การพัฒนาระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาที่ระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอสผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

นายวสันต์ วงศ์สิโรจน์กุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

DEVELOPMENT OF A GPS INTERFACED GAMMA MONITORING SYSTEM VIA MOBILE NETWORK

Mr. Wasan Wongsirojkul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาที่ระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอสผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่
โดย	นายวสันต์ วงศ์สิโรจน์กุล
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์เดโช ทองอร่าม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์เดโช ทองอร่าม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ศรินรัตน์ วงษ์ลี)

วสันต์ วงศ์สิโรจน์กุล : การพัฒนาระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาที่ระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอสผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่. (DEVELOPMENT OF A GPS INTERFACED GAMMA MONITORING SYSTEM VIA MOBILE NETWORK) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : เดโช ทองอร่าม, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ.อรรถพร ภัทรสุมันต์, 125 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบวัดรังสีขนาดเล็กที่สามารถระบุตำแหน่งการวัดได้ด้วยจีพีเอส และสามารถสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยได้ออกแบบระบบให้รองรับการจัดระบบวัดรังสีทั้งแบบนับรวมและนับแยกพลังงานที่ประกอบด้วย วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง วงจรขยายสัญญาณพัลส์ วงจรวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว วงจรนับรังสี วงจรตั้งเวลา และวงจรเรตมิเตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุงในอนาคต ดังนั้นในการพัฒนาวงจรเหล่านี้จึงได้เลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่หาได้ภายในประเทศเพื่อความประหยัดและหาอุปกรณ์ทดแทนได้ง่าย

ผลการทดลองจัดระบบวัดรังสีแบบนับรวมพบว่าสามารถนับรังสีที่อัตรานับสูงสุดได้ถึง 150 กิโลเคานต์ต่อวินาทีในส่วนวงจรนับรังสี โดยในส่วนวงจรเรตมิเตอร์สามารถวัดได้สูงสุดที่ 100 กิโลเคานต์ต่อวินาที สำหรับการตั้งเวลานับรังสีสามารถทำได้ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 99 นาที ในขณะที่การจัดระบบวัดรังสีแบบแยกนับเฉพาะพลังงานนั้นมีผลทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นของสเกล LLD และ ΔE ของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยวพบว่ามีค่าเป็น 0.20 และ 0.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในการทดสอบการหาตำแหน่งโดยจีพีเอสพบว่าสามารถระบุตำแหน่งได้โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 เมตร และจากการทดลองวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของ Cs-137 ด้วยหัววัดรังสีชนิด NaI(Tl) ขนาด 2 นิ้ว พบว่าให้ผลเป็นที่พอใจสำหรับการใช้งานด้านการเรียนการสอนและงานวิจัยพื้นฐาน ด้วยค่าความเป็นเชิงเส้นของการปรับเทียบพลังงานเป็น 0.9996

ภาควิชา	วิศวกรรมนิวเคลียร์	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ปีการศึกษา	2555	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

5270489321 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : GPS /GSM /GAMMA MONITORING

WASAN WONGSIROJKUL : DEVELOPMENT OF A GPS INTERFACED GAMMA MONITORING SYSTEM VIA MOBILE NETWORK. ADVISOR : DECHO THONG-ARAM, CO-ADVISOR : ASST. PROF. ATTAPORN PATTARASUMUNT, 125 pp.

This research was aimed to develop a portable type radiation measuring system with a GPS locator that communicates result via mobile network. The system was designed to support both integral and differential counting and consists of low voltage power supply, high voltage power supply, pulse amplifier, single channel analyzer, scaler, timer and ratemeter. For ease of future maintenance, materials and devices were locally available and economical.

The test results indicated that the maximum counts for integral counting of the scaler was found to be 150 kcps and ratemeter was found to be 100 kcps. The counting time could be set from 1 second to 99 minutes. The nonlinearity test of LLD and ΔE of the single channel analyzer in differential counting system was found to be 0.20% and 0.21% respectively. GPS receiver of system can achieve accuracies of approximately 10 meters. The energy spectrum of Cs-137 obtained by using a 2”x 2” NaI(Tl) scintillator detector was very satisfactory with energy calibration linearity of 0.9996. The performance of this system was adequate for education and basic research.

Department: NUCLEAR ENGNEERING Student’s Signature .....

Field of Study: NUCLEAR TECHNOLOGY Advisor’s Signature .....

Academic Year: 2012 Co-advisor’s Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญนิวเคลียร์เทคโนโลยีสำหรับวิเคราะห์และทดสอบวัสดุ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์เดโช ทองอร่าม ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้ต่าง ๆ พร้อมทั้งให้คำปรึกษา และชี้แนะในการดำเนินการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ประสิทธิประสาทความรู้ทางวิชาการทางนิวเคลียร์ให้แก่ลูกศิษย์

ขอขอบคุณพี่ ๆ และ น้อง ๆ ในศูนย์เชี่ยวชาญฯ และในภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ และช่วยเป็นกำลังใจให้กันและกันในช่วงเวลาการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายสุดนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรัก ให้การอบรมสั่งสอน ให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนและวิธีในการดำเนินงานวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

บทที่ 2 หลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบที่พัฒนา 5

2.1 ประเภทของรังสี 5

2.1.1 รังสีที่ก่อให้เกิดไอออน 5

2.1.2 รังสีที่ไม่ก่อให้เกิดไอออน 5

2.2 หน่วยวัดปริมาณรังสี 5

2.2.1 ปริมาณกัมมันตภาพรังสี 6

2.2.2 ปริมาณเอกซ์โพเชอร์ 6

2.2.3 ปริมาณรังสีดูดกลืน 6

2.2.4 ปริมาณรังสีสมมูล 7

2.3 ส่วนประกอบระบบวัดรังสี 8

2.3.1 ส่วนสร้างข้อมูลการวัดรังสี 9

2.3.2 ส่วนจัดการข้อมูลวัดรังสี 9

2.3.3 ส่วนประมวลผลข้อมูลและส่วนแสดงผล 9

2.4 รูปแบบการจัดระบบวัดรังสี 9

2.4.1 ระบบวัดรังสีแบบนับรวม 9

หน้า

2.4.2 ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน 11
2.4.3 ระบบนับรังสีแบบโคอินซิเดนซ์ 12
2.5 ระบบจีพีเอส 13
2.5.1 สัญญาณดาวเทียมที่ใช้กับ GPS 15
2.5.2 โปรโตคอล NMEA-0183 15
2.6 ระบบจีเอสเอ็ม 16
2.6.1 โมดูลจีเอสเอ็ม 16
2.6.2 ระบบรับส่งข้อความสั้น 16
2.6.3 คำสั่งเอที 16
2.7 ระบบเชื่อมโยงสัญญาณแบบ RS 232 17
2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 18
บทที่ 3 การพัฒนาระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาที่ระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอสผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 23
3.1 แนวคิดในการพัฒนาระบบ 23
3.1.1 องค์ประกอบของระบบที่พัฒนา 23
3.1.2 ลักษณะของระบบที่พัฒนา 24
3.2 การพัฒนาวงจรต่าง ๆ ของระบบวัดรังสี 24
3.2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ 24
3.2.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง 27
3.2.3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ 30
3.2.4 วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดียว 33
3.2.5 วงจรนับรังสี และตั้งเวลา 36
3.2.6 วงจรเรตมิเตอร์ 44
3.2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ และโมดูล GPS 46
3.2.8 การพัฒนาโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ 49
3.2.9 เครื่องวัดรังสีที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ 51
3.2.10 โมดูล GPRS สำหรับระบบเก็บข้อมูลกลางที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ 52
บทที่ 4 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องวัดรังสี 53
4.1 การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ 53

หน้า

4.2 การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง 57
4.3 การทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์ 62
4.4 การทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว 68
4.5 การทดสอบวงจรนับรังสี และตั้งเวลาส่วนนับรังสี 72
4.6 การทดสอบวงจรนับรังสี และตั้งเวลาตั้งเวลา 77
4.7 การทดสอบวงจรเรตมิเตอร์ 78
4.8 การทดสอบประสิทธิการระบุตำแหน่งของโมดูล GPS 82
4.9 การทดสอบการวัดแบบนับแยกพลังงาน 86
5.สรุปผลการวิจัย 89
5.1 สรุปผลการวิจัย 89
5.2 ข้อเสนอแนะ 91
รายการอ้างอิง 92
ภาคผนวก 93
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 125

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่า Radiation weighting factor (W_R)	7
4.1	ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดของแรงดันไฟฟ้าสูง	58
4.2	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับแรงดันไฟฟ้า	60
4.3	ผลการทดสอบอัตราการขยายสัญญาณ 1000 เท่า	64
4.4	ผลการทดสอบอัตราการขยายสัญญาณ 500 เท่า	65
4.5	ผลการทดสอบอัตราการขยายสัญญาณ 100 เท่า	66
4.6	ผลค่าคงตัวของเวลาปรับแต่งรูปสัญญาณที่อัตราขยาย 100, 500 และ 1000เท่า	66
4.7	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกล LLD	70
4.8	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกล Window (ΔE)	71
4.9	ผลการนับสัญญาณพัลส์ต่อค่าเวลาต่ำสุดและสูงสุดในหน่วยวินาทีและนาที	73
4.10	ผลการทดสอบการนับสัญญาณพัลส์ กับเวลา [นับ] ที่ความถี่ต่าง ๆ	73
4.11	แสดงผลการนับสัญญาณพัลส์จากเครื่องนับสัญญาณพัลส์ที่ สัญญาณพัลส์ความถี่ตั้งแต่ 0 ถึง 150,000 Hz	75
4.12	ผลการทดสอบการนับสัญญาณนาฬิกาต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง	78
4.13	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์	79
4.14	แสดงค่าพิกัดและรายละเอียดอื่นของ GPS บริเวณน้ำพุลานพระรูปด้านคณะวิทยาศาสตร์	83
4.15	แสดงค่าพิกัดและรายละเอียดอื่นของ GPS บริเวณหน้าพระรูป	84
4.16	แสดงค่าพิกัดและรายละเอียดอื่นของ GPS บริเวณน้ำพุลานพระรูปด้านคณะศิลปกรรมศาสตร์	84
4.17	แสดงค่าพิกัดและรายละเอียดอื่นของ GPS บริเวณเสาธง	85
ก.1	คุณสมบัติของเครื่องวัดรังสีที่พัฒนาขึ้น	96

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แผนภาพของระบบวัดรังสีทั่วไป	8
2.2	แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแบบนับรวม	10
2.3	แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน	11
2.4	สเปกตรัมของการวิเคราะห์พลังงาน	12
2.5	แผนภาพการจัดระบบวัดแบบโคอินซิเดนซ์	13
2.6	ตัวอย่างของการส่งข้อมูลรหัส ASCII ตัวอักษร K	17
2.7	แผนภาพการทำงานพื้นฐานของ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์	18
2.8	ไดอะแกรม PIC 18F4550 กับ USB Peripheral และส่วนเสริม (Option)	22
3.1	แผนภาพของระบบวัดรังสีแกมมาที่สามารถระบุพิกัด	23
3.2	แผนภาพของเก็บข้อมูลกลาง	24
3.3	แผนภาพการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	25
3.4	วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	26
3.5	แผนภาพการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง	27
3.6	แผ่นพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่พัฒนาขึ้น	28
3.7	วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง	29
3.8	แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรขยายสัญญาณพัลส์	30
3.9	แผ่นพิมพ์วงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น	31
3.10	วงจรขยายสัญญาณพัลส์	32
3.11	แผนภาพการทำงานของวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว	33
3.12	วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว	34
3.13	แผ่นพิมพ์วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวที่พัฒนาขึ้น	36
3.14	แผนภาพการทำงานของวงจรนับรังสี	37
3.15	โฟลวชาร์ตการทำงานของโปรแกรมนับรังสี	38
3.16	โฟลวชาร์ตการทำงานของโปรแกรมตั้งเวลา	40
3.17	โฟลวชาร์ตการทำงานโปรแกรมย่อยของส่วนตั้งเวลา	41
3.18	วงจรนับรังสี และตั้งเวลาที่พัฒนาขึ้น	42
3.19	วงจรส่วนแสดงผลที่พัฒนาขึ้น	43
3.20	แผนภาพการทำงานของวงจรเรตมิเตอร์	44

ภาพที่ หน้า

3.21 วงจรเรตมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้น 45
3.22 แผ่นพิมพ์วงจรเรตมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้น 46
3.23 ภาพการติดต่อเชื่อมโยงข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ 46
3.24 แผ่นพิมพ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ 48
3.25 แผ่นพิมพ์โมดูล GPS 48
3.26 หน้าต่างหลักของโปรแกรม 49
3.27 หน้าต่างย่อยภายในหน้าต่างหลัก 50
3.28 หน้าต่างแสดงผลข้อมูลจากระบบวัด, ข้อมูลทางสถิติ และพิกัดตำแหน่ง 50
3.29 หน้าปัดด้านหน้าของเครื่อง 51
3.30 หน้าปัดด้านหลังของเครื่อง 51
3.31 หน้าปัดด้านหน้าของโมดูล 52
3.32 หน้าปัดด้านหลังของโมดูล 52
3.33 ระบบเก็บข้อมูลกลางอันประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ และโมดูล GPRS 52
4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ 53
4.2 ภาพแสดง Ripple ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า +5 V 54
4.3 ภาพแสดง Ripple ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า +12 V 54
4.4 ภาพแสดง Ripple ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า -12 V 55
4.5 ภาพแสดง Ripple ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า +12 V สำหรับ High Voltage Supply 55
4.6 ภาพแสดง Ripple ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า +24 V 56
4.7 ภาพแสดง Ripple ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า -24 V 56
4.8 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง 58
4.9 กราฟความเป็นเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าที่ความต้านทาน 1 MΩ 59
4.10 กราฟความเป็นเชิงเส้นของกระแสที่ความต้านทาน 1 MΩ 59
4.11 กราฟความสัมพันธ์ของสเกลบนหน้าปัด
และแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง 60
4.12 Ripple Voltage ของสัญญาณไฟฟ้าแรงดันสูงขณะไม่มีโหลด 61
4.13 Ripple Voltage ของสัญญาณไฟฟ้าแรงดันสูงขณะมีโหลด 61
4.14 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์ 62
4.15 รูปสัญญาณพัลส์อินพุตลบและสัญญาณพัลส์เอาท์พุต 63

ภาพที่ หน้า

4.16 รูปสัญญาณพัลส์อินพุตบวกและสัญญาณพัลส์เอาท์พุต 64
4.17 กราฟเปรียบเทียบความสูงสัญญาณพัลส์ Input กับอัตราการขยายสัญญาณ (Av) ที่ Coarse gain= 1000 65
4.18 กราฟเปรียบเทียบความสูงสัญญาณพัลส์ Input กับอัตราการขยายสัญญาณ (Av) ที่ Coarse gain= 500 65
4.19 กราฟเปรียบเทียบความสูงสัญญาณพัลส์ Input กับอัตราการขยายสัญญาณ (Av) ที่ Coarse gain= 100 66
4.20 รูปสัญญาณพัลส์เอาท์พุตที่อัตราขยาย 100 เท่า 67
4.21 รูปสัญญาณพัลส์เอาท์พุตที่อัตราขยาย 500 เท่า 67
4.22 รูปสัญญาณพัลส์เอาท์พุตที่อัตราขยาย 1000 เท่า 68
4.23 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว 69
4.24 รูปสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ขอบขาลงของสัญญาณพัลส์ 70
4.25 กราฟความเป็นเชิงเส้นของสเกลแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง LLD และ Window (ΔE) 71
4.26 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรนับรังสี 72
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์การนับสัญญาณพัลส์ กับเวลา [นับ] ที่ความถี่ 40 Hz 74
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์การนับสัญญาณพัลส์ กับเวลา [นับ] ที่ความถี่ 2 kHz 74
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์การนับสัญญาณพัลส์ กับเวลา [นับ] ที่ความถี่ 5 kHz 75
4.30 แสดงผลการนับสัญญาณพัลส์เฉลี่ยสัญญาณพัลส์ความถี่ต่าง ๆ 76
4.31 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรตั้งเวลา 77
4.32 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรเรตมิเตอร์ 79
4.33 กราฟความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ ที่ได้จากการอ่าน Analog Meterที่ Range × 1 80
4.34 กราฟความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ ที่ได้จากการอ่าน Analog Meter ที่ Range × 10 80
4.35 กราฟความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ ที่ได้จากการอ่าน Analog Meterที่ Range × 100 81
4.36 กราฟความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ ที่ได้จากการอ่าน Analog Meterที่ Range × 1000 81
4.37 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบโมดูล GPS 83

ภาพที่ หน้า

4.38 ภาพแผนที่โดย Bing Map ที่ทำการระบุพิกัดที่ทำการตรวจวัด 85
4.39 ภาพแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมโดย Bing Map ที่ทำการระบุพิกัดที่ทำการตรวจวัด 86
4.40 แผนภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน 87
4.41 สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Cs-137 87
ก.1 แผนภาพแสดงรายละเอียดหน้าปัด 94
ก.2 แผนภาพแสดงรายละเอียดด้านหลังเครื่อง 95

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ

การมีอยู่ของรังสีต่าง ๆ ในธรรมชาติถือเป็นเรื่องปกติ เนื่องจากสสารหลายชนิดในธรรมชาติมีองค์ประกอบของสารกัมมันตรังสี ซึ่งจากผลการสำรวจปริมาณรังสีที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ โดยทั่วไปแล้วพบว่ามีปริมาณรังสีอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แต่ปัจจุบันมนุษย์รู้จักการนำเทคโนโลยีทางนิวเคลียร์มาใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน ได้แก่ การแพทย์ อุตสาหกรรม และการศึกษาค้นคว้าวิจัย จึงส่งผลให้มีการนำสารรังสีซึ่งเป็นต้นกำเนิดของรังสีแอลฟา บีตา แกมมา และเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ เข้ามาใช้งานอย่างกว้างขวาง ทำให้มีความเป็นไปได้สูงที่สารรังสีเหล่านี้จะแพร่กระจ่าย ออกสู่แหล่งธรรมชาติจนอาจก่อให้เกิดมีปริมาณรังสีในธรรมชาติสูงมากขึ้นจนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม และเนื่องจากรังสีที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์นั้นไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอีกทั้งยังไม่สามารถใช้ประสาทสัมผัสรับรู้ถึงปริมาณของรังสีที่มีการแพร่กระจายอยู่ได้ (ยกเว้นในกรณีได้รับรังสีแรงมาก ๆ อาจรู้สึกถึงความร้อน) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคอยเฝ้าระวังในเรื่องการแพร่กระจายของสารรังสีในสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้นเพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้กับประชาชนในภายหลัง

การเฝ้าระวังการแพร่กระจายของสารรังสีในสิ่งแวดล้อมเพื่อป้องกันอันตรายให้กับประชาชนทั้งประเทศเป็นเรื่องที่ยากลำบากมากเนื่องจากจำนวนประชาชนและขนาดพื้นที่ในประเทศ อีกทั้งประชาชนส่วนใหญ่ยังไม่ค่อยมีความรู้เกี่ยวกับเรื่องรังสี ส่วนผู้ที่มีความรู้ด้านนิวเคลียร์ก็มีไม่เพียงพอ ทำให้การจะเฝ้าระวังการแพร่กระจายสารรังสีในสิ่งแวดล้อมเพื่อความปลอดภัยกับประชาชนให้ครอบคลุมทั้งประเทศต้องอาศัยระบบเฝ้าระวังการแพร่กระจายสารรังสีในสิ่งแวดล้อมที่ทำงานได้อย่างอัตโนมัติ และควรมีระบบเฝ้าระวังนี้ในหลาย ๆ ตำแหน่งภายในประเทศ สำหรับหน่วยงานในประเทศไทยที่คอยเฝ้าระวังในเรื่องระดับรังสีในสิ่งแวดล้อมคือสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ซึ่งใช้ระบบวัดรังสีแกมมาในอากาศที่ซื้อมาจากต่างประเทศที่ทำงานอัตโนมัติ และจะส่งข้อมูลการวัดกลับมายังสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ระบบนี้ถูกติดตั้งตามภูมิภาคต่าง ๆ ในประเทศไทยจำนวน 8 ตำแหน่ง ใช้งานแล้วอยู่ 5 ตำแหน่ง และอยู่ระหว่างการติดตั้งอีก 3 ตำแหน่ง เนื่องจากระบบวัดของต่างประเทศมีราคาสูงทำให้สามารถเฝ้าระวังได้ที่เพียง 8 ตำแหน่งเท่านั้น

จึงมีแนวคิดที่จะทำการพัฒนาระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาที่ระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอสผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ทำงานได้โดยอาศัยคำสั่งควบคุมจากผู้ใช้ในระยะไกล นอกจากนี้ยังสามารถส่งข้อมูลของปริมาณรังสีที่วัดได้พร้อมพิกัดทางภูมิศาสตร์ของตำแหน่งที่วัดด้วยระบบจีพีเอสผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งนอกจากจะใช้สำหรับเฝ้าระวังการแพร่กระจายสารรังสีในสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังสามารถใช้ในการติดตามปริมาณรังสีสำหรับการศึกษาวิจัยทางด้านนิวเคลียร์และสำหรับประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม โดยสามารถที่จะใช้เป็นระบบวัดรังสีที่แสดงผลจากส่วนแสดงผลที่สามารถติดตั้งเพิ่มเติมได้ที่ระบบวัด และทำงานได้ด้วยการควบคุมผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับการสื่อสารข้อมูลกับผู้ใช้ จึงทำให้จะเกิดความสะดวกในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาที่ระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอสผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ออกแบบ และสร้างระบบวัดรังสีแกมมา

1.3.2 ออกแบบสร้างระบบรับส่งข้อมูลจากระบบวัดรังสีและจีพีเอสผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังระบบเก็บข้อมูลกลาง

1.3.3 พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานและจัดการข้อมูลจากระบบวัดรังสีบนคอมพิวเตอร์

1.3.4 ทดสอบการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ออกแบบและสร้างระบบรับค่าข้อมูล (ปริมาณรังสี และพิกัดทางภูมิศาสตร์) ระบบควบคุมระบบวัดรังสี ระบบแสดงผล และระบบรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

1.4.3 สร้างระบบวัดรังสี อันประกอบไปด้วย วงจรจ่ายไฟฟ้า (Power supply) วงจรขยายสัญญาณพัลส์ (Pulse amplifier) เป็นต้น

1.4.4 พัฒนาโปรแกรมที่สามารถรับค่าข้อมูลที่ส่งมาจากระบบวัดมาเก็บในสื่อบันทึกข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ และสามารถเรียกข้อมูลที่ถูกเก็บไปแล้วขึ้นมาแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ได้

1.4.5 ทดสอบประสิทธิภาพการวัดรังสีของระบบที่พัฒนาขึ้น

1.4.6 สรุปผลงานวิจัย และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาที่ระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอสผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปี พ.ศ. 2543 นายสุทธิพงษ์ ชุ่มขุนทด ทำการพัฒนาระบบวัดรังสีที่วิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานแบบช่องเดี่ยว ที่มีความสามารถควบคุมระยะไกลผ่านทางโทรศัพท์ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทำหน้าที่ควบคุมระบบวัดโดยระบบวัดอาศัยไมโครคอนโทรเลอร์ 8052 ในการควบคุมการทำงานของระบบวัดซึ่งทำงานในลักษณะ SCA sweep mode, การแสดงผลบนจอกราฟฟิกความละเอียด 128×64 พิกเซลที่ติดตั้งกับระบบวัด และการควบคุมระยะไกลโดยอาศัยโมดูล ในการสื่อสารผ่านทางเครือข่ายโทรศัพท์

2. ปี พ.ศ. 2547 นางสาวสิริยาภรณ์ แสงอรุณ ทำการพัฒนาระบบวัดรังสีแบบพกพาสำหรับสำรวจปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อมโดยมีระบบจีพีเอสที่สามารถระบุตำแหน่งติดตั้งในระบบด้วย โดยที่ระบบวัดรังสีอาศัยการทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์พกพาชนิด Palm ซึ่งใช้ในการสื่อสารกับผู้ใช้โดย Palm จะติดต่อผ่าน UART กับระบบที่พัฒนาขึ้น ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย ส่วนขยายสัญญาณ ส่วนวิเคราะห์สัญญาณช่องเดี่ยว ส่วนเรตมิเตอร์ ส่วนแปลงสัญญาณ analog เป็น digital

3. ปี พ.ศ. 2549 นายกิตติศักดิ์ ชัยสรรค์ ทำงานวิจัยในเรื่อง การพัฒนาระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยระบบประกอบด้วย สถานีลูกข่าย ฯ และสถานีแม่ข่าย โดยสถานีลูกข่ายประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล, survey meter และโทรศัพท์มือถือ ทำงานร่วมกันในการตรวจวัดรังสี และทำการวิเคราะห์ปริมาณรังสีรวมทั้งรายงานการตรวจวัดปริมาณรังสีหากเกินเกณฑ์ที่กำหนดก็จะทำการแจ้งเตือน ในส่วนสถานีแม่ข่ายมีหน้าที่รับข้อมูลจากลูกข่าย ฯ ผ่านทางเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในรูปแบบข้อความสั้น

4. ปี พ.ศ. 2551 Ahmed Alshamali ทำงานวิจัยในเรื่อง GSM based remote ionized radiation monitoring system ซึ่งเป็นระบบที่แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เฝ้าระวังรังสีประกอบด้วยระบบวัดรังสี ไมโครคอนโทรลเลอร์ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และ GSM module อีกส่วนหนึ่งเป็นระบบ สถานีกลางจะค่อยรับค่าที่ส่งออกมาจากระบบเฝ้าระวัง จะเก็บไว้ในแบบ SQL-database โดยจะทำไว้ให้สามารถรับข้อมูลจากระบบเฝ้าระวังได้หลาย ๆ ตัว

5. ปี พ.ศ. 2553 Cornel Talpalariu และคณะ ทำวิจัยในเรื่อง Radiations Monitoring System with Miniature Radiometers Based on Semiconductor Detector ซึ่งเป็นระบบเฝ้าระวังโดยระบบแบ่งเป็นส่วน portable station และส่วน central computerized console สำหรับ portable station เป็นส่วนวัดปริมาณรังสีซึ่งใช้หัววัด silicon PIN diodeในระบบซึ่งจะได้ประสิทธิภาพการวัดที่สูง ส่วนนี้จะส่งข้อมูลการวัดไปยัง central computerized console ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่โดย SMS ซึ่ง portable station จะประกอบไปด้วยโมดูล GPS, โมดูล GPRS, Linux computer, โมดูล radiation และ ALARMS ส่วน central computerized console ทำหน้าที่รับข้อมูลมาจาก portable station ทั้ง 25 station

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประเภทของรังสี

รังสี (Radiation) เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่สามารถแผ่กระจายจากแหล่งกำเนิดออกไปในตัวกลางใด ๆ รวมทั้งอากาศได้โดยจะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ รังสีแกมมา (γ-rays) รังสีเอกซ์ (X-rays) คลื่นไมโครเวฟ รังสีคอสมิก รังสีความร้อน และอยู่ในรูปของอนุภาคที่มีความเร็วสูง ได้แก่ รังสีแอลฟา (α-rays) รังสีบีตา (β-rays) อนุภาคนิวตรอน (Neutron) เป็นต้น สามารถจำแนกรังสีได้ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.1.1 รังสีที่ก่อให้เกิดไอออน (Ionizing radiation) คือ รังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุในตัวกลางที่รังสีเคลื่อนที่ผ่าน ได้แก่ รังสีแอลฟา รังสีบีตา รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ และนิวตรอน เป็นต้น

2.1.2 รังสีที่ไม่ก่อให้เกิดไอออน (Non-ionizing radiation) คือ รังสีที่ไม่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุในตัวกลางที่รังสีเคลื่อนที่ผ่าน ได้แก่ รังสีอัลตราไวโอเลต คลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น

ในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีนั้น ความปลอดภัยเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงอยู่เสมอไม่ว่าผู้ปฏิบัติงานจะทำงานเกี่ยวข้องกับรังสีชนิดใดก็ตาม การประเมินอันตรายจากรังสีมีหลักเกณฑ์ในการทำงาน คือ “ในการปฏิบัติงานทางรังสีใด ๆ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องได้รับรังสีไม่เกินระดับปริมาณรังสีที่ยอมรับได้ (Dose limits)” ระดับปริมาณรังสีที่ยอมให้ผู้ปฏิบัติงานรับได้ถูกกำหนดขึ้นโดยคณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยการป้องกันอันตรายจากรังสีหรือ ICRP (International Commission on Radiological Protection) ซึ่งคณะกรรมาธิการนี้จะดูแลปรับปรุงข้อกำหนดเกี่ยวกับระดับรังสีที่ยอมให้รับได้ตามความเจริญก้าวหน้าทางวิชาการอยู่เสมอ ทั้งนี้ได้มีการกำหนดระดับปริมาณรังสีไว้สำหรับบุคคลสองกลุ่ม กลุ่มแรก คือ ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับรังสี กลุ่มที่สอง คือ ประชาชนทั่วไป ในทางปฏิบัตินั้นผู้ปฏิบัติงานทางรังสีจะต้องยึดหลักในการป้องกันอันตรายจากรังสีเพื่อควบคุมให้ตนเองและผู้อื่นได้รับปริมาณรังสีน้อยที่สุดที่จะเป็นไปได้

2.2 หน่วยวัดปริมาณรังสี [1]

เมื่อร่างกายของมนุษย์ได้รับรังสีที่มีพลังงานสูงพอจะทำให้เซลล์ภายในร่างกายเกิดการไอออไนซ์ เป็นผลให้อะตอมหรือโมเลกุลของเซลล์ถูกทำลาย และอาจทำให้เกิดอาการผิดปกติภายในร่างกาย จึงได้มีการกำหนดหน่วยของการวัดปริมาณรังสีและกัมมันตภาพรังสีขึ้นเพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการตรวจวัด และควบคุมความปลอดภัยทางด้านรังสี

2.2.1 ปริมาณกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)

เป็นหน่วยที่ใช้วัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีของไอโซโทปในขณะหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณไอโซโทปรังสีในสารกัมมันตรังสีจะมีปริมาณลดลงพร้อมกับเกิดธาตุใหม่ขึ้น โดยเรียกลักษณะนี้ว่า การสลายตัว ดังนั้นการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีในขณะหนึ่งจึงวัดได้โดยการหาปริมาณรังสีที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของธาตุในขณะนั้น หน่วยของปริมาณกัมมันตภาพรังสีเดิมอาศัยการอ้างอิงอัตราการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ของเรเดียมหนัก 1 กรัม ซึ่งสลายตัว 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที (dps) เท่ากับหน่วย 1 คูรี (Ci)

$$3.7\times10^{10}\ dps = 1\ Ci$$

ต่อมาเมื่อใช้ SI Unit ได้มีการกำหนดชื่อเฉพาะของหน่วยวัดกัมมันตภาพรังสีว่า เบคเคอเรล (Bq) โดยที่

$$1\ Bq = 1\ dps$$

2.2.2 ปริมาณเอกซ์โพเชอร์ (Exposure)

เป็นหน่วยที่ใช้วัดปริมาณรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาในอากาศโดยพิจารณาจากคุณสมบัติของรังสีที่ทำให้อากาศเกิดการแตกตัวเป็นไอออน มีหน่วยเป็น เรินท์เกน (Roentgen, R) ปริมาณรังสี 1 เรินท์เกน หมายถึง ปริมาณรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาที่ทำให้อากาศ 0.001293 กรัม (ปริมาตรของอากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ S.T.P) เกิดการแตกตัวให้ประจุไฟฟ้า 1 e.s.u. (Electrostatic unit) หรือเกิดคู่ไอออน 2.08×10^{9} คู่ ปัจจุบัน SI Unit ใช้หน่วยเป็นคูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (C/kg)

$$1\ R = 2.58\times10^{-4}\ C/kg$$

2.2.3 ปริมาณรังสีดูดกลืน (Absorbed dose)

เป็นหน่วยวัดที่พิจารณาจากปริมาณพลังงานของรังสีที่ถ่ายเทให้กับวัตถุต่อหน่วยมวล เดิมใช้หน่วยวัดเป็น แรด (Radiation absorbed dose, rad) โดยปริมาณรังสีดูดกลืน 1 แรด หมายถึง พลังงานรังสี 100 เอิร์ก (erg) ที่ถ่ายให้วัตถุมวล 1 กรัม

$$1\ rad = 100\ ergs/g$$

ในปัจจุบัน SI Unit ใช้หน่วยของพลังงานเป็นจูล (Joule) และหน่วยของมวลเป็นกิโลกรัม (Kilogram) จึงได้มีการใช้หน่วยของปริมาณรังสีดูดกลืนเป็นจูลต่อกิโลกรัมหรือเรียกว่า เกรย์ (Gray, Gy) โดยที่

$$1\,Gy = 1\,J/kg = 100\,rad$$

2.2.4 ปริมาณรังสีสมมูล (Dose equivalent, H)

เป็นหน่วยวัดที่นำเอาผลทางชีววิทยาที่เกิดจากรังสีต่างชนิดกันเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเนื่องจากรังสีแต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่างกัน ผลกระทบต่อระบบชีววิทยาเมื่อได้รังสีที่ปริมาณรังสีดูดกลืนเดียวกันจึงแตกต่างกัน ปริมาณรังสีสมมูลนี้มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างปริมาณรังสีดูดกลืน (D) และค่าแฟคเตอร์คุณภาพของรังสี (Quality factor, Q)

$$H = DQ$$

ปริมาณรังสีสมมูลมีหน่วยเป็น เรม (Roentgen equivalent man, rem) โดยที่ปริมาณรังสี 1 เรม หมายถึง ปริมาณรังสีที่ก่อให้เกิดผลทางชีววิทยาเทียบเท่ากับผลที่เกิดจากรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา 1 แรด ต่อมาเมื่อใช้ SI Unit ได้มีการเปลี่ยนหน่วยปริมาณรังสีสมมูลเป็นซีเวิร์ต (Sievert, Sv) โดยที่

$$1\,Sv = 100\,rem$$

ในปัจจุบัน ICRP ได้เปลี่ยนค่าแฟคเตอร์คุณภาพของรังสีมาใช้ค่า Radiation weighting factor (W_R) แทน และใช้ Equivalent dose แทน Dose equivalent ดังนั้นในการหาผลรวมของ Equivalent dose (H_T) ของกลุ่มเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$H_T = \sum_R W_R D_{T.R}$$

เมื่อ $D_{T.R}$ เท่ากับ Absorbed dose เฉลี่ยทั่วบริเวณกลุ่มเนื้อเยื่อหรืออวัยวะ (T) เนื่องจากรังสี (R) ค่า W_R แสดงในตารางที่ 2.1

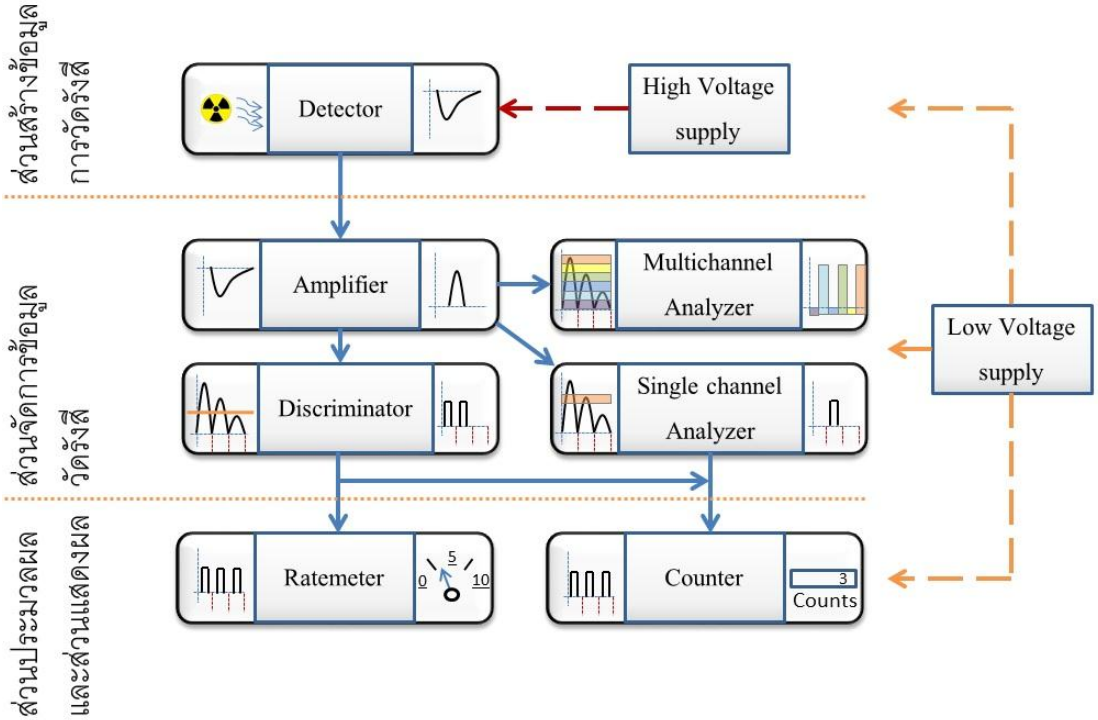
ตารางที่ 2.1 ค่า Radiation weighting factor (W_R)

Type and energy range	**Radiation weighting factor**
Photon, all energies	1
Electrons and muon, all energies	1
Neutron, energy<10 keV	5
10 keV to 100 keV	10
>100 keV to 2 MeV	20
>2 MeV to 20 MeV	10

>20 MeV	5
Protons, other than recoil proton, energy > 2 MeV	5
Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei	20

2.3 ส่วนประกอบของระบบวัดรังสี (Component of counting system) [2-3]

ระบบวัดรังสีเป็นระบบที่ทำงานในกระบวนการทางสัญญาณที่ได้จากรังสีจนกระทั่งแปลงเป็นข้อมูลทางรังสี ซึ่งทำงานด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีหน้าที่สำหรับจัดการสัญญาณในแต่ละส่วน โดยเริ่มต้นจากการแปลงปริมาณประจุไฟฟ้าจากหัววัดรังสีที่ได้รับรังสีให้เป็นสัญญาณแอนะล็อกซึ่งแฝงรายละเอียดของพลังงานที่รับการถ่ายโอนจากรังสีในหัววัดรังสี และอัตรานับรังสีถัดมาสัญญาณแอนะล็อกจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ขนาดของสัญญาณโดยวงจรขยายสัญญาณ สำหรับสัญญาณที่ผ่านวงจรขยายสัญญาณมาแล้วจะได้รับการวิเคราะห์สัญญาณโดยวงจรวิเคราะห์สัญญาณซึ่งจะคัดเลือกสัญญาณตามระบบวัดออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัลที่จะถูกนับปริมาณสัญญาณที่เกิดจากการวัดรังสีเทียบกับเวลาและแสดงผลออกมาทั้งในรูปแบบของการนับเฉพาะพลังงาน และการนับที่ไม่แจกแจงพลังงานดังแสดงแผนภาพของระบบวัดดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แผนภาพของระบบวัดรังสีทั่วไป

ระบบวัดรังสีสามารถแบ่งการทำงานของระบบวัดตามลักษณะหน้าที่การทำงานได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ

2.3.1 ส่วนสร้างข้อมูลการวัดรังสี (Data production) ประกอบด้วยหัววัดรังสีที่ได้รับการไบอัสด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงมีทำหน้าที่ตรวจวัดรังสี และสร้างปริมาณสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนต่อการถ่ายโอนพลังงานของรังสีในตัวกลางของหัววัดรังสีชนิดนั้น ข้อมูลจากส่วนจัดการข้อมูลต่อไป ๆ

2.3.2 ส่วนจัดการข้อมูลวัดรังสี (Signal processing) ประกอบด้วย วงจรตัดสัญญาณรบกวน วงจรขยายความสูงของสัญญาณให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะแก่การวิเคราะห์สัญญาณ และวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณพัลส์ ยกตัวอย่าง เช่น วงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดียวซึ่งจะคัดเลือกสัญญาณเฉพาะที่อยู่ในช่วงความสูงที่ต้องการวิเคราะห์เท่านั้น และวงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่องที่ทำการวิเคราะห์แบบสุ่มในทุก ๆ ช่วงความสูงของสัญญาณพัลส์พร้อมกัน ข้อมูลจากส่วนจัดการข้อมูลนี้จะส่งเข้าส่วนประมวลผลข้อมูลและส่วนแสดงผลต่อไป

2.3.3 ส่วนประมวลผลข้อมูลและส่วนแสดงผล (Data processing and display) เป็นส่วนการทำงานที่ประกอบด้วยวงจรเพื่อทำหน้าที่สร้างข้อมูลจำนวนนับรังสีรวม และการนับรังสีเฉพาะค่าพลังงานพร้อมการแสดงผลทั้งแบบเข็มหรือแบบตัวเลขดิจิทัล ได้แก่ วงจรนับรังสี และวงจรเรตมิเตอร์ เป็นต้น

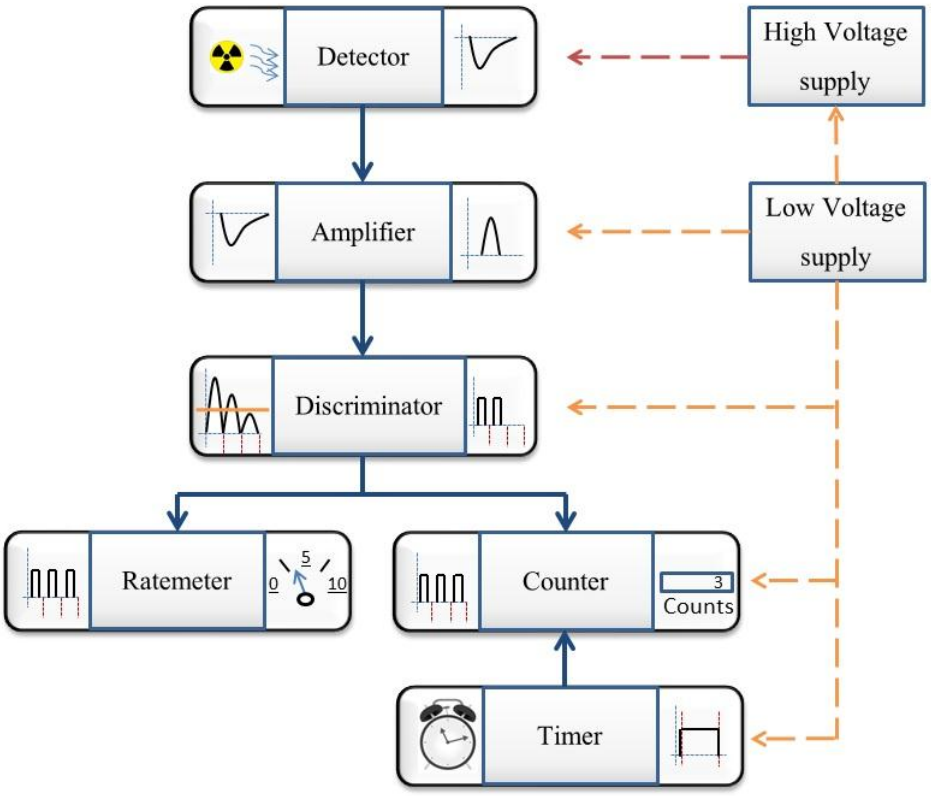
การจัดส่วนสร้างข้อมูล ส่วนจัดการข้อมูล และส่วนประมวลผล ร่วมกัน โดยการเลือกวงจรในแต่ละส่วนมาทำงานร่วมกันเรียกว่า การจัดระบบวัดรังสี สำหรับการจัดระบบวัดรังสีสำหรับงานต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นงานควบคุมทางอุตสาหกรรม งานด้านการแพทย์ การประยุกต์การวัดรังสีด้านการวิเคราะห์ธาตุ และงานวิจัยค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์นั้น จะต้องการข้อมูลทางรังสีที่แตกต่างกัน ฉะนั้นต้องจัดระบบวัดตามรูปแบบที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ต้องการเพื่อให้ได้ข้อมูลในลักษณะที่ต้องการ

