
6. โมดูลขยายสัญญาณที่พัฒนาขึ้น
7. โมดูลตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้น
8. โมดูลนับรังสีที่พัฒนาขึ้น
9. โมดูลตั้งเวลาที่พัฒนาขึ้น
10. โมดูลเชื่อมโยงสัญญาณที่พัฒนาขึ้น

4.3.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

จัดการทดลองเพื่อหาค่าพลาโต ของหัววัด GM ที่ควบคุมการปรับค่า HV จากคอมพิวเตอร์ สามารถจัดอุปกรณ์การทดสอบได้ดังรูปที่ 4.55



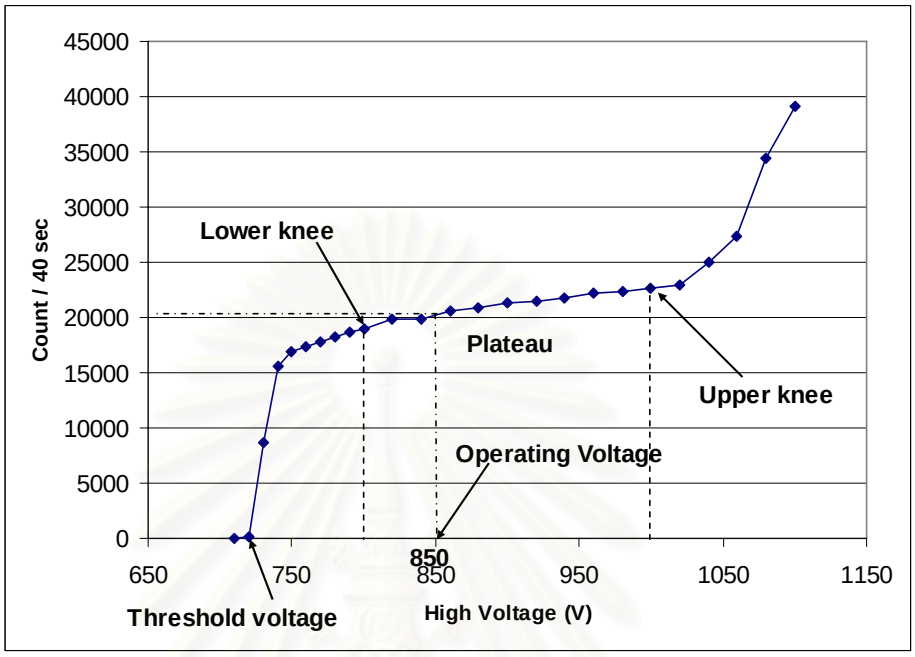
รูปที่ 4.55 แผนภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับรวมพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.56 ภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับรวมพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์

4.3.1.3 ผลการทดสอบ

แสดงดังรูปกราฟที่ 4.57



รูปที่ 4.57 กราฟ plateau ที่ได้จากการจัดระบบวัดแบบนับรวมที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์

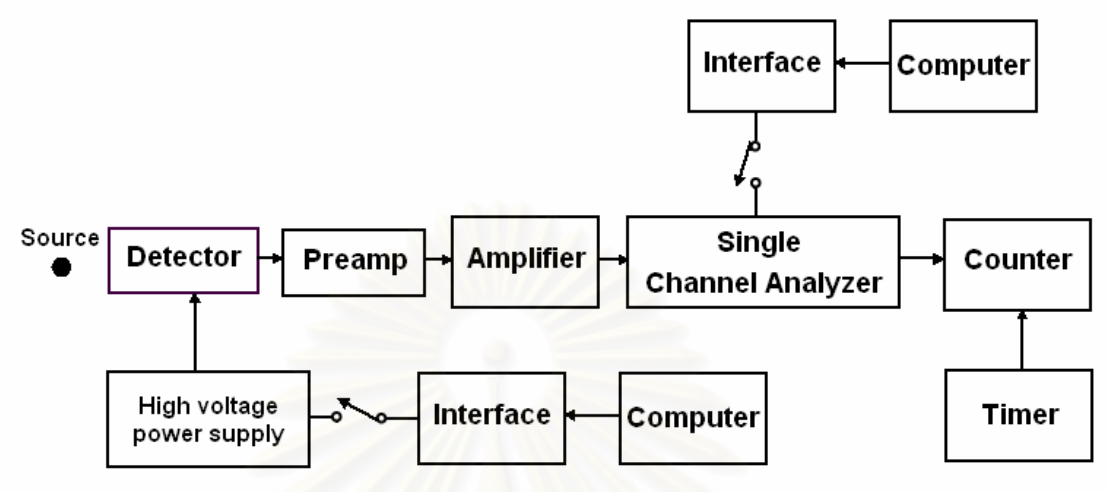
4.3.2 การทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์

4.3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

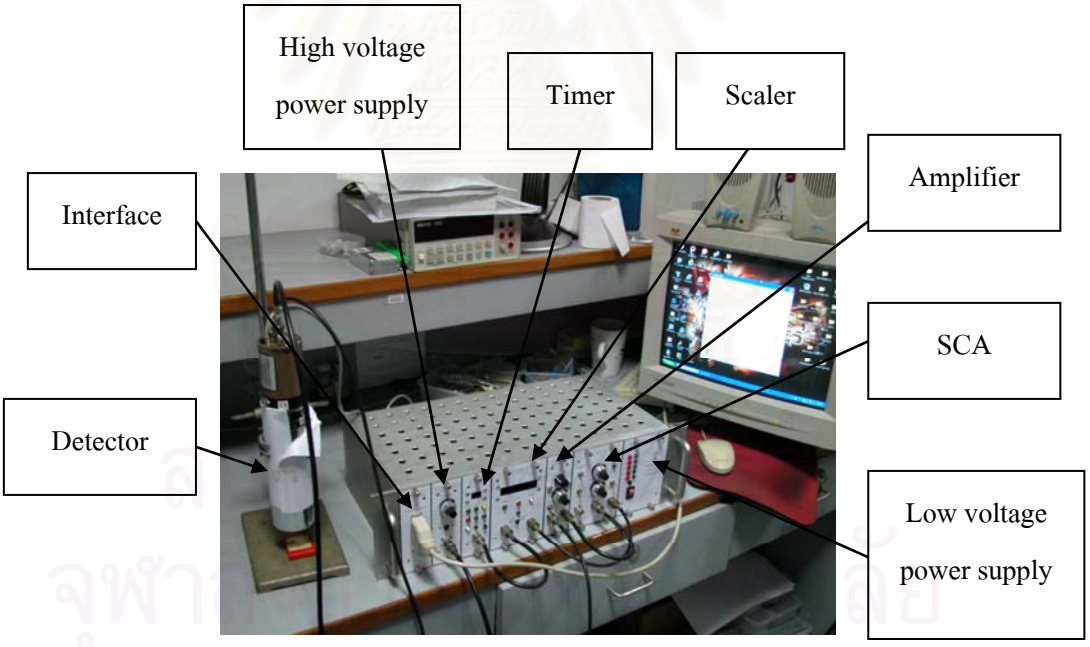
1. หัววัดรังสี NaI(TI) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว
2. Tube base ของ ORTEC รุ่น 276
3. ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี Cs-137 และ Co-60
4. โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำที่พัฒนาขึ้น
5. โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่พัฒนาขึ้น
6. โมดูลขยายสัญญาณที่พัฒนาขึ้น
7. โมดูลวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวที่พัฒนาขึ้น
8. โมดูลนับรังสีที่พัฒนาขึ้น
9. โมดูลตั้งเวลาที่พัฒนาขึ้น
10. โมดูลเชื่อมโยงสัญญาณที่พัฒนาขึ้น

4.3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

จัดการทดลองเพื่อหาค่าพีกพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 โดยใช้หัววัด NaI(TI) ควบคุมการปรับค่า HV, LLD และ ULD สามารถจัดอุปกรณ์การทดสอบได้ดังรูปที่ 4.58



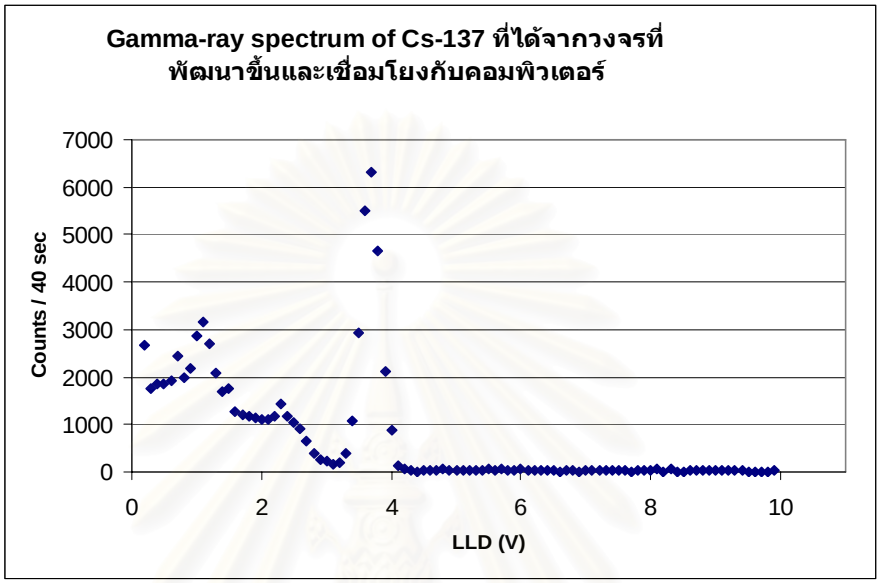
รูปที่ 4.58 แผนภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับแยกพลังงาน ที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์



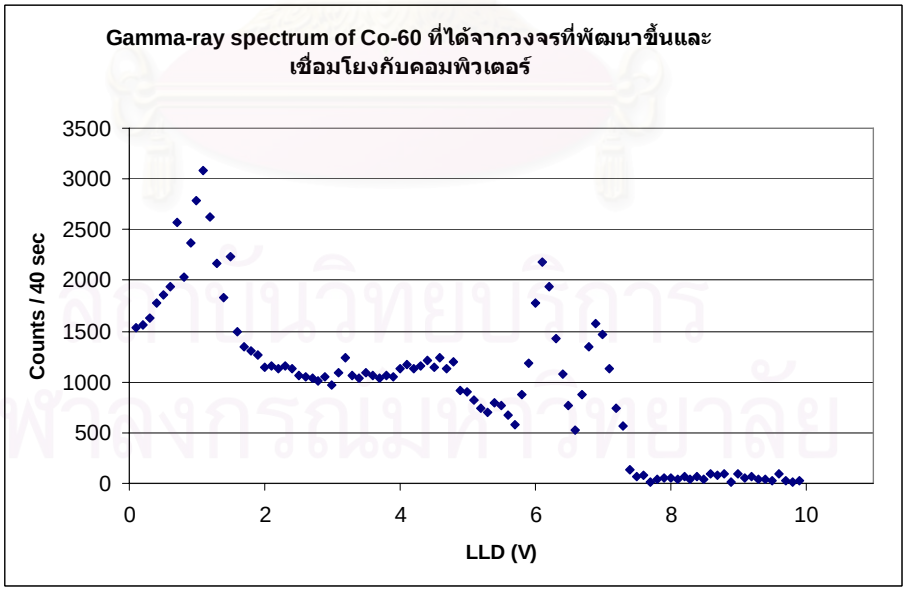
รูปที่ 4.59 ภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดแบบนับแยกพลังงาน ที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์

4.3.2.3 ผลการทดสอบ

การทดสอบหาค่าพีกของ Cs-137 และ Co-60 ใช้ HV เท่ากับ 600 V, Gain x 100, ปรับค่า ULD และปรับค่า LLD ครั้งละ 0.1 V โดยให้ค่า ULD สูงกว่าค่า LLD 0.1 แสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 4.60 และรูปที่ 4.61



รูปที่ 4.60 สเปกตรัมของ Cs-137 ที่ได้จากการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.61 สเปกตรัมของ Co-60 ที่ได้จากการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงานที่เชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาระบบวัดรังสีโมดูลขนาดเล็กที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปจัดระบบวัดรังสีได้ 2 แบบ คือ ระบบวัดรังสีแบบนับรวมพลังงานและระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน แล้วยังสามารถที่จะใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการควบคุมการปรับค่าของ HV, LLD และ ULD ได้

5.1.1 ผลการทดสอบการทำงานของแต่ละวงจร

ก. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 1.) 5 V 500 mA ค่า Noise และ ripple ของสัญญาณประมาณ 10 mV ทั้งขณะไม่มีโหลดและขณะต่อโหลด 2.) 15 V / -15 V 1A ค่า Noise และ ripple ของสัญญาณประมาณ 20 mV ขณะไม่มีโหลดและประมาณ 30 mV ขณะมีโหลด 3.) 24 V / -24 V 20 mA ค่า Noise และ Ripple ของสัญญาณประมาณ 20 mV ขณะไม่มีโหลดและประมาณ 30 mV ขณะมีโหลด

ข. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงจ่ายแรงดันได้สูงสุด 2000 V 1 mA ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 -2000 V ที่หน้าปัด มีค่าความละเอียดในการปรับที่ 1 ช่องสเกลเล็กเท่ากับ 4 V ความไม่เป็นเชิงเส้นของสเกลปรับค่าศักดาไฟฟ้าเท่ากับ 0.14 % ค่า stablility มีค่าการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 25 V คิดเป็น 1.25 % ของค่าสูงสุด ค่า ripple ของสัญญาณอยู่ที่ประมาณ 20 mV ขณะไม่ต่อโหลดและประมาณ 30 mV ขณะต่อโหลด

ค. วงจรขยายสัญญาณพัลส์เลือกอัตราการขยายได้ 3 ระดับ คือ 100 เท่า, 500 เท่า และ 1000 เท่า ขยายสัญญาณให้มีความสูงได้ประมาณ 0 - 10 V

ง. วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว สร้างสัญญาณลอจิกส์พัลส์ทางออกขนาด 500 ns ปรับค่า LLD และ ΔE ได้จาก 0 - 10 V ที่ค่าความละเอียดครั้งละ 20 mV ความไม่เป็นเชิงเส้นของสเกล LLD เท่ากับ 0.01 % ความไม่เป็นเชิงเส้นของ windows (ΔE) เท่ากับ 0.01 % ค่าเวลาที่น้อยที่สุดที่สามารถแยกสัญญาณที่ติดกันอยู่ที่ประมาณ 1.06 us