2.4 รูปแบบของการจัดระบบวัดรังสี (Type of radiation counting system) [2]

รูปแบบของการจัดระบบวัดรังสีแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของข้อมูลการวัดรังสี ดังนี้

2.4.1 ระบบวัดรังสีแบบนับรวม (Integral counting system) เป็นระบบวัดรังสีที่จัดองค์ประกอบของระบบสำหรับนับรังสีทุกพลังงานที่ตรวจวัดได้ เป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับการวัดความแรงรังสี (Activity) การวัดความเข้มรังสี (Intensity) ในหน่วยแสดงผลจำนวนนับต่อเวลา เช่น จำนวนครั้งต่อวินาที (cps) หรือ จำนวนครั้งต่อนาที (cpm) ระบบวัดนี้จะประกอบด้วย หัววัด

รังสีที่เหมาะกับคุณสมบัติของรังสีที่ต้องการวัดที่ต้องการวัดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงทำหน้าที่ไบอัสหัววัดรังสี อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ (Pulse amplifier) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลส์ และลดสัญญาณรบกวน อุปกรณ์คัดเลือกสัญญาณ (Discriminator) ทำหน้าที่เลือกเฉพาะสัญญาณที่อยู่เหนือระดับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงและจะแปลงสัญญาณเป็นสัญญาณลอจิกส่งไปนับปริมาณรังสีที่อุปกรณ์นับรังสีซึ่งตั้งเวลาด้วยอุปกรณ์ตั้งเวลา ดังแสดงในแผนภาพภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแบบนับรวม

การวัดรังสีในระบบวัดแบบนับรวมจะให้ผลเป็นจำนวนนับต่อหน่วยเวลา การพิจารณาประสิทธิภาพการวัดของระบบ (ε) หาได้จาก

$$\varepsilon = \frac{N_t}{A \times P_\gamma}$$

เมื่อ A คือ จำนวนรังสีที่ปลดปล่อยจากต้นกำเนิดรังสี

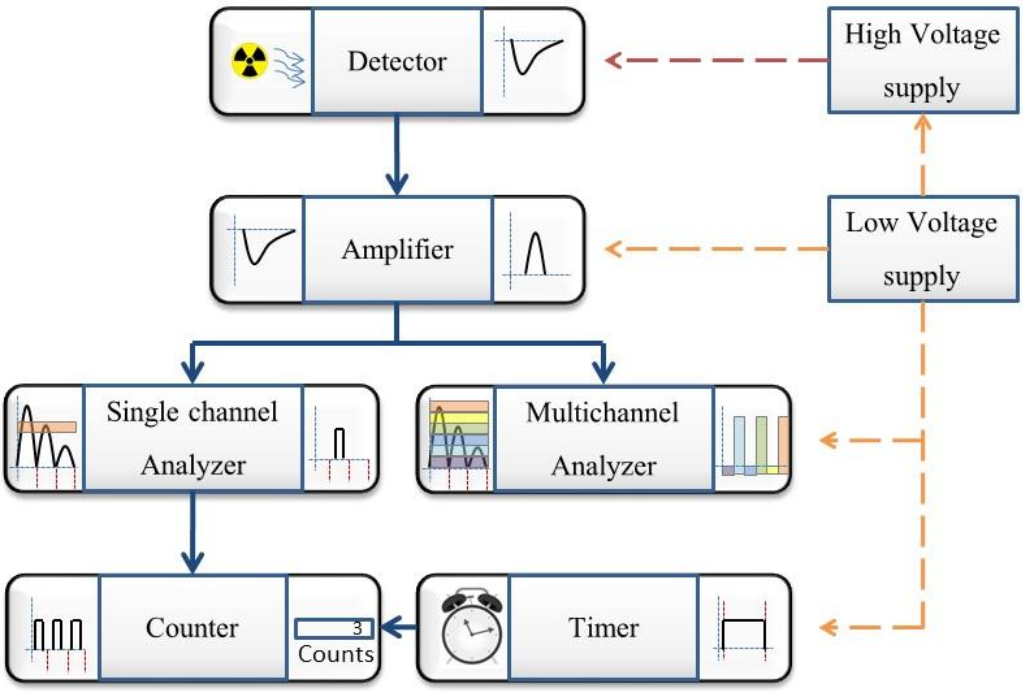
N_t คือ จำนวนรังสีที่อ่านค่าได้จากระบบวัด

P_γ คือ ค่าความน่าจะเป็นสัมบูรณ์ในการสลายตัวและให้รังสีแกมมาที่พลังงานนั้น ๆ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1

นอกจากนี้สัญญาณลอจิกจากดิสคริมิเนเตอร์ยังสามารถเลือกแสดงผลแบบอัตรานับรังสีเฉลี่ยด้วยเรตมิเตอร์ (Ratemeter) ซึ่งอาศัยหลักการเปลี่ยนความถี่ของพัลส์จากการนับรังสีเป็นระดับแรงดันไฟฟ้า และแสดงค่าด้วยมิเตอร์แบบเข็มชี้ หรือมิเตอร์แบบแสดงผลเชิงตัวเลข

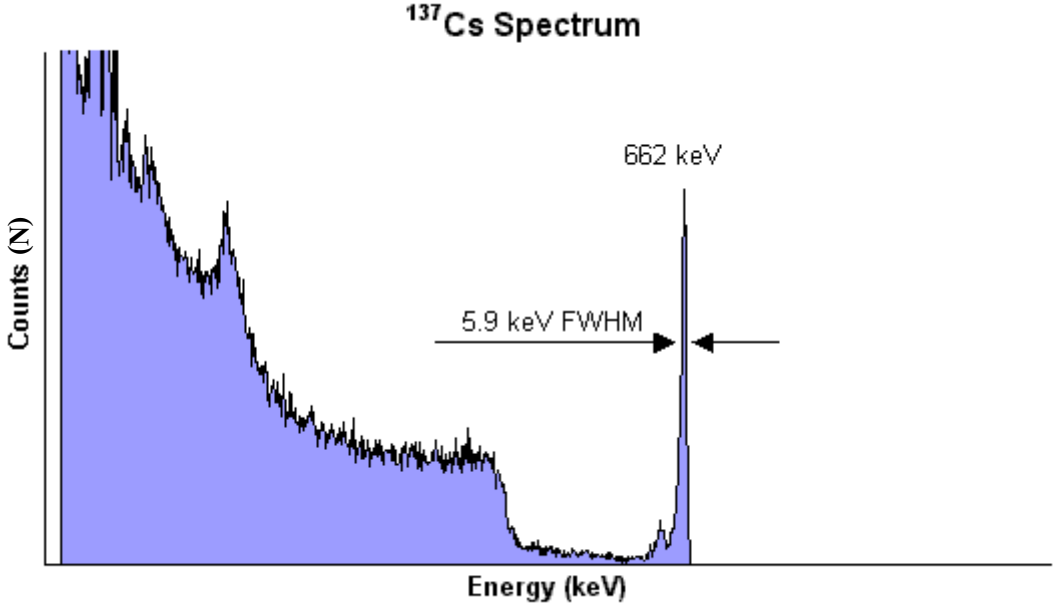
2.4.2 ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน (Differential counting system) เป็นระบบวัดรังสีที่จัดองค์ประกอบของระบบสำหรับนับรังสีแบบแยกแยะพลังงานโดยอาศัยวงจรวิเคราะห์สัญญาณทั้งแบบช่องเดียว หรือหลายช่องซึ่งจะนับรังสีแยกตามพลังงานสามารถแสดงผลในรูปแบบของสเปกตรัมพลังงาน (Energy spectrum) เช่น ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา (γ -spectrometer) และระบบวิเคราะห์รังสีอัลฟา (α -spectrometer) เป็นต้น

ในระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงานนั้นระบบวัดส่วนหน้าจะเหมือนกับระบบวัดแบบแรกจนถึงอุปกรณ์ขยายสัญญาณ จากนั้นสัญญาณพัลส์จากอุปกรณ์ขยายสัญญาณจะถูกส่งต่อให้กับอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ (PHA) ทำการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ และแยกนับปริมาณรังสีเฉพาะพลังงาน ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำการวิเคราะห์พลังงานอาจจะเป็นอุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดียว (Single Channel Analyzer; SCA) แล้วส่งสัญญาณนับให้กับอุปกรณ์นับรังสี และตั้งเวลา หรือใช้อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer; MCA) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเก็บไว้ในหน่วยความจำแสดงสเปกตรัมบนจอภาพ ดังแสดงการจัดระบบวัดในแผนภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน

ข้อมูลนับรังสีที่วิเคราะห์ได้จะมีลักษณะเป็นปริมาณนับรังสีต่อเวลานับ ($c/t = N$) ที่ตำแหน่งของช่วงวิเคราะห์พลังงาน (E) ต่าง ๆ เมื่อนำมาเขียนเส้นกราฟการกระจายค่าจำนวนนับที่พลังงานต่าง ๆ (Energy distribution) โดยแกน x เป็นแกนของพลังงาน E และแกน y เป็นแกนของจำนวนนับรังสี N จะได้สเปกตรัมพลังงาน ดังแสดงในภาพที่ 2.4



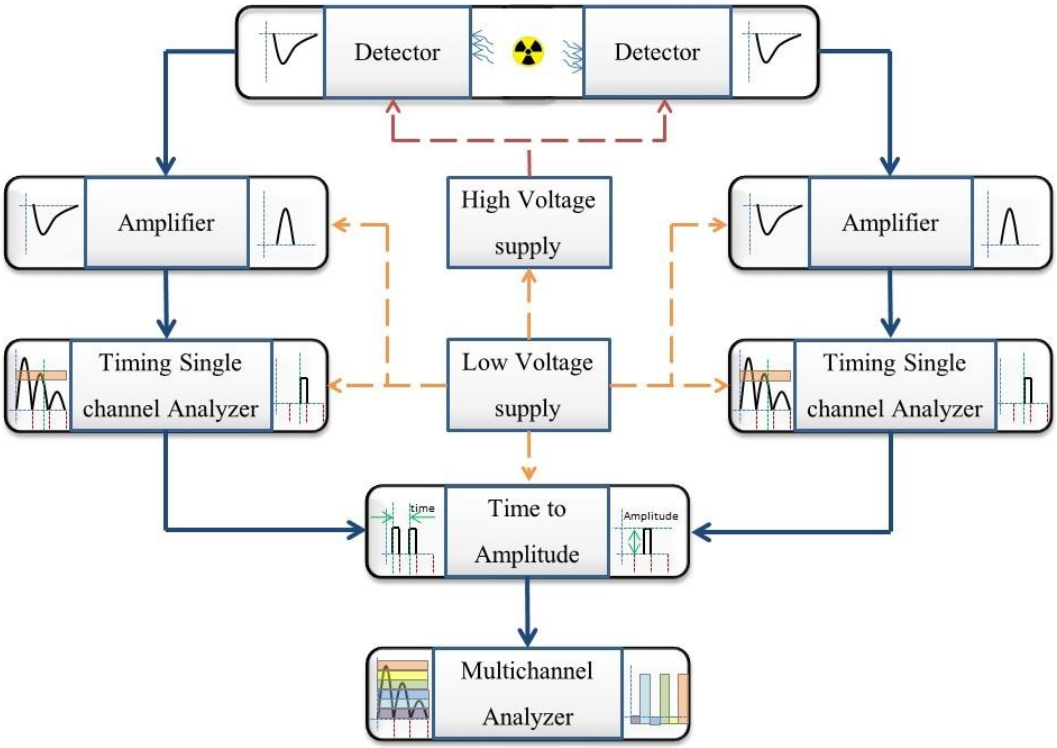
ภาพที่ 2.4 สเปกตรัมของการวิเคราะห์พลังงาน

2.4.3 ระบบวัดรังสีแบบโคอินซิเดนซ์ (Coincidence counting system) เป็นระบบวัดรังสีที่จัดอุปกรณ์สำหรับวัดจำนวนนับรังสีแยกเฉพาะช่วงเวลาโดยแสดงผลในรูปของเวลา (Time spectrum) เช่น ระบบวัดแบบฟาสต์โคอินซิเดนซ์ (Fast coincidence) ระบบวัดแบบสโลว์โคอินซิเดนซ์ (Slow coincidence) เป็นต้น และสามารถประยุกต์ใช้กับระบบวัดรังสีรบกวนต่ำ (Low background counting system)

นอกจากนี้ยังมีระบบวัดระดับสูงที่มีกระบวนการทางข้อมูลที่ซับซ้อนหลายตัวแปร ซึ่งจะต้องใช้คอมพิวเตอร์จัดการกับระบบวัด และแปรผลข้อมูลที่มากกว่า 2 ตัวแปร ในรูปของสเปกตรัม 3 มิติ แบบไอโซเมตริก เรียกว่า “ระบบวัดรังสีแบบหลายตัวแปร (Multiparameter analyzer)” ซึ่งอาจจะแสดงผลของจำนวนนับที่พลังงานต่าง ๆ และเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นต้น

ระบบวัดชนิดนี้จะต้องมีระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน 2 ชุดประกอบกัน โดยที่หัววัดรังสีของระบบวัดรังสีแต่ละชุดจะต้องเลือกให้เหมาะกับชนิดของรังสีที่ต้องการวัด การวัดความต่างเวลาด้วยเทคนิคโคอินซิเดนซ์ เช่น $\gamma-\gamma$, $\beta-\gamma$ หรือ $\alpha-\gamma$ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์วัดที่มีการ

ตอบสนองสัญญาณที่รวดเร็ว และมีเวลากำหนดพัลส์แน่นอน ดังในแผนภาพที่ 2.5 อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์จะต้องให้สัญญาณลอจิกที่ตำแหน่งเวลาแน่นอนในการวัดรังสีแต่ละครั้ง อุปกรณ์นี้จึงต้องเป็นแบบ TSCA (Timing SCA) การสร้างข้อมูลเวลาในการวัดเริ่มจากอนุภาคนิวเคลียร์ที่วัดได้จากหัววัดรังสีชุดแรกเป็นตัวเริ่มต้นกระตุ้นการแปลงผันเวลา ของอุปกรณ์แปลงผันเวลาเป็นความสูงของพัลส์ (Time to amplitude converter; TAC) และอนุภาคนิวเคลียร์ที่วัดได้จากหัววัดชุดที่สองเป็นตัวหยุดการแปลงผันเวลา ได้ค่าความสูงของพัลส์ที่เป็นสัดส่วนกับคาบเวลาส่งให้อุปกรณ์วิเคราะห์หลายช่วงวิเคราะห์ข้อมูลนี้



รูปที่ 2.5 แผนภาพการจัดระบบวัดแบบโคอินซิเดนซ์

2.5 ระบบจีพีเอส (GPS system)

ระบบจีพีเอส (GPS) หรือ Global Positioning System เป็นระบบที่ใช้ในการบอกทิศทางและบอกตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการ ในปัจจุบันมีการนำระบบไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นระบบนำทางบนรถยนต์ ระบบระบุตำแหน่งบนสมาร์ทโฟน ระบบนำทางสำหรับการเดินเรือ ระบบนำทางสำหรับการบิน การสำรวจพื้นที่รวมไปถึงการบอกตำแหน่งบนพื้นผิวโลก โดยการอ้างอิงจากระบบดาวเทียมในระบบจีพีเอสที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเฉพาะลงมาบนพื้นโลก ระบบนี้เป็นระบบที่มีการคิดค้นพัฒนาขึ้นโดยกระทรวงกลาโหมของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of defense) โดยในช่วงเริ่มแรกโครงการนี้เป็นโครงการที่ใช้งานเฉพาะด้านการทหาร

เท่านั้น แต่ในปัจจุบันประเทศสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้พลเรือนสามารถใช้งานระบบนี้ได้ที่ความละเอียดต่ำซึ่งเป็นที่นิยมอย่างกว้างขว้าง

ดาวเทียมที่ใช้ในระบบ GPS เป็นดาวเทียมวงโคจร MEO (Medium Earth Orbit Satellite) ซึ่งเป็นวงโคจรที่โคจรไม่พร้อมกับโลก คือ มีช่วงเวลาโคจร (Orbital periods) ตั้งแต่ 2 ชั่วโมงไปจนกระทั่งใกล้เคียง 24 ชั่วโมง ตามแต่ความสูงของวงโคจรซึ่งวงโคจร MEO นับตั้งแต่ความสูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่า 2,000 กิโลเมตร จนถึงน้อยกว่า 35,786 กิโลเมตร โดยดาวเทียมในระบบ GPS มีวงโคจรที่ความสูงประมาณ 20,200 กิโลเมตร

กระทรวงกลาโหม ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ดำเนินการโครงการ Global Positioning System หรือ “GPS” โดยใช้ดาวเทียมจำนวน 24 ดวง โคจรอยู่ในระดับความสูงที่พ้นจากคลื่นวิทยุรบกวนของโลก ในวงโคจรของดาวเทียม MEO มีมุมเอียง 55 องศา ดาวเทียมทั้งหมดในระบบ GPS จะแบ่งเป็นกลุ่ม (Cluster) กลุ่มหนึ่งมี 4 ดวง เรียกว่า Constellation แต่ละ Constellation จะมีมุมที่ต่างกันไป 60 องศา ตามแนวลองจิจูด การโคจรหนึ่งจะใช้เวลาประมาณ 11 ชั่วโมง 58 นาที ดังนั้นใน 1 วัน ดาวเทียมดวงเดิมจะปรากฏอยู่ ณ ตำแหน่งเดิมบนท้องฟ้า 2 ครั้ง การใช้ดาวเทียมทั้งหมด 24 ดวงทำให้ทุก ๆ วินาทีไม่ว่าตำแหน่งใดของโลกจะมีสัญญาณ GPS จากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงเสมอ บางครั้งอาจมองเห็นดาวเทียมมากถึง 10 ดวง การทำงานของดาวเทียมมักจะต้องมีดาวเทียมสำรองไว้ เผื่อความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น และเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบดาวเทียมในระบบ GPS จึงมีจำนวนประมาณ 30 ดวง อยู่ในวงโคจรแต่ใช้งานจริง 24 ดวง ที่เหลือเป็นดาวเทียมสำรอง นอกจากนี้ยังมีดาวเทียมที่พร้อมที่จะส่งขึ้นสู่ห่วงอวกาศทันทีที่ต้องการอีกจำนวนหนึ่งด้วยเหตุผลที่ว่ากระทรวงกลาโหม ประเทศสหรัฐอเมริกา ให้ความสำคัญกับระบบ GPS มาก เนื่องจากเป็นระบบที่เกี่ยวกับความมั่นคง และการป้องกันประเทศ

การทำงานของระบบ GPS เป็นแบบแพร่กระจาย (Broadcasting) ซึ่งหมายความว่าผู้รับสามารถรับสัญญาณ GPS ได้แบบไม่จำกัดจำนวนในเวลาเดียวกัน เครื่องรับ GPS จะทำการหาตำแหน่งตนเองจากดาวเทียม GPS 4 ดวง และวิธีการนี้สามารถให้ความถูกต้องเพียงพอที่จะใช้ชี้บอกตำแหน่งได้ทุกแห่งบนโลกตลอดเวลา 24 ชั่วโมง จากการนำมาใช้งานจริงจะให้ความถูกต้องสูงโดยที่ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตำแหน่งทางราบต่ำกว่า 50 เมตร และใช้เทคนิคการวัดแบบวิธี “อนุพันธ์” (Differential) จะให้ความถูกต้องถึงระดับเซนติเมตรนอกจากนี้เครื่องรับ GPS ก็มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับการนำมาใช้งานช่วงแรก

2.5.1 สัญญาณดาวเทียมที่ใช้กับ GPS

คลื่นสัญญาณจากดาวเทียม GPS ที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน ได้แก่ Carrier code และ Pseudo random noise code

2.5.1.1 Carrier code ประกอบด้วย L1 Code ใช้ความถี่ 1,575.42 MHz และ L2 code ใช้ความถี่ 1,227.6 MHz

2.5.1.2 Pseudo random noise code ประกอบด้วย C/A code (Coarse/acquisition code) และ P code (Precision code)

2.5.2 โปรโตคอล NMEA-0183

NMEA-0183 เป็นโปรโตคอลสำหรับการสื่อสารที่กำหนดขึ้นโดยองค์กรกลางคือ National Marine Electronics Association เริ่มแรกถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับเซนเซอร์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการเดินเรือเป็นหลัก ต่อมาเมื่อระบบจีพีเอสเข้ามามีบทบาทในการเดินเรือมากขึ้นจึงทำให้โปรโตคอล NMEA-0183 ถูกพัฒนามาเป็นมาตรฐานกลางสำหรับใช้สื่อสารระหว่างอุปกรณ์รับพิกัดจีพีเอส และอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่น ๆ (Terminal equipment) สำหรับข้อมูลที่อ่านได้จากโมดูลรับพิกัดจีพีเอสสามารถแบ่งได้เป็นเรคคอร์ด (Record) หรือ ฟิลด์ (Field) ย่อย โดยแต่ละเรคคอร์ดจะประกอบด้วยอักขระแอสกี (ASCII) ซึ่งมีความยาวรวมไม่เกิน 80 ตัวอักษร เรคคอร์ดหลักในโปรโตคอล NMEA-0183 จะมี 6 เรคคอร์ดหลัก คือ GGA (Global positioning system fixed data), GLL (Geographic position latitude/longitude), GSA (GNSS DOP and active satellites), GSV (GNSS Satellites in view), RMC (Recommended minimum specific GNSS data) และ VTG (Course over ground and ground speed) ซึ่งมีรายละเอียดของค่าต่าง ๆ เช่น พิกัดตำแหน่ง ละติจูด ลองจิจูด เวลา จำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการคำนวณพิกัด และความสูงจากระดับน้ำทะเล (MSL Altitude) เป็นต้น ดังตัวอย่างด้านล่าง

*$GPGGA, 161229.487,3723.2475,N,12158.3416,W,1,07,1.0,9.0,M,,,,0000*18*

*$GPGLL, 3723.2475,N,12158.3416,W,161229.487,A*2C*

*$GPGSA,A,3,07,02,26,27,09,04,15,,,,,,1.8,1.0,1.5*33*

*$GPGSV,2,1,07,07,79,048,42,02,51,062,43,26,36,256,42,27,27,138,42*71*

*$GPRMC, 161229.487,A,3723.2475,N,12158.3416,W,0.13,309.62,120598,,*10*

*$GPVTG, 309.62, T,,M,0.13,N,0.2,K*6E*

2.6 ระบบจีเอสเอ็ม (GSM system) [4-7]

ระบบจีเอสเอ็ม GSM ย่อมาจาก Global System for Mobile Communications มีชื่อเดิมว่า Groupe Spécial Mobile เป็นมาตรฐานของเทคโนโลยีโทรศัพท์มือถือที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานมากที่สุดในโลก โดยจีเอสเอ็มเป็นมาตรฐานเปิดภายในใต้การดูแลของ 3GPP ระบบจีเอสเอ็มใช้เทคโนโลยีดิจิทัลสำหรับช่องสัญญาณควบคุมและสัญญาณเสียงแบบ TDMA (Time Division Multiple Access) ซึ่งแตกต่างจากเทคโนโลยีโทรศัพท์มือถือก่อนหน้านี้ จึงถือว่าเป็นโทรศัพท์มือถือในยุคที่สอง หรือ 2G ซึ่งหมายถึง การพัฒนาระบบจากระบบเดิมขึ้นไปอีกขั้นหนึ่ง ระบบจีเอสเอ็มยังมีการบริการสำหรับการส่งข้อมูลอยู่ในมาตรฐานด้วย ตัวอย่างเช่น SMS ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลายกันทั่วโลกกว่า 3.6 พันล้านผู้ใช้ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาบริการรับส่งข้อมูลที่มากขึ้นเป็นบริการ GPRS และ EDGE อีกด้วย

2.6.1 โมดูลจีเอสเอ็ม (GSM Module)

โมดูลจีเอสเอ็ม (GSM Module) ทำหน้าที่จะเชื่อมต่อกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM เพื่อทำการรับส่งข้อมูลต่าง ๆ ลักษณะการทำงานจะคล้ายกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วไปแต่จะแตกต่างที่ต้องใช้อุปกรณ์ภายนอกควบคุมโมดูลไม่สามารถทำงานได้โดยเอกเทศ (Stand Alone) โมดูลมักจะมีลักษณะเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กล่องเล็ก ๆ มีที่ต่อเสาอากาศ ช่องใส่ซิมและมีพินสำหรับสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอก

2.6.2 ระบบรับส่งข้อความสั้น

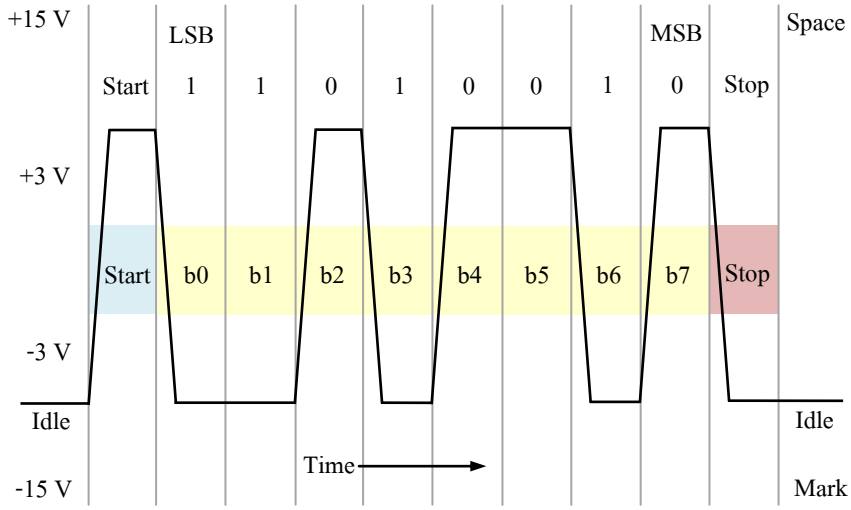
Short Message Service หรือบริการ SMS เป็นการบริการส่งข้อความสั้นบนเครือข่ายของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในแต่ละข้อความนั้นจะสามารถบรรจุตัวอักษรได้สูงสุด 160 ตัวอักษร (อักษรภาษาอังกฤษ) โดยแต่ละอักษรนั้นจะใช้รหัส 7 บิต 8 บิตหรือ 16 บิต ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานที่แตกต่างออกไป นอกจากนี้ยังสามารถส่งข้อความไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ แฟกซ์และอินเตอร์เน็ตแอดเดรสได้อีกด้วย

2.6.3 คำสั่งเอที (AT Command)

AT Command เป็น โปรโตคอล ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ส่วนใหญ่ใช้เป็นโปรโตคอลหลักในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งมือถือเจ้าแรกที่ใช้โปรโตคอลนี้คือ Ericsson เหตุผลที่โปรโตคอลนี้เป็นที่นิยมเนื่องจากง่ายต่อการเข้าใจในคำสั่งต่าง ๆ ซึ่ง AT Command เป็นชุดคำสั่งที่มีไว้สำหรับโมเด็ม (Modem) โดยเฉพาะ โดยคอมพิวเตอร์จะมองโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นโมเด็มเหมือนกัน ดังนั้นการใช้คำสั่ง AT Command กับโมเด็ม หรือกับโทรศัพท์เคลื่อนที่จะไม่ต่างกัน ตัวอย่างการใช้คำสั่ง AT command เช่น คำสั่ง AT ใช้สำหรับการตรวจสอบสถานะ การติดต่อของอุปกรณ์ คำสั่ง AT+CMGC เป็นคำสั่งใช้ในการส่ง SMS

2.7 ระบบเชื่อมโยงสัญญาณแบบ RS-232

RS-232 ย่อมาจาก Recommended Standard 232 เป็นมาตรฐานที่ใช้ทั่วไปกับพอร์ตอนุกรม (Serial Port) บนคอมพิวเตอร์บางทีเรียกว่า COM Port ถูกนำมาใช้เพื่อเชื่อมต่อระหว่าง DTE (Data Terminal Equipment) กับ DCE (Data Circuit-terminating Equipment) การสื่อสารจะใช้บิตข้อมูลในการสื่อสารเพียงบิตเดียว แต่จะใช้การกำหนดคาบเวลา (Timing) เพื่อทำการแยกข้อมูลออกจากกันในแต่ละบิต เวลานั้นจะต้องคงที่ในทุก ๆ บิตข้อมูล และจะต้องมีเวลาที่เท่ากันทั้งทางด้านส่งข้อมูล และด้านรับข้อมูล ดังนั้นเวลาดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการสื่อสารข้อมูลเช่นกัน ซึ่งความเร็วในการสื่อสารนั้นจะเรียกว่า Baud rate ความเร็วในการสื่อสารนี้จะมีการกำหนดไว้ตามมาตรฐาน เช่น 9600, 19200, 38400, 115200 kbps



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างของการส่งข้อมูลรหัส ASCII ตัวอักษร K ที่ประกอบด้วย 1 Start bit และ 1 Stop bit

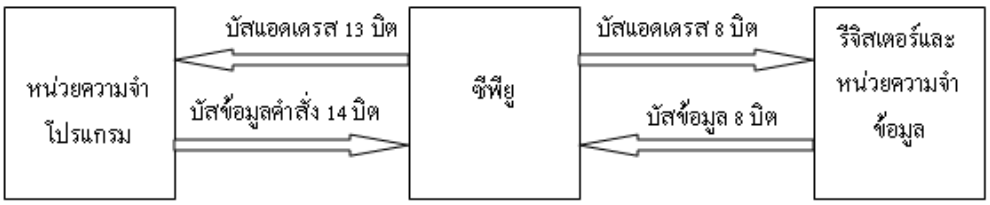
มาตรฐานระดับสัญญาณจะถูกกำหนดไว้ที่ สัญญาณบวกหรือลบ 3 ถึง 15 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งสัญญาณที่อยู่ในช่วงน้อยกว่า ±3 โวลต์ จะไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นลอจิกใดจากระดับสัญญาณดังกล่าว เมื่อนำไปใช้กับไมโครคอนโทรเลอร์ซึ่งปัจจุบันจะทำงานที่แรงดัน 5 โวลต์หรือน้อยกว่าเป็นส่วนใหญ่ จะทำให้สัญญาณไม่เป็นตามข้อกำหนดของมาตรฐาน RS-232 จึงต้องมีการแปลงระดับสัญญาณก่อนเพื่อให้ได้สัญญาณที่ถูกต้องตามมาตรฐานโดยใช้ไอซีแปลงระดับสัญญาณ (Level converter) ที่ออกแบบมาเพื่อมาตรฐาน RS-232 โดยเฉพาะ เช่น MAX232, ICL232 เป็นต้น สัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารตามมาตรฐาน RS-232 ประกอบด้วย

- Transmitted Data (TXD)	สัญญาณข้อมูลจาก DTE ไปยัง DCE
- Received Data (RXD)	สัญญาณข้อมูลจาก DCE ไปยัง DTE
- Request To Send (RTS)	สัญญาณร้องขอเพื่อส่งข้อมูลจาก DTE เพื่อให้ DCE เตรียมพร้อม
- Clear To Send (CTS)	สัญญาณจาก DCE เพื่ออนุญาตให้ DTE ส่งข้อมูลได้
- Data Terminal Ready (DTR)	สัญญาณจาก DTE เพื่อเป็นการตอบรับว่ามีการเชื่อมต่ออยู่
- Data Set Ready (DSR)	สัญญาณจาก DCE เพื่อเป็นการยืนยันการเชื่อมต่อ
- Data Carrier Detect (DCD)	สัญญาณจาก DCE เมื่อการเชื่อมต่อได้เริ่มต้นขึ้น
- Ring Indicator (RI)	สัญญาณจาก DCE เพื่อระบุว่ามีสัญญาณโทรศัพท์เกิดขึ้น(เฉพาะโมเด็ม)

สัญญาณที่ใช้สำหรับข้อมูลนั้นจะมีเพียง TXD สำหรับส่ง และ RXD สำหรับรับเท่านั้น ส่วนสัญญาณอื่น ๆ จะใช้สำหรับควบคุมการสื่อสาร (Flow control) สำหรับการใช้งาน RS-232 บนไมโครคอนโทรเลอร์นั้นโดยทั่วไปจะใช้เพียง TXD และ RXD ในการสื่อสารเท่านั้น แต่ก็สามารถใช้สัญญาณอื่น ๆ ตามมาตรฐานได้เพื่อการสื่อสารที่สมบูรณ์

2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ [8-9]

การทำงานพื้นฐานของ PIC18F4550 และ PIC18F2550 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการแยกหน่วยความจำโปรแกรม (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 แผนภาพการทำงานพื้นฐานของ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์

คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC18FXX50)

- ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduce Instruction-Set Computer) มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
- สามารถกระทำคำสั่งโดยใช้สัญญาณนาฬิกาเพียงหนึ่งลูก ยกเว้นคำสั่งการกระโดด
- ความถี่สูงสุดของสัญญาณนาฬิกาที่ทำงานได้คือ 48 MHz
- หน่วยความจำโปรแกรม (FLASH program memory) 32 กิโลไบต์ (kilobyte)
- หน่วยความจำแรมข้อมูล (RAM data memory) หรือรีจิสเตอร์ 2048 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
- เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล และเลือกระดับการป้องกันได้
- มีโหมดประหยัดพลังงาน
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5V ได้
- แก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการ ICD (In-circuit Debugger) ผ่านพอร์ตเพียง 2 ขา
- ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
- ไฟเลี้ยง +2 V ถึง +5.5 V
- กระแสซิงก์และซอร์สของพอร์ต 25 mA
- การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลด น้อยกว่า 2 mA ที่ +5 V และสัญญาณนาฬิกา 4 MHz, 20 μA ที่ไฟเลี้ยง +3 V และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz น้อยกว่า 1 μA ในโหมดประหยัดพลังงาน
- ไทเมอร์ 4 ตัว คือ ไทเมอร์ 0 ขนาด 8/16 บิต มีปรีสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตในตัว ไทเมอร์1 ขนาด 16 บิต พร้อมปรีสเกลเลอร์ ไทเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต มีปรีสเกลเลอร์ โพสต์สเกลเลอร์ และรีจีสเตอร์คาบเวลา (period register) ขนาด 8 บิตในตัว และไทเมอร์ 3 ขนาด 16 บิต

- 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
- มีวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิต จำนวน 13 ช่องสำหรับ
- วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และบัส I2C
- วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส 9 บิต
- มีวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (บราวน์เอาต์ดีเท็กชั่น : Brown-out detection) เพื่อการรีเซตซีพียู หรือเรียกว่า บราวน์เอาต์รีเซต (Brown-out reset : BOR)

PIC18F4550 ยังมีโมดูล Universal Serial Bus หรือโมดูล USB มาด้วย สำหรับระบบบัส USB จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. USB Host

USB โฮสมีหน้าที่ จัดการ และควบคุมบัส USB, ควบคุมการรับส่งข้อมูลบนบัส, ตรวจสอบข้อผิดพลาด, ตรวจสอบการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ USB Peripheral หรือ อุปกรณ์ USB ที่ถูกต่อเพิ่มเข้ามาในระบบ เป็นต้น ซึ่ง USB ประเภทนี้จะประกอบไปด้วยซอฟต์แวร์การจัดการที่มีความซับซ้อน ตัวอย่าง USB ประเภทนี้คือ USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)

2. USB Peripheral

USB ต่อพ่วง หรืออุปกรณ์ USB (USB Device) ที่มีหน้าที่ในการตอบสนองต่อ USB โฮส หรือการต่อพ่วงเข้ากับ USB โฮส, ตรวจจับการสื่อสารจากโฮส, การรับส่งแลกเปลี่ยนข้อมูลกับโฮส , ตอบสนองต่อการร้องขอจากโฮส ฯลฯ ตัวอย่าง USB ต่อพ่วง เช่น เมาส์, คีย์บอร์ด พรินเตอร์ เป็นต้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4550 จัดอยู่ใน USB ประเภทนี้

3. USB OTG

USB OTG (USB On-The-Go) เป็น USB ที่สามารถทำงานได้ทั้งสองหน้าที่ คือ เป็นได้ทั้ง USB โฮส (USB Host) และ USB ต่อพ่วง (USB Peripheral) หมายความว่าสามารถนำ USB OTG นี้มาต่อพ่วงเข้ากันได้ ซึ่งแตกต่างจาก USB Host และ USB Peripheral ที่ต้องต่อเข้าด้วยกันเพื่อทำงานร่วมกัน USB OTG ได้แก่ Pocket PC, Mobile phone เป็นต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4550 มีพอร์ต USB สำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วง (USB Peripheral Device) การใช้งานพอร์ต USB ใน PIC18F4550 จึงต้องทำงานร่วมหรือต่อเข้ากับ USB โฮส หรือ USB OTG คุณสมบัติที่สำคัญของโมดูล USB ใน PIC18F4550 มีดังนี้

- รองรับ USB 2.0
- ทำงานที่ความเร็วสูงสุด 12 Mbit/s และต่ำสุดที่ 1.5 Mbit/s

- รองรับการควบคุมแบบอินเตอร์รัป, การส่งข้อมูลขนาดใหญ่และส่งแบบ isochronous
- รองรับการเชื่อมต่อมากถึง 32 จุดเชื่อมต่อ
- หน่วยความจำ RAM 1 Kbyte
- องค์ประกอบภายในตัว USB ประกอบไปด้วย

ตัวรับและตัวส่ง USB

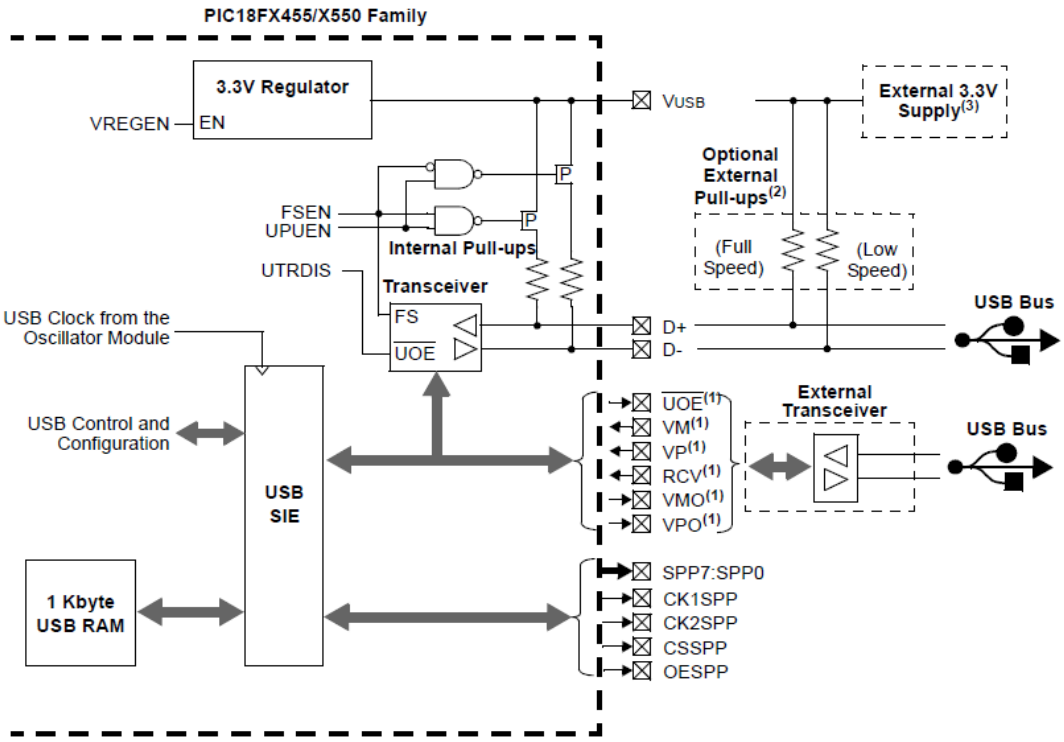
ตัวควบคุมแรงดัน USB

ตัวต้านท้าน USB pull-up

การใช้งาน PIC18F4550 กับโมดูล USB ทาง Microchip Inc. ผู้ผลิตได้พัฒนาซอฟต์แวร์ที่พร้อมใช้งานกับ USB ไว้แล้ว ที่เรียกว่า “Microchip USB Firmware Framework” ซึ่งจะทำหน้าที่จัดการและให้บริการโปรโตคอล USB ระดับต่ำ (lower level USB protocol), ควบคุมการรับส่งข้อมูล, จัดการอินเตอร์รัปต์ในระดับฮาร์ดแวร์, ออกแบบระบบเพื่อการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เชื่อมต่อทาง USB ต่างๆ เช่น “Human Interface Devices (HID)” ได้แก่ เมาส์, คีย์บอร์ด เป็นต้น คลาสไลบรารี “Communication Device Class(CDC)” คลาสการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ USB ด้วยกัน และ คลาสไลบรารี “Microchip General Purpose USB Device Class” คลาสทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอุปกรณ์ USB

นอกจากนี้ทางไมโครชิพได้พัฒนาไดรเวอร์ไฟต์ “mchpusb.sys” สำหรับการทำงานร่วมกับ Microsoft Windows ที่เรียกว่า “Microchip General Purpose USB Windows driver” เพื่อให้โปรแกรมที่ทำงานบนเครื่อง PC สามารถสื่อสารกับอุปกรณ์ USB จากทางไมโครชิพได้โดยตรง และพัฒนา “MPUSBAPI Library” เป็นไลบรารีที่ทำให้นักพัฒนาโปรแกรมบน Windows ง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรมสำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ USB จากไมโครชิพ

โมดูล USB ของไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรม PIC18FX455/X550 ซึ่งรวมถึง PIC18F4550 ประกอบด้วย “USB Serial Interface Engine” (SIE) ที่รองรับการสื่อสารข้อมูลความเร็วที่ 1.5Mbit/s ถึง 12Mbit/s เป็นความเร็วในการสื่อสารระหว่าง USB โฮส กับ PIC18F4550 โดยที่ SIE จะทำการเชื่อมต่อโดยตรงกับโมดูล USB เพื่อใช้เชื่อมต่อกับตัวรับ/ตัวส่งภายในหรือภายนอก และโมดูล USB ยังมีตัวควบคุมปรับแรงดันภายใน 3.3 V ด้วย ภายในโมดูล USB จะมีหน่วยความจำข้อมูล 1 Kbyte USB RAM เพื่อการใช้งานของ USB SIE นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วย Streaming Parallel Port เพื่อรองรับการรับส่งข้อมูลขนาดใหญ่ที่เรียกว่า “isochronous data” เป็นการส่งข้อมูลแบบ USB Isochronous Transfer(การส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่องที่อัตราการส่งคงที่ในเวลาที่สัมพันธ์กับความสามารถของตัวรับข้อมูล) แสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ไดอะแกรม PIC 18F4550 กับ USB Peripheral และส่วนเสริม (Option)

บทที่ 3
การพัฒนาระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาที่ระบุตำแหน่ง ด้วยจีพีเอสผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

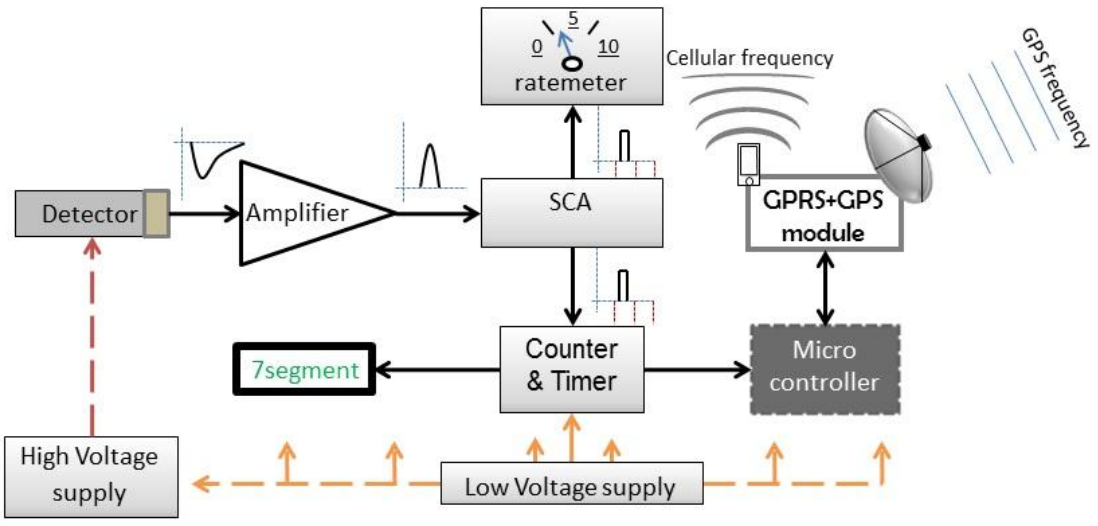
3.1 แนวคิดในการพัฒนาระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาที่ระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอสผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