ฉ. วงจรนับรังสี รับค่าความถี่ได้สูงสุดประมาณ 4.5 MHz แสดงผลการนับได้ตั้ง 1-999,999 ค่า สามารถทำการนับค่ารังสีทั้งที่มีเวลาและไม่มีเวลาในการควบคุม

ช. วงจรตั้งเวลา เลือกตั้งเวลาได้จาก 1-99 วินาที หรือจาก 1-99 นาที

ซ. วงจรตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์ สามารถแสดงผลการนับสัญญาณได้ตั้งแต่ 1 cps – 100 kcps เลือกช่วงการทำงานได้ 4 ช่วง คือ 1-100 Hz, 100 Hz -1 kHz, 1 – 10 kHz และ 10 – 100 kHz ความไม่เป็นเชิงเส้นในการนับสัญญาณ 1 cps – 100 cps เท่ากับ 0.01 % ความไม่เป็นเชิงเส้นในการนับสัญญาณ 100 cps – 1 kcps เท่ากับ 0.01 % ความไม่เป็นเชิงเส้นในการนับ

สัญญาณ 1 kcps – 10 kcps เท่ากับ 0.01 % ความไม่เป็นเชิงเส้นในการนับสัญญาณ 10 kcps – 100 kcps เท่ากับ 0.08 %

ฌ. วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ควบคุมการทำงานจากคอมพิวเตอร์ผ่านสาย Parallel port ปรับค่า HV ได้ตั้งแต่ 0 - 2000 V ที่ค่าความละเอียดครั้งละ 10 V ควบคุมการปรับค่า LLD และ ULD ได้ตั้งแต่ 0 – 10 V ที่ค่าความละเอียดครั้ง 50 mV ความไม่เป็นเชิงเส้นของการปรับค่า HV เท่ากับ 0.03 % ความไม่เป็นเชิงเส้นของการปรับค่า LLD เท่ากับ 0.01 % ความไม่เป็นเชิงเส้นของการปรับค่า ULD เท่ากับ 0.01 % ความไม่เป็นเชิงเส้นของการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าศักดาสูงกับวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ เท่ากับ 0.04 %

5.2 คุณสมบัติของเครื่องมือ

1. โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ	จ่ายแรงดัน +5 V 500 mA, +15 V / -15 V 1 A และ +24 V/-24 V 20 mA
2. โมดูลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง	ปรับแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 2000 V 1 mA
3. โมดูลขยายสัญญาณ	ปรับอัตราขยายได้ 100 เท่า, 500 เท่า และ 1000 เท่า สามารถปรับ P/Z และ BLR
4. โมดูลวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว	สัญญาณลอจิกพัลส์ทางออกขนาด 500 ns ปรับค่า LLD และ ΔE จาก 0 - 10 V
5. โมดูลนับรังสี	รับค่าความถี่สูงสุด 4.5 MHz แสดงค่าได้ตั้งแต่ 0 -999,999 ค่า
6. โมดูลตั้งเวลา	ตั้งค่าเวลาได้จาก 1 วินาที – 99 นาที
7. โมดูลตัดสัญญาณและเรตมิเตอร์	แสดงค่าการนับพัลส์ตั้งแต่ 1 cps – 100 kcps
8. โมดูลเชื่อมสัญญาณ	ปรับค่า HV จาก 0 – 2000 V ปรับค่า LLD และ ULD จาก 0 – 10 V

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

5.3.1 การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ค่อนข้างจะยากและลำบากสำหรับผู้วิจัย

5.3.2 การสั่งทำแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ บางครั้งเกิดปัญหาจากการผลิตของโรงงานที่มีข้อผิดพลาดทำให้เวลานำมาประกอบแล้วเกิดปัญหาวงจรใช้ไม่ได้ทำให้เสียเวลาในการหาข้อบกพร่องค่อนข้างมาก

5.4 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการนำอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการเพื่อการเรียนการสอนทางด้านนิวเคลียร์ เพราะจะได้ทราบข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นแล้วนำข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมาพัฒนาอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ดีขึ้นและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับของที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ จะได้เป็นการช่วยลดการนำเข้าอุปกรณ์จากต่างประเทศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, เดโช ทองอร่าม และ ศิริพงษ์ ไชยมงค์. ระบบวัดรังสีด้วยหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์บนไมโครคอมพิวเตอร์. วารสารศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 8(2543) : 38-50.

[2] สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. Nuclear radiation detection and instrumentation. เอกสารการสอนวิชา 2111606นิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547

[3] เดโช ทองอร่าม. การพัฒนาระบบควบคุมความหนาแบบนิวคลีโอนิกสำหรับเครื่องรีดโลหะบาง.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

[4] สิริยาภรณ์ แสงอรุณ. การพัฒนาระบบมอนิเตอร์รังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอส.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

[5] เอกชัย มะการ. รู้จักและเข้าใจ Chips support แบบ I2C BUS. 1000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: อีทีที, 2545.

[6] ณัฏฐพล วงศ์สุนทรชัย และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87X. กรุงเทพฯ: อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์, (ม.ป.ป).

[7] อรรถพล บุญยะโภคา และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตขนาน. กรุงเทพฯ: อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์, (ม.ป.ป).

[8] Bouchard, J. and Cassette, P. MAC3: an electronic module for the processing of pulses delivered by a three photomultiplier liquid scintillation counting system. Applied Radiation and Isotopes 52 (2000): 669-672.

[9] Bouchard, J. A new set of electronic modules (NIM standard) for a coincidence system using the pulse mixing method. Applied Radiation and Isotopes 56 (2002): 269-273.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมควบคุมค่า HV, LLD และ ULD

```
Private Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal
Value As Integer)
'ประกาศโฟรซีเจอร์โดยเรียกใช้จากไฟล์ inpout32.dll
Public pwrite As Integer        'Data Port
Public pwrite2 As Integer       'Controll Port
'ตัวแปรแบบ Global สำหรับเก็บหมายเลขพอร์ตขนาน

Private Sub chkDeltaE_Click()
 If chkDeltaE.Value = Checked Then
        hsbDeltaE.Enabled = True
       Out pwrite2, 9
       Out pwrite, 0
   End If
   If chkDeltaE.Value = Unchecked Then
         hsbDeltaE.Enabled = False
         Out pwrite2, 11
    End If
End Sub

Private Sub chkHV_Click()
    If chkHV.Value = Checked Then
       hsbHV.Enabled = True
      Out pwrite2, 10
      Out pwrite, 0
   End If
   If chkHV.Value = Unchecked Then
         hsbHV.Enabled = False
         Out pwrite2, 11
    End If
```

```
End Sub
Private Sub chkLLD_Click()
If chkLLD.Value = Checked Then
        hsbLLD.Enabled = True
       Out pwrite2, 8
       Out pwrite, 0
  End If
  If chkLLD.Value = Unchecked Then
         hsbLLD.Enabled = False
         Out pwrite2, 11
   End If
End Sub

Private Sub Form_Load()
        pwrite = &H378
        pwrite2 = &H37A
       Out pwrite, 0        '0 = &H0
       Out pwrite2, 11     '11 = &HB
End Sub

Private Sub hsbDeltaE_Change()
   Dim sngDeltaE As Single
   Dim bytDeltaE As Byte
      sngDeltaE = (hsbDeltaE.Value / 20)
      txtValueDeltaE.Text = CSng(sngDeltaE)
      bytDeltaE = hsbDeltaE.Value
      Out pwrite2, 9
      Out pwrite, bytDeltaE
      txtDeltaE1.Text = CByte(bytDeltaE)
    If hsbDeltaE.Value > 0 Then
      chkDeltaE.Enabled = False
   Else
```

```
        chkDeltaE.Enabled = True
    End If
End Sub

Private Sub hsbHV_Change()
    Dim intHV As Integer
    Dim bytHV As Byte
        intHV = hsbHV.Value
        txtValueHV.Text = CInt(intHV)
        bytHV = (hsbHV.Value / 10)
        Out pwrite2, 10
        Out pwrite, bytHV
        txtHV1.Text = CByte(bytHV)
    If hsbHV.Value > 0 Then
        chkHV.Enabled = False
    Else
        chkHV.Enabled = True
    End If
End Sub

Private Sub hsbLLD_Change()
    Dim sngLLD As Single
    Dim bytLLD As Byte
            sngLLD = (hsbLLD.Value / 20)
            txtValueLLD.Text = CSng(sngLLD)
            bytLLD = hsbLLD.Value
            Out pwrite2, 8
            Out pwrite, bytLLD
            txtLLD1.Text = CByte(bytLLD)
    If hsbLLD.Value > 0 Then
        chkLLD.Enabled = False
    Else
```

```
        chkLLD.Enabled = True
    End If
End Sub

Private Sub tmrNIMBIN_Timer()
    lblTimer.Caption = Format(Time, "hh:mm:ss")
End Sub
```


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ตารางค่าแรงดันทางออกของวงจรเชื่อมโยงสัญญาณของค่า HV, LLD และ ULD

HV		LLD		ULD	
ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05
20	0.06	0.10	0.12	0.10	0.12
30	0.08	0.15	0.16	0.15	0.15
40	0.12	0.20	0.22	0.20	0.21
50	0.14	0.25	0.26	0.25	0.25
60	0.16	0.30	0.32	0.30	0.31
70	0.20	0.35	0.38	0.35	0.37
80	0.22	0.40	0.42	0.40	0.41
90	0.24	0.45	0.47	0.45	0.46
100	0.26	0.50	0.51	0.50	0.50
110	0.30	0.55	0.57	0.55	0.56
120	0.31	0.60	0.61	0.60	0.60
130	0.33	0.65	0.67	0.65	0.66
140	0.38	0.70	0.71	0.70	0.70
150	0.40	0.75	0.77	0.75	0.76
160	0.41	0.80	0.83	0.80	0.82
170	0.43	0.85	0.86	0.85	0.86
180	0.47	0.90	0.92	0.90	0.91
190	0.49	0.95	0.96	0.95	0.95
200	0.51	1.00	1.02	1.00	1.01
210	0.55	1.05	1.06	1.05	1.05

HV		LLD		ULD	
ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)
220	0.57	1.10	1.12	1.10	1.11
230	0.59	1.15	1.17	1.15	1.17
240	0.61	1.20	1.21	1.20	1.21
250	0.65	1.25	1.27	1.25	1.26
260	0.66	1.30	1.31	1.30	1.30
270	0.68	1.35	1.37	1.35	1.36
280	0.70	1.40	1.41	1.40	1.40
290	0.74	1.45	1.46	1.45	1.46
300	0.76	1.50	1.50	1.50	1.50
310	0.78	1.55	1.56	1.55	1.56
320	0.82	1.60	1.62	1.60	1.62
330	0.84	1.65	1.66	1.65	1.66
340	0.86	1.70	1.72	1.70	1.71
350	0.88	1.75	1.75	1.75	1.75
360	0.92	1.80	1.81	1.80	1.81
370	0.94	1.85	1.85	1.85	1.85
380	0.96	1.90	1.91	1.90	1.91
390	1.00	1.95	1.95	1.95	1.95
400	1.02	2.00	2.01	2.00	2.01
410	1.03	2.05	2.06	2.05	2.06
420	1.05	2.10	2.10	2.10	2.10
430	1.09	2.15	2.16	2.15	2.16
440	1.11	2.20	2.20	2.20	2.20
450	1.13	2.25	2.26	2.25	2.26
460	1.17	2.30	2.30	2.30	2.30
470	1.19	2.35	2.35	2.35	2.35
480	1.21	2.40	2.41	2.40	2.41
490	1.23	2.45	2.45	2.45	2.45

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HV		LLD		ULD	
ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)
500	1.27	2.50	2.51	2.50	2.51
510	1.29	2.55	2.55	2.55	2.55
520	1.31	2.60	2.61	2.60	2.61
530	1.32	2.65	2.65	2.65	2.65
540	1.37	2.70	2.70	2.70	2.70
550	1.38	2.75	2.75	2.75	2.75
560	1.40	2.80	2.80	2.80	2.80
570	1.44	2.85	2.86	2.85	2.86
580	1.46	2.90	2.90	2.90	2.90
590	1.48	2.95	2.96	2.95	2.96
600	1.50	3.00	3.00	3.00	3.00
610	1.54	3.05	3.05	3.05	3.05
620	1.56	3.10	3.09	3.10	3.10
630	1.58	3.15	3.15	3.15	3.15
640	1.62	3.20	3.19	3.20	3.20
650	1.64	3.25	3.25	3.25	3.25
660	1.66	3.30	3.31	3.30	3.31
670	1.68	3.35	3.35	3.35	3.35
680	1.71	3.40	3.41	3.40	3.41
690	1.73	3.45	3.45	3.45	3.45
700	1.75	3.50	3.50	3.50	3.50
710	1.80	3.55	3.54	3.55	3.55
720	1.81	3.60	3.60	3.60	3.60
730	1.83	3.65	3.66	3.65	3.66
740	1.85	3.70	3.70	3.70	3.70
750	1.89	3.75	3.76	3.75	3.76
760	1.91	3.80	3.80	3.80	3.80
770	1.93	3.85	3.86	3.85	3.86