การพัฒนาระบบต้องอาศัยความรู้ในหลาย ๆ ด้าน นอกจากความรู้ทางด้านนิวเคลียร์แล้ว ต้องอาศัยความรู้ทางด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์และการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เนื่องจากระบบต้องใช้อุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดรังสีแกมมา เชื่อมต่อกับระบบจีพีเอส และอุปกรณ์ในการติดต่อสื่อสารกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แทบทั้งหมด ดังนั้นการนำอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ต่าง ๆ มาทำงานร่วมกัน ทั้งการควบคุมและการรับส่งข้อมูล จำเป็นต้องอาศัยการเขียนโปรแกรมลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการทำงาน และการทำงานบนคอมพิวเตอร์จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมสำหรับสื่อสารและรับข้อมูลกับอุปกรณ์อีกด้วย

3.1.1 องค์ประกอบของระบบที่พัฒนา

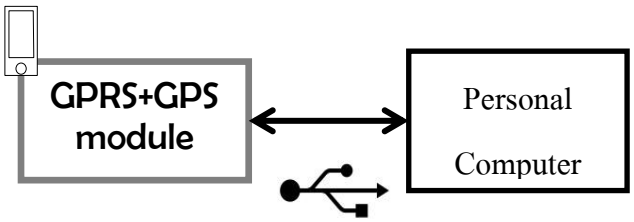
ระบบที่พัฒนาแบ่งออกเป็น 2 ระบบตามหน้าที่การทำงาน ได้แก่

3.1.1.1 ระบบวัดรังสีแกมมาที่สามารถระบุพิกัดตำแหน่งพื้นที่วัดได้ โดยสามารถส่งข้อมูลการวัดกลับมาหาผู้ใช้ด้วย SMS (Short message service) ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ แสดงรายละเอียดของตัวเครื่องดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนภาพของระบบวัดรังสีแกมมาที่สามารถระบุพิกัด

3.1.1.2 ระบบเก็บข้อมูลกลางเป็นส่วนคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเก็บค่าข้อมูลจากระบบวัดที่ส่งข้อมูลการวัดผ่าน SMS ซึ่งจะเก็บข้อมูลลงบน Hard disk ของคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดใหญ่มากพอในการเก็บข้อมูลระยะเวลานาน หรือ สำหรับระบบวัดในหลายระบบดังแสดงรายละเอียดของตัวเครื่องในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แผนภาพของระบบเก็บข้อมูลกลาง

3.1.2 ลักษณะของระบบที่พัฒนา

การทำงานของระบบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะการทำงาน คือ

3.1.2.1 ทำงานแบบเฝ้าระวัง (Monitoring) คือ การตรวจวัด และแสดงผลต่อเนื่องบนส่วนแสดงผลที่ถูกติดตั้งไว้โดยทำการรับส่งข้อมูลไปยังระบบเก็บข้อมูลกลาง หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่

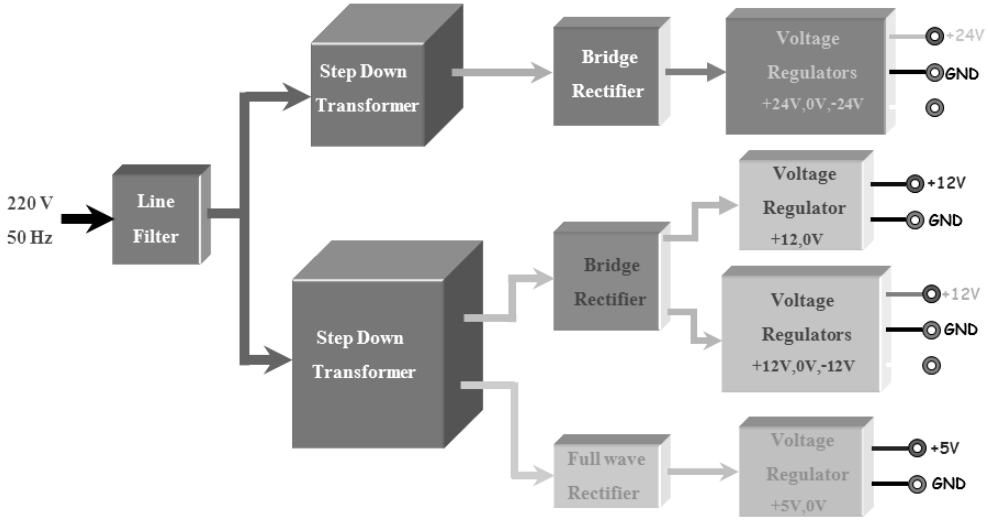
3.1.2.2 ทำงานแบบเอกเทศ (Standalone) คือ การตรวจวัด และแสดงผลบนส่วนแสดงผลที่ถูกติดตั้งไว้โดยไม่ทำการส่งข้อมูลใด ๆ

3.2 การพัฒนาวงจรต่าง ๆ ของระบบวัดรังสี [10-11]

3.2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยถูกออกแบบเป็นวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบเชิงเส้นซึ่งมีข้อดีคือ เป็นวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีสัญญาณรบกวนต่ำเมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิงซึ่งเหมาะกับวงจรสัญญาณแอนะล็อกมากกว่าในแง่ของคุณภาพสัญญาณโดยแบ่งแหล่งจ่ายที่แรงดัน ± 24 V, ± 12 V, +12 V และ + 5 V สำหรับจ่ายให้กับวงจรต่าง ๆ โดยมีการแบ่งวงจรสำหรับจ่ายกำลังให้กับวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (+12V) ออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าวงจรสัญญาณแอนะล็อก (± 12 V) เพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวนจากวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง ต่อวงจรสัญญาณแอนะล็อกภายในระบบ ซึ่งภายในวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำนั้นนอกจากจะมีวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำขนาดต่าง ๆ แล้วยังประกอบไปด้วย ไลน์

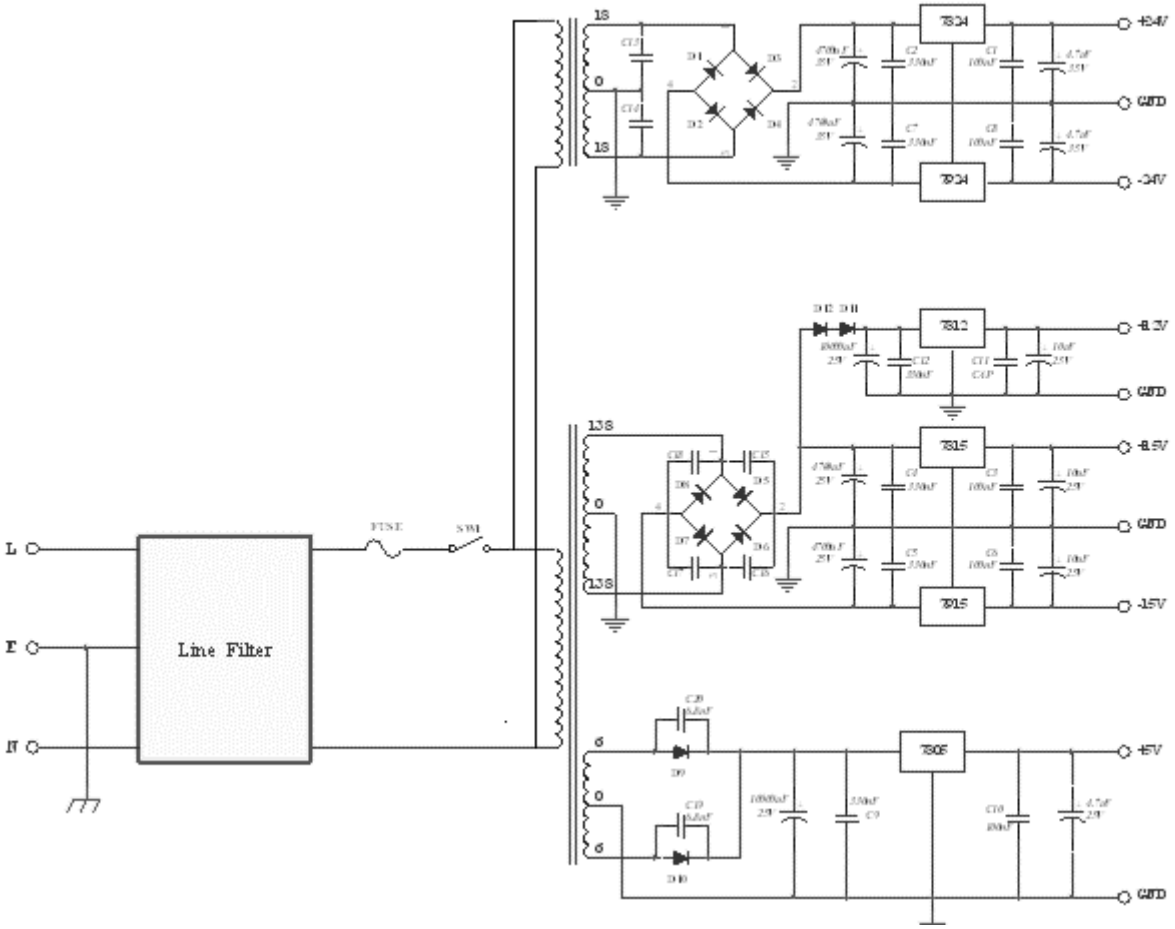
ฟิลเตอร์ (Line filter) เพื่อช่วยลดสัญญาณรบกวนจากภายนอก วงจรเรียงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Rectifier) ก็ถูกออกแบบให้มีการกรองความถี่สูงได้ดี รวมถึงวงจรรักษาแรงดันให้คงที่ (Regulator) โดยมีแผนภาพการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำแสดงดังภาพที่ 3.3 นอกจากนี้ยังมีวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่พัฒนาขึ้นแสดงดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.3 แผนภาพการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

ซึ่งแรงดันไฟฟ้าแต่ละขนาดจะถูกจ่ายให้กับวงจรต่าง ๆ ดังนี้

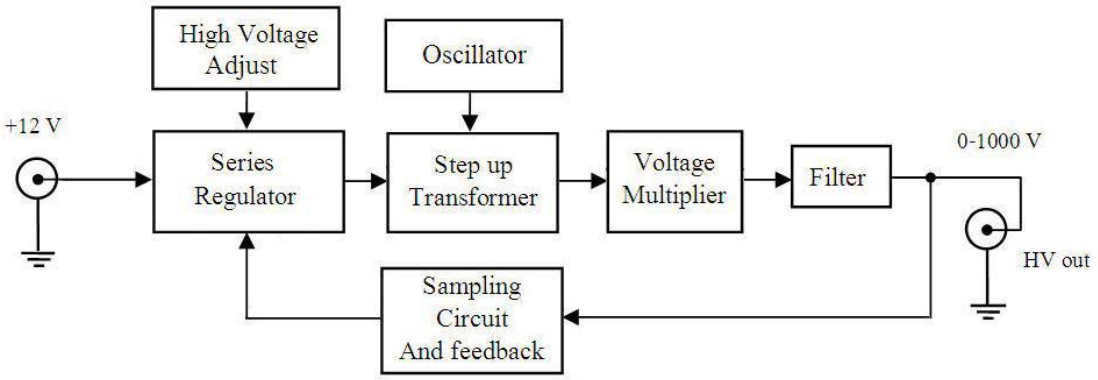
- แรงดันไฟฟ้าขนาด ± 24 V สำหรับจ่ายไฟให้กับภาคขยายส่วนหน้าที่อยู่ภายในฐานหลอด PMT (Photomultiplier tube) ของหัววัดรังสีชนิด NaI(Tl) หรือหัววัดรังสีชนิดอื่นที่ต้องการแรงดันไฟฟ้า ± 24 V
- แรงดันไฟฟ้าขนาด ± 12 V สำหรับจ่ายไฟให้กับวงจรขยายสัญญาณพัลส์ วงจรเรตมิเตอร์ และวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว
- แรงดันไฟฟ้าขนาด + 12 V สำหรับจ่ายไฟให้กับวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง
- แรงดันไฟฟ้าขนาด + 5 V สำหรับจ่ายให้กับวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว วงจรเรตมิเตอร์ วงจรนับรังสี และวงจรตั้งเวลา



ภาพที่ 3.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

3.2.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

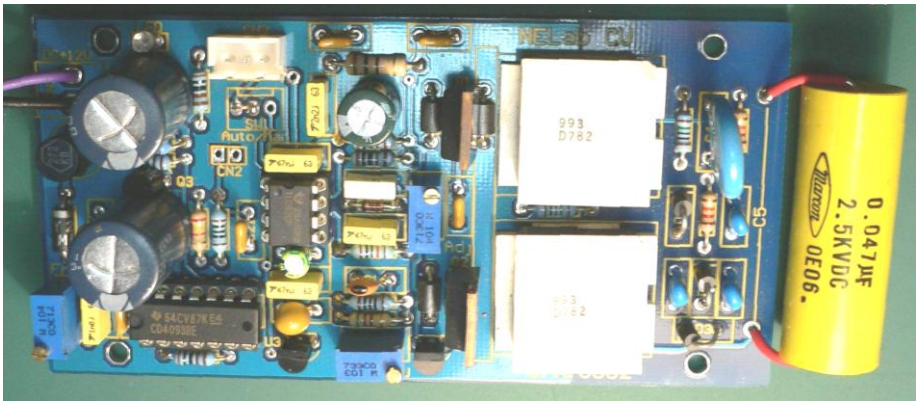
วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับหัววัดรังสีในระบบวัดรังสี ซึ่งภายในวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงประกอบด้วยวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่ได้ออกแบบวงจรให้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงชนิดปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1000 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้ 1 มิลลิแอมป์แปร์ ด้วยหม้อแปลงสวิตชิงความถี่สูงโดยใช้งานที่ความถี่ 80 กิโลเฮิรตซ์ (kHz) จัดรูปแบบการขับวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าแบบฟลายแบค (FLY BACK) ซึ่งเป็นวงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่มีข้อดีคือใช้อุปกรณ์น้อย วงจรมีขนาดกะทัดรัด และราคาประหยัด โดยวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่พัฒนาขึ้นยังมีส่วนป้อนกลับเพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงให้มีแรงดันคงที่ตามที่ตั้งค่าไว้ วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าขนาด +12 โวลต์ ที่กระแส 500 มิลลิแอมป์แปร์ โดยมีแผนภาพการทำงานดังแสดงในภาพที่ 3.5 ซึ่งประกอบด้วยวงจรต่างได้แก่ วงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator) วงจรซีรีส์เร็กกูเลเตอร์ (Series regulator) หม้อแปลงแบบเพิ่มแรงดันไฟฟ้า (Step up transformer) วงจรทวีแรงดันไฟฟ้า (Voltage multiplier) วงจรกรองกระแส (Filter) และวงจรควบคุมการปรับค่าไฟฟ้าแรงดันสูง (High voltage adjust)



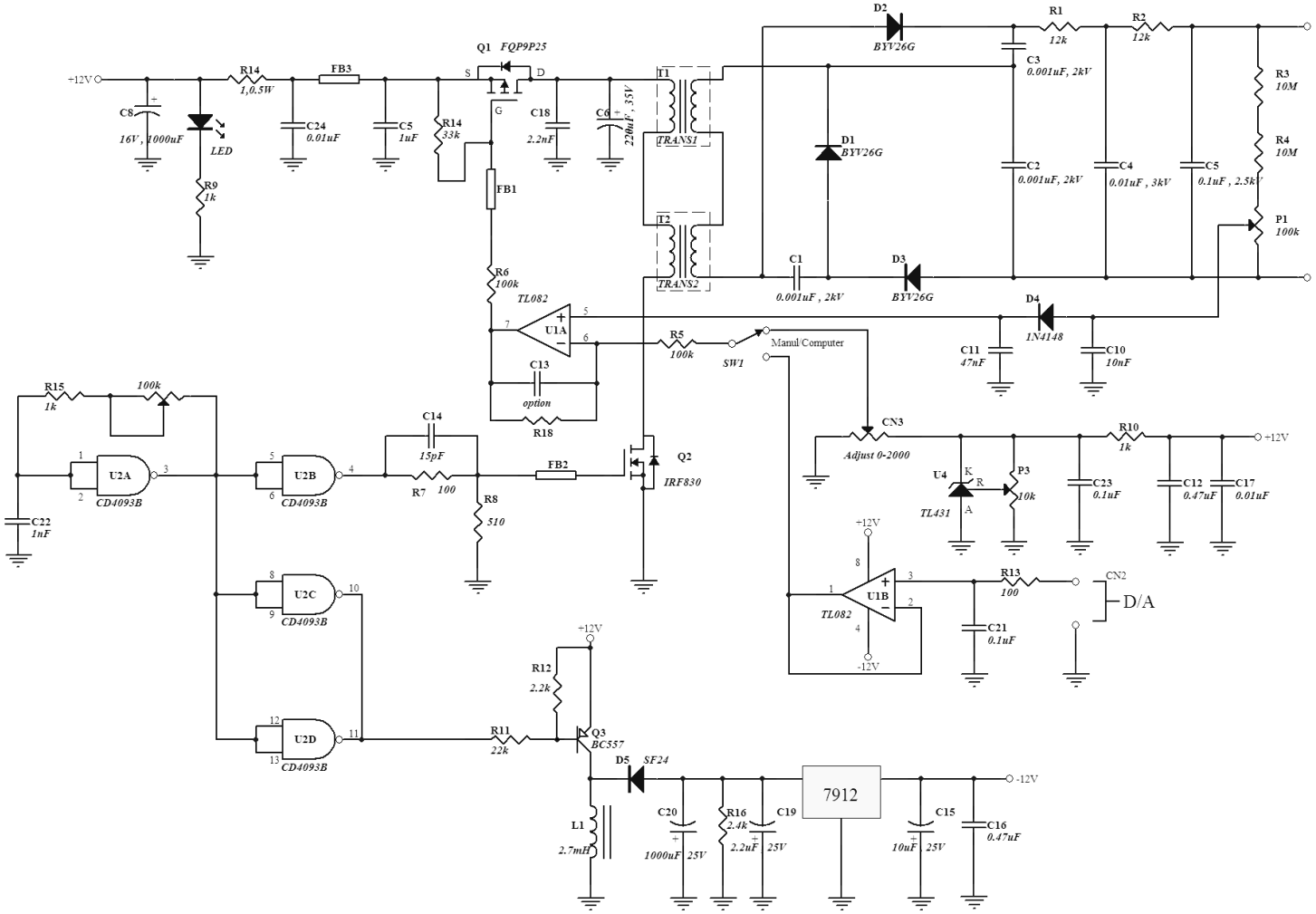
ภาพที่ 3.5 แผนภาพการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

การทำงานในวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงดังแสดงในภาพที่ 3.7 ไอซี U2A และ U2B ทำหน้าที่เป็นออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) กำเนิดความถี่ 80 กิโลเฮิรตซ์ (duty cycle 50%) เพื่อควบคุมให้มอสเฟส Q2 ที่อยู่กับหม้อแปลงความถี่สูงทำหน้าที่เปิดและปิดวงจรตามจังหวะความถี่ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำในขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิให้มีแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ที่อัตรารอบ 1:21 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะได้รับการทวีแรงดันเป็น 3 เท่า ที่วงจรทวีแรงดันพร้อมทั้งเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นก็จะถูกกรองกระแสให้เรียบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ R1, C4 และ R2, C5 ไฟฟ้าแรงดันสูงจะถูกแบ่งด้วยอัตราลดทอนของความต้านทาน 200:1 ด้วย R3, R4 และ P1 ส่งเข้าวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ IC U1A เปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่สามารถ

ปรับได้ด้วย P2 ที่ต่ออยู่กับ CN3 เพื่อทำการปรับค่าไฟฟ้าแรงดันสูงและควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ ส่วนค่าเปรียบเทียบที่ได้จาก IC U1A จะนำไปควบคุมการทำงานของวงจรควบคุมไฟฟ้าแรงดันต่ำที่จ่ายให้กับมอสเฟส Q1 โดยค่าเปรียบเทียบที่ได้เป็นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขาเกต (Gate) ของ Q1 ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมปริมาณกระแสที่ไหลผ่าน Q1 สำหรับ U2C และ U2D จะทำหน้าที่เป็น Buffer ระหว่าง U2A และ Q3 ซึ่ง Q3 ถูกออกแบบให้เป็นสวิตช์เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของวงจรสร้างไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบขนาด 12 โวลต์ เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับขา -Vcc ของไอซี U1 ในวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าจากวงจรทั้งหมดที่กล่าวมา สามารถสร้างแผ่นพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงได้ดังภาพที่ 3.6



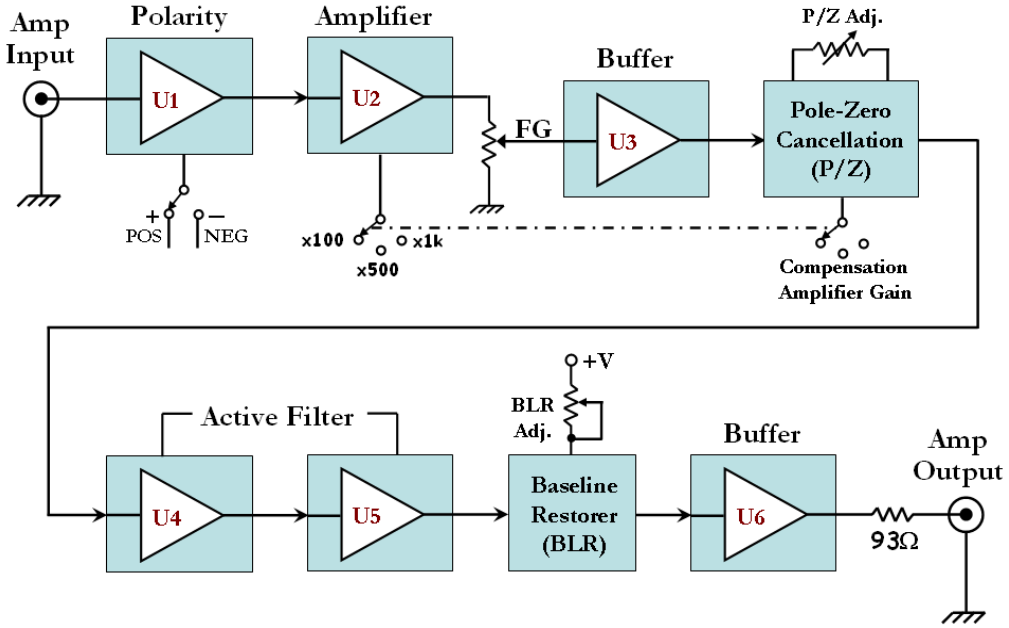
ภาพที่ 3.6 แผ่นพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่พัฒนาขึ้น



ภาพที่ 3.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

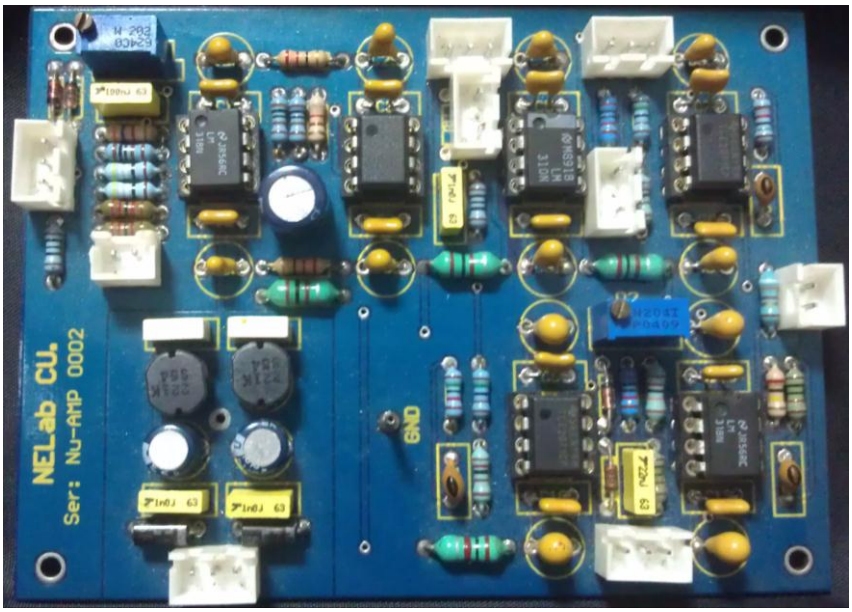
3.2.3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์

วงจรขยายสัญญาณพัลส์สำหรับงานทางด้านนิวเคลียร์จะมีหน้าที่หลักอยู่ 2 ประการ คือ ขยายสัญญาณพัลส์ และปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์ วงจรขยายสัญญาณพัลส์จะต้องมีการขยายสัญญาณแบบเชิงเส้น (Linear pulse amplifier) เนื่องจากความสูงของสัญญาณพัลส์จะเป็นสัดส่วนกับระดับพลังงานของรังสี ส่วนการปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์นั้นมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ความสูงสัญญาณพัลส์เพราะสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่ได้จากวงจรขยายส่วนหน้าจะมีรูปสัญญาณที่มีลักษณะเป็นยอดแหลม คือมีค่าไรส์ไทม์ (Rise time) ที่สั้นมาก (≈ 5 - 100 ns) ซึ่งไม่สะดวกต่อการตรวจวัดความสูงสัญญาณพัลส์ อีกทั้งยังมีค่าเวลาการสลายพัลส์ (Decay time) ที่ยาว (≈ 40 – 400 μs) จึงทำให้สัญญาณพัลส์ที่เข้ามาในช่วงเวลาใกล้กันเกิดการซ้อนกันระหว่างขอบขาขึ้นของสัญญาณพัลส์ที่ตามมากับสัญญาณขาลงของสัญญาณพัลส์ตัวแรกที่กำลังสลายตัว เป็นเหตุให้สัญญาณยังไม่ลงสู่เส้นฐานศูนย์ จึงจำเป็นต้องแยกสัญญาณพัลส์แต่ละลูกอิสระจากกันให้ได้ ดังนั้นวงจรขยายสัญญาณพัลส์ทางนิวเคลียร์จึงต้องมีการปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์ เพื่อให้สัญญาณพัลส์เอาท์พุตที่ได้มีขนาดความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่แคบลง มีช่วงเวลาขาขึ้นและลงที่เหมาะสมกับการตรวจวัดความสูงของสัญญาณพัลส์ ในการออกแบบนี้เลือกการแต่งรูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian) หรือใกล้เคียงเกาส์เซียนมากที่สุด ซึ่งมีแผนภาพการทำงานและออกแบบวงจรขยายสัญญาณพัลส์แสดงดังภาพที่ 3.8

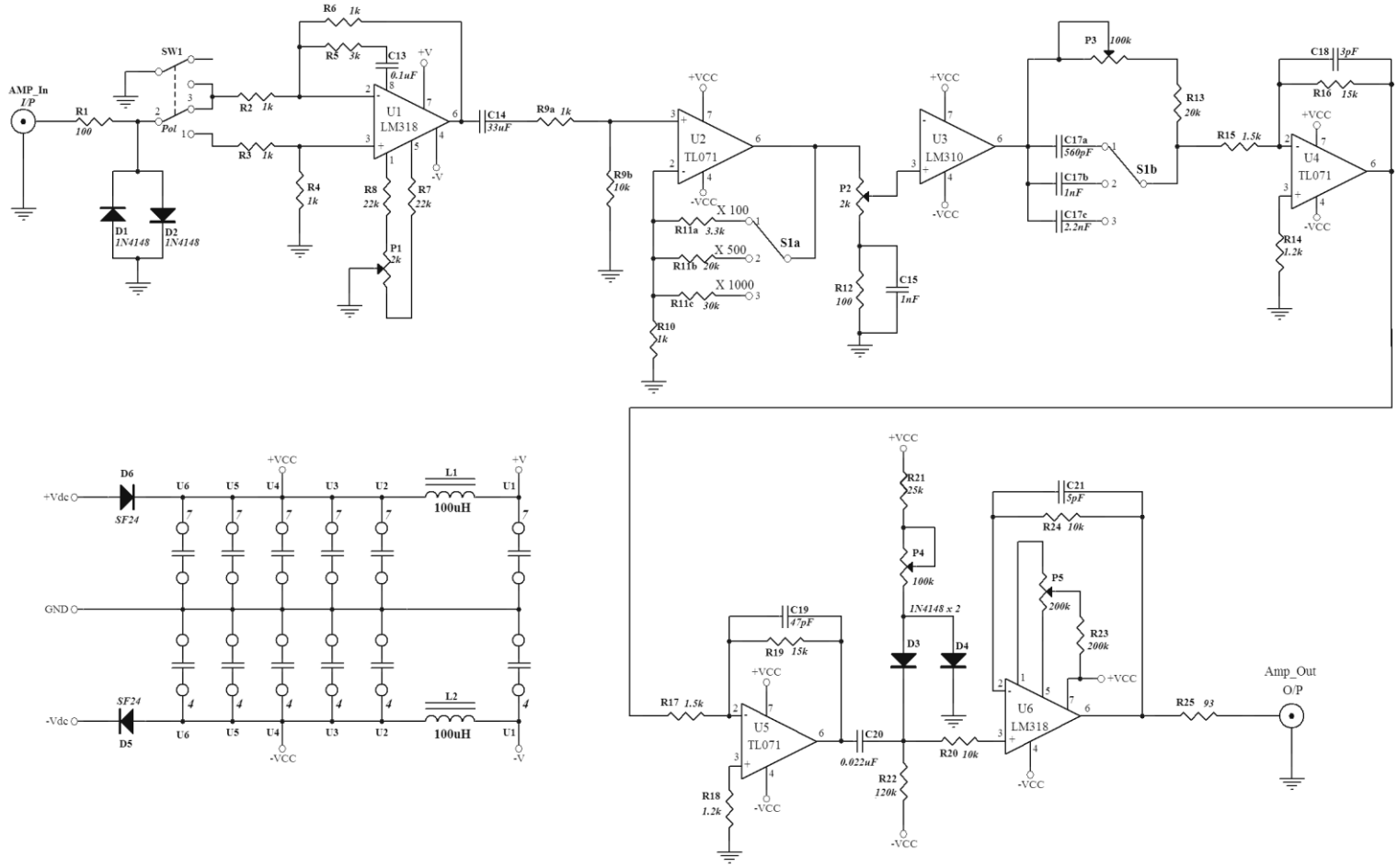


ภาพที่ 3.8 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรขยายสัญญาณพัลส์

จากแผนภาพการทำงานวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่ออกแบบขึ้นจะเห็นว่าวงจรขยายสัญญาณพัลส์ได้ออกแบบให้สามารถเลือกปรับโพลาริตี้ (Polarity) ของสัญญาณที่ไอซี U1 ได้ เพื่อรองรับสัญญาณเอาท์พุตจากวงจรขยายสัญญาณส่วนหน้าของหัววัดรังสีต่างๆ สัญญาณพัลส์จะถูกส่งมาทำการขยายสัญญาณที่ไอซี U2 (TLE071) ที่ต่อขยายสัญญาณแบบอินเวอร์ติงที่สามารถปรับเลือกอัตราขยายแบบหยาบ (Coarse gain) ได้เท่ากับ 100, 500 และ 1000 เท่าด้วยโรตารี่สวิตช์ และปรับอัตราขยายแบบละเอียด (Fine gain) ด้วยการปรับค่าของตัวต้านทานปรับค่าได้ (P2) ส่วนไอซี U3 ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (Buffer) สัญญาณพัลส์ก่อนส่งไปยังวงจรลบล้างโพล (Pole-Zero Cancellation, P/Z) เพื่อปรับแก้การเกิดอันเดอร์ชูต (Undershoot) ของสัญญาณเมื่อผ่านวงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ และสัญญาณพัลส์จะถูกลดสัญญาณรบกวนและปรับแต่งรูปสัญญาณด้วยวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ (Active Filter) ที่ไอซี U4 และ U5 จากนั้นสัญญาณพัลส์จะถูกปรับฐานของสัญญาณพัลส์ให้กลับสู่ศูนย์ด้วยวงจรปรับแก้ฐานสัญญาณ (Baseline Restorer, BLR) สัญญาณพัลส์ที่ผ่านการปรับแก้ฐานสัญญาณส่งผ่านให้วงจรบัฟเฟอร์ไอซี U6 เพื่อป้องกันการโหลดสัญญาณเมื่อนำไปต่อกับวงจรต่าง ๆ แผ่นพิมพ์วงจรขยายสัญญาณพัลส์ ที่พัฒนาขึ้นแสดงดังภาพที่ 3.9 ส่วนวงจรขยายสัญญาณพัลส์แสดงดังภาพที่ 3.10



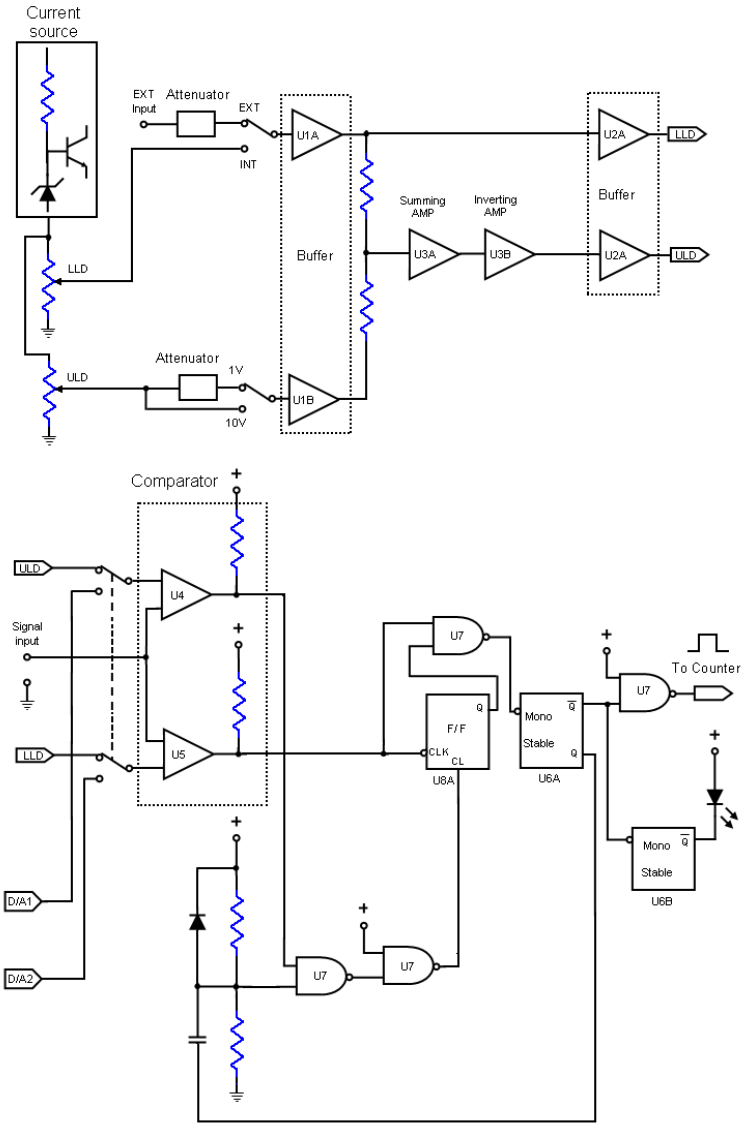
ภาพที่ 3.9 แผ่นพิมพ์วงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น



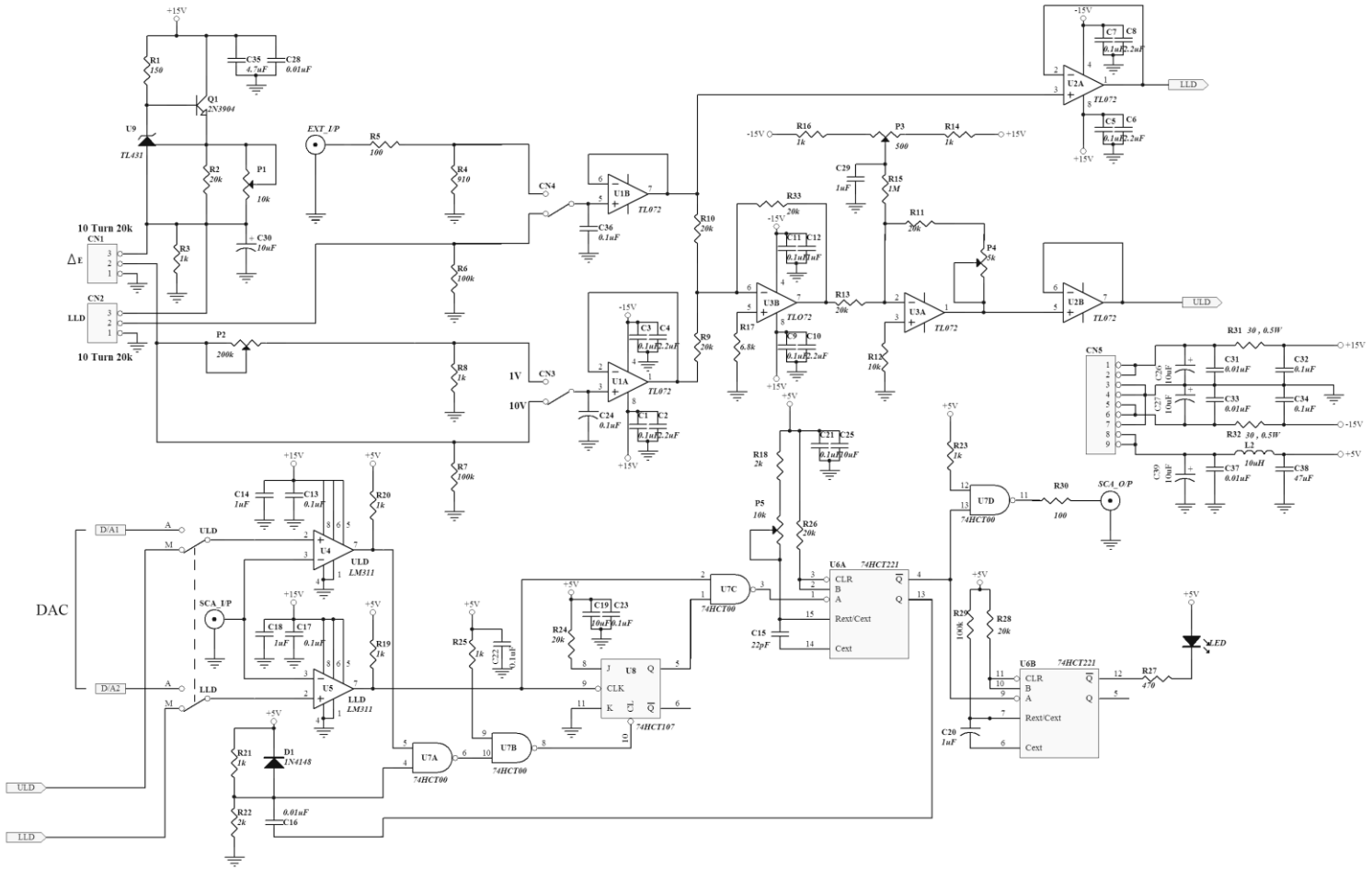
รูปที่ 3.10 วงจรขยายสัญญาณพัลส์

3.2.4 วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวซึ่งภายในประกอบด้วย วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวที่ทำหน้าที่รับสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์มาวิเคราะห์ความสูงของพัลส์และเปลี่ยนรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์เป็นสัญญาณลอจิกพัลส์ที่มีความกว้าง 500 นาโนวินาที เพื่อป้อนให้กับวงจรนับรังสีหรือวงจรเรตมิเตอร์ ซึ่งภายในวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวประกอบด้วย วงจรปรับแรงดันอ้างอิงเพื่อวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ วงจรเปรียบเทียบแบบหน้าต่าง และวงจรโมโนสเตเบิล แผนภาพการทำงานของวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวดังแสดงในภาพที่ 3.11 และวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวดังแสดงในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.11 แผนภาพการทำงานของวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว



ภาพที่ 3.12 วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

จากภาพวงจรที่ 3.12 ไอซี U4 และ U5 เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (Voltage Comparator) ทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงกับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณพัลส์ที่ต้องการวิเคราะห์ โดยช่วงพลังงานที่ต้องการวิเคราะห์ถูกกำหนดด้วยแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงระดับล่าง (Low Level Discriminator) และแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงระดับบน (Upper Level Discriminator) ซึ่งแรงดันไฟฟ้าทั้งสองนี้สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10 โวลต์ ผลต่างของแรงดันอ้างอิงในการวิเคราะห์พลังงาน เรียกว่า “ช่องวิเคราะห์พลังงานหรือหน้าต่างพลังงาน (Window); ΔE ” $(\Delta E = ULD - LLD)$

วงจรกำเนิดแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงออกแบบการทำงานโดยมี Q1 และไอซี U9 เป็นวงจรจ่ายกระแสคงที่ให้ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR1 (CN2) และ VR2 (CN1) กำเนิดแรงดันอ้างอิง LLD และ ΔE ขนาด 0 ถึง 10 โวลต์ โดยแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ΔE สามารถจะเลือกค่าเต็มสเกล 10 โวลต์ หรือแรงดันลดทอน 1 โวลต์ ได้โดยการปรับสวิตช์ที่ SW2 (CN3) แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงดังกล่าวจะส่งผ่านวงจรบัฟเฟอร์ U1A และ U1B เพื่อป้องกันผลกระทบของการโหลดแรงดันไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าจาก U1A เป็นแรงดันอ้างอิง LLD จะส่งไปยังวงจรบัฟเฟอร์ U2A เพื่ออ้างอิงให้กับวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระดับล่าง U5 ในขณะที่แรงดันอ้างอิงจาก U1A จะรวมกับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงจาก U1A ที่ U3B ซึ่งเป็นวงจรรวมสัญญาณ (Summing Amplifier) จากนั้นถูกส่งไปยัง U3A ซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์แอมป์ชนิดที่สามารถปรับค่าออฟเซตและอัตราการขยายได้ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าอ้างอิง $\Delta E + LLD = ULD$ ส่งผ่านวงจรบัฟเฟอร์ U2B เพื่ออ้างอิงให้กับวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระดับบนที่ไอซี U4

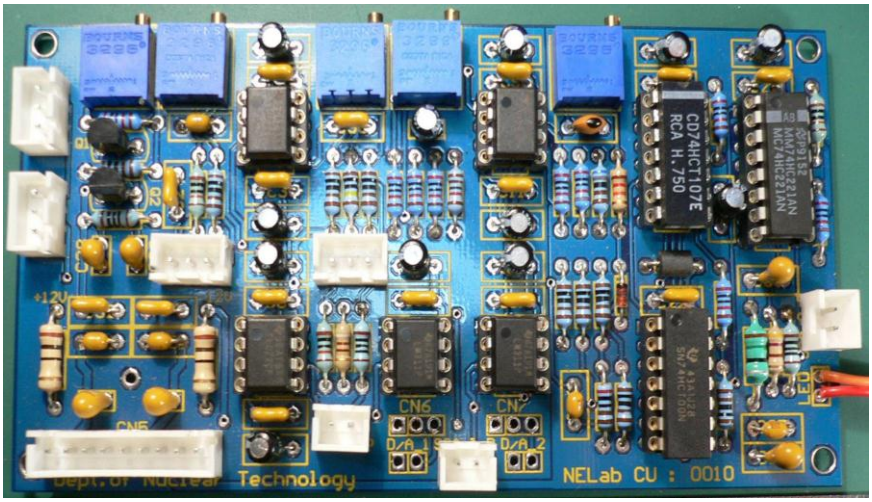
การวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ในวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเริ่มจากสัญญาณความสูงของพัลส์ (Input Signal) ที่ต้องการวิเคราะห์ถูกป้อนเข้ามาที่ขาอินพุต (ขา 3) ของไอซี U4 และ U5 ซึ่งสัญญาณอินพุตนี้จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง LLD ที่ขา 2 ของ U5 และแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ULD ที่ขา 2 ของ U4 สภาวะการวิเคราะห์จะเป็นใน 2 กรณี คือ