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HV		LLD		ULD	
ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)
780	1.95	3.90	3.89	3.90	3.90
790	1.99	3.95	3.95	3.95	3.95
800	2.01	4.00	3.99	4.00	3.99
810	2.03	4.05	4.05	4.05	4.05
820	2.07	4.10	4.11	4.10	4.11
830	2.08	4.15	4.14	4.15	4.15
840	2.10	4.20	4.20	4.20	4.21
850	2.12	4.25	4.24	4.25	4.25
860	2.16	4.30	4.30	4.30	4.31
870	2.18	4.35	4.34	4.35	4.35
880	2.20	4.40	4.40	4.40	4.41
890	2.24	4.45	4.44	4.45	4.45
900	2.26	4.50	4.49	4.50	4.49
910	2.27	4.55	4.55	4.55	4.55
920	2.29	4.60	4.59	4.60	4.59
930	2.33	4.65	4.65	4.65	4.65
940	2.35	4.70	4.69	4.70	4.69
950	2.37	4.75	4.74	4.75	4.74
960	2.41	4.80	4.79	4.80	4.79
970	2.43	4.85	4.84	4.85	4.84
980	2.45	4.90	4.90	4.90	4.90
990	2.47	4.95	4.94	4.95	4.94
1000	2.51	5.00	5.00	5.00	5.00
1010	2.53	5.05	5.04	5.05	5.04
1020	2.55	5.10	5.10	5.10	5.10
1030	2.57	5.15	5.14	5.15	5.14
1040	2.61	5.20	5.19	5.20	5.19
1050	2.63	5.25	5.23	5.25	5.23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HV		LLD		ULD	
ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)
1060	2.68	5.35	5.35	5.35	5.35
1070	2.70	5.40	5.39	5.40	5.39
1080	2.72	5.45	5.45	5.45	5.45
1090	2.74	5.50	5.48	5.50	5.49
1100	2.78	5.55	5.54	5.55	5.54
1110	2.80	5.60	5.58	5.60	5.59
1120	2.82	5.65	5.64	5.65	5.64
1130	2.86	5.70	5.68	5.70	5.69
1140	2.88	5.75	5.74	5.75	5.75
1150	2.91	5.80	5.80	5.80	5.80
1160	2.92	5.85	5.84	5.85	5.84
1170	2.96	5.90	5.89	5.90	5.90
1180	2.98	5.95	5.93	5.95	5.93
1190	3.00	6.00	6.00	6.00	6.00
1200	3.04	6.05	6.03	6.05	6.03
1210	3.06	6.10	6.09	6.10	6.09
1220	3.08	6.15	6.15	6.15	6.15
1230	3.10	6.20	6.19	6.20	6.19
1240	3.14	6.25	6.25	6.25	6.25
1250	3.16	6.30	6.29	6.30	6.29
1260	3.18	6.35	6.35	6.35	6.35
1270	3.20	6.40	6.39	6.40	6.39
1280	3.24	6.45	6.45	6.45	6.45
1290	3.26	6.50	6.49	6.50	6.49
1300	3.27	6.55	6.54	6.55	6.54
1310	3.31	6.60	6.60	6.60	6.60
1320	3.33	6.65	6.64	6.65	6.64
1330	3.35	6.70	6.70	6.70	6.70

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HV		LLD		ULD	
ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)
1340	3.35	6.70	6.70	6.70	6.70
1350	3.37	6.75	6.74	6.75	6.74
1360	3.41	6.80	6.80	6.80	6.80
1370	3.43	6.85	6.84	6.85	6.84
1380	3.45	6.90	6.90	6.90	6.90
1390	3.49	6.95	6.93	6.95	6.93
1400	3.51	7.00	6.99	7.00	6.99
1410	3.52	7.05	7.05	7.05	7.05
1420	3.54	7.10	7.09	7.10	7.09
1430	3.58	7.15	7.15	7.15	7.15
1440	3.60	7.20	7.19	7.20	7.19
1450	3.62	7.25	7.25	7.25	7.25
1460	3.66	7.30	7.28	7.30	7.28
1470	3.68	7.35	7.34	7.35	7.34
1480	3.70	7.40	7.40	7.40	7.41
1490	3.72	7.45	7.44	7.45	7.46
1500	3.76	7.50	7.49	7.50	7.49
1510	3.78	7.55	7.53	7.55	7.53
1520	3.80	7.60	7.59	7.60	7.60
1530	3.82	7.65	7.63	7.65	7.63
1540	3.85	7.70	7.69	7.70	7.69
1550	3.87	7.75	7.73	7.75	7.73
1560	3.89	7.80	7.78	7.80	7.78
1570	3.93	7.85	7.84	7.85	7.85
1580	3.95	7.90	7.88	7.90	7.89
1590	3.97	7.95	7.94	7.95	7.94
1600	4.00	8.00	7.99	8.00	7.99
1610	4.03	8.05	8.05	8.05	8.05

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HV		LLD		ULD	
ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)
1620	4.05	8.10	8.08	8.10	8.08
1630	4.07	8.15	8.14	8.15	8.14
1640	4.10	8.20	8.18	8.20	8.18
1650	4.12	8.25	8.24	8.25	8.24
1660	4.14	8.30	8.30	8.30	8.30
1670	4.16	8.35	8.34	8.35	8.34
1680	4.20	8.40	8.40	8.40	8.40
1690	4.22	8.45	8.43	8.45	8.43
1700	4.24	8.50	8.50	8.50	8.50
1710	4.28	8.55	8.53	8.55	8.53
1720	4.30	8.60	8.59	8.60	8.59
1730	4.32	8.65	8.65	8.65	8.65
1740	4.34	8.70	8.69	8.70	8.69
1750	4.38	8.75	8.74	8.75	8.74
1760	4.40	8.80	8.79	8.80	8.79
1770	4.42	8.85	8.84	8.85	8.84
1780	4.44	8.90	8.88	8.90	8.88
1790	4.48	8.95	8.94	8.95	8.94
1800	4.50	9.00	8.94	9.00	8.94
1810	4.52	9.05	9.03	9.05	9.04
1820	4.54	9.10	9.09	9.10	9.10
1830	4.57	9.15	9.14	9.15	9.14
1840	4.59	9.20	9.21	9.20	9.21
1850	4.61	9.25	9.25	9.25	9.25
1860	4.65	9.30	9.30	9.30	9.30
1870	4.67	9.35	9.34	9.35	9.34
1880	4.69	9.40	9.40	9.40	9.40
1890	4.73	9.45	9.44	9.45	9.44

HV		LLD		ULD	
ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)	ค่าแรงดันจากหน้าปัด (V)	V_{out} (V)
1900	4.75	9.50	9.50	9.50	9.50
1910	4.77	9.55	9.55	9.55	9.55
1920	4.79	9.60	9.60	9.60	9.60
1930	4.83	9.65	9.66	9.65	9.66
1940	4.85	9.70	9.70	9.70	9.70
1950	4.87	9.75	9.75	9.75	9.75
1960	4.91	9.80	9.80	9.80	9.80
1970	4.92	9.85	9.85	9.85	9.85
1980	4.94	9.90	9.91	9.90	9.91
1990	4.96	9.95	9.95	9.95	9.95
2000	5.00	10.00	10.00	10.00	10.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

โปรแกรมนับรังสี

```
'*****************************************************************
'* Name    : Counter_NIM.BAS                                     *
'* Author  : Nuclear Technology  CHULALONGKORN                   *
'* Notice  : Copyright (c) 2006 [select VIEW...EDITOR OPTIONS]   *
'*         : All Rights Reserved                                 *
'* Date    : 11/10/2006                                         *
'* Version : 1.0                                                 *
'* Notes   :                                                     *
'*         :                                                     *
'*****************************************************************
include "modedefs.bas"
Define  OSC 20      'Set Xtal Frequency 20 MHz
'***Declare pins used for AS1100***'
   Load       var     PortB.1     'Enable or Disable AS1100 (Strobe input)
   Clk        var     PortB.2     'Clock input
   Din        var     PortB.3     'Data input 16 bit
'***Declare pins used for Pic16F877***'
   Gate_timer  var     PortD.3     'Receive clock from TIMER
   Count_in    var     PortC.0     'Receive number of count from SCA
   LED         var     PortB.5     'LED show status start or stop
   C_T         var     PortD.2     'Select counter
'***Declare pins for Button***'
   Stop_But    var     PortA.0     'Press to Stop counter
   Start_But   var     PortA.1     'Press to Start counter
   Reset_But   var     PortA.2     'Press to Reset counter
'***Declare Timer1 control register***'
   T1CKPS1     VAR     T1CON.5
   T1CKPS0     VAR     T1CON.4
   T1OSCEN     VAR     T1CON.3
   T1SYNC      VAR     T1CON.2
```

```
   TMR1CS      VAR     T1CON.1
   TMR1ON      VAR     T1CON.0
'***Declare Variablese sent data and display data***'
   Reg_Address var     word        'Pointer to the internal registers of the AS1100
   TxData      var     word        'Data placed in each register
   Position    var     byte        'Position of each LED display(1-4)
   Digit       var     byte        'Position of individual numbers within AS1100(0-3)
   Val_C       var     byte
   Val_C1      var     byte
   Val_C2      var     byte
'****Declare variable for data***'
   Value_count_L   var     word
   Value_count_H   var     word
'***Initialize the AS1100***'
   Reg_Address = $0B             'Scan Register
   TxData      = $07             'LED display 0-7
   gosub Sent_data               'Transfer Addres 8 bit and Data 8 bit to AS1100
   Reg_Address = $0A             'Luminace Register
   TxData      = $0F             'Value for brightness 31/32
   gosub Sent_data
   Reg_Address = $09             'BCD Decode register
   TxData      = $FF             'Decode for digits 0-7
   gosub Sent_data
   Reg_Address = $0F             'Display-Test register
   TxData      = $00             'Set to Zero = turns off test mode ; Set to one = turns on Test mode
(all segment is brightness)
   gosub Sent_data
   Reg_Address = $0C             'Switch shutdown or normal
   TxData      = $01             'Set to one = switch the display ON
   gosub Sent_data
'***Declare pins used and Register control***'
   ADCON1      =   %00000111             'Set PortA,E to digital port
```

```
   TRISA.0 = 1 : TRISA.1 = 1 : TRISA.2 = 1
   TRISB.1 = 0 : TRISB.2 = 0 : TRISB.3 = 0
   TRISD.2    =   1              'Select Counter or Counter/Timer
   TRISD.3    =   1              'Receive Clock time from TIMER pass Gate input
   TRISB.5    =   0              'LED show status start or stop
   TRISC.0    =   1              'Receive conut input from SCA
'*** Initial Timer1***'
   T1CKPS1    =   0      'Prescaler 1:1
   T1CKPS0    =   0      'Prescaler 1:1
   T1OSCEN    =   0      'Disable oscillator
   T1SYNC     =   1      'Enable mode asynchrone
   TMR1CS     =   1      'Enable Timer mode
   TMR1ON     =   0      '0 for stop timer1 , 1 for start timer1
   INTCON     = %00000000
   PIE1       = %00000000
'***MAIN PROGRAM COUNTER FOR NIM-BIN***'
Main :
   IF PortD.2 = 1 then goto Main_ct
   IF PortD.2 = 0 then goto Main_ct1
Main_ct: 'Counter with out timer control
      If Start_But  =   0   then
         TMR1H  = 0
         TMR1L  = 0
         Value_count_L =   0
         Value_count_H =   0
         high LED
         TMR1ON = 1
         goto Start_ct
      endif
      gosub Disp_BS
      goto Main
Start_ct:
```

```
 Value_count_L.lowbyte =  TMR1L
 Value_count_L.highbyte =  TMR1H
IF Value_count_L  >= 10000 then
        TMR1ON = 0
  Value_count_H  = Value_count_H + 1
   Value_count_L = 0
   TMR1H  = 0
   TMR1L  = 0
   TMR1on = 1
endif
iF Value_count_H = 0 then gosub Disp_ct1
IF Value_count_H >=1 then gosub Disp_ct3
if Stop_But = 0 then
   TMR1ON = 0
   low LED
   goto Loop_rs
endif
gosub Disp_ct2
goto Start_ct
'***Serial transfer of data from Pic16F877 to AS1100 and show data in 7-segments***
Sent_data:
   low load                          'Enable  AS1100
      shiftout  Din,Clk,Msbfirst,[Reg_Address,TxData]  'shift out the Register first,then the data
   high load                         'Disable AS1100
   return
'***Display value count rate digit 0-5***'
Disp_BS:    'Display value count rate digit 0-5 before start and reset
   Reg_Address =   $01
   TxData      =   0
   gosub Sent_data
   Reg_Address =   $02
   TxData      =   15
```

```
        gosub Sent_data
        Reg_Address =   $03
        TxData      =   15
        gosub Sent_data
        Reg_Address =   $04
        TxData      =   15
        gosub Sent_data
        Reg_Address =   $05
        TxData      =   15
        gosub Sent_data
        Reg_Address =   $06
        TxData      =   15
        gosub Sent_data
    return
Disp_ct1: 'Display value count rate < 9999  (Digit 0-3)
        for Position = 1 to 4 step 1
          Digit    =   Position - 1
          Val_C    =  Value_count_L dig Digit
          iF Value_count_L  < 10 and Position = 2 then Val_C = 15
          iF Value_count_L  < 100 and Position = 3 then Val_C = 15
          iF Value_count_L  < 1000 and Position = 4 then Val_C = 15
          Reg_Address = Position
          TxData      = Val_C
          gosub Sent_data
        Next Position
        Return
Disp_ct3: 'Display value count rate < 10000 (Digit 0-3)
         for Position = 1 to 4 step 1
          Digit     =   Position - 1
          Val_C1    = Value_count_L dig Digit
          Reg_Address = Position
          TxData      = Val_C1
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        gosub Sent_data
      Next Position
      Return
Disp_ct2: 'Display value count rate > 10000  (Digit 4-5)
      for Position = 5 to 6 step 1
        Digit    =   Position - 5
        Val_C2   = Value_count_H dig Digit
        iF Value_count_H < 1 and Position = 5 then Val_C2 = 15
        iF Value_count_H < 10 and Position = 6 then Val_C2 = 15
        Reg_Address = Position
        TxData      = Val_C2
        gosub Sent_data
      Next Position
      Return
Loop_rs:
      IF Reset_But = 0 then
        pause 200
        goto Main
      endif
      iF Value_count_h = 0 then gosub Disp_ct1
      IF Value_count_h >=1 then gosub Disp_ct3
      gosub Disp_ct2
      Goto Loop_rs
Main_ct1 : 'Counter control by Timer
      If Start_But  =   0   then
        TMR1H  = 0
        TMR1L  = 0
        Value_count_L =   0
        Value_count_H =   0
        high LED
        goto Main_ct2
      endif
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        gosub Disp_BS
        goto Main
Main_ct2 :
        iF Stop_But = 0 then
           low LED
           goto Main_ct1
        endif
        IF PortD.3 = 1 Then
           TMR1ON = 1
           goto Start_ct1
        endif
        gosub Disp_BS
        goto Main_ct2
Start_ct1:
         Value_count_L.lowbyte =  TMR1L
         Value_count_L.highbyte =  TMR1H
        IF Value_count_L  >= 10000 then
                TMR1ON = 0
          Value_count_H   = Value_count_H + 1
           Value_count_L  = 0
           TMR1H  = 0
           TMR1L  = 0
           TMR1on = 1
        endif
        iF Value_count_H = 0 then gosub Disp_ct1
        IF Value_count_H >=1 then gosub Disp_ct3
        if PortD.3 = 0 or Stop_But = 0 then
           TMR1ON = 0  : low LED
           goto Loop_rs
        endif
        gosub Disp_ct2
        goto Start_ct1
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.

โปรแกรมตั้งเวลานับรังสี