กรณีแรกเมื่อ LLD $\leq$ Input signal $<$ ULD แรงดันไฟฟ้าที่ทางออกสัญญาณของ U5 จะเปลี่ยนจากลอจิก “1” เป็น “0” ฟลิปฟลอฟ U8 จะถูกเซทให้ Q เป็นลอจิก “1” ทำให้สัญญาณทางออกของ U7C เปลี่ยนเป็นลอจิก “0” วงจรโมโนสเตเบิล U6A ถูกกระตุ้นให้ทำงานด้วยขอบขาลงของ U7C ทำให้ได้สัญญาณพัลส์บวกขนาดความกว้าง 500 นาโนวินาทีที่ทางออกสัญญาณของ 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 จะให้สัญญาณพัลส์ออกมาได้ก็ต่อเมื่อสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายมีความสูงมากกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง LLD แต่น้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ULD และในสภาวะนอกเหนือไปจากนี้จะไม่มีสัญญาณพัลส์ใด ๆ ปรากฏที่ทางออกสัญญาณ (SCA_0/P) ซึ่งแผ่นพิมพ์วงจรวิเคราะห์พลังแบบช่องเดี่ยวที่ประกอบเรียบร้อยแล้วแสดงได้ดังรูปที่ 3.15 โดยพยายามจัดเรียงตำแหน่งของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ให้เป็นกลุ่มที่สอดคล้องกับแผนภาพวงจร นอกจากนี้ยังได้ออกแบบแผ่นพิมพ์วงจรให้มีการแยกกราวด์ของสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัลเพื่อช่วยลดสัญญาณรบกวนของสัญญาณดิจิทัลต่อวงจรแอนะล็อก สำหรับวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวที่พัฒนาขึ้นแสดงดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 แผ่นพิมพ์วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวที่พัฒนาขึ้น

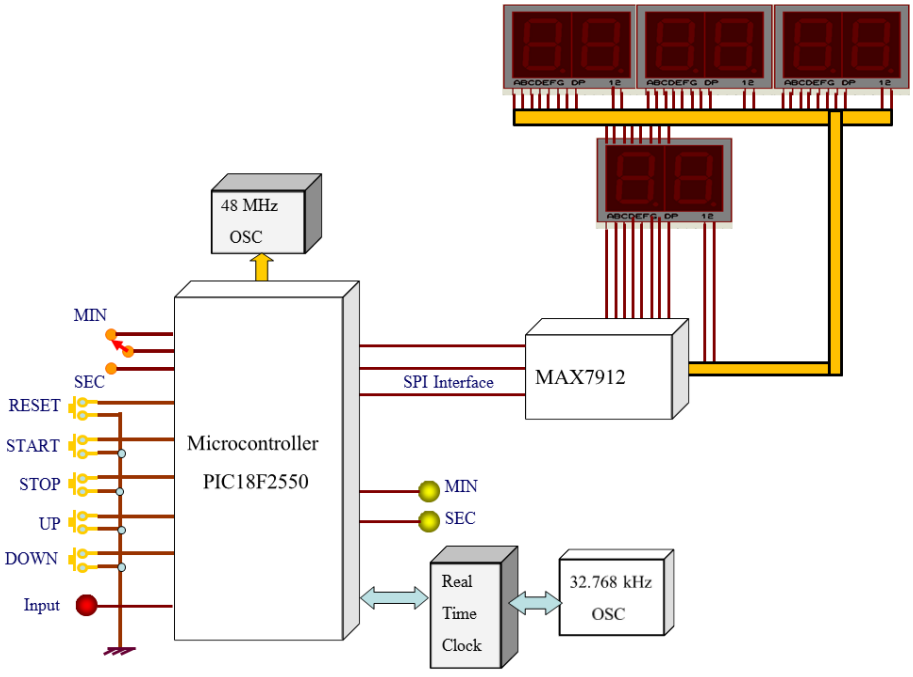
3.2.5 วงจรนับรังสี และตั้งเวลา

วงจรนับรังสี และตั้งเวลาประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนแสดงผล (Display) ซึ่งในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีการทำงานในสองหน้าที่คือการนับรังสี และตั้งเวลาโดยทำงานร่วมกับไอซี Real Time Clock เบอร์ DS1307

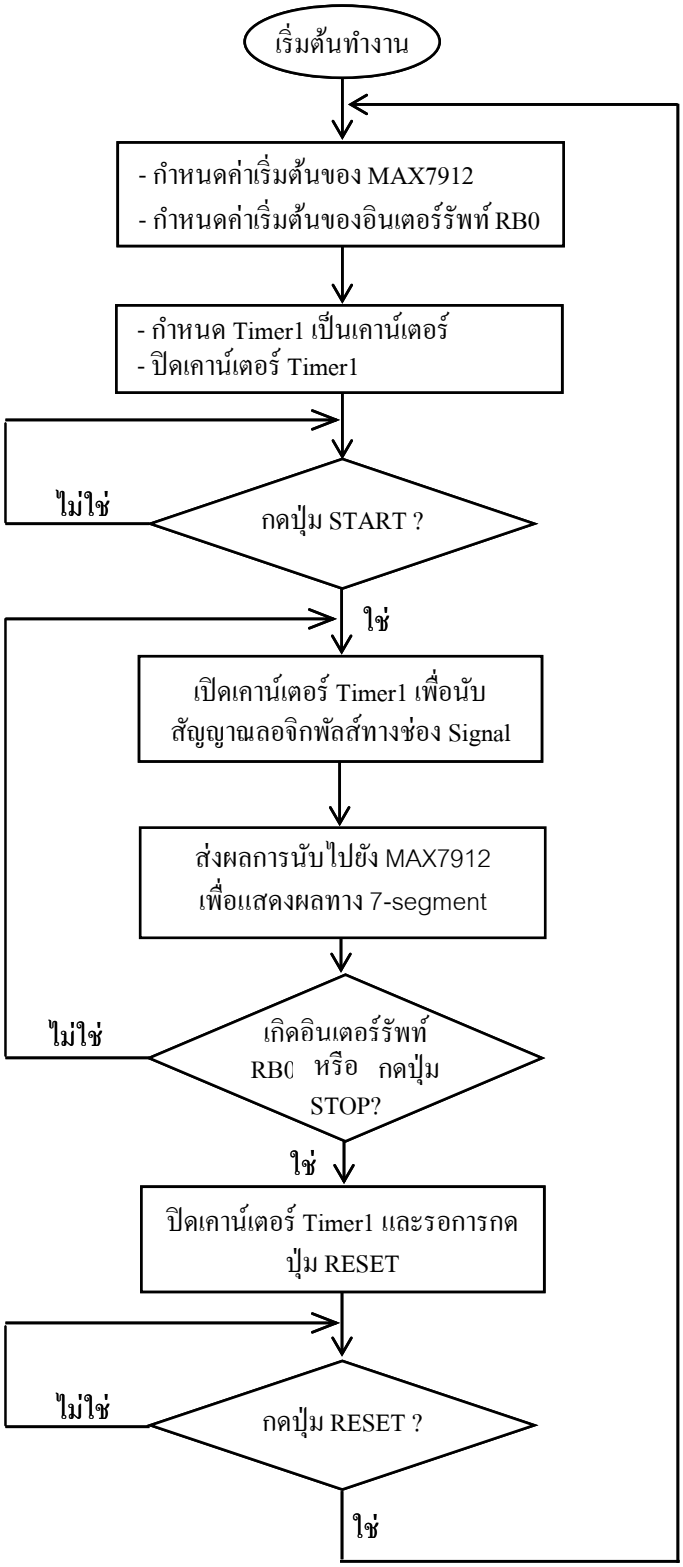
ส่วนการนับรังสีทำงานโดยใช้ฟังก์ชันเคาน์เตอร์ (Counter) ภายในไอซี PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ขนาด 8 บิต เบอร์ PIC18F2550 ทำงานที่ความถี่ 48 MHz

ด้วยวงจร Phase Lock Loop ภายในไอซี PIC ทำการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ที่เข้ามาทางช่อง Signal จากวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว การนับจำนวนรังสีเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างส่วนตั้งเวลาที่ใช้ควบคุมช่วงเวลาการนับให้ถูกต้องตามการตั้งค่าที่หน้าปัดของตัวเครื่อง และส่วนของการแสดงผลของจำนวนนับรังสีนั้นใช้ อุปกรณ์แสดงผลชนิด LED 7-Segment แบบ Common cathode จำนวน 6 หลัก หรือสามารถแสดงค่าสูงสุดได้ปริมาณ 999999 counts ในการแสดงผลจำนวนนับรังสี โดยมีไอซี MAX7912 เป็นตัวขับ (Drive) LED 7-Segment แต่ละหลักในการแสดงผล แผนภาพการทำงานของวงจรนับรังสีแสดงดังภาพที่ 3.14 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมนับรังสีภายในของไอซี PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังภาพที่ 3.15

วงจรนับรังสี และตั้งเวลาเป็นวงจรที่อาศัยไอซี PIC18F2550 ไมโครคอนโทรลเลอร์เพียงตัวเดียวโดยใช้ส่วนอินเตอร์รัพท์ (Interrupt) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกับไอซีสร้างฐานเวลา (Real time clock) เบอร์ DS 1307 และอุปกรณ์แสดงผล LED 7-Segment แบบ Common Cathode จำนวน 2 หลัก แผนภาพการทำงานของวงจรตั้งเวลาแสดงดังรูปที่ 3.14 ซึ่งวงจรตั้งเวลาจะทำหน้าที่ตั้งเวลาในการตรวจวัดรังสี โดยจะส่งสัญญาณไปควบคุมการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ของวงจรนับรังสี



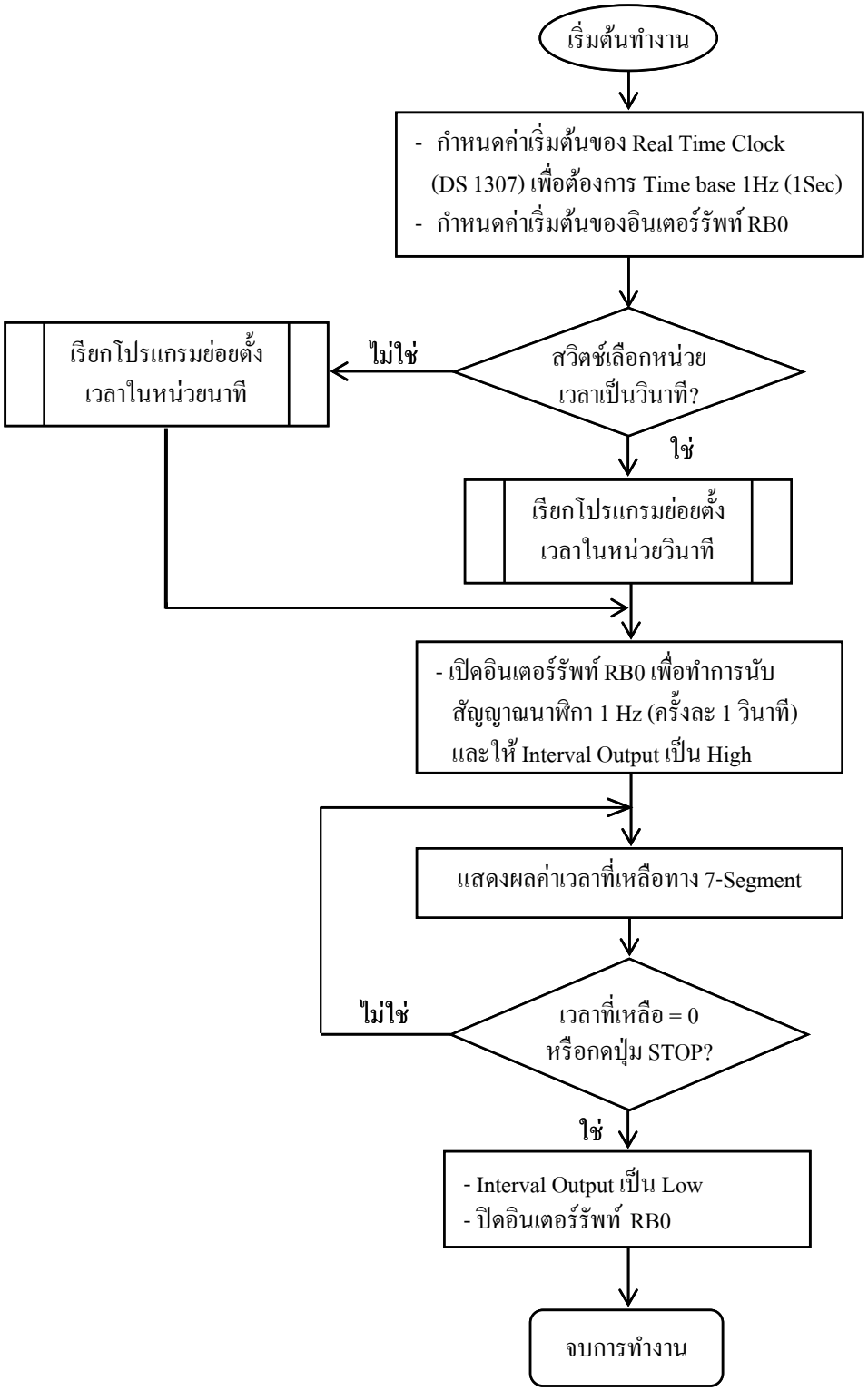
ภาพที่ 3.14 แผนภาพการทำงานของวงจรนับรังสี และตั้งเวลา



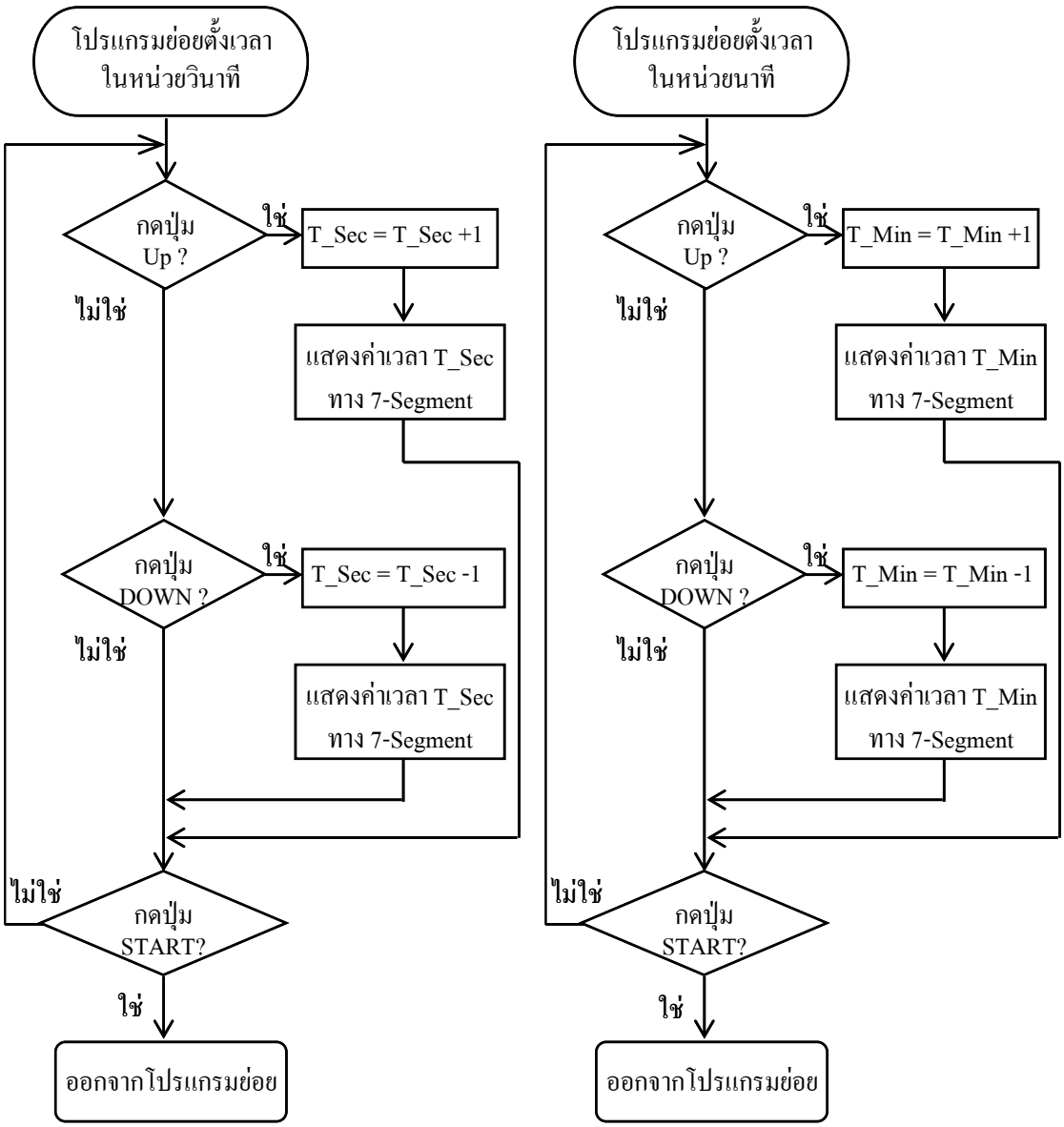
ภาพที่ 3.15 โฟลวชาร์ตการทำงานของโปรแกรมนับรังสีภายในไอซี PIC18F2550 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ด้วยไอซี PIC18F2550 ไมโครคอนโทรเลอร์ โดยการใช้อินเตอร์รัพท์จากภายนอก (External Interrupt) ที่ขา RB0 ของไอซี PIC ไมโครคอนโทรเลอร์ ในการจับเวลาทำได้โดยการนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 1 Hz จากอุปกรณ์สร้างฐานเวลา จนกระทั่งมีค่าคาบเวลาเท่ากับค่าเวลาที่ตั้งไว้ ซึ่งในการวัดรังสีสามารถเลือกตั้งค่าเวลาในหน่วยวินาทีหรือนาทีได้โดยการปรับเลือกสวิตช์ที่ใช้สำหรับเลือกหน่วยการวัด ซึ่งในหน่วยวินาทีสามารถตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 1-99 วินาที และในหน่วยนาทีสามารถตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 1-99 นาทีเช่นกัน จากนั้นก็จะส่งผลการตั้งค่าไปแสดงผลที่ LED 7-Segment จำนวน 2 หลัก ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหลัก และโปรแกรมย่อยของวงจรตั้งเวลาภายใน PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังภาพที่ 3.16 และ 3.17 ตามลำดับ

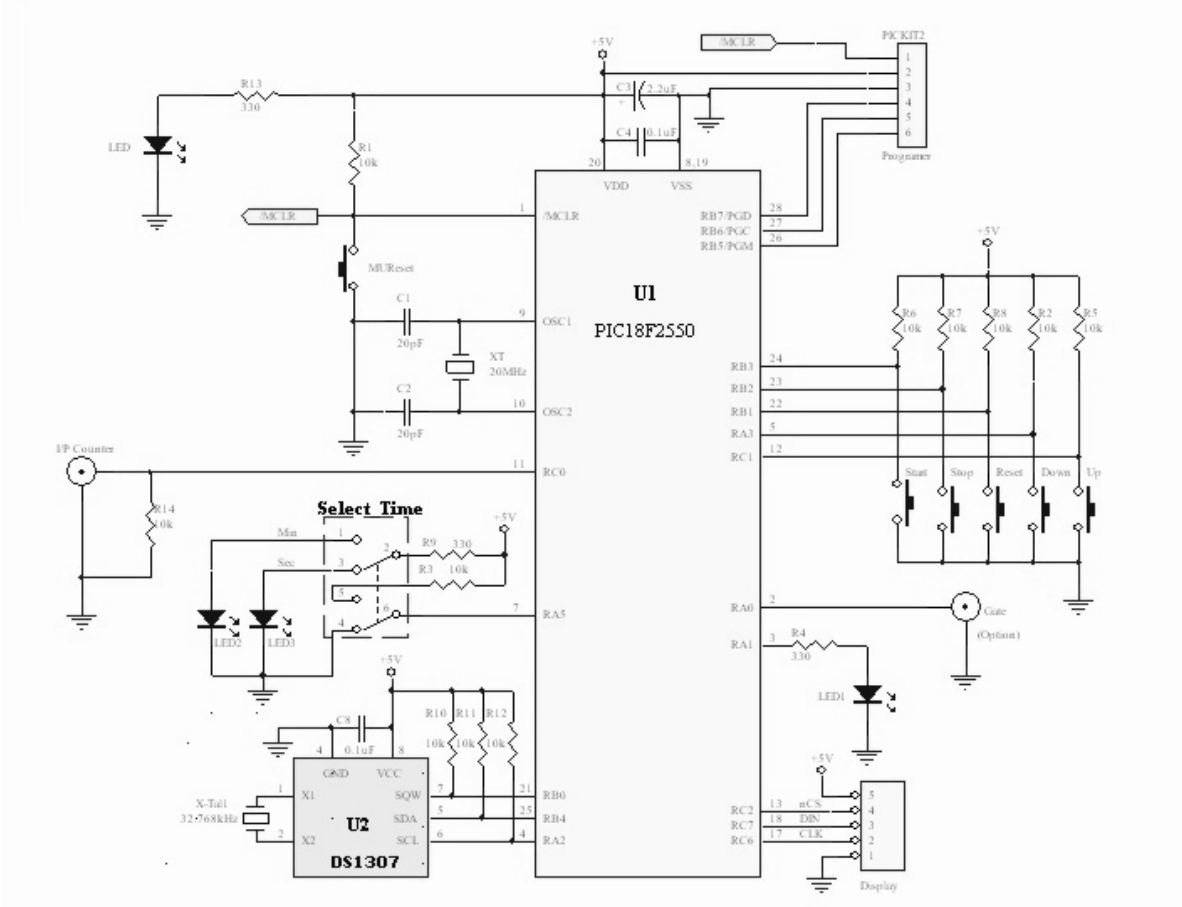
วงจรนับรังสี และตั้งเวลา ที่พัฒนาขึ้นนอกจากส่วนนับและตั้งเวลาแล้วยังมีส่วนแสดงผลทางหน้าปัดซึ่งเป็น LED 7-Segment ซึ่งจะแสดงผลการนับสัญญาณพัลส์ของรังสีจำนวน 6 หลัก และส่วนตั้งเวลาจำนวน 2 หลัก โดยส่วนแสดงผลทั้ง 8 หลักนี้จะใช้ไอซี MAX7219 เป็นตัวควบคุม โดยรับคำสั่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับวงจรนับรังสี และตั้งเวลา ที่พัฒนาขึ้นแสดงดังภาพที่ 3.18 และ วงจรส่วนแสดงผล LED 7segment แสดงดังภาพที่ 3.19



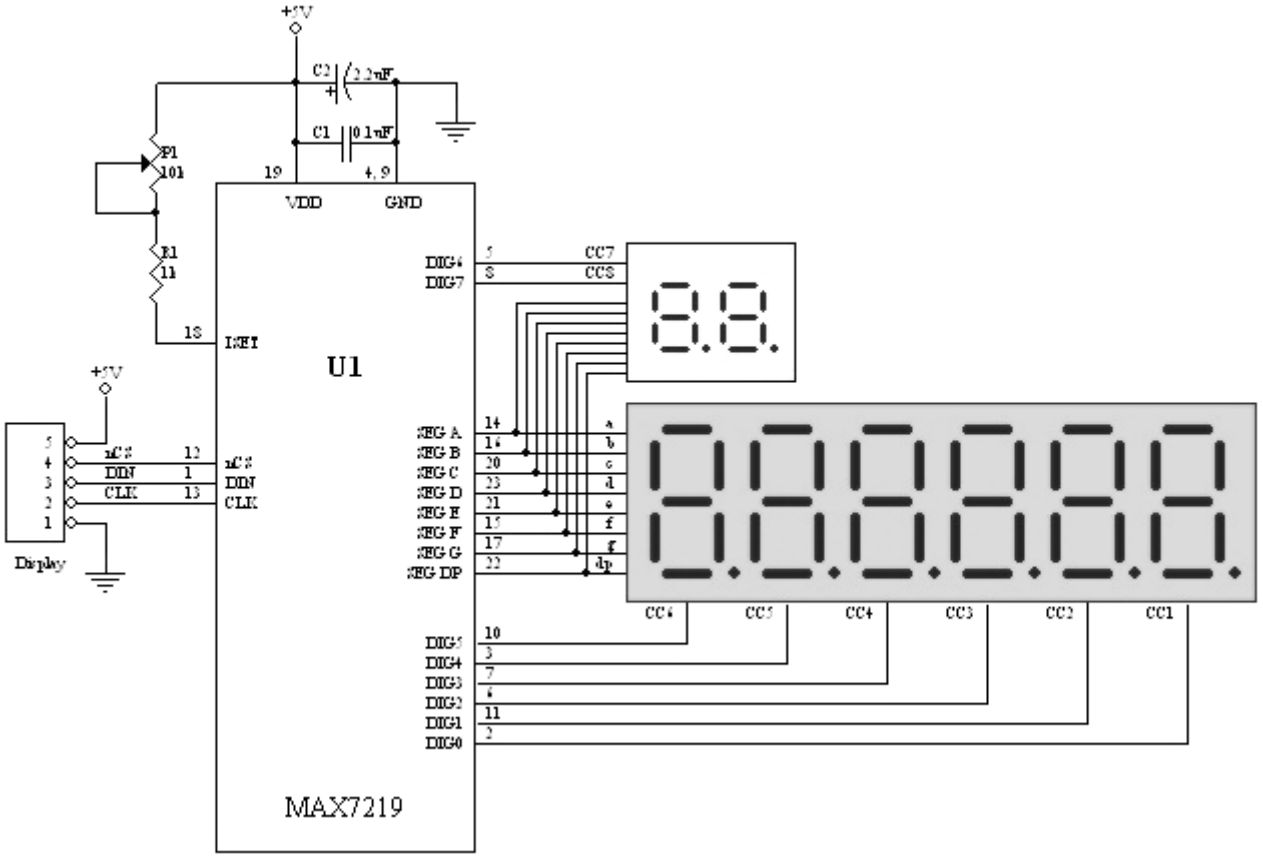
ภาพที่ 3.16 โฟลวชาร์ตการทำงานโปรแกรมหลักของวงจรตั้งเวลาภายใน PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 3.17โฟลวชาร์ตการทำงานโปรแกรมย่อยของวงจรตั้งเวลาภายใน PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์



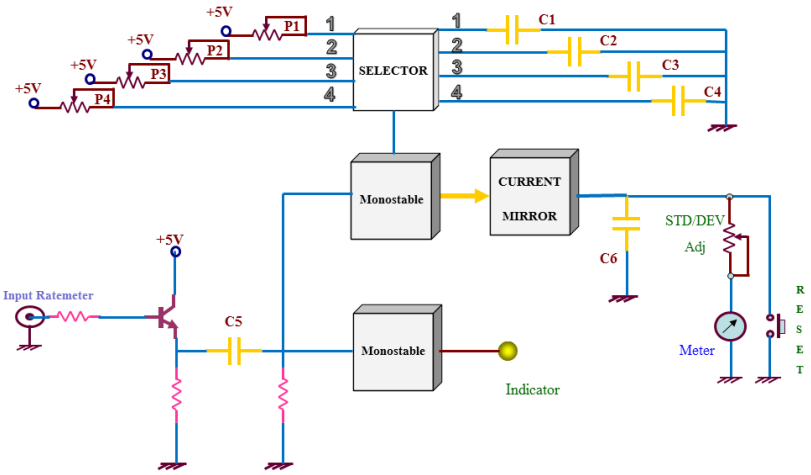
ภาพที่ 3.18 วงจรนับรังสี และตั้งเวลาที่พัฒนาขึ้น



ภาพที่ 3.19 วงจรส่วนแสดงผล LED 7segment โดย MAX7219

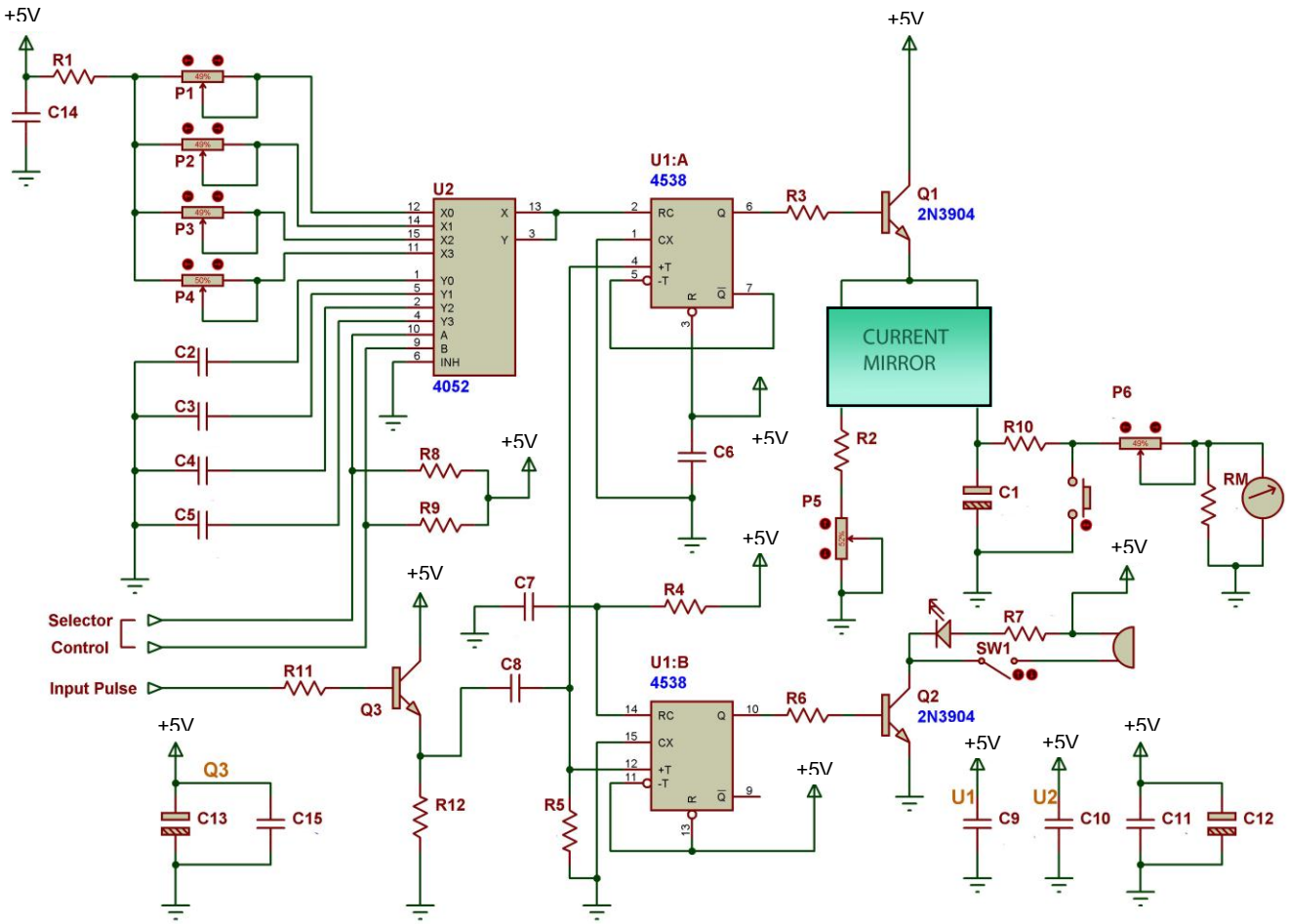
3.2.6 วงจรเรตมิเตอร์

วงจรเรตมิเตอร์ (Ratemeter) หรือวงจรนับอัตรารังสีเฉลี่ย ซึ่งหลักการทำงานของวงจรเรตมิเตอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนปริมาณนับรังสีให้เป็นแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย เพื่อนำไปแสดงผลอัตรานับรังสีเฉลี่ยในหน่วยจำนวนนับต่อวินาทีที่มิเตอร์เข็มดังแสดงในแผนภาพการทำงานภาพที่ 3.20

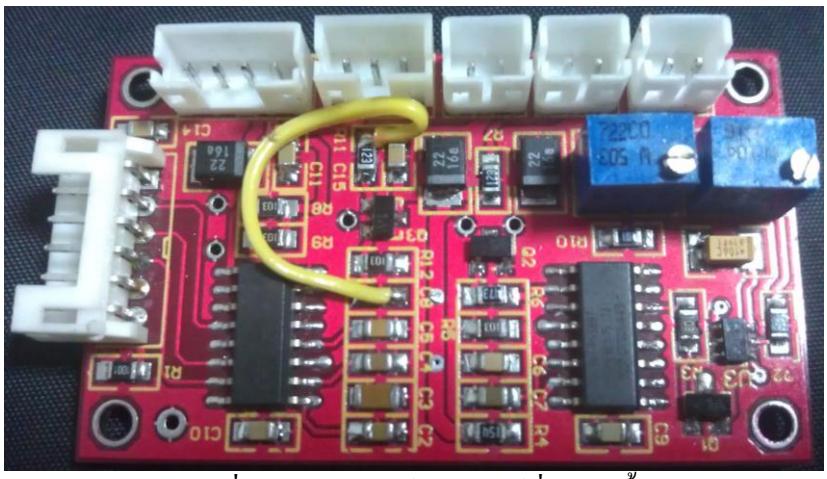


ภาพที่ 3.20 แผนภาพการทำงานของวงจรเรตมิเตอร์

จากแผนภาพการทำงานของวงจรเรตมิเตอร์จะพบว่าเมื่อมีสัญญาณพัลส์อินพุตถูกป้อนเข้ามาที่ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นวงจรบัฟเฟอร์ จากนั้นจะผ่านวงจร RC เพื่อสร้างสัญญาณทริกก์ที่ขอบขาขึ้น ก่อนจะผ่านสัญญาณพัลส์จำนวนนับรังสีเข้าสู่ไอซีโมโนสเตเบิลที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุสำหรับกำหนดความกว้างของพัลส์โมโนสเตเบิล เพื่อเลือกช่วงความถี่ที่แสดงผลบนมิเตอร์ด้วย selector switch โดยความกว้างของพัลส์โมโนสเตเบิลจะมีผลโดยตรงกับช่วงความถี่ที่แสดงบนมิเตอร์จากวงจรที่ต่อกับขาออกโมโนสเตเบิลจะต่อเข้ากับวงจร Current mirror ซึ่งจ่ายกระแสตามสัญญาณของโมโนสเตเบิลให้กับตัวเก็บประจุเมื่อมีความกว้างของพัลส์มากก็ยิ่งจะจ่ายกระแสได้มาก การจ่ายกระแสมากน้อยจะทำให้มีแรงดันไฟฟ้าแตกต่างกันที่ตัวเก็บประจุ โดยที่ตัวเก็บประจุนี้จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปที่มิเตอร์อีกที่หนึ่ง ซึ่งหากมีแรงดันไฟฟ้ามากก็จะทำให้เข็มชี้ค่าสูงตามกันไป สำหรับวงจรเรตมิเตอร์สามารถควบคุมการเลือกช่วงความถี่ได้ 4 ช่วงความถี่ด้วยแอนะล็อกสวิตช์ (ไอซี U7) คือในช่วงความถี่ที่ 1 จะนับสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ในช่วง 0 – 100 Hz ช่วงความถี่ที่ 2 นับสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 0 – 1 kHz ช่วงความถี่ที่ 3 นับสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 0 – 10 kHz และช่วงความถี่ที่ 4 นับสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 0 – 100 kHz ซึ่งสัมพันธ์กับสเกลของมิเตอร์ที่หน้าปัดของวงจรดังนี้คือ Range ×1 , ×10, ×100 และ ×1000 วงจรเรตมิเตอร์แสดงได้ดังภาพ 3.21 และแผ่นพิมพ์วงจรเรตมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้นแสดงดังภาพที่ 3.22



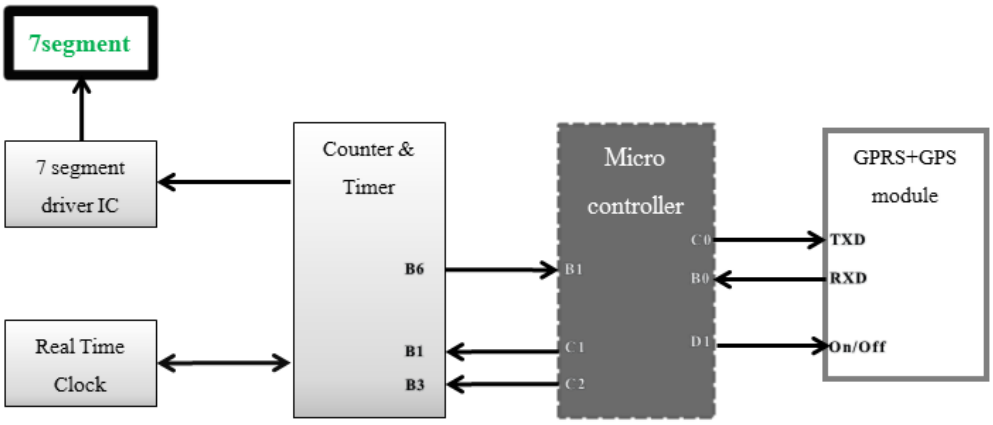
ภาพที่ 3.21 วงจรเรตมิเตอร์



ภาพที่ 3.22 แผ่นพิมพ์เรตมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

3.2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ และโมดูล GPS

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท MICROCHIP รุ่น PIC 18F4550 เป็นไอซีคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 bit มีหน้าที่ในการติดต่อควบคุมกับโมดูล Telit GM862-GPS และวงจรนับรังสี โดยมีลักษณะการเชื่อมโยงข้อมูลดังแผนภาพที่ 3.23



ภาพที่ 3.23 ภาพการติดต่อเชื่อมโยงข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์มีการเชื่อมโยงข้อมูลกันแบบ Serial Interface ที่ 4800 kbps โดยมีบิตข้อมูล 8 bit ไม่ใช้บิตตรวจสอบความผิดพลาดเบื้องต้น (parity bit) และ มีบิตสิ้นสุดข้อความขนาด 1 บิต หรือเรียกโดยย่อว่า 8-N-1 สำหรับสาเหตุที่ใช้การสื่อสารแบบ Serial Interface ที่ 4800

kbps 8-N-1 เนื่องจากการสื่อสารมาตรฐาน NMEA 0183 ของ GPS มีการกำหนดมาตรฐานไว้ที่การสื่อสารแบบดังกล่าว

ในส่วนการเขียนโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์ของระบบที่พัฒนาขึ้น โปรแกรมการทำงานถูกเขียนด้วยภาษา BASIC ผ่าน Complier ของ Proton IDE ในระบบที่พัฒนาขึ้นมีการกำหนด PortB.0 และ PortC.0 สำหรับสื่อสารกับ Telit Module โดยใช้ PortB.0 เป็นส่วนรับข้อมูลจาก Telit Module และ ส่งข้อมูลสู่ Telit Module โดย PortC.0 ในส่วนการสื่อสารกับวงจรนับรังสีและตั้งเวลาจะรับข้อมูลผ่านทาง PortB.1 การสื่อสารผ่าน PortB.0 และ PortB.1 ในระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะใช้ความสามารถของ External Interrupt 0 และ 1 ในการรอรับการสื่อสารที่จะถูกส่งเข้ามาจาก Telit Module และ วงจรนับรังสีตลอดเวลา และ จะใช้ Interrupt Timer0 และ Interrupt Timer1 ในการตั้งเวลาในการรับข้อมูลแต่ละบิตได้อย่างถูกต้อง สำหรับรูปแบบในการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ Telit Module และ ไมโครคอนโทรลเลอร์กับ วงจรนับสัญญาณจะมีการรูปแบบที่แตกต่างกันคือ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์กับ Telit Module จะมีการติดต่อสื่อสารกันผ่าน AT Command ซึ่งเป็นคำสั่งมาตรฐานทั่วไปสำหรับการสื่อสารกับโทรศัพท์ เช่น โมเด็ม โทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่วนการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ วงจรนับสัญญาณในระบบที่พัฒนาจะใช้การสื่อสารแบบ Serial ในลักษณะทางเดียวเท่านั้นคือ การส่งข้อมูลที่นับได้จากวงจรนับรังสีมายังไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม โดยจะมีการสื่อสารกลับไปยังวงจรนับรังสีในลักษณะ Logic Control จำนวน 2 bit สำหรับ Start กับ Reset เท่านั้น

ขั้นตอนการทำงานของระบบ

1. จะทำการรอรับการโทรเข้าจากโทรศัพท์ภายนอก

2. เมื่อมีการโทรเข้าจะทำการเก็บหมายเลขโทรศัพท์ไว้ และตัดสายโทรเข้าไปเมื่อมีสัญญาณโทรเข้าดังเป็นครั้งที่สอง

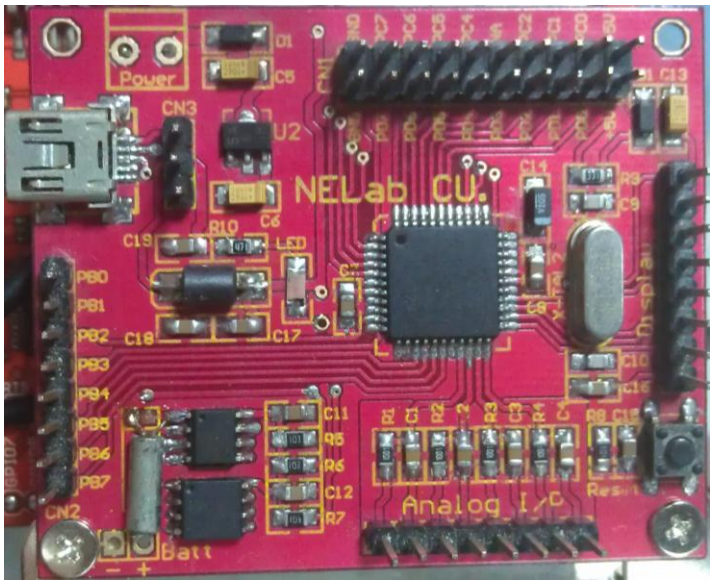
3. ระบบจะทำการ Reset ค่าเดิม และ Start การนับรังสีตามเวลาที่ถูกตั้งไว้

4. เมื่อนับสัญญาณเสร็จ วงจรนับจะส่งข้อมูลที่นับผ่านการสื่อสารแบบ Serial มายังไมโครคอนโทรลเลอร์

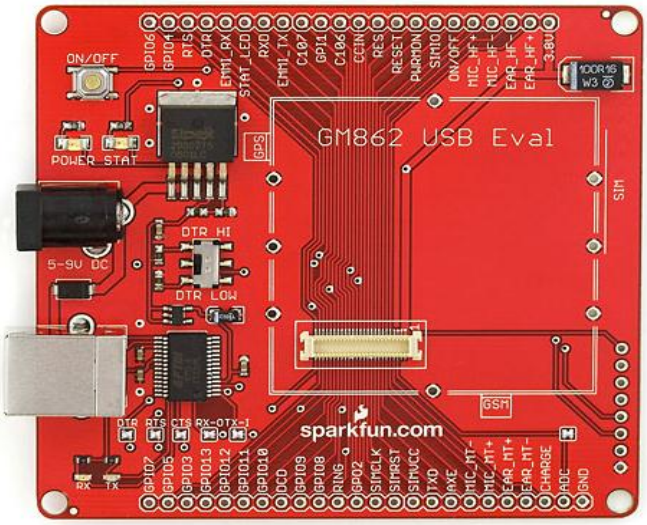
5. เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์รับข้อมูลมาแล้วจะทำการส่งคำสั่ง AT command ไปยัง Telit Module เพื่อเรียกพิกัด GPS

6. เมื่อได้รับตำแหน่งพิกัด GPS แล้วจะทำการส่ง SMS กลับไปยังโทรศัพท์หมายเลขที่โทรเข้าโดยข้อมูลจะระบุ ค่าที่วัดได้ เวลาที่ทำการวัด และ ตำแหน่งพิกัด เป็นต้น

วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และโมดูล GPS มีลักษณะของแผ่นพิมพ์วงจรดังภาพที่ 3.24 และ 3.25 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.24 แผ่นพิมพ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 3.25 แผ่นพิมพ์โมดูล GPS

3.2.8 การพัฒนาโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์

โปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ได้ทำการพัฒนาโดยใช้ภาษา BASIC ผ่านโปรแกรม Microsoft Visual Basic 2010 ซึ่งเป็นโปรแกรมประเภท Integrated Development Environment สำหรับช่วยพัฒนาโปรแกรมบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำงานร่วมกับ GPRS module ซึ่งจะถูกต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน Virtual Com Port จึงสามารถเรียกใช้การสื่อสาร serial port จากตัวโปรแกรมที่พัฒนาได้ โดยการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ และ โมดูล GPRS ใช้รูปแบบคำสั่ง AT command ในการควบคุมการทำงาน ส่วนแสดงผลของโปรแกรมจะมีหน้าที่แสดงผลการวัด และตำแหน่งพิกัดบนแผนที่ออนไลน์ รวมทั้งบันทึก และเรียกข้อมูลจากระบบวัด

3.2.8.1 หน้าต่างหลักของโปรแกรมมีเมนูหลักด้านบนของหน้าต่างประกอบด้วย เมนู File, เมนู Connection และเมนู Phone ดังแสดงในภาพที่ 3.26

เมนู File เป็นส่วนการทำงานสำหรับจัดการ file ทั้ง New file, Open file และ Save file

เมนู Connection เป็นส่วนการทำงานสำหรับตั้งค่าการเชื่อมต่อกับโมดูล GPRS ยกตัวอย่าง เช่น Connect, Speed ของการสื่อสารแบบอนุกรม และ Port การเชื่อมต่อ

เมนู Phone เป็นส่วนการทำงานสำหรับใช้งานโมดูล GPRS มีคำสั่งสำคัญคือ call data ซึ่งมีหน้าที่ในการโทรศัพท์หาระบบวัดรังสี เพื่อเป็นการเรียกข้อมูลการวัดจากระบบวัดรังสีให้ทำการวัด และส่งข้อมูลกลับมายังโมดูล GPRS

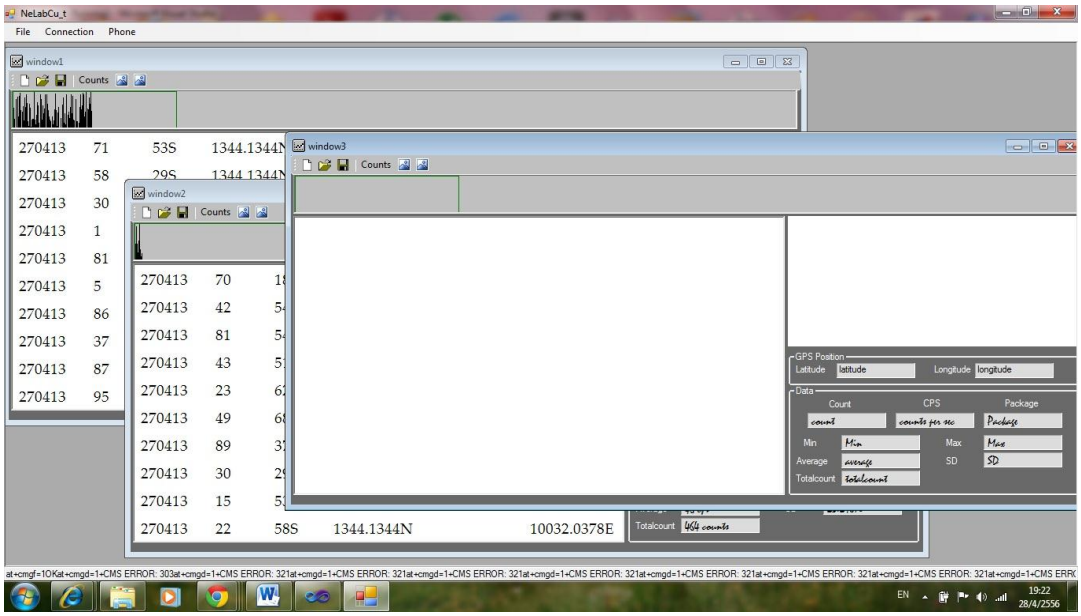
ภาพที่ 3.26 หน้าต่างหลักของโปรแกรม

3.2.8.2 หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรมมีลักษณะเป็นหน้าต่างย่อยภายในหน้าต่างหลักโดยสามารถเปิดหน้าต่างย่อยได้ครั้งละหลาย ๆ หน้าสำหรับการเลือกเก็บข้อมูลต่างไฟล์กันดังภาพที่ 3.27 หน้าต่างแสดงผลแบ่งออกเป็น

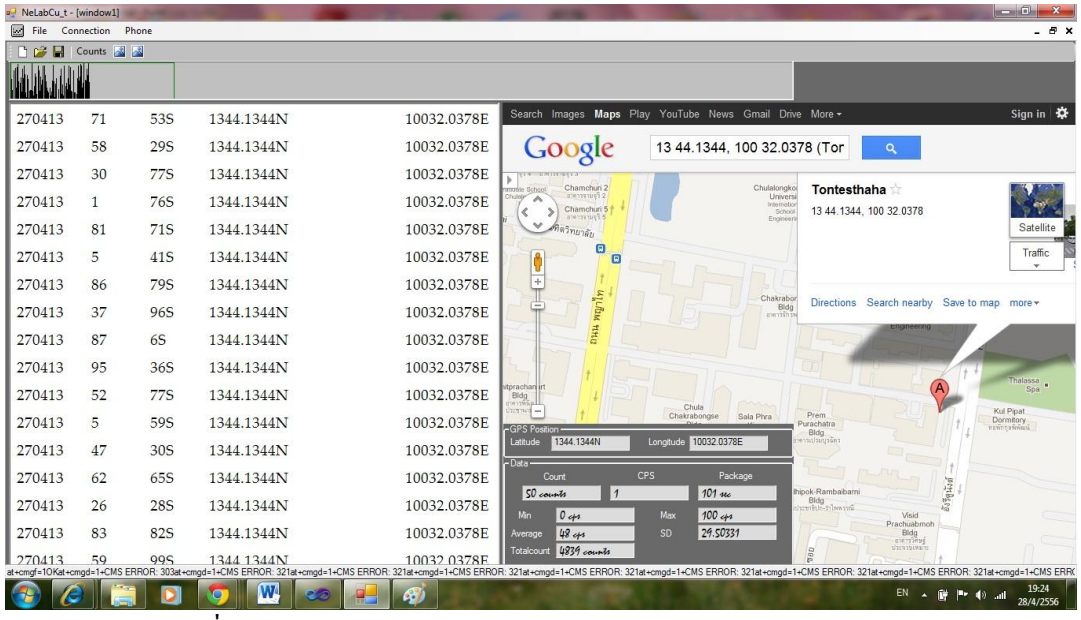
ส่วนแสดงผลข้อมูลจากระบบวัดที่ส่งมายังโมดูล GPRS ทั้งวันที่วัด อัตราการนับรังสี เวลาทำการวัด พิกัดตำแหน่งที่ทำการวัด ดังภาพที่ 3.28

ส่วนแสดงข้อมูลทางสถิติซึ่งข้อมูลที่ได้จากระบบวัดมาหา ค่าเฉลี่ย ค่าเบี้ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ดังภาพที่ 3.28

ส่วนแสดงพิกัดตำแหน่งซึ่งจะแสดงละติจูด ลองจิจูดของระบบวัดรังสีพร้อมทั้งนำละติจูด ลองจิจูด เรียกตำแหน่งบนระบบแผนที่ออนไลน์เพื่อแสดงแผนที่บริเวณที่วัด ดังภาพที่ 3.28



ภาพที่ 3.27 หน้าต่างย่อยภายในหน้าต่างหลัก



ภาพที่ 3.28 หน้าต่างแสดงผลข้อมูลจากระบบวัด, ข้อมูลทางสถิติ และพิกัดตำแหน่ง

3.2.9 เครื่องวัดรังสีที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

หลังจากที่ได้ประกอบวงจรทั้งหมดดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นลงบนแผ่นพิมพ์วงจรเรียบร้อยก็นำมาประกอบลงในกล่อง แล้วทำการต่อเชื่อมสายไฟฟ้าและสายสัญญาณของแต่ละแผงวงจรภายในตัวเครื่องเข้าด้วยกัน จากนั้นจึงทำการต่อเชื่อมสายต่าง ๆ มายัง ปุ่มปรับและสวิตช์ที่ติดตั้งบนหน้าปัดทั้งด้านหน้าและด้านหลังของตัวเครื่องดังแสดงในภาพที่ 3.29 และ 3.30 ตามลำดับ โดยตัวเครื่องมีน้ำหนักประมาณ 4.5 กิโลกรัม มีขนาดความกว้างเป็น 128 mm ความยาวเป็น 230 mm และความสูงเป็น 218 mm

ภาพที่ 3.29 หน้าปัดด้านหน้าของเครื่อง

ภาพที่ 3.30 หน้าปัดด้านหลังของเครื่อง

3.2.10 โมดูล GPRS สำหรับระบบเก็บข้อมูลกลางที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

หลังจากที่ได้ประกอบโมดูล GPRS ของ Telit รุ่น GM862-GPS เข้ากับแผ่นพิมพ์วงจรดังภาพที่ 3.25 แล้วทำการต่อเชื่อมสายไฟฟ้า สำหรับ LED แสดงสถานะ และปุ่ม ON/OFF ก็ทำการบรรจุลงภายในกล่องพร้อมทั้งติดตั้งเสาอากาศในระบบ GSM ด้านข้างของตัวกล่อง ก็จะได้โมดูล GPRS สำหรับระบบเก็บข้อมูลกลาง ซึ่งจะทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 3.31 มีขนาดความกว้างเป็น 139 mm ความยาวเป็น 102 mm และความสูงเป็น 45 mm (ไม่นับเสาอากาศ)

ภาพที่ 3.31 หน้าปัดด้านหน้าของโมดูล

ภาพที่ 3.32 หน้าปัดด้านหลังของโมดูล

ภาพที่ 3.33 ระบบเก็บข้อมูลกลางอันประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ และโมดูล GPRS

บทที่ 4
การทดสอบสมรรถนะของเครื่องวัดรังสี และผลการทดสอบ

ในการทดสอบการทำงานและสมรรถนะของแต่ละวงจรได้ทำการแบ่งการทดสอบออกเป็น การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง การทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์ การทดสอบวงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดี่ยว การทดสอบวงจรนับรังสี การทดสอบวงจรตั้งเวลา และการทดสอบวงจรคัดเลือกสัญญาณและเรตมิเตอร์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น

4.1 การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

จากการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำขนาด +5 V, ±12 V และ ±24 V สามารถทดสอบเพื่อหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

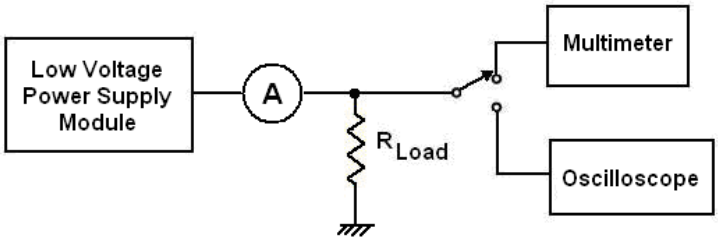
4.1.1.1 มัลติมิเตอร์ (Multimeter) UNI-T รุ่น UT60E

4.1.1.2 เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Oscilloscope) ของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360

4.1.1.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่พัฒนาขึ้น

4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบขนาดแรงดัน และหา Ripple ของแรงดันไฟฟ้าแรงดันต่ำขนาดต่าง ๆ สามารถจัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบได้ดังภาพที่ 4.1

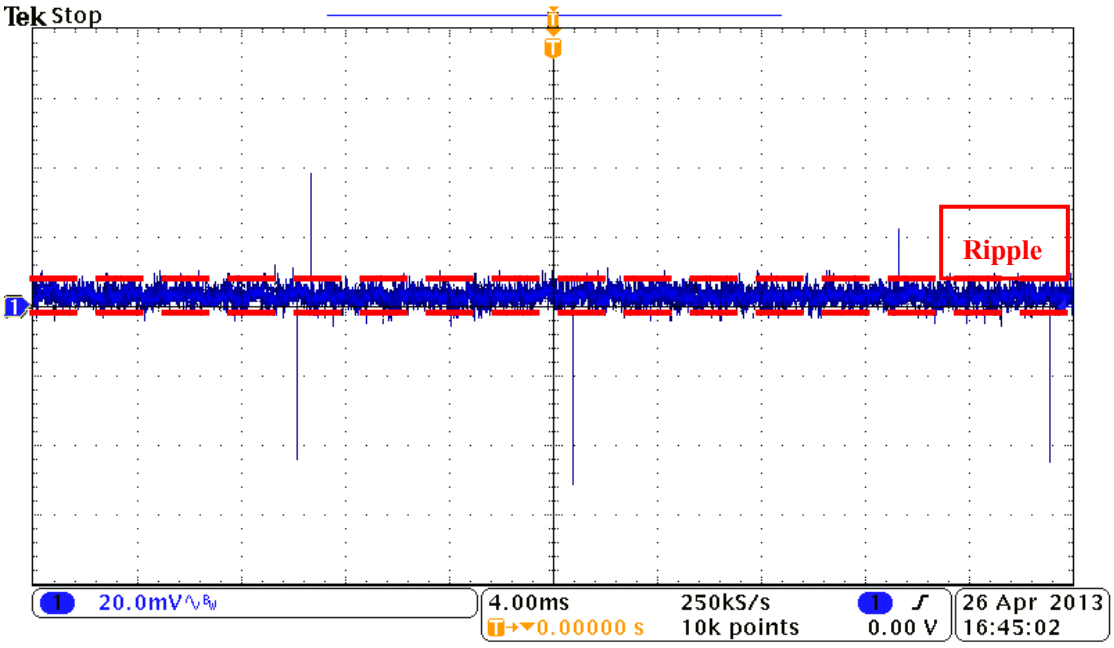


ภาพที่ 4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

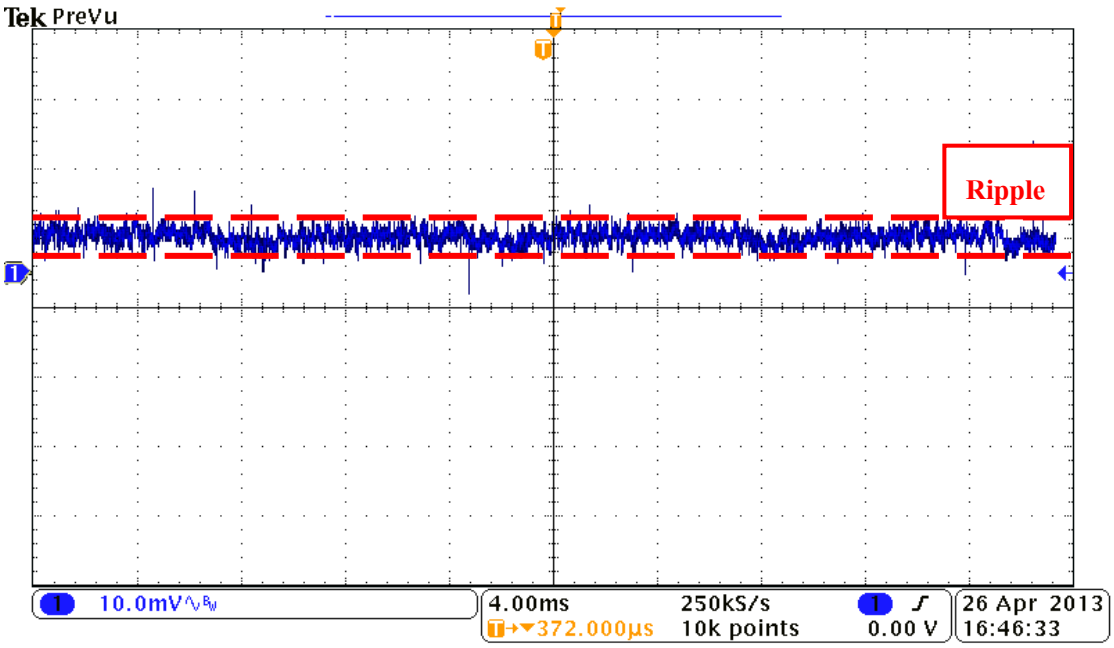
4.1.3 ผลการทดสอบ

การทดสอบการควบคุมแรงดัน (Regulation) ของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (Output) ที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำขนาดต่าง ๆ โดยทดสอบหาแรงดันกระเพื่อม (Ripple voltage) ที่ออกมา

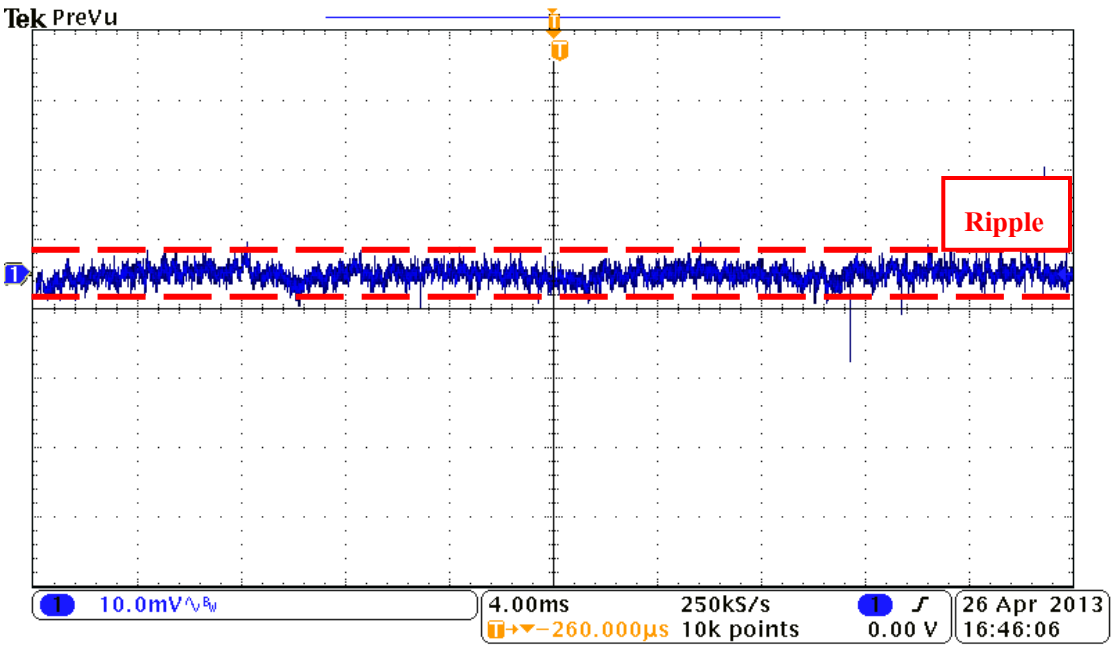
จากแหล่งจ่ายของแหล่งจ่ายต่าง ๆ ของแรงดันไฟฟ้า +5V, +12V, -12V, +24V และ -24V แสดงผลดังภาพที่ 4.2 ,4.3 ,4.4 ,.4.5 และ 4.6 ตามลำดับ



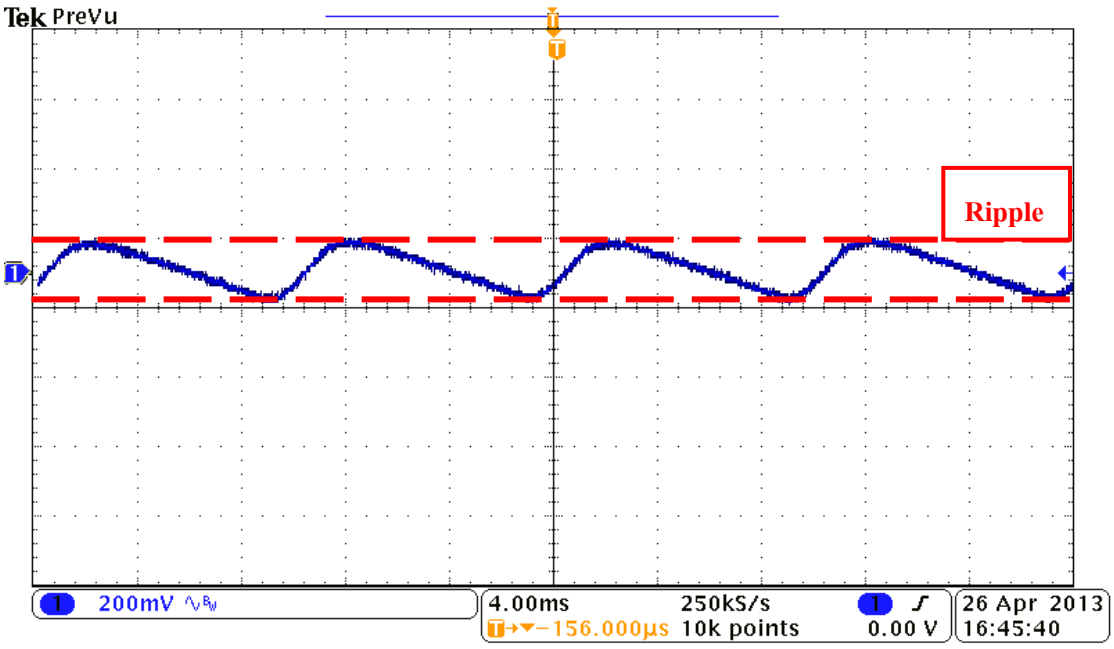
ภาพที่ 4.2 ภาพแสดง Ripple ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า +5 V



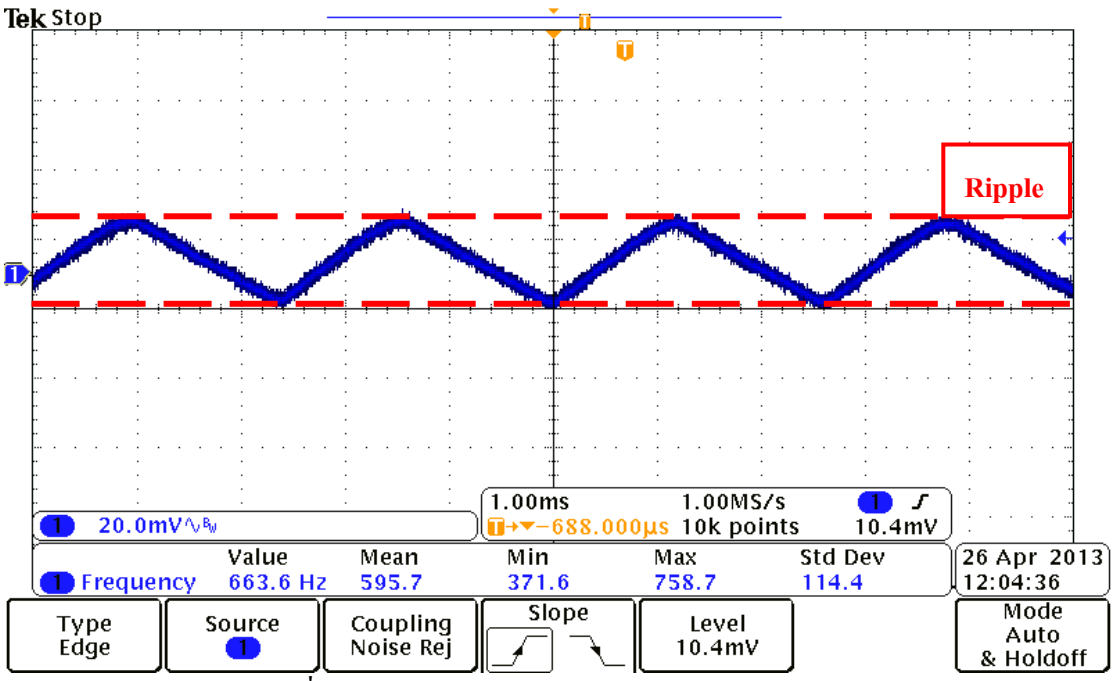
ภาพที่ 4.3 ภาพแสดง Ripple ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า +12 V



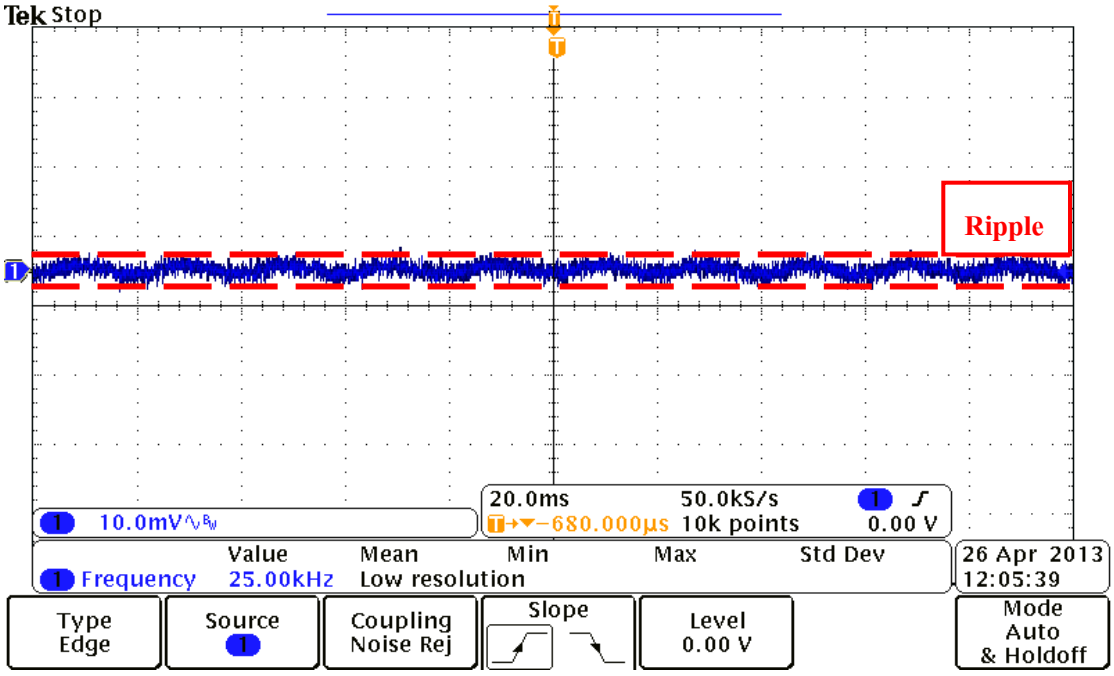
ภาพที่ 4.4 ภาพแสดง Ripple ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า -12 V



ภาพที่ 4.5 ภาพแสดง Ripple ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า +12 V สำหรับ High Voltage Supply



ภาพที่ 4.6 ภาพแสดง Ripple ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า +24 V



ภาพที่ 4.7 ภาพแสดง Ripple ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า -24 V

4.1.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบหา Ripple ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำขนาด ± 24 V, $+12$ V และ $+5$ V ในครั้งแรกพบว่ามี Ripple สูงในหลัก 100 mV ในแหล่งจ่ายไฟ +5 V, +12 V และ +12 V (High Voltage) จึงมีการแก้ไขโดยการเพิ่มขนาดของหม้อแปลงเพื่อแก้ปัญหาหม้อแปลงจ่ายกำลังไม่พอ เมื่อมีการแก้ไขแล้วพบว่ามี Ripple มีค่าต่ำลง ดังนี้

+5 V มี Ripple เป็น 10 mVp-p

+12 V มี Ripple เป็น 5 mVp-p

-12 V มี Ripple เป็น 8 mVp-p

+12 V (high voltage) มี Ripple เป็น 180 mVp-p

+24 V มี Ripple เป็น 25 mVp-p

-24 V มี Ripple เป็น 5 mVp-p

4.2 การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

4.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.2.1.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่พัฒนาขึ้น

4.2.1.2 มัลติมิเตอร์ ของ UNI-T รุ่น UT60E

4.2.1.3 เครื่องอ่านรูปสัญญาณ ของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360

4.2.1.4 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าสูง (Electrostatic voltmeter) ของ Electrical Instrument Service รุ่น ESD-7

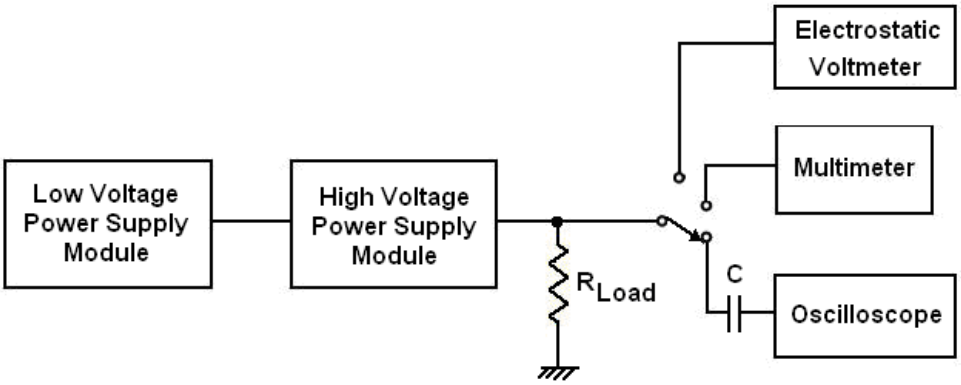
4.2.1.5 ตัวต้านทานขนาด 0.5M, 1M, 2M, 3M และ 10M Ω

4.2.1.6 ตัวเก็บประจุขนาด 0.01 μF 3000 V

4.2.1.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่พัฒนาขึ้น

4.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

จัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบดังภาพที่ 4.3 เพื่อทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด ความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับแรงดันไฟฟ้า และ Ripple ของสัญญาณ



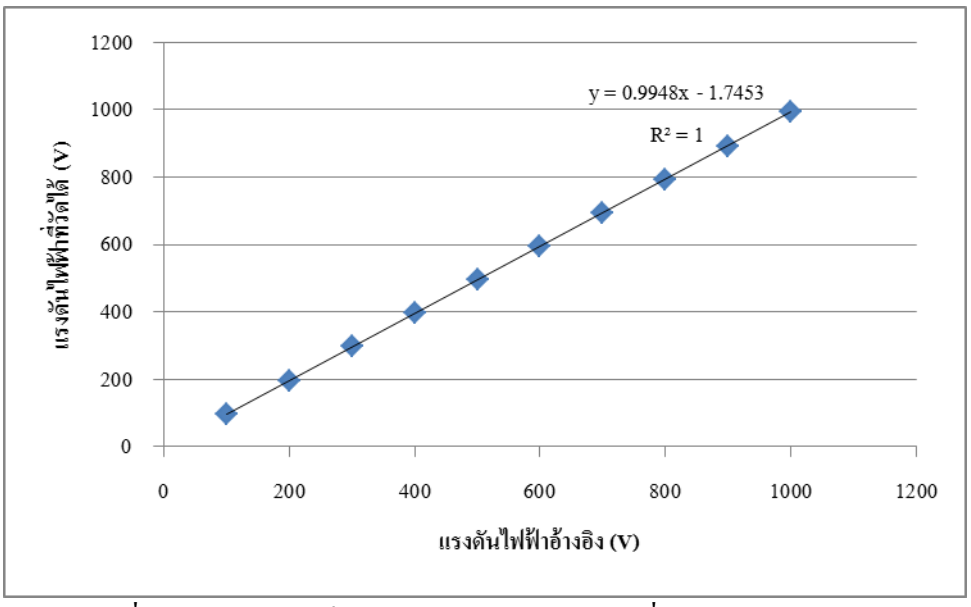
ภาพที่ 4.8 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

4.2.3 ผลการทดสอบ

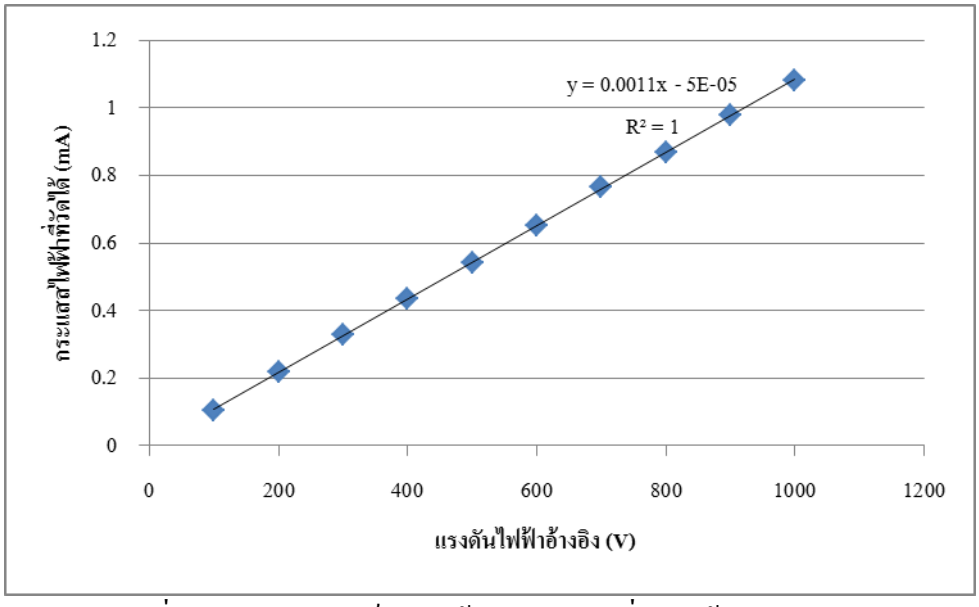
4.2.3.1 ผลการทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ความต้านทานค่าต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.1 ภาพที่ 4.9 และภาพที่ 4.10

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดของแรงดันไฟฟ้าสูง

Load / Voltage	0.5 MΩ		1 MΩ		2 MΩ		3 MΩ		10 MΩ	
	Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current	Voltage	Current
(Volt)	(Volt)	(mA)	(Volt)	(mA)	(Volt)	(mA)	(Volt)	(mA)	(Volt)	(mA)
100	94.74	0.1983	96.55	0.1061	97.87	0.056	98.36	0.0414	99.33	0.019
200	194.82	0.408	196.85	0.2165	198.06	0.1134	198.6	0.0837	199.59	0.0381
300	293.95	0.621	297.19	0.3268	298.36	0.1717	298.49	0.1262	299.22	0.0572
400	393.77	0.85	397.37	0.436	398.96	0.2309	399.08	0.1695	399.86	0.0762
500	492.42	1.086	496.4	0.542	498.8	0.2907	498.6	0.2121	499.9	0.0957
600	591.5	1.329	595.7	0.651	597.7	0.3507	598.1	0.2558	599.5	0.1152
700	690.3	1.585	694.7	0.765	697.2	0.431	698	0.2991	699.3	0.1347
800	788.8	1.862	793.1	0.867	796.2	0.477	797.3	0.3445	798.8	0.1546
900	886.4	2.048	892.9	0.977	896.3	0.54	897.5	0.3869	899.2	0.1743
1000	975	2.211	993.4	1.083	995.8	0.602	997	0.429	998.9	0.1951



ภาพที่ 4.9 กราฟความเป็นเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าที่ความต้านทาน 1 MΩ

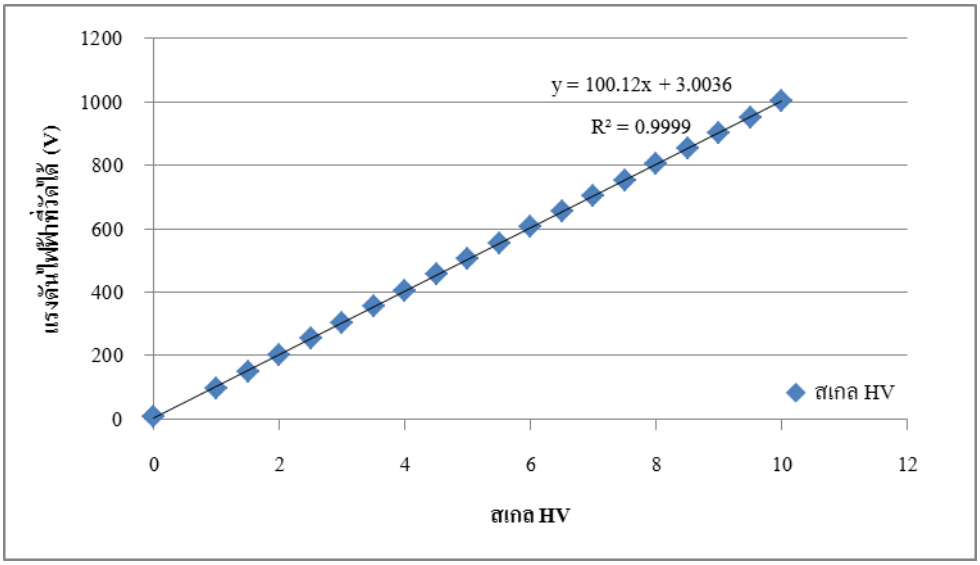


ภาพที่ 4.10 กราฟความเป็นเชิงเส้นของกระแสที่ความต้านทาน 1 MΩ

4.2.3.2 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับแรงดันไฟฟ้า แสดงค่าดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.11

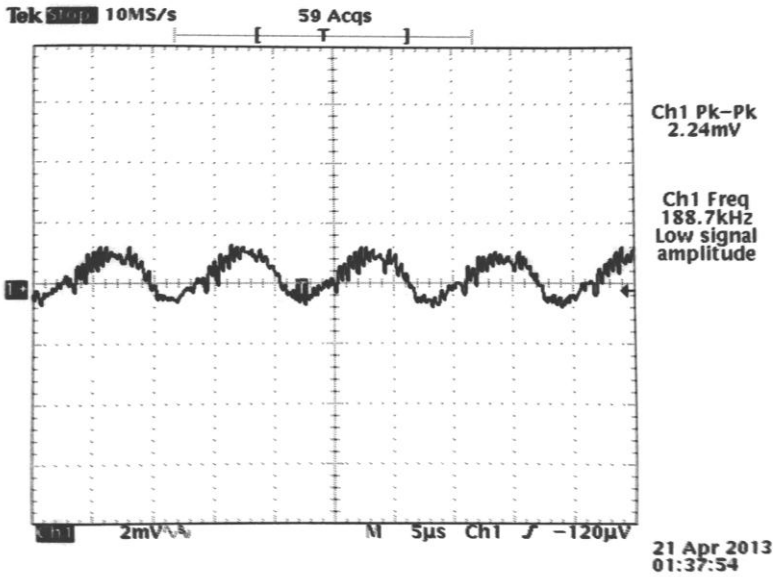
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับแรงดันไฟฟ้า

สเกล HV	แรงดันไฟฟ้า (V)	สเกล HV	แรงดันไฟฟ้า (V)	สเกล HV	แรงดันไฟฟ้า (V)
0	6.425	4	405.2	7.5	754
1	95.55	4.5	455.05	8	804.2
1.5	150.2	5	504.7	8.5	854
2	202.88	5.5	553.3	9	903.3
2.5	253.49	6	605.8	9.5	52.7
3	304.93	6.5	655	10	1001.5
3.5	355.23	7	705.1		

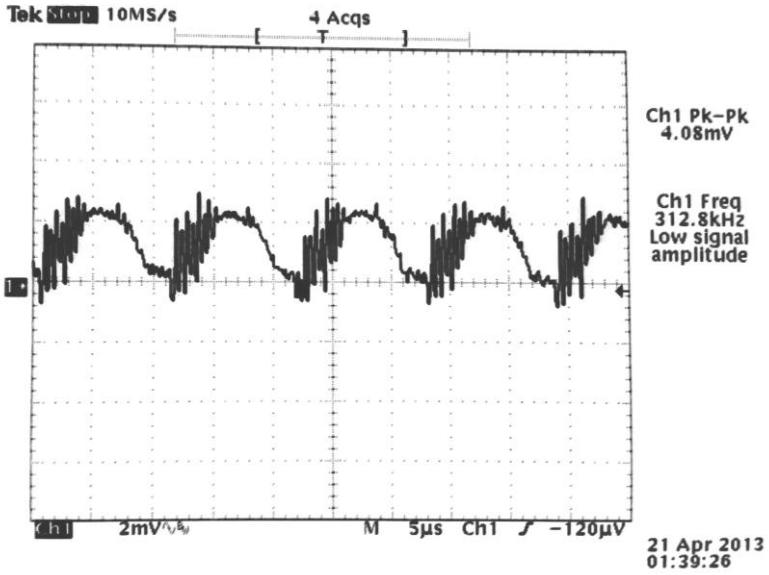


ภาพที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ของสเกลบนหน้าปัดและแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

4.2.3.3 ผลการทดสอบ Ripple ของไฟฟ้าแรงดันสูงเอาต์พุต มีค่าเป็น 2.24 mVp-p ขณะไม่มีโหลด และ 4.08 mVp-p ขณะมีโหลดขนาด 3MΩ แสดงดังภาพที่ 4.12 และ 4.13



ภาพที่ 4.12 Ripple Voltage ของสัญญาณไฟฟ้าแรงดันสูงขณะไม่มีโหลด



ภาพที่ 4.13 Ripple Voltage ของสัญญาณไฟฟ้าแรงดันสูงขณะมีโหลด

4.2.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าต่อเนื่อง 0-1000 V และสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 1 mA โดยที่แรงดันไฟฟ้า 1000 V ตกลงไปประมาณ 0.66 % และสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ถึง 2 mA โดยที่แรงดันไฟฟ้า 1000 V ตกลงไปประมาณ 2.5 % ในส่วน

การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับค่าแรงดันไฟฟ้าปรากฏว่ามีความคลาดเคลื่อนจากแรงดันที่ได้มาเล็กน้อยเมื่อนำเอาความคลาดเคลื่อนทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเป็น 0.548 % และมีค่า Ripple Voltage ของสัญญาณอยู่ที่ประมาณ 2.24 mVp-p ขณะไม่ต่อโหลดและประมาณ 4.08 mVp-p ขณะต่อโหลดขนาด 3MΩ

4.3 การทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์

4.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.3.1.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสี (Pulser) ของ NIM module ของ CANBERRA รุ่น 807

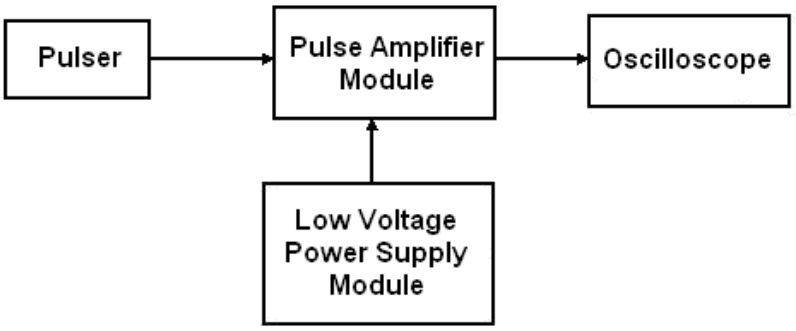
4.3.1.2 เครื่องอ่านรูปสัญญาณ ของ TEKTRONIX รุ่น MSO3032

4.3.1.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่พัฒนาขึ้น

4.3.1.4 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น

4.3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

จัดอุปกรณ์ดังภาพที่ 4.14 เพื่อทดสอบการทำงานขั้นพื้นฐาน อัตราการขยายของวงจรขยายสัญญาณพัลส์ ความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราขยาย ค่าคงตัวของเวลาปรับแต่งรูปสัญญาณ (Shaping Time) ของสัญญาณพัลส์เอาท์พุตจากวงจรขยายสัญญาณพัลส์พัฒนาขึ้น



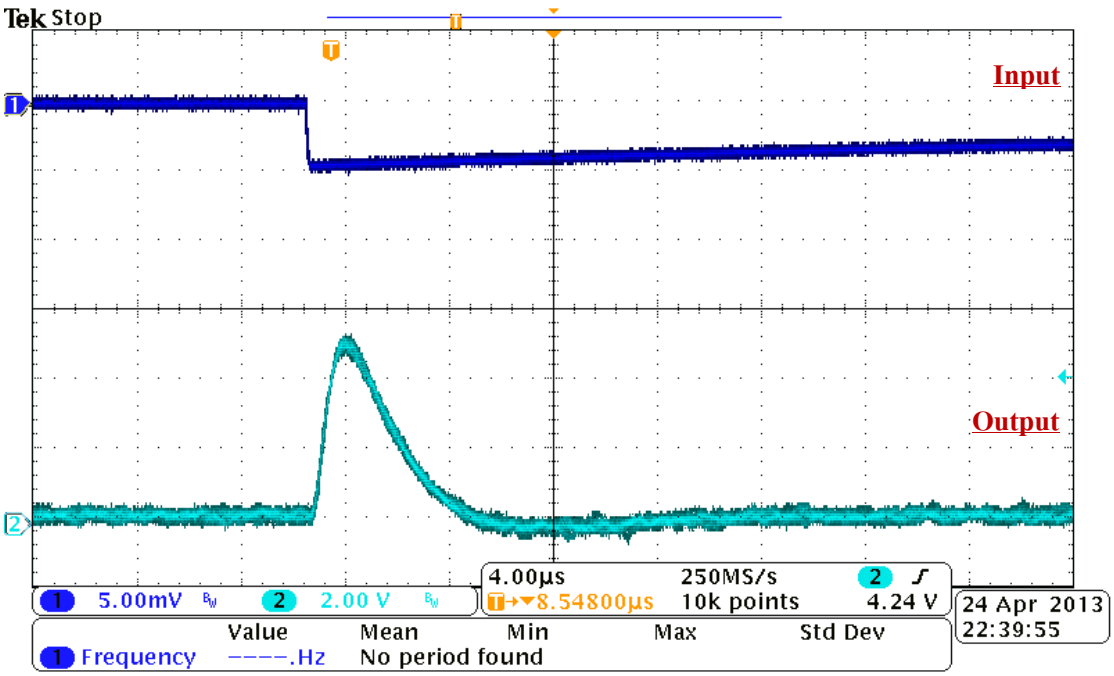
ภาพที่ 4.14 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์

4.3.3 ผลการทดสอบ

4.3.3.1 ทดสอบการทำงานขั้นพื้นฐานของวงจรขยายสัญญาณที่พัฒนาขึ้น

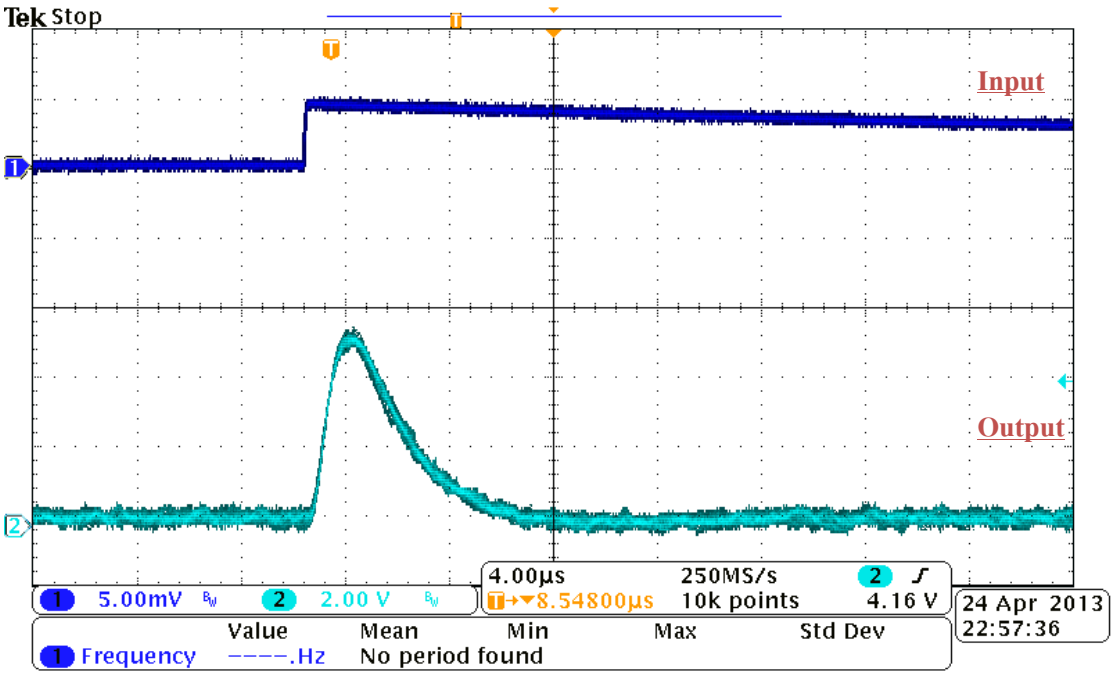
4.3.3.1.1 ป้อนสัญญาณพัลส์อินพุตลบ (Negative input) ที่มีขนาดสัญญาณ 5mV จากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เลียนแบบหัววัดรังสีให้กับวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น

ผลการทดสอบรูปสัญญาณพัลส์เอาท์พุตของวงจรขยายสัญญาณพัลส์หลังจากปรับ Pole zero cancellation (P/Z) และ Base line restorer (BLR) แล้ว แสดงดังภาพที่ 4.15 ซึ่งรูปสัญญาณพัลส์เอาท์พุตที่ได้เป็น Semi Gaussian ขนาด 5 V ที่ Coarse gain = 1000 จะได้อัตราขยาย 1000 เท่า



ภาพที่ 4.15 รูปสัญญาณพัลส์อินพุตลบและสัญญาณพัลส์เอาท์พุต

4.3.3.1.2 ป้อนสัญญาณพัลส์อินพุตบวก (Positive Input) ที่มีขนาดสัญญาณ 5 mV จากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เลียนแบบหัววัดรังสีให้กับวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น ผลการทดสอบรูปสัญญาณพัลส์เอาท์พุตของวงจรขยายหลังจากปรับ P/Z และ BLR แล้วแสดงดังภาพที่ 4.16 ซึ่งรูปสัญญาณพัลส์เอาท์พุตที่ได้เป็น Semi Gaussian ขนาด 5 V ที่ Coarse gain = 1000 จะได้อัตราขยาย 1000 เท่า

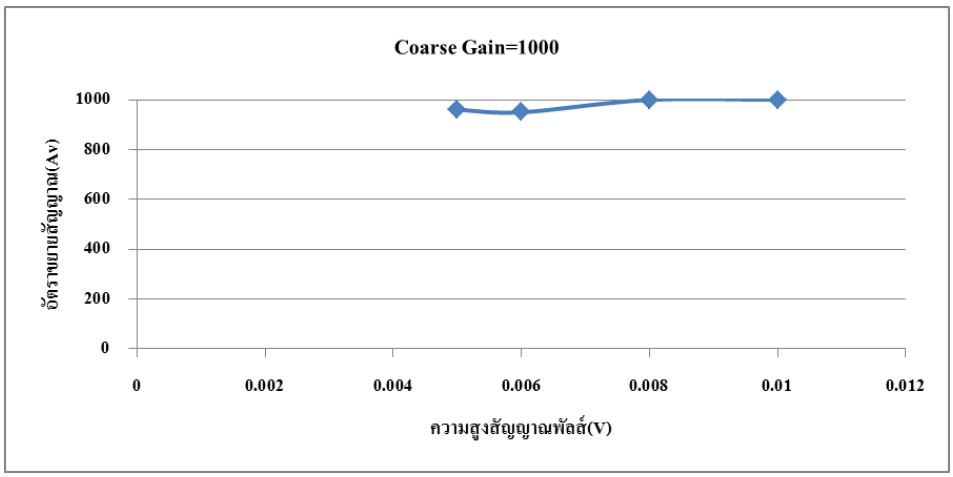


ภาพที่ 4.16 รูปสัญญาณพัลส์อินพุตบวกและสัญญาณพัลส์เอาท์พุต

4.3.3.2 ทดสอบความแม่นยำของอัตราขยายสัญญาณของทั้ง Coarse gain เป็น 1000, 500 และ 100 โดยเปรียบเทียบค่าความสูงของสัญญาณพัลส์ (Pulse height, PH) กับอัตราการขยายสัญญาณ (Av) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 และ ภาพที่ 4.17 4.18 และ 4.19

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเปรียบเทียบค่าความสูงของสัญญาณพัลส์กับอัตราการขยายที่ Coarse Gain = 1000

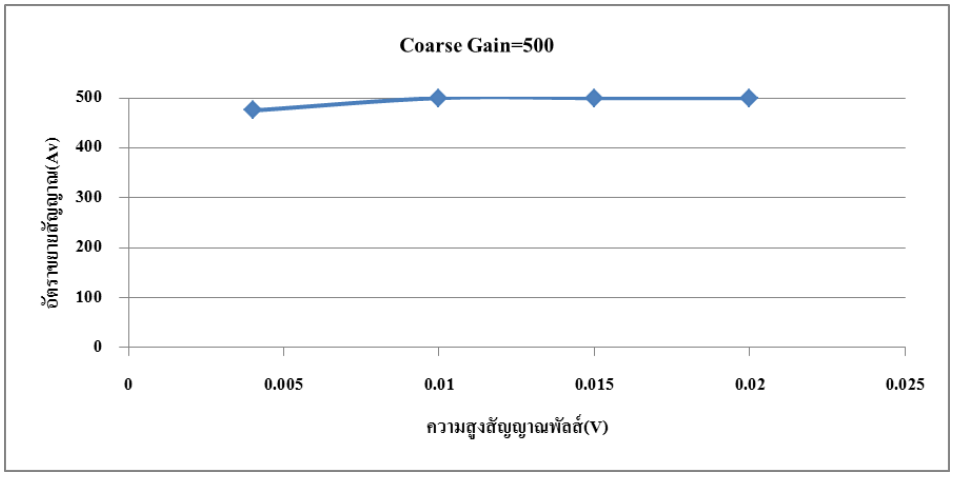
Input(mV)	5	6	8	10
Output(V)	4.8	5.7	8	10
อัตราขยาย	960	950	1000	1000



ภาพที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบความสูงสัญญาณพัลส์ Input กับอัตราการขยายสัญญาณ (Av) ที่ Coarse gain= 1000

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเปรียบเทียบค่าความสูงของสัญญาณพัลส์กับอัตราการขยายที่ Coarse gain = 500

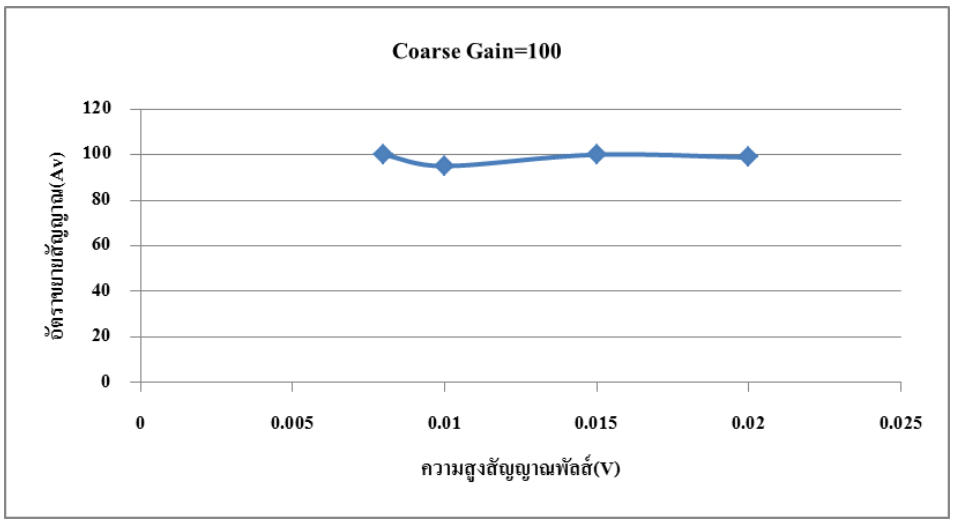
Input(mV)	4	10	15	20
Output(V)	1.9	5	7.5	10
อัตราขยาย	475	500	500	500



ภาพที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบความสูงสัญญาณพัลส์ Input กับอัตราการขยายสัญญาณ (Av) ที่ Coarse gain= 500

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเปรียบเทียบค่าความสูงของสัญญาณพัลส์กับอัตราการขยายที่ Coarse gain = 100

Input(mV)	8	10	15	20
Output(V)	0..8	.95	1.5	1.975
อัตราขยาย	100	95	100	98.75

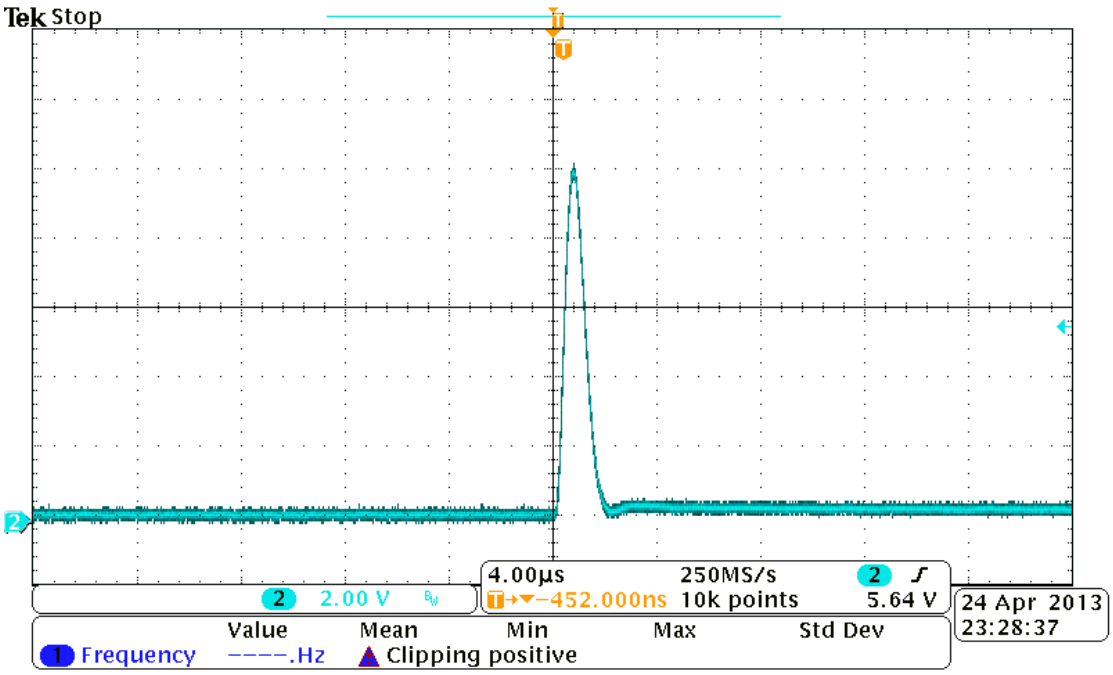


ภาพที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบความสูงสัญญาณพัลส์ Input กับอัตราการขยายสัญญาณ (Av) ที่ Coarse gain= 100

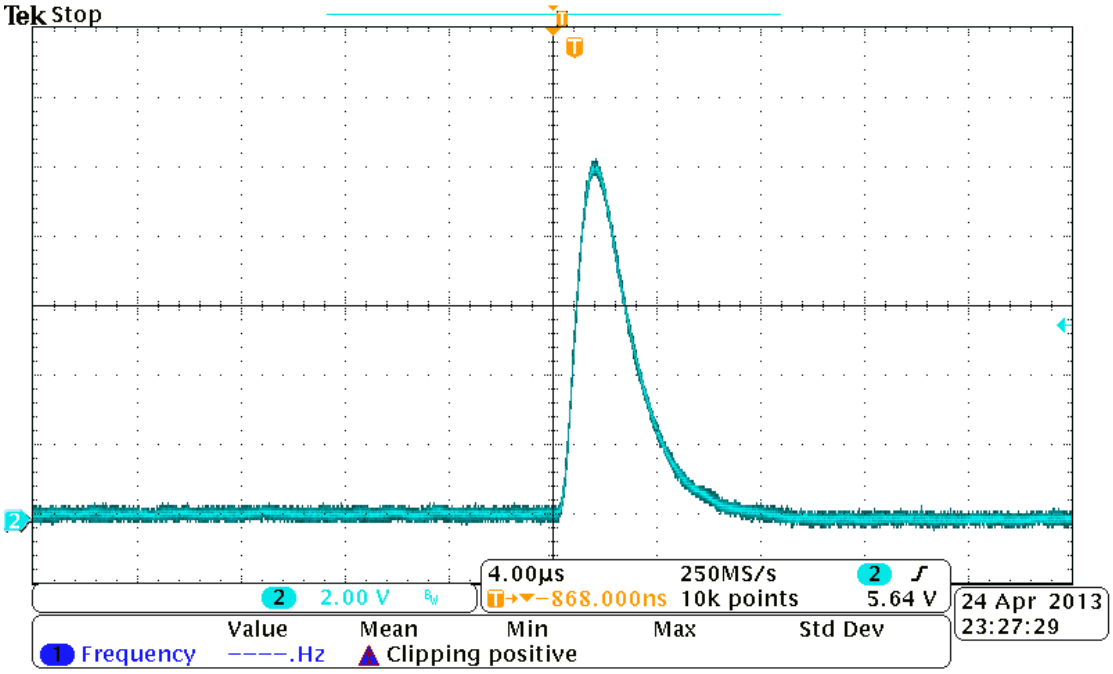
4.3.3.3 ทดสอบค่าคงตัวของเวลาปรับแต่งรูปสัญญาณของสัญญาณพัลส์เอาท์พุตที่อัตราขยาย 100, 500 และ 1000 เท่า ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.6 และแสดงดังภาพที่ 4.20, 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ผลค่าคงตัวของเวลาปรับแต่งรูปสัญญาณที่อัตราขยาย 100, 500 และ 1000เท่า

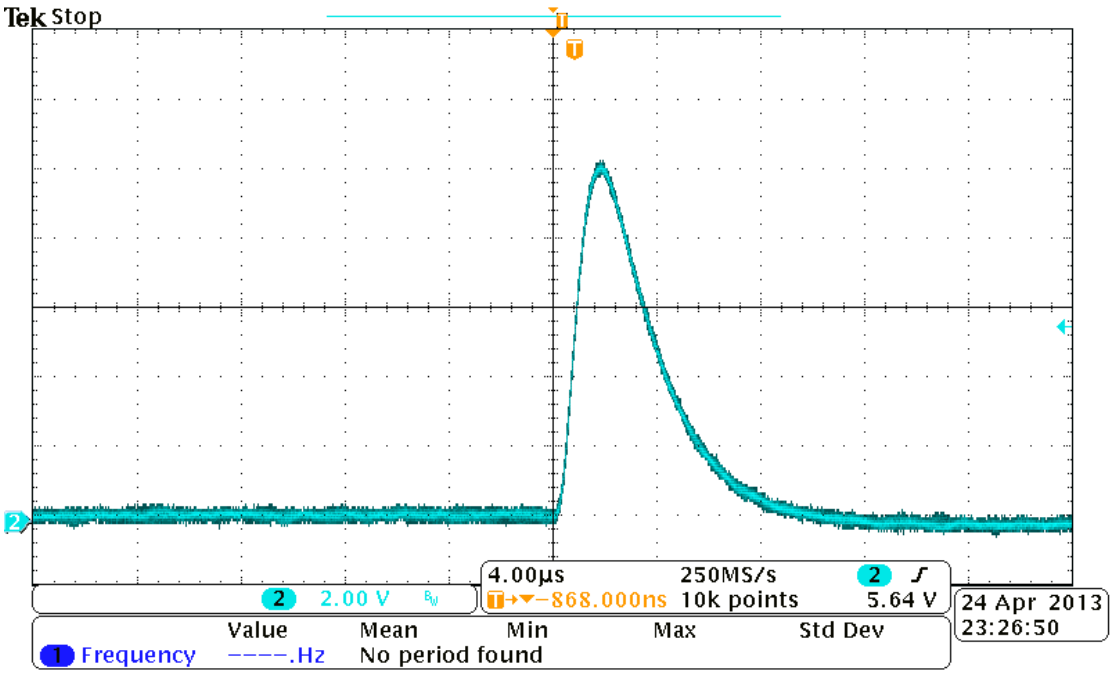
Coarse gain (เท่า)	100	500	1000
Peaking time (µs)	0.8	1.6	1.8
Pulse width (µs)	3.2	10	14



ภาพที่ 4.20 รูปสัญญาณพัลส์เอาท์พุตที่อัตราขยาย 100 เท่า



ภาพที่ 4.21 รูปสัญญาณพัลส์เอาท์พุตที่อัตราขยาย 500 เท่า



ภาพที่ 4.22 รูปสัญญาณพัลส์เอาท์พุตที่อัตราขยาย 1000 เท่า

4.3.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

หลังจากปรับออฟเซตของวงจรปรับเลือกโพลาริตีทำการทดสอบปรับเลือกโพลาริตีพบว่าสามารถปรับเลือกโพลาริตีโดยที่มีอัตราขยายเท่ากันทั้งโพลาริตีบวก และโพลาริตีลบ สำหรับการทดสอบปรับ Pole/Zero พบว่าวงจรสามารถแก้การเกิดอันเดอร์ชูตได้ และการทดสอบปรับ BLR พบว่าสามารถแก้ฐานสัญญาณให้กลับสู่ศูนย์ได้ นอกจากนี้การทดสอบอัตราการขยายทั้ง 3 ระดับ คือ 100 เท่า, 500 เท่า และ 1000 เท่า พบว่าสามารถขยายได้ตามที่กำหนดโดยสามารถปรับอัตราการขยายละเอียดได้จาก Fine Gain สัญญาณพัลส์ทางออกจะถูกปรับแต่งรูปสัญญาณให้เป็นแบบ Semi Gaussian ในส่วนการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยายเมื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุต พบว่ามีอัตราขยายใกล้เคียงกับอัตราการขยายของระบบที่พัฒนาคือ 1000, 500 และ 100 เสมอ

4.4. การทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

4.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.4.1.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ของ CANBERRA รุ่น 807

4.4.1.2 เครื่องอ่านรูปสัญญาณของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360

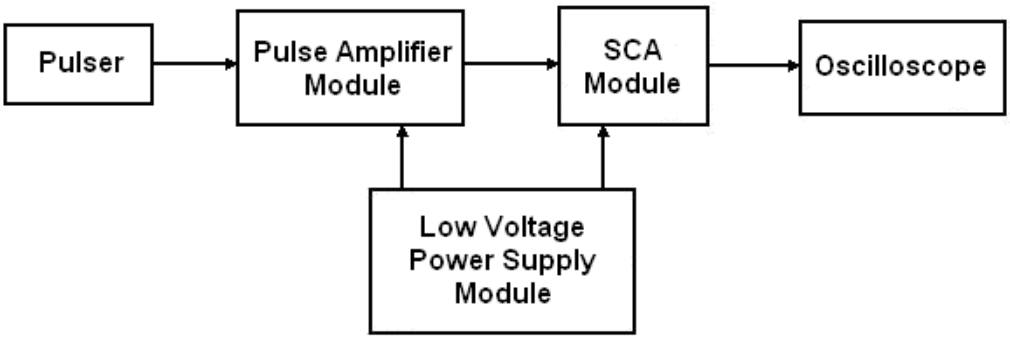
4.4.1.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่พัฒนาขึ้น

4.4.1.4 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น

4.4.1.5 วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวที่พัฒนาขึ้น

4.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

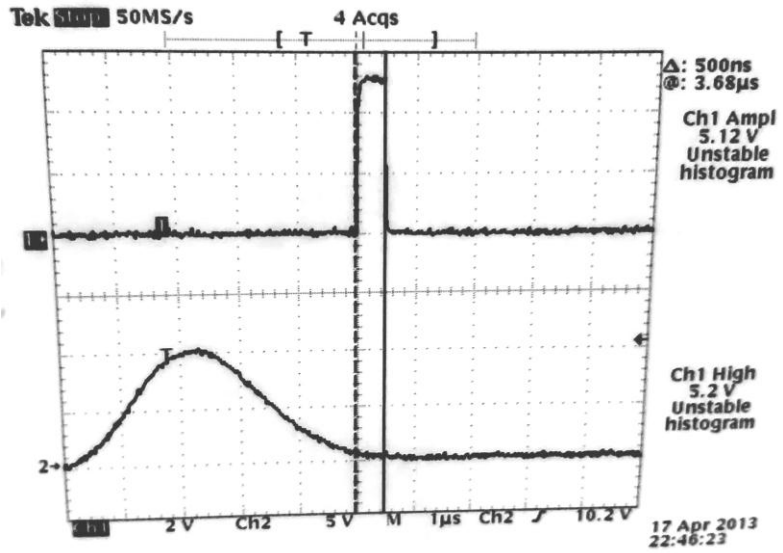
จัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวดังภาพที่ 4.23 เพื่อทดสอบสัญญาณพัลส์เอาต์พุตของวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว และความเป็นเชิงเส้นของสเกลแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง LLD และ Window (ΔE)



ภาพที่ 4.23 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

4.4.3 ผลการทดสอบ

4.4.3.1 ทดสอบสัญญาณลอจิกพัลส์เอาต์พุตของวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว เมื่อรับสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์จะได้สัญญาณแบบลอจิกพัลส์ขนาดความกว้าง 500 ns ที่ขอบขาลงของสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ แสดงได้ดังภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 รูปสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ขอบขาลงของสัญญาณพัลส์

4.4.3.2 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง LLD โดยการแปรเปลี่ยนค่าความสูงของพัลส์และบันทึกสเกลแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ณ ตำแหน่งที่เกิด HT (Half Triggering) ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.25

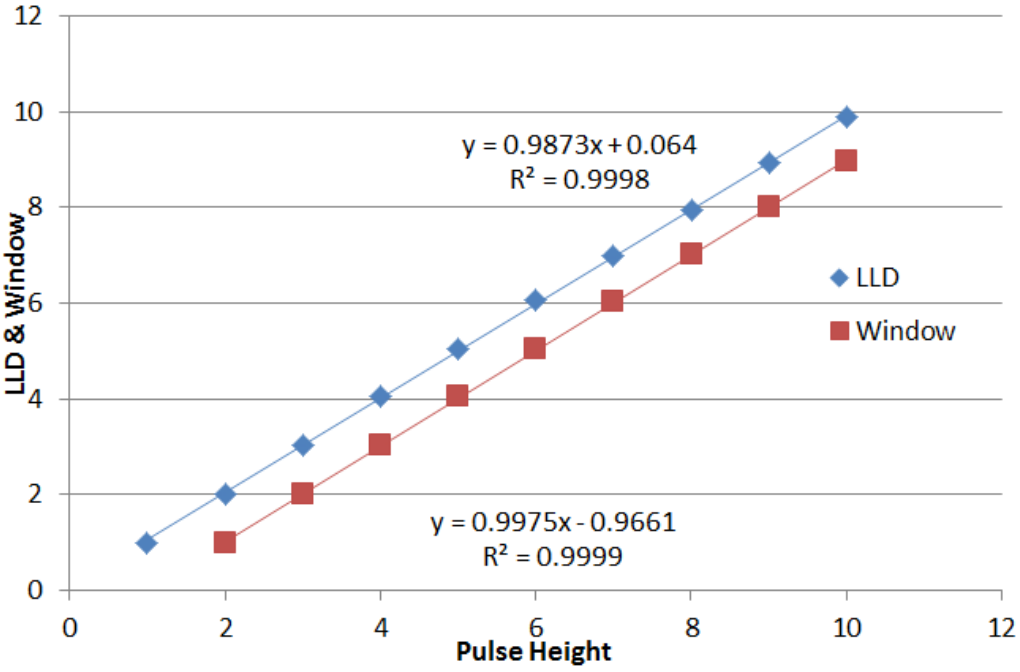
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกล LLD

ความสูงของพัลส์ (V)	สเกลของ LLD
1	1
2	2
3	3.04
4	4.06
5	5.03
6	6.06
7	6.98
8	7.94
9	8.93
10	9.9

4.4.3.3 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง Window โดยตั้งค่า LLD ที่ 1.0 V แปรเปลี่ยนค่าความสูงของพัลส์และบันทึกสเกลแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ณ ตำแหน่งที่เกิด HT ดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.25

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกล Window (ΔE)

ความสูงของพัลส์ (V)	สเกลของ Windows
2	1
3	2
4	3.03
5	4.06
6	5.03
7	6.05
8	7.04
9	8
10	8.96



ภาพที่ 4.25 กราฟความเป็นเชิงเส้นของสเกลแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง LLD และ Window (ΔE)

4.4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวพบว่าเมื่อปรับตัวต้านท้านปรับค่าได้ P5 ในภาพที่ 3.12 ซึ่งเป็นตัวกำหนดความยาวสัญญาณลอจิกส์พัลส์ สามารถกำหนดความยาวของสัญญาณลอจิกส์พัลส์ทางออกขนาด 500 ns ได้ และสามารถปรับค่า LLD และ Windows ได้ตั้งแต่ 0 - 10 V ที่หน้าปัดของวงจร ซึ่งมีค่า Regression (R^2) ของสเกล LLD และ Windows เท่ากับ 0.9998 และ 0.9999 ตามลำดับ

4.5 การทดสอบวงจรนับรังสี และตั้งเวลาส่วนการนับรังสี

4.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.5.1.1 เครื่องกำเนิดความถี่ (Function Generator) ของ GWInstekรุ่น GFG3015

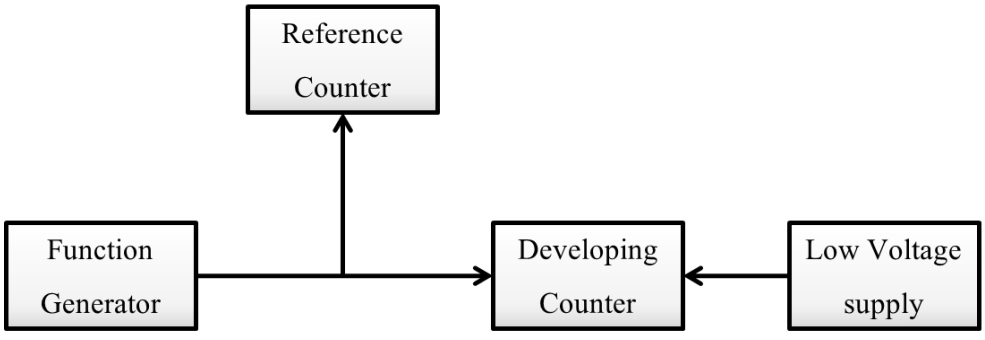
4.5.1.2 วงจรแรงดันไฟฟ้าต่ำของ hp รุ่น 6236B

4.5.1.3 วงจรนับรังสี และตั้งเวลาที่พัฒนาขึ้น

4.5.1.4 เครื่องนับสัญญาณ (UNIVERSAL COUNTER) ของ hp รุ่น 5315A

4.5.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการนับสัญญาณพัลส์ต่อค่าเวลาในหน่วยวินาทีและนาที ทดสอบการนับสัญญาณพัลส์กับเวลานับที่ความถี่ต่าง ๆ และทดสอบความสามารถในการนับสัญญาณพัลส์ของวงจรนับรังสี สามารถจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.26 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรนับรังสี

4.5.3 ผลการทดสอบ

4.5.3.1 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการนับสัญญาณพัลส์ต่อค่าเวลาในหน่วยวินาทีและนาที โดยใช้ค่าความถี่ 20 Hz จากเครื่องกำเนิดความถี่ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.9

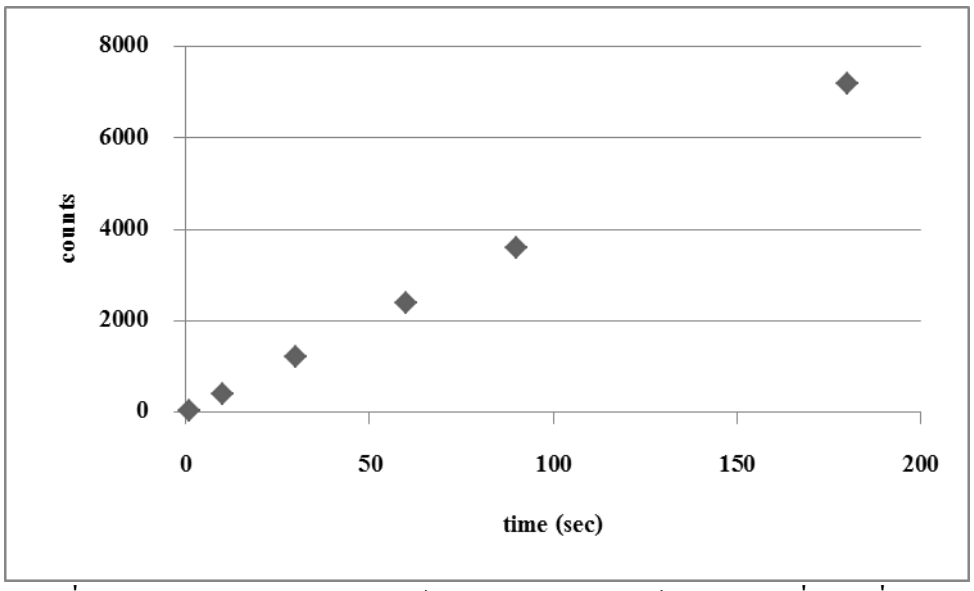
ตารางที่ 4.9 ผลการนับสัญญาณพัลส์ต่อค่าเวลาต่ำสุดและสูงสุดในหน่วยวินาทีและนาที

เวลา	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	ค่าเฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ผิดพลาด	SD(σ)
1 วินาที	20	20	20	20	20	20	0	0
30 วินาที	600	600	600	600	600	600	0	0
5 นาที	5999	5999	5999	5999	5999	5999	0.0166	0
30 นาที	35999	35999	35999	35999	35999	35999	0.0027	0

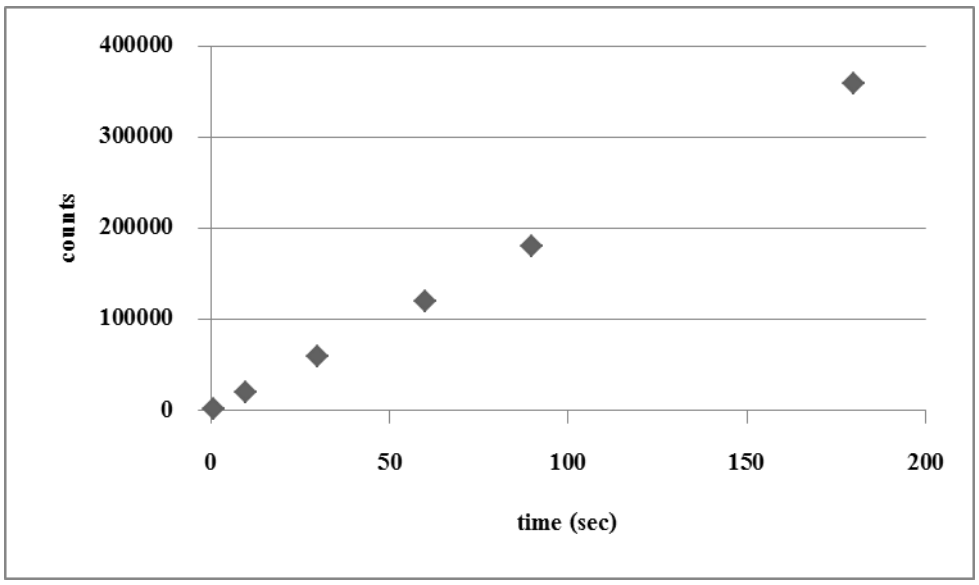
4.5.3.2 ทดสอบความสัมพันธ์ของการนับสัญญาณพัลส์ กับเวลานับที่ความถี่ต่าง ๆ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.27

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบการนับสัญญาณพัลส์ กับเวลานับที่ความถี่ต่าง ๆ

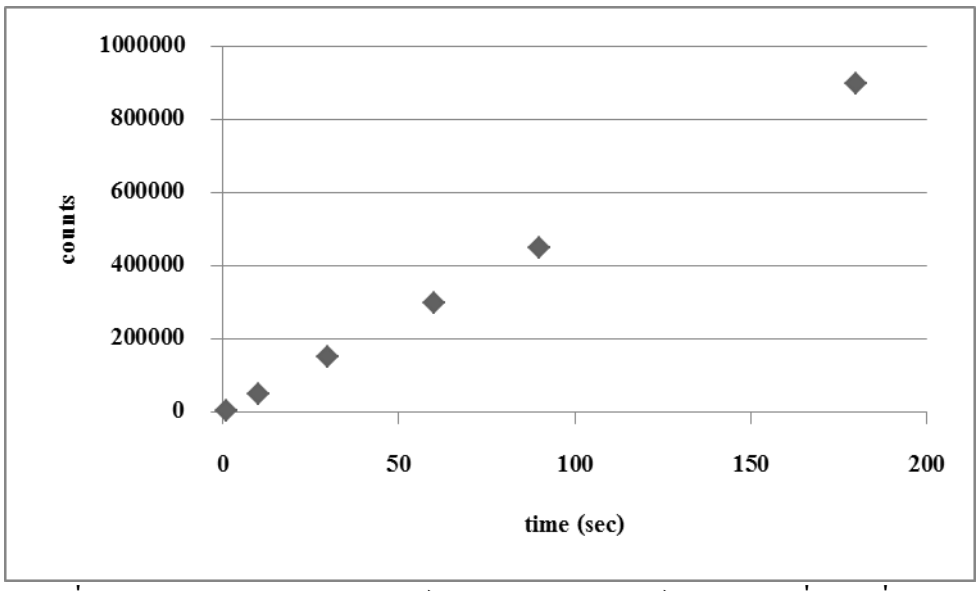
ความถี่ 40 Hz		ความถี่ 2 kHz		ความถี่ 5 kHz	
เวลา (s)	จำนวนนับต่อเวลา	เวลา (s)	จำนวนนับต่อเวลา	เวลา (s)	จำนวนนับต่อเวลา
1	40	1	2000	1	5000
10	400	10	19999	20	49998
30	1200	30	5999	30	149974
60	2400	60	119992	60	299936
90	3599	90	179986	90	449915
180	7199	180	359958	180	899728



ภาพที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์การนับสัญญาณพัลส์กับเวลานับที่ความถี่ 40 Hz



ภาพที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์การนับสัญญาณพัลส์กับเวลานับที่ความถี่ 2 kHz



ภาพที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์การนับสัญญาณพัลส์กับเวลานับที่ความถี่ 5 kHz

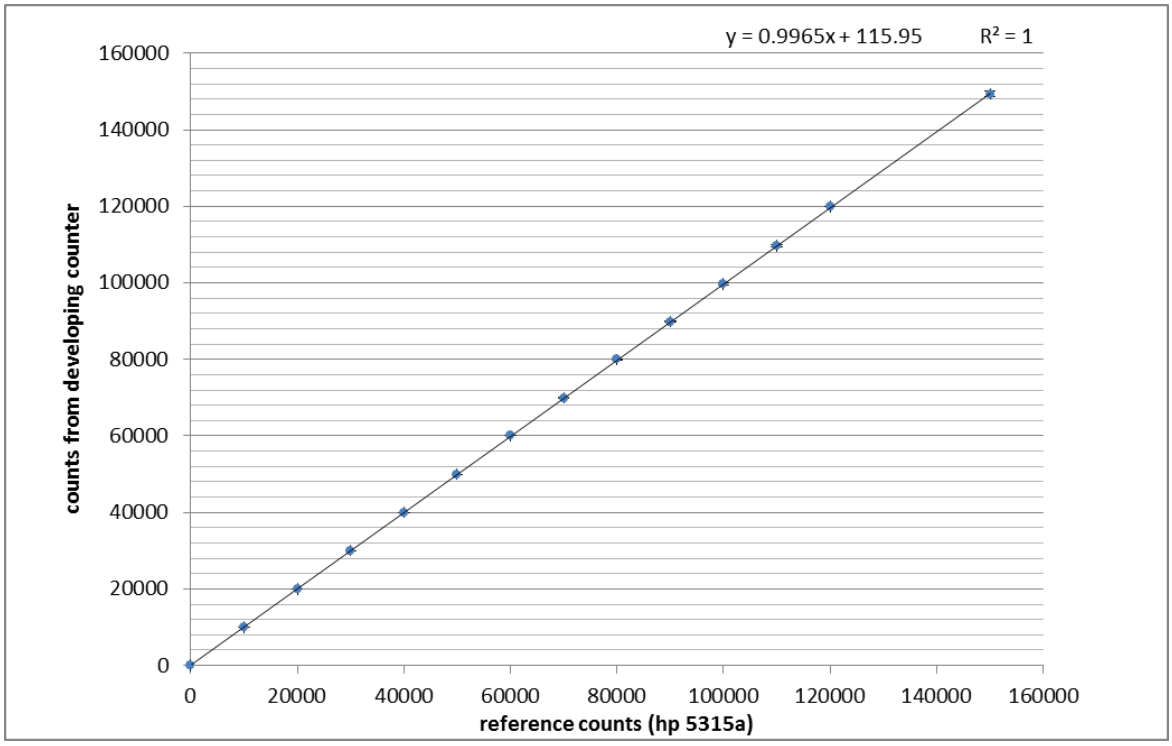
4.5.3.3 ทดสอบหาความสามารถในการนับสัญญาณพัลส์สูงสุดโดยทำการเปลี่ยนแปลงความถี่และตรวจสอบผลการนับจากวงจรนับรังสี ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.30

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการนับสัญญาณพัลส์จากเครื่องนับสัญญาณพัลส์ที่สัญญาณพัลส์ความถี่ตั้งแต่ 0 ถึง 150,000 Hz

Ref Count	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ค่าเฉลี่ย	SD (σ)	%ผิดพลาด
0	0	0	0	0	0.00	0.00	0
10000	9999	10000	9999	10000	9999.50	0.55	0.005
20000	19998	20001	19999	19999	19999.25	1.14	0.00375
30000	30000	30000	30001	30000	30000.25	0.45	-0.00083
40000	39998	40000	40001	40002	40000.25	1.48	-0.00063
50000	50002	50002	50003	49997	50001.00	2.39	-0.002
60000	60000	60000	60000	60000	60000.00	0.00	0
70000	69948	69949	69950	69950	69949.25	22.71	0.0725
80000	79953	79954	79953	79954	79953.50	20.80	0.058125
90000	89819	89819	89818	89819	89818.75	81.06	0.201389
100000	99745	99744	99745	99743	99744.25	114.38	0.25575
110000	109646	109647	109648	109647	109647.00	157.87	0.320909

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) แสดงผลการนับสัญญาณพัลส์จากเครื่องนับสัญญาณพัลส์ที่สัญญาณพัลส์ความถี่ตั้งแต่ 0 ถึง 150,000 Hz

Ref Count	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ค่าเฉลี่ย	SD (σ)	%ผิดพลาด
120000	119905	119905	119899	119899	119902.00	43.93	0.081667
150000	149323	149323	149323	149322	149322.75	302.88	0.4515



ภาพที่ 4.30 แสดงผลการนับสัญญาณพัลส์เฉลี่ยสัญญาณพัลส์ความถี่ต่าง ๆ

4.5.4 วิจารณผลการทดลอง

วงจรนับรังสี และตั้งเวลาสามารถแสดงผลการนับรังสีตั้งแต่ 0-999,999 ด้วยอุปกรณ์แสดงผลชนิด LED 7-Segemnts จำนวน 6 หลัก และสามารถนับพัลส์ที่ความถูกต้องสูงจากการทดสอบในช่วง 0-60,000 CPS สามารถนับได้โดยมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 0.005 % และเมื่อมีการทดสอบนับพัลส์ความถี่สูงถึงระดับ 150 kHz พบว่าสามารถวัดได้โดยมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 0.5 %

4.6 การทดสอบวงจรนับรังสี และตั้งเวลาส่วนตั้งเวลา

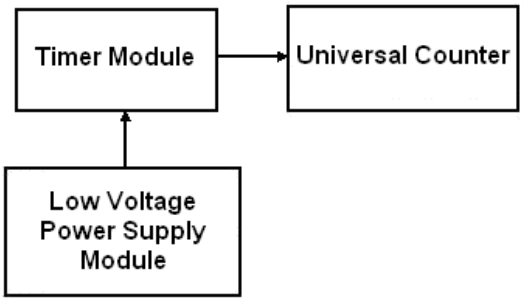
4.6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.6.1.1 วงจรนับรังสี และตั้งเวลาที่พัฒนาขึ้น

4.6.1.2 เครื่องจับสัญญาณนาฬิกา (Universal Counter) ของ HEWLETT PACKARD รุ่น 5315A

4.6.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบความถูกต้องของวงจรตั้งเวลาที่พัฒนาขึ้นที่ต่ำสุดและสูงสุดในหน่วยวินาที และนาที สามารถจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.31



ภาพที่ 4.31 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรตั้งเวลา

4.6.3 ผลการทดสอบ

ทำการทดสอบความเที่ยงตรงของวงจรตั้งเวลาที่ต่ำสุดและสูงสุดในหน่วยวินาที และนาที ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบการนับสัญญาณนาฬิกาต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง

เวลา	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย	SD (σ)
1 วินาที	0.9999765	0.9999772	0.9999763	0.9999772	0.9999766	0.999977	4.16E-07
10 วินาที	9.9997477	9.9997422	9.9997455	9.9997425	9.9997381	9.999743	3.64E-06
30 วินาที	29.999148	29.999143	29.999144	29.999199	29.999193	29.99917	2.81E-05
60 วินาที	59.998294	59.998341	59.998342	59.998321	59.998297	59.99832	2.31E-05
99 วินาที	98.997230	98.997208	98.997187	98.997192	98.997243	98.99721	2.41E-05
1 นาที	59.998275	59.998308	59.998307	59.998347	59.998337	59.99831	2.84E-05
5 นาที	299.99144	299.99145	299.99149	299.99151	299.99152	299.9915	3.56E-05
10 นาที	599.98313	599.98317	599.98312	599.98311	599.98313	599.9831	2.28E-05
60 นาที	3599.9001	3599.9000	3599.9037	3599.9049	3599.9046	3599.903	0.002423
99 นาที	5939.8276	5939.8270	5939.8342	5939.8336	5939.8360	5939.832	0.0041

4.6.4 วิจารณ์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบการตั้งเวลาพบว่าวงจรสามารถตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 1-99 วินาที หรือ 1-99 นาที และแสดงผลของเวลา ด้วยอุปกรณ์แสดงผลชนิด LED 7-Segments จำนวน 2 หลัก ในการทดสอบความถูกต้องของส่วนตั้งเวลาพบว่ามีความผิดพลาดน้อยมากโดยการตั้งเวลา 1 นาทีมีความผิดพลาด 0.002324 % และ ที่การวัด 1 ชั่วโมงพบความผิดพลาด 0.002703889 %

4.7 การทดสอบวงจรเรตมิเตอร์

4.7.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

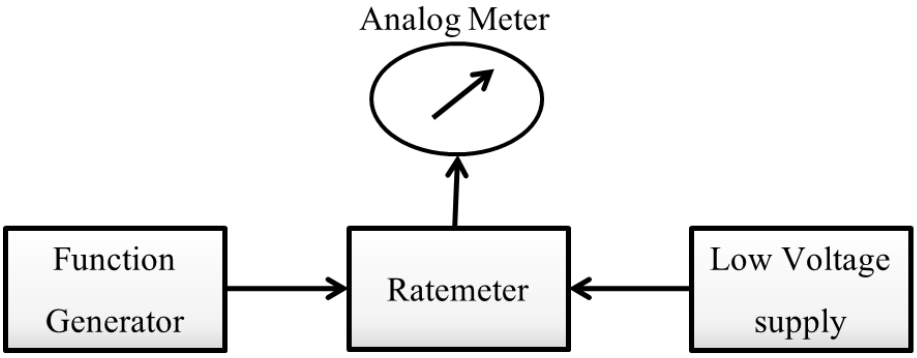
4.7.1.1 เครื่องกำเนิดความถี่ (Function Generator) ของ GWInstek รุ่น GFG3015

4.7.1.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่พัฒนาขึ้น

4.7.1.3 วงจรคัดเลือกสัญญาณและเรตมิเตอร์

4.7.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าทางออกของเรตมิเตอร์ สามารถจัดอุปกรณ์การทดสอบได้ดังภาพที่ 4.32



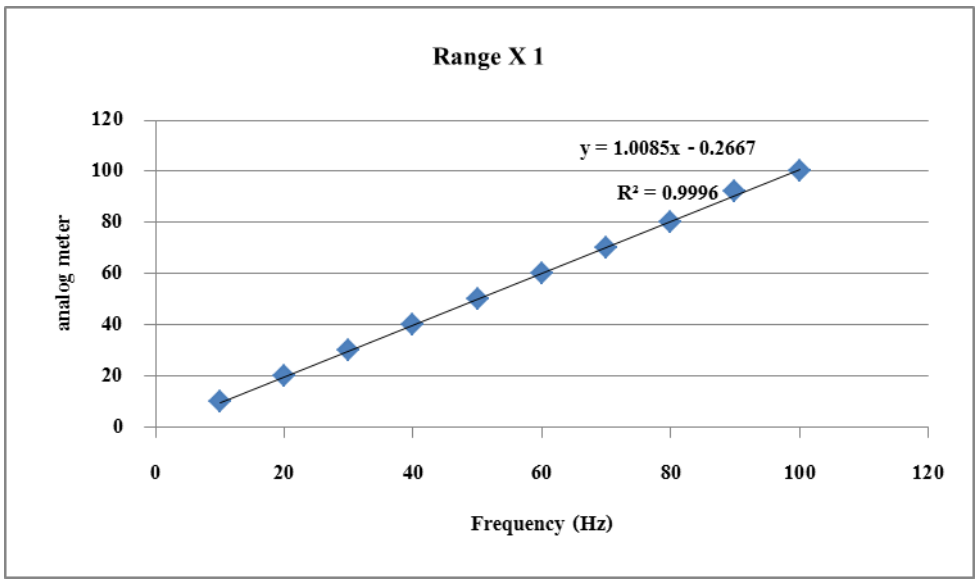
ภาพที่ 4.32 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรเรตมิเตอร์

4.7.3 ผลการทดสอบ

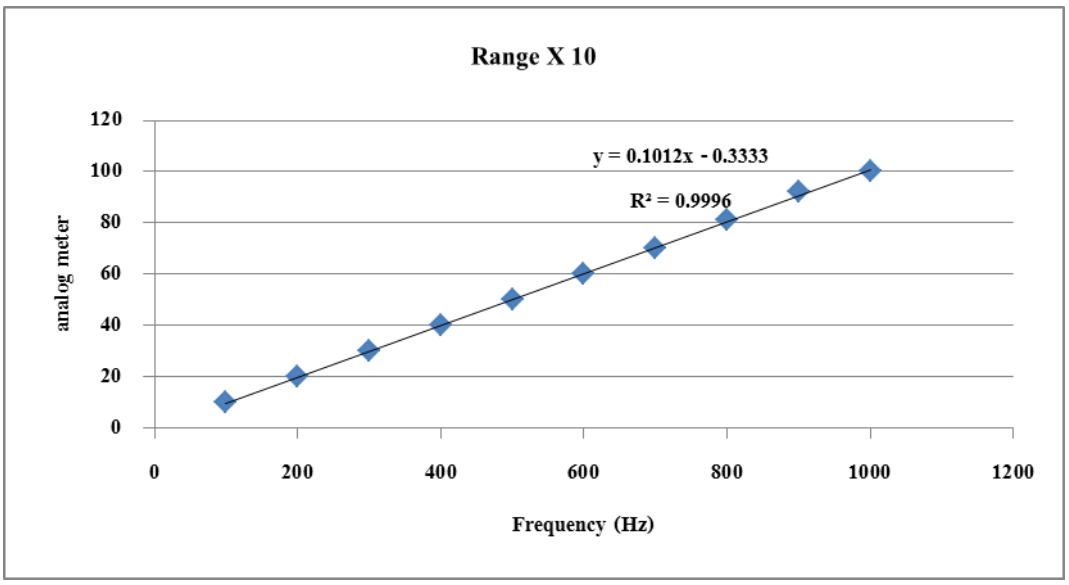
ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเรตมิเตอร์กับความถี่ที่ป้อนเข้าทางด้านขาเข้าของวงจรใน 4 ย่านการทำงาน คือ Range × 1, × 10, × 100 และ × 1000 ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.13 ภาพที่ 4.33, 4.34, 4.35 และ ภาพที่ 4.36

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์

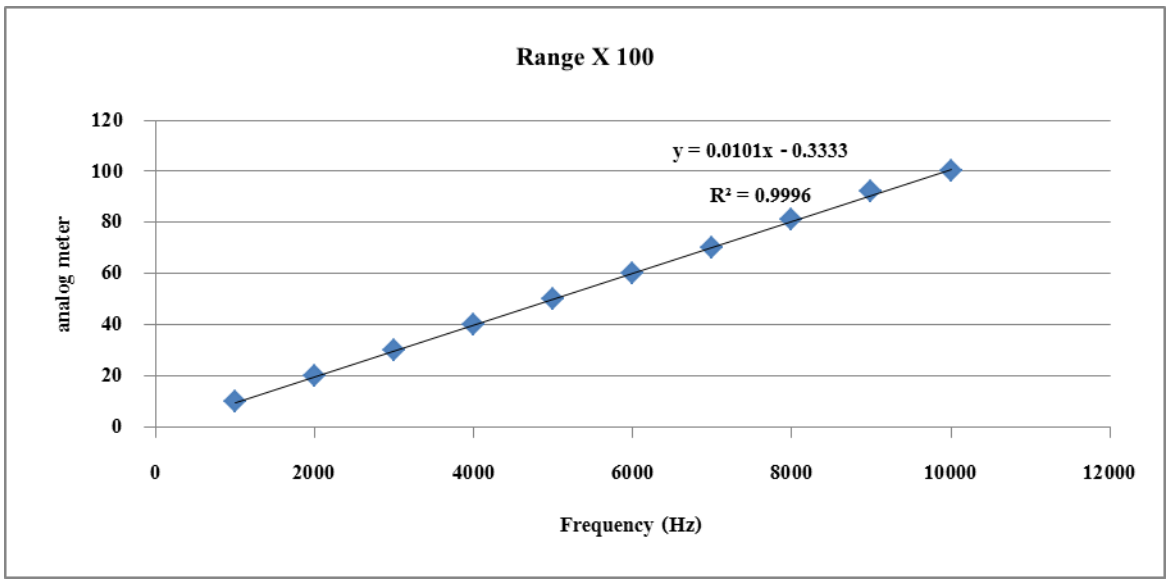
Range × 1		Range × 10		Range × 100		Range × 1000	
Frequency (Hz)	analog meter	Frequency (Hz)	analog meter	Frequency (Hz)	analog meter	Frequency (Hz)	analog meter
10	10	100	10	1000	10	10000	10
20	20	200	20	2000	20	20000	19
30	30	300	30	3000	30	30000	29
40	40	400	40	4000	40	40000	38
50	50	500	50	5000	50	50000	48
60	60	600	60	6000	60	60000	60
70	70	700	70	7000	70	70000	70
80	80	800	81	8000	81	80000	81
90	92	900	92	9000	92	90000	92
100	100	1000	100	10000	100	100000	100



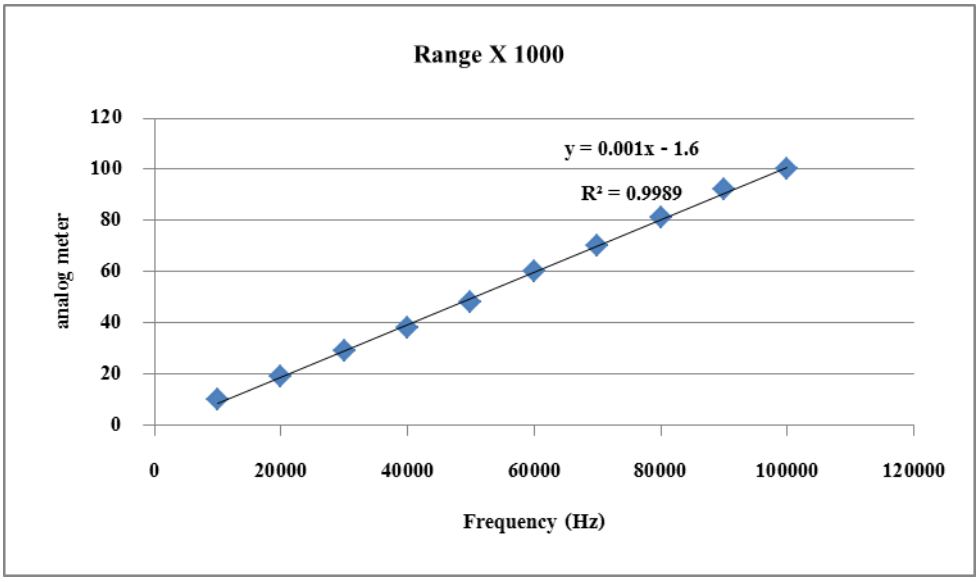
ภาพที่ 4.33 กราฟความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ที่ได้จากการอ่าน Analog Meter ที่ Range × 1



ภาพที่ 4.34 กราฟความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ที่ได้จากการอ่าน Analog Meter ที่ Range × 10



ภาพที่ 4.35 กราฟความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ที่ได้จากการอ่าน Analog Meter ที่ Range × 100



ภาพที่ 4.36 กราฟความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์ที่ได้จากการอ่าน Analog Meter ที่ Range × 1000

4.7.4 วิจารณผลการทดลอง

การทดสอบวงจรเรตมิเตอร์ โดยทดสอบในช่วงการทำงาน 4 ช่วง คือ 0-100 Hz, 0 -1 kHz, 0 – 10 kHz และ 0 – 100 kHz พบว่าสามารถแสดงค่าอัตรานับ cps ได้ใกล้เคียงกับอัตราสัญญาณพัลส์ที่ป้อนใส่โดยเครื่องกำเนิดความถี่ซึ่งจากการทดสอบพบว่ามีค่า Regression (R^2) เป็น 0.9996, 0.9996, 0.9996 และ 0.9989 สำหรับ Range × 1, × 10, × 100 และ × 1000 ตามลำดับ

4.8 การทดสอบประสิทธิการระบุตำแหน่งของโมดูล GPS

4.8.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.8.1.1 Telit GM862-GPS Module

4.8.1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

4.8.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทำการทดสอบโดยทำการตรวจสอบพิกัดโดย Telit GM862-GPS Module ต่อเข้ากับ Computer ดังรูปที่ 4.37 ทำการหาพิกัดตามสถานที่ต่าง ๆ ที่เป็นสถานที่สำคัญภายใน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจำนวนที่ละ 5 ครั้งโดย เมื่อได้ข้อมูล มาแล้วทำการแปลงข้อมูลเป็นค่าพิกัดที่สามารถใช้ในการหาตำแหน่งบนระบบผู้ให้บริการแผนที่ออนไลน์ได้ และนำข้อมูลนั้นมาแสดงผลบนแผนที่ระบบดังกล่าว โดยข้อมูลที่ได้แสดงผลดังตารางที่ 4.14, 4.15, 4.16 และ 4.17 และ ภาพที่ 4.38 และ 4.39

ภาพที่ 4.37 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบโมดูล GPS

4.8.3 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าพิกัดและรายละเอียดอื่นของ GPS บริเวณน้ำพุลานพระรูปด้านคณะวิทยาศาสตร์

No.	ข้อมูลที่ได้จากโมดูล GPS	latitude	longitude
1	135200.000,1344.2949N,10031.8900E ,0.8,5.3,3,119.76,0.10,0.05,250413,09	13° 44' 17.694" N	100° 31' 53.4" E
2	135240.000,1344.2947N,10031.8903E ,0.8,6.7,3,122.71,0.14,0.07,250413,09	13° 44' 17.682" N	100° 31' 53.418" E
3	135322.000,1344.2946N,10031.8905E ,0.8,7.2,3,110.19,0.10,0.05,250413,09	13° 44' 17.676" N	100° 31' 53.43" E
4	135414.000,1344.2945N,10031.8906E ,0.8,7.7,3,110.06,0.14,0.07,250413,09	13° 44' 17.67" N	100° 31' 53.436" E
5	135439.000,1344.2944N,10031.8906E ,0.8,8.2,3,114.18,0.10,0.05,250413,09	13° 44' 17.664" N	100° 31' 53.436" E

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าพิกัดและรายละเอียดอื่นของ GPS บริเวณหน้าพระรูป

No.	ข้อมูลที่ได้จากโมดูล GPS	latitude	longitude
6	135715.000,1344.3044N,10031.8884E ,1.0,0.4,3,100.77,0.18,0.09,250413,08	13° 44' 18.264" N	100° 31' 53.304" E
7	135734.000,1344.3052N,10031.8900E ,1.0,2.7,3,98.96,0.14,0.07,250413,08	13° 44' 18.312" N	100° 31' 53.4" E
8	135756.000,1344.3054N,10031.8905E ,1.0,4.2,3,103.47,0.14,0.07,250413,08	13° 44' 18.324" N	100° 31' 53.43" E
9	135815.000,1344.3055N,10031.8907E ,1.0,5.5,3,103.54,0.18,0.09,250413,08	13° 44' 18.33" N	100° 31' 53.442" E
10	135832.000,1344.3056N,10031.8908E ,1.0,6.4,3,102.41,0.18,0.09,250413,08	13° 44' 18.336" N	100° 31' 53.448" E

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าพิกัดและรายละเอียดอื่นของ GPS บริเวณน้ำพุลานพระรูปด้านคณะศิลปกรรมศาสตร์

No.	ข้อมูลที่ได้จากโมดูล GPS	latitude	longitude
11	140222.000,1344.3159N,10031.8939E ,0.8,7.9,3,43.10,0.10,0.05,250413,08	13° 44' 18.954" N	100° 31' 53.634" E
12	140253.000,1344.3165N,10031.8940E ,0.8,10.1,3,53.38,0.10,0.05,250413,09	13° 44' 18.99" N	100° 31' 53.64" E
13	140318.000,1344.3166N,10031.8941E ,0.8,10.0,3,52.80,0.10,0.05,250413,09	13° 44' 18.996" N	100° 31' 53.646" E
14	140343.000,1344.3166N,10031.8936E ,0.6,4.9,3,86.70,0.07,0.03,250413,11	13° 44' 18.996" N	100° 31' 53.616" E
15	140402.000,1344.3166N,10031.8937E ,0.6,5.5,3,96.54,0.07,0.03,250413,11	13° 44' 18.996" N	100° 31' 53.622" E

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าพิกัดและรายละเอียดอื่นของ GPS บริเวณเสาธง

No.	ข้อมูลที่ได้จากโมดูล GPS	latitude	longitude
16	140805.000,1344.3009N,10031.9230E ,1.0,0.4,3,148.55,0.21,0.11,250413,08	13° 44' 18.054" N	100° 31' 55.38" E
17	140847.000,1344.3004N,10031.9213E ,0.8,6.4,3,234.11,0.07,0.03,250413,10	13° 44' 18.024" N	100° 31' 55.278" E
18	140909.000,1344.3004N,10031.9215E ,0.6,6.4,3,243.59,0.03,0.01,250413,11	13° 44' 18.024" N	100° 31' 55.29" E
19	140933.000,1344.3004N,10031.9215E ,0.6,6.2,3,236.59,0.10,0.05,250413,11	13° 44' 18.024" N	100° 31' 53.29" E
20	141000.000,1344.3002N,10031.9210E ,0.6,6.7,3,145.72,0.03,0.01,250413,11	13° 44' 18.012" N	100° 31' 55.26" E

ภาพที่ 4.38 ภาพแผนที่โดย Bing Map ที่ทำการระบุพิกัดที่ทำการตรวจวัด

ภาพที่ 4.39 ภาพแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมโดย Bing Map ที่ทำการระบุพิกัดที่ทำการตรวจวัด

4.8.4 วิจารณ์ผลการทดสอบ

ทำการทดสอบที่ตำแหน่งดังกล่าวด้านบน แล้วนำพิกัดที่ทำการตรวจวัดได้มาพล็อตลงในแผนที่ดังแสดงในภาพ 4.38 และ 4.39 จากการทดสอบพบว่าความผิดพลาดของการระบุตำแหน่งต่ำกว่า 10 เมตร ตามสเกลบนแผนที่ในภาพที่ 4.38 โดยบริเวณที่พบความผิดพลาดมากที่สุดในการทดสอบครั้งนี้คือ บริเวณหน้าพระรูป ซึ่งมีความผิดพลาดไม่เกิน 8.5 เมตร

4.9 การทดสอบการวัดแบบนับแยกพลังงาน

การทดสอบการจัดระบบวัดแบบนับแยกพลังงานเป็นการทดสอบระบบทั้งหมดโดยนำวงจรทั้งหมดที่ได้พัฒนาขึ้นมาประกอบกัน เพื่อทำการวัดรังสีแบบแยกพลังงานและทำการเปรียบเทียบพลังงานของรังสีกับค่าแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งยอดพีคของสเปกตรัมพลังงาน

4.9.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.9.1.1 สารกัมมันตรังสี Cs-137

4.9.1.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่พัฒนาขึ้น

4.9.1.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่พัฒนาขึ้น

4.9.1.4 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น

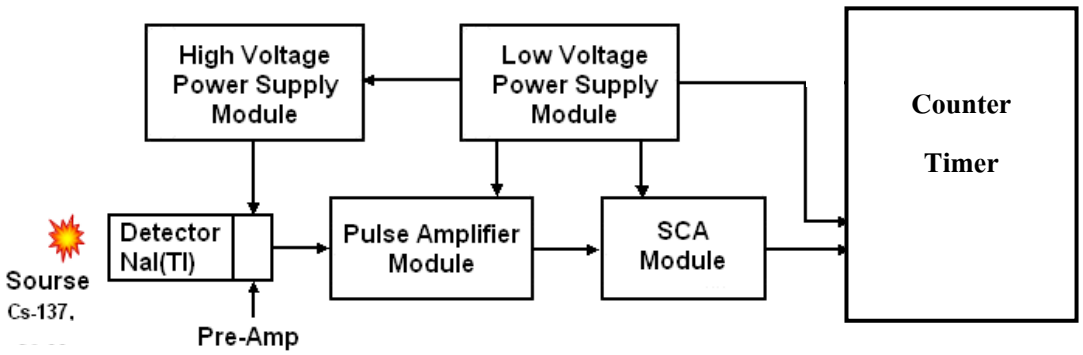
4.9.1.5 วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวที่พัฒนาขึ้น

4.9.1.6 วงจรนับรังสีที่พัฒนาขึ้น

4.9.1.7 วงจรตั้งเวลาที่พัฒนาขึ้น

4.9.2.ขั้นตอนการทดสอบ

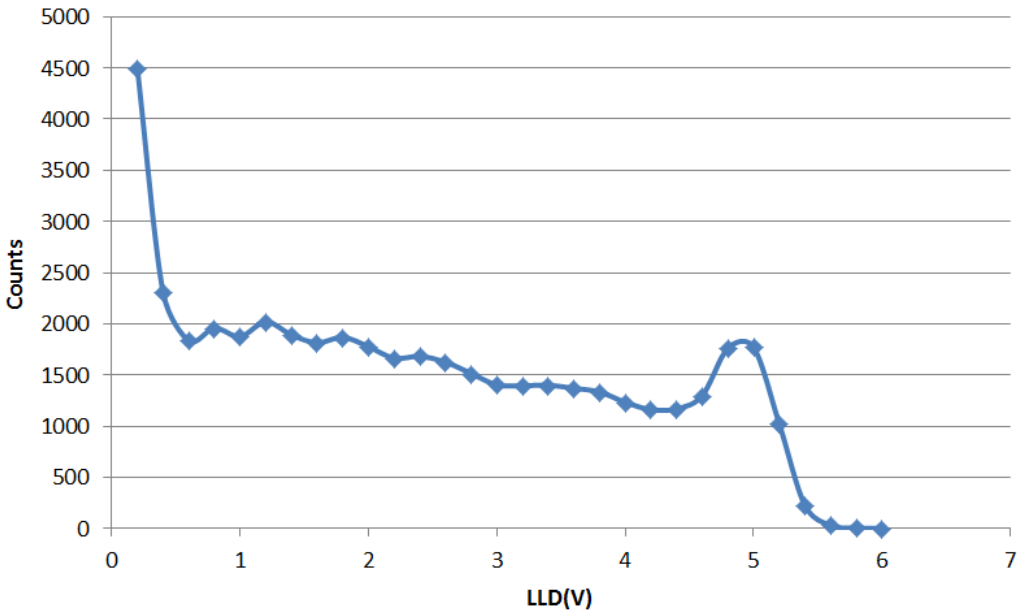
จัดการทดลองเพื่อหาค่าพีคพลังงานของต้นกำเนิดรังสี Cs-137 โดยใช้หัววัด NaI(TI) ใช้ HV เท่ากับ 800 V, Coarse Gain × 100 ตั้งค่า ΔE = 0.2 V และปรับค่า LLD เพิ่มครั้งละ 0.2 V สามารถจัดอุปกรณ์การทดสอบได้ดังภาพที่ 4.40



ภาพที่ 4.40 แผนภาพการจัดอุปกรณ์การทดสอบระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน

4.9.3 ผลการทดสอบ

การทดสอบหาค่าพีคของต้นกำเนิด Cs-137 แสดงผลการทดสอบดังภาพที่ 4.41



ภาพที่ 4.41 สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Cs-137

4.9.4 วิจารณ์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบพบว่าเครื่องมือสามารถใช้หาสเปกตรัมของสารกัมมันตรังสีได้โดย ใช้ความสามารถของวงจรวิเคราะห์สัญญาณช่องเดี่ยว ดังแสดงในภาพที่ 4.39 ซึ่งจะพบพีคของ Cs-137 อยู่บริเวณตำแหน่ง 5 Volt ส่วนบริเวณก่อนหน้า 5 Volt จะเป็นส่วนคอมป์ตัน เอฟเฟค และสัญญาณรบกวน สำหรับเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถหาสเปกตรัมของสารกัมมันตรังสีได้ดีก็ต่อเมื่อสารรังสีนั้นมีค่าครึ่งชีวิตยาว เพราะเป็นการใช้เทคนิคระบบวิเคราะห์สัญญาณช่องเดี่ยวกวาดหาในแต่ละพลังงาน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

ได้ระบบเฝ้าระวังรังสีแกมมาที่ระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอสผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ สามารถทำงานได้ทั้งในลักษณะทำงานแบบเอกเทศ และทำงานแบบเฝ้าระวังสำหรับการทำงานแบบเอกเทศสามารถทำการหาสเปกตรัมของสารกัมมันตรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตนานได้โดยใช้วงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดี่ยว สำหรับการทำงานแบบเฝ้าระวังสามารถทำการวัดรังสีได้จากระยะไกลโดยผู้ใช้ทำการโทรศัพท์เข้าเครื่องวัดรังสีเพื่อให้เครื่องวัดทำการวัดตามที่ตั้งไว้แล้วทำการส่งข้อมูลการวัดกลับมายังผู้ใช้ผ่านการส่ง SMS ข้อมูลที่ส่งกลับมาผ่าน SMS นอกจากจะส่งข้อมูลของปริมาณรังสีที่วัดได้แล้ว ยังส่งข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์ของตำแหน่งที่วัดด้วยระบบจีพีเอสมาพร้อมกันด้วย โดยผู้ใช้สามารถสั่งคำสั่งการวัดระยะไกลได้จาก คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ต่อเข้ากับโมดูล GPRS ที่พัฒนาขึ้น หรือสามารถใช้โทรศัพท์มือถือโทรเข้าไปเพื่อสั่งการวัดได้ ในส่วนของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ต่อเข้ากับโมดูล GPRS ที่พัฒนาขึ้นนั้นจะทำงานผ่านโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยเฉพาะสำหรับระบบนี้ ซึ่งสามารถสั่งการวัด และรับข้อมูลการวัดที่ส่งผ่าน SMS มายังโมดูล GPRS ได้ พร้อมทั้งนำข้อมูลมาคำนวณค่าทางสถิติ และแสดงผลข้อมูลบนหน้าต่างของโปรแกรมรวมถึงนำพิกัดที่ตั้งเครื่องวัดเรียกแผนที่ออนไลน์เพื่อแสดงที่ตั้งของเครื่องวัดบนแผนที่

ระบบวัดรังสีที่พัฒนาขึ้นได้ผ่านการทดสอบการทำงานของส่วนต่าง ๆ ในระบบดังบทที่ 4 ซึ่งผลการทดสอบการทำงานของแต่ละการทดสอบสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่พัฒนาสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด +5 V, +12 V, -12 V, +12 V (high voltage) และ -24 V ให้กับวงจรต่าง ๆ ในระบบวัดได้ จากการทดสอบหา Ripple ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำขนาดต่าง ๆ พบว่า แหล่งจ่ายไฟฟ้า +5 V มี Ripple เป็น 10 mVp-p แหล่งจ่ายไฟฟ้า +12 V มี Ripple เป็น 5 mVp-p แหล่งจ่ายไฟฟ้า -12 V มี Ripple เป็น 8 mVp-p แหล่งจ่ายไฟฟ้า +12 V (high voltage) มี Ripple เป็น 180 mVp-p แหล่งจ่ายไฟฟ้า +24 V มี Ripple เป็น 25 mVp-p และ แหล่งจ่ายไฟฟ้า -24 V มี Ripple เป็น 5 mVp-p

5.1.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อไบอัสให้กับหัววัดรังสีชนิดต่าง ๆ ซึ่งสามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าต่อเนื่อง 0-1000 V ได้ที่หน้าปัดของวงจร และสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดได้ 1 mA โดยที่แรงดันไฟฟ้า 1000 V ตกลงไปปริมาณ 0.66 % ในส่วนการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับค่าแรงดันไฟฟ้าปรากฏว่ามีความ

คลาดเคลื่อนจากแรงดันที่ได้มาเล็กน้อยเมื่อนำเอาความคาดเคลื่อนทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเป็น 0.548 % และมีค่า Ripple Voltage ของสัญญาณอยู่ที่ประมาณ 2.24 mVp-p ขณะไม่ต่อโหลดและประมาณ 4.08 mVp-p ขณะต่อโหลดขนาด 3MΩ

5.1.3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์สามารถปรับเลือกโพลาริตีของสัญญาณพัลส์ทางเข้า สามารถปรับ Pole/Zero, BLR และสามารถปรับเลือกอัตราการขยายได้ 3 ระดับ คือ 100 เท่า, 500 เท่า และ 1000 เท่า โดยสามารถปรับอัตราการขยายได้ต่อเนื่อง 0 - 10 V ตามมาตรฐานของระบบ NIM และสัญญาณพัลส์ทางออกจะถูกปรับแต่งรูปสัญญาณให้เป็นแบบ Semi Gaussian ในส่วนการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยายเมื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุตพบว่ามีอัตราขยายใกล้เคียงกับอัตราการขยายของระบบที่พัฒนาคือ 1000, 500 และ 100 โดยจะมีอัตราขยายลดลงเล็กน้อยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดสัญญาณอินพุตตามปกติของวงจรขยาย

5.1.4 วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว สามารถสร้างสัญญาณลอจิกส์พัลส์ทางออกขนาด 500 ns และสามารถปรับค่า LLD และ Windows ได้ตั้งแต่ 0 - 10 V ที่หน้าปัดของวงจร ซึ่งมีค่า Regression (R^2) ของสเกล LLD และ Windows เท่ากับ 0.9998 และ 0.9999 ตามลำดับ

5.1.5 วงจรนับรังสี และตั้งเวลา (ส่วนนับรังสี) สามารถแสดงผลการนับรังสีได้ตั้งแต่ 0-999999 ด้วยอุปกรณ์แสดงผลชนิด LED 7-Segemnts จำนวน 6 หลักสามารถนับพัลส์ความถี่ได้สูง โดยจากการทดสอบในช่วง 0-60000 CPS สามารถนับได้โดยมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 0.005 % และเมื่อมีการทดสอบนับพัลส์ความถี่สูงถึงระดับ 150 kHz พบว่าสามารถวัดได้โดยมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 0.5 %

5.1.6 วงจรนับรังสี และตั้งเวลา (ส่วนตั้งเวลา) สามารถเลือกตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 1-99 วินาที หรือ 1-99 นาที และแสดงผลของเวลา ด้วยอุปกรณ์แสดงผลชนิด LED 7-Segments จำนวน 2 หลัก ในการทดสอบส่วนตั้งเวลาพบว่าที่การตั้งเวลา 1 นาทีมีความผิดพลาด 0.002324 % และ ที่การวัด 1 ชั่วโมงพบความผิดพลาด 0.002703889 %

5.1.7 วงจรเรตมิเตอร์ สามารถแสดงผลการนับสัญญาณพัลส์บนแอนะล็อกมิเตอร์ที่หน้าปัดของวงจรได้ตั้งแต่ 0 – 100,000 CPS ซึ่งสามารถเลือกช่วงการทำงานได้ 4 ช่วง คือ 0-100 Hz, 0 -1 kHz, 0 – 10 kHz และ 0 – 100 kHz และซึ่งมีค่า Regression (R^2) เป็น 0.9996, 0.9996, 0.9996 และ 0.9989 ตามลำดับ

5.1.8 โมดูล GPS ทำการทดสอบหาความคลาดเคลื่อนในการหาพิกัด พบว่าความผิดพลาดมากที่สุดในการทดสอบครั้งนี้คือ 8.5 เมตร จากการทดสอบทั้งหมด 20 จุด บริเวณลานพระรูปสองรัชกาล และบริเวณเสาธงจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.9 การทดสอบการหาสเปกตรัมของสารกัมมันตรังสี Cs-137 พบว่าเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสามารถหาสเปกตรัมของสารกัมมันตรังสีได้ดีสำหรับสารรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตยาว เพราะเป็นการใช้เทคนิคระบบวิเคราะห์สัญญาณช่องเดี่ยวกวาดหาอัตรานับในแต่ละพลังงาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ระบบที่พัฒนาขึ้นนอกจากจะใช้สำหรับเฝ้าระวังการแพร่กระจายสารรังสีในสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังสามารถใช้ในการติดตามปริมาณรังสีสำหรับการศึกษาวิจัยทางด้านนิวเคลียร์ หรือประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ที่สามารถทำงานได้ด้วยการควบคุมผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับการสื่อสารข้อมูลกับผู้ใช้

ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถพัฒนาจากระบบ SMS เป็นการสื่อสารข้อมูลในแบบอื่น ยกตัวอย่างเช่น GPRS, EDGE และ 3G เป็นต้น เพื่อเป็นการสื่อสารที่ใช้ข้อมูลสูงมากขึ้นผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยการพัฒนาระบบสามารถทำได้โดยไม่ยุ่งยากมากนักจากการอ้างอิงระบบที่พัฒนานี้

จากการใช้หม้อแปลงภายในประเทศกับระบบที่พัฒนา พบว่าไม่สามารถจ่ายกำลังได้ตามที่ระบุบนตัวหม้อแปลง ต้องมีการเลือกหม้อแปลงขนาดที่สูงขึ้นเผื่อไว้ก่อน สำหรับการเลือกหม้อแปลงภายในตลาดทั่วไป

รายการอ้างอิง

[1] Knoll, glenn F. Radiation Detection and Measurement. Third Edition. New York: John Wiley & Son; 1999.

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

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

[4] Telit Communications S.p.A. AT Commands Reference Guide[online]. 2010. Available from: http://www.telit.com/en/products.php?p_ac=show&p=7[2011, January 10]

[5] Telit Communications S.p.A. GM862 Family Hardware User Guide[online]. 2009. Available from: http://www.telit.com/en/products.php?p_ac=show&p=7[2011, January 10]

[6] Telit Communications S.p.A. Telit Modules Software User Guide[online]. 2010. Available from: http://www.telit.com/en/products.php?p_ac=show&p=7[2011, January 10]

[7] Telit Communications S.p.A. Easy Script in Python[online]. 2010. Available from: http://www.telit.com/en/products.php?p_ac=show&p=7[2011, January 10]

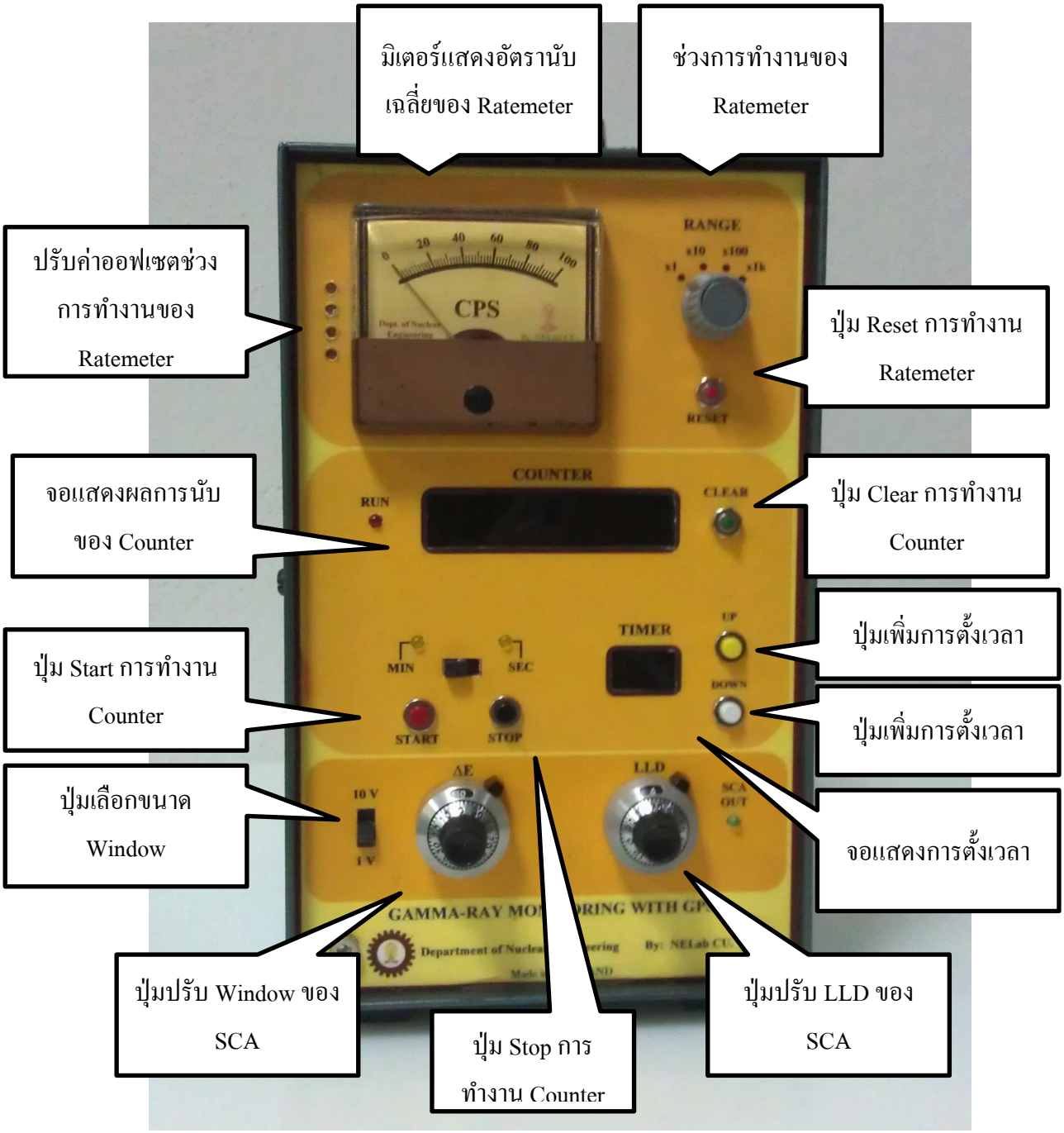
[8] Microchip Technology. Microchip PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet. Microchip Technology , 2009.

[9] ประจิน พลังสันติกุล. PIC18F Programming กับ MPLAB C18 คอมไพเลอร์. กรุงเทพมหานคร: แอพซอฟต์เทค, 2553.

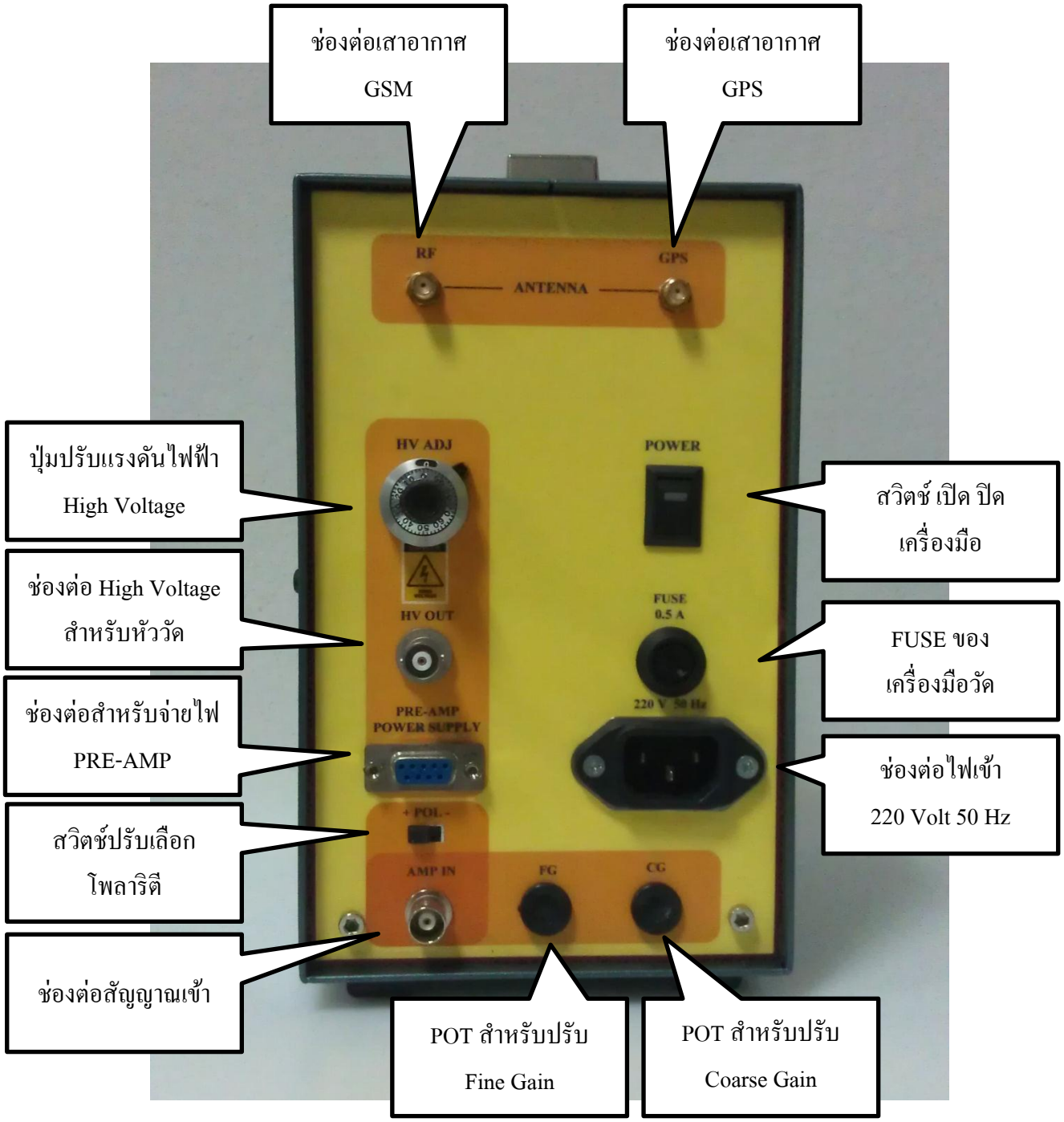
[10] C. J. SAVANT, Jr. MARTIN S. RODEN and GORDON L. CARPENTER. Electronic design circuits and system. Second Edition. Addison-Wesley, 1991.

[11] Chuck Hellebuyck. Programming PIC microcontrollers with PicBasic. First Edition. Newnes, 2003.

ภาคผนวก



ภาพที่ ก.1 แผนภาพแสดงรายละเอียดหน้าปัด



ภาพที่ ก.2 แผนภาพแสดงรายละเอียดด้านหลังเครื่อง

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติของเครื่องวัดรังสีที่พัฒนาขึ้น

วงจรที่พัฒนาขึ้น	**คุณสมบัติ**
1. ส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	+5 V มี Ripple เป็น 10 mVp-p +12 V มี Ripple เป็น 5 mVp-p -12 V มี Ripple เป็น 8 mVp-p +12 V (high voltage) มี Ripple เป็น 180 mVp-p +24 V มี Ripple เป็น 25 mVp-p -24 V มี Ripple เป็น 5 mVp-p
2. ส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง	ปรับแรงดันไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง 1000V ที่ มีค่า Ripple Voltage น้อยกว่า 4.08 mVp-p ที่โหลด 3 MΩ
3. ส่วนขยายสัญญาณ	ปรับอัตราขยายได้ 100 เท่า, 500 เท่า และ 1000 เท่า สามารถปรับ P/Z และ BLR
4. ส่วนวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว	ให้สัญญาณลอจิกพัลส์ทางออกขนาด 500 ns ปรับค่า LLD และ ΔE จาก 0 - 10 V ตามมาตรฐานของระบบ NIM
5. ส่วนนับรังสี	นับค่าความถี่ในช่วง 0-60,000 CPS ที่ความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 0.005 % นับค่าความถี่ในช่วง 60,000-150,000 CPS ที่ความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 0.5 % แสดงค่าได้ตั้งแต่ 0 -999,999 ค่า
6. ส่วนตั้งเวลา	ตั้งเวลาได้จาก 1-99 วินาที หรือจาก 1-99 นาที

7. ส่วนเรตมิเตอร์	แสดงค่าการนับพัลส์ตั้งแต่ 0 – 100,000 CPS
8. ส่วนโมดูล GPS	มีความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งไม่เกิน 8.5 เมตร

โค้ดภาษา basic บน counter and timer

```
'*********************************
*****************************
'* Name    : Timer/Counter.BAS
*
'* Author  : [Kamontip Ploykrachang]
*
'* Notice  : Copyright (c) 2011 [select
VIEW...EDITOR OPTIONS] *
'*         : All Rights Reserved
*
'* Date    : 15/2/2011
*
'* Version : 1.0
*
'* Notes   : Counter and Time with Internal
Gate            *
'*         : Reset couter by Interupt INT1
*
'*********************************
*****************************
Device 18F2550
Xtal = 48
All_Digital = True
Stack_Size= 40

'*** Declare Symbol for Interrupt ***
Symbol INT_TMIF INTCON.1    'INT0
External Interrupt Flag bit
Symbol INT_TMIE INTCON.4    'INT0
External Interrupt Enable bit
Symbol INT_RTIF INTCON3.0   'INT1
External Interrupt Flag bit
Symbol INT_RTIE INTCON3.3   'INT1
External Interrupt Enable bit
'*** Declare control pins of DS1307 ***
Symbol RTC_SDA  PORTB.4       ' Serail
Data of I2C RTC
Symbol RTC_SCL  PORTA.2       ' Clock
'*** Declare control pins of Buttom Switch
and Others  ***
Symbol But_START PORTB.3
Symbol But_STOP  PORTB.2
Symbol GateTime  PORTA.0      ' Gate pin
from Timer
Symbol LED_Cunt  PORTA.1
```

```
Symbol But_Up    PORTC.1
Symbol But_Down  PORTA.3
'*** Declare control pins of MAX7219 ***
Symbol Max_SDO PORTC.7        ' Serial
Data of Max7219
Symbol Max_CLK PORTC.6        ' Clock of
MAX7219
Symbol Max_CS  PORTC.2        ' LOAD of
MAX7219
'*** Declare variables for Counter
*******************
Symbol TMR1_ON T1CON.0
Dim TxAddr      As Word
Dim TxData      As Word
Dim Position    As Byte
Dim digit       As Byte
Dim Val_Digit   As Byte
Dim No_Count    As Word
Dim No_CountF   As Byte
'Dim No_Count   As TMR1L.Word
'*** Declare variables for Timer
*******************
Symbol SelectTime PORTB.3
Dim Hz          As Word
Dim TempSec     As Byte
Dim Sec         As Byte
Dim Minute      As Byte
Dim Set_Sec     As Byte
Dim Set_Min     As Byte
Dim DeT_Sec     As Byte
Dim DeT_Min     As Byte
Dim TSecLoop    As Byte
Dim TMinLoop    As Byte
Dim i           As Byte
Dim SRT_Time    As Bit
Dim Reset_Cunt As Bit
Dim Finish      As Bit

Symbol conti PORTB.7                block
conti
'Dim conti As Bit                   'for block
conti
Symbol Txx = PORTB.6
Dim oby As Byte
Dim e As Byte
Dim si As Byte
Dim timesr As Byte
Dim tryeach As Byte
Dim stod As String * 20
timesr = 208
High Txx
'conti=1                            'for block conti
Symbol t_t PORTB.5
t_t=0

TRISA.0 = 0     'GateTime
TRISA.1 = 0     'LED counter
TRISA.2 = 0     'SCL DS1307
TRISA.3 = 1     'But_Down
TRISA.5 = 1     'Select Sec / Min
```

```
TRISB.2 = 1     'But_STOP
TRISB.3 = 1     'But_START
TRISB.4 = 0     'SDA DS1307
TRISC.1 = 1     'But_Up
TRISC.2 = 0     'CS Max
TRISC.6 = 0     'CLK Max
TRISC.7 = 0     'DIN Max

TRISB.7=1               'block conti
TRISB.6=0
TRISB.5=0

'*** Initialization MAX7219 ***
   TxAddr = $09        'BCD mode for
decoding the digit
   TxData = $FF        'Code B Decode for
digit 7-0
   GoSub Send_Data
   TxAddr = $0A        'Intensity of display
light
   TxData = $0F
   GoSub Send_Data
   TxAddr = $0B        'Scan Limit of Digit
   TxData = $07        'Scan Display digits 0-
7 (8 digit)
   GoSub Send_Data
   TxAddr = $0C        'Turn on or Turn off
Display
   TxData = $01        'Turn on the Display
   GoSub Send_Data
   TxAddr = $0F        'Test Display
   TxData = $00        'No Test
   GoSub Send_Data
'*** Initialization DS1307 ***
   I2Cout RTC_SDA,
RTC_SCL,$D0,$00,[$00]     'Start the clock
   DelayMS 5
   I2Cout RTC_SDA,
RTC_SCL,$D0,$07,[$10]    'SQW/OUT is 1
Hz
   DelayMS 5
'****Start Program here ******

Init_Program:
   INTCON = %10000010
   INTCON2 = %01000000
   INTCON3 = %01000000
   T1CON.4 = 0 : T1CON.5 = 0
   T1CON.3 = 0
   T1CON.2 = 1
   T1CON.1 = 1
   INT_TMIF = 1
   INT_RTIF = 1
   INT_TMIE = 0   'Disable INT0
1Hz(Timer)
   INT_RTIE = 0   'Disable INT1(Reset)
   TMR1_ON = 0  ' Disable Counter
   TMR1H = 0   ' Clear TMR1 high count
before start
```

```
    TMR1L = 0   ' Clear TMR1 low count
before start
    No_CountF = 0 : No_Count = 0
    GateTime = 0  : Set_Sec = 1 : Set_Min =
1  : Reset_Cunt = 0
    Finish = 0   : Hz = 0
    On Interrupt GoTo INT
    Disable Interrupt

Reset_Time:
    No_CountF = 0 : No_Count = 0 :
GateTime = 0 : Reset_Cunt = 0 : Finish = 0 :
SRT_Time = 0 : LED_Cunt = 0
    GoTo SelectModeTime

SelectModeTime:
     If PORTA.5 = 0 And conti = 1 Then
       If But_Up = 0 Then
          DelayMS 200
          Set_Sec = Set_Sec + 1
          If Set_Sec = 100 Then Set_Sec = 1
       EndIf
       If But_Down = 0 Then
          DelayMS 200
          Set_Sec = Set_Sec - 1
          If Set_Sec = 0 Then Set_Sec = 99
       EndIf
       If But_START = 0 Then
          Hz = 0 : Sec = 0 : TempSec = 0 :
Minute = 0
          No_CountF = 0 : No_Count = 0
          TMR1H = 0      'Clear TMR1 high
count before start
          TMR1L = 0      'Clear TMR1 low
count before start
          INT_TMIE = 1   'Enable INT0
1Hz(Timer)
          TMR1_ON = 0    'Disable Counter
          INT_RTIE = 1   'Enable INT1(Reset
TMR1)
          GoTo SRT_TimeSec
       EndIf
       GoSub Disp_SRT
       GoSub Disp_SetSec
    EndIf
    If PORTA.5 = 1 And conti = 1 Then
       If But_Up = 0 Then
          DelayMS 200
          Set_Min = Set_Min + 1
          If Set_Min = 100 Then Set_Min = 1
       EndIf
       If But_Down = 0 Then
          DelayMS 200
          Set_Min = Set_Min - 1
          If Set_Min = 0 Then Set_Min = 99
       EndIf
       If But_START = 0 Then
          Hz = 0 : Sec = 0 : TempSec = 0 :
Minute = 0
          No_CountF = 0 : No_Count = 0
```

```
        TMR1H = 0      'Clear TMR1 high
count before start
        TMR1L = 0      'Clear TMR1 low
count before start
        INT_TMIE = 1   'Enable INT0
1Hz(Timer)
        TMR1_ON = 0    'Disable Counter
        INT_RTIE = 1   'Enable INT1(Reset
TMR1)
        GoTo SRT_TimeMin
      EndIf
      GoSub Disp_SRT
      GoSub Disp_SetMin
   EndIf
   If conti= 0 Then
      Set_Sec = 1
        Hz = 0 : Sec = 0 : TempSec = 0 :
Minute = 0
        No_CountF = 0 : No_Count = 0
        TMR1H = 0      'Clear TMR1 high
count before start
        TMR1L = 0      'Clear TMR1 low
count before start
        INT_TMIE = 1   'Enable INT0
1Hz(Timer)
        TMR1_ON = 0    'Disable Counter
        INT_RTIE = 1   'Enable INT1(Reset
TMR1)
        GoTo SRT_TimeSec

   EndIf
   GoTo SelectModeTime

   Enable Interrupt
SRT_TimeSec:
   LED_Cunt = 1
   If SRT_Time = 1 Then
      Reset_Cunt = 0
      GoTo Count_RadSec
   EndIf
   GoTo SRT_TimeSec

Count_RadSec:
   No_Count.LowByte = TMR1L
   No_Count.HighByte = TMR1H
   If No_Count >= 60001 Then
      TMR1H = 0 : TMR1L = 0 ' Clear
TMR1
      No_CountF = 6
      GoTo Count_RadSec2
   EndIf
   If But_STOP = 0 Or Finish = 1 Then
      INT_TMIE = 0   'Disable INT0
1Hz(Timer)
      No_Count.LowByte = TMR1L
      No_Count.HighByte = TMR1H
      TSecLoop = Sec
      LED_Cunt = 0
      GoSub Disp_Cnt
      DeT_Sec = Set_Sec - Sec
```

```
      GoSub Disp_DeT_Sec
        If conti =0 Then
            stod="|"+Str$(Dec,No_Count)
            GoSub sendlong[stod]
          GoTo Reset_Time
        EndIf

stod="|"+Str$(Dec,No_Count)+":"+Str$(De
c,Sec)+"S#"
      GoSub sendlong[stod]
      GoTo loop_Value_TSec
   EndIf
   GoSub Disp_Cnt
   DeT_Sec = Set_Sec - Sec
   GoSub Disp_DeT_Sec
   GoTo Count_RadSec

Count_RadSec2:
   No_Count.LowByte = TMR1L
   No_Count.HighByte = TMR1H
   If No_Count >= 10000 Then
      TMR1H = 0 : TMR1L = 0 ' Clear
TMR1
      No_CountF = No_CountF + 1
   EndIf
   If But_STOP = 0 Or Finish = 1 Then
      INT_TMIE = 0   'Disable INT0
1Hz(Timer)
      No_Count.LowByte = TMR1L
      No_Count.HighByte = TMR1H
      TSecLoop = Sec
      LED_Cunt = 0
      GoSub Disp_Cnt2
      GoSub Disp_CntF
      DeT_Sec = Set_Sec - Sec
      GoSub Disp_DeT_Sec
        If conti =0 Then

stod="|"+Str$(Dec,No_CountF)+Str$(Dec,N
o_Count)
            GoSub sendlong[stod]
          GoTo Reset_Time
        EndIf

stod="|"+Str$(Dec,No_CountF)+Str$(Dec,N
o_Count)+":"+Str$(Dec,Sec)+"S#"
      GoSub sendlong[stod]
      GoTo loop_Value_TSec
   EndIf
   GoSub Disp_Cnt2
   GoSub Disp_CntF
   DeT_Sec = Set_Sec - Sec
   GoSub Disp_DeT_Sec
   GoTo Count_RadSec2

SRT_TimeMin:
   LED_Cunt = 1
   If SRT_Time = 1 Then
      Reset_Cunt = 0
      GoTo Count_RadMin
```

```
    EndIf
    GoTo SRT_TimeMin

Count_RadMin:
    No_Count.LowByte = TMR1L
    No_Count.HighByte = TMR1H
    If No_Count >= 60001 Then
        TMR1H = 0 : TMR1L = 0 ' Clear
TMR1
        No_CountF = 6
        GoTo Count_RadMin2
    EndIf
    If But_STOP = 0 Or Finish = 1 Then
        INT_TMIE = 0   'Disable INT0
1Hz(Timer)
        No_Count.LowByte = TMR1L
        No_Count.HighByte = TMR1H
        TMinLoop = Minute
        LED_Cunt = 0
        GoSub Disp_Cnt

stod="|"+Str$(Dec,No_Count)+":"+Str$(De
c,Minute)+"M#"
        GoSub sendlong[stod]
        GoTo loop_Value_TMin
    EndIf
    GoSub Disp_Cnt
    DeT_Min = Set_Min - Minute
    GoSub Disp_DeT_Min
    GoTo Count_RadMin

Count_RadMin2:
    No_Count.LowByte = TMR1L
    No_Count.HighByte = TMR1H
    If No_Count >= 10000 Then
        TMR1H = 0 : TMR1L = 0 ' Clear
TMR1
        No_CountF = No_CountF + 1
    EndIf
    If But_STOP = 0 Or Finish = 1 Then
        INT_TMIE = 0   'Disable INT0
1Hz(Timer)
        No_Count.LowByte = TMR1L
        No_Count.HighByte = TMR1H
        TMinLoop = Minute
        LED_Cunt = 0
        GoSub Disp_Cnt2
        GoSub Disp_CntF

stod="|"+Str$(Dec,No_CountF)+Str$(Dec,N
o_Count)+":"+Str$(Dec,Minute)+"M#"
        GoSub sendlong[stod]
        GoTo loop_Value_TMin
    EndIf
    GoSub Disp_Cnt2
    GoSub Disp_CntF
    DeT_Min = Set_Min - Minute
    GoSub Disp_DeT_Min
    GoTo Count_RadMin2
```

```
loop_Value_TSec:  'disable Interrupt
   If Reset_Cunt = 1 Then
      Reset_Cunt = 0
      DelayMS 150
      GoTo Reset_Time
   EndIf
   For Position =7 To 8 Step 1
      digit = Position - 7
      Val_Digit = Dig TSecLoop, digit

            If TSecLoop < 10 And Position=8
Then Val_Digit = 15
            TxAddr = Position
      TxData = Val_Digit
      GoSub Send_Data
      DelayMS 100
      TxAddr = 7
      TxData = 15
      GoSub Send_Data
      TxAddr = 8
      TxData = 15
      GoSub Send_Data
   Next Position
   GoTo loop_Value_TSec

loop_Value_TMin:  'disable Interrupt
   If Reset_Cunt = 1 Then
      Reset_Cunt = 0
      DelayMS 150
      GoTo Reset_Time
   EndIf
   For Position =7 To 8 Step 1
      digit = Position - 7
      Val_Digit = Dig TMinLoop, digit

            If TMinLoop < 10 And
Position=8 Then Val_Digit = 15
            TxAddr = Position
      TxData = Val_Digit
      GoSub Send_Data
      DelayMS 100
      TxAddr = 7
      TxData = 15
      GoSub Send_Data
      TxAddr = 8
      TxData = 15
      GoSub Send_Data
   Next Position
   GoTo loop_Value_TMin

Disp_Cnt:   ' Display Value Count Rate
Digit0-3
   For Position=1 To 5 Step 1

         digit = Position - 1
         Val_Digit = Dig No_Count, digit
```

```
            If No_Count < 10 And Position =
2 And No_CountF < 1 Then Val_Digit = 15

      If No_Count < 100 And Position = 3
And No_CountF < 1  Then Val_Digit = 15

      If No_Count < 1000 And Position = 4
And No_CountF < 1 Then Val_Digit = 15
      If No_Count < 10000 And Position = 5
And No_CountF < 1 Then Val_Digit = 15
      TxAddr = Position
      TxData = Val_Digit
      GoSub Send_Data
    Next Position

          Return

Disp_Cnt2:   ' Display Value Count Rate
Digit0-3
    For Position=1 To 4 Step 1

            digit = Position - 1
            Val_Digit = Dig No_Count, digit


            If No_Count < 10 And Position =
2 And No_CountF < 1 Then Val_Digit = 15

      If No_Count < 100 And Position = 3
And No_CountF < 1  Then Val_Digit = 15

      If No_Count < 1000 And Position = 4
And No_CountF < 1 Then Val_Digit = 15
      TxAddr = Position
      TxData = Val_Digit
      GoSub Send_Data
    Next Position

          Return


Disp_CntF:  ' Display  Digit5-6
    For Position = 5 To 6 Step 1
      digit = Position - 5
            Val_Digit = Dig No_CountF,
digit
      If No_CountF < 1 And Position = 5
Then Val_Digit = 15

            If No_CountF < 10 And Position
= 6 Then Val_Digit = 15
            TxAddr = Position
      TxData = Val_Digit
      GoSub Send_Data
    Next Position
          Return

Disp_SetSec:   ' Display  Digit7-8
```

```
   For Position =7 To 8 Step 1
      digit = Position - 7
      Val_Digit = Dig Set_Sec, digit

            If Set_Sec<10 And Position=8
Then Val_Digit = 15
            TxAddr = Position
      TxData = Val_Digit
      GoSub Send_Data
   Next Position
         Return

Disp_DeT_Sec:   ' Display  Digit7-8
   For Position =7 To 8 Step 1
      digit = Position - 7
      Val_Digit = Dig DeT_Sec, digit

            If DeT_Sec<10 And Position=8
Then Val_Digit = 15
            TxAddr = Position
      TxData = Val_Digit
      GoSub Send_Data
   Next Position
         Return

Disp_DeT_Min:   ' Display  Digit7-8
   For Position =7 To 8 Step 1
      digit = Position - 7
      Val_Digit = Dig DeT_Min, digit

            If DeT_Min<10 And Position=8
Then Val_Digit = 15
            TxAddr = Position
      TxData = Val_Digit
      GoSub Send_Data
   Next Position
         Return

Disp_SetMin:   ' Display  Digit7-8
   For Position =7 To 8 Step 1
      digit = Position - 7
      Val_Digit = Dig Set_Min, digit

            If Set_Min<10 And Position=8
Then Val_Digit = 15
            TxAddr = Position
      TxData = Val_Digit
      GoSub Send_Data
   Next Position

         Return

Disp_SRT:   ' Display Value Count Rate
Digit0-3
      TxAddr = 1
      TxData = 0
      GoSub Send_Data
      For i = 2 To 6
        TxAddr = i
        TxData = 15
```

```
        GoSub Send_Data
      Next i

          Return

Send_Data: ' Transfer data to MAX7219
   Max_CS = 0        'Enable MAX7219
          SHOut
Max_SDO,Max_CLK,msbfirst,[TxAddr,Tx
Data] ' Shift Out the Register first,then the
data
          Max_CS = 1       ' Disable the
MAX7219
          Return

sendlong:
   Dim sting As String * 20
   Pop sting
   Dim nub As Byte
   'dim lenght as byte
   'lenght= Len(stod)
   For nub = 0 To Len(sting)-1
      GoSub sendbyte[sting[nub]]
      DelayMS 300
   Next
Return

sendbyte:
   Pop oby
   e=$01
   si=7
   Low Txx                    'icv
   DelayUS timesr
   'DelayMS 1
   For si=0 To 7
      tryeach=oby & e
      If tryeach=%00000001 Then
         High Txx             'icv
      ElseIf tryeach=%00000000 Then
         Low Txx              'icv
      EndIf
      DelayUS timesr
      'DelayMS 1
      oby=oby>>1
   Next
   High Txx                   'icv
   DelayUS timesr
   'DelayMS 1
Return



Disable Interrupt
INT:
   If INT_TMIF = 1 Then
      Hz = Hz + 1          ' Interrupt every 1
second
      If Hz = 2 Then
         TMR1_ON = 1 : GateTime = 1 :
Finish = 0
```

```
        TempSec = 0 : Sec = 0 : Minute = 0
: SRT_Time = 1 : t_t = 1
      EndIf
      If Hz > 2 Then
        Sec = Sec + 1
        TempSec = TempSec +1
        If Sec = Set_Sec And PORTA.5 = 0
Then TMR1_ON = 0 : GateTime = 0
:Finish = 1  : t_t=0
        If TempSec = 60 Then
          Minute = Minute + 1 : TempSec =
0
          If Minute = Set_Min And
PORTA.5 = 1 Then TMR1_ON = 0 :
GateTime = 0 : Finish = 1 : t_t=0
        EndIf
      EndIf
      INT_TMIF = 0
    Else
      TMR1_ON = 0          ' Disable
Counter
      TMR1H = 0 : TMR1L = 0   ' Clear
Timer1
      TMR1_ON = 1          ' Enable
Counter
      No_CountF = 0 : No_Count = 0
      Reset_Cunt = 1
      INT_RTIF = 0          ' Clear bit fag
INT1
   EndIf
   Resume
   Enable Interrupt
End
```

โค้ดภาษา basic บนไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงาน

```
'************************************
****************************
'* Name    : tplay.BAS
*
'* Author  : [select VIEW...EDITOR
OPTIONS]                *
'* Notice  : Copyright (c) 2012 [select
VIEW...EDITOR OPTIONS] *
'*         : All Rights Reserved
*
'* Date    : 11/1/2012
*
'* Version : 1.0
*
'* Notes   :                          *
'*         :                          *
'************************************
****************************
Device = 18F4550
Xtal = 48
Optimiser_Level = 3
Reminders = OFF
Declare USB_Descriptor ="CDCDesc.inc"
```

```
Stack_Size= 100
    TRISC.0 = 0
    TRISC.2 = 0
    TRISB.1 = 1
    TRISB.0 = 1
    TRISC.1 = 0
    TRISD.1 = 0
    Symbol onoff = PORTD.1
    Symbol Txx = PORTC.0
    Symbol Rxx = PORTB.0
    Symbol Rxx2 = PORTB.1
    Symbol pc2 = PORTC.2
    Symbol pc1 = PORTC.1

    Symbol gieh = INTCON.7
    Symbol giel = INTCON.6

    Symbol tmr0ie = INTCON.5
    Symbol tmr0if = INTCON.2
    Symbol tmr0ip = INTCON2.2

    Symbol int0ie = INTCON.4
    Symbol int0if = INTCON.1
    Symbol intedg0 = INTCON2.6

    Symbol ipen = RCON.7

    Symbol et0 = T0CON.7
    Symbol t01or2 = T0CON.6
    Symbol t0cs = T0CON.5
    Symbol t0se = T0CON.4
    Symbol t0psa = T0CON.3
    Symbol t0ps2 = T0CON.2
    Symbol t0ps1 = T0CON.1
    Symbol t0ps0 = T0CON.0

    'int1\\\\
    Symbol intedg1 = INTCON2.5
    Symbol int1if = INTCON3.0
    Symbol int1ie = INTCON3.3
    Symbol int1ip = INTCON3.6
    'tmr1\\\\
    Symbol tmr1if = PIR1.0
    Symbol tmr1ie = PIE1.0
    Symbol tmr1ip = IPR1.0
    Symbol t11or2 = T1CON.7
    Symbol t1ps1 = T1CON.5
    Symbol t1ps0 = T1CON.4
    Symbol t1ose = T1CON.3
    Symbol t1cs = T1CON.1
    Symbol et1 = T1CON.0

    Dim PP0 As Byte System
    Dim instr As String *20
    Dim outstr As String *100
Symbol carrie_flag = STATUS.0
Symbol trnif = UIR.3
```

```
On_Interrupt GoTo mailay
'b0 set to receive ;b0 is int0 4800
bps=208.333 us. 12MHz is 83.33ns .so
83.33 * 2500 = 208.333

Dim inub1 As Byte 'interrupt value value for
nub 8 bit for serial
'Dim ssendbyte As Bit          'state of
sendbyte
'Dim issendbyte As Bit         'interrupt state
of sendbyte
Dim irob As Byte
Dim ri As Byte
Dim asdi As Bit
Dim roby As Byte

Dim inub2 As Byte
Dim irob2 As Byte
Dim ri2 As Byte
Dim asdi2 As Bit
Dim roby2 As Byte

Dim oldroby As Byte
Dim ooldroby As Byte
Dim firstring As Bit
Dim nub As Byte
Dim sathing As String * 100
Dim nub2 As Byte
Dim d As Dword
Dim modring As String * 80
Dim charn2t As Bit
Dim sabit As Bit
Dim okbit As Bit
Dim gpsbit As Bit
Dim gpstring As String * 80
Dim nubgps As Byte
Dim bie As Bit
Dim nubstring As String * 20
Dim nubit As Bit
Dim nubit2 As Bit
Dim smsend As String * 30
Dim numcall As String * 20
Dim clip As Bit
charn2t=0
okbit=0
gpsbit=0
nubgps=0
bie=0
nubit=0
nubit2=0
clip=0

'sendbyte value\/\/\/

Dim oby As Byte
Dim e As Byte
Dim si As Byte
Dim cb As Bit
Dim cb2 As Bit
Dim timesr As Byte
```

```
Dim tryeach As Byte
timesr = 208
High Txx



'sendbyte value/\/\/\
GoTo port
High_Int_Sub_Start
mailay:
                'time: 48MHz-
>12MHz(Fosc/4)
gieh=0
Context Save
If tmr0if = 1 Then
   'USBOut 3,"1" ,Auto

   If inub1 = 8 Then
      tmr0ie=0
      et0=0
      cb=1
      sabit=0
      'outstr=outstr + roby
      If roby < 32 And roby >126 And
outstr="" Then
         outstr="close"+roby
         'USBOut 3,roby ,Auto
      EndIf
      outstr=outstr +  roby
      If roby="G" And oldroby="N" Then
'order has important
      If charn2t = 1 Then
         firstring = 1
         charn2t = 0
      '    USBOut 3, "step2" ,Auto
      Else              'order has important
         charn2t = 1
      '    USBOut 3, "step1" ,Auto
      EndIf
   EndIf
   If roby="K" And oldroby ="O" Then
      okbit=1
   EndIf
   If roby="G" And oldroby ="$" Then
      gpsbit=1
      gpstring=""
   EndIf
   If gpsbit=1 Then
      If roby = "," Then
         nubgps=nubgps+1
      EndIf
      gpstring = gpstring + roby
      If nubgps > 9 Then
         gpsbit=0
         nubgps=0
         bie=1
      EndIf

   EndIf
      If roby="P" And oldroby ="I" And
ooldroby="L" Then
```

```
        clip=1
        numcall = ""
      EndIf
      If clip=1 Then
        If roby > $2f And roby < $3a Then
          numcall = numcall + roby

        EndIf
        If roby="," And oldroby=$22 Then
          clip=0
          numcall=Mid$ (numcall,2,9)
          'nubcall=mid$ (nubcall,6,9)
          'can't use numcall=
numcall[4]+numcall[5]+numcall[6]+numcal
l[7]+numcall[8]+numcall[9]+numcall[10]+n
umcall[11]+numcall[12]+numcall[13]

        EndIf
      EndIf
      If roby = $0d Then
        sathing = modring
        modring = ""
        sabit=1
      Else
        If Len(modring)> 77 Then
          modring = ""
        Else
          If roby > 32 And roby <126 Then
            modring = modring + roby
          EndIf
        EndIf
      EndIf

      int0if=0 'check trick flag rapid from
level V or set inbetween
      int0ie=1
    Else
      irob=$00
      ri=inub1
      asdi= Rxx
      irob=irob|asdi
      irob=irob<<ri
      roby=roby+irob
      TMR0H=%11111101
      TMR0L=%10001111
    EndIf
    inub1 = inub1 + 1
    tmr0if=0
  ElseIf int0if = 1 Then
    'USBOut 3,"2" ,Auto
    inub1=0
    int0ie=0
    ooldroby=oldroby
    oldroby=roby
    roby=$00

    TMR0H=%11111101
    TMR0L=%00000000
    tmr0ie=1
    et0=1
```

```
    int0if=0

ElseIf tmr1if = 1 Then
    'USBOut 3,"3" ,Auto

    If inub2 = 8 Then
        tmr1ie=0
        et1=0
        cb2=1
        outstr=outstr+roby2
        If roby2="|" Then
            nubit=1
            nubstring=""
        ElseIf roby2="#" Then
            nubit=0
            nubit2=1
        EndIf
        If nubit =1 Then
            nubstring=nubstring+roby2
        EndIf
        'USBOut 3,roby2 ,Auto
        int1if=0 'check trick flag rapid from
level V or set inbetween
        int1ie=1
    Else
        irob2=$00
        ri2=inub2
        asdi2= Rxx2
        irob2=irob2|asdi2
        irob2=irob2<<ri2
        roby2=roby2+irob2
        TMR1H=%11111101
        TMR1L=%10001111      '64911
    EndIf
    inub2 = inub2 + 1
    tmr1if=0

ElseIf int1if = 1 Then
    'USBOut 3,"4" ,Auto
    inub2=0
    int1ie=0
    roby2=$00
    TMR1H=%11111101
    TMR1L=%00000000

    tmr1ie=1
    et1=1
    int1if=0
EndIf
gieh=1
Context Restore
High_Int_Sub_End

sendlong:
    Dim sting As String * 40
    Pop sting
    For nub =0 To (Len(sting)-1)
        GoSub sendbyte[sting[nub]]
        DelayMS 100
    Next
```

```
Return

sendbyte:
   Pop oby
   e=$01
   si=7
   Low Txx                    'icv
   DelayUS timesr
   'DelayMS 1
   For si=0 To 7
      tryeach=oby & e
      If tryeach=%00000001 Then
         High Txx             'icv
      ElseIf tryeach=%00000000 Then
         Low Txx              'icv
      EndIf
      DelayUS timesr
      'DelayMS 1
      oby=oby>>1
   Next
   High Txx                   'icv
   DelayUS timesr
   'DelayMS
Return
'ceivebyte:
'   nub2=0
'   d=0
'   While d<1000000
'      If sabit=1 Then
'         USBOut 3,"t|",Auto
'         USBOut 3,sathing ,Auto
'         USBOut 3,"|e\n\r",Auto
'         for nub2 =0 to len(sathing)-1
'            if sathing[nub2]="O" and
sathing[nub2+1]="K" then
'               usbout 3,"T__",auto
'            endif
'         next
'         d=1000000
'         'USBOut 3,"tr|",Auto
'         'USBOut 3,sathing ,Auto
'         'USBOut 3,"|ue\n\r",Auto

'      EndIf
'      d=d+1
'   Wend
'Return

port:
ipen = 1
giel = 0

tmr0ie = 0
tmr0if = 0
tmr0ip = 1

int0ie = 0
int0if = 0
```

```
intedg0 = 0

et0 = 0
t01or2 = 0
t0cs = 0
t0se = 0
t0psa = 0
t0ps2 = 0
t0ps1 = 0
t0ps0 = 1

intedg1 = 0
int1if = 0
int1ie = 0
int1ip = 1

tmr1if = 0
tmr1ie = 0
tmr1ip = 1

t11or2= 1
t1ps1=1
t1ps0=0
t1ose=0
t1cs=0
et1=0

High pc1
High pc2
High onoff
'DelayMS 2000
Low onoff
DelayMS 3000
High onoff
'++++++++++++++++++++++++++++++++
++++++++++++++++++++++++++++++++
+++++comment usbmode
'Repeat
'    USBPoll
'Until PP0 = %00000110
'Repeat

        ' Wait for USB input
'    USBIn 3, instr, Auto
                ' Poll the USB and Receive
some data from endpoint 3
'Until carrie_flag = 0
                                ' Keep
looking until data is able to be received
'Clear instr
'++++++++++++++++++++++++++++++++
++++++++++++++++++++++++++++++++
++++++comment usb mode

Clear outstr
gieh = 1
int0ie = 1
int1ie = 1
```

```
firstring=0
      DelayMS 1000
      GoSub sendlong["at+clip=1"]
      GoSub sendbyte[$0d]
      DelayMS 2000

again:

'+++++++++++++++++++++++++++++++
+++++++++++++++++++++++++++++++
+++++comment usbmode

'USBIn 3, instr, Auto
'+++++++++++++++++++++++++++++++
+++++++++++++++++++++++++++++++
+++++comment usbmode

If instr != "" Then
   GoSub sendlong[instr]
   Clear instr
EndIf
DelayMS 100
'If cb=1 Then
'    outstr=outstr+roby
"    USBOut 3,outstr ,Auto

'    cb=0
'EndIf
'If cb2=1 Then
'    outstr=outstr+roby2
"    USBOut 3,outstr ,Auto

'    cb2=0
'EndIf

If firstring = 1 Then
      firstring = 0
      DelayMS 500
      GoSub sendbyte["a"]
         DelayMS 10
      GoSub sendbyte["t"]
         DelayMS 10
      GoSub sendbyte["h"]
         DelayMS 10
      GoSub sendbyte[$0d]

      'GoSub sendbyte[$0a]
      okbit=0        '\\\\\\\
         'DelayMS 10
      d=0
      While okbit = 0     '\\\\\\\
'        If d<20000 Then
'           okbit=1
'           'usbout 3,"okbitok",auto
'           'GOSUB sendlong["ath\n\r"]
'        EndIf
'        d=d+1
      Wend

      'GoSub ceivebyte
```

```
        Low pc2
        DelayMS 10
        High pc2
        DelayMS 100
        Low pc1
        DelayMS 500
        High pc1
        While nubit2 = 0
        Wend
        If nubit2=1 Then
           nubit2=0
        EndIf
        'delayms 3000          '<<<delattimedo
tonna>>>>
        GoSub sendlong["at$gpsacp"]
        GoSub sendbyte[$0d]
        While bie=0
        Wend
        If bie=1 Then
           bie=0
        EndIf

        sathing="-_"+gpstring+nubstring
'++++++++++++++++++++++++++++++++
++++++++++++++++++++++++++++++++
+++++comment usbmode

'       Repeat
'       USBOut 3,sathing ,Auto
'       Until carrie_flag = 0
'       Repeat : Until trnif = 1

'       Repeat
'       USBOut 3,numcall ,Auto
'       Until carrie_flag = 0
'       Repeat : Until trnif = 1
'++++++++++++++++++++++++++++++++
++++++++++++++++++++++++++++++++
+++++comment usbmode

        DelayMS 1000
        GoSub sendlong["at+cmgf=1"]
        GoSub sendbyte[$0d]
        GoSub sendbyte[$0a]
        DelayMS 1000

        'gosub sendlong["at+cmgf=1"]
        'GoSub sendbyte[$0d]
'       delayms 3000
        GoSub sendlong["at#smsmode=0"]
        GoSub sendbyte[$0d]
        DelayMS 1000

        'usbout 3 ,numcall ,auto

        'smsend =
"at+cmgs="+$22+"+66815965468"+$22
        smsend =
"at+cmgs="+$22+"+66"+numcall+$22
```

```
        GoSub sendlong[smsend]
        GoSub sendbyte[$0d]
        DelayMS 2000

        GoSub sendlong[nubstring]
        GoSub sendlong[gpstring]
        GoSub sendbyte[$1a]
        DelayMS 1000

EndIf
If okbit=1 Then
   'USBOut 3,"okbitok",Auto
   'delayms 100
   okbit=0
EndIf
If bie=1 Then
   bie=0
   'usbout 3,gpstring ,auto
   'delayms 5
EndIf
'If sabit = 1 Then
'   sathing = "__" + sathing + "__"
'   USBOut 3,sathing ,Auto
'   DelayMS 5
'   sathing = ""
'   modring = "++" + modring + "++"
'   USBOut 3,modring ,Auto
'   DelayMS 5

'   sabit=0
'EndIf

'++++++++++++++++++++++++++++++++
++++++++++++++++++++++++++++++++
+++++comment usbmode

'If outstr != "" Then
'   Disable Interrupt
'   USBOut 3,outstr ,Auto
'   'delayms 10
'   outstr=""
'   Enable Interrupt
'EndIf
'++++++++++++++++++++++++++++++++
++++++++++++++++++++++++++++++++
+++++comment usbmode

GoTo again
```

โค้ดภาษา Visual basic [บางส่วน]ของโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์

```
Imports System.IO.Ports
Imports System.IO
Public Class Formain

   Private numoform1 As Integer
   Public serialcdc = New SerialPort
   Public s As String
   Public pop As String
```

```
    Private Sub
NewToolStripMenuItem_Click(ByVal
sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles
NewToolStripMenuItem.Click
        numoform1 += 1
        Dim mrof1 As New Form1()
        mrof1.MdiParent = Me
        mrof1.Text = "window" &
numoform1.ToString
        mrof1.Show()
    End Sub

    Private Sub
ConnectToolStripMenuItem_Click(ByVal
sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles
ConnectToolStripMenuItem.Click

        If Toolcomboport.SelectedIndex = -1
Then
            Toolcomboport.SelectedIndex = 0

            'Toolcomboport.SelectedItem =
Toolcomboport.Items.Item(0)
        End If
        'TextBox1.Text &= "itemseindex" &
Toolcomboport.Items.Item(Toolcomboport.
SelectedIndex) & "\n\r"
        'TextBox1.Text &= "setext" &
Toolcomboport.SelectedText & "\n\r"
        If Toolcomboport.SelectedIndex = 0
Then
            If Toolcomboport.Items.Count < 2
Then
                MessageBox.Show("Don't have
port connection")
                serialcdc.portname = "comx"
            Else
                serialcdc.portname =
Toolcomboport.Items.Item(Toolcomboport.I
tems.Count - 1)
            End If
        Else
            serialcdc.portname =
Toolcomboport.Items.Item(Toolcomboport.
SelectedIndex)
        End If
        If serialcdc.portname <> "comx" Then
            serialcdc.RtsEnable = True
            serialcdc.DtrEnable = True
            serialcdc.ReadTimeout = 5000
            serialcdc.WriteTimeout = 5000
            serialcdc.open()
            Timer1.Enabled = True

ConnectToolStripMenuItem.Checked =
True
```

```
        serialcdc.write("at+cmgf=1" &
vbCrLf)
        For itim As Integer = 1 To 50000

        Next
        'serialcdc.write("at#smsmode=0" &
vbCrLf)
        serialcdc.write("at+cnmi=1,1,0,0,0"
& vbCrLf)
      End If
   End Sub

   Private Sub
FileToolStripMenuItem_Click(ByVal
sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles
FileToolStripMenuItem.Click

   End Sub

   Private Sub
DisconnectToolStripMenuItem_Click(ByVa
l sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles
DisconnectToolStripMenuItem.Click
      If serialcdc.portname <> "comx" Then
        serialcdc.close()
        Timer1.Enabled = False
ConnectToolStripMenuItem.Checked =
False
      End If
   End Sub

   Private Sub Timer1_Tick(ByVal sender
As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Timer1.Tick
      Dim cha As Char
      Dim sting As String
      If pop <> "" Then
        serialcdc.write(pop)
        pop = ""
      End If
      s = serialcdc.ReadExisting()
      If s <> "" Then
        For Each fo As Form1 In
Me.MdiChildren
          If fo.Focused = True Then
            fo.datain += s
            fo.tamtimer()
          ElseIf fo.WindowState =
FormWindowState.Maximized Then
            fo.datain += s
            fo.tamtimer()
          End If

        Next
```

```
        End If
        sting = s
        TextBox1.Text += sting
        For Each cha In sting
            If cha = vbCr Then
                cha = "    "
            End If
        Next


    End Sub



    Private Sub TextBox1_KeyPress(ByVal
sender As System.Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.KeyPressEventArg
s) Handles TextBox1.KeyPress
        pop += e.KeyChar.ToString

    End Sub

    Private Sub
Toolcomboport_DropDown(ByVal sender
As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles
Toolcomboport.DropDown
        Dim sting As String
        sting = ""
        Toolcomboport.Items.Clear()
        Toolcomboport.Items.Add("Auto")
        For Each sting In
SerialPort.GetPortNames()
            Toolcomboport.Items.Add(sting)
        Next
    End Sub



    Private Sub Formain_Resize(ByVal
sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Resize
        TextBox1.Width = Me.Width - 16
        TextBox1.Location = New Point(0,
Me.Height - 56)
        'For Each fo As Form1 In
Me.MdiChildren

        'Next

    End Sub

    Private Sub Formain_Load(ByVal sender
As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        serialcdc.portname = "comx"
        Toolcomboport_DropDown(sender, e)
    End Sub
```

```
    Private Sub
OpenToolStripMenuItem_Click(ByVal
sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles
OpenToolStripMenuItem.Click
        'NewToolStripMenuItem_Click(sender,
e)
        numoform1 += 1
        Dim mrof1 As New Form1()
        mrof1.MdiParent = Me
        mrof1.Text = "window" &
numoform1.ToString
        mrof1.Show()
        'If fo.Focused = True Then
        mrof1.ToolStripButton4_Click(sender,
e)
        'End If
        'Next
    End Sub

    Private Sub
SaveToolStripMenuItem_Click(ByVal
sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles
SaveToolStripMenuItem.Click
        For Each fo As Form1 In
Me.MdiChildren
            If fo.Focused = True Then
                fo.Savebutton_Click(sender, e)
            End If
        Next
    End Sub


    Private Sub
ToolStripMenuItem1_Click(ByVal sender
As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles
ToolStripMenuItem1.Click
        serialcdc.baudrate = 4800
        ToolStripMenuItem1.Checked = True
        ToolStripMenuItem2.Checked = False
        ToolStripMenuItem3.Checked = False
        ToolStripMenuItem4.Checked = False
    End Sub

    Private Sub
ToolStripMenuItem2_Click(ByVal sender
As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles
ToolStripMenuItem2.Click
        serialcdc.baudrate = 9600
        ToolStripMenuItem1.Checked = False
        ToolStripMenuItem2.Checked = True
        ToolStripMenuItem3.Checked = False
        ToolStripMenuItem4.Checked = False
    End Sub

    Private Sub
ToolStripMenuItem3_Click(ByVal sender
```

```
As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles
ToolStripMenuItem3.Click
        serialcdc.baudrate = 19200
        ToolStripMenuItem1.Checked = False
        ToolStripMenuItem2.Checked = False
        ToolStripMenuItem3.Checked = True
        ToolStripMenuItem4.Checked = False
    End Sub

    Private Sub
ToolStripMenuItem4_Click(ByVal sender
As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles
ToolStripMenuItem4.Click
        serialcdc.baudrate = 38400
        ToolStripMenuItem1.Checked = False
        ToolStripMenuItem2.Checked = False
        ToolStripMenuItem3.Checked = False
        ToolStripMenuItem4.Checked = True
    End Sub



    Public Sub
CallDataToolStripMenuItem_Click(ByVal
sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles
CallDataToolStripMenuItem.Click

        If
ConnectToolStripMenuItem.Checked =
False Then
            MessageBox.Show("no connection
module")
        Else
            Dim numberstring As String
            Dim numok As Boolean
            numberstring = ""
            numok = False
            While numok = False
                numok = True
                numberstring = InputBox("Please
,enter phone number")
                For Each achar As Char In
numberstring
                    If Char.IsNumber(achar) =
False Then
                        numok = False
                    End If
                Next
            End While
            serialcdc.write("at+fclass=8" &
vbCrLf)
            For itim As Integer = 1 To 10000


            Next
            serialcdc.write("atd " &
numberstring & vbCrLf)
        End If
```

```
    End Sub

    Private Sub
ToolStripMenuItem6_Click(ByVal sender
As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles
ToolStripMenuItem6.Click
        Me.Close()
    End Sub

    Private Sub
TextBox1_TextChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles
TextBox1.TextChanged
        If TextBox1.Text.IndexOf(0) > 300
Then
            TextBox1.Text.Substring(100)
        End If
    End Sub
End Class
```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวสันต์ วงศ์สิโรจน์กุล เกิดเมื่อวันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ.2530 จบการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อที่ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2552