```
'*****************************************************************
'* Name    : Timer_NIM.BAS                                       *
'* Author  : Nuclear Technology  CHULALONGKORN                   *
'* Notice  : Copyright (c) 2006 [select VIEW...EDITOR OPTIONS]   *
'*         : All Rights Reserved                                 *
'* Date    : 9/11/2006                                           *
'* Version : 1.0                                                 *
'* Notes   :                                                     *
'*         :                                                     *
'*****************************************************************
include "modedefs.bas"
Define  OSC 20      'Set Xtal Frequency 20 MHz
'***Declare the bits of the various registers***'
   GIE     var INTCON.7          'Global interrrupt enable
   T0IE    var INTCON.5          'Timer0 overflow interrupt enalbe
   INTE    var INTCON.4          'RB0/INT External interrup enable
   T0IF    VAR INTCON.2          'Timer0 overflow intertupt flag
   INTF    var INTCON.1          'RB0/INT External interrup enable
'***Declare pins used for AS1100***'
   Load    var     PortB.1     'Enable or Disable AS1100 (Strobe input)
   Clk     var     PortB.2     'Clock input
   Din     var     PortB.3     'Data input 16 bit
'***Declare control pins of  DS1307***'
   SDA     var     PortC.4
   SCL     var     PortC.3
   SQW     var     PortB.0
'***Declare pins for Button***'
   Stop_But    var     PortA.1     'Press to Stop timer
   Start_But   var     PortA.2     'Press to Start timer
   Reset_But   var     PortA.0     'Press to Reset timer
```

```
    Up_But      var     PortA.5     'Press to Up number of timer
    Down_But    var     PortA.3     'Press to Down number of timer
    Select_t    var     PortD.1     'Seclect second or minute for Timer
    LED_Time    var     PortD.3
    Gate_Time   var     PortD.2
'***Declare Timer0 control register***'
    T0CS    var     OPTION_REG.5    'Timer0 clock source select
    T0SE    var     OPTION_REG.4    'Timer0 source edge select
    PSA     var     OPTION_REG.3    'Prescaler assignment
    PS2     var     OPTION_REG.2    'Prescaler rate select
    PS1     var     OPTION_REG.1    'Prescaler rate select
    PS0     var     OPTION_REG.0    'Prescaler rate select
'***Declare Variablese sent data and display data***'
    Reg_Address var     word        'Pointer to the internal registers of the AS1100
    TxData      var     word        'Data placed in each register
    Position    var     byte        'Position of each LED display(1-4)
    Digit       var     byte        'Position of individual numbers within AS1100(0-3)
    Val_Sec     var     byte
    Val_Min     var     byte
    Hz          var     word
    S           var     byte
    second      var     byte
    T_Min       var     byte
    T_Sec       var     byte
    T_Minute    var     byte
    DeT_Sec     var     byte
    DeT_Minute  var     byte
    Val_DeSec   var     byte
    Val_DeMin   var     byte
    I           var     byte
'***Declare variablese initial RCT1307***'
    RTCSec      var     byte        'Seconds (00-59)
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
    RTCMin      var     byte        'Minutes (00-59)
    RTCHour     var     byte        'Hours(1-12 ; 00-23)
    RTCDay      var     byte        'Day(Sunday , Monday,...)
    RTCDate     var     byte        'Date (1-31)
    RTCMonth    var     byte        'Month (1-12)
    RTCYear     var     byte        'Year (2000-2099)
    RTCCon      var     byte        'Control Register
'***Initialize the AS1100***'
    Reg_Address = $0B               'Scan Register
    TxData      = $07               'LED display 0-7
    gosub Sent_data                 'Transfer Addres 8 bit and Data 8 bit to AS1100
    Reg_Address = $0A               'Luminace Register
    TxData      = $0F               'Value for brightness 31/32
    gosub Sent_data
    Reg_Address = $09               'BCD Decode register
    TxData      = $FF               'Decode for digits 0-7
    gosub Sent_data
    Reg_Address = $0F               'Display-Test register
    TxData      = $00               'Set to Zero = turns off test mode ; Set to one = turns on Test mode
(all segment is brightness)
    gosub Sent_data
    Reg_Address = $0C               'Switch shutdown or normal
    TxData      = $01               'Set to one = switch the display ON
    gosub Sent_data
'***set interrupt TMR0 and RB0***'
    GIE = 0                     'Turn off globla intterrupt
    while GIE = 1 : GIE = 0 : wend   'Make sure they off
'***Declare pins used and Register control***'
    ADCON1      =   %00000111           'Set PortA,E to digital port
    TRISA.0 = 1 : TRISA.1 = 1 : TRISA.2 = 1 : TRISA.3 = 1 : TRISA.5 = 1
    TRISB.0 = 1 : TRISB.1 = 0 : TRISB.2 = 0 : TRISB.3 = 0
    TRISC.3 = 0 : TRISC.4 = 0
```

```
    TRISD.0 = 1 : TRISD.1 = 1 : TRISD.3 = 0 :TRISD.2 = 0
'***Start Program***'
Init_Interrupt :
    OPTION_REG = %10000000      'assign prescaler to TMR0
    INTCON     = %10010010      'Enable interrupt RB0
    S          = 0
    T_Min      = 0
    T_Sec      = 0
    T_Minute   = 0
    second = 0
    Hz = 0
    on interrupt goto int_timer  'Point to the tnterrupt handler
    Disable interrupt
'***Write data to RTC1307***'
WRITE_RTC:
    RTCSec      = $00       'Seconds preset to 00
    RTCMin      = $15       'Minutes preset to 15
    RTCHour     = $13       'Hours preset to 13'00
    RTCDay      = $01       'sunday
    RTCDate     = $08       'Date preset 12
    RTCMonth    = $07       'June
    RTCYear     = $04       'Year preset to 2004
    RTCCon      = %00010000  'Control preset to output 1 second 'Tick' on SQWpin(=1Hz)
    SCL = 1
    SDA = 0
    I2cwrite  SDA,SCL,$D0,$00,[RTCSec,RTCMin,RTCHour,RTCDay,RTCDate,_
    RTCMonth,RTCYear,RTCCon]
    pause 100
    SCL = 1
    SDA = 1
    goto Main
Main :
```

```
    gosub Disp_BS
    Low Gate_Time
    low LED_Time
    goto Select_Time
Select_Time :
    If Select_t = 1  then goto Select_Sec
    If Select_t = 0  then goto Select_Min
Select_Sec :
    If Select_t = 1 and PORTD.0 = 1 then
       if Up_But = 0 then
          pause 250
          T_Sec = T_Sec + 1
       endif
       if Down_But = 0 then
          pause 250
          T_Sec = T_Sec - 1
       endif
       If T_Sec >= 100 then
          pause 250
          T_Sec = 0
       endif
       if  T_Sec = 0 and Down_But = 0  then
          pause 250
          T_Sec = 99
       endif
       gosub  Disp_SetSec
       I = 00
       Button Start_But,0,255,200,I,1,Show
    endif
    goto Select_Time
Show :
       Hz = 0
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        S = 0
        second = 0
        high LED_Time
        goto SRT_TimeSec
Select_Min :
      If Select_t = 0 and PORTD.0 = 1 then
        if Up_But = 0 then
           pause 250
           T_Minute = T_Minute + 1
        endif
        if T_Minute = 0   and Down_But = 0 then
           pause 250
           T_Minute = 99
        endif
        if Down_But = 0 then
           pause 250
           T_Minute = T_Minute - 1
        endif
        If T_Minute >= 100 then
           pause 250
           T_Minute = 0
        endif
        gosub  Disp_SetMinute
        I = 00
        Button Start_But,0,255,200,I,1,Show1
      endif
      goto Select_Time
Show1 :
           Hz = 0
           S = 0
           second = 0
           T_Min = 0
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        high LED_Time
        goto SRT_TimeMinute
enable interrupt
SRT_TimeSec :
   DeT_Sec = T_Sec - S
   IF Stop_But = 0 then
      Low Gate_Time
      goto Reset_Time
   endif
   if DeT_Sec = 0 then
      Low Gate_Time
      gosub Disp_Sec1
      goto Reset_Time
   endif
   gosub Disp_Sec
   goto SRT_TimeSec
enable interrupt
SRT_TimeMinute :
   DeT_Minute = T_Minute - T_Min
   IF Stop_But = 0 then
      Low Gate_Time
      goto Reset_Time
   endif
   if DeT_Minute = 0 then
      Low Gate_Time
      gosub Disp_Min1
      goto Reset_Time
   endif
   gosub Disp_Min
   goto SRT_TimeMinute
'***Dispaly Timer***'
Disp_SetSec :
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
    for Position = 1 to 2 step 1
       Digit = Position - 1
       Val_Sec = T_Sec dig Digit
       if T_Sec < 10 and Position = 2 then Val_Sec = 15
       Reg_Address = Position
       TxData      = Val_Sec
       gosub Sent_data
    next Position
    return
Disp_SetMinute :
    for Position = 1 to 2 step 1
       Digit = Position - 1
       Val_Min = T_Minute dig Digit
       if T_Minute < 10  and Position = 2 then Val_Min = 15
       Reg_Address = Position
       TxData      = Val_Min
       gosub Sent_data
    next Position
    return
Disp_Sec :
     for Position = 1 to 2 step 1
       Digit = Position - 1
       Val_DeSec = DeT_Sec dig Digit
       if DeT_Sec < 10 and Position = 2 then  Val_DeSec = 15
       Reg_Address = Position
       TxData      =  Val_DeSec
       gosub Sent_data
    next Position
    return
Disp_Sec1 :
     for Position = 1 to 2 step 1
       Digit = Position - 1
```

```
        Val_DeSec = DeT_Sec dig Digit
        if DeT_Sec < 10 and Position = 2 then  Val_DeSec = 15
        Reg_Address = Position
        TxData     =  Val_DeSec
        gosub Sent_data
        pause 10
        Reg_Address = 1
        TxData     = 0
        gosub Sent_data
        Reg_Address = 2
        TxData     = 15
        gosub Sent_data
    next Position
    return
Disp_Min :
      for Position = 1 to 2 step 1
        Digit = Position - 1
        Val_DeMin = DET_Minute dig Digit
        if DET_Minute < 10 and Position = 2 then  Val_DeMin = 15
        Reg_Address = Position
        TxData     =  Val_DeMin
        gosub Sent_data
    next Position
    return
Disp_Min1 :
      for Position = 1 to 2 step 1
        Digit = Position - 1
        Val_DeMin = DET_Minute dig Digit
        if DET_Minute < 10 and Position = 2 then  Val_DeMin = 15
        Reg_Address = Position
        TxData     =  Val_DeMin
        gosub Sent_data
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        pause 10
        Reg_Address = 1
        TxData      = 0
        gosub Sent_data
        Reg_Address = 2
        TxData      = 15
        gosub Sent_data
    next Position
    return
'***Serial transfer of data from Pic16F877 to AS1100 and show data in 7-segments***
Sent_data:
        low load                                    'Enable  AS1100
            shiftout  Din,Clk,Msbfirst,[Reg_Address,TxData]  'shift out the Register first,then the data
        high load                                   'Disable AS1100
        return
'***Display value count rate digit 0-1***'
Disp_BS:    'Display value count rate digit 0-1 before start and reset
        Reg_Address =   $01
        TxData      =   0
        gosub Sent_data
        Reg_Address =   $02
        TxData      =   15
        gosub Sent_data
    return
'***Reset Timer***'
Reset_Time :
    low LED_Time
    if Reset_But = 0 then
        pause 200
        goto Select_Time
    endif
    goto Reset_Time
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
Disable interrupt
INT_TIMER:
  Hz = Hz + 1
  if Hz = 1 then
     S = 0
     second = 0
     T_Min = 0
     High Gate_Time
  endif
  IF Hz > 1  then
     S = S + 1
     second = second + 1
  endif
  if second >= 60 then
     T_Min = T_Min + 1
     second = 0
     if T_Min >=100 then T_Min = 0
  endif
  INTCON.1 = 0
  resume
  enable interrupt
  end
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

คุณสมบัติสาย Coaxial Cable

Electronics Coaxial Cable

RG 174/U Type

Product Construction:

Conductors:
- Copper per ASTM B-3
- Copper-clad steel per ASTM B-869

Insulation/Core:
- Solid polyethylene designs

Shield:
- Tinned or bare copper braid

Jacket:
- Premium PVC compound

Packaging:
- Please contact Customer Service for packaging and color options

Applications:
- Suitable for RF signal transmission
- MATV
- CATV
- CCTV
- See Coax Connector Cross Reference, pages 188-195

CATALOG NUMBER	AWG SIZE NOM. DCR	INSULATION MATERIAL		SHIELD COVERAGE NOM SHLD DCR	NOMINAL O.D.		NOMINAL CAPACITANCE		VELOCITY OF PROPAGATION, %	NOMINAL IMPEDANCE, Ω	NOMINAL ATTENUATION	
		INCHES	mm		INCHES	mm	pF/ft	pF/m			MHZ	dB/100'
C1156 RG 174/U Type UL 1354	26 Ga. (7x34) Copper- Clad Steel 97.0 Ω/M	Solid Polyethylene 0.060	1.52	95% Tinned Copper Braid 10.3 Ω/M	Black PVC 0.103	2.62	30.80	101.05	66	50	1 10 50 100 200 500 1000	1.90 3.30 5.80 8.40 12.50 21.21 34.00

RG 213/U Type

CATALOG NUMBER	AWG SIZE NOM. DCR	INSULATION MATERIAL		SHIELD COVERAGE NOM SHLD DCR	NOMINAL O.D.		NOMINAL CAPACITANCE		VELOCITY OF PROPAGATION, %	NOMINAL IMPEDANCE, Ω	NOMINAL ATTENUATION	
		INCHES	mm		INCHES	mm	pF/ft	pF/m			MHZ	dB/100'
C1176 RG 213/U Type MIL-C-17G Type UL 1354	13 Ga. (7x21) Bare Copper 1.7 Ω/M	Solid Polyethylene 0.285	7.24	95% Bare Copper Braid 1.2 Ω/M	Black PVC 0.405	10.29	30.80	101.05	66	50	1 10 50 100 200 500 1000	0.18 0.62 1.50 2.10 3.00 5.03 8.20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีระยุทธ เพลิดพริ้ง เกิดวันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เมื่อปีการศึกษา 2543 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรบัณฑิต (ทางการสอน) คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และในปีการศึกษา 2547 ได้เข้าศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิตที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย