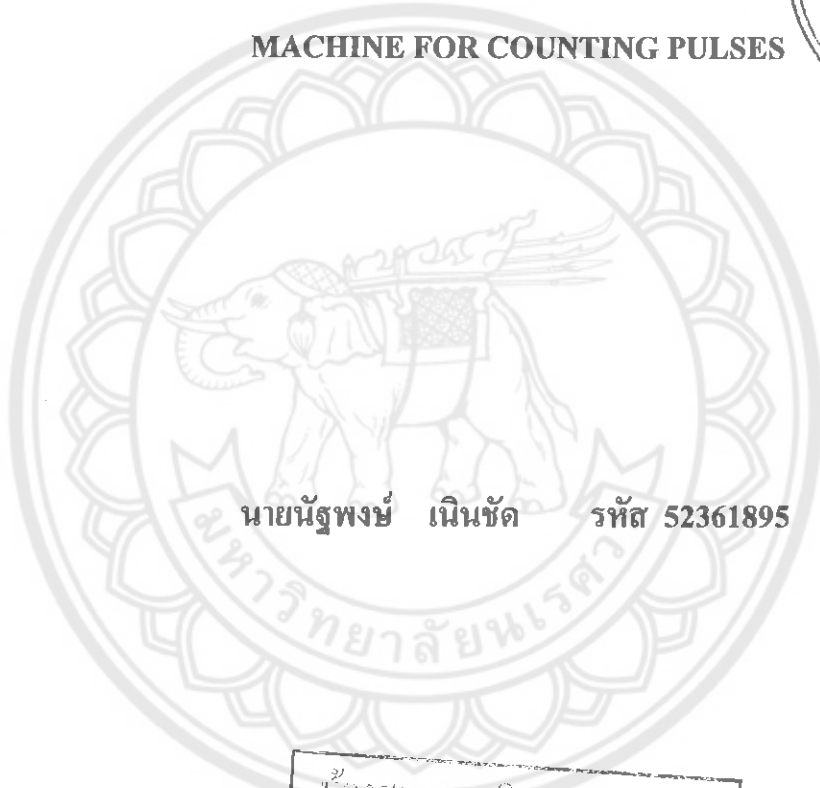




การพัฒนาเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัตโนมัติ
 DEVELOPMENT OF THE THYROID UP-TAKE
 MACHINE FOR COUNTING PULSES



นายรัฐพงษ์ เนินซัด รหัส 52361895

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
 วันที่รับ.....1-2 ก.พ. 2556.....
 เลขทะเบียน.....16434411.....
 เลขเรียกหนังสือ..... นร.
 มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ ๓๖ 3 ๑๒ ๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ๒๕๕๕

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ

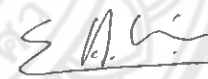
ปีการศึกษา 2555

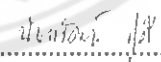


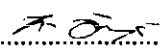
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การพัฒนาเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพล
ผู้ดำเนินโครงการ นายรัฐพงษ์ เนินซัด รหัส 52361895
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ เข้มมนัน
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ เข้มมนัน)


.....กรรมการ
(ดร. นันทวัฒน์ อู๊ดดี)


.....กรรมการ
(ดร. พันัส นัตถฤทธิ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ การพัฒนาเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทค
ผู้ดำเนินโครงการ นายรัฐพงษ์ เนินซัด รหัส 52361895
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ เข้มมนต์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้นำเสนอการพัฒนาเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทค เพื่อใช้ในการนับพัลส์รังสีในงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์ โดยเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทคที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้งานได้กับหัววัดรังสีชนิดผลึกสารประกอบโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) [NaI(Tl)] และหัววัดรังสีชนิดผลึกสารประกอบซีเซียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) [CsI(Tl)] ของระบบโทรอยด์อัทเทค สำหรับการพัฒนาเครื่องนับพัลส์รังสีได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ dsPIC30F4011) เป็นตัวควบคุมและสั่งการของการนับสัญญาณพัลส์จากวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณที่ใช้ในการคัดเลือกความสูงสัญญาณ ผลจากการนับพัลส์รังสีจะนำมาสร้างกราฟเพื่อที่จะคำนวณหาการแจกแจงพลังงาน (Energy Resolution) ในกรณีการใช้หัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) และหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) การแจกแจงพลังงานของเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทคที่พัฒนาขึ้น มีค่าเท่ากับ 5.12 เปอร์เซ็นต์ และ 9.84 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่การแจกแจงพลังงานของเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทคเชิงพาณิชย์ มีค่าเท่ากับ 8.62 เปอร์เซ็นต์ และ 9.58 เปอร์เซ็นต์สำหรับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) และหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) ตามลำดับ

Project title Development of the Thyroid up-take Machine for Counting Pulses
Name Mr. Nattapong Nernchad ID. 52361895
Project advisor Assistant Professor Suchart Yammen, Ph.D.
Major Electrical Engineering
Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2012

Abstract

This project presents the development of the thyroid up-take machine used for counting pulses of radiation in nuclear medicine. The developed machine of the thyroid up-take system can be applied for radiation probes of crystalline compound either sodium iodide (Tuliam) [NaI (T1)] or cesium iodide (Tuliam) [CsI (T1)]. For the development of the machine, the command in the microcontroller (dsPIC30F4011) controls and counts radiation pulses of signals obtained from height selection circuits. In experimental result, the number of pluses is used to build a graph and to calculate energy distribution (Energy Resolution), which is equal to 5.12% and 9.84% in case of using the probe type NaI (T1) and CsI (T1), respectively. In the same fashion, the energy distribution obtained from the commercial machine of thyroid up-take is equal to 8.62% percent and 9.58% in case of using the probe type NaI (T1) and CsI (T1), respectively.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มเม่น อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะ ตรวจสอบแก้ไขในการเขียนปฏิญานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอขอบพระคุณ ดร. นันทวัฒน์ อู่ดี ที่กรุณานำเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัทเทคที่พัฒนาขึ้นไปใช้ประโยชน์ ตลอดจนให้ความรู้ คำแนะนำ ทางด้านรังสีเวชศาสตร์ ด้านระบบนับพัลส์รังสีของเครื่องไทรอยด์อัทเทค ขอขอบพระคุณ ดร. พันธ์ นัถฤทธิ์ ซึ่งเป็นคณะกรรมการในการสอบโครงการที่ให้คำแนะนำชี้แนะแนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ในโครงการนี้ ทำให้โครงการออกมาสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ ดร. สุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบรายวิชาโครงการ วิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาในการพิมพ์รูปเล่มปฏิญานิพนธ์ รวมถึงแก้ไขปรับปรุง ให้รูปเล่มปฏิญานิพนธ์ให้ถูกต้องตามหลักการพิมพ์และการเย็บเล่มปฏิญานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ คุณประทีป สังข์แป้น ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการต่อวงจรและอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ และการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 และเหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ทำเป็นกำลังหลักในการสนับสนุนการศึกษาของข้าพเจ้า และคอยเป็นแสงส่องทางในยามที่ข้าพเจ้าเดินหลงทาง และขอบคุณผองเพื่อนที่คอยช่วยเหลือข้าพเจ้าและคนอื่นๆที่ข้าพเจ้าไม่ได้กล่าวถึงไว้ ณ ที่นี้

นายรัฐพงษ์ เนินซัด

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....ก	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค	ค
กิตติกรรมประกาศ.....ง	ง
สารบัญ.....จ	จ
สารบัญตาราง.....ฉ	ฉ
สารบัญรูป.....ญ	ญ
บทที่ 1 บทนำ..... 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ..... 1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... 1	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ..... 1	1
1.4 วิธีการดำเนินโครงการ..... 2	2
1.5 ระยะเวลาการดำเนินโครงการ..... 2	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 4	4
1.7 งบประมาณ..... 4	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทํางาน..... 5	5
2.1 ศึกษากระบวนการทํางานของระบบโทรศํพ..... 5	5
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์..... 7	7
2.2.1 คุณสมบัติของไมโครที่ใช้งาน..... 8	8
2.2.2 พอร์ตอินพุตเอาต์พุต..... 9	9
2.3 ซอฟต์แวร์พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์และบอร์ดโปรแกรม..... 13	13
2.3.1 ซอฟต์แวร์พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์..... 13	13
2.3.2 บอร์ดโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์..... 14	14
2.4 วงจรใช้งานอปแอมป์..... 15	15
2.4.1 วงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟส..... 15	15
2.4.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน..... 15	15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 ไอซีรักษาระดับแรงดันและจอแสดงผลแอลซีดี	17
2.5.1 ไอซีรักษาระดับแรงดัน	17
2.5.2 จอแสดงผลแอลซีดี	18
2.6 ไอซีลอจิกเกต	19
2.6.1 ไอซีลอจิกวงจรรวมเบอร์ 74123	19
2.6.2 ไอซีลอจิกเบอร์ 7411	19
2.6.3 ไอซีฟลิปฟลอปชนิดคิวเบอร์ 7474	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ	21
3.1 ศึกษาข้อมูลและหลักการทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	21
3.1.1 ศึกษากระบวนการทำงานของระบบไมโครคอมพิวเตอร์	21
3.1.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	21
3.1.3 ซอฟต์แวร์พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์และบอร์ดโปรแกรม	21
3.1.4 วงจรใช้งานอปแอมป์	21
3.1.5 ไอซีรักษาระดับแรงดันและจอแสดงผลแอลซีดี	21
3.1.6 ไอซีลอจิกเกต	21
3.2 ออกแบบระบบทางด้านฮาร์ดแวร์	22
3.2.1 ส่วนประกอบของวงจรเครื่องนับพัลส์สร้างสี่ของไมโครคอมพิวเตอร์	23
3.2.2 วงจรรวมเครื่องนับพัลส์สร้างสี่ของไมโครคอมพิวเตอร์	34
3.2.3 การประกอบเครื่องนับพัลส์สร้างสี่ของไมโครคอมพิวเตอร์	35
3.3 ออกแบบระบบทางด้านซอฟต์แวร์	37
3.3.1 การเขียนโปรแกรมควบคุมการแสดงผลออกทางจอแสดงผลแอลซีดี	40
3.3.2 การเขียนโปรแกรมการแปลงแอนาลอกเป็นดิจิตอล 10 บิต	43
3.3.3 การเขียนโปรแกรมใช้โมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุตบน dsPIC30F4011	44
3.4 การทดลองเครื่องนับพัลส์สร้างสี่ของไมโครคอมพิวเตอร์	45
3.5 สรุปและจัดทำรูปเล่มปริิญาานิพนธ์	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทค	46
4.1 การทดลองการทำงานของเมนูบนเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทค.....	46
4.1.1 การทดลองหน้าหลักของเมนูบนเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทค	46
4.1.2 การทดลองเมนู Setting Mode.....	47
4.1.3 การทดลองเมนู Start Mode	49
4.2 การทดลองโปรแกรมสร้างฐานเวลาในหน่วยวินาที และ โปรแกรมนับจำนวนสัญญาณ ลจิกพัลส์ที่ทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์.....	51
4.3 การทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl)	54
4.3.1 การหาค่าการแจกแจงพลังงานของเครื่องนับวัดรังสีเชิงพาณิชย์ที่ต่อใช้งาน ร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl)	55
4.3.2 การหาค่าการแจกแจงพลังงานของเครื่องนับพัลส์ที่พัฒนาขึ้นต่อร่วมกับหัววัด รังสีชนิดผลึก NaI(Tl).....	57
4.4 การทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl).....	59
4.4.1 การหาค่าการแจกแจงพลังงานของเครื่องนับพัลส์เชิงพาณิชย์ต่อร่วมกับหัววัด รังสีชนิดผลึก CsI(Tl)	60
4.4.2 การหาค่าการแจกแจงพลังงานของเครื่องนับพัลส์ที่พัฒนาขึ้นต่อร่วมกับหัววัด รังสีชนิดผลึก CsI(Tl)	62
4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	63
บทที่ 5 สรุป.....	66
5.1 สรุป	66
5.2 แนวทางในการพัฒนาโครงการ.....	67
5.3 ปัญหาและวิธีการแก้ไขปัญหา.....	67
เอกสารอ้างอิง.....	68

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก รายละเอียดของออปแอมป์ หมายเลข LM741.....	69
ภาคผนวก ข รายละเอียดของออปแอมป์หมายเลข LM339.....	72
ภาคผนวก ค รายละเอียดของจอแสดงผลแอลซีดี 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด	75
ภาคผนวก ง รายละเอียดของไอซีเรกกูเลเตอร์ หมายเลข LM7805,7810,7818	78
ภาคผนวก จ รายละเอียดไอซีเรกกูเลเตอร์ หมายเลข LM7918.....	84
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดของไอซีลอจิกวงจรรวมเบอร์ 74123	86
ภาคผนวก ช รายละเอียดของไอซีฟลิปฟลอปชนิด ดี เบอร์ 7474.....	90
ภาคผนวก ซ รายละเอียดของไอซีลอจิกเบอร์ 7411	93
ภาคผนวก ฎ คู่มือใช้งานเครื่องนับพัลส์รังสีของทรอยด์อัฟเทค.....	96
ภาคผนวก ฏ ชอร์ตสโค้ดของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011.....	103
ภาคผนวก ฏ ตารางผลการทดลอง.....	122
ประวัติผู้ดำเนิน โครงการ.....	137

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงระยะเวลาการดำเนินงาน.....	2
2.1 รายชื่อและหน้าที่ของชาวพอร์ดที่ใช้งาน	10
2.2 แสดงเบอร์และแรงดันขาออก	17
3.1 หน้าตามขาบนวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์.....	24
3.2 การระบุตำแหน่งของจอแอลซีดีแสดงผล.....	40
3.3 ชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของไมโครแอลซีดี.....	41
4.1 ทดลองความเป็นเชิงเส้นของการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ใน 1 วินาที	51
4.2 ทดลองความเป็นเชิงเส้นของการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ใน 10 วินาที	52
4.3 การสรุปค่าการแจกแจงพลังงานของระบบที่ได้ทำการทดลอง	65



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบของไทรอยด์ออฟเทค.....	5
2.2 สัญญาณแบบยูนิโพลาร์.....	6
2.3 แผนภาพบล็อกของภาควิเคราะห์ความสูงสัญญาณแบบช่องเดียว.....	6
2.4 แผนภาพบล็อกการทำงานของภาคนับวัดสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์	7
2.5 ตัวถังของ dsPIC30F4011.....	7
2.6 ไดอะแกรมการทำงานของไทมเมอร์ 1 ฐานเวลาแบบ A	8
2.7 การทำงานของ โมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล	9
2.8 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์dsPIC30F4011.....	10
2.9 หน้าต่าง โปรแกรมเอ็มพีแอล ไอดีอี (MPLAB IDE).....	13
2.10 เครื่องโปรแกรมรุ่นพีเอ็กซ์ 200 (PX 200).....	14
2.11 วงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟส.....	15
2.12 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	16
2.13 ไดอะแกรมของไอซีรักษาระดับแรงดัน (IC voltage regulator)	17
2.14 แอลซีดี 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด.....	18
2.15 โครงสร้างภายในของไอซี 74123.....	19
2.16 โครงสร้างภายในของไอซีเบอร์ 7411	19
2.17 โครงสร้างภายในของไอซี 7474.....	20
3.1 แผนภาพกรอบการทำงานทั้งหมดบนเครื่องนับพัลส์สร้างสี่ของไทรอยด์ออฟเทค	22
3.2 ส่วนประกอบของเครื่องนับพัลส์สร้างสี่ของไทรอยด์ออฟเทค.....	23
3.3 ส่วนประกอบของวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์	23
3.4 วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์	24
3.5 การออกแบบวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์	26
3.6 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์	26
3.7 แผนผังการออกแบบวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ.....	27
3.8 วงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์สัญญาณ.....	28
3.9 การออกแบบวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์สัญญาณ	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ.....	29
3.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	30
3.12 การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	30
3.13 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	31
3.14 การออกแบบวงจรสวิตช์ปุ่มกดใช้งาน	32
3.15 การออกแบบวงจรสวิตช์ปุ่มกดใช้งาน	32
3.16 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรสวิตช์ปุ่มกดใช้งาน.....	33
3.17 วงจรรวมของรีจิสเตอร์และตัวนับพัลส์สร้างสี่ของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	34
3.18 วงจรภายในส่วนควบคุม และประมวลผล	35
3.19 วงจรภายในส่วนตั้งค่าและแสดงผล	36
3.20 ส่วนประกอบภายนอกของรีจิสเตอร์และตัวนับพัลส์สร้างสี่ของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	36
3.21 แผนผังการควบคุมระบบเครื่องนับพัลส์สร้างสี่ของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	37
3.22 แผนผังการทำงาน โปรแกรมฐานเวลาหน่วยวินาที.....	38
3.23 แผนผังการทำงานของโปรแกรมนับสัญญาณพัลส์	39
3.24 ไฟล์เฮดเดอร์ "lcd_Rev1.h"	40
3.25 ไฟล์เฮดเดอร์ "adc10.h"	43
3.26 ไฟล์เฮดเดอร์ "incap.h"	44
4.1 หน้าทีหนึ่งของหน้าหลักเมนู.....	46
4.2 เป็นหน้าที่สองและหน้าที่สามของหน้าหลักเมนู.....	47
4.3 แสดงผลภายใน Setting Mode	47
4.4 หน้าจอการตั้งค่า LLD.....	47
4.5 หน้าจอภายในโหมดการตั้งค่า LLD.....	48
4.6 ตัวหมุนปรับค่า LLD และ DEL	48
4.7 หน้าจอโหมดการตั้งค่า Time	48
4.8 การตั้งค่า Time	49
4.9 หน้าจอการตั้งค่าใน Start Mode.....	49
4.10 หน้าจอในโหมด Start	49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ผลลัพธ์ที่เกิดจากการเข้าสู่โหมด Recall.....	50
4.12 จอผลลัพธ์เมื่อเข้า โหมด Home.....	50
4.15 ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน.....	54
4.16 หัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl).....	55
4.17 การต่อระบบทดลองของเครื่องนับวัดรังสีเชิงพาณิชย์ที่ต่อใช้งานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl).....	55
4.18 การแจกแจงพลังงานจากต้นกำเนิดรังสีซีเซียม 137 โดยใช้เครื่องนับวัดรังสีเชิงพาณิชย์ที่ต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl)	56
4.19 การต่อระบบทดลองของเครื่องนับวัดรังสีที่พัฒนาขึ้นต่อใช้งานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl).....	57
4.20 การแจกแจงพลังงานจากต้นกำเนิดรังสีซีเซียม โดยใช้เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl)	58
4.21 หัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl)	59
4.22 การต่อระบบเครื่องนับพัลส์เชิงพาณิชย์ต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl)	60
4.23 การแจกแจงจากต้นกำเนิดรังสี ซีเซียม 137 โดยใช้เครื่องนับวัดรังสีเชิงพาณิชย์ที่ต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl).....	61
4.24 การต่อระบบเครื่องนับพัลส์ที่พัฒนาขึ้นต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl)	62
4.25 การแจกแจงพลังงานจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 โดยเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl).....	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันเครื่องนับพัลส์รังสีของระบบโทรอยด์อัทเทคถูกใช้งานร่วมกับผลึกหัววัดรังสีชนิดสารประกอบโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) [NaI (Tl)] โดยเป็นหัววัดรังสีที่ในปัจจุบันนิยมใช้ โดยตัวเครื่องนับพัลส์รังสีของระบบโทรอยด์อัทเทคเป็นระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer ; SCA) ซึ่งองค์ประกอบหลักที่สำคัญของระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดี่ยว ประกอบไปด้วย คิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ (Lower Level Discriminator ; LLD) เคลด้าอี (ΔE) และ คิสคริมิเนเตอร์ระดับสูง (Upper Level Discriminator ; ULD) ซึ่งตัววิเคราะห์สัญญาณทั้งสามส่วนนี้จะนำไปวิเคราะห์และคัดเลือกรังสีที่เกิดจากการแผ่รังสีของสารกัมมันตรังสีมาตกกระทบผลึกหัววัดรังสี ซึ่งผลึกหัววัดจะเปลี่ยนจากการแผ่รังสีไปเป็นแสง และแสงจะถูกหลอดโฟโตมัลติพลายเออ (Photomultiplier tube ; PMT) เปลี่ยนไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าต่อไป

ด้วยเหตุที่เครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทคมีราคาที่สูงมากและยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งจะมีเฉพาะโรงพยาบาลศูนย์และสถานศึกษาบางแห่ง ทางกลุ่มของข้าพเจ้าจึงได้พัฒนาเครื่องต้นแบบนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทค โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเขียนคำสั่งควบคุมด้วยภาษาซีเป็นตัวควบคุมการทำงาน โดยเครื่องที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้จะมีราคาที่ประหยัดจากเครื่องเชิงพาณิชย์มาก และยังสามารถพัฒนาต่อได้โดยการเพิ่มฟังก์ชันต่างๆ ให้กับเครื่องได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบ สำหรับนับพัลส์รังสีของระบบโทรอยด์อัทเทค โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

การศึกษาวิจัย โครงการครั้งนี้เป็นการพัฒนาเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทค โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ dsPIC30F4011) ควบคุมระบบการทำงานของเครื่อง ซึ่งเครื่องที่พัฒนาขึ้นนี้จะใช้ควบคู่กับระบบหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) และหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl)

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถนำเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพลีเตอร์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในระบับนับวัดของงานทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์
- 2) สามารถนำแนวทางของเครื่องต้นแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นไปศึกษาต่อขอการเขียนโปรแกรมเพื่อพัฒนาขีดความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพลีเตอร์ต่อไป
- 3) สามารถพัฒนาเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพลีเตอร์ที่มีราคาประหยัดให้กับสถานศึกษาหรือหน่วยงานที่มีความสนใจ ไปใช้ประโยชน์ตามต้องการ

1.7 งบประมาณ

1) แผงวงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์dsPIC30F4011	400 บาท
2) แผงวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์สัญญาณ	200 บาท
3) แผงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	200 บาท
4) อุปกรณ์ต่อพ่วงและกล่องใส่ชิ้นงาน	670 บาท
5) ค่าถ่ายเอกสารและค่าเช่าเล่มปริญาานิพนธ์	1,000 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น(สองพันสี่ร้อยห้าสิบบาทถ้วน)	<u>2,450 บาท</u>

แหล่งทุน: เบิกจ่าย โดยเงินสนับสนุน โครงการนิติตระดับปริญญาตรีมหาวิทยาลัยนเรศวร
เป็นจำนวนเงิน 2000 บาท

บทที่ 2

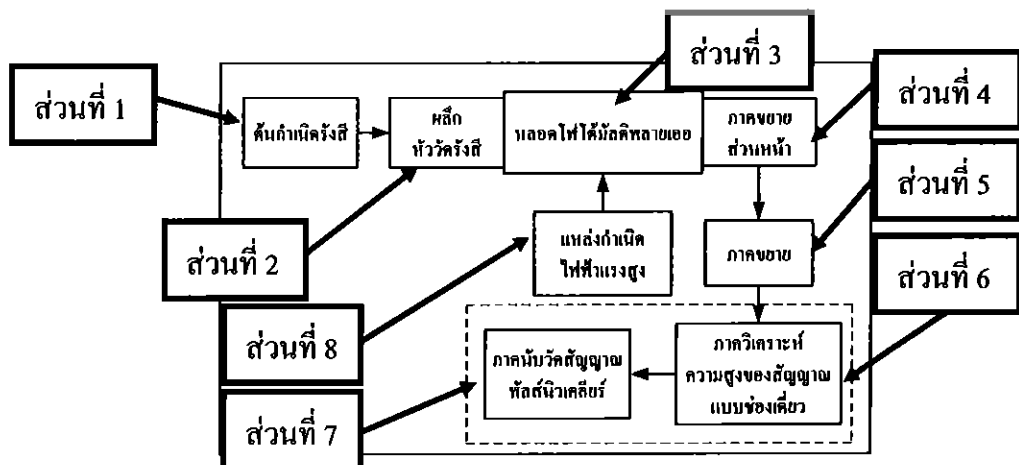
ทฤษฎีและหลักการทำงาน

2.1 ศึกษากระบวนการทำงานของระบบโทรยด้อัพเทค

ระบบโทรยด้อัพเทค คือ ระบบที่ใช้ในการนับวัดรังสีจากการแผ่รังสีของต้นกำเนิดรังสีให้อยู่ในรูปการนับวัดพัลส์ของรังสี ซึ่งจำนวนพัลส์ของรังสีที่นับวัดได้นั้นจะแปรผันตรงกับความแรงของการแผ่รังสีของต้นกำเนิดรังสี

การนับวัดรังสีของระบบโทรยด้อัพเทคได้แสดงการทำงานดังรูปที่ 2.1 เมื่อต้นกำเนิดรังสี (ส่วนที่ 1) ซึ่งในโครงการนี้จะใช้ ซีเซียม 137 (Cs-137) ในการทดลอง แผ่รังสีมาตกกระทบผลึกหัววัดรังสี (ส่วนที่ 2) และผลึกหัววัดจะทำการเปลี่ยนจากการแผ่รังสีและถูกหักเหจากผลึกให้เป็นปริมาณทางแสงซึ่งความเข้มของแสงนั้นก็จะแปรผันตรงกับความแรงของการแผ่รังสี จากนั้นหลอดโฟโตมัลติพลายเออ (ส่วนที่ 3) จะเปลี่ยนจากแสงให้เป็นประจุไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) และประจุไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแอมพลิจูด (Amplitude) ของความต่างศักย์ (โวลต์) โดยวงจรอาร์ซี (RC) ที่อยู่ในหลอดโฟโตมัลติพลายเออ โดยมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง (ส่วนที่ 8) ที่สามารถปรับค่าได้เป็นต้นกำเนิดพลังงานให้กับหลอดโฟโตมัลติพลายเออ แต่ลักษณะรูปสัญญาณที่ออกจากหลอดโฟโตมัลติพลายเออยังมีขนาดเล็กมากและไม่เหมาะกับการนับวัด จึงถูกภาคขยายส่วนหน้า (ส่วนที่ 4) ทำการทำการขยายสัญญาณที่มีขนาดเล็กมากให้มาอยู่ระดับมิลลิโวลต์และปรับรูปสัญญาณเบื้องต้นด้วย

ถึงแม้ว่าจะขยายสัญญาณด้วยภาคขยายส่วนหน้าแล้ว แต่ขนาดสัญญาณยังคงเล็กอยู่และยังไม่เพียงพอสำหรับใช้งาน จึงจำเป็นต้องใช้ภาคขยาย (ส่วนที่ 5) ขยายสัญญาณที่มีระดับมิลลิโวลต์ให้อยู่ในระดับโวลต์ด้วยกำลังขยายสัญญาณอยู่ในช่วง 1 ถึง 1000 เท่า ซึ่งสามารถปรับค่าให้เหมาะสมกับชนิดของหัววัดรังสีที่ใช้งานได้



รูปที่ 2.1 ระบบของโทรยด้อัพเทค

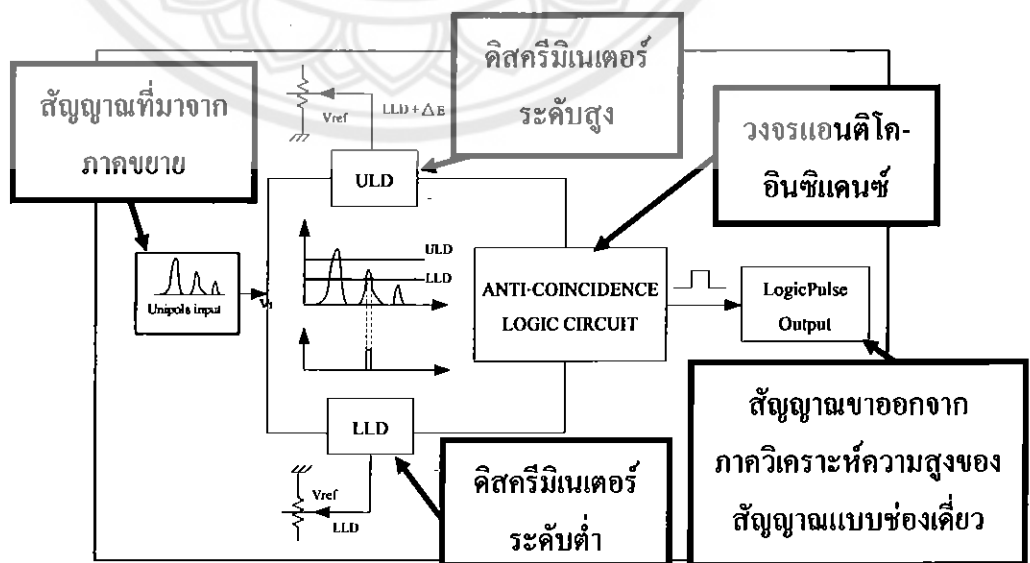
ซึ่งการปรับค่าอัตราขยายให้เหมาะสมนั้นจะต้องปรับค่าแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง กระแสตรงให้เหมาะสมด้วย โดยในโครงการนี้จะปรับค่าอัตราขยายของภาคขยายให้มีค่า 100 และปรับค่าแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงให้กับหัววัดมีค่า 850 โวลต์ สำหรับหัววัดชนิดผลึก NaI(Tl) และปรับอัตราขยายของภาคขยายให้มีค่า 300 และปรับค่าแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง กระแสตรงให้กับหัววัดมีค่า 1400 โวลต์ สำหรับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) และภาคขยายนี้ยังสามารถปรับรูปคลื่นสัญญาณขาออกได้สองแบบคือ ยูนิโพลาร์และไบโพลาร์ สำหรับโครงการนี้จะใช้คลื่นสัญญาณแบบยูนิโพลาร์ดังรูปที่ 2.2 เท่านั้นในการทดลอง

สัญญาณขาออกที่ออกจากภาคขยายจะมีขนาดแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน ซึ่งขนาดของค่า - แอมพลิจูดนี้จะแปรผันตามพลังงานรังสีที่ตกกระทบหัววัดรังสี โดยขนาดต่ำสุดของแอมพลิจูดอยู่ที่ 0 โวลต์และขนาดสูงสุดอยู่ที่ 12 โวลต์ โดยสัญญาณที่มีขนาดแอมพลิจูดที่แตกต่างกันเหล่านี้จะถูกภาควิเคราะห์ ความสูงสัญญาณแบบช่องเดี่ยว (ส่วนที่ 6 ของรูปที่ 2.1) คัดเลือกแอมพลิจูดหรือความสูงของสัญญาณ



รูปที่ 2.2 สัญญาณแบบ ยูนิโพลาร์

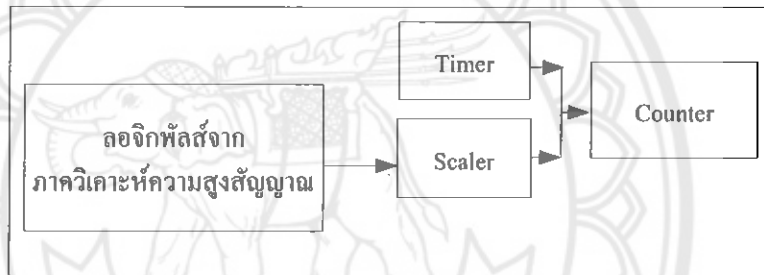
ภาควิเคราะห์ความสูงสัญญาณแบบช่องเดี่ยว คือ วงจรที่ใช้ สำหรับคัดเลือกความสูงของสัญญาณดังรูปที่ 2.3 โดยมีส่วนคัดเลือกสัญญาณประกอบด้วย ตัวแยก ระดับความสูงสัญญาณพัลส์ 2 ชุด คือ ดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ และดิสคริมิเนเตอร์ระดับสูง การแยก ระดับความสูงของสัญญาณในวงจรวิเคราะห์ความสูงสัญญาณแบบช่องเดี่ยว อาศัยการเปรียบเทียบ ความสูงของสัญญาณกับค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน ที่ถูกจัดเอาไว้ระหว่างผลต่างของตัววัด ดิสคริ มิเนเตอร์ระดับสูง และดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ ซึ่งเรียกว่า เกลดด้าอี เพื่อใช้เลือกช่วงสัญญาณที่ ต้องการวัด



รูปที่ 2.3 แผนภาพบล็อกของภาควิเคราะห์ความสูงสัญญาณแบบช่องเดี่ยว

ภาควิเคราะห์ความสูงสัญญาณแบบช่องเดี่ยวจะสามารถเปิดช่อง เคลด้าอี ได้ครั้งละหนึ่ง ช่องพลังงานเท่านั้นสำหรับการนับวัดหนึ่งครั้ง ถ้าสัญญาณที่ส่งผ่านเข้ามามีความสูงอยู่ในเคลด้าอี หรืออยู่ระหว่างผลต่างของ ดิสครีมิเนเตอร์ระดับต่ำ และ ดิสครีมิเนเตอร์ระดับสูง สัญญาณจะถูก วงจรแอนติโคอินซิเดนซ์ซึ่งประกอบด้วยเกตแบบแนนด์ (NAND-gate) และเกตแบบนอท (NOT gate) สร้างเป็นสัญญาณลอจิกพัลส์ขนาด 5 โวลต์ ออกมา เพื่อทำการนับวัดในภาคนับวัดสัญญาณ พัลส์นิวเคลียร์ (ส่วนที่ 7 ของรูปที่ 2.1)

ภาคนับวัดสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ คือ ระบบดิจิทัลสำหรับการนับวัดสัญญาณลอจิก พัลส์ที่ได้จากการภาควิเคราะห์ความสูงสัญญาณ โดยอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการนับวัดสัญญาณพัลส์ คือ สเกลเลอร์ (Scaler) และอุปกรณ์สำหรับควบคุมเวลาในการนับวัดครั้งสี่คือ ไทเมอร์ (Timer) ซึ่ง อุปกรณ์ทั้งสองจะรวมกันเป็น เคาน์เตอร์ (Counter) เพื่อแสดงผลการนับวัดสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ ดังรูปที่ 2.4



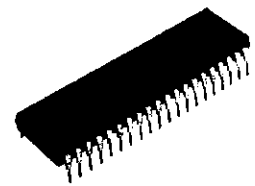
รูปที่ 2.4 แผนภาพบล็อกการทำงานของภาคนับวัดสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์

การนำผลการศึกษาไปใช้ในโครงการ

จากการศึกษากระบวนการทำงานของระบบ ไทรอยด์อัทเทค สามารถนำความรู้ไปใช้ พัฒนาวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณในด้านการออกแบบและการเลือกใช้อุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งอยู่ในหัวข้อที่ 3.2.1 หัวข้อย่อยที่ 2 ของบทที่ 3

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับการพัฒนาเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัทเทค จะ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ dsPIC30F4011) ดังรูปที่ 2.5 เป็นตัว ควบคุมและสั่งการเพื่อทำการนับพัลส์สัญญาณ ซึ่งหลักการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จะขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้งานฟังก์ชัน โมดูลที่มี อยู่ในตัวของ ไมโครคอนโทรลเลอร์และการเลือกใช้ขาพอร์ตจึงจำเป็นที่ จะต้องให้สัมพันธ์กันกับ โมดูลที่ใช้ด้วย โดยรายละเอียดสามารถอธิบาย ได้ต่อไปนี้



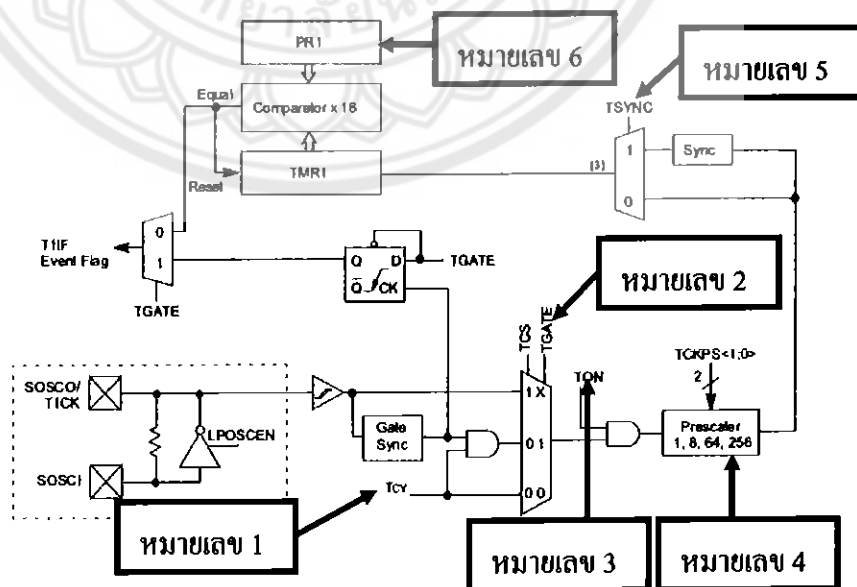
รูปที่ 2.5 ตัวถังของ dsPIC30F4011

2.2.1) คุณสมบัติของโมดูลที่ใช้งาน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ dsPIC30F4011) ได้รวมเอา โมดูลสำหรับทำงานเฉพาะทางไว้มากมาย แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะฟังก์ชัน โมดูลที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องนับพัลส์รังสีของ ทรอยค้อพเทค ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) โมดูลแอลซีดีขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด สำหรับการติดต่อโมดูลแอลซีดีกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ dsPIC30F4011) จะใช้วิธีการติดต่อในโหมด 4 บิต ซึ่งมีข้อดีคือ ใช้จำนวนพอร์ตสำหรับติดต่อน้อยเพียง 6 พอร์ตเท่านั้น

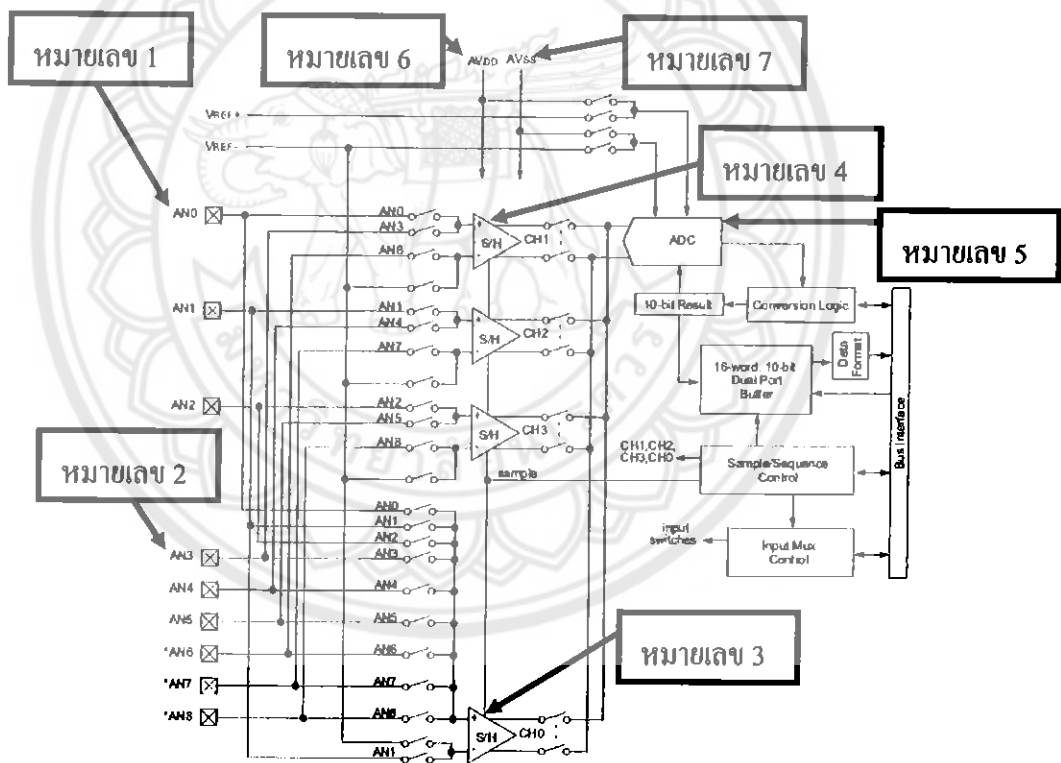
2) ไทเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต ซึ่งเป็นฐานเวลาแบบ A ใช้สำหรับการสร้างฐานเวลาจริงในการจับเวลาการนับพัลส์รังสี และ โค้ดแกรมการทำงานของไทเมอร์ 1 แสดงดังรูปที่ 2.6 เริ่มที่ Tcy (หมายเลข 1) คือ แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะถูกเลือกให้ใช้งาน โดยกำหนดค่าของบิต TCS (หมายเลข 2) ให้เป็น 0 ซึ่งเป็นการเลือกใช้งานสัญญาณนาฬิกาภายใน และทำการเปิดใช้งานไทเมอร์ 1 โดยการกำหนดบิต TON (หมายเลข 3) ให้เป็น 1 สำหรับ Prescaler (หมายเลข 4) เป็นการเลือกอัตราริสเคลเลอร์สำหรับหารความถี่การนับ TSYNC (หมายเลข 5) เป็นการเลือกซิงโครไนซ์ของสัญญาณนาฬิกาภายนอกกับการทำงานของไทเมอร์ ซึ่งบิตนี้จะเป็น 0 เพราะขึ้นอยู่กับกำหนัดค่าบิต TCS นั้นหมายความว่า ไทเมอร์เลือกใช้งานสัญญาณนาฬิกาภายใน PR1 (หมายเลข 6) เป็นกลุ่มรีจิสเตอร์คาบเวลาที่สัมพันธ์กับไทเมอร์ ซึ่งค่าที่กำหนดให้ PR จะนำไปคำนวณหาฐานเวลา



รูปที่ 2.6 โค้ดแกรมการทำงานของไทเมอร์ 1 ฐานเวลาแบบ A

3) โมดูลตรวจจับสัญญาณขาเข้า โดยจะตรวจจับสัญญาณที่ขอบขาของสัญญาณในรูปแบบการอินเทอร์รัปต์ ซึ่งข้อมูลที่ตรวจจับได้นั้นจะมีขนาด 16 บิต และมีส่วนของไทมเมอร์ที่เกี่ยวข้องกับโมดูลนี้คือ ไทมเมอร์ 2 และ ไทมเมอร์ 3

4) โมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล จากรูปที่ 2.7 AN0 (หมายเลข 1) และ AN3 (หมายเลข 2) เป็นขาพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีไว้สำหรับรับค่าแรงดันขาเข้าแบบอนาลอกจากภายนอกที่ไม่เกิน 5 โวลต์ หรือ 2.5 โวลต์ที่กึ่งพิค (Vp-p) โดยที่ S/CH0 (หมายเลข 3) และ S/CH1 (หมายเลข 4) เป็นวงจรสุ่มเก็บตัวอย่างและคงค่าก่อนที่จะส่งเข้าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลนั่นคือ ADC (หมายเลข 5) สำหรับส่วน AVdd (หมายเลข 6) เป็นแรงดันอ้างอิงด้านสูงซึ่งปกติมีค่าบวก 5 โวลต์ และ AVss (หมายเลข 7) เป็นแรงดันอ้างอิงด้านต่ำซึ่งปกติต่อลงกราวด์



รูปที่ 2.7 การทำงานของโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

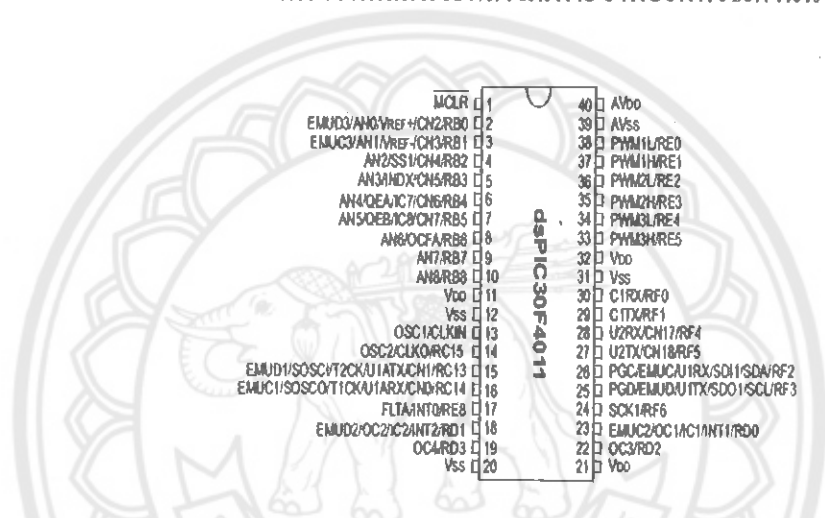
2.2.2) พอร์ตอินพุตเอาต์พุต

ขาพอร์ตไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ dsPIC30F4011) สามารถทำงานได้มากกว่าหนึ่งหน้าที่ในขาเดียวกัน โดยการกำหนดการใช้งานพอร์ตผ่านทางรีจิสเตอร์ที่ควบคุมหน้าที่พอร์ตนั้นๆ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบคือ

1) ขาพอร์ตสำหรับใช้งานร่วมกับ โมดูลฟังก์ชัน เป็นขาพอร์ตอินพุตพอร์ตเอาต์พุตให้กับ โมดูลฟังก์ชันที่เปิดใช้งาน และเมื่อขาพอร์ตถูกโมดูลเรียกใช้งานจะไม่สามารถเป็นขาพอร์ตสำหรับ อินพุตเอาต์พุตได้

2) ขาพอร์ตสำหรับอินพุตพอร์ตเอาต์พุต เป็นขาสำหรับรับและส่งสัญญาณเพื่อควบคุม การทำงานของอุปกรณ์ทั่วไป ซึ่งรูปแบบการทำงานของขาพอร์ตมีเพียงแค่ 2 สถานะ คือ ระดับ ลอจิกสูง (High) ระดับลอจิกต่ำ (Low)

สำหรับรูปที่ 2.8 และตารางที่ 2.1 เป็นขาพอร์ตและรายชื่อขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ dsPIC30F4011 ซึ่งในโครงการเล่มนี้จะกล่าวเฉพาะขาพอร์ตที่ใช้เท่านั้น



รูปที่ 2.8 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

ตารางที่ 2.1 รายชื่อและหน้าที่ของขาพอร์ตที่ใช้ในงาน

ชื่อขา	ขาที่	ชนิด	หน้าที่
VDD	11,32,21	อินพุต	ต่อไฟเลี้ยงบวก ตั้งแต่ 2.5 ถึง 5.5 V
VSS	12,20,31	อินพุต	ต่อกราวด์
MCLR	1	อินพุต	รับสัญญาณรีเซ็ตหลักทำงานที่ลอจิก "0"
AVDD	40	อินพุต	ต่อไฟเลี้ยงบวก 5V ให้แก่โมดูล ADC ภายใน dsPIC
AVSS	39	อินพุต	ต่อไฟลบหรือกราวด์ให้แก่โมดูล ADC ภายใน dsPIC
OSC1/CLKIN	13	อินพุต	ต่อคริสตอลภายนอก

ตารางที่ 2.1 รายชื่อและหน้าที่ของขาพอร์ตที่ใช้งาน (ต่อ)

ชื่อขา	ขาที่	ชนิด	รายละเอียดการทำงาน
ขาพอร์ต B			
AN0/EMUD3/ VREF+/CN2/RB0	2	อินพุต	อินพุตอนาล็อกช่อง 0
AN1/EMUC3/ VREF-/CN3/RB1	3	อินพุต	อินพุตดิจิตอลรับสัญญาณที่เกิดจากการกด สวิตช์
AN2/SS1/ CN4/RB2	4	อินพุต	อินพุตดิจิตอลรับสัญญาณที่เกิดจากการกด สวิตช์ที่เกิดจากการกดสวิตช์
AN3/INDX/ CN5/RB3	5	อินพุต	อินพุตอนาล็อกช่อง 3
AN4/QEA/ CN6/IC7/RB4	6	อินพุต	อินพุตดิจิตอลรับสัญญาณที่เกิดจากการกด สวิตช์ที่เกิดจากการกดสวิตช์
AN5/QEB/ CN7/IC8/RB5	7	อินพุต	อินพุตดิจิตอลรับสัญญาณที่เกิดจากการกด สวิตช์ที่เกิดจากการกดสวิตช์
ขาพอร์ต C			
EMUD1/SOSCI/CN1/ T2CK/U1ATX/RC13	15	อินพุต	อินพุตดิจิตอลรับสัญญาณที่เกิดจากการกด สวิตช์ที่เกิดจากการกดสวิตช์
EMUC1/SOSCO/T1CK/ CN0/U1ARX/RC14	16	อินพุต	อินพุตดิจิตอลรับสัญญาณที่เกิดจากการกด สวิตช์ที่เกิดจากการกดสวิตช์
OSC2/CLKO/RC15	14	อินพุต	ต่อคริสตอลภายนอก
ขาพอร์ต D			
EMCU2/OC1/IC1/INT1 /RDO	23	อินพุต	อินพุตดิจิตอล ตรวจสอบสัญญาณขาเข้าใน รูปแบบอินเทอร์รัปต์
OC3/RD2	22	เอาต์พุต	เอาต์พุตดิจิตอล ควบคุมแอลอีดี
OC4/RD3	19	เอาต์พุต	เอาต์พุตดิจิตอล ควบคุมแอลอีดี

ตารางที่ 2.1 รายชื่อและหน้าที่ของขาพอร์ตที่ใช้งาน (ต่อ)

ชื่อขา	ขาที่	ชนิด	รายละเอียดการทำงาน
ขาพอร์ต E			
PWM1L/RE0	38	เอาต์พุต	เอาต์พุตคิจิตอล ติดต่อกับขา D4 ของโมดูล แอลซีดี
PWM1H/RE1	37	เอาต์พุต	เอาต์พุตคิจิตอล ติดต่อกับขา D5 ของโมดูล แอลซีดี
PWM2L/RE2	36	เอาต์พุต	เอาต์พุตคิจิตอล ติดต่อกับขา D6 ของโมดูล แอลซีดี
PWM2H/RE3	35	เอาต์พุต	เอาต์พุตคิจิตอล ติดต่อกับขา D7 ของโมดูล แอลซีดี
PWM3L/RE4	34	เอาต์พุต	เอาต์พุตคิจิตอล ติดต่อกับขา RS ของโมดูล แอลซีดี
PWM3H/RE5	33	เอาต์พุต	เอาต์พุตคิจิตอล ติดต่อกับขา E ของโมดูล แอลซีดี
ขาพอร์ต F			
U1RX/PGC/ EMUC/SDI1/SDA/ RF2	26	อินพุต	รับสัญญาณนาฬิกาสำหรับการ โปรแกรม
U1TX/PGD/ EMUD/SDO1/SCL/ RF3-RF6	25	อินพุต	รับสัญญาณนาฬิกาสำหรับการ โปรแกรม

การนำผลการศึกษาไปใช้ในโครงการ

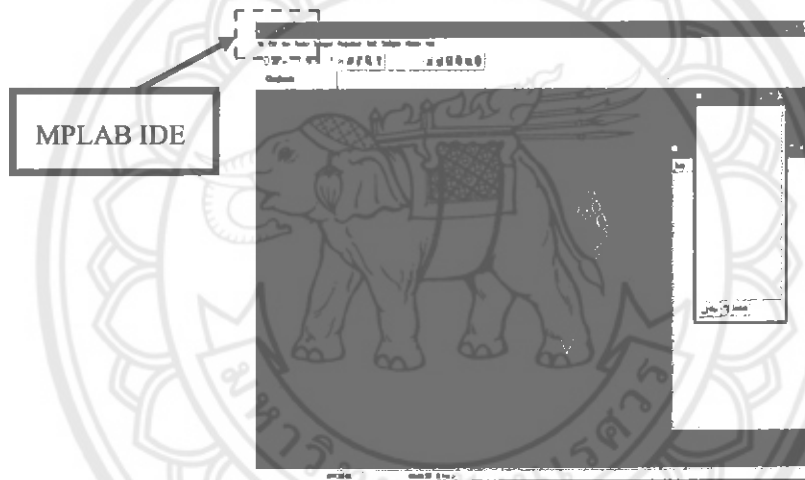
จากการศึกษาโมดูลใช้งานและการเชื่อมต่อขาพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 สามารถนำความรู้ไปพัฒนางจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ดังหัวข้อที่ 3.2.1 และหัวข้อย่อยที่ 1 ของบทที่ 3 และนำความรู้เรื่องโมดูลต่างๆ ไปใช้ในการออกแบบโปรแกรมดังหัวข้อที่ 3.3 ซึ่งอยู่ในบทที่ 3

2.3 ซอฟต์แวร์พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์และบอร์ดโปรแกรม

ในการพัฒนาซอฟต์แวร์บนไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์ในการเขียนโค้ดขึ้นและฮาร์ดแวร์สำหรับ โปรแกรมโค้ดลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 ซอฟต์แวร์พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับในโรงงานเล่มนี้ใช้ซอฟต์แวร์ในการพัฒนาโปรแกรมคือ โปรแกรมเอ็มพีแล็บ ไอดีอี (MPLAB IDE) ดังรูปที่ 2.9 เป็นซีคอมไพเลอร์ที่จะทำงานร่วมกับโปรแกรมเอ็มพีแล็บ ซี 30 (MPLAB C30) ซึ่งเป็นคอมไพเลอร์สำหรับการแปลภาษาซีที่เขียนขึ้น แล้วเชื่อมต่อกับโปรแกรมเอ็มพีแล็บ ไอดีอี (MPLAB IDE) เพื่อสร้างไฟล์ภาษาเครื่อง ก่อนนำไปดาวน์โหลดต่อไป



รูปที่ 2.9 หน้าต่างโปรแกรมเอ็มพีแล็บ ไอดีอี (MPLAB IDE)

คุณสมบัติที่สำคัญของโปรแกรมเอ็มพีแล็บ ไอดีอี (MPLAB IDE)

- 1) ประกอบด้วยไลบรารีมาตรฐาน เช่น ไลบรารีคณิตศาสตร์ หน่วยความจำโปรแกรม การแปลงข้อมูล เป็นต้น
- 2) รองรับการสร้างโค้ดในรูปแบบ โมดูล เพื่อให้สามารถนำโค้ดกลับมาใช้ได้ใหม่
- 3) สามารถแทรกคำภาษาแอสเซมบลีลงในโค้ดภาษา C ได้ ตามรูปแบบที่คอมไพเลอร์กำหนดไว้ เมื่อต้องการควบคุมคำสั่งด้วยภาษาแอสเซมบลีโดยตรง
- 4) มีไลบรารีสำหรับโมดูลต่างๆภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ dsPIC30F4011) เพื่อความรวดเร็วในการพัฒนาโปรแกรม
- 5) แยกหน่วยความจำโค้ด โปรแกรมและข้อมูลออกจากกันในตำแหน่งที่เฉพาะเจาะจงในหน่วยความจำหลัก

2.3.2 บอร์ดโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

เครื่องมือทางสำหรับพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์ดังรูปที่ 2.10 ที่ใช้ร่วมกันในการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นเครื่อง โปรแกรมรุ่นพีเอ็กซ์ 200 (PX 200) ของบริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด ซึ่งใช้เขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ dsPIC30F4011)



รูปที่ 2.10 เครื่อง โปรแกรมรุ่นพีเอ็กซ์ 200 (PX 200)

คุณสมบัติของเครื่องโปรแกรมรุ่นพีเอ็กซ์ 200 (PX 200)

- 1) เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตยูเอสบี (USB) ใช้ไฟเลี้ยงจากพอร์ตยูเอสบี
- 2) โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์(เบอร์ dsPIC30F4011) บนบอร์ดเป้าหมายผ่านทางสายแจ็กไอซีดี 2 (ICD2)
- 3) มีแอลอีดีแสดงสถานะการทำงาน 3 ดวง คือ POWER TARGET และ BUSY
- 4) สามารถอัปเดตเฟิร์มแวร์ได้ ผ่านทางซอฟต์แวร์
- 5) อ่านเขียนข้อมูลในหน่วยความจำข้อมูลอีพรอมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้
- 6) ใช้งานได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC และไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ dsPIC ที่รองรับการดีบั๊กในวงจรและการ โปรแกรมแบบไอซีเอสพี (ICSP)

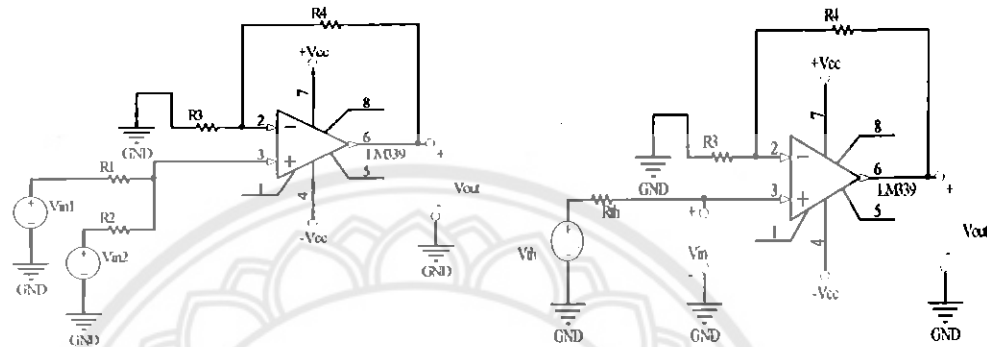
การนำผลการศึกษาไปใช้ในโครงการ

จากการศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์และบอร์ด โปรแกรม สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ดังในหัวข้อที่ 3.3 ในบทที่ 3

2.4 วงจรใช้งานออปแอมป์

ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานที่นำมาใช้ได้แก่ วงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟส วงจรเปรียบเทียบแรงดัน ซึ่งมีรายละเอียดคั้งหัวข้อที่ 2.4.1 และหัวข้อ 2.4.2

2.4.1 วงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟส



(ก) วงจรใช้งานขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟส (ข) วงจรคำนวณค่าแรงดันขาออก

รูปที่ 2.11 วงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟส

จากกฎเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchoff) โดย KVL จะได้สมการ 2.2 ของรูป 2.11 (ข)

$$V_{out} = V_{in} (1 + R_4 / R_3) \tag{2.2}$$

กำหนดให้

$$R_1 = R_2 = R$$

จากทฤษฎีเทเวนินสามารถหา R_{th} ได้ดังนี้

$$R_{th} = R_1 // R_2 = R/2$$

จากทฤษฎีการทับซ้อนสามารถหา V_{th} ได้ดังนี้

$$V_{th} = (V_1 + V_2) / 2 \tag{2.3}$$

จากสมการ (2.2) และ (2.3) สามารถเขียนเป็นวงจรใหม่ได้ดังรูปที่ 2.11 (ข) และเนื่องจากอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสมีค่าสูงมาก ดังนั้น

$$V_{th} = V_{in} \tag{2.4}$$

จากสมการที่ (2.2) (2.3) และ (2.4) จะได้ดังสมการที่ (2.5) ดังนี้

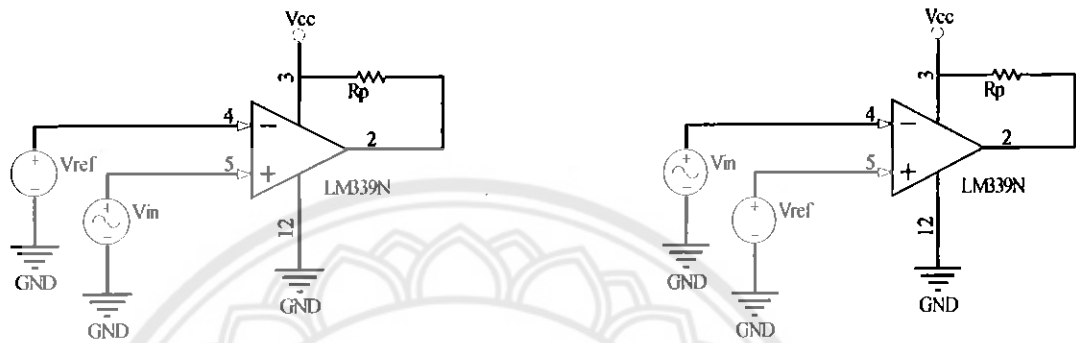
$$V_{out} = (1 + R_4 / R_3) [(V_1 + V_2) / 2] \tag{2.5}$$

การนำผลการศึกษาไปใช้ในโครงการ

สมการที่ได้จากวงจรดังสมการที่ 2.5 นั้นสามารถนำไปใช้ในการเลือกค่าความต้านทานที่ใช้ในการออกแบบวงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟสที่อยู่ในวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ

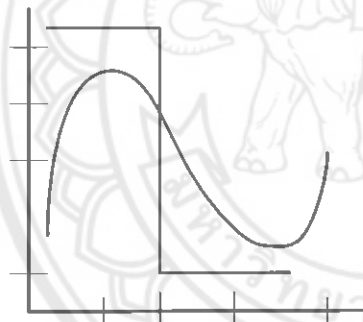
2.4.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

หน้าที่ของวงจรเปรียบเทียบแรงดันดังรูปที่ 2.12 คือ ทำการเปรียบเทียบแรงดันอินพุตที่ป้อนให้วงจรกับแรงดันอ้างอิงที่ตั้งไว้แล้ว ทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุตของวงจรเปลี่ยนแปลงอยู่สองสถานะ คือ สถานะสูง และสถานะต่ำ ซึ่งขนาดของแรงดันเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันที่ป้อนให้กับออปแอมป์

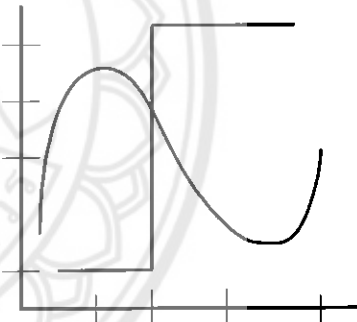


(ก) แสดงวงจรแบบไม่กลับเฟส

(ข) แสดงวงจรแบบกลับเฟส



(ค) แสดงกราฟของวงจรแบบไม่กลับเฟส



(ง) แสดงกราฟของวงจรแบบกลับเฟส

รูปที่ 2.12 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

ภาพวงจร (ก) เมื่อสัญญาณอ้างอิง (V_{ref}) ต่อเข้าที่ขาลบของออปแอมป์และขาบวกต่อเข้ากับแรงดันขาเข้า (V_{in}) จะทำให้ได้สัญญาณดังภาพ (ค) ซึ่งสัญญาณขาเข้าจะตรงเฟสกับสัญญาณขาออก และภาพวงจร (ข) เมื่อสัญญาณอ้างอิง (V_{ref}) ต่อเข้าที่ขาบวกของออปแอมป์และขาลบต่อเข้ากับแรงดันขาเข้า (V_{in}) จะทำให้ได้สัญญาณดังภาพ (ง)

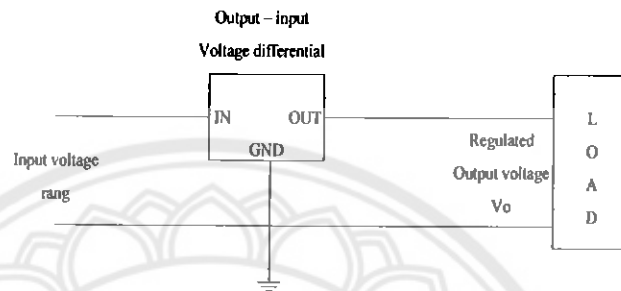
การนำผลการศึกษาไปใช้ในโครงการ

ผลของการศึกษาวงจรเปรียบเทียบแรงดัน สามารถนำไปเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนางจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณซึ่งอยู่ในหัวข้อที่ 3.2.1 หัวข้อย่อยที่ 2 ของบทที่ 3

2.5 ไอซีรักษาระดับแรงดันและจอแสดงผลแอลซีดี

2.5.1 ไอซีรักษาระดับแรงดัน

เป็นอุปกรณ์หรือวงจรสำเร็จรูปที่ใช้ประกอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้คงที่ จากรูปที่ 2.13 เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าไม่คงที่เข้าที่ขาเข้า ผลจากการทำงานจะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ออกที่ขาออกสำหรับโหลด



รูปที่ 2.13 โค้ดแกรมของไอซีรักษาระดับแรงดัน (IC voltage regulator)

โดยที่ขนาดของแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเท่าใด เป็นแรงดันไฟฟ้าบวกหรือแรงดันไฟลบ ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้งาน ซึ่งในโครงงานนี้เลือกใช้งาน ดังตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงเบอร์และแรงดันขาออก

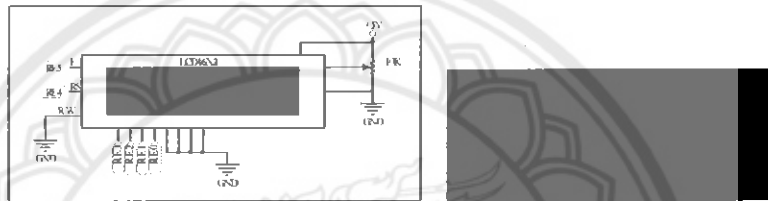
IC Part	Output Voltage(V)	Minimum Vi(v)
7805	+5	7.3
7810	+10	12.5
7818	+18	21.0
7918	-18	-21.0

การนำผลการศึกษาไปใช้ในโครงงาน

ไอซีรักษาระดับแรงดันนี้ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงดังหัวข้อที่ 3.2.1 หัวข้อย่อยที่ 3 ในบทที่ 3 ซึ่งการต่อวงจรจะเป็นการต่อแบบอนุกรมกัน โดยไอซีเบอร์ 7818 จะรับแรงดันขาเข้าจากหม้อแปลง 24 โวลต์ และจะได้แรงดันขาออกเป็น 18 โวลต์ จากนั้นแรงดัน 18 โวลต์จะเป็นแรงดันขาเข้าให้กับไอซีเบอร์ 7810 ซึ่งจะ ได้แรงดันขาออกมีขนาด 10 โวลต์ และแรงดัน 10 โวลต์นี้ก็จะป้อนเข้าให้กับไอซี 7805 ซึ่งจะ ได้สัญญาณขาออกขนาด 5 โวลต์ และไอซี 7918 ก็จะแปลงแรงดันจาก -24 โวลต์เป็น -18 โวลต์

2.5.1 จอแสดงผลแอลซีดี

แอลซีดีคังรูปที่ 2.14 จัดเป็นจอแสดงผลอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งจอแสดงผลแอลซีดี นี้มีทั้งแบบที่แสดงผลเป็นอักขระเพียงอย่างเดียว และแบบที่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพหรือสัญลักษณ์อื่นๆตามความต้องการได้ ในโครงการเล่มนี้จะกล่าวถึงเฉพาะแอลซีดีแบบคอตเมตริกซ์ (Dot-Matrix) ที่มีวางจำหน่ายกันทั่วไปและหาซื้อได้ง่าย โดยที่พบเห็นกันทั่วไปได้แก่ขนาด 16 ตัวอักษร และมีจำนวนบรรทัด 2 บรรทัด โดยแอลซีดีนี้อาจมีหลายผู้ผลิต แต่ส่วนมากแล้วจะมีโครงสร้างการทำงานและชุดคำสั่งที่เหมือนกันเกือบทุกประการ



(ก) สัญลักษณ์และการต่อใช้งาน

(ข) จอแอลซีดีที่ใช้งาน

รูปที่ 2.14 แอลซีดี 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

การควบคุมการแสดงผลของแอลซีดี

ผู้ใช้งาน ไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงให้กับแอลซีดีค้างไว้ตลอดเวลาเพื่อให้แอลซีดีแสดงผลตามที่ต้องการได้เนื่องจากจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีขึ้นและจะทำให้อายุการใช้งานของแอลซีดีสั้นลงด้วย เหตุนี้จึงจำเป็นต้องป้อนสัญญาณสลับระหว่างปิดกับเปิด ด้วยความถี่ไม่น้อยกว่า 30 Hz เพื่อไม่ให้หน้าจอกระพริบแอลซีดีโดยทั่วไปจะเป็นแบบที่มีส่วนควบคุม รวมไว้ในตัวอยู่แล้วผู้ใช้งานเพียงส่งรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของแอลซีดีให้กับคอนโทรลเลอร์ (Controller) ว่าต้องการใช้ทำงานอย่างไร

การนำผลการศึกษาไปใช้ในโครงการ

แอลซีดีถูกนำไปใช้ในการแสดงผลที่เกิดจากการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ dsPIC30F4011 และได้ออกแบบการต่อวงจรใช้งานของแอลซีดีซึ่งอยู่ภายในวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในหัวข้อที่ 3.2.1 หัวข้อย่อยที่ 1 ของบทที่ 3 ซึ่งการต่อใช้งานนั้นจะเป็นการต่อสายสัญญาณข้อมูลแบบ 4 บิต โดยใช้พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์เพียง 4 ขาเท่านั้นสำหรับรับการรับส่งสัญญาณระหว่างแอลซีดีกับไมโครคอนโทรลเลอร์

2.6 ไอซีลจจิกเกต

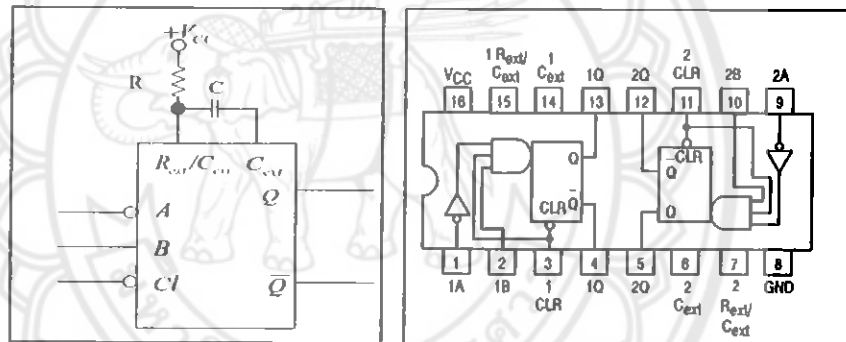
2.6.1 ไอซีลจจิกวงจรรวมเบอร์ 74123

เป็นวงจรหน่วงเวลาชนิดโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Monostable Multivibrator) จำนวนสองชุด อยู่ในตัวไอซีเดียวกัน โดยมีการต่อวงจรของไอซีวงจรรวมเบอร์ 74123 ดังรูปที่ 2.15 (ก) และรูปที่ 2.15 (ข) แสดงข้อจำกัดวงจรภายใน การทำงานจะขึ้นอยู่กับค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาเข้า เป็นการทำงานแบบสามารถทริกต่อเนื่อง (Retriggable) ซึ่งการทำงานจะเริ่มขึ้นใหม่ทุกครั้งที่มีสัญญาณทริก ทำให้สัญญาณออกจะเป็นช่วงลจจิก "1" ตลอดเวลา โดยที่ช่วงลจจิก "1" สามารถหาได้จากสมการดังนี้

ช่วงลจจิก "1" (t)

$$t = 0.3RC \left(1 + \frac{0.7}{R} \right)$$

(2.5)



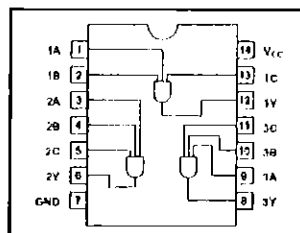
(ก) การต่อวงจรใช้งาน

(ข) โครงสร้างภายในของไอซี 74123

รูปที่ 2.15 โครงสร้างภายในของไอซี 74123

2.6.2 ไอซีลจจิกเบอร์ 7411

เป็นไอซีแอนเดคชนิคการทำงาน 3 ขา ดังรูปที่ 2.16 โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อมีลจจิก "1" เข้ามาที่อินพุตเอ (A),อินพุตบี (B) และอินพุตซี (C) จะทำให้เอาต์พุตวาย (Y) มีสถานะลจจิกเป็น "1" แต่ถ้ามีลจจิก "0" เข้ามาที่อินพุตเอ (A)หรืออินพุตบี (B) หรืออินพุตซี (C) จะทำให้เอาต์พุตวาย (Y) มีสถานะลจจิกเป็น "0" โดยสามารถดูรายละเอียดได้ที่ภาคผนวกท้ายเล่มปริญญาพันธ

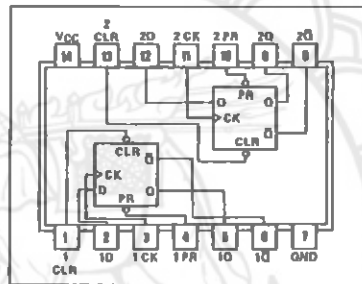


รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายในของไอซีเบอร์ 7411

2.6.3 ไอซีฟลิปฟล็อปชนิดดีเบอร์ 7474

โครงสร้างภายในของฟลิปฟล็อปชนิดดี แสดงดังรูปที่ 2.17 จะเห็นว่านอกจากอินพุตดี (D) และอินพุตซีแอลค (CLK) แล้ว ยังมีอินพุตอีก 2 อินพุตคือ อินพุตพรีเซต (PS) และอินพุตเคลียร์ (CLR) และมีชื่อเฉพาะว่า อะซิงโครนัสอินพุต ที่เป็นเช่นนี้เพราะการทำงานของอินพุตทั้งสองจะทำงานทันทีเมื่อได้รับลอจิก “0” โดยไม่สนใจว่าอินพุตอื่นๆ เช่น อินพุตดี (D) หรืออินพุตซีแอลค (CLK) จะมีข้อมูลอยู่หรือไม่ก็ตาม

สำหรับข้อห้ามในการใช้งานคือ ห้ามบังคับให้อินพุตพรีเซต (PS) และอินพุตเคลียร์ (CLR) ทำงานพร้อมกัน จะเป็นผลให้ เอาต์พุตคิว (Q) แลเอาต์พุตคิวบาร์ (\bar{Q}) มีลอจิกเอาต์พุตเป็น “1” ทั้งสองเอาต์พุต ดังนั้น อินพุตดี (D) และอินพุตซีแอลค (CLK) ของฟลิปฟล็อปชนิดดีเบอร์ 7474 นั้น จะต้องทำงานร่วมกันจึงจะทำให้ฟลิปฟล็อปทำงานได้



รูปที่ 2.17 โครงสร้างภายในของไอซี 7474

การนำผลการศึกษาไปใช้ในโรงงาน

ไอซีลอจิกเกตที่ได้ทำการศึกษาคำทำงานและ โครงสร้างภายในได้แก่ (1) ไอซีลอจิกวงจรรวมเบอร์ 74123 (2) ไอซีลอจิกเบอร์ 7411 (3) ไอซีฟลิปฟล็อปชนิดดีเบอร์ 7474 โดยไอซีทั้งสามเบอร์นี้จะถูกนำไปพัฒนาเป็นส่วนหนึ่งของวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ ซึ่งรายละเอียดของการออกแบบอยู่ในหัวข้อที่ 3.2.1 หัวข้อย่อยที่ 2 ของบทที่ 3

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

การพัฒนาเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทค มีขั้นตอนในการดำเนินงานซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนได้แก่ 1) ศึกษาข้อมูลและหลักการทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 2) ออกแบบระบบทางด้านฮาร์ดแวร์ 3) ออกแบบระบบทางด้านซอฟต์แวร์ 4) การทดลองเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทค 5) สรุปและจัดทำรูปเล่มปริญาานิพนธ์ โดยรายละเอียดแต่ละหัวข้อนั้นสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาข้อมูลและหลักการทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานในหัวข้อนี้เป็นขั้นตอนแรกสำหรับการศึกษาข้อมูลต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทค โดยมีหัวข้อต่างๆที่ได้ทำการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1.1) ศึกษากระบวนการทำงานของระบบโทรอยด์อัทเทค สำหรับเนื้อหาในหัวข้อนี้ได้กล่าวถึงกระบวนการการทำงานการนับวัดรังสีของระบบโทรอยด์อัทเทค ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อศึกษาที่ 2.1 บทที่ 2

3.1.2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเนื้อหาจะบรรยายโมดูลฟังก์ชันที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องนับพัลส์รังสีและซอฟต์แวร์ที่เปิดใช้งาน ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อศึกษาที่ 2.2 บทที่ 2

3.1.3) ซอฟต์แวร์พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์และบอร์ดโปรแกรม ในเนื้อหาจะเป็นการกล่าวถึงส่วนประกอบต่างๆของตัวโปรแกรมและตัวบอร์ดโปรแกรม ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อศึกษาที่ 2.3 ของบทที่ 2

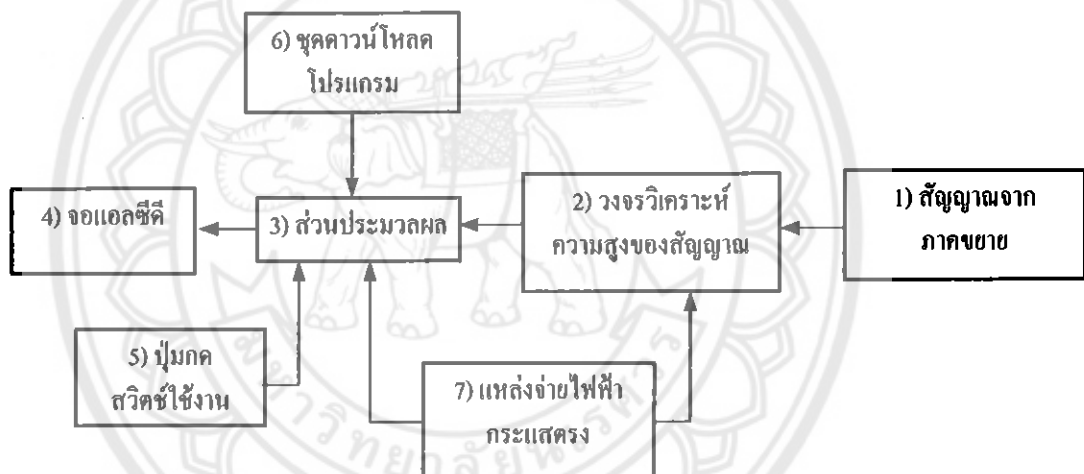
3.1.4) วงจรใช้งานออปแอมป์ โดยเนื้อหาจะเป็นการกล่าวถึงการใช้ออปแอมป์ต่อเป็นวงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟสและวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อศึกษาที่ 2.4 ของบทที่ 2

3.1.5) ไอซีรักษาระดับแรงดันและจอแสดงผลแอลซีดี ภายในเนื้อหาจะเป็นการกล่าวถึงเบอร์ไอซีรักษาระดับแรงที่ใช้และการเลือกใช้งานจอแอลซีดี ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อศึกษาที่ 2.5 ของบทที่ 2

3.1.6) ไอซีลอจิกเกต ในเนื้อหาจะบรรยายถึงการใช้งานและคุณสมบัติที่ควรทราบของไอซีลอจิกเกตแต่ละเบอร์ และหน้าที่ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญ ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อศึกษาที่ 2.6 ของบทที่ 2

3.2 ออกแบบระบบทางด้านฮาร์ดแวร์

การออกแบบเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทคที่ถูกต้อง ควรทราบขั้นตอนการทำงาน ของเครื่อง ซึ่งการทำงานของเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทคแสดงดังรูปที่ 3.1 โดยเริ่มจากส่วนที่ 1 คือสัญญาณจากภาคขยายมีรูปคลื่นแบบยูนิโพลาร์เข้ามาในส่วนที่ 2 คือวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์สัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่มีความสูงอยู่ในช่วงพลังงานเคลด้าอี จะถูกสร้างเป็นพัลส์ก่อนส่งสัญญาณพัลส์นี้เข้าไปส่วนที่ 3 คือส่วนประมวลผล และส่วนนี้จะทำการนับพัลส์ที่เข้ามาก่อนที่จะส่งไปแสดงผลในส่วนที่ 4 ซึ่งก็คือจอแอลซีดีขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัดสำหรับแสดงผลการนับ ส่วนที่ 5 คือปุ่มกดสวิทช์ใช้งานมีหน้าที่เลือกโหมดการทำงานและตั้งค่าเวลาในการนับพัลส์ และส่วนที่ 6 คือชุดควาน์โพลคโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ dsPIC30F4011)

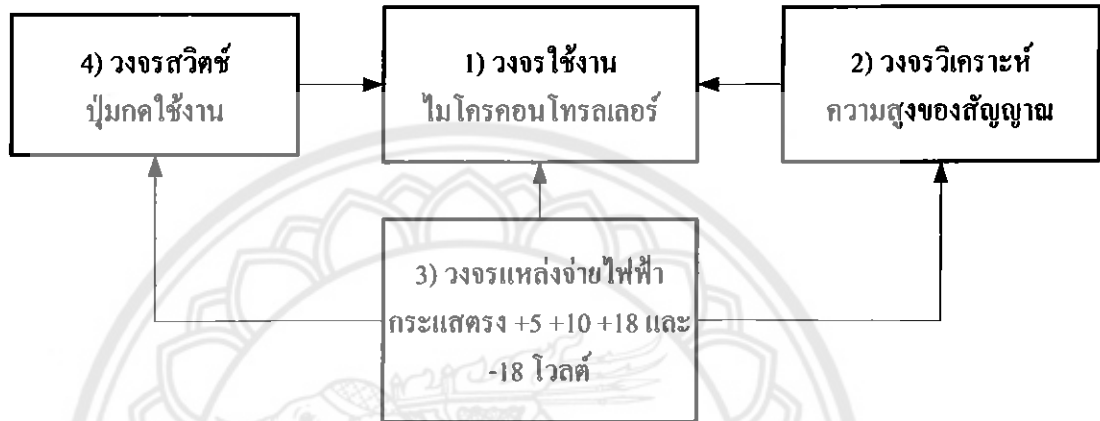


รูปที่ 3.1 แผนภาพกรอบการทำงานทั้งหมดบนเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทค

จากไดอะแกรมการทำงานทั้งหมดของระบบเครื่องนับพัลส์รังสี สามารถแยกอธิบาย สำหรับการพัฒนางจรต่างๆ ได้ดังนี้ หัวข้อที่ 3.2.1 จะเป็นการอธิบายการพัฒนางจรทั้งหมด โดยเริ่มจากการออกแบบบนสคีมเมติกไดอะแกรม (Schematic Diagram) การออกแบบลายวงจร และการลงอุปกรณ์เป็นวงจรใช้งานจริง หัวข้อที่ 3.2.2 จะเป็นแผนภาพวงจรรวมเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทค นั่นคือนำแต่ละวงจรในหัวข้อที่ 3.2.1 มารวมกันเพื่อบอกให้ทราบถึงการต่อสายเชื่อมของแต่ละวงจรเข้าด้วยกัน หัวข้อที่ 3.2.3 เป็นการประกอบเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทค นั่นคือการนำวงจรที่ได้ออกแบบไว้มีใส่ในกล่องพลาสติก (Plastic) เพื่อความเรียบร้อยและยังสามารถป้องกันสัญญาณลบกวนอีกด้วย ซึ่งรายละเอียดของแต่ละหัวข้อสามารถอธิบายได้ดังหัวข้อต่อไป

3.2.1 ส่วนประกอบของวงจรเครื่องนับพัลส์สร้างสี่ของไทรอยด์อัทเทค

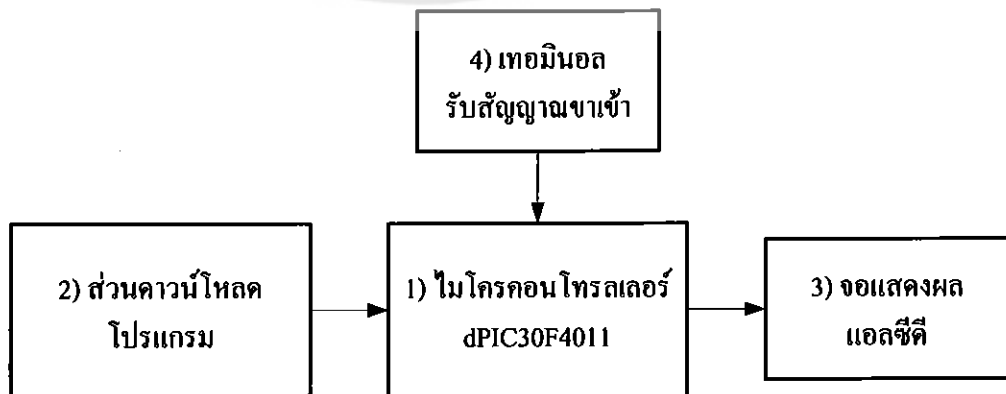
การออกแบบเครื่องนับพัลส์สร้างสี่ของไทรอยด์อัทเทคดังรูปที่ 3.2 ถูกออกแบบให้มี ส่วนประกอบวงจรหลักทั้งหมด 4 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนที่ 1 คือวงจรใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนที่ 2 คือวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ ส่วนที่ 3 คือวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง และ ส่วนที่ 4 คือวงจรสวิตช์ปุ่มกดใช้งาน ซึ่งรายละเอียดของแต่ละวงจรจะอธิบายในหัวข้อต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของเครื่องนับพัลส์สร้างสี่ของไทรอยด์อัทเทค

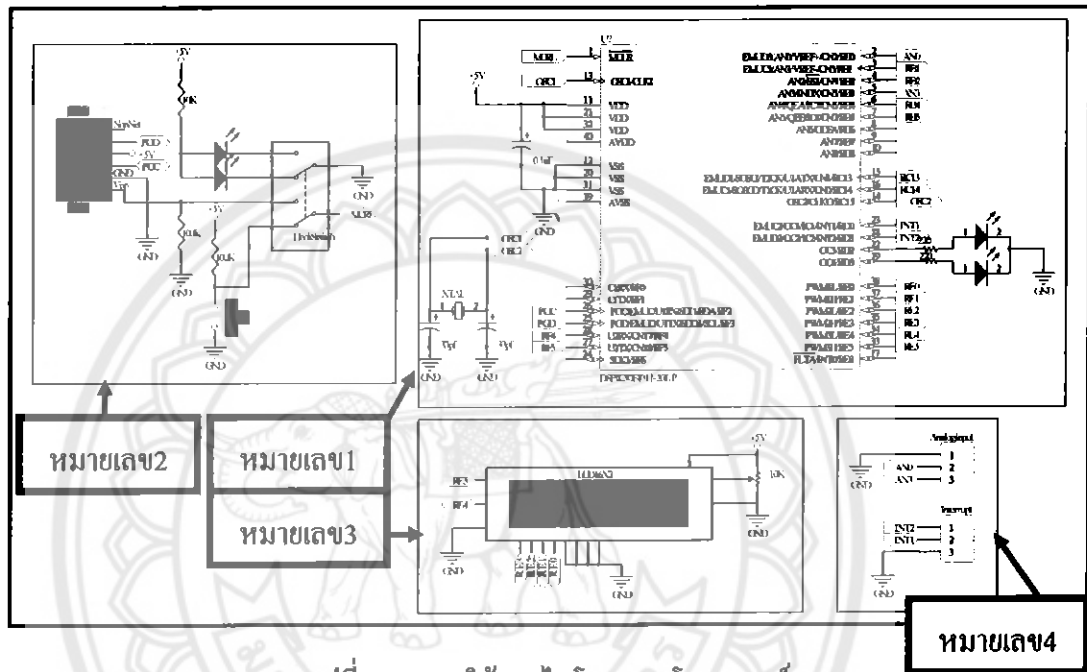
1) ออกแบบวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับรูปที่ 3.3 เป็นการออกแบบส่วนประกอบของวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ มีทั้งหมด 5 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 คือไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ dsPIC30F4011) ส่วนที่ 2 คือชุดคาวาน์โหนดโปรแกรมลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนที่ 3 คือ จอแสดงผลแอลซีดี และส่วนสุดท้ายคือส่วนที่ 4 คือจุดเชื่อมต่อสำหรับรับสัญญาณที่เข้ามาประมวลผลบนไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับวงจรรูปที่ 3.4 เป็นวงจรที่ได้ออกแบบบนสเต็มเมติกโคอะแกรม (Schematic Diagram) เพื่อที่จะพัฒนาชิ้นงานจริง โดยเริ่มจากหมายเลข 1 คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ dsPIC30F4011) หมายเลข 2 คือ วงจรควาน์โพลคโปรแกรมลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ หมายเลข 3 คือ จอแสดงผลแอลซีดีขนาดหน้าจอก 16x2 และหมายเลข 4 คือ พอร์ตเทอร์มินอล (Terminal Port) ขนาด 3 ขาที่ใช้ในการรับสัญญาณแอนาลอกจากการปรับค่าแรงดัน และใช้ในการรับสัญญาณพัลส์



รูปที่ 3.4 วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์

หน้าที่ของวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถแยกการใช้งานตามขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ dsPIC30F4011) ได้ดังตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 หน้าตามขาบนวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์

หมายเลขขา	ชื่อขา	หน้าที่
1	MCRL	รีเซต โปรแกรม ต่อกับสวิตซ์รีเซตที่อยู่บนวงจรสวิตซ์ปุ่มกด
2,5	AN0,AN3	แปลงสัญญาณแอนาลอกให้เป็นดิจิตอล โดยสัญญาณแอนาลอกเกิดจากการปรับค่าแรงดัน LLD และ DEL

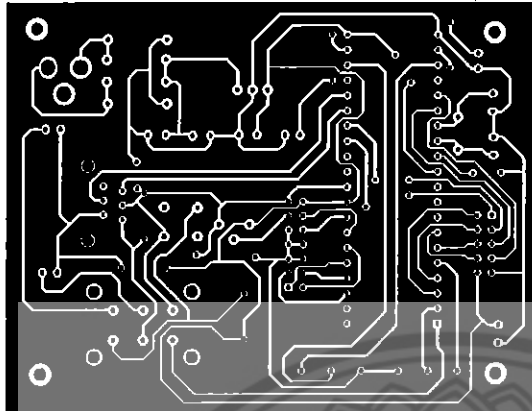
ตารางที่ 3.1 หน้าตามขาบนวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ (ต่อ)

หมายเลขขา	ชื่อขา	หน้าที่
3,4,6,7,15, 16,27,28	RB1,RB2,RB4,R B5,RC13,RC14, RF4,RF5	เป็นอินพุตติดต่อกับวงจรวัดชีพจรไมโครคอนโทรลเลอร์
11,21,32	VDD	รับไฟเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ต่อกับไฟ +5 โวลต์
12,20,31	VSS	เป็นกราวด์ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011
13,14	OSC1/CLK1, OSC2/CLKO	รับสัญญาณนาฬิกาจากคริสตัลความถี่ 4 เมกะเฮิร์ตซ์
19,22	RD2,RD3	เป็นเอาต์พุตติดต่อกับหลอดแอลอีดี เพื่อเป็นไฟแสดงสถานะ การเปิดปิดวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์
23	INT1/RD0	รับสัญญาณการอินเตอร์รัปต์ โดยต่อกับวงจรวัดระยะเวลาความสูงของพัลส์สัญญาณ
25	PGD	มีหน้าที่สื่อสารกับโปรแกรม Pickit2 เพื่อดาวน์โหลดโปรแกรม
26	PGC	มีหน้าที่สื่อสารกับโปรแกรม Pickit2 เพื่อดาวน์โหลดโปรแกรม
33,34,35, 36,37,38	RE5,RE4,RE3, RE2,RE1,RE0	(1) RE5 ต่อกับขา E ของแอลซีดี (2) RE4 ต่อกับขา RS ของแอลซีดี (3) RE3 ต่อกับขา D4 ของแอลซีดี (4) RE2 ต่อกับขา D5 ของแอลซีดี (5) RE1 ต่อกับขา D6 ของแอลซีดี (6) RE0 ต่อกับขา D7 ของแอลซีดี

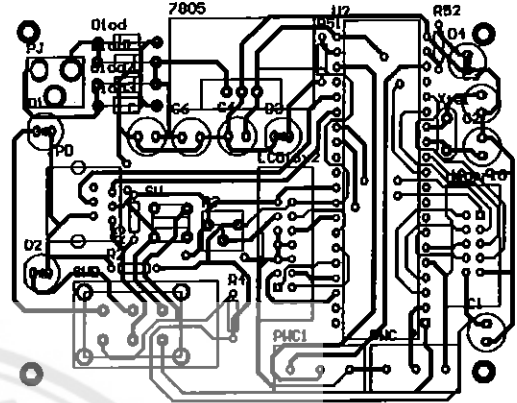
โดยหน้าที่หลักของวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์มีดังต่อไปนี้คือ

- 1) รับสัญญาณแอนาล็อกจากวงจรวัดระยะเวลาความสูงของสัญญาณที่เกิดจากการปรับค่าแรงดัน เพื่อแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลและแสดงเป็นตัวเลข 0-10 โวลต์
- 2) รับสัญญาณลอจิกพัลส์จากวงจรวัดระยะเวลาความสูงสัญญาณ เพื่อทำการนับพัลส์
- 3) รับสัญญาณจากการกดสวิทช์บนวงจรวัดชีพจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้งานเมนูต่างๆ
- 4) ส่งสัญญาณต่างๆที่เกิดจากการประมวลผลบนไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำแสดงผลบนหน้าจอแอลซีดีเพื่อแสดงค่าจำนวนการนับพัลส์ และการใช้งานเมนูต่างๆ
- 5) รับโปรแกรมที่เกิดจากการพัฒนาเป็น เฮ็กไฟล์ ลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์

วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ถูกออกแบบลายวงจรและจัดอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 3.5 ดังต่อไปนี้



(ก) ออกแบบลายทองแดง



(ข) ตำแหน่งอุปกรณ์ของวงจร

รูปที่ 3.5 การออกแบบวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์

จากนั้นทำการสร้างวงจรใช้งานจากลายทองแดงข้างต้นและประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์

หมายเลข 1 คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

หมายเลข 2 คือ พอร์ตที่ใช้ติดต่อกับวงจรสวิตช์ปุ่มกด มีทั้งหมด 10 ขา คือ RB1 RB2 RB4 RB5 RF4 RF5 RC13 และ RC14

หมายเลข 3 คือ พอร์ตที่ใช้ติดต่อกับแอลซีดีแสดงผล

หมายเลข 4 คือ เทอมินอลสามขา สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณแอนาโลกที่มาจากวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์สัญญาณเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

หมายเลข 5 คือ เทอมินอลสามขา สำหรับรับสัญญาณลอจิกพัลส์ที่มาจากวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์สัญญาณ

หมายเลข 6 คือ ฮุกสวิทช์ (Hook switch) ใช้เป็นสวิทช์ในขั้นตอนการโปรแกรมเฮ็กไฟล์ลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์

หมายเลข 7 คือ สายเชื่อมติดต่อกับสวิทช์สำหรับการกรีเซตโปรแกรม

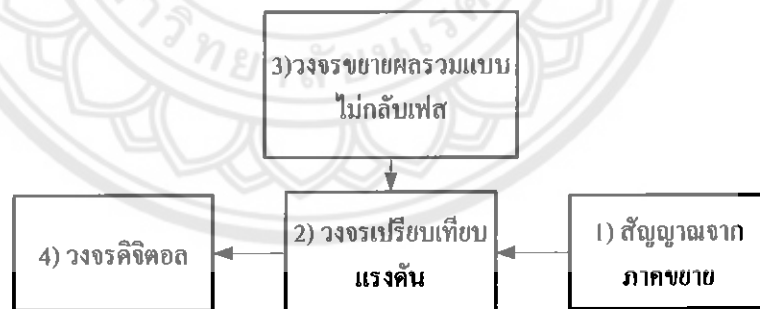
หมายเลข 8 คือ หัวเสียบตัวรับสำหรับการโปรแกรมเฮ็กไฟล์ลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์

หมายเลข 9 คือ หัวเสียบตัวรับสำหรับต่อกับอแดปเตอร์กระแสตรง 9 ถึง 16 โวลต์

หมายเลข 10 คือ ไอซีเบอร์ LM7805 พร้อมกับตัวระบายความร้อน โดยหน้าที่ของ LM7805 คือการทำให้แรงดันคงที่ตามคุณสมบัติของมันคือคงที่ๆ +5 โวลต์

2) ออกแบบวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์สัญญาณ

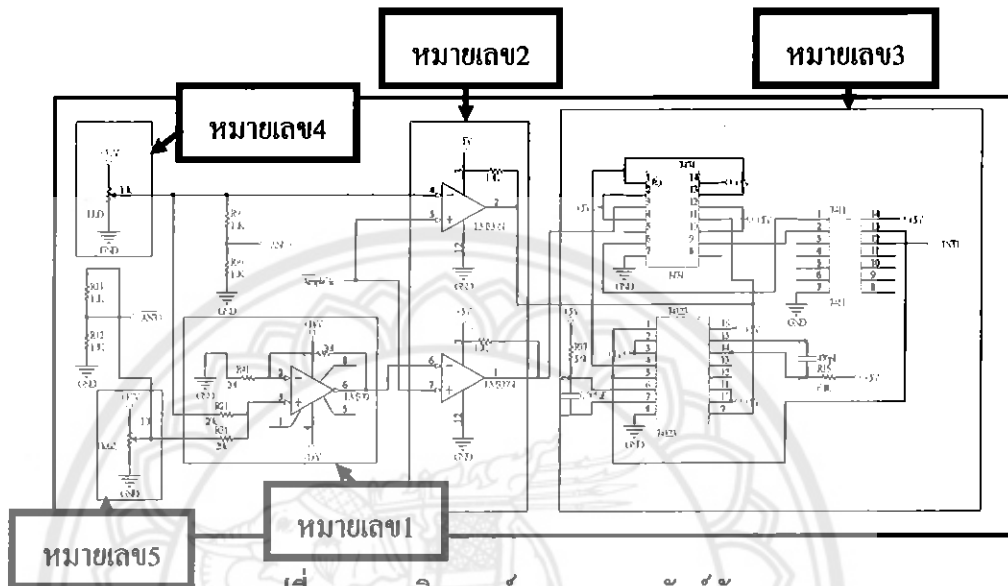
แผนภาพผังรูปที่ 3.7 แสดงการออกแบบวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ โดยส่วนที่ 1 คือสัญญาณที่มาจากภาคขยาย ส่วนที่ 2 คือวงจรเปรียบเทียบแรงดันซึ่งจะใช้ออปแอมป์เบอร์ LM339 สร้างเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยจะเปรียบเทียบแรงดันขาเข้า (สัญญาณที่มาจากภาคขยาย) กับระดับสัญญาณแรงดันอ้างอิงที่เกิดจากการปรับคิสตรีมิเนเตอร์ระดับต่ำ หรือปรับค่าเคลด้าอี โดยผลของการเปรียบเทียบจะได้สัญญาณขาออกที่มีระดับลอจิกพัลส์ถูกจำกัดอยู่ที่แรงดันไฟเลี้ยงของออปแอมป์



รูปที่ 3.7 แผนผังการออกแบบวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ

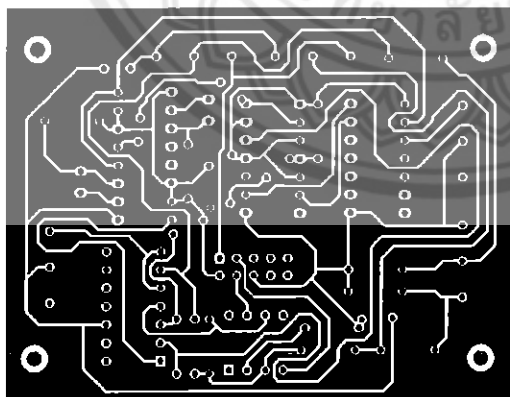
ส่วนที่ 3 คือวงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟสโดยใช้ออปแอมป์เบอร์ LM741 จะสร้างเป็นวงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟส ซึ่งมีหน้าที่รวมสัญญาณที่เกิดจากการปรับคิสตรีมิเนเตอร์ระดับต่ำ หรือปรับค่าเคลด้าอี ผลลัพธ์จะได้สัญญาณขาออกเป็นบวก ซึ่งจะใช้เป็นระดับแรงดันอ้างอิงให้กับออปแอมป์เบอร์ LM339 สำหรับส่วนที่ 4 คือวงจรดิจิทัลที่สร้างจากวงจรฟลิปฟลอปเบอร์ 7474 วงจรหน่วงเวลาชนิดโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์เบอร์ 74123 และไอซีดิจิทัลเบอร์ 7411 เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ออกมาพัลส์ออกมา

สำหรับวงจรดังรูปที่ 3.8 เป็นวงจรที่ได้ออกแบบบนสกีแมติกโคอะแกรม (Schematic Diagram) เพื่อที่จะพัฒนาชิ้นงาน โดยที่หมายเลข 1 คือวงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟส หมายเลข 2 คือวงจรเปรียบเทียบแรงดัน หมายเลข 3 คือวงจรดิจิทัล หมายเลข 4 คือดิสครีมีเนเตอร์ระดับต่ำ หมายเลข 5 คือเคลดค้ำอี

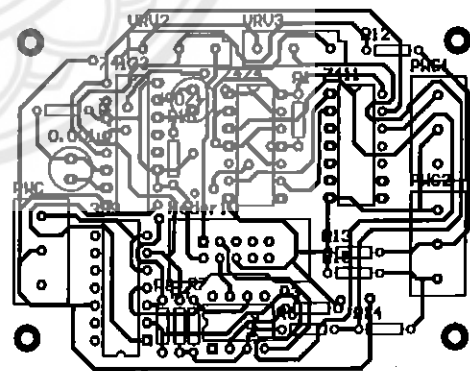


รูปที่ 3.8 วงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์สัญญาณ

3.9 ดังนี้
 วงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์สัญญาณ ถูกออกแบบลายวงจรและจัดอุปกรณ์ดังรูปที่



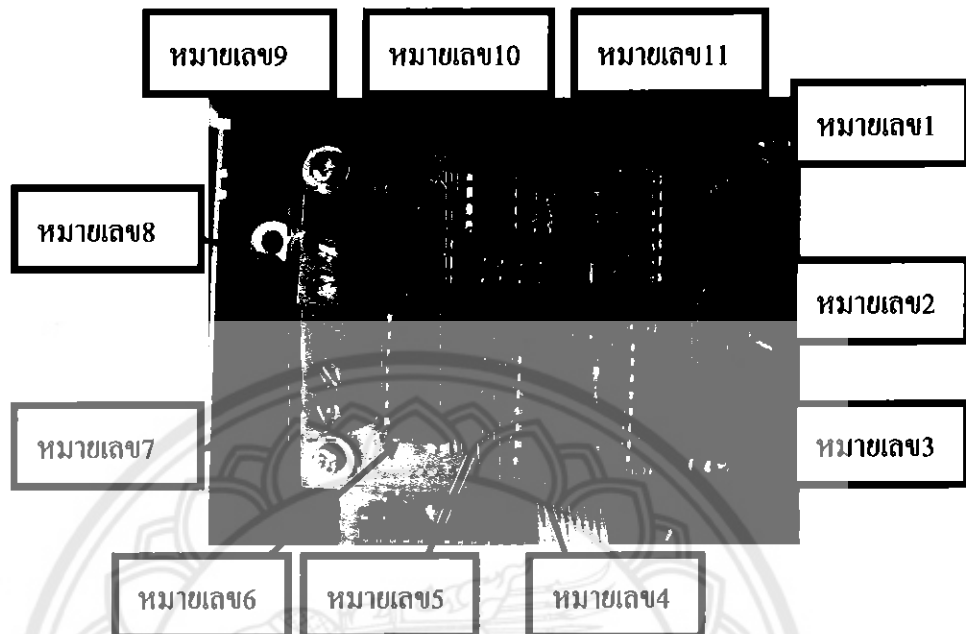
(ก) ออกแบบลายทองแดง



(ข) ตำแหน่งอุปกรณ์ของวงจร

รูปที่ 3.9 การออกแบบวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์สัญญาณ

จากนั้นทำการสร้างวงจรใช้งานจากลายทองแดงข้างต้นและประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรคังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ

หมายเลข 1 คือไอซีเบอร์ LM339 มีหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

หมายเลข 2 คือเทอมินอลสามขาสำหรับรับสัญญาณอินพุตที่มาจากวงจรขยาย

หมายเลข 3,4,6 คือไอซีเบอร์ 74123,7474 และ 7411 โดยทั้งสามเบอร์นี้จะต่อกันเป็นวงจรคิจิตอล เพื่อทำหน้าที่สร้างสัญญาณลอจิกพัลส์สำหรับเป็นสัญญาณอินเทอร์รัปต์ให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์

หมายเลข 5 คือขาเชื่อมต่อสามขามีไว้สำหรับเชื่อมต่อกับแรงดันปรับค่าได้โดยในโครงการนี้ เรียกว่า DEL

หมายเลข 7 คือเทอมินอลสามขาสำหรับเป็นสัญญาณลอจิกพัลส์ขาออก

หมายเลข 8 คือเทอมินอลสามขามีไว้สำหรับเป็นสัญญาณแอนาลอกที่เกิดจากการปรับค่าของ LLD และ DEL

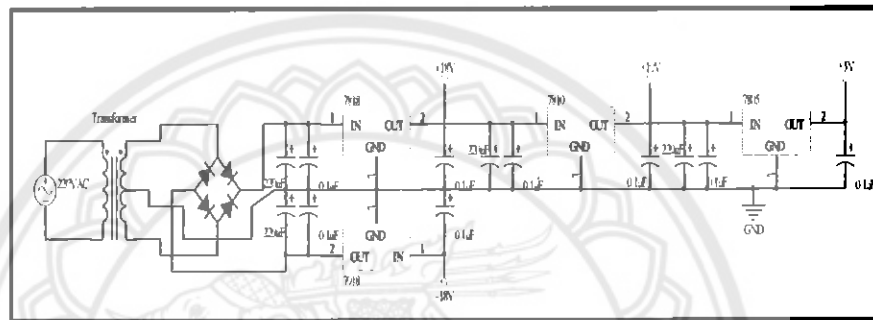
หมายเลข 9 คือไอซีเบอร์ LM741 สำหรับใช้เป็นวงจรรวมสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

หมายเลข 10 คือพอร์ตสปีชขา เป็นจุดรับแรงดันกระแสตรงสำหรับเป็นไฟเลี้ยงวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ

หมายเลข 11 คือพินสามขามีไว้สำหรับเชื่อมต่อกับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้โดยในโครงการนี้ เรียกว่า LLD

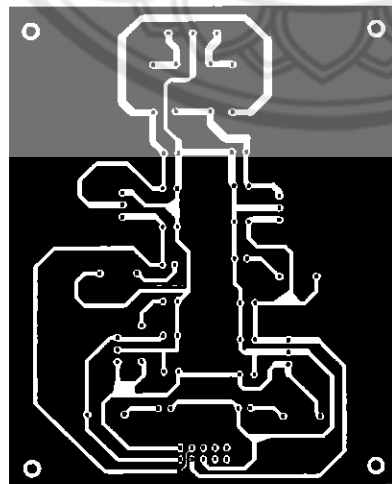
3) ออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 +10 +18 และ -18 โวลต์

หน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรต่างๆวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 +10 +18 และ-18 โวลต์ ใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220-24 โวลต์ ต่อกับวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ เป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full wave rectifier circuit) โดยใช้ตัวเก็บประจุเป็นตัวกรอง และใช้ไอซี LM7805 รักษาแรงดัน 5 โวลต์ ใช้ไอซี LM7810 รักษาแรงดัน 10 โวลต์ ใช้ไอซี LM7818 และ LM7918 รักษาแรงดัน 18 และ -18 โวลต์ สามารถออกแบบวงจรได้ดังรูปที่ 3.11

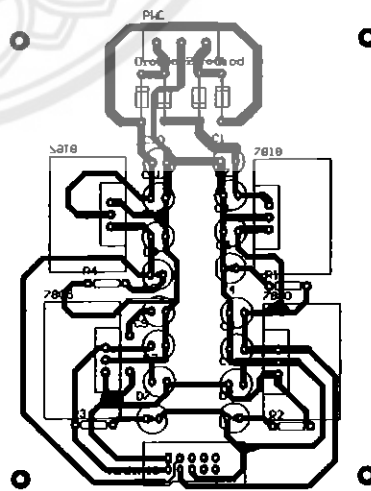


รูปที่ 3.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ถูกออกแบบลายวงจรและจัดอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 3.12 โดยที่รูป (ก) แสดงลายทองแดงเพื่อที่จะทำเอาไปทำแผ่น PCB และรูป (ข) เป็นการจัดเรียงตำแหน่งอุปกรณ์ เพื่อความสะดวกในการดูตำแหน่งขณะทำการเชื่อมตะกั่ว



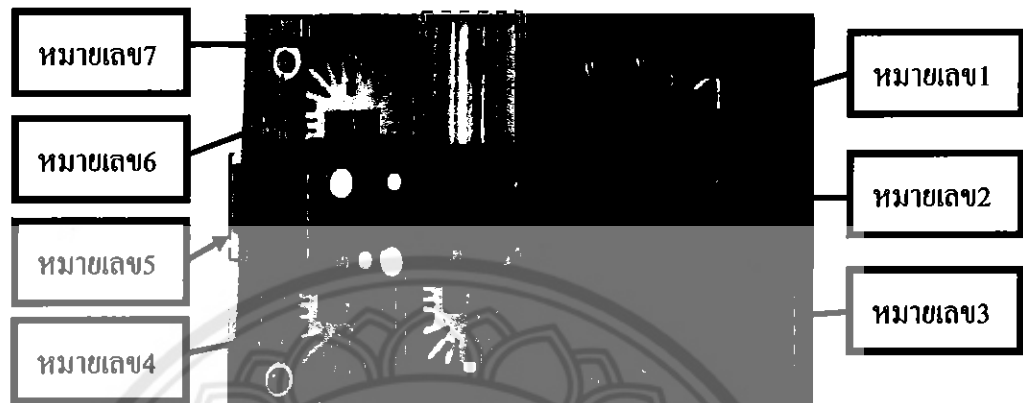
(ก) ออกแบบลายทองแดง



(ข) ตำแหน่งอุปกรณ์

รูปที่ 3.12 การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

จากนั้นทำการสร้างวงจรใช้งานจากลายทองแดงข้างต้นและประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

หมายเลข 1 คือ ไดโอดเบอร์ 1N4001 จำนวนสี่ตัวต่อกันเป็นวงจรแบบบริดจ์

หมายเลข 2 คือ หม้อแปลงขนาด 500 มิลลิแอมป์ 220/24 VAC

หมายเลข 3 คือ ไอซีเบอร์ LM7818 พร้อมด้วยตัวระบายความร้อน ไอซีเบอร์นี้มีไว้สำหรับสร้างแรงดัน +18 โวลต์ กระแสตรง

หมายเลข 4 คือ ไอซีเบอร์ LM7810 พร้อมด้วยตัวระบายความร้อน ไอซีเบอร์นี้มีไว้สำหรับสร้างแรงดัน +10 โวลต์ กระแสตรง

หมายเลข 5 คือ พอร์ตที่นำแรงดันไฟกระแสตรงออกไปใช้งาน

หมายเลข 6 คือ ไอซีเบอร์ LM7805 พร้อมด้วยตัวระบายความร้อน ไอซีเบอร์นี้มีไว้สำหรับสร้างแรงดัน +5 โวลต์ กระแสตรง

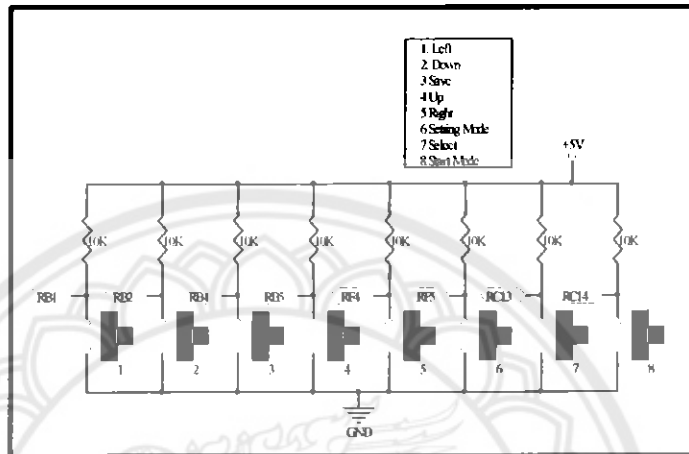
หมายเลข 7 คือ ไอซีเบอร์ LM7918 พร้อมด้วยตัวระบายความร้อน ไอซีเบอร์นี้มีไว้สำหรับสร้างแรงดัน -18 โวลต์ กระแสตรง

4) ออกแบบวงจรสวิตช์ปุ่มกดใช้งาน

ภายในวงจรมีสวิตช์มีทั้งหมด 8 สวิตช์ โดยใช้พอร์ต RB1 RB2 RB4 RB5 RF4 RF5 RC13 และ RC14 ทำหน้าที่ติดต่อกับสวิตช์ โดยสวิตช์ตัวที่ 1 จะติดต่อกับพอร์ต RB1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สวิตช์ตัวที่ 2 ติดต่อกับพอร์ต RB2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สวิตช์ตัวที่ 3 ติดต่อกับพอร์ต RB4 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สวิตช์ตัวที่ 4 ติดต่อกับพอร์ต RB5 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สวิตช์ตัวที่ 5 ติดต่อกับพอร์ต RF4 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สวิตช์ตัวที่ 6

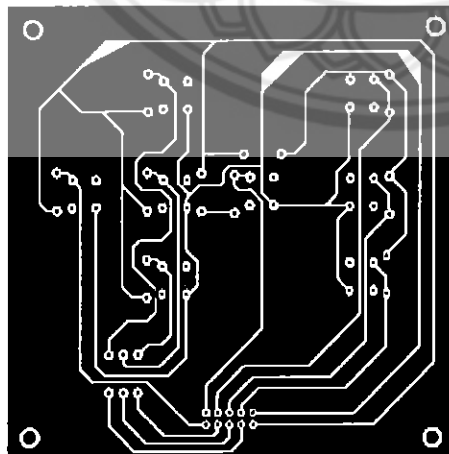
ติดต่อกับพอร์ต RF5 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สวิตช์ตัวที่ 7 ติดต่อกับพอร์ต RC13 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สวิตช์ตัวที่แปดติดต่อกับพอร์ต RC14 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับวงจรดังรูปที่ 3.14 เป็นวงจรที่ได้ออกแบบบนสคีมแมติกไดอะแกรม (Schematic Diagram) เพื่อที่จะพัฒนาชิ้นงาน

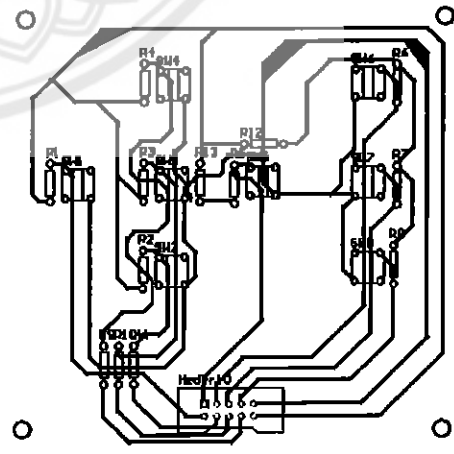


รูปที่ 3.14 การออกแบบวงจรสวิตช์ปุ่มกดใช้งาน

วงจรสวิตช์ปุ่มกดใช้งาน ถูกออกแบบลายวงจรและจัดอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 3.15 โดยที่รูป (ก) แสดงลายทองแดงของวงจรสวิตช์ปุ่มกดใช้งาน เพื่อที่จะทำเอาไปทำแผ่น PCB และรูป (ข) เป็นการจัดเรียงตำแหน่งอุปกรณ์ของวงจร ซึ่งใช้คู่มือเพื่อความสะดวกในการดูตำแหน่งขณะทำการเชื่อมตะกั่ว



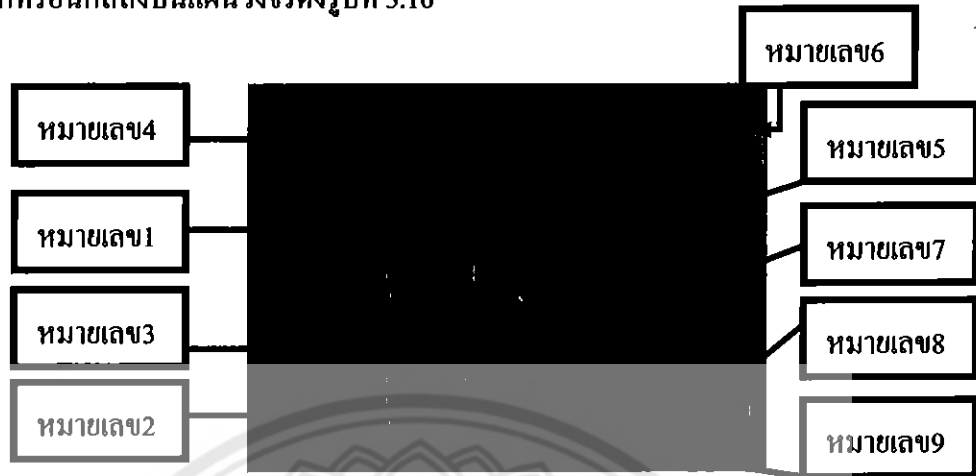
(ก) ออกแบบลายทองแดง



(ข) ตำแหน่งอุปกรณ์

รูปที่ 3.15 การออกแบบวงจรสวิตช์ปุ่มกดใช้งาน

จากนั้นทำการสร้างวงจรใช้งานจากลายทองแดงข้างต้นและประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรดังรูปที่ 3.16

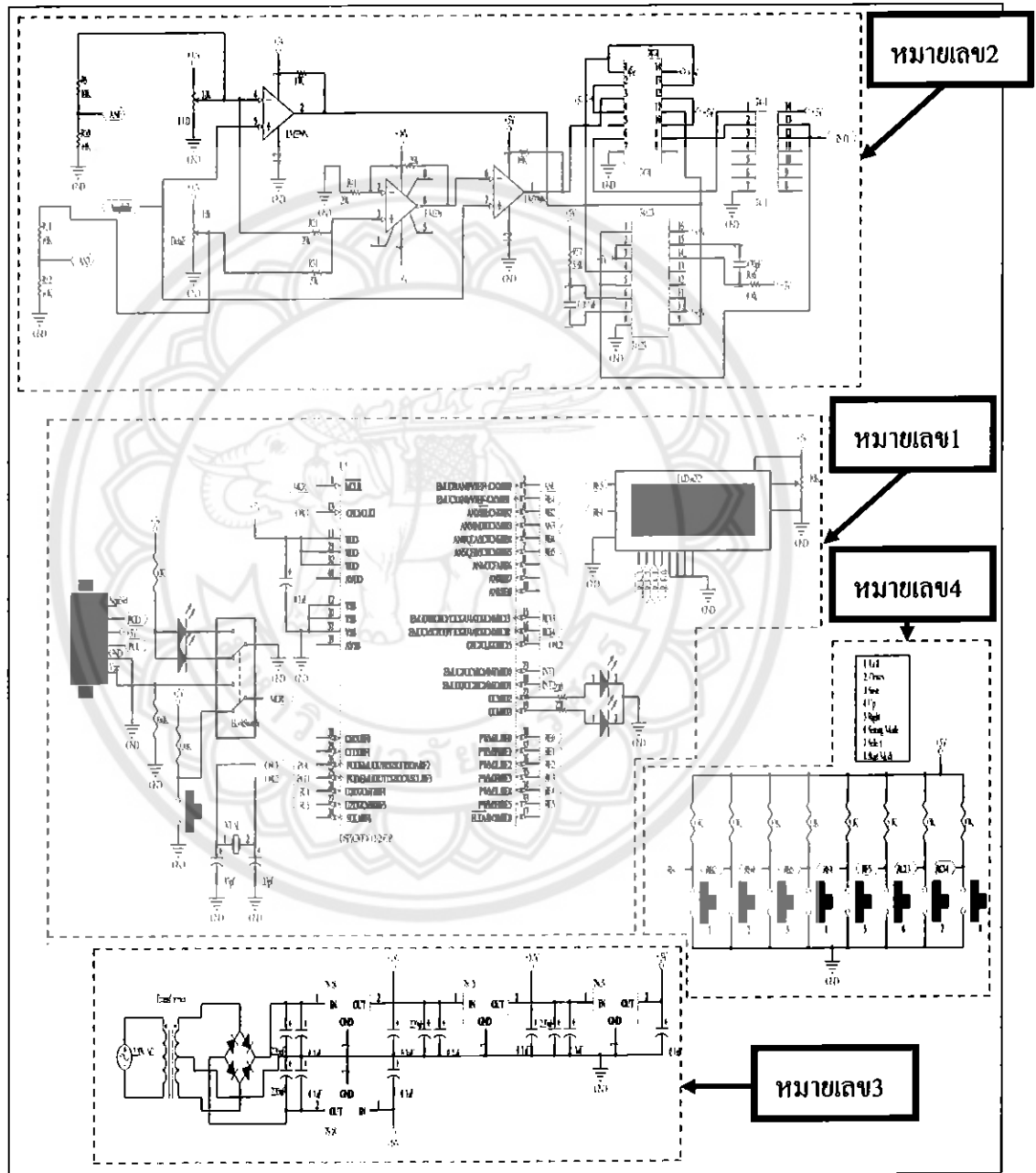


รูปที่ 3.16 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจรสวิตช์ปุ่มกดใช้งาน

- หมายเลข 1 หน้าทีคือ เป็นสวิตซ์ที่ใช้ในการเลื่อนหลักไปทางซ้ายของการตั้งค่าเวลา
- หมายเลข 2 หน้าทีคือ เป็นสวิตซ์ที่ใช้ในการลดจำนวนตัวเลขลงของการตั้งค่าเวลา
- หมายเลข 3 หน้าทีคือ เป็นสวิตซ์ที่ใช้ในการเลือกโหมดต่างๆและเซฟค่าต่างๆที่เกิดจากการตั้งค่าหรือประมวลผลแล้ว
- หมายเลข 4 หน้าทีคือ สวิตซ์ที่ใช้ในการเพิ่มจำนวนตัวเลขลงของการตั้งค่าเวลา
- หมายเลข 5 หน้าทีคือ เป็นสวิตซ์ที่ใช้ในการเลื่อนหลักไปทางขวาของการตั้งค่าเวลา
- หมายเลข 6 หน้าทีคือ เป็น โหมดที่ใช้ในการตั้งค่า LLD,DEL และ TIME
- หมายเลข 7 หน้าทีคือ เป็นสวิตซ์ที่ใช้ในการเลือกตั้งค่าของโหมดต่างๆคือ โหมด LLD,DEL,TIME, START,RECALL,HOME
- หมายเลข 8 หน้าทีคือ เป็น โหมดที่ใช้ในการตั้งค่า START,RECALL และ HOME
- หมายเลข 9 หน้าทีคือ เป็นสวิตซ์ที่ใช้ในการกด Reset โปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

3.2.2 วงจรรวมเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อับเทค

สำหรับรูปที่ 3.17 แสดงการออกแบบวงจรรวมและการเชื่อมต่อของวงจรทั้ง 4 ส่วนคือ หมายเลข 1 คือวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ หมายเลข 2 คือวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ หมายเลข 3 คือวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง หมายเลข 4 คือ วงจรสวิตช์ปุ่มกดใช้งาน

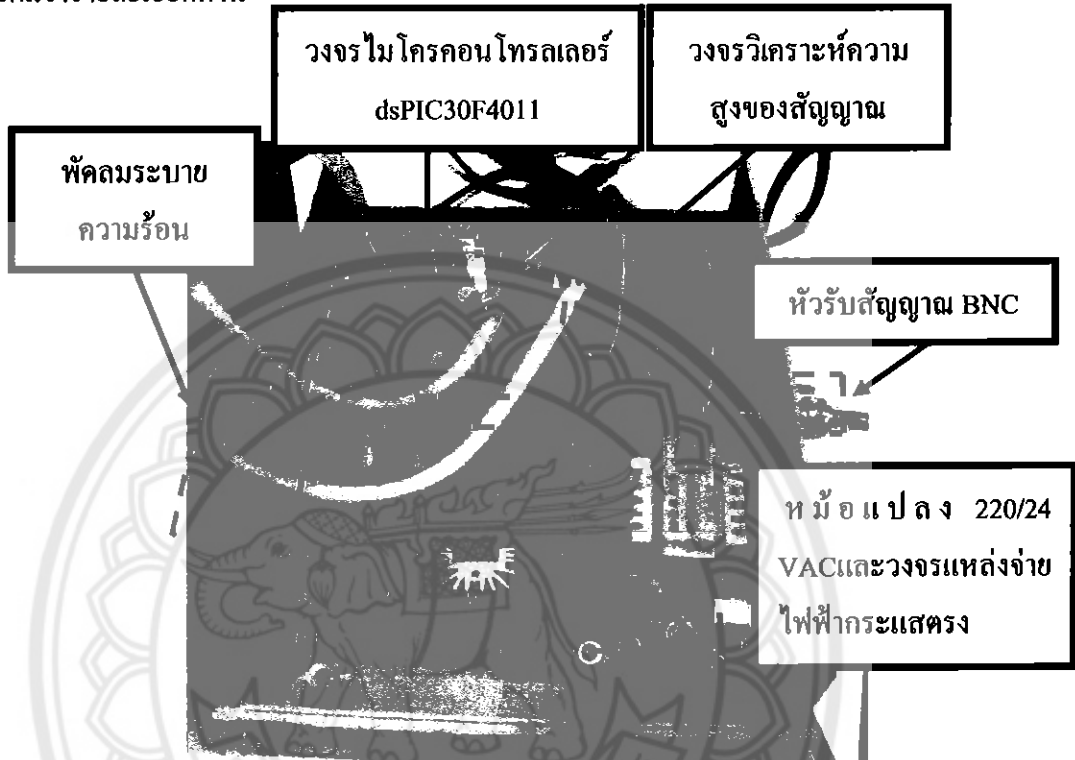


รูปที่ 3.17 วงจรรวมของเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อับเทค

ซึ่งวงจรทั้ง 4 ส่วนนี้สามารถนำมาประกอบใส่กล่องบรรจุชิ้นงานดังกล่าวที่ 3.2.3

3.2.3 การประกอบเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพล

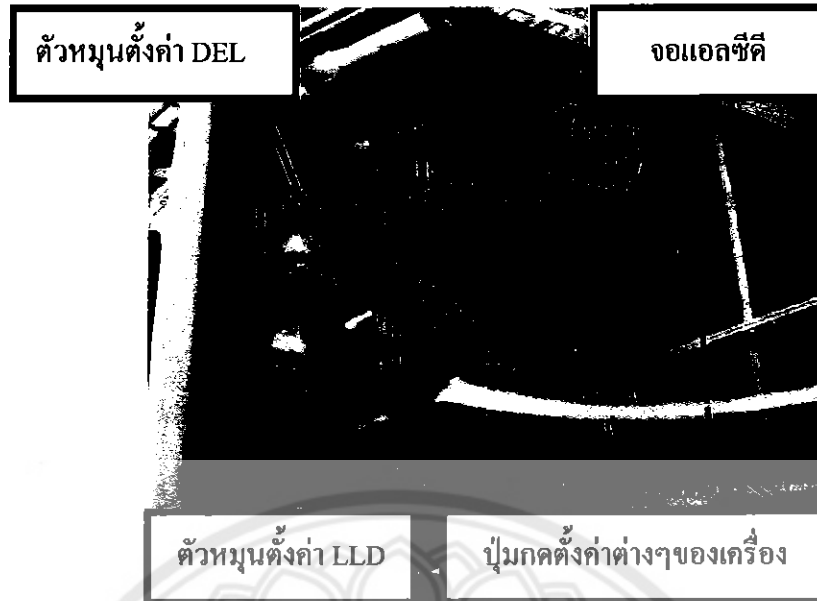
เครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพลที่ทำขึ้นดังรูปที่ 3.18 ถูกประกอบขึ้น 3 ส่วน คือ ส่วนวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์สัญญาณ ส่วนประมวลผลกลาง และส่วนแสดงผล ซึ่งมีการแจกแจงรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.18 วงจรภายในส่วนควบคุม และประมวลผล

ทำการนำวงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ โดยใช้สายไฟเชื่อมตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ และจากนั้นนำสายแพรเชื่อมวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเข้ากับวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณเพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับอปแอมป์และไอซีต่างๆ จากนั้น เชื่อมสายสัญญาณที่มาจากภาคขยายเข้ากับหัวต่อ BNC ที่ติดกับเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพลที่พัฒนาขึ้น

ส่วนกล่องที่นำมาใส่นั้นเป็นกล่องพลาสติกขนาด 17x21x5 (กว้างสูงยาว) เพื่อนำมาป้องกันสัญญาณรบกวนจากสภาวะภายนอก



รูปที่ 3.19 วงจรภายในส่วนตั้งค่าและแสดงผล

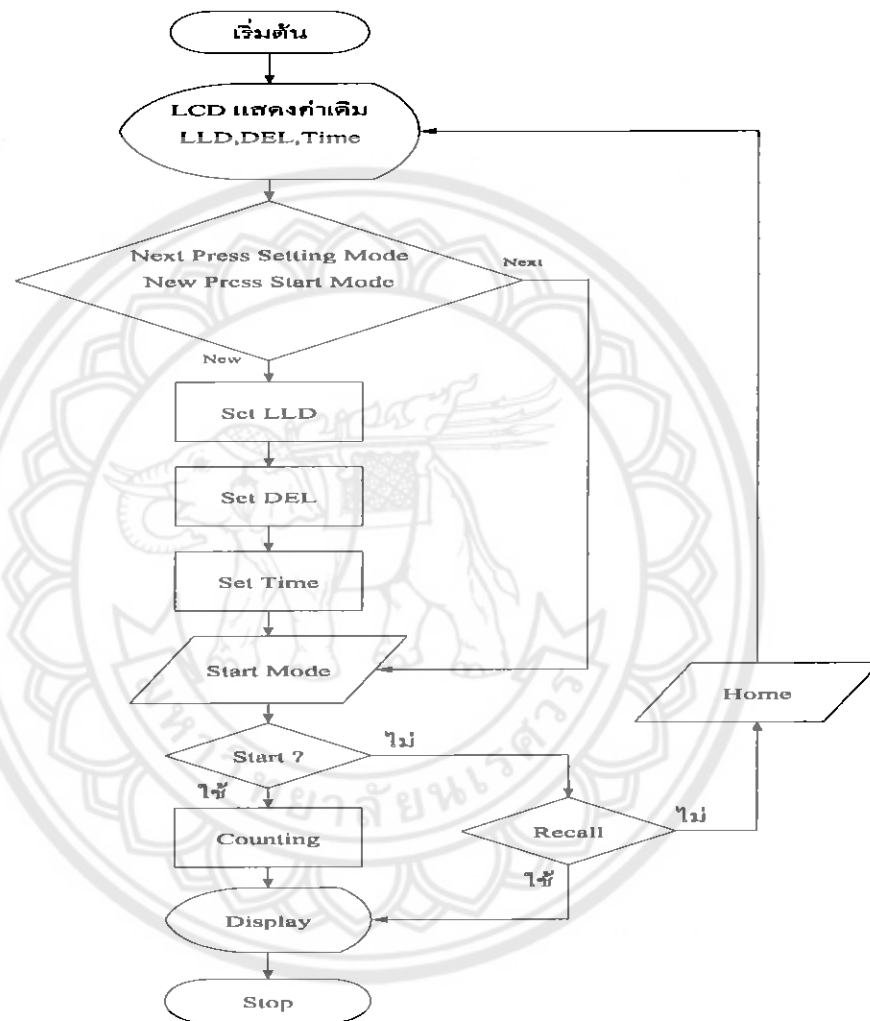
สำหรับรูปที่ 3.19 เป็นส่วนฝากล่อง โดยฝากล่องนี้จะประกอบไปด้วยวงจรสวิตช์ ปุ่มกดใช้งาน จอแสดงผลแอลซีดี และปุ่มปรับ LLD, DEL ทั้งนี้ เพื่อความสะดวกสบายในการใช้งานจึงนำมาติดตั้งดังรูปที่ 3.20 ดังนี้



รูปที่ 3.20 ส่วนประกอบภายนอกของเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์ฮัทเทค

3.3 ออกแบบระบบทางด้านซอฟต์แวร์

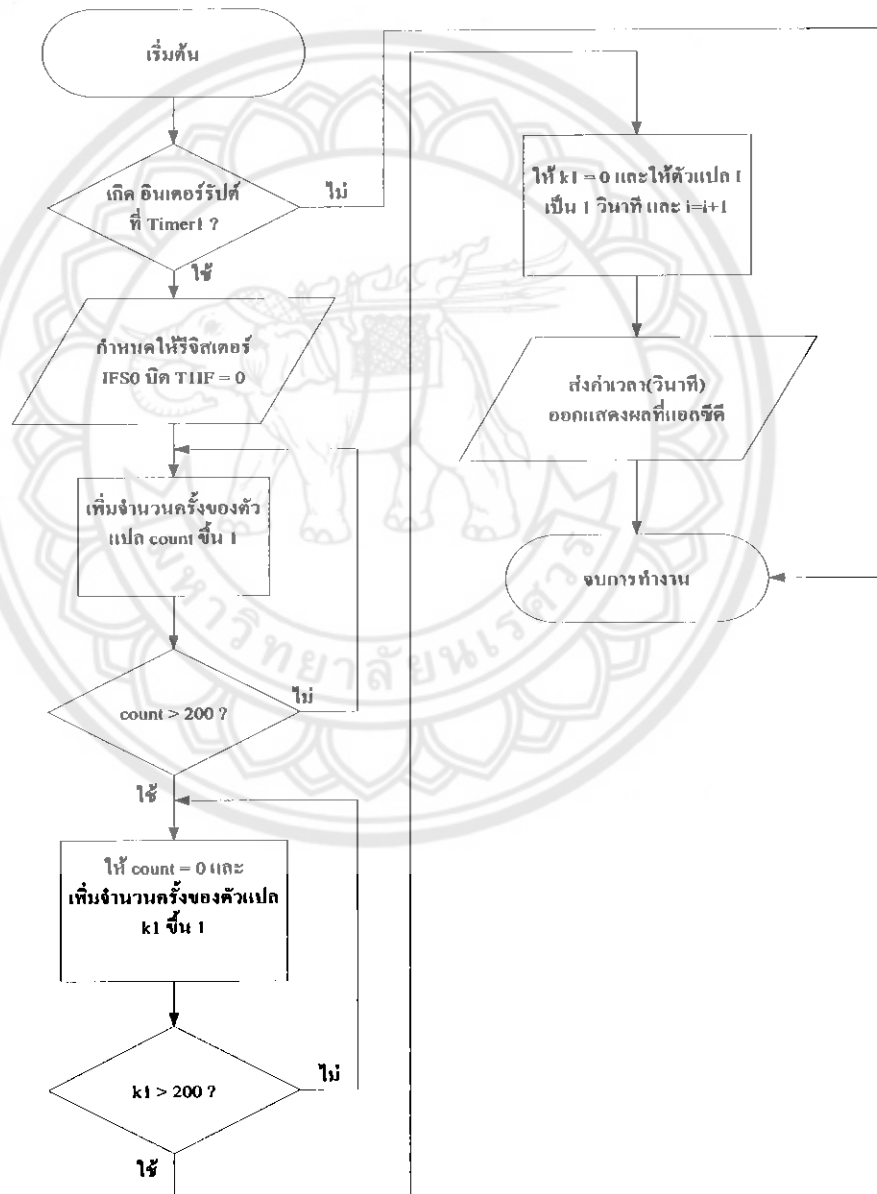
การพัฒนาซอฟต์แวร์ จำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนการทำงานของโปรแกรม ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้โปรแกรมเอเอ็มพีแอล ไอดีอี (MPLAB IDE) และลดความซับซ้อนในกระบวนการคิดของผู้พัฒนาโปรแกรมด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.21 แผนผังการควบคุมระบบเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์ฮัทเทค

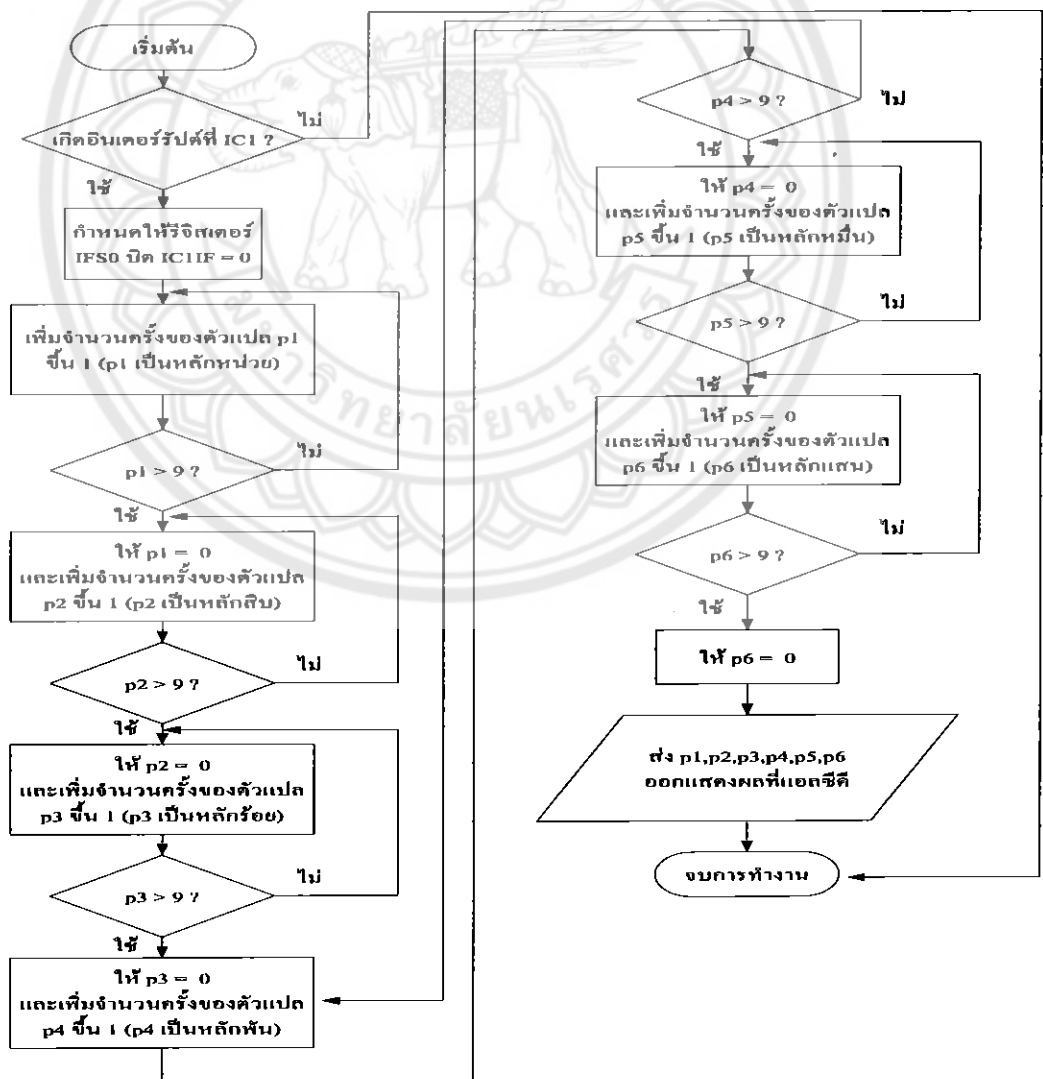
การทำงานของระบบดังรูปที่ 3.21 จากเปิดเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์ฮัทเทค แล้วหน้าจอแอลซีดีจะแสดงค่าตัวเลข LLD,DEL และ Time ที่ได้ตั้งค่าเอาไว้ หลังจากนั้นหน้าจอจะแสดงข้อความคือ "Next Press Setting Mode" และ "New Press Start Mode" ซึ่งหมายความว่า จะตั้งค่าตัวเลข LLD,DEL,Time ใหม่หรือไม่ ถ้าไม่ตั้งค่าใหม่ก็ไปที่ Start Mode ได้เลย หลังจากเข้า Start Mode ก็สามารถเริ่มนับพัลส์สัญญาณได้เลยโดยเลือก Start แต่ถ้าไม่ต้องการเลือก Start ก็สามารถเลือก Recall หรือ Home ได้ตามลำดับ

สำหรับรูปที่ 3.22 เป็นการทำงานของโปรแกรมฐานเวลาในหน่วยวินาที โดยใช้อินเทอร์รัปต์ของ Timer1 เป็นตัวสร้างฐานเวลานั้นคือ เมื่อมีคำสั่งให้เปิดใช้งานอินเทอร์รัปต์ของ Timer1 จะต้องเขียนคำสั่งให้ปิด T1IF ของรีจิสเตอร์ FISO เป็นค่าศูนย์ก่อน จากนั้นก็เพิ่มค่าของตัวแปร count ขึ้นหนึ่ง ถ้าค่าของตัวแปร count มากกว่าสองร้อย สั่งให้ตัวแปร count มีค่าเป็นศูนย์ และให้เพิ่มค่าของตัวแปร k1 ขึ้นหนึ่ง ถ้าค่าของตัวแปร k1 มีค่ามากกว่าสองร้อย ให้ตัวแปร i ซึ่งแทนเวลาเป็นวินาทีที่มีค่าเป็น 1 วินาที และวนรอบการสร้างฐานเวลาเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จากนั้นก็ส่งค่าตัวแปร i ออกแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี



รูปที่ 3.22 แผนผังการทำงาน โปรแกรมฐานเวลาหน่วยวินาที

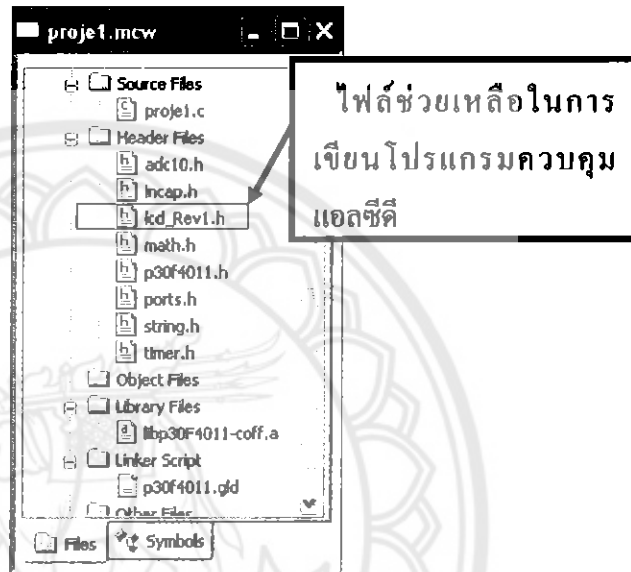
การทำงานของโปรแกรมผังรูปที่ 3.23 เป็นการสร้างโปรแกรมการนับพัลส์สัญญาณโดยใช้อินเทอร์เฟซจากโมดูลตรวจจับสัญญาณภายนอก (Input Capture) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 โดยขั้นตอนแรกต้องกำหนดคิวิตชื่อ IC1IF ของรีจิสเตอร์ FISO ให้เป็นศูนย์เสียก่อน จากนั้นเพิ่มจำนวนครั้งของตัวแปร p1 (p1 แทนหลักหน่วย) ขึ้นหนึ่ง ถ้า p1 มีค่ามากกว่า 9 ให้ p1 มีค่าเป็น 0 และเพิ่มค่า p2 (p2 แทนหลักสิบ) ขึ้นหนึ่ง ถ้า p2 มีค่ามากกว่า 9 ให้ p2 มีค่าเป็น 0 และเพิ่มค่า p3 (p3 แทนหลักร้อย) ขึ้นหนึ่ง ถ้า p3 มีค่ามากกว่า 9 สั่งให้ p3 มีค่าเป็น 0 และเพิ่มค่า p4 (p4 แทนหลักพัน) ขึ้นหนึ่ง ถ้า p4 มีค่ามากกว่า 9 สั่งให้ p4 มีค่าเป็น 0 และเพิ่มค่า p5 (p5 แทนหลักหมื่น) ขึ้นหนึ่ง ถ้าค่าตัวแปร p5 มีค่ามากกว่า 9 สั่งให้ p5 มีค่าเป็น 0 และเพิ่มค่า p6 (p6 แทนหลักแสน) ขึ้นหนึ่ง โดยถ้า p6 มีค่ามากกว่า 9 เขียนคำสั่งให้ p6 มีค่าเป็นศูนย์ และจบการทำงานของโปรแกรมเช่นนี้ไปเรื่อยๆ แล้วส่งค่าตัวแปร p1,p2,p3,p4,p5,p6 แสดงผลออกหน้าจอแอลซีดี เป็นอับจบการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.23 แผนผังการทำงานของโปรแกรมนับสัญญาณพัลส์

3.3.1 การเขียนโปรแกรมควบคุมการแสดงผลออกทางจอแสดงผลแอลซีดี

ในการใช้งานจอแสดงผลแอลซีดีจำเป็นต้องมีไฟล์ไลบรารีของจอแสดงผลแบบ 16 ตัวอักษรแบบ 2 บรรทัด เพื่อใช้งานฟังก์ชันต่างๆของจอแสดงผลแอลซีดี ในโครงการนี้ใช้ไฟล์เฮดเดอร์ที่ชื่อ "lcd_Rev1.h" ดังรูปที่ 3.24 ส่วนตัวอย่างการเรียกใช้งานฟังก์ชันสามารถดูได้ในภาคผนวก ก



รูปที่ 3.24 ไฟล์เฮดเดอร์ "lcd_Rev1.h"

ซึ่งในการใช้งานนั้นจะต้องมีการระบุตำแหน่งการแสดงผลของจอแสดงผลแอลซีดีถูกระบุเป็นตัวเลขฐาน 16 โดยแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การระบุตำแหน่งของจอแอลซีดีแสดงผล

ตำแหน่งที่	การระบุตำแหน่งของบรรทัดที่ 1	การระบุตำแหน่งของบรรทัดที่ 2
1	0x80	0xC0
2	0x81	0xC1
3	0x82	0xC2
4	0x83	0xC3
5	0x84	0xC4
6	0x85	0xC5
7	0x86	0xC6
8	0x87	0xC7
9	0x88	0xC8

ตารางที่ 3.2 การระบุตำแหน่งของจอแอลซีดีแสดงผล (ต่อ)

ตำแหน่งที่	การระบุตำแหน่งของบรรทัดที่ 1	การระบุตำแหน่งของบรรทัดที่ 2
10	0x89	0xC9
11	0x8A	0xCA
12	0x8B	0xCB
13	0x8C	0xCC
14	0x8D	0xCD
15	0x8E	0xCE
16	0x8F	0xCF

การใช้งานฟังก์ชันสำหรับโครงงานนี้มี 3 ฟังก์ชัน คือ `lcd_command`, `lcd_puts` และ `inttoled` ซึ่งทั้งสามฟังก์ชันนี้สามารถอธิบายการเขียนโปรแกรมใช้ได้ดังต่อไปนี้

1) การทดลองใช้งานฟังก์ชัน `lcd_command` สามารถเรียกใช้งานโดยมีรูปแบบดังนี้

ก 1) `lcd_command (unsigned char com)`

ข 1) พารามิเตอร์ `com` คือ การรับข้อมูลขนาด 1 ไบต์ ถ่ายทอดไปยัง โมดูลแอลซีดี

ส่วนของคำสั่งที่ใช้ในโครงงานนี้จะใช้ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.3 ชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของโมดูลแอลซีดี

คำสั่งการทำงาน(LCD Command)	ค่าที่ส่งให้กับโมดูล LCD(Hex)
LCD On, & cursor blink	0x0F

จากตารางที่ 3.3 สามารถเขียนรหัสโปรแกรมได้ดังนี้

ค 1) `lcd_command(0x86); //ระบุตำแหน่ง`

ง 1) `lcd_command(0x0F); //สั่งให้ตำแหน่งที่ 0x86 บนจอแอลซีดีกระพริบ`

2) การทดลองใช้ฟังก์ชัน `lcd_puts` สามารถเรียกใช้งานโดยมีรูปแบบดังนี้

ก 2) `lcd_puts(unsigned char line, "com")`

ข 2) พารามิเตอร์ `line` คือการระบุตำแหน่งบน โมดูลแอลซีดี

ค 2) พารามิเตอร์ `com` คือการระบุตำแหน่งบน โมดูลแอลซีดี

จากรูปแบบของฟังก์ชันใช้งานของ lcd_puts สามารถเขียนรหัสโปรแกรมได้ดังนี้

```

lcd_clear(); //คำสั่งเคลียร์หน้าจอของแอลซีดี
lcd_puts(LINE1, "Press Select") //บรรทัดที่หนึ่งแสดงข้อความ " Press Select"
lcd_puts(LINE2, "1.LLD 2.DEL"); //บรรทัดที่สองแสดงข้อความ " 1.LLD 2.DEL"
lcd_delay(1000); //หน่วงเวลาหนึ่งวินาที
lcd_clear(); //คำสั่งเคลียร์หน้าจอของแอลซีดี
lcd_puts(LINE1, "3.Time 4.Start"); //บรรทัดที่หนึ่งแสดงข้อความ " 3.Time 4.Start"
lcd_delay(1000); //หน่วงเวลาการแสดงผลหนึ่งวินาที

```

3) การทดลองใช้ฟังก์ชัน inttoled สามารถเรียกใช้งาน โดยมีรูปแบบดังนี้

ก 3) inttoled(unsigned char line_sel,int value)

ข 3) พารามิเตอร์ line_sel คือการรับข้อมูลคำสั่งขนาดหนึ่งไบต์ ถ่ายทอดไปยังโมดูลแอลซีดี เพื่อกำหนดแอดเดรสเริ่มต้น ให้กลุ่มข้อความที่จะส่งไป

ค 3) พารามิเตอร์ value คือการรับข้อมูลจำนวนเต็มที่ต้องการนำไปแสดงที่แอลซีดี

จากรูปแบบของฟังก์ชันใช้งานของ inttoled สามารถเขียนรหัสโปรแกรมได้ดังนี้

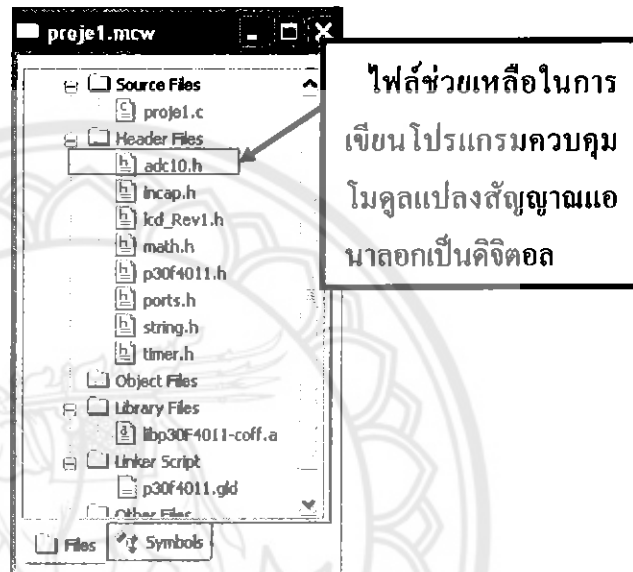
```

lcd_clear(); //คำสั่งเคลียร์หน้าจอแอลซีดี
lcd_puts(LINE1, "LLD: Volt"); //แสดงข้อความ "LLD: Volt" บนบรรทัดที่หนึ่ง
lcd_puts(LINE2, "ULD: Volt"); //แสดงข้อความ " ULD: Volt" บนบรรทัดที่สอง
inttoled(0x85,8); //แสดงบนหน้าจอแอลซีดีตำแหน่งที่ 0x85
inttoled(0xC5,10); //แสดงบนหน้าจอแอลซีดีตำแหน่งที่ 0xC5
lcd_delay(1000); //หน่วงเวลาการแสดงผลหนึ่งวินาที

```

3.3.2 การเขียนโปรแกรมการแปลงแอนาลอกเป็นดิจิตอล 10 บิต

ในการใช้งาน โมดูลแปลงแอนาลอกเป็นดิจิตอลจำเป็นต้องเรียกไฟล์ไลบรารีของโมดูลแปลงแอนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อใช้งานฟังก์ชันต่างๆในไฟล์นั้น ในโครงการนี้ใช้ไฟล์เฮดเดอร์ที่ชื่อ “adc10.h” ดังรูปที่ 3.25 โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ซึ่งค่าที่ได้จากการแปลงจะเป็นจำนวนเต็ม 0 ถึง 1023 ตามสัดส่วนกับแรงดันอินพุต



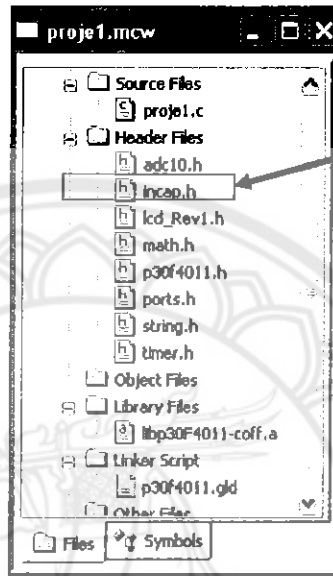
รูปที่ 3.25 ไฟล์เฮดเดอร์ “adc10.h”

โดยมีหลักการการเขียนโปรแกรมใช้โมดูลการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลดังนี้

```
int main(void)
{
    unsigned int result;
    While(1){ //วนรอบการทำงานไม่รู้จบ
        ADCON1bits.SAMP = 1; //เอ็นเอเบิลให้เกิดการสุ่มสัญญาณ
        while(!ADCON1bits.SAMP); //รอกจนกว่าการสุ่มสัญญาณจะเสร็จสิ้น
        ADCON1bits.DONE = 0; //การแปลงสัญญาณยังไม่เสร็จสิ้น
        while(!ADCON1bits.DONE); //รอกจนกว่าการแปลงสัญญาณจะเสร็จ
        ConvertADC10();
        while(BusyADC10());
        result = ReadADC10(0); //เก็บค่าข้อมูลที่ได้จากการแปลง
    }
}
```


3.3.3 การเขียนโปรแกรมใช้ไมโครควบรวมจับสัญญาณอินพุตบน dsPIC30F4011

ในส่วนของการเรียกใช้ไมโครควบรวมจับสัญญาณอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ (เบอร์ dsPIC30F4011) นั้นจำเป็นต้องผนวกเฮดเดอร์ไฟล์ที่ชื่อ "incap.h" ดังรูปที่ 3.26 เข้ากับไฟล์โปรเจกต์ และในส่วนของการเขียนโปรแกรมนั้น กำหนดค่าในรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้



ไฟล์ช่วยเหลือในการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครควบรวมจับสัญญาณขาเข้า

รูปที่ 3.26 ไฟล์เฮดเดอร์ "incap.h"

สามารถพัฒนาโปรแกรมได้ดังต่อไปนี้

```
void IC1_init()
{
    INTCON1bits.NSTDIS = 0; //ขอมให้เกิดอินเตอร์รัปต์ซ้อน
    IFS0bits.IC1IF = 0; //ไม่ให้มีการแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์
    IEC0bits.IC1IE = 0; //ปิดการเกิดอินเตอร์รัปต์แบบ CN
    IPC0bits.IC1IP = 0b001; //ระดับความสำคัญของการเกิดแบบ CN เท่ากับหนึ่ง
    IC1CONbits.ICSIDL = 1;
    IC1CONbits.ICTMR = 0; //ให้ไทเมอร์ตัวที่สามทำงานร่วมกับโหมดนี้
    IC1CONbits.ICI = 0b00;
    IC1CONbits.ICOV = 0;
    IC1CONbits.ICBNE = 0;
    IC1CONbits.ICM = 0b000; //ปิดการทำงานโหมดควบรวมจับสัญญาณอินพุต
    T3CONbits.TON = 1; //สั่งให้ไทเมอร์ตัวที่สามทำงาน
}
```

3.4 การทดลองเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพล

เพื่อทดลองการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพลที่พัฒนาขึ้น โดยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน คือ 1) การทดลองการทำงานของเมนูบนเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพล 2) การทดลองโปรแกรมสร้างฐานเวลาในหน่วยวินาทีและโปรแกรมนับจำนวนสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์ 3) การทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับผลึกหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) [NaI(Tl)] 4) การทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับผลึกหัววัดรังสีซีเซียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) [CsI(Tl)] และหัวข้อสุดท้ายจะเป็นการ วิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งรายละเอียดของผลการทดสอบจะอยู่ในบทที่ 4 ของโครงการ

3.5 สรุปและจัดทำรูปเล่มปริยญาานิพนธ์

สำหรับในหัวข้อนี้จะเป็นการนำผลการออกแบบและผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์และสรุปผล ซึ่งเนื้อหาจะประกอบไปด้วยหัวข้อต่างๆดังต่อไปนี้ 1) สรุป 2) แนวทางการพัฒนาโครงการ 3) ปัญหาและวิธีการแก้ไขปัญหา โดยรายละเอียดจะกล่าวอยู่ในบทที่ 5 ของโครงการ

บทที่ 4

การทดลองเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพล

ในการทดลองนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน คือ 4.1) การทดลองการทำงานของเมนูบนเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพล 4.2) การทดลองโปรแกรมสร้างฐานเวลาในหน่วยวินาทีและโปรแกรมนับจำนวนสัญญาณลจิกพัลส์ที่ทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์ 4.3) การทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) 4.4) การทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) และหัวข้อสุดท้ายคือ 4.5) วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองการทำงานของเมนูบนเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพล

การทดลองในหัวข้อนี้ จะทำการแบ่งการทดลองเมนูบนเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพล คือ การทดลองหน้าหลักของเมนู การทดลอง Setting Mode และ การทดลอง Start Mode ซึ่งสามารถทดลองได้ดังนี้

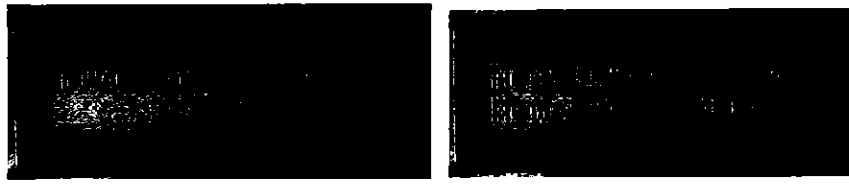
4.1.1 การทดลองหน้าหลักของเมนูบนเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพล

ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงค่าตั้งต้นต่างๆที่ได้มีการปรับค่าเอาไว้แล้ว โดยจะมีการแสดงผลสลับหน้าทั้งหมดสามส่วนโดยวนรอบการทำงานดังนี้



รูปที่ 4.1 หน้าทีหนึ่งของหน้าหลักเมนู

จากรูปที่ 4.1 จะเป็นการแสดงค่าที่เกิดจากการตั้งค่า LLD และ ULD โดยค่าความละเอียดของตัวเลขจะเป็นทศนิยมสองตำแหน่งเพื่อให้ได้ค่าความละเอียดของการนับวัด โดย LLD คือ ค่าอ้างอิงระดับต่ำ และ DEL ค่าความกว้างของช่องพลังงานที่ต้องการจะนับวัดหรือเรียกว่า Window นั้นเอง โดยทั้งสองค่ามีหน่วยเป็น โวลต์



(ก) หน้าจอที่สอง

(ข) หน้าจอที่สาม

รูปที่ 4.2 เป็นหน้าที่สองและหน้าที่สามของหน้าหลักเมนู

จากรูปที่ 4.2 รูป (ก) จะเป็นการแสดงค่าเวลาในการนับจำนวนพัลส์ของรังสีโดยมีหน่วยเป็นวินาที และรูป (ข) เป็นการแสดงข้อความซึ่งมีความหมายดังต่อไปนี้คือ บรรทัดที่หนึ่งบนหน้าจอแอลซีดีมีความหมายคือ กรุณา กด Start Mode ถ้าค่า LLD, DEL และ Time ถูกต้องแล้ว และในบรรทัดที่สองความหมายคือ ทำการตั้งค่าตัวแปร LLD, DEL และ Time ใหม่

4.1.2 การทดลองเมนู Setting Mode

โดยแบ่งการปฏิบัติออกเป็น 7 ขั้นตอนดังนี้

1) จากหน้าหลักของเมนูในหัวข้อที่กล่าวมาข้างต้น ทำการกดปุ่มหมายเลขหกหรือเรียกว่าปุ่ม Setting Mode ค้างไว้จนกว่าจะเปลี่ยนจากหน้าหลักของเมนูไปเป็นหน้าจอดังรูปที่ 4.3 แล้วปล่อยการกด



(ก) หน้าจอหนึ่งใน Setting Mode

(ข) หน้าจอสองใน Setting Mode

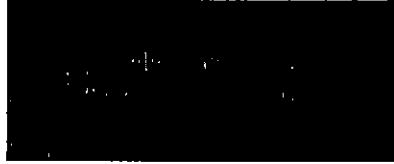
รูปที่ 4.3 แสดงผลภายใน Setting Mode

2) ทำการตั้งค่า LLD โดยให้กดปุ่มสวิทช์หมายเลขเจ็ดหรือเรียกว่าปุ่ม Select ค้างไว้จนกว่าจะเปลี่ยนหน้าจอเป็นดังรูปที่ 4.4

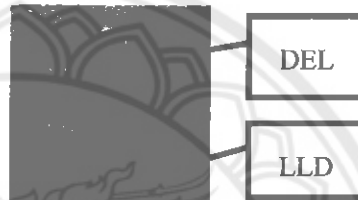


รูปที่ 4.4 หน้าจอการตั้งค่า LLD

3) ทำการกดปุ่มหมายเลขสามหรือที่เรียกว่าปุ่ม Save จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.5 ด้านซ้ายมือแล้วทำการหมุนปรับค่า LLD ที่เป็นตัวหมุนสีน้ำเงินจากตัวหมุนปรับค่าดังรูปที่ 4.6 เมื่อทำการปรับค่าเสร็จก็กดปุ่มหมายเลขสามหรือที่เรียกว่าปุ่ม Save อีกครั้ง



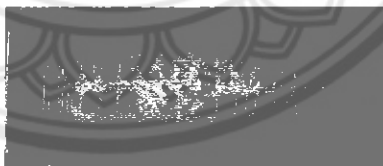
รูปที่ 4.5 หน้าจอภายในโหมมการตั้งค่า LLD



รูปที่ 4.6 ตัวหมุนปรับค่า LLD และ DEL

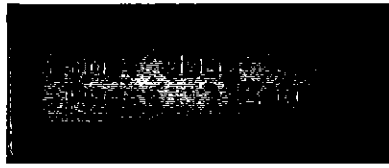
4) ทำการตั้งค่า DEL ด้วยปุ่มหมุนสีแดง โดยหลักการตั้งค่าเหมือนกันกับการตั้งค่า LLD ทุกประการ

5) ทำการตั้งค่า Time โดยให้กดปุ่มสวิทช์หมายเลขเจ็ดหรือเรียกว่าปุ่ม Select ค้างไว้จนกว่าจะเปลี่ยนหน้าจอเป็นดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 หน้าจอโหมมการตั้งค่า Time

6) หลังจากนั้นกดปุ่มหมายเลขสามหรือที่เรียกว่าปุ่ม Save เพื่อไปตั้งค่าเวลาดังรูปที่ 4.8 (หน้าถัดไป) โดยหลักการตั้งค่าคือ ตั้งค่าตัวเลขไปที่ละหลัก โดยมีปุ่มกดหมายเลขสี่หรือเรียกว่าปุ่ม Up เป็นปุ่มเพิ่มตัวเลข และมีปุ่มกดหมายเลขสองหรือเรียกว่าปุ่ม Down เป็นปุ่มลดจำนวนตัวเลขลง และมีปุ่มหมายเลขหนึ่งหรือเรียกว่าปุ่ม Left เป็นปุ่มเลื่อนหลักไปทางซ้าย และมีปุ่มกดหมายเลขห้าหรือเรียกว่าปุ่ม Right เป็นปุ่มเลื่อนหลักไปทางขวา



รูปที่ 4.8 การตั้งค่าTime

7) หลังจากการตั้งค่าทุกอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะเข้าสู่โหมดการเริ่มนับพัลส์ที่เรียกว่า Start Mode ส่วนรายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

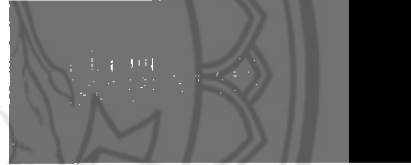
4.1.3 การทดลองเมนู Start Mode

ภายในโหมดการทำงานนี้จะแบ่งย่อยออกเป็นสามโหมดการทำงานคือ Start, Recall และ Home โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

1) จากหน้าหลักของเมนูที่กล่าวมาข้างต้น กดปุ่มหมายเลขแปดหรือเรียกว่า Start Mode ค้างไว้จนหน้าจอจะเปลี่ยนไปเป็นดังรูปที่ 4.9 (ก) และรูปที่ 4.9 (ข) ตามลำดับ



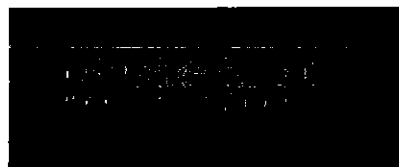
(ก) หน้าทีหนึ่ง ใน Start Mode



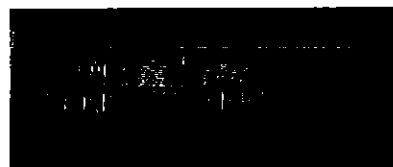
(ข) หน้าที่สอง ใน Start Mode

รูปที่ 4.9 หน้าจอการตั้งค่าใน Start Mode

2) ทำการเลือก Start โดยให้กดปุ่มสวิทช์หมายเลขเจ็ดหรือเรียกว่าปุ่ม Select ค้างไว้จนกว่าจะเปลี่ยนหน้าจอเป็นดังรูปที่ 4.10 ทางด้านซ้ายมือแล้วกดสวิทช์หมายเลขสามเพื่อเริ่มการนับพัลส์สัญญาณและแสดงผลการทำงานดังรูปที่ 4.10 ทางด้านทางขวามือ



(ก) หน้าจอสำหรับเลือก Start



(ข) หน้าจอขณะเริ่มนับพัลส์

รูปที่ 4.10 หน้าจอในโหมด Start

3) หากต้องการเรียกดูค่าผลลัพธ์ที่ภายหลังสามารถเรียกดูได้โดยเข้า โหมค Recall โดยมีหลักการเข้าโหมคนี้ตามขั้นตอนที่ 1 และ 2 ทุกประการซึ่งผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเป็นตามรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ผลลัพธ์ที่เกิดจากการเข้าสู่โหมค Recall

4) การกลับสู่หน้าหลักของเมนูสามารถเลือก Home โดยการกดปุ่มสวิทช์หมายเลขเจ็ด หรือเรียกว่าปุ่ม Select ค้างไว้จนกว่าจะเปลี่ยนหน้าจอเป็นดังรูปที่ 4.12 (ก) แล้วทำการกดปุ่มสวิทช์หมายเลขสาม เพื่อกลับสู่หน้าหลักของเมนูดังรูปที่ 4.12 (ข)



(ก) หน้าจอเพื่อกลับสู่หน้าหลัก

(ข) หน้าจอขณะกำลังทำงาน

รูปที่ 4.12 จอผลลัพธ์เมื่อเข้าโหมค Home

4.2 การทดลองโปรแกรมสร้างฐานเวลาในหน่วยวินาที และโปรแกรมนับจำนวนสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 4.1 ทดลองความเป็นเชิงเส้นของการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ใน 1 วินาที

ความถี่ขอแหล่งกำเนิด รูปสัญญาณ (กิโลเฮิรตซ์)	สัญญาณลอจิกพัลส์ที่นับได้ใน 1 วินาที(พัลส์)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย
1	1001	1001	1001	1001.000	1.000
2	1987	1988	1987	1987.333	12.667
3	2853	2853	2862	2856.000	144.000
4	3788	3919	3918	3875.000	125.000
5	4920	4919	4918	4919.000	81.000
6	5916	5915	5914	5915.000	85.000
7	6896	6895	6895	6895.333	104.667
8	7963	7961	7961	7961.667	33.333
9	8964	8966	8965	8965.000	34.000
10	10048	10048	10044	10046.667	46.667

จากตารางที่ 4.1 เป็นการทดลองโปรแกรมสร้างฐานเวลาในหน่วยวินาที โดยการใช้อินเทอร์รัปต์บนไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 นับจำนวนสัญญาณที่มาจากแหล่งกำเนิดรูปสัญญาณในเวลา 1 วินาทีโดยจะมีค่าความถี่ที่แตกต่างกัน เพื่อหาความแม่นยำในการนำไปใช้นับพัลส์สัญญาณจริง โดยในตารางจะทำการทดลองเป็นจำนวนสามครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าที่ได้จากผลการทดลองมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Mean Absolute Error) หรือเรียกว่าค่า MAE เกิดขึ้นโดยหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |T_i - F_i| \quad (4.1)$$

โดยที่

N = จำนวนตัวแปล

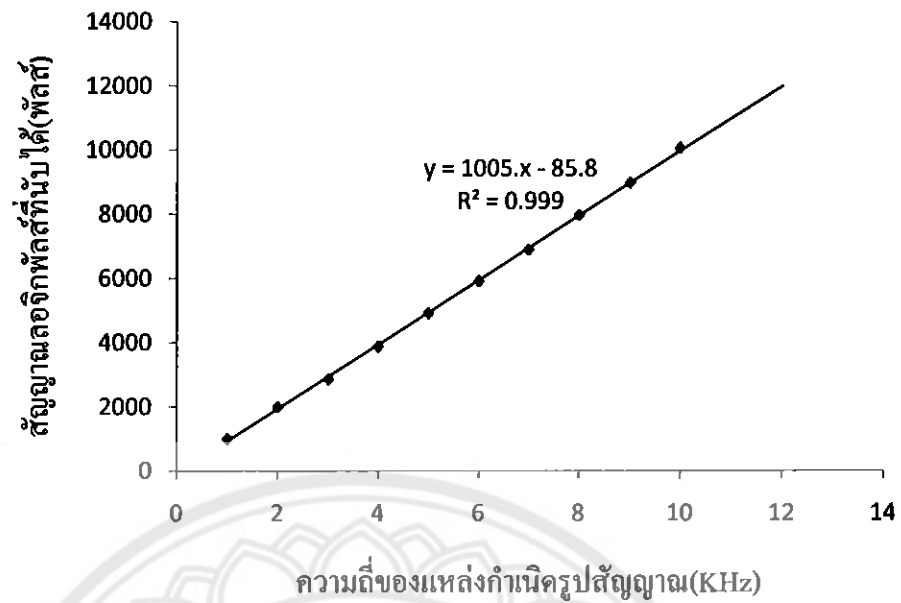
T_i = ค่าจริง

F_i = ค่าที่ได้จากการทดลอง

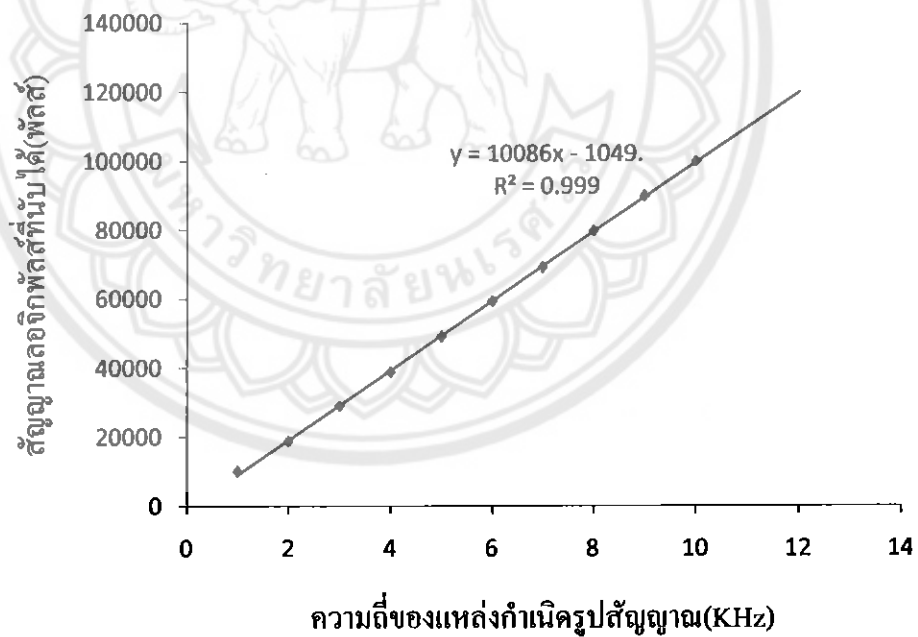
ตารางที่ 4.2 ทดลองความเป็นเชิงเส้นของการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ใน 10 วินาที

ความถี่ของแหล่งกำเนิด รูปสัญญาณ (กิโลเฮิรตซ์)	สัญญาณลอจิกพัลส์ที่นับได้ใน 10 วินาที(พัลส์)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย
1	10068	10057	10009	10044.667	44.667
2	18678	18674	18903	18751.667	1248.333
3	28169	29415	29407	28997.000	1003.000
4	38169	38894	38888	38895.333	1349.667
5	49136	49118	49084	49112.667	887.333
6	59382	59369	59359	59369.667	630.000
7	69231	69211	69205	69215.667	784.333
8	80076	79622	79611	79769.667	281.000
9	90060	90049	90034	90047.667	47.667
10	100071	100063	100040	100058.000	58.000

จากตารางที่ 4.2 เป็นการทดลองโปรแกรมสร้างฐานเวลาในหน่วยวินาที โดยการใช้ อินเตอร์รัปต์บนไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 นับจำนวนสัญญาณที่มาจากแหล่งกำเนิดรูปสัญญาณในเวลา 10 วินาที โดยจะมีค่าความถี่ที่แตกต่างกัน เพื่อหาความแม่นยำในการนำไปใช้นับพัลส์สัญญาณจริง โดยในตารางจะทำการทดลองป้อนจำนวนสามครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าที่ได้จากผลการทดลองมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Mean Absolute Error) หรือเรียกว่าค่า MAE ซึ่งถ้าค่านี้มีค่าน้อยๆก็แสดงว่ามีความแม่นยำมาก



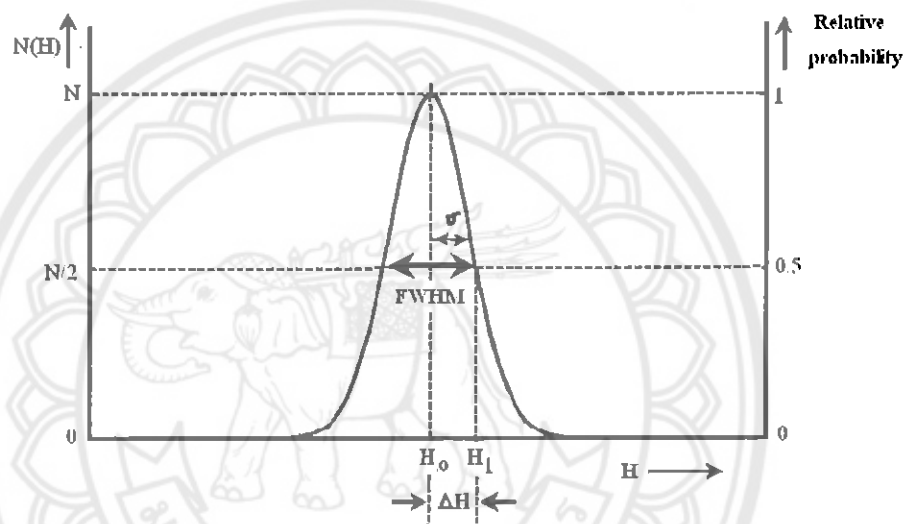
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของแหล่งกำเนิดรูปสัญญาณ(กิโลเฮิรตซ์)กับจำนวนสัญญาณลอจิกพัลส์ที่นับได้ใน 1 วินาที



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของแหล่งกำเนิดรูปสัญญาณ(กิโลเฮิรตซ์)กับจำนวนสัญญาณลอจิกพัลส์ที่นับได้ใน 10 วินาที(พัลส์)

4.3 การทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl)

ในการทดลองหัวข้อนี้ เป็นการทดลองเพื่อหาความสามารถการแจกแจงสเปกตรัมพลังงาน (Energy Resolution) ของการวัดรังสี ซึ่งจะเป็นการบ่งบอกคุณภาพของระบบการวัดรังสี โดยใช้นิยามการวัดความสามารถในการแจกแจงพลังงานของพีคสเปกตรัมไว้ด้วยค่า FWHM (Full-Width at Half Maximum) ซึ่งหมายถึงความกว้างของพีค ณ ตำแหน่งที่จำนวนนับมีค่าครึ่งหนึ่งของจำนวนนับสูงสุด ดังรูปที่ 4.15 แสดงบริเวณจุดตัดของค่านับที่ $N/2$ กับเส้นกราฟ



รูปที่ 4.15 ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน

สมการความสัมพันธ์ของความสามารถในการแจกแจงพลังงานเขียนได้ดังนี้

$$\% \text{Energy Resolution} = \frac{FWHM}{H_0} \times 100 \quad (4.2)$$

เมื่อ

$FWHM$ = ความกว้างของการกระจายค่าสูงของพัลส์บริเวณค่าครึ่งหนึ่งของจำนวนนับรังสี ซึ่งเท่ากับ $2\Delta H$

H_0 = ตำแหน่งของพีคความสูงพัลส์ (peak centroid) หรือค่าเฉลี่ยของความสูงพัลส์

การทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นจะใช้หลักการหาค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงาน ของระบบ 2 ระบบมาเปรียบเทียบกันคือ 1) เครื่องนับวัดรังสีเชิงพาณิชย์ที่ต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) 2) เครื่องนับพัลส์ที่พัฒนาขึ้นต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีชนิดเดียวกันคือซีเซียม 137

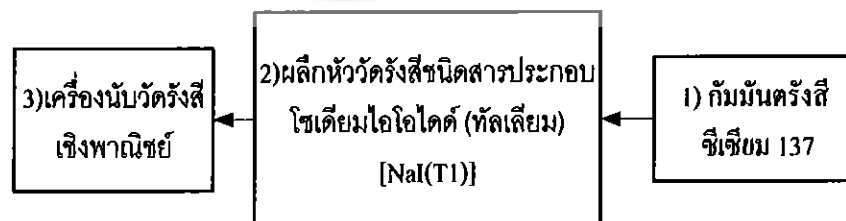


รูปที่ 4.16 หัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl)

จากรูปที่ 4.16 แสดงการวัดการแจกแจงของรังสี โดยเริ่มจากหมายเลข 1 คือกัมมันตรังสีซีเซียม 137 หมายเลข 2 คือผลึก NaI(Tl) หมายเลข 3 คือหลอดโฟโตมัลติพลายเออ ซึ่งทั้งสามส่วนนี้จะถูกนำมาประกอบกับระบบเพื่อหาค่าการแจกแจงพลังงาน ดังต่อไปนี้

4.3.1 การหาค่าการแจกแจงของเครื่องนับวัดรังสีเชิงพาณิชย์ที่ต่อใช้งานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl)

สำหรับรูปที่ 4.17 เป็นการต่อระบบนับวัดของไทรอยด์เพื่อหาค่าการแจกแจงพลังงาน โดยเริ่มจาก 1) กัมมันตรังสีซีเซียม 137 ใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีในการนับวัด 2) หัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) เพื่อใช้ตรวจวัดการกระจายรังสีจากแหล่งกำเนิด และ 3) เครื่องนับวัดรังสีเชิงพาณิชย์ใช้สำหรับนับพัลส์รังสีที่ตรวจวัดได้จากหัววัด

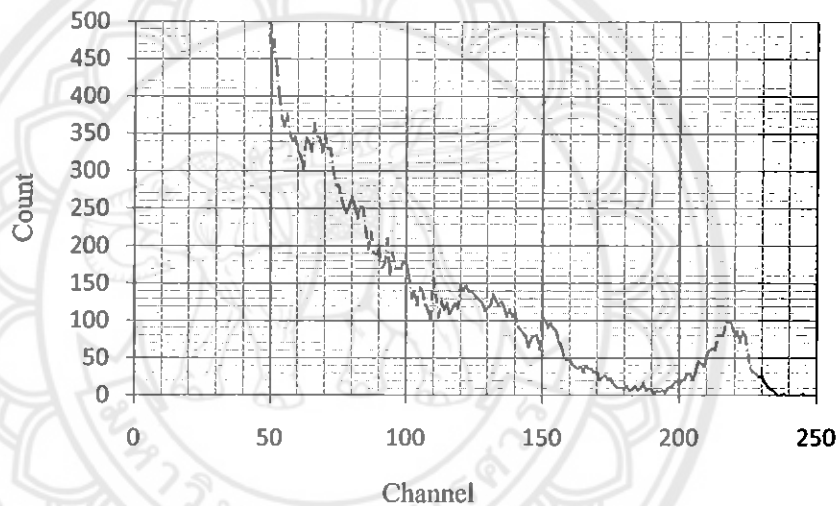


รูปที่ 4.17 การต่อระบบทดลองของเครื่องนับวัดรังสีเชิงพาณิชย์ที่ต่อใช้งานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl)

ผลการทดลองจากการต่อระบบตามหัวข้อที่ 4.3.1 ในบทนี้ สามารถดูได้จากตารางที่ 3 ในภาคผนวก ก โดยเริ่มต้นก่อนการทดลองต้องมีการตั้งค่าตัวแปลดังนี้

ค่า LLD เริ่มต้น	0.02	โวลต์
เคลด้าอี	0.02	โวลต์
เวลาการนับพัลส์	60.00	วินาที

ผลการทดลองดังตารางที่ 3 ในภาคผนวก ก ได้นำมาสร้างกราฟดังรูปที่ 4.18 โดยที่แกนตั้งคือค่าที่ได้จากการนับวัด (Count) และแกนนอนคือหมายเลขช่อง (Channel) ของการนับพัลส์ โดยเริ่มจากช่องที่ 1 จนถึงหมายเลขช่องที่มีค่าการนับวัดเป็นศูนย์อยู่ช่องที่ 249 ซึ่งตรงกับค่า LLD ที่ 4.98 โวลต์ ซึ่งค่าหมายเลขช่องต่อไปจะไม่สามารถนับวัดค่าพัลส์ได้แล้วจึงเป็นเหตุผลที่หยุดค่าที่ช่อง 249



รูปที่ 4.18 การแจกแจงพลังจากต้นกำเนิดรังสีซีซีเอ็ม 137 โดยใช้เครื่องนับวัดรังสีเชิงพาณิชย์ที่ต่อร่วมกับผลึกหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl)

ในการคำนวณหาค่าการแจกแจงพลังงาน จากกราฟนั้น สามารถหาได้จากค่าพีคพลังงาน โดยกราฟที่เกิดพีคพลังงานจะมีลักษณะรูปคล้าย “ระฆังคว่ำ” จากนั้นทำการหาหมายเลขช่องที่ตรงกับยอดของกราฟระฆังคว่ำหรือช่องที่มีการนับวัดสูงสุดคือช่องที่ 218 หรือที่ค่า LLD ตรงกับ 4.36 โวลต์ จากนั้นจะทำการคำนวณหาการแจกแจงพลังงานด้วยวิธีที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นในหัวข้อนี้ นั่นคือทำการหาค่า FWHM โดยนำค่านับวัดสูงสุดที่ตรงกับยอดกราฟรูประฆังคว่ำมาหารครึ่งซึ่งจะตรงกับ ช่องที่ 226 และช่องที่ 208 แล้วหาความกว้างของตำแหน่งครึ่งหนึ่งของค่าการนับวัดสูงสุดนั้นคือค่า $2\Delta H$ นั่นเอง โดยรายละเอียดการคำนวณอธิบายได้ดังนี้

จากสมการที่ (4.2)

$$\%Energy Resolution = \left(\frac{FWHM}{H_0} \right) \times 100$$

$$FWHM = Channel 226 - Channel 208$$

$$= 18$$

$$H_0 = 218$$

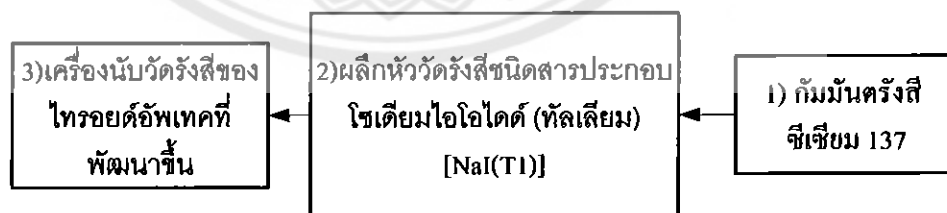
แทนค่า

$$\begin{aligned} \%Energy Resolution &= \frac{18}{218} \times 100 \\ &= 8.26\% \end{aligned}$$

ฉะนั้น ความสามารถในการแจกแจงพลังงานของ Cs-137 โดยเครื่องนับวัดรังสีเชิงพาณิชย์ที่ต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก [NaI(Tl)] มีค่าเท่ากับ 8.26%

4.3.2 การหาค่าการแจกแจงพลังงานของเครื่องนับพัลส์ที่พัฒนาขึ้นต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิด NaI(Tl)

การออกแบบการทดลองดังรูปที่ 4.19 เป็นการต่อระบบของโทรยด์อัทเทคเริ่มจาก 1) ซีเซียม 137 เป็นต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในการทดลอง 2) เป็นหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) ใช้สำหรับตรวจจับรังสี 3) เป็นเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรยด์อัทเทคที่กลุ่มข้าพเจ้าได้พัฒนาขึ้น เพื่อใช้นับพัลส์รังสี

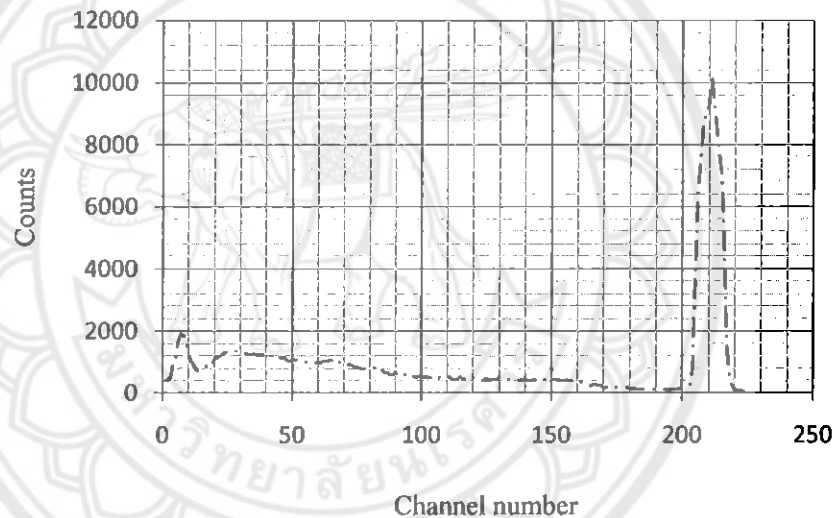


รูปที่ 4.19 การต่อระบบทดลองของเครื่องนับวัดรังสีที่พัฒนาขึ้นต่อใช้งานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl)

จากการทดลองตามหัวข้อที่ 4.3.2 ในบทนี้ทำให้ได้ผลการทดลองซึ่งสามารถดูผลได้ในตารางที่ 1 ในภาคผนวก ก โดยก่อนการทดลองได้กำหนดตัวแปรเริ่มต้นดังนี้

ค่า LLD เริ่มต้น	0.02	โวลต์
เคลด้าอี	0.02	โวลต์
เวลาการนับพัลส์	60.00	วินาที

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 ในภาคผนวก ก ได้นำมาสร้างกราฟดังรูปที่ 4.20 โดยแกนตั้งของกราฟเป็นค่าการนับ พัลส์ที่อ่านได้จากเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพลีที่พัฒนาขึ้น และส่วนของแกนนอนคือหมายเลขช่อง ซึ่งหมายเลขช่องจะเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนค่าของ LLD นั่นคือ หมายเลขช่อง 1 เป็นช่องเริ่มต้นจะตรงกับค่า LLD ที่ 0.02 โวลต์ หมายเลขช่อง 2 จะตรงกับค่า LLD ที่ 0.04 โวลต์ เป็นต้น และหมายเลขช่องจะหยุดที่ช่อง 228 ตรงกับค่า LLD ที่ 4.56 โวลต์



รูปที่ 4.20 การแจกแจงพลังงานจากต้นกำเนิดรังสีซีซีเทียม โดยใช้เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับผลึกหัววัดรังสีชนิด NaI(Tl)

การคำนวณหาค่าการแจกแจงพลังงานจากกราฟ เริ่มจากหาตำแหน่งที่เกิดค่าพีคของพลังงานหรือตำแหน่งยอดของกราฟรูประฆังคว่ำ ซึ่งอยู่หมายเลขช่องที่ 211 ซึ่งเกิดการนับพัลส์สูงสุด หลังจากนั้นหาค่าความกว้างของตำแหน่งครึ่งหนึ่งของค่าการนับวัดสูงสุดหรือค่า FWHM โดยมีรายละเอียดการคำนวณดังต่อไปนี้

จากสมการที่ (4.2)

$$\%Energy\ Resolution = \left(\frac{FWHM}{H_0}\right) \times 100$$

$$FWHM = Channel\ 216 - Channel\ 205$$

$$= 11$$

$$H_0 = 211$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} \%Resolution &= \frac{11}{211} \times 100 \\ &= 5.12\% \end{aligned}$$

ความสามารถในการแจกแจงพลังงานของ Cs-137 โดยเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) มีค่าเท่ากับ 5.12%

4.4 การทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl)

ในหัวข้อที่ 4.4 เป็นการทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อ็อปเทคเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.3 แต่แตกต่างกันในส่วนของหัววัดรังสี ซึ่งหัวข้อนี้จะใช้หัววัดรังสีชนิดผลึกหัววัดรังสี CsI(Tl) ดังรูปที่ 4.21 โดยที่หมายเลข 1 คือ ดันกำเนิดรังสีสำหรับการทดลอง หมายเลข 2 คือผลึกหัววัดรังสี หมายเลข 3 คือหลอดโฟโตมัลติพลายเออ หมายเลข 4 คือ ภาชนะยาสวนหน้า

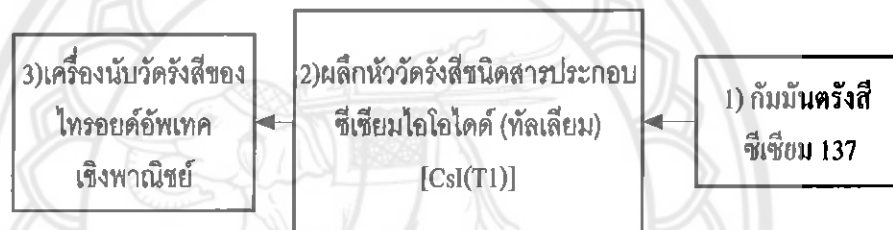


รูปที่ 4.21 หัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl)

การหาประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นจะใช้หลักการหาค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงาน ของระบบ 2 ระบบมาเปรียบเทียบกันคือ 1) เครื่องนับวัดรังสีเชิงพาณิชย์ที่ต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) 2) เครื่องนับพัลส์ที่พัฒนาขึ้นต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีชนิดเดียวกันคือซีเซียม 137 สามารถทำการทดลองได้ดังนี้

4.4.1 การหาค่าการแจกแจงพลังงานของเครื่องนับพัลส์เชิงพาณิชย์ต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl)

สำหรับรูปที่ 4.22 เป็นแผนภาพการทดลองเพื่อหาค่าการแจกแจงพลังงาน โดยเริ่มจาก 1) ซีเซียม 137 ใช้เป็นต้นกำเนิดรังสี 2) หัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) เป็นหัววัดรังสีที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยคณะวิทยาศาสตร์ 3) เครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ ใช้สำหรับนับวัดพัลส์ของรังสี

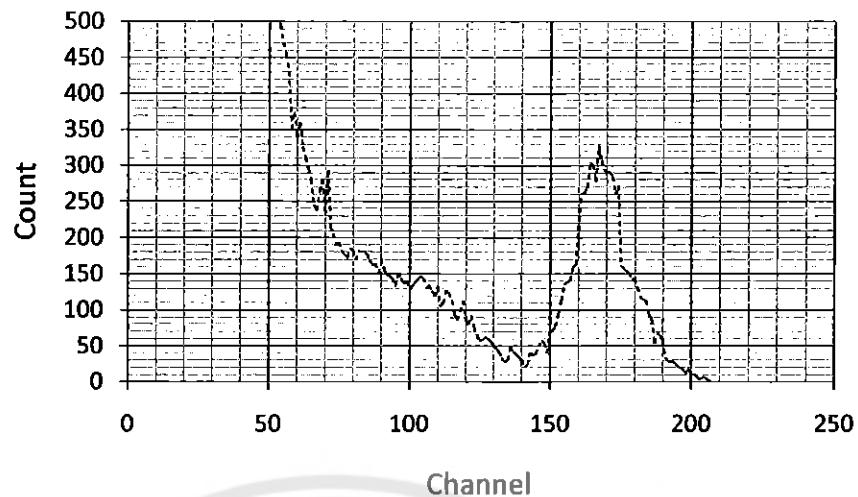


รูปที่ 4.22 การต่อระบบเครื่องนับพัลส์เชิงพาณิชย์ต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl)

ผลการทดลองที่เกิดจากการทดลองตามหัวข้อที่ 4.4.1 นี้ สามารถดูได้ในตารางที่ 4 ในภาคผนวก ก ซึ่งก่อนการเริ่มต้นทดลองต้องมีค่าตัวแปลเริ่มต้นดังนี้

ค่า LLD เริ่มต้น	0.02	โวลต์
เคลด้าอี	0.02	โวลต์
เวลาการนับพัลส์	60.00	วินาที

และการนับพัลส์จะไปหยุดลงที่ LLD มีค่า 4.20 โวลต์ หรือที่หมายเลขช่องที่ 210 ซึ่งการนับสัญญาณพัลส์มีค่าเป็นศูนย์นั่นเอง



รูปที่ 4.23 การแจกแจงจากต้นกำเนิดรังสี ซีเซียม 137 โดยใช้เครื่องนับวัด
รังสีเชิงพาณิชย์ที่ต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl)

จากรูปที่ 4.23 เป็นกราฟที่เขียนขึ้นจากผลการทดลองดังตารางที่ 4 ในภาคผนวก ฎ โดยที่แกนตั้งเป็นข้อมูลการนับ พัลส์สัญญาณจากการตรวจจับรังสี และแกนนอนแสดงข้อมูลหมายเลขช่อง ข้อมูลนี้จะเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนค่า LLD ดังตารางการทดลองที่ 4 ในภาคผนวก ฎ ซึ่งจากกราฟสามารถคำนวณหาค่าการแจกแจงพลังงานของระบบได้จากช่วงของพีคพลังงานที่มีลักษณะรูปประฆังคว่ำของกราฟ โดยรายละเอียดของการคำนวณได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.3 ของบทที่ 4 นี้ ซึ่งแสดงวิธีคิดได้ดังนี้

จากสมการที่ (4.2)

$$\%Energy\ Resolotion = \left(\frac{FWHM}{H_0} \right) \times 100$$

$$FWHM = Channel\ 175 - Channel\ 159$$

$$= 16$$

$$H_0 = 167$$

แทนค่า

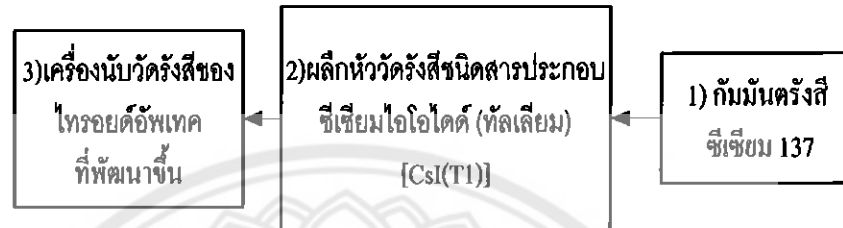
$$\%Resolution = \frac{16}{167} \times 100$$

$$= 9.58\%$$

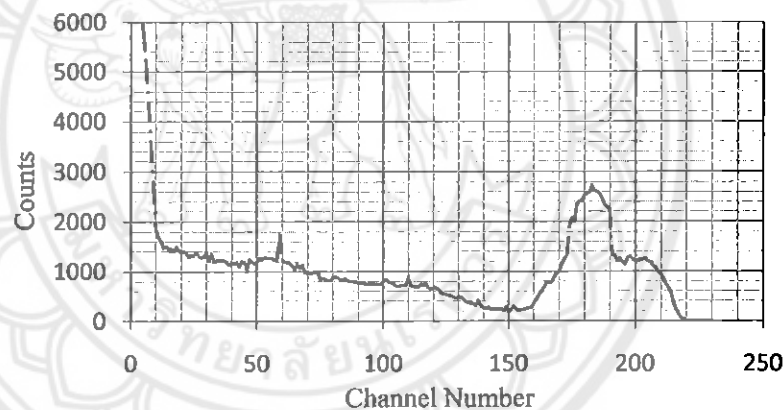
ฉะนั้น ความสามารถในการแจกแจงพลังงานของ Cs-137 โดยใช้เครื่องนับวัดรังสีเชิงพาณิชย์ที่ต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) มีค่าเท่ากับ 9.58%

4.4.2 การหาค่าการแจกแจงพลังงานของเครื่องนับพัลส์ที่พัฒนาขึ้นต่อร่วมกับผลึกหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl)

สำหรับรูปที่ 4.24 เป็นแผนภาพการทดลองเพื่อหาค่าการแจกแจงพลังงาน โดยเริ่มจาก 1) กัมมันตรังสีซีเซียม 137 ใช้เป็นต้นกำเนิดรังสี 2) หัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) 3) เครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อ็อปเทค ใช้สำหรับนับวัดพัลส์ของรังสี



รูปที่ 4.24 การต่อระบบเครื่องนับพัลส์ที่พัฒนาขึ้นต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl)



รูปที่ 4.25 การแจกแจงพลังงานจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 โดยเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl)

ผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.4.2 นี้สามารถดูได้ในตารางที่ 2 ในภาคผนวก ก ซึ่งนำมาสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 4.25 โดยแกนตั้งของกราฟแสดงข้อมูลการนับพัลส์ และแกนนอนแสดงข้อมูลของหมายเลขช่อง และจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนค่าของ LLD ในการคำนวณหาค่าการแจกแจงพลังงานจากกราฟ สามารถทำได้โดยการคำนวณจากช่วงของกราฟที่มีค่าพิคพลังงานหรือช่วงกราฟที่มีลักษณะกราฟคล้ายรูปประฆังคว่ำ จากนั้นทำการหาตำแหน่งของการนับพัลส์สูงสุด ซึ่งจากผลการทดลองคือหมายเลขช่องที่ 183 โดยมีการนับวัดสูงสุดคือ 2723 พัลส์

จากนั้นทำการหาค่าความกว้างของตำแหน่งครึ่งหนึ่งของค่าการนับวัดสูงสุดหรือค่า FWHM ซึ่งหลักการหาค่าได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.3 ของบทที่ 4 นี้ และรายละเอียดสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

จากสมการที่ (4.2)

$$\%Energy\ Resolution = \left(\frac{FWHM}{H_0} \right) \times 100$$

$$FWHM = Channel\ 191 - Channel\ 173$$

$$= 18$$

$$H_0 = 183$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} \%Resolution &= \frac{18}{183} \times 100 \\ &= 9.84\% \end{aligned}$$

ความสามารถในการแจกแจงพลังงานของ Cs-137 โดยเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) มีค่าเท่ากับ 9.84%

4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองประสิทธิภาพของเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัทเทคที่พัฒนาขึ้น ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) การทดลองการทำงานของเมนูบนเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัทเทค 2) การทดลองโปรแกรมสร้างฐานเวลาและโปรแกรมนับจำนวนสัญญาณลจิก 3) การทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นทำงานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ทำงานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) และ 4) การทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นทำงานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ทำงานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

การทดลองการทำงานของเมนูบนเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัทเทค โดยจะเป็นการทดลองการทำงานหน้าหลักของเมนู โดยในส่วนนี้จะแสดงผลอัตโนมัติเมื่อทำการเปิดเครื่องขึ้นมา

ซึ่งหน้าจอก็จะทำการแสดงผลสลับกัน 3 หน้าวนรอบการทำงาน แต่ละหน้าหนึ่งช่วงเวลาประมาณ 2 วินาที หน้าทีหนึ่งของหน้าจอก็จะเป็นการแสดงผลข้อมูลที่ได้ทำการปรับค่า LLD และ DEL ไว้แล้ว หน้าที่สองจะเป็นการแสดงค่าเวลาที่ใช้ในการนับวัด โดยปกติจะใช้ที่ 60 วินาที และหน้าที่สามจะเป็นหน้าจอที่แสดงข้อความให้เลือกว่าจะเข้าสู่โหมดใดในการตั้งค่าใหม่ โดยบรรทัดที่หนึ่งของจอแอลซีดีมีความหมายคือ กรุณาคลิกปุ่มหมายเลขแปดหรือเรียกว่าปุ่ม Start Mode เพื่อเข้าสู่โหมดเริ่มต้นการนับพัลส์ โดยเมื่อกดปุ่ม Start Mode แล้วภายในจะแยกย่อยอีกสามโหมดย่อย คือ Start, Recall และ Home ให้เลือกใช้งาน ส่วนข้อความบนบรรทัดที่สองของจอแอลซีดีมีความหมายคือ กรุณาคลิกปุ่มหมายเลขหกหรือเรียกว่าปุ่ม Setting Mode ซึ่งภายในโหมดการทำงานนี้จะประกอบไปกับการตั้งค่าโหมดทำงานย่อยอีกสี่ส่วนคือ LLD, DEL, Time และ Start ให้เลือกตั้งค่าต่างๆตามการทดลอง

การทดลองโปรแกรมสร้างฐานเวลาในหน่วยวินาทีและโปรแกรมนับลอจิกพัลส์บนไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองตารางการทดลองคือ ตารางที่ 4.1 ในหัวข้อที่ 4.2 บทที่ 4 เป็นการทดลองฐานเวลาการนับ โดยการป้อนรูปสัญญาณที่มีความถี่ตั้งแต่ 1 จนถึง 10 กิโลเฮิร์ตซ์ แล้วสร้าง โปรแกรมฐานเวลาจับเวลาในหนึ่งวินาที โดยทำการทดลองเป็นจำนวนสามครั้งในแต่ละระดับความถี่แล้วหาค่าเฉลี่ยออกมาซึ่งจะเห็นว่าจำนวนลอจิกพัลส์ที่เกิดจากการนับมีค่าน้อยกว่าการคำนวณทางทฤษฎี สืบเนื่องมาจากสาเหตุที่กำหนดความสำคัญของการเกิดอินเตอร์รัปต์ซ้อน และความผิดพลาดจากการปรับค่าความถี่จากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ใช้ทดลอง โดยค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองเมื่อนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของแหล่งกำเนิดรูปสัญญาณ(กิโลเฮิร์ตซ์) กับจำนวนสัญญาณลอจิกพัลส์ที่นับได้ใน 1 วินาที ดังรูปที่ 4.13 ของบทที่ 4 ซึ่งให้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น R^2 เท่ากับ 0.999 ส่วนตารางที่ 4.2 ในหัวข้อที่ 4.2 บทที่ 4 เป็นการทดลองจับเวลาการนับลอจิกพัลส์ในสิบวินาที ซึ่งหลักการทดลองจะเหมือนกันกับตารางที่ 4.1 ทุกประการ และเมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง นำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของแหล่งกำเนิดรูปสัญญาณ (กิโลเฮิร์ตซ์) กับจำนวนสัญญาณลอจิกพัลส์ที่นับได้ใน 10 วินาที ดังรูปที่ 4.14 ของบทที่ 4 ซึ่งให้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น R^2 เท่ากับ 0.999

การทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นต่อใช้งานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) ซึ่งจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพพร้อมกับเครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ต่อใช้งานร่วมกับผลึกหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) ซึ่งค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพเครื่องคือค่าการแจกแจงพลังงาน โดยขั้นตอนจะทำการทดลองหาการแจกแจงพลังงานของระบบเครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ต่อใช้งานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) และใช้ต้นกำเนิดรังสีคือซีเซียม 137 ในการทดลอง โดยรูปที่ 4.18 ของบทที่ 4 เป็นการแสดงการแจกแจงพลังงานจากต้นกำเนิดรังสี ซีเซียม 137 โดยเครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ต่อร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) และทำการหาการแจก

แจกแจงพลังงานของระบบเท่ากับ 8.26 หลังจากนั้นหาค่าการแจกแจงพลังงานของระบบเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นต่อใช้งานร่วมกับผลึกหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) โดยการปรับค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลองดังตารางที่ 4.3 และมีลักษณะการแจกแจงพลังงานดังรูปที่ 4.20 ของบทที่ 4 และหาค่าการแจกแจงพลังงานจากกราฟคือ 5.12

การทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นต่อใช้งานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) ซึ่งจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพพร้อมกับเครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ต่อใช้งานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) โดยหลักการทดลองจะเหมือนกันกับการทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นต่อใช้งานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) ทุกประการ ซึ่งจะมีการตั้งค่าต่างๆตามตารางที่ 4.3 โดยค่าการแจกแจงพลังงานของระบบเครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ต่อใช้งานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) สามารถหาได้จากกราฟการแจกแจงพลังงานดังรูปที่ 4.23 ของบทที่ 4 มีค่าอยู่ที่ 9.58 ส่วนค่าการแจกแจงพลังงานของระบบเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นต่อใช้งานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) ที่พัฒนาขึ้น สามารถหาได้จากกราฟการแจกแจงพลังงานดังรูปที่ 4.25 ของบทที่ 4 มีค่าอยู่ที่ 9.84

ตารางที่ 4.3 การสรุปค่าการแจกแจงพลังงานของระบบที่ได้ทำการทดลอง

ระบบ	เริ่มต้น LLD (โวลต์)	เดลต้าอี (โวลต์)	เวลา (วินาที)	Energy Resolution
1) เครื่องนับพัลส์เชิงพาณิชย์ต่อร่วมกับหัววัดชนิดผลึก NaI(Tl)	0.02	0.02	60	8.26%
2) เครื่องนับพัลส์ที่พัฒนาขึ้นต่อร่วมกับหัววัดชนิดผลึก NaI(Tl)	0.02	0.02	60	5.12%
3) เครื่องนับพัลส์เชิงพาณิชย์ต่อร่วมกับหัววัดชนิดผลึก CsI(Tl)	0.02	0.02	60	9.58%
4) เครื่องนับพัลส์ที่พัฒนาขึ้นต่อร่วมกับหัววัดชนิดผลึก CsI(Tl)	0.02	0.02	60	9.84%

บทที่ 5

สรุป

5.1 สรุป

โครงการนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับนับพัลส์รังสีของระบบโทรอยด์อ็อปเทค ซึ่งเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อ็อปเทคที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถใช้ได้กับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) และหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) โดยใช้ซีเซียม 137 ในการทดลอง

การดำเนินโครงการประกอบไปด้วยขั้นตอนทั้งหมด 5 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลและหลักการทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบระบบทางด้านฮาร์ดแวร์ ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบระบบทางด้านซอฟต์แวร์ ขั้นตอนที่ 4 การทดลองเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อ็อปเทค ขั้นตอนที่ 5 สรุปและจัดทำรูปเล่มปริญาานิพนธ์

ผลการทดลองการทำงานของเมนูบนเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อ็อปเทค ได้ผลคือการทำงานเป็นไปตามที่ได้ออกแบบตามแผนผังรูปที่ 3.21 ในหัวข้อที่ 3.3 ของบทที่ 3

ผลการทดลองโปรแกรมสร้างฐานเวลาและโปรแกรมนับจำนวนสัญญาณลोजิก ได้ผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาสร้างกราฟได้ความเป็นเชิงเส้นของการนับสัญญาณลोजิกพัลส์ที่เวลาการนับ 1 ให้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น R^2 เท่ากับ 0.999 และผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2 ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาสร้างกราฟได้ความเป็นเชิงเส้นของการนับสัญญาณลोजิกพัลส์ที่เวลาการนับ 10 ให้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น R^2 เท่ากับ 0.999 เช่นกัน

ผลการทดลองประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นทำงานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ทำงานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก NaI(Tl) ในหัวข้อที่ 4.3 ของบทที่ 4 พบว่า เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นมีค่าการแจกแจงพลังงานเท่ากับ 5.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในขณะเดียวกับเครื่องนับพัลส์เชิงพาณิชย์ที่มีค่าการแจกแจงพลังงานเท่ากับ 8.26 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นทำงานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพเครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ทำงานร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) ในหัวข้อที่ 4.4 ของบทที่ 4 พบว่า เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้นมีค่าการแจกแจงพลังงานเท่ากับ 9.84 เปอร์เซ็นต์ซึ่งในขณะเดียวกันเครื่องนับพัลส์เชิงพาณิชย์ที่มีค่าการแจกแจงพลังงานเท่ากับ 9.58 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นค่าการแจกแจงพลังงาน จึงเป็นปัจจัยที่บอกถึงความสามารถของระบบนับวัดในการแยกแยะรายละเอียดของพลังงานต่างๆออกจากกันได้

5.2 แนวทางในการพัฒนาโครงการ

นอกจากนี้เครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทคที่พัฒนาขึ้นยังสามารถนำไปพัฒนาต่อ ยอดเป็นแบบเครื่องนับพัลส์รังสีแบบมัลติเชลแนล นั่นคือเครื่องนับพัลส์รังสีของโทรอยด์อัทเทคที่ พัฒนาขึ้นในโครงการเล่มนี้สามารถเปิดวัดพลังงานได้ที่ละหนึ่งช่องเท่านั้นซึ่งจะใช้เวลามากในการ เก็บผลการทดลองแต่ถ้าเป็นแบบมัลติเชลแนลจะสามารถเปิดการวัดช่องพลังงานได้ที่หลายๆ ช่องในเวลาอันสั้น ซึ่งทำให้ประหยัดเวลาในการเก็บผลการทดลองและประหยัดเวลาในการนับวัด รังสี

5.3 ปัญหาและวิธีการแก้ไขปัญหา

5.3.1) ปัญหาคือ เมื่อทำการพัฒนาโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้วแต่โปรแกรมไม่สามารถ ควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานได้ตามที่ต้องการ

วิธีการแก้ไขปัญหาคือ เขียนแผนภาพเพื่อแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของ โปรแกรมขึ้นมาแล้วค่อยทำการเขียนโปรแกรม

5.3.2) ปัญหาคือ วงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากค่า ความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุสำหรับการต่อวงจรของไอซี 74123 ไม่เหมาะสม

วิธีการแก้ไขปัญหาคือ ทำการเปลี่ยนค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุให้ เหมาะสม โดยการคำนวณจากสูตรในหัวข้อที่ 2.6.1 ของบทที่ 2

5.3.2) ปัญหาคือ เมื่อนำวงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเข้าประกอบในกล่องทำให้ วงจรเกิดความร้อนขึ้น

วิธีการแก้ไขปัญหาคือ นำพัดลมระบายความร้อนมาติดเพื่อระบายความร้อนออก จากกล่องใส่ชิ้นงาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง. (2543). พื้นฐานการออกแบบวงจรอย่างง่าย. (1). กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนสามัญ สมาร์ตเลิร์นนิ่ง.
- [2] ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง. (2543). เรียนรู้การใช้งาน Protel DXP Altium Designer 6. (1). กรุงเทพฯ. ห้างหุ้นส่วนสามัญ สมาร์ตเลิร์นนิ่ง.
- [3] ประจัน พลังสันติกุล. (2551). การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ด้วยคอมไพเลอร์ MPLAB C. กรุงเทพฯ: บริษัท แอปซอพท์เทคโนโลยี จำกัด.
- [4] นคร ภักดีชาติ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. (2551). คู่มือการทดลองเบื้องต้น dsPIC Microcontroller ด้วยโปรแกรมภาษา C กับ MPLAB C30. กรุงเทพฯ: บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.





ภาคผนวก ก

รายละเอียดของแอปแม่พิมพ์ หมายเลข LM741

มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ราชบัณฑิตยสถาน

LM741

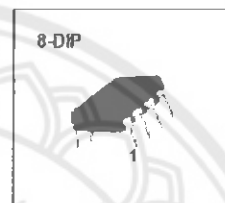
Single Operational Amplifier

Features

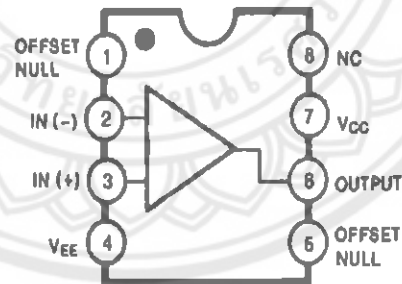
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High Input voltage range
- Null of offset

Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications.

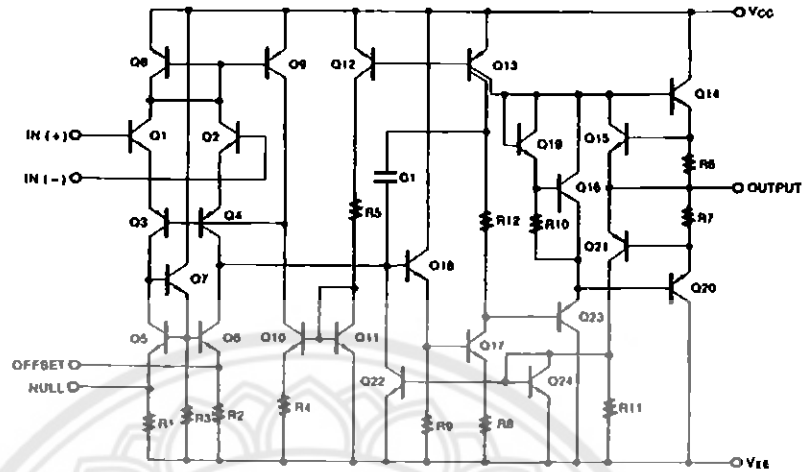


Internal Block Diagram



LM741

Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings (TA = 25°C)

Parameter	Symbol	LM741	Unit
Supply Voltage	VCC	±18	V
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	30	V
Input Voltage	V _I	±15	V
Output Short Circuit Duration	-	Indefinite	-
Power Dissipation	P _D	500	mW
Operating Temperature Range	T _{OPR}	0 - + 70	°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-65 - + 150	°C



ภาคผนวก ข

รายละเอียดของออปแอมป์หมายเลข LM339

LM339, LM239, LM2901, LM2901V, NCV2901, MC3302

Single Supply Quad Comparators

These comparators are designed for use in level detection, low-level sensing and memory applications in consumer, automotive, and industrial electronic applications.

Features

- Single or Split Supply Operation
- Low Input Bias Current: 25 nA (Typ)
- Low Input Offset Current: ± 5.0 nA (Typ)
- Low Input Offset Voltage
- Input Common Mode Voltage Range to GND
- Low Output Saturation Voltage: 130 mV (Typ) @ 4.0 mA
- TTL and CMOS Compatible
- ESD Clamps on the Inputs Increase Reliability without Affecting Device Operation
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Site and Control Changes
- These Devices are Pb-Free, Halogen Free/BFR Free and are RoHS Compliant



ON Semiconductor®

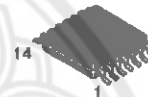
<http://onsemi.com>



80IC-14
D SUFFIX
CASE 751A

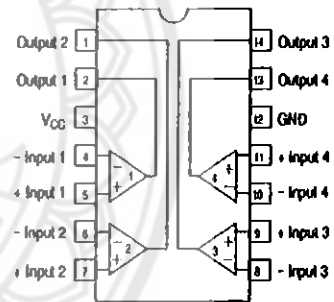


PDIP-14
N, P SUFFIX
CASE 646



TSSOP-14
DTB SUFFIX
CASE 948Q

PIN CONNECTIONS



(Top View)

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 7 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 6 of this data sheet.

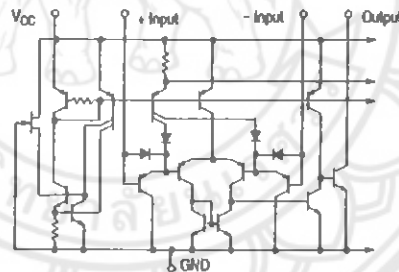
LM339, LM239, LM2901, LM2901V, NCV2901, MC3302

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage LM239/LM339/LM2901, V MC3302	V_{CC}	+36 or ± 18 +30 or ± 15	Vdc
Input Differential Voltage Range LM239/LM339/LM2901, V MC3302	V_{IDR}	36 30	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICMR}	-0.3 to V_{CC}	Vdc
Output Short Circuit to Ground (Note 1)	I_{SC}	Continuous	
Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Plastic Package Derate above 25°C	P_D $1/R_{\theta JA}$	1.0 8.0	W mW/°C
Junction Temperature	T_J	150	°C
Operating Ambient Temperature Range LM239 MC3302 LM2901 LM2901V, NCV2901 LM339	T_A	-25 to +85 -40 to +85 -40 to +105 -40 to +125 0 to +70	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	°C
ESD Protection at any Pin (Note 2) Human Body Model Machine Model	V_{ESD}	1500 200	V

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. The maximum output current may be as high as 20 mA, independent of the magnitude of V_{CC} . Output short circuits to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction.
2. V_{ESD} rating for NCV/SC devices is: Human Body Model - 2000 V, Machine Model - 200 V.



NOTE: Diagram shown is for 1 comparator.

Figure 1. Circuit Schematic



ภาคผนวก ค

รายละเอียดของจอแสดงผลแอลซีดี 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

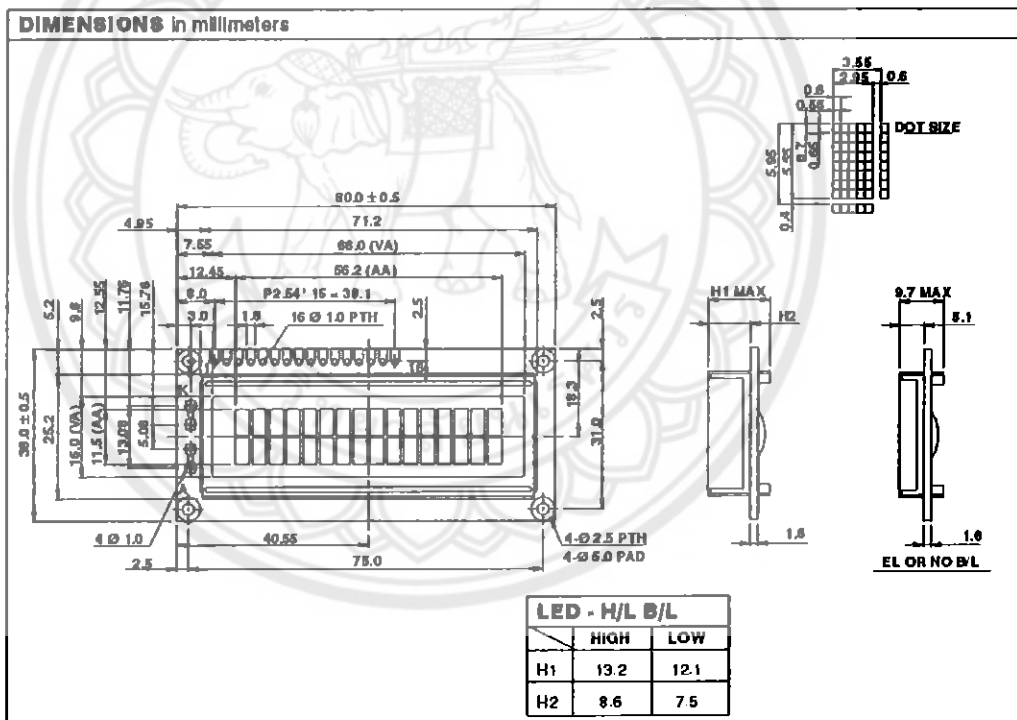
LCD-016M002B

Vishay

16 x 2 Character LCD



PIN NUMBER	SYMBOL	FUNCTION
1	Vss	GND
2	Vdd	+ 3V or + 5V
3	Vo	Contrast Adjustment
4	RS	H/L Register Select Signal
5	R/W	H/L Read/Write Signal
6	E	H →L Enable Signal
7	DB0	H/L Data Bus Line
8	DB1	H/L Data Bus Line
9	DB2	H/L Data Bus Line
10	DB3	H/L Data Bus Line
11	DB4	H/L Data Bus Line
12	DB5	H/L Data Bus Line
13	DB6	H/L Data Bus Line
14	DB7	H/L Data Bus Line
15	AVee	+ 4.2V for LED/Negative Voltage Output
16	K	Power Supply for B/L (OV)





ภาคผนวก ง

รายละเอียดของไอซีเรกกูเลเตอร์ หมายเลข LM7805,7810,7818

Block Diagram

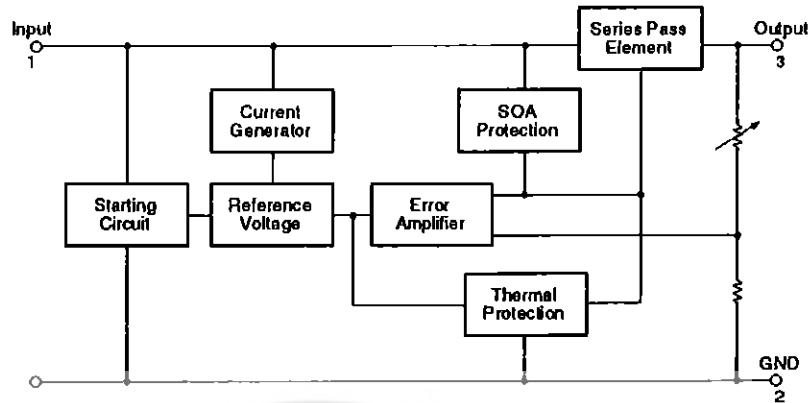


Figure 1.

Pin Assignment

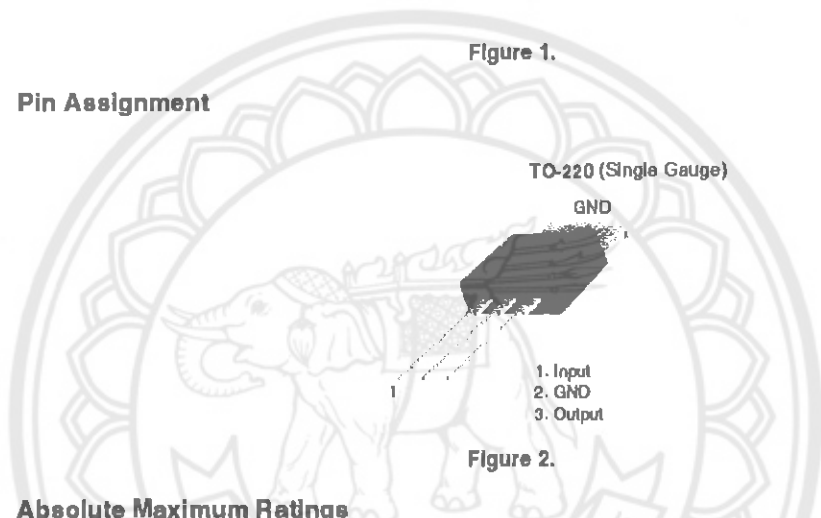


Figure 2.

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. The datasheet specifications should be met, without exception, to ensure that the system design is reliable over its power supply, temperature, and output/input loading variables. Fairchild does not recommend operation outside datasheet specifications.

Symbol	Parameter	Value	Unit	
V_I	Input Voltage	$V_O = 5V$ to $18V$	35	V
		$V_O = 24V$	40	V
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	5	$^{\circ}C/W$	
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	65	$^{\circ}C/W$	
T_{OPR}	Operating Temperature Range	LM78xx	-40 to +125	$^{\circ}C$
		LM78xxA	0 to +125	
T_{STG}	Storage Temperature Range	-65 to +150	$^{\circ}C$	

Electrical Characteristics (LM7805)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_I = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 7\text{V to } 20\text{V}$	4.75	5.0	5.25		
Regline	Line Regulation ⁽¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_O = 7\text{V to } 25\text{V}$	–	4.0	100	mV
			$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	–	1.6	50.0	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	9.0	100	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	4.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7\text{V to } 25\text{V}$	–	0.3	1.3		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	–0.8	–	mV/°C	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	42.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽²⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 8\text{V to } 18\text{V}$	62.0	73.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽²⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	15.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	230	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
2. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7810) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 16\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	9.6	10.0	10.4	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 12.5\text{V to } 25\text{V}$	9.5	10.0	10.5		
Regline	Line Regulation ⁽⁹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 12.5\text{V to } 25\text{V}$	-	10.0	200	mV
			$V_I = 13\text{V to } 26\text{V}$	-	3.0	100	
Regload	Load Regulation ⁽⁹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	12.0	200	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	4.0	400	
I_O	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.1	8.0	mA	
ΔI_O	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 12.5\text{V to } 29\text{V}$	-	-	1.0		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹⁰⁾	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.0	-	mV/°C	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	58.0	-	$\mu\text{V}/N_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽¹⁰⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 13\text{V to } 23\text{V}$	56.0	71.0	-	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V	
r_O	Output Resistance ⁽¹⁰⁾	$f = 1\text{kHz}$	-	17.0	-	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽¹⁰⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

Notes:

9. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
10. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7818) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 27\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	17.3	18.0	18.7	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	17.1	18.0	18.9	
Regline	Line Regulation ⁽¹⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		15.0	360	mV
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	–	5.0	180	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		15.0	360	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	5.0	180	
I_O	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	8.0	mA
ΔI_O	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	–	–	1.0	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹⁶⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/°C
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	110	–	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽¹⁶⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_I = 22\text{V to } 32\text{V}$	53.0	69.0	–	dB
V_{DROPP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
r_O	Output Resistance ⁽¹⁶⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	22.0	–	m Ω
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽¹⁶⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Notes:

15. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

16. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.



LM79XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

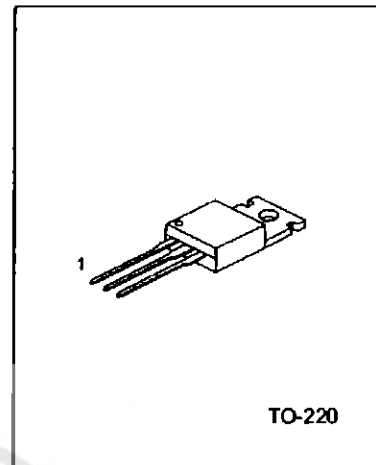
3 TERMINAL 1A NEGATIVE VOLTAGE REGULATOR

DESCRIPTION

The Contek LM79XX series of three-terminal negative regulators are available in TO-220 package and with several fixed output voltage, making them useful in a wide range of application. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible.

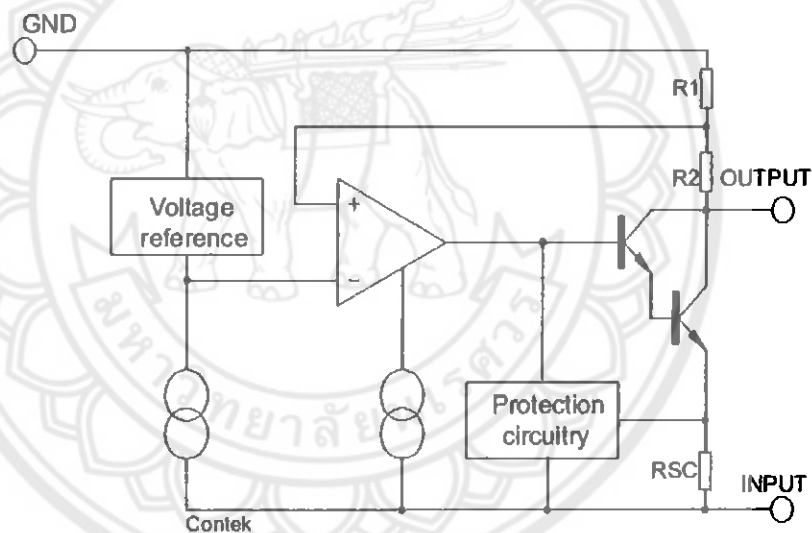
FEATURES

- *Output current up to 1A
- *-5V; -6V; -8V; -12V; -15V; -18V; -24V output voltage available
- *Thermal overload protection
- *Short circuit protection



1:GND 2:Input 3:Output

BLOCK DIAGRAM



LM79XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

Contek7915 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Refer to test circuits, $0 < T_j < 125$ C, $I_o = 500\text{mA}$, $V_i = -23\text{V}$, $C_i = 2.2\mu\text{F}$, $C_o = 1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output voltage	V_o	$T_j = 25$ C	-14.4	-15.0	-15.6	V
		$5.0\text{mA} < I_o < 1.0\text{A}$, $P_o < 15\text{W}$ $V_i = -17.5\text{V}$ to -30V	-14.25	-15	-15.75	V
Line regulation	ΔV_o	$T_j = 25$ C, $V_i = -17.5\text{V}$ to -30V		12	300	mV
		$T_j = 25$ C, $V_i = -20\text{V}$ to -26V		6	150	mV
Load regulation	ΔV_o	$T_j = 25$ C, $I_o = 5.0\text{mA}$ to 1.5A		12	300	mV
		$T_j = 25$ C, $I_o = 250\text{mA}$ to 750mA		4	150	mV
Quiescent current	I_q	$T_j = 25$ C		3	6	mA
Quiescent current change	ΔI_q	$I_o = 5\text{mA}$ to 1.0A		0.05	0.5	mA
		$V_i = -17.5\text{V}$ to -30.5V		0.1	1.0	mA
Output voltage drift	$\Delta V_o / \Delta T$	$I_o = 5\text{mA}$		-0.9		mV/ C
Output noise voltage	V_n	$f = 10\text{Hz}$ to 100kHz , $T_a = 25$ C		250		μV
Ripple rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$, $V_i = -18.5\text{V}$ to -28.5V	54	60		dB
Dropout voltage	V_o	$I_o = 1.0\text{A}$, $T_j = 25$ C		2		V
Short circuit current	I_{sc}	$V_i = -35\text{V}$, $T_a = 25$ C		300		mA
peak current	I_{pk}	$T_j = 25$ C		2.2		A

Contek7918 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Refer to test circuits, $0 < T_j < 125$ C, $I_o = 500\text{mA}$, $V_i = -27\text{V}$, $C_i = 2.2\mu\text{F}$, $C_o = 1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output voltage	V_o	$T_j = 25$ C	-17.3	-18.0	-18.7	V
		$5.0\text{mA} < I_o < 1.0\text{A}$, $P_o < 15\text{W}$ $V_i = -21\text{V}$ to -33V	-17.1	-18	-18.9	V
Line regulation	ΔV_o	$T_j = 25$ C, $V_i = -21\text{V}$ to -33V		15	360	mV
		$T_j = 25$ C, $V_i = -24\text{V}$ to -30V		8	180	mV
Load regulation	ΔV_o	$T_j = 25$ C, $I_o = 5.0\text{mA}$ to 1.5A		15	360	mV
		$T_j = 25$ C, $I_o = 250\text{mA}$ to 750mA		5.0	180	mV
Quiescent current	I_q	$T_j = 25$ C		3	6	mA
Quiescent current change	ΔI_q	$I_o = 5\text{mA}$ to 1.0A			0.5	mA
		$V_i = -21\text{V}$ to -32V			1.0	mA
Output voltage drift	$\Delta V_o / \Delta T$	$I_o = 5\text{mA}$		-1		mV/ C
Output noise voltage	V_n	$f = 10\text{Hz}$ to 100kHz , $T_a = 25$ C		300		μV
Ripple rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$, $V_i = -22\text{V}$ to -32V	54	60		dB
Dropout voltage	V_o	$I_o = 1.0\text{A}$, $T_j = 25$ C		2		V
Short circuit current	I_{sc}	$V_i = -35\text{V}$, $T_a = 25$ C		300		mA
peak current	I_{pk}	$T_j = 25$ C		2.2		A



ภาคผนวก ฉ

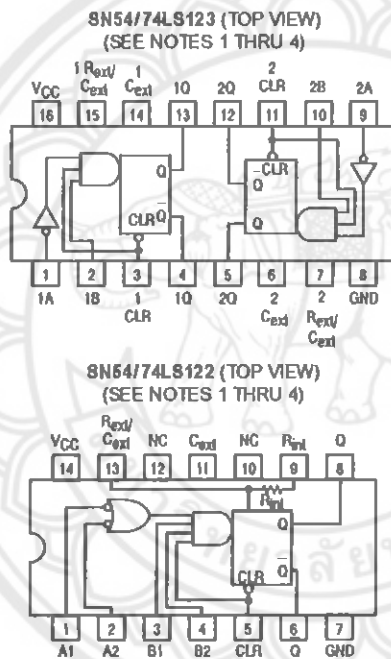
รายละเอียดของไอซีตอจิกวงจรรวมเบอร์ 74123



RETRIGGERABLE MONOSTABLE MULTIVIBRATORS

These dc triggered multivibrators feature pulse width control by three methods. The basic pulse width is programmed by selection of external resistance and capacitance values. The LS122 has an internal timing resistor that allows the circuits to be used with only an external capacitor. Once triggered, the basic pulse width may be extended by retriggering the gated low-level-active (A) or high-level-active (B) inputs, or be reduced by use of the overriding clear.

- Overriding Clear Terminates Output Pulse
- Compensated for VCC and Temperature Variations
- DC Triggered from Active-High or Active-Low Gated Logic Inputs
- Retriggerable for Very Long Output Pulses, up to 100% Duty Cycle
- Internal Timing Resistors on LS122



NC — NO INTERNAL CONNECTION.

NOTES:

1. An external timing capacitor may be connected between C_{ext} and R_{ext}/C_{ext} (positive)
2. To use the internal timing resistor of the LS122, connect R_{int} to VCC.
3. For improved pulse width accuracy connect an external resistor between R_{ext}/C_{ext} and VCC with R_{int} open-circuited.
4. To obtain variable pulse widths, connect an external variable resistance between R_{int}/C_{ext} and VCC.

SN54/74LS122
SN54/74LS123

RETRIGGERABLE MONOSTABLE MULTIVIBRATORS
LOW POWER SCHOTTKY



ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ Ceramc
SN74LSXXXN Plastic
SN74LSXXXD SOIC

SN54/74LS122 • SN54/74LS123

LS122
FUNCTIONAL TABLE

INPUTS					OUTPUTS	
CLEAR	A1	A2	B1	B2	Q	Q
L	X	X	X	X	L	H
X	H	H	X	X	L	H
X	X	X	L	X	L	H
X	X	X	X	L	L	H
H	L	X	↑	H	⏏	⏏
H	L	X	H	↑	⏏	⏏
H	X	L	↑	H	⏏	⏏
H	X	L	H	↑	⏏	⏏
H	H	↓	H	H	⏏	⏏
H	↓	↓	H	H	⏏	⏏
H	↓	H	H	H	⏏	⏏
↑	L	X	H	H	⏏	⏏
↑	X	L	H	H	⏏	⏏

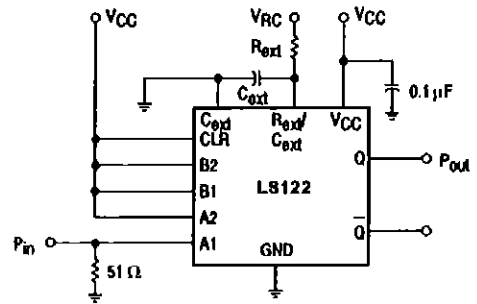
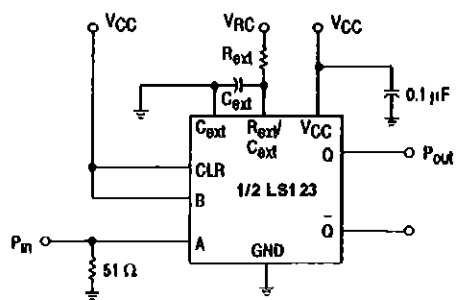
LS123
FUNCTIONAL TABLE

INPUTS			OUTPUTS	
CLEAR	A	B	Q	Q
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L	↑	⏏	⏏
H	↓	H	⏏	⏏
↑	L	H	⏏	⏏

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
VCC	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	6.0	6.25	
TA	Operating Ambient Temperature Range	54	-65	25	125	°C
		74	0	25	70	
IOH	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
IOL	Output Current — Low	54			4.0	mA
		74			8.0	
Rext	External Timing Resistance	54	5.0		180	kΩ
		74	5.0		260	
Cext	External Capacitance	54, 74	No Restriction			
Rext/Cext	Wiring Capacitance at Rext/Cext Terminal	54, 74			50	pF

SN54/74LS122 • SN54/74LS123





ภาคผนวก ข

รายละเอียดของไอซีฟลิปฟลอปชนิด ดี เบอร์ 7474

มหาวิทยาลัยนเรศวร

DM7474

Dual Positive-Edge-Triggered D-Type Flip-Flops with Preset, Clear and Complementary Outputs

General Description

This device contains two independent positive-edge-triggered D-type flip-flops with complementary outputs. The information on the D input is accepted by the flip-flops on the positive going edge of the clock pulse. The triggering occurs at a voltage level and is not directly related to the

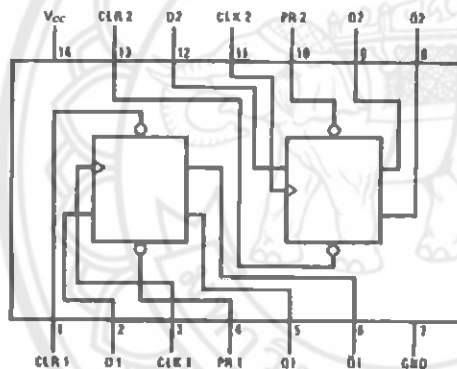
transition time of the rising edge of the clock. The data on the D input may be changed while the clock is LOW or HIGH without affecting the outputs as long as the data setup and hold times are not violated. A LOW logic level on the preset or clear inputs will set or reset the outputs regardless of the logic levels of the other inputs.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM7474M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
DM7474N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table

Inputs				Outputs	
PR	CLR	CLK	D	Q	\bar{Q}
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H	H
H	H	↑	H	H	L
H	H	↑	L	L	H
H	H	L	X	Q ₀	\bar{Q} ₀

H = HIGH Logic Level
 X = Either LOW or HIGH Logic Level
 L = LOW Logic Level
 ↑ = Positive-going transition of the clock.
 Q₀ - The output logic level of Q before the indicated input conditions were established.

Note 1: This configuration is nonenable; that is, it will not operate when either the preset and/or clear inputs return to their inactive (HIGH) level.

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

Supply Voltage	7V
Input Voltage	5.5V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note 2: The 'Absolute Maximum Ratings' are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics table are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The 'Recommended Operating Conditions' table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Nom	Max	Units
V _{CC}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V _{IH}	HIGH Level Input Voltage	2			V
V _{IL}	LOW Level Input Voltage			0.8	V
I _{OH}	HIGH Level Output Current			-0.4	mA
I _{OL}	LOW Level Output Current			16	mA
f _{CLK}	Clock Frequency (Note 4)	0		15	MHz
t _w	Pulse Width (Note 4)	Clock HIGH	30		ns
		Clock LOW	37		
		Clear LOW	30		
		Presel LOW	30		
t _{SU}	Input Setup Time (Note 3)(Note 4)	20†			ns
t _H	Input Hold Time (Note 3)(Note 4)	5†			ns
T _A	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

Note 3: The symbol (†) indicates the rising edge of the clock pulse is used for reference.

Note 4: T_A = 25°C and V_{CC} = 5V.

Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 5)	Max	Units
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = -12 mA			-1.5	V
V _{OH}	HIGH Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OH} = Max V _L = Max, V _H = Min	2.4	3.4		V
	LOW Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OL} = Max V _H = Min, V _L = Max		0.2	0.4	V
I _I	Input Current @ Max Input Voltage	V _{CC} = Max, V _I = 5.5V			1	mA
I _{IH}	HIGH Level Input Current	V _{CC} = Max			40	μA
		V _I = 2.4V			80	
					120	
					40	
I _{IL}	LOW Level Input Current	V _{CC} = Max			-1.6	mA
		V _I = 0.4V (Note 6)			-3.2	
					-3.2	
					-1.6	
I _{OB}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max (Note 6)	-16		-55	mA
I _{CC}	Supply Current	V _{CC} = Max (Note 7)		17	30	mA

Note 5: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 6: Not more than one output should be shorted at a time.

Note 7: With all outputs open, I_{CC} is measured with the Q and \bar{Q} outputs HIGH in turn. At the time of measurement the clock is grounded.

Note 8: Clear is tested with presel HIGH and presel is tested with clear HIGH.



ภาคผนวก ซ
รายละเอียดของไอซีตอจิกเบอร์ 7411

มหาวิทยาลัยนเรศวร

RENESAS

HD74LS11 / HD74LS15

Triple 3-input Positive AND Gates /
Triple 3-input Positive AND Gates (with Open Collector Outputs)

REJ03D0397-0300
Rev.3.00
Jul.13.2005

Features

- Ordering Information

• HD74LS11

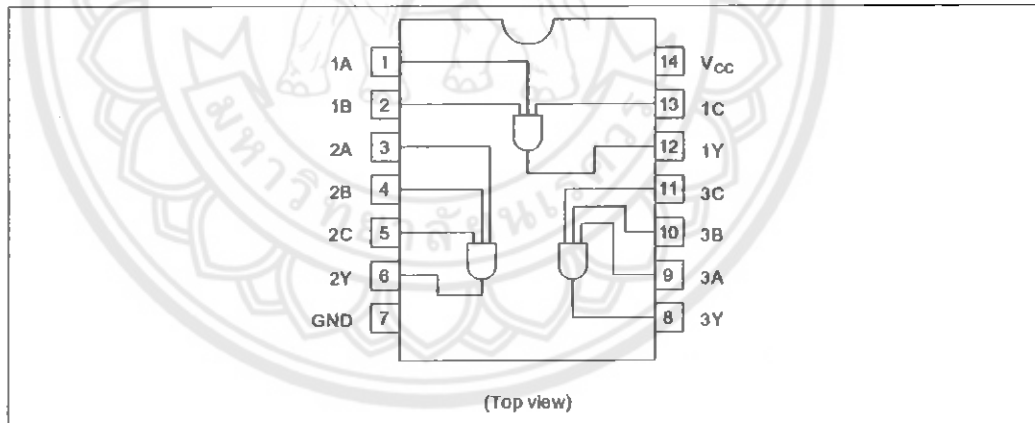
Part Name	Package Type	Package Code (Previous Code)	Package Abbreviation	Taping Abbreviation (Quantity)
HD74LS11P	DIP-14 pin	PRDP0014AB-B (DP-14AV)	P	—
HD74LS11FPEL	SOP-14 pin (JEITA)	PRSP0014DF-B (FP-14DAV)	FP	EL (2,000 pcs/reel)

• HD74LS15

Part Name	Package Type	Package Code (Previous Code)	Package Abbreviation	Taping Abbreviation (Quantity)
HD74LS15FPEL	SOP-14 pin (JEITA)	PRSP0014DF-B (FP-14DAV)	FP	EL (2,000 pcs/reel)

Note: Please consult the sales office for the above package availability.

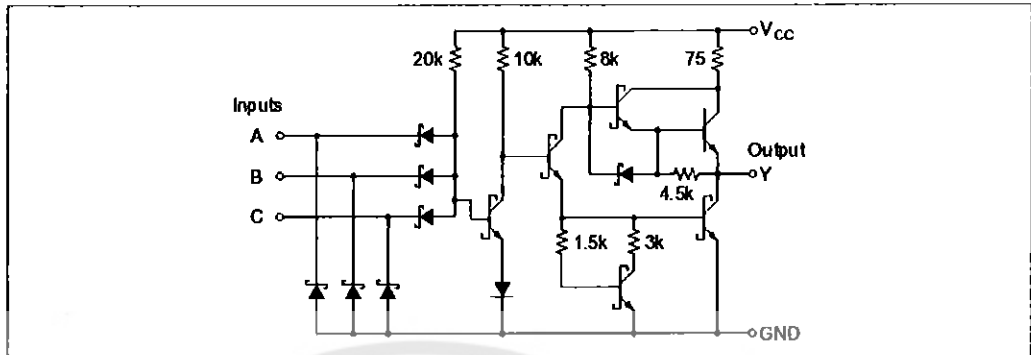
Pin Arrangement



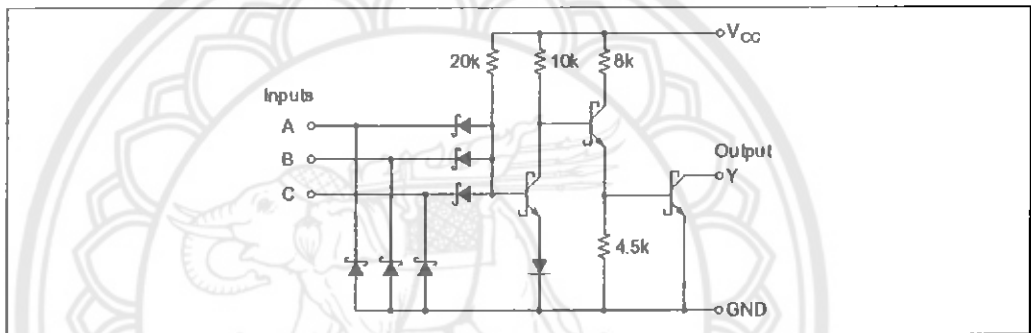
HD74LS11 / HD74LS15

Circuit Schematic (1/3)

HD74LS11



HD74LS15



Absolute Maximum Ratings

Item	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V_{CC} ^{Note}	7	V
Input voltage	V_{IN}	7	V
Power dissipation	P_T	400	mW
Storage temperature	T_{stg}	-65 to +150	°C

Note: Voltage value, unless otherwise noted, are with respect to network ground terminal.

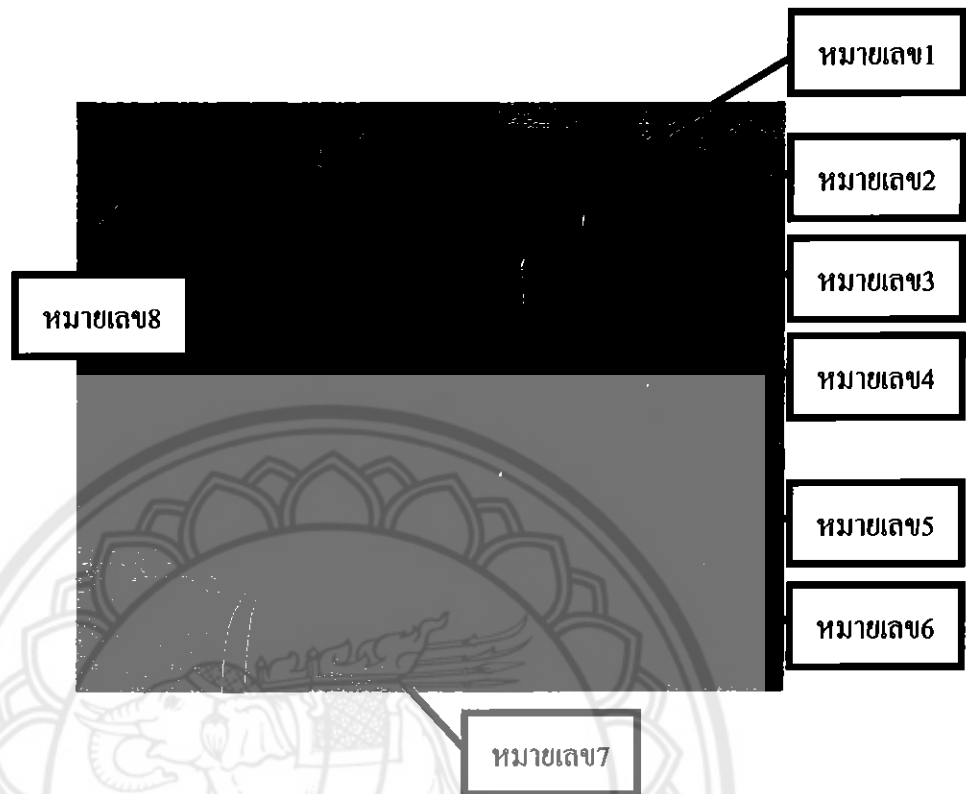


ภาคผนวก ญ

คู่มือใช้งานเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัมพล

มหาวิทยาลัยนเรศวร

1 ส่วนประกอบเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัณฑก



รูปที่ 1 ด้านหน้าและด้านข้างขวาของเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัณฑก

จากรูปที่ 1 สามารถบอกความหมายของหมายเลขได้ดังต่อไปนี้

หมายเลข 1 คือ จอแสดงผลแอลซีดีขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

หมายเลข 2 คือ ปุ่มปรับค่า DEL หรือ Window ใช้ในการปรับค่าช่วงของช่องพลังงานที่ต้องการจะนับวัด

หมายเลข 3 คือ ปุ่มปรับค่า LLD หรือ Lower Level Discriminator เป็นตัวปรับแรงดันระดับต่ำในการนับวัดสัญญาณ

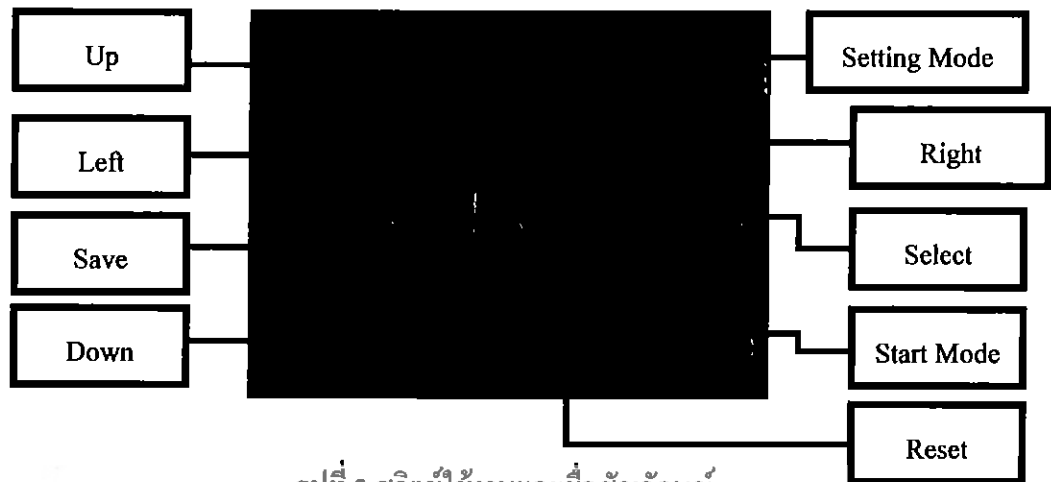
หมายเลข 4 คือ หัวเสียบ BNC สำหรับรับสัญญาณจากวงจร Amplifier เพื่อนำสัญญาณมาวิเคราะห์ในวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์สัญญาณ

หมายเลข 5 คือ ไฟแสดงสถานะ จะสว่างเมื่อเปิดสวิตช์

หมายเลข 6 คือ สวิตช์ที่ใช้เปิดปิดวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

หมายเลข 7 คือ สายไฟสำหรับรับไฟบ้าน 220 VAC เพื่อส่งไปยังหม้อแปลงแรงดันอิเล็กทรอนิกส์

หมายเลข 8 คือ ปุ่มกดสวิตช์ใช้งาน



รูปที่ 2 สวิตซ์ใช้งานและชื่อสัญลักษณ์

รูปที่ 2 มีความหมายของชื่อสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

Left คือ ปุ่มกดที่ใช้เลื่อนหลักตัวเลข ไปทางซ้ายในการตั้งค่าเวลาการนับพัลส์

Down คือ ปุ่มกดที่ใช้ลดจำนวนตัวเลขลงสำหรับตั้งค่าเวลาการนับพัลส์

Save คือ ปุ่มกดที่ใช้สำหรับการเซฟค่าต่างๆเมื่อเราตั้งค่าตัวเลขนั้นๆเสร็จ

Up คือ ปุ่มกดที่ใช้เพิ่มจำนวนตัวเลขของแต่ละหลักขึ้นสำหรับตั้งค่าเวลาการนับพัลส์

Right คือ ปุ่มกดที่ใช้เลื่อนหลักตัวเลข ไปทางขวาในการตั้งค่าเวลาการนับพัลส์

Setting Mode คือ ปุ่มที่ใช้ในการเลือกโหมดที่ต้องการการตั้งค่าคือ LLD, DEL และ Time

Select คือ ปุ่มที่ใช้ในการเลือกโหมดที่ต้องการตั้งค่า

Start Mode คือ ภายใน โหมดนี้จะมีโหมดย่อยแบ่งออกเป็น 3 โหมดย่อย คือ Start, Recal และ Home โดยที่โหมดย่อย Start ใช้สำหรับเมื่อต้องการเริ่มนับพัลส์ Recal ใช้สำหรับเรียกดูค่าที่นับวัดแล้วย้อนหลัง และส่วน Home ใช้สำหรับต้องการกลับหน้าหลัก

Reset คือ ปุ่มกดนี้จะต่ออยู่กับขา MCLR ใช้สำหรับการรีเซตไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011



รูปที่ 3 ด้านข้างซ้ายของเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัฟเทค

จากรูปที่ 3 สามารถบอกความหมายของหมายเลขได้ดังต่อไปนี้

หมายเลข 9 คือ อแคปเตอร์ 9 โวลต์กระแสตรงขนาด 0.6 แอมแปร์

หมายเลข 10 คือ สายควานน์โพลค โปรแกรมลบนไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

หมายเลข 11 คือ พัดลมระบายความร้อน

2 ขั้นตอนการใช้งานเครื่องนับพัลส์รังสีของไทรอยด์อัฟเทค

สามารถทำตามขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

1 เสียบสายอแคปเตอร์เข้ากับหัวรับดังรูปที่ 3 หมายเลข 9 แล้วทำการเปิดสวิตซ์สีแดงดังรูปที่ 1 ถ้ามีไฟเข้าไฟสีแดงเหนือสวิตซ์จะสว่างขึ้น และพัดลมระบายความร้อนดังรูปที่ 3 หมายเลข 11 ดิคทันที

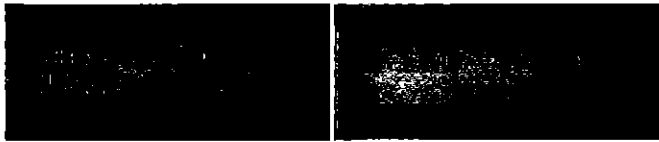
2 สังเกตหน้าจอแอลซีดีจะสว่างและมีตัวอักษรขึ้นดังต่อไปนี้



รูปที่ 4 หน้าจอแอลซีดีเมื่อเปิดหน้าจอ

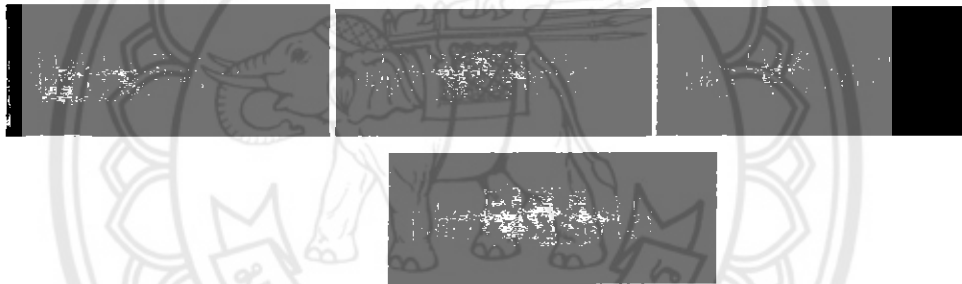
3 เสียบหัวเสียบ BNC เข้ากับหัวรับ BNC ที่อยู่ด้านข้างขวาของเครื่องนับพัลส์รังสีของ ไทรอยด์อัทเทคดังรูปที่ 1 หมายเลข 4

4 ทำการตั้งค่า LLD,DEL และ Time โดยการกดปุ่ม "Setting Mode" ค้างไว้จนกว่าจะ เปลี่ยนหน้าจอจากรูปที่ 4 ไปเป็นหน้าจอดังรูปที่ 5 แล้วปล่อยมือออกจากสวิทช์



รูปที่ 5 เมื่อกดสวิทช์ปุ่มกด "Setting Mode"

5 ภายในหน้าจอรูปที่ 5 ทำการเลือกค่าที่ต้องการจะตั้งค่าโดยกดปุ่ม "Select" ค้างไว้อีก จนกว่าจะเปลี่ยนหน้าจอจากรูปที่ 5 ไปเป็นหน้าจอรูปที่ 6



รูปที่ 6 เมื่อกดสวิทช์ปุ่มกด "Select"

6 ทำการตั้งค่า LLD โดยเลือก "1. LLD" แล้วกดปุ่มสวิทช์ "Save" ดังรูปที่ 2 จากนั้นทำการ ปรับค่าโดยการหมุนปุ่มสี่แฉก เมื่อปรับเสร็จแล้วก็กดปุ่ม "Save" อีกครั้งดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การปรับค่า LLD และการแสดงผล

7 ทำการตั้งค่า DEL โดยเลือก "2. DEL" แล้วกดปุ่ม "Save" ดังรูปที่ 2 จากนั้นทำการปรับ ค่าโดยการหมุนปุ่มสี่น้ำเงิน เมื่อปรับเสร็จแล้วก็กดปุ่ม "Save" อีกครั้งดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การปรับค่า DEL และการแสดงผล

8 ทำการตั้งค่า Time โดยเลือก “3. Time” ดังรูปที่ 6 แล้วกดปุ่ม “Save” ดังรูปที่ 2 จากนั้นทำการตั้งค่าเวลาซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที โดยสามารถตั้งค่าได้ทั้งหมด 4 หลัก แต่ละหลักก็มีหลักการตั้งค่าคือ ถ้าต้องการตั้งค่าเวลา 60 วินาที ก็ทำการกดสวิทช์ “Right” สองครั้งเพื่อเลื่อนหลักไปทางซ้ายมือสองหลัก จากนั้นทำการกดสวิทช์ “Up” เพื่อทำการเพิ่มจำนวนตัวเลขหรือถ้าต้องการลดจำนวนตัวเลขลงก็กดสวิทช์ “Down” ดังรูปที่ 2 จากนั้นทำการกดสวิทช์ “Right” อีกครั้ง เพื่อที่จะไปตั้งค่าหลักสุดท้าย จะได้ดังรูปที่ 9 เมื่อทำการตั้งค่าเวลาเสร็จเรียบร้อยแล้วก็กดปุ่ม “Save” เพื่อทำการบันทึกค่า



รูปที่ 9 การตั้งค่าเวลาที่มีหน่วยเป็นวินาที

9 เมื่อตั้งค่าทั้ง LLD, DEL และ Time เสร็จแล้วก็ทำการเลือก “4. Start” เพื่อเข้าสู่โหมดเริ่มการทำงาน โดยจะปรากฏหน้าจอแสดงผลดังรูปที่ 10 หรือการเข้าสู่โหมดเริ่มการทำงานอีกวิธีคือหลังจากตั้งค่าทั้งสามข้างต้นเสร็จแล้ว ก็กด “Reset” ดังรูปที่ 2 ผลที่เกิดจากการกดคือ โปรแกรมจะกลับไปสู่หน้าเริ่มต้น จากนั้นทำการกดปุ่ม “Start Mode” ค้างไว้จนหน้าจอเปลี่ยนหน้าจอด้รูปที่ 10



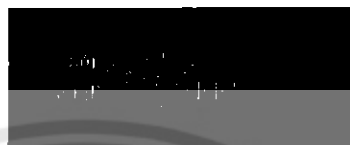
รูปที่ 10 เมื่อเข้ามาสู่โหมดเริ่มการทำงาน

10 เมื่อหน้าจอแสดงดังรูปที่ 10 แล้ว จากนั้นกดปุ่ม “Select” ค้างไว้จนหน้าจอแอลซีดีเปลี่ยนหน้าจอเป็นดังรูปที่ 11 เพื่อเริ่มการทำงาน แล้วทำการกดปุ่ม “Save” เพื่อเริ่มนับสัญญาณ

พัลส์รั้งสี่ที่เข้ามา หน้าจอจะแสดงผลดังรูปที่ 12 เมื่อทำงานเสร็จแล้วก็กด “Save” อีกครั้งเพื่อบันทึกค่าข้อมูลที่ได้



รูปที่ 11 หน้าจอก่อนการทำงาน



รูปที่ 12 ขณะที่โปรแกรมกำลังทำงาน

11 เมื่อต้องการกลับสู่หน้าหลักก็กด “Reset” ดังรูปที่ 2 โปรแกรมก็จะกลับไปเริ่มต้นใหม่





ภาคผนวก ฎ

ซอร์สโค้ดของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

```

//-----
//Project: Counting pluse
//Ferquence: 4MHz at PLL 4x
//Author: Nattapong Nernchad
//Date: 18/02/2013
//-----
#include<p30f4011.h>
#include<adc10.h>
#include<lcd_Rev1.h>
#include<ports.h>
#include<timer.h>
#include<incap.h>
#include<math.h>
#include<string.h>
//-----define parameter-----
#define SwMode      PORTFbits.RF5
#define SwSave      PORTBbits.RB4
#define SwSelect    PORTCbits.RC13
#define SwStart     PORTCbits.RC14
#define SwLeft      PORTBbits.RB1
#define SwRight     PORTFbits.RF4
#define SwUp        PORTBbits.RB5
#define SwDown      PORTBbits.RB2
#define CELL(x)     (0x7FFC00+2*x)
#define true  1
#define false 0
//-----
_FOSC(CSW_FSCM_OFF & XT_PLL4);
_FWDT(WDT_OFF);
//-----initial parameter-----
unsigned char sw_index = 0;
unsigned char a=0,zz=0;
unsigned char k,re,rel,j
unsigned char low; //1bit
unsigned char high; // result_pu;
unsigned char result_pu;
unsigned char seg[6],p1,p2,p3,p4,p5,p6;
unsigned char old_p1,old_p2,old_p3,
old_p4,old_p5,old_p6;
unsigned int i1=0,i2=0,i3=0,i4=0;
unsigned int old_i1=0,old_i2=0,
old_i3=0,old_i4=0;
unsigned int h=0x86,g=0x89,r=0x87;
unsigned int w,x,y,z;
unsigned int sum=0,sold=0;
unsigned int keep;
unsigned int result[4], old_result[4], n;
unsigned int data[2],old_data[2];
unsigned int k1=0;
unsigned int t=0,readd = 0,oreadd=0;
unsigned int oi=0,ii=0;
unsigned int x22,x1,x11,x12;
unsigned int x12_old,x11_old,x4,x4_old,
x4,x6,x6_old,x33,x5;
unsigned int x22_1,x1_1,x11_1,x12_1,
x12_1_old,x11_1_old;
unsigned int x4_1,x4_1_old,x4_1,x6_1,
x6_1_old,x33_1,x5_1;
unsigned int x7_1,x9_1,x111_1,x112_1,
x112_1_old;
unsigned int x7,x9,x111,x112,x112_old

```

```

int count =0;
unsigned long kk1;
float flo;
float x2,x3;
float flo_1;
float x2_1,x3_1;
float x8_1,x10_1,x21_1;
float x8,x21,x10;
//-----
void display_ADC_value(unsigned char
addr,unsigned int val)
{
    char i;
    lcd_command(2);
    lcd_command(addr);
    for(i=0;i<4;i++)
    {
        lcd_text(0x20);
    }
    intoled(addr,val);
}
//-----
void eeprom_erase_word(unsigned long
address_erase)
{
    //address ==> W1,W0
    //val ==> W2(Low Byte)
    __asm__ volatile("MOV W1,NVMADRU");
    __asm__ volatile("MOV W0,NVMADR");
    __asm__ volatile("MOV #0x4044,W0");
    __asm__ volatile("MOV W0,NVMCON");
    __asm__ volatile("DISI #5");
    __asm__ volatile("MOV #0X55,W0");
    __asm__ volatile("MOV W0,NVMKEY");
    __asm__ volatile("MOV #0XAA,W1");
    __asm__ volatile("MOV W1,NVMKEY");
    NVMCONbits.WR = 1;
    while(NVMCONbits.WR);
    NVMCONbits.WREN = 0;
}
//-----
void eeprom_write_word(unsigned long
address,unsigned int val)
{
    /* parameter pass
    address ==> W1,W0
    */
    __asm__ volatile("MOV W1 , TBLPAG");
    __asm__ volatile("TBLWTL W2 , [W0]");
    __asm__ volatile("MOV #0X4104,W0");
    __asm__ volatile("MOV W0 , NVMCON");
    __asm__ volatile("DISI #5");
    __asm__ volatile("MOV #0X55 ,W0");
    __asm__ volatile("MOV W0 , NVMKEY");
    __asm__ volatile("MOV #0xAA, W1");
    __asm__ volatile("MOV W1,NVMKEY");
    NVMCONbits.WR = 1;
}

```

```

while(NVMCONbits.WR);
NVMCONbits.WREN = 0;
}
//-----
unsigned int eeprom_read_word(unsigned
long address)
{
/*
address ==> W1,W0
(unsigned char) return ==>
W4(LowByte)
*/
__asm__ volatile("MOV W1 , TBLPAG");
__asm__ volatile("TBLRD [W0] , W4");
return WREG4;
}
//-----
void adc_init(void)
{
unsigned int adcon_1, adcon_2, adcon_3,
Channel, PinConfig, Scansect ;
CloseADC10();
adcon_1 = ADC_MODULE_OFF &
ADC_IDLE_CONTINUE &
ADC_FORMAT_INTG &
ADC_CLK_AUTO &
ADC_SAMPLE_INDIVIDUAL &
ADC_AUTO_SAMPLING_ON &
ADC_SAMP_ON ;

adcon_2 = ADC_VREF_AVDD_AVSS &
ADC_SCAN_OFF &
ADC_CONVERT_CH_0A &
ADC_SAMPLES_PER_INT_4 &
ADC_ALT_INPUT_OFF ;
ADC_ALT_BUF_OFF ; //bit1 = 0
adcon_3 = ADC_SAMPLE_TIME_3 &
ADC_CONV_CLK_SYSTEM &
ADC_CONV_CLK_3Tcy2 ;
//ADCHS register
Channel =
ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN3 &
ADC_CH0_NEG_SAMPLEA_NVREF &
_AN0AN1AN2 ;
//ADPCFGregister
PinConfig=ENABLE_AN0_ANA&
ENABLE_AN3_ANA;
//ADCSSL register
Scansect = SCAN_NONE;
//-----
OpenADC10(adcon_1, adcon_2,
adcon_3,PinConfig, Scansect) ;
SetChanADC10(Channel);
ConfigIntADC10(ADC_INT_DISABLE);
}
//-----
void Scan_Sw(void)
{
if(SwMode == 0)
{
sw_index = 1;
}
else if(SwStart == 0)

```

```

{
    sw_index = 2;
}
else sw_index = 0;
}
//-----
void display_title(void)
{
    unsigned int xy,xy1,xy2,xy3,xy4
    ,xy5,xy6,xy7,xy8;
    while((SwMode==1)&&(SwStart==1))
    {
        {
            lcd_clear();
            lcd_puts(LINE1,"LLD: Volt");
            lcd_puts(LINE2,"DEL: Volt");

            xy1=eeprom_read_word(CELL(30));
            xy2=eeprom_read_word(CELL(31));
            xy3=eeprom_read_word(CELL(32));
            xy4=eeprom_read_word(CELL(33));

            xy5=eeprom_read_word(CELL(26));
            xy6=eeprom_read_word(CELL(27));
            xy7=eeprom_read_word(CELL(28));
            xy8=eeprom_read_word(CELL(29));

            display_ADC_value(0x84,xy1);
            display_ADC_value(0x85,xy2);
            lcd_puts(0x86,".");
            display_ADC_value(0x87,xy3);
            display_ADC_value(0x88,xy4);

            display_ADC_value(0xC4,xy5);
            display_ADC_value(0xC5,xy6);
            lcd_puts(0xC6,".");
            display_ADC_value(0xC7,xy7);
            display_ADC_value(0xC8,xy8);
            lcd_delay(2000);
        }
    }
}

xy=eeprom_read_word(CELL(4));
lcd_clear();
lcd_puts(0x80,"Time: sec");
display_ADC_value(0x85,xy);
lcd_delay(2000);
}
{
    lcd_clear();
    lcd_puts(LINE1,"Next Press START");
    lcd_puts(LINE2,"New Press MODE");
    lcd_delay(2000);
}
}

void
__attribute__((__interrupt__,__auto_psv__))
_IC1Interrupt(void)
{
    IFS0bits.IC1IF = 0;
    p1++;
    if(p1>9)
    {

```



```

p1=0;
p2++;
}
if(p2>9)
{
    p2=0;
    p3++;
}
if(p3>9)
{
    p3=0;
    p4++;
}
if(p4>9)
{
    p4=0;
    p5++;
}
if(p5>9)
{
    p5=0;
    p6++;
}
    if(p6>9) p6=0;
}
//-----
void
__attribute__((__interrupt__,__auto_psv))
_T1Interrupt(void)
{
    IFS0bits.T1IF = 0;
    WriteTimer1(0);
}

readd = eeprom_read_word(CELL(4));
count++;
if(count>=200);
{
    count = 0;
    k1++;
    if(k1>=200)
    {
        ii++;
        k1=0;
        if(ii == readd)
        {
            ii = readd;
            seg[0]=p1;
            seg[1]=p2;
            seg[2]=p3;
            seg[3]=p4;
            seg[4]=p5;
            seg[5]=p6;
            delay_ms(10);
            p1=0;
            p2=0;
            p3=0;
            p4=0;
            p5=0;
            p6=0;
        }
    }
}
//-----
Void Tim1_init()

```

```

{
T1_INT_ON);
  INTCON1bits.NSTDIS = 0;
  IFS0bits.T1IF = 0;
  IEC0bits.T1IE = 0;
  IPC0bits.T1IP = 0b011;
  //-----config timer1-----
  WriteTimer1(0);
  T1CONbits.TON = 0;      //Stop timer1
  T1CONbits.TSIDL = 1;   //When into
Idle Mode It stop
  T1CONbits.TGATE = 0;
  T1CONbits.TCKPS = 0b00;
//prescale 1:1
  T1CONbits.TSYNC = 0;   //close
synchronization
  T1CONbits.TCS = 0;
  PR1 = 20000;
}
//-----title IC-----
void IC1_init()
{
  INTCON1bits.NSTDIS = 0;
  IFS0bits.IC1IF = 0;
  IEC0bits.IC1IE = 0;
  IPC0bits.IC1IP = 0b001;

  IC1CONbits.ICSIDL = 1;
  IC1CONbits.ICTMR = 0;
  IC1CONbits.ICI = 0b00;
  IC1CONbits.ICOV = 0;

  IC1CONbits.ICBNE = 0;
  IC1CONbits.ICM = 0b000;
  T3CONbits.TON = 1;
}
}

void close_init()
{
  IFS0bits.T1IF = 0;
  IEC0bits.T1IE = 0;
  IFS0bits.IC1IF = 0;
  IEC0bits.IC1IE = 0;
  // IFS0bits.IC2IF = 0;
  // IEC0bits.IC2IE = 0;
}

void dis_run()
{
  lcd_clear();
  lcd_puts(LINE1,"Time:");
  lcd_puts(LINE2,"Count :");
  display_ADC_value(0xC8, seg[5]);
  display_ADC_value(0xC9, seg[4]);
  display_ADC_value(0xCA, seg[3]);
  display_ADC_value(0xCB, seg[2]);
  display_ADC_value(0xCC, seg[1]);
  display_ADC_value(0xCD, seg[0]);
}

void dis_resul()
{
  lcd_clear();
  lcd_puts(LINE1,"Time:");
  lcd_puts(LINE2,"Result: ");
}

```

```

//lcd_puts(LINE2,"Press >>Save<<");
}

//-----

void save_fun()
{
    lcd_clear();
    lcd_puts(LINE1," Saving...");
    lcd_delay(1000);
    lcd_clear();
    lcd_puts(LINE1," Succeeded");
    lcd_delay(1000);
}
//-----

void Mode_init()
{
    lcd_clear();
    lcd_puts(LINE1," Wait....");
    lcd_delay(1000);
    do{
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1,"Press select:");
        lcd_puts(LINE2,"1.LLD 2.DEL");
        lcd_delay(1000);
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1,"3.Time 4.Start");
        lcd_delay(1000);
    }while((SwSelect==1)&&(SwSave==1));

    do
    {
        if(SwSelect == 0)

```

```

        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1,"Select: 1.LLD");
        lcd_puts(LINE2,"Press >>Save<<");
        delay_ms(100);
        k=1;
    }
    while((SwSelect==1)&&(SwSave==1));
    if(SwSelect == 0)
    {
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1,"Select: 2.DEL");
        lcd_puts(LINE2,"Press >>Save<<");
        delay_ms(100);
        k=2;
    }
    while((SwSelect==1)&&(SwSave==1));
    if(SwSelect == 0)
    {
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1,"Select: 3.Time");
        lcd_puts(LINE2,"Press >>Save<<");
        delay_ms(100);
        k=3;
    }
    while((SwSelect==1)&&(SwSave==1));
    if(SwSelect == 0)
    {
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1,"Select: 4.Start Mode");
        lcd_puts(LINE2,"Press >>Save<<");
        delay_ms(100);
        k=4;

```

```

}
while((SwSelect==1)&&(SwSave==1));
}while(SwSave==1);
if(k==1)
{
    lcd_clear();
    lcd_puts(LINE1," Setting LLD");
    lcd_puts(LINE2," Processing..");
    j=0;
    lcd_delay(200);
}
if(k==2)
{
    lcd_clear();
    lcd_puts(LINE1," Setting DEL");
    lcd_puts(LINE2," Processing..");
    j=1;
    lcd_delay(200);
}
if(k==3)
{
    lcd_clear();
    lcd_puts(LINE1," Setting Time");
    lcd_puts(LINE2," Processing..");
    j=2;
    lcd_delay(200);
}
if(k==4)
{
    lcd_clear();
    lcd_puts(LINE1," Start Mode");
    lcd_puts(LINE2," Processing..");
}
}
}
}
}

j=3;
lcd_delay(200);
}
}
//-----
void Start_init()
{
    lcd_clear();
    lcd_puts(LINE1," Wait...");
    lcd_delay(1000);
do{
    lcd_clear();
    lcd_puts(LINE1,"Press select:");
    lcd_puts(LINE2,"1.Start 2.Recall");
    lcd_delay(1000);
    lcd_clear();
    lcd_puts(LINE1,"3.Home");
    lcd_delay(1000);
}while((SwSelect==1)&&(SwStart==1));
do
{
    if(SwSelect == 0)
    {
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1,"Select: 1.Start");
        lcd_puts(LINE2,"Press >>Save<<");
        delay_ms(200);
        t=1;
    }
}
while((SwSelect==1)&&(SwSave==1));
if(SwSelect == 0)
{

```

```

    lcd_clear();
    lcd_puts(LINE1,"Select: 2.Recall");
    lcd_puts(LINE2,"Press >>Save<<");
    delay_ms(200);
    t=2;
}

while((SwSelect==1)&&(SwSav==1));
    if(SwSelect == 0)
    {
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1,"Select: 3.Home");
        lcd_puts(LINE2,"Press >>Save<<");
        delay_ms(200);
        t=3;
    }
while((SwSelect==1)&&(SwSave==1));
}while(SwSave==1);
    if(t==1)
    {
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1," Running...");
        a=0;
        lcd_delay(200);
    }
    if(t==2)
    {
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1," Processing...");
        a=1;
        lcd_delay(200);
    }
    if(t==3)
    {
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1," Processing...");
        a=2;
        lcd_delay(200);
    }
}

//-----
void fine_star()
{
    unsigned int readd1;
    readd1 = eeprom_read_word(CELL(4));
    if((t==1)&&(a==0))
    {
        lcd_clear();
        dis_run();
        lcd_delay(1000);
    }
    while(ii != readd1)
    {
        IEC0bits.T1IE = 1;
        T1CONbits.TON = 1;
        IEC0bits.IC1IE = 1;
        //IEC0bits.IC2IE = 1;
        IC1CONbits.ICM = 0b010;
        // IC2CONbits.ICM = 0b010;
        if(ii != oi)
        {
            lcd_delay(10);
            display_ADC_value(0x86,ii);
            oi = ii;
        }
    }
}

```

```

if(p6 != old_p6)
{
    lcd_delay(10);
    display_ADC_value(0xC8, p6);
    old_p6 = p6;
}
if(p5 != old_p5)
{
    lcd_delay(10);
    display_ADC_value(0xC9, p5);
    old_p5 = p5;
}
if(p4 != old_p4)
{
    lcd_delay(10);
    display_ADC_value(0xCA, p4);
    old_p4 = p4;
}
if(p3 != old_p3)
{
    lcd_delay(10);
    display_ADC_value(0xCB, p3);
    old_p3 = p3;
}
if(p2 != old_p2)
{
    lcd_delay(10);
    display_ADC_value(0xCC, p2);
    old_p2 = p2;
}
if(p1 != old_p1)
{
    lcd_delay(10);
    display_ADC_value(0xCD, p1);
    old_p1 = p1;
}
while(SwSave== =1){
    ii=0;
    dis_resul();
    display_ADC_value(0x86,readd1);
    display_ADC_value(0xC8, seg[5]);
    display_ADC_value(0xC9, seg[4]);
    display_ADC_value(0xCA, seg[3]);
    display_ADC_value(0xCB, seg[2]);
    display_ADC_value(0xCC, seg[1]);
    display_ADC_value(0xCD, seg[0]);
    eeprom_erase_word(CELL(20));
    eeprom_write_word(CELL(20),seg[0]);
    eeprom_erase_word(CELL(21));
    eeprom_write_word(CELL(21),seg[1]);
    eeprom_erase_word(CELL(22));
    eeprom_write_word(CELL(22),seg[2]);
    eeprom_erase_word(CELL(23));
    eeprom_write_word(CELL(23),seg[3]);
    eeprom_erase_word(CELL(24));
    eeprom_write_word(CELL(24),seg[4]);
    eeprom_erase_word(CELL(25));
    eeprom_write_word(CELL(25),seg[5]);
    lcd_delay(1000);
    lcd_clear();
    close_init();
}
{

```

```

        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1," Saving....");
        lcd_delay(1000);
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1," Succeeded");
        lcd_delay(1000);
    }
    return(Start_init());
}

void fine_star_10
{
    unsigned long readd11[6];
    if((t==2)&&(a==1))
    {
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1,"Result: ");
        lcd_puts(LINE2,"Press >>Save<<");
        lcd_delay(1000);
    }
    while(SwSave==1)
    {
        readd11[0]=eeprom_read_word(CELL(20));
        readd11[1]=eeprom_read_word(CELL(21));
        readd11[2]=eeprom_read_word(CELL(22));
        readd11[3]=eeprom_read_word(CELL(23));
        readd11[4]=eeprom_read_word(CELL(24));
        readd11[5]=eeprom_read_word(CELL(25));
        display_ADC_value(0x88,readd11[5]);
        display_ADC_value(0x89,readd11[4]);
        display_ADC_value(0x8A,readd11[3]);
        display_ADC_value(0x8B,readd11[2]);
        display_ADC_value(0x8C,readd11[1]);
        display_ADC_value(0x8D,readd11[0]);
        lcd_delay(1000);
    }
    save_fun();
    return(Start_init());
}

void fine_star_20
{
    if((t==3)&&(a==2))
    {
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1," <<Go to Home>>");
        lcd_delay(1000);
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1," <<Go to Home>> ");
        lcd_delay(1000);
    }
    return(display_title());
}
//-----
void keep_data()
{
    for(n=0;n<4;n++)
    {
        ADCON1bits.SAMP =1;
        while(!ADCON1bits.SAMP);
        ADCON1bits.DONE =0;
        while(!ADCON1bits.DONE)
        ConvertADC10();
        while(BusyADC10());
        result[n] = ReadADC10(n);
    }
}

```

```

if(result[0] != old_result[0])
{
    data[0] = result[0]*2;
    flo_1 = (data[0])*(0.0049071359);
    x1_1 = flo_1;
    x11_1 = x1_1%10;
    x12_1 = x1_1/10;
    x2_1 = x1_1;
    x3_1 = (flo_1 - x2_1);
    x33_1 = x3_1*10;
    x4_1 = x33_1;
    x5_1 = x3_1*100;
    x6_1 = x5_1%10 ;
    x7_1 = x3_1*1000;
    x8_1 = x7_1/100;
    x9_1 = x8_1;
    x21_1 = x9_1;
    x10_1 = x8_1 - x21_1;
    x111_1 = x10_1 * 10;
    x112_1 = x111_1;
    eeprom_erase_word(CELL(26));
    eeprom_write_word(CELL(26),x12_1);
    eeprom_erase_word(CELL(27));
    eeprom_write_word(CELL(27),x11_1);
    eeprom_erase_word(CELL(28));
    eeprom_write_word(CELL(28),x4_1);
    eeprom_erase_word(CELL(29));
    eeprom_write_word(CELL(29),x6_1);
    old_result[0] = result[0];
}
delay_ms(100);
if(result[3] != old_result[3])
{
    data[1] = result[3]*(2);
    flo = (data[1])*(0.0049071359);
    x1 = flo;
    x11 = x1%10;
    x12 = x1/10;
    x2 = x1;
    x3 = (flo - x2);
    x33 = x3*10;
    x4 = x33;
    x5 = x3*100;
    x6 = x5%10 ;
    x7 = x3*1000;
    x8 = x7/100;
    x9 = x8;
    x21 = x9;
    x10 = x8 - x21;
    x111 = x10 * 10;
    x112 = x111;
    eeprom_erase_word(CELL(30));
    eeprom_write_word(CELL(30),x12);
    eeprom_erase_word(CELL(31));
    eeprom_write_word(CELL(31),x11);
    eeprom_erase_word(CELL(32));
    eeprom_write_word(CELL(32),x4);
    eeprom_erase_word(CELL(33));
    eeprom_write_word(CELL(33),x6);
    old_result[3] = result[3];
}
delay_ms(100);
}
//-----

```



```

void fine()
{
    if((k==1)&&(j==0))
    {
        //re=0x84;
        lcd_clear();
        lcd_puts(0x80,"LLD:00.00");
        lcd_puts(0x8C,"V");
        lcd_puts(LINE2," Press >>Save<<");
        lcd_delay(1000);
    }
    while(SwSave==1)
    {
        keep_data();
        //show_LLD();
        if(x12 != x12_old)
        {
            display_ADC_value(0x84,x12);
            x12_old = x12;
        }
        if(x11 != x11_old)
        {
            display_ADC_value(0x85,x11);
            x11_old = x11;
        }
        lcd_puts(0x86,".");
        if(x4 != x4_old)
        {
            display_ADC_value(0x87,x4);
            x4_old = x4;
        }
        if(x6 != x6_old)
    }
}

{
    display_ADC_value(0x88,x6);
    x6_old = x6;
}
if(x112 != x112_old)
{
    display_ADC_value(0x88,x112);
    x112_old = x112;
}
delay_ms(100);
}
save_fun();
return(Mode_init());
}
//-----
void fine1()
{
    if((k==2)&&(j==1))
    {
        //re1=0x84;
        lcd_clear();
        lcd_puts(0x80,"DEL:00.00");
        lcd_puts(0x8C,"V");
        lcd_puts(LINE2," Press >>Save<<");
        lcd_delay(1000);
    }
    while(SwSave==1)
    {
        keep_data();
        if(x12_1 != x12_1_old)
        {
            display_ADC_value(0x84,x12_1);

```

```

x12_1_old = x12_1;
    }
    if(x11_1 != x11_1_old)
    {
display_ADC_value(0x85,x11_1);
        x11_1_old = x11_1;
    }
    lcd_puts(0x86, ".");
    if(x4_1 != x4_1_old)
    {
display_ADC_value(0x87,x4_1);
        x4_1_old = x4_1;
    }
    if(x6_1 != x6_1_old)
    {
display_ADC_value(0x88,x6_1);
        x6_1_old = x6_1;
    }
    if(x112_1 != x112_1_old)
    {
display_ADC_value(0x89,x112_1);
        x112_1_old = x112_1;
    }
        delay_ms(100);
    }
    save_fun();
    return(Mode_init());
}
//-----
void Lef_Rigt()
{
    if (SwRight == 0)
        {
            h++;
            if( h > 0x89)
                {
                    h = 0x86;
                }
            delay_ms(80);
            if (SwLeft == 0)
                {
                    h--;
                    if( h < 0x86)
                        {
                            h = 0x89;
                        }
                }
            delay_ms(80);
            void Up_Down()
            {
                if(h==0x86)
                {
                    do{
                        lcd_command(0x86);
                        lcd_command(0x0F);
                        if(SwUp == 0)
                            {
                                i1++;
                                if(i1 > 9)
                                    {
                                        i1 = 0;
                                    }
                            }
                }
            }
        }
}

```

```

    delay_ms(80);
}
if(SwDown == 0)
{
    i1--;
    if(i1 == 255)
    {
        i1 = 9;
    }
    delay_ms(80);
}while(h != 0x86);
}
//-----
if(h==0x87)
{
do{
    lcd_command(0x87);
    lcd_command(0x0F);
    if(SwUp == 0)
    {
        i3++;
        if(i3 > 9)
        {
            i3 = 0;
        }
        delay_ms(80);
    }
    i2++;
    if(i2 > 9)
    {
        i2 = 0;
    }
    delay_ms(80);
}
if(SwDown == 0)
{
    i2--;
    if(i2 == 255)
    {
        i2 = 9;
    }
    delay_ms(80);
}while(h != 0x88);
}
do{
    lcd_command(0x88);
    lcd_command(0x0F);
    if(SwUp == 0)
    {
        i3++;
        if(i3 > 9)
        {
            i3 = 0;
        }
        delay_ms(80);
    }
    i2++;
    if(i2 > 9)
    {
        i2 = 0;
    }
    delay_ms(80);
}while(h != 0x86);
}
//-----
if(h==0x87)
{
do{
    lcd_command(0x87);
    lcd_command(0x0F);
    if(SwUp == 0)
    {
        i3++;
        if(i3 > 9)
        {
            i3 = 0;
        }
        delay_ms(80);
    }
    i2++;
    if(i2 > 9)
    {
        i2 = 0;
    }
    delay_ms(80);
}
if(SwDown == 0)
{
    i2--;
    if(i2 == 255)
    {
        i2 = 9;
    }
    delay_ms(80);
}while(h != 0x88);
}

```

```

}
//-----
if(h != 0x89)
{
do{
    lcd_command(0x89);
    lcd_command(0x0F);
    if(SwUp == 0)
    {
        i4++;
        if(i4 > 9)
        {
            i4 = 0;
        }
        delay_ms(80);
    }
    if(SwDown == 0)
    {
        i4--;
        if(i4 == 255)
        {
            i4 = 9;
        }
        delay_ms(80);
    }
}while(h != 0x89);
}
}

void Cal_time()
{
    delay_ms(100);
    w = eeprom_read_word(CELL(0));
    x = eeprom_read_word(CELL(1));
    y = eeprom_read_word(CELL(2));
    z = eeprom_read_word(CELL(3));
    sum = ((1000*w)+(100*x)+(10*y)+(1*z));
    eeprom_erase_word(CELL(4));
    eeprom_write_word(CELL(4),sum);
}

void distime()
{
    lcd_puts(0x80,"time:  sec");
    display_ADC_value(0x86,i1);
    display_ADC_value(0x87,i2);
    display_ADC_value(0x88,i3);
    display_ADC_value(0x89,i4);
}

void time_set()
{
    if(i1 != old_i1)
    {
        display_ADC_value(0x86,i1);
        old_i1 = i1;
        eeprom_erase_word(CELL(0));
        eeprom_write_word(CELL(0),i1);
    }
    if(i2 != old_i2)
    {
        display_ADC_value(0x87,i2);
        old_i2 = i2;
        eeprom_erase_word(CELL(1));
        eeprom_write_word(CELL(1),i2);
    }
    if(i3 != old_i3)

```

```

    {
        display_ADC_value(0x88,i3);
        old_i3 = i3;
        eeprom_erase_word(CELL(2));
        eeprom_write_word(CELL(2),i3);
    }
    if(i4 != old_i4)
    {
        display_ADC_value(0x89,i4);
        old_i4 = i4;
        eeprom_erase_word(CELL(3));
        eeprom_write_word(CELL(3),i4);
    }
}

void Save_tim()
{
    lcd_clear();
    lcd_command(0x0C);
    lcd_delay(100);
    lcd_puts(LINE1," Saving..");
    lcd_delay(1000);
    Cal_time();
    keep = eeprom_read_word(CELL(4));
    lcd_puts(LINE1,"Time:  sec");
    display_ADC_value(0x86,keep);
    lcd_delay(1000);
}

void fine2()
{
    if((k==3)&&(j==2))
    {
        lcd_clear();
    }
}

distime();
lcd_puts(LINE2," Press >>Save<<");
}
while(SwSave == 1)
{
    Lef_Rigt() ;
    Up_Down();
    time_set();
}
Save_tim();
return(Mode_init());
}

void fine3()
{
    if((k==4)&&(j==3))
    {
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1," Running...");
        lcd_delay(1000);
        lcd_clear();
        lcd_puts(LINE1," Running...");
        lcd_delay(1000);
    }
}

//-----
void Out_init()
{
    ADPCFG = 0xFFFF6;
    _TRISB1 = 1;
    _TRISB2 = 1;
    _TRISB4 = 1;
    _TRISB5 = 1;
}

```

```

    _TRISC13 = 1;
    _TRISC14 = 1;
    _TRISF4 = 1;
    _TRISF5 = 1;
}
//-----
int main(void)
{
    unsigned int sw_index1;
    _TRISD2 = 0;
    _TRISD3 = 0;
    _LATD2 = 1;
    _LATD3 = 1;
    led_init();
    display_title();
    Out_init();
    adc_init();
    Tim1_init();
    IC1_init();
    ADCON1bits.ADON = 1;
    while(1)
    {
        Scan_Sw();
        keep_data();
        if(sw_index == 1)
        {
            Mode_init();
            if(k==1) fine();
            if(k==2) fine1();
            if(k==3) fine2();
            if(k==4)
            {
                fine3();
                sw_index1 = 1;
            }
        }
        if((sw_index == 2) || (sw_index1 == 1))
        {
            Start_init();
            if(t==1)fine_star();
            if(t==2)fine_star_1();
            if(t==3)fine_star_2();
            delay_ms(10);
            return(0);
        }
    }
}

```



ภาคผนวก ก
ตารางผลการทดลอง

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตารางที่ 1 ผลการทดลองของหัววัดรังสี
NaI(Tl) กับ เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้น

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
1	0.02	0.02	60	404
2	0.04	0.02	60	450
3	0.06	0.02	60	476
4	0.08	0.02	60	942
5	0.1	0.02	60	1103
6	0.12	0.02	60	1687
7	0.14	0.02	60	1903
8	0.16	0.02	60	1871
9	0.18	0.02	60	1748
10	0.2	0.02	60	1262
11	0.22	0.02	60	1011
12	0.24	0.02	60	911
13	0.26	0.02	60	735
14	0.28	0.02	60	727
15	0.3	0.02	60	768
16	0.32	0.02	60	877
17	0.34	0.02	60	859
18	0.36	0.02	60	985
19	0.38	0.02	60	928
20	0.4	0.02	60	1099
21	0.42	0.02	60	1132
22	0.44	0.02	60	1195
23	0.46	0.02	60	1262
24	0.48	0.02	60	1301
25	0.5	0.02	60	1319
26	0.52	0.02	60	1310
27	0.54	0.02	60	1319
28	0.56	0.02	60	1369
29	0.58	0.02	60	1314
30	0.6	0.02	60	1316
31	0.62	0.02	60	1272
32	0.64	0.02	60	1282
33	0.66	0.02	60	1256
34	0.68	0.02	60	1248
35	0.7	0.02	60	1273

ตารางที่ 1 ผลการทดลองของหัววัดรังสี
NaI(Tl) กับ เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้น

(ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
36	0.72	0.02	60	1246
37	0.74	0.02	60	1243
38	0.76	0.02	60	1254
39	0.78	0.02	60	1260
40	0.8	0.02	60	1200
41	0.82	0.02	60	1231
42	0.84	0.02	60	1199
43	0.86	0.02	60	1099
44	0.88	0.02	60	1105
45	0.9	0.02	60	1131
46	0.92	0.02	60	1141
47	0.94	0.02	60	1128
48	0.96	0.02	60	1058
49	0.98	0.02	60	1043
50	1	0.02	60	1067
51	1.02	0.02	60	1077
52	1.04	0.02	60	1064
53	1.06	0.02	60	1033
54	1.08	0.02	60	978
55	1.1	0.02	60	995
56	1.12	0.02	60	974
57	1.14	0.02	60	939
58	1.16	0.02	60	969
59	1.18	0.02	60	978
60	1.2	0.02	60	998
61	1.22	0.02	60	967
62	1.24	0.02	60	1035
63	1.26	0.02	60	1032
64	1.28	0.02	60	1053
65	1.3	0.02	60	1073
66	1.32	0.02	60	1001
67	1.34	0.02	60	1062
68	1.36	0.02	60	974
69	1.38	0.02	60	1009
70	1.4	0.02	60	1008

ตารางที่ 1 ผลการทดลองของหัววัดรังสี
NaI(Tl) กับ เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้น

(ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
71	1.42	0.02	60	897
72	1.44	0.02	60	926
73	1.46	0.02	60	903
74	1.48	0.02	60	847
75	1.5	0.02	60	835
76	1.52	0.02	60	802
77	1.54	0.02	60	776
78	1.56	0.02	60	790
79	1.58	0.02	60	802
80	1.6	0.02	60	799
81	1.62	0.02	60	801
82	1.64	0.02	60	811
83	1.66	0.02	60	717
84	1.68	0.02	60	664
85	1.7	0.02	60	734
86	1.72	0.02	60	644
87	1.74	0.02	60	650
88	1.76	0.02	60	587
89	1.78	0.02	60	599
90	1.8	0.02	60	661
91	1.82	0.02	60	541
92	1.84	0.02	60	536
93	1.86	0.02	60	541
94	1.88	0.02	60	602
95	1.9	0.02	60	613
96	1.92	0.02	60	526
97	1.94	0.02	60	522
98	1.96	0.02	60	508
99	1.98	0.02	60	537
100	2	0.02	60	553
101	2.02	0.02	60	511
102	2.04	0.02	60	520
103	2.06	0.02	60	501
104	2.08	0.02	60	498
105	2.1	0.02	60	559

ตารางที่ 1 ผลการทดลองของหัววัดรังสี
NaI(Tl) กับ เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้น

(ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
106	2.12	0.02	60	475
107	2.14	0.02	60	498
108	2.16	0.02	60	467
109	2.18	0.02	60	490
110	2.2	0.02	60	505
111	2.22	0.02	60	510
112	2.24	0.02	60	442
113	2.26	0.02	60	427
114	2.28	0.02	60	455
115	2.3	0.02	60	522
116	2.32	0.02	60	466
117	2.34	0.02	60	438
118	2.36	0.02	60	411
119	2.38	0.02	60	466
120	2.4	0.02	60	504
121	2.42	0.02	60	443
122	2.44	0.02	60	449
123	2.46	0.02	60	445
124	2.48	0.02	60	398
125	2.5	0.02	60	470
126	2.52	0.02	60	418
127	2.54	0.02	60	429
128	2.56	0.02	60	439
129	2.58	0.02	60	445
130	2.6	0.02	60	490
131	2.62	0.02	60	479
132	2.64	0.02	60	443
133	2.66	0.02	60	419
134	2.68	0.02	60	440
135	2.7	0.02	60	418
136	2.72	0.02	60	402
137	2.74	0.02	60	411
138	2.76	0.02	60	409
139	2.78	0.02	60	419
140	2.8	0.02	60	448

ตารางที่ 1 ผลการทดลองของหัววัดรังสี
NaI(Tl) กับ เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้น

(ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
141	2.82	0.02	60	401
142	2.84	0.02	60	406
143	2.86	0.02	60	422
144	2.88	0.02	60	422
145	2.9	0.02	60	430
146	2.92	0.02	60	473
147	2.94	0.02	60	418
148	2.96	0.02	60	430
149	2.98	0.02	60	413
150	3	0.02	60	466
151	3.02	0.02	60	432
152	3.04	0.02	60	443
153	3.06	0.02	60	417
154	3.08	0.02	60	402
155	3.1	0.02	60	408
156	3.12	0.02	60	419
157	3.14	0.02	60	396
158	3.16	0.02	60	395
159	3.18	0.02	60	391
160	3.2	0.02	60	332
161	3.22	0.02	60	363
162	3.24	0.02	60	343
163	3.26	0.02	60	328
164	3.28	0.02	60	280
165	3.3	0.02	60	225
166	3.32	0.02	60	265
167	3.34	0.02	60	281
168	3.36	0.02	60	234
169	3.38	0.02	60	239
170	3.4	0.02	60	184
171	3.42	0.02	60	164
172	3.44	0.02	60	216
173	3.46	0.02	60	183
174	3.48	0.02	60	193
175	3.5	0.02	60	170

ตารางที่ 1 ผลการทดลองของหัววัดรังสี
NaI(Tl) กับ เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้น

(ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
176	3.52	0.02	60	178
177	3.54	0.02	60	169
178	3.56	0.02	60	154
179	3.58	0.02	60	171
180	3.6	0.02	60	143
181	3.62	0.02	60	137
182	3.64	0.02	60	135
183	3.66	0.02	60	114
184	3.68	0.02	60	129
185	3.7	0.02	60	112
186	3.72	0.02	60	116
187	3.74	0.02	60	113
188	3.76	0.02	60	104
189	3.78	0.02	60	108
190	3.8	0.02	60	116
191	3.82	0.02	60	117
192	3.84	0.02	60	104
193	3.86	0.02	60	102
194	3.88	0.02	60	117
195	3.9	0.02	60	101
196	3.92	0.02	60	113
197	3.94	0.02	60	118
198	3.96	0.02	60	126
199	3.98	0.02	60	141
200	4	0.02	60	130
201	4.02	0.02	60	152
202	4.04	0.02	60	154
203	4.06	0.02	60	237
204	4.08	0.02	60	812
205	4.1	0.02	60	4019
206	4.12	0.02	60	6602
207	4.14	0.02	60	7742
208	4.16	0.02	60	8843
209	4.18	0.02	60	8925
210	4.2	0.02	60	9295

ตารางที่ 1 ผลการทดลองของหัววัดรังสี
NaI(Tl) กับ เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้น

(ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
211	4.22	0.02	60	10256
212	4.24	0.02	60	9275
213	4.26	0.02	60	8426
214	4.28	0.02	60	7617
215	4.3	0.02	60	6983
216	4.32	0.02	60	4393
217	4.34	0.02	60	1406
218	4.36	0.02	60	563
219	4.38	0.02	60	259
220	4.4	0.02	60	96
221	4.42	0.02	60	92
222	4.44	0.02	60	82
223	4.46	0.02	60	65
224	4.48	0.02	60	0
225	4.5	0.02	60	0
226	4.52	0.02	60	0
227	4.54	0.02	60	0
228	4.56	0.02	60	0

ตารางที่ 2 ผลการทดลองหัววัดรังสีชนิด
CsI(Tl) กับ เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้น

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
1	0.02	0.02	60	10573
2	0.04	0.02	60	7956
3	0.06	0.02	60	6575
4	0.08	0.02	60	6197
5	0.1	0.02	60	5808
6	0.12	0.02	60	5145
7	0.14	0.02	60	4375
8	0.16	0.02	60	3573
9	0.18	0.02	60	2736
10	0.2	0.02	60	1825
11	0.22	0.02	60	1686
12	0.24	0.02	60	1615
13	0.26	0.02	60	1472
14	0.28	0.02	60	1511
15	0.3	0.02	60	1442
16	0.32	0.02	60	1458
17	0.34	0.02	60	1407
18	0.36	0.02	60	1487
19	0.38	0.02	60	1429
20	0.4	0.02	60	1393
21	0.42	0.02	60	1398
22	0.44	0.02	60	1384
23	0.46	0.02	60	1299
24	0.48	0.02	60	1322
25	0.5	0.02	60	1313
26	0.52	0.02	60	1388
27	0.54	0.02	60	1310
28	0.56	0.02	60	1278
29	0.58	0.02	60	1301
30	0.6	0.02	60	1354
31	0.62	0.02	60	1236
32	0.64	0.02	60	1344
33	0.66	0.02	60	1194
34	0.68	0.02	60	1217
35	0.7	0.02	60	1220

ตารางที่ 2 ผลการทดลองห่าวัครงสี CsI(Tl)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้น (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
36	0.72	0.02	60	1226
37	0.74	0.02	60	1222
38	0.76	0.02	60	1191
39	0.78	0.02	60	1124
40	0.8	0.02	60	1173
41	0.82	0.02	60	1154
42	0.84	0.02	60	1180
43	0.86	0.02	60	1095
44	0.88	0.02	60	1200
45	0.9	0.02	60	1177
46	0.92	0.02	60	1043
47	0.94	0.02	60	1231
48	0.96	0.02	60	1195
49	0.98	0.02	60	1147
50	1	0.02	60	1201
51	1.02	0.02	60	1269
52	1.04	0.02	60	1244
53	1.06	0.02	60	1279
54	1.08	0.02	60	1275
55	1.1	0.02	60	1270
56	1.12	0.02	60	1267
57	1.14	0.02	60	1243
58	1.16	0.02	60	1215
59	1.18	0.02	60	1735
60	1.2	0.02	60	1223
61	1.22	0.02	60	1195
62	1.24	0.02	60	1189
63	1.26	0.02	60	1161
64	1.28	0.02	60	1126
65	1.3	0.02	60	1043
66	1.32	0.02	60	1154
67	1.34	0.02	60	1065
68	1.36	0.02	60	1131
69	1.38	0.02	60	980
70	1.4	0.02	60	973
71	1.42	0.02	60	959

ตารางที่ 2 ผลการทดลองห่าวัครงสี CsI(Tl)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้น (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
72	1.44	0.02	60	968
73	1.46	0.02	60	982
74	1.48	0.02	60	999
75	1.5	0.02	60	836
76	1.52	0.02	60	875
77	1.54	0.02	60	843
78	1.56	0.02	60	822
79	1.58	0.02	60	816
80	1.6	0.02	60	875
81	1.62	0.02	60	892
82	1.64	0.02	60	874
83	1.66	0.02	60	844
84	1.68	0.02	60	838
85	1.7	0.02	60	853
86	1.72	0.02	60	819
87	1.74	0.02	60	805
88	1.76	0.02	60	798
89	1.78	0.02	60	790
90	1.8	0.02	60	771
91	1.82	0.02	60	780
92	1.84	0.02	60	769
93	1.86	0.02	60	746
94	1.88	0.02	60	739
95	1.9	0.02	60	763
96	1.92	0.02	60	746
97	1.94	0.02	60	740
98	1.96	0.02	60	739
99	1.98	0.02	60	736
100	2	0.02	60	802
101	2.02	0.02	60	835
102	2.04	0.02	60	793
103	2.06	0.02	60	775
104	2.08	0.02	60	762
105	2.1	0.02	60	714
106	2.12	0.02	60	696

ตารางที่ 2 ผลการทดลองห้วงวัดรังสี CsI(Tl)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้น (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
107	2.14	0.02	60	718
108	2.16	0.02	60	724
109	2.18	0.02	60	730
110	2.2	0.02	60	858
111	2.22	0.02	60	717
112	2.24	0.02	60	703
113	2.26	0.02	60	690
114	2.28	0.02	60	683
115	2.3	0.02	60	755
116	2.32	0.02	60	712
117	2.34	0.02	60	771
118	2.36	0.02	60	675
119	2.38	0.02	60	660
120	2.4	0.02	60	664
121	2.42	0.02	60	672
122	2.44	0.02	60	659
123	2.46	0.02	60	576
124	2.48	0.02	60	551
125	2.5	0.02	60	543
126	2.52	0.02	60	523
127	2.54	0.02	60	510
128	2.56	0.02	60	491
129	2.58	0.02	60	456
130	2.6	0.02	60	479
131	2.62	0.02	60	488
132	2.64	0.02	60	449
133	2.66	0.02	60	385
134	2.68	0.02	60	378
135	2.7	0.02	60	352
136	2.72	0.02	60	343
137	2.74	0.02	60	311
138	2.76	0.02	60	405
139	2.78	0.02	60	300
140	2.8	0.02	60	272
141	2.82	0.02	60	255
142	2.84	0.02	60	278

ตารางที่ 2 ผลการทดลองห้วงวัดรังสี CsI(Tl)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้น (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
143	2.86	0.02	60	241
144	2.88	0.02	60	253
145	2.9	0.02	60	249
146	2.92	0.02	60	240
147	2.94	0.02	60	257
148	2.96	0.02	60	215
149	2.98	0.02	60	288
150	3	0.02	60	205
151	3.02	0.02	60	231
152	3.04	0.02	60	294
153	3.06	0.02	60	257
154	3.08	0.02	60	210
155	3.1	0.02	60	226
156	3.12	0.02	60	235
157	3.14	0.02	60	257
158	3.16	0.02	60	268
159	3.18	0.02	60	272
160	3.2	0.02	60	354
161	3.22	0.02	60	430
162	3.24	0.02	60	537
163	3.26	0.02	60	587
164	3.28	0.02	60	674
165	3.3	0.02	60	771
166	3.32	0.02	60	759
167	3.34	0.02	60	785
168	3.36	0.02	60	877
169	3.38	0.02	60	974
170	3.4	0.02	60	998
171	3.42	0.02	60	1147
172	3.44	0.02	60	1252
173	3.46	0.02	60	1325
174	3.48	0.02	60	1913
175	3.5	0.02	60	2076
176	3.52	0.02	60	2021
177	3.54	0.02	60	2354

ตารางที่ 2 ผลการทดลองห่าวัครงสี CsI(Tl)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้น (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
178	3.56	0.02	60	2408
179	3.58	0.02	60	2425
180	3.6	0.02	60	2541
181	3.62	0.02	60	2566
182	3.64	0.02	60	2586
183	3.66	0.02	60	2723
184	3.68	0.02	60	2626
185	3.7	0.02	60	2605
186	3.72	0.02	60	2564
187	3.74	0.02	60	2472
188	3.76	0.02	60	2331
189	3.78	0.02	60	2304
190	3.8	0.02	60	2257
191	3.82	0.02	60	1335
192	3.84	0.02	60	1320
193	3.86	0.02	60	1224
194	3.88	0.02	60	1267
195	3.9	0.02	60	1189
196	3.92	0.02	60	1142
197	3.94	0.02	60	1276
198	3.96	0.02	60	1295
199	3.98	0.02	60	1235
200	4	0.02	60	1227
201	4.02	0.02	60	1221
202	4.04	0.02	60	1247
203	4.06	0.02	60	1253
204	4.08	0.02	60	1267
205	4.1	0.02	60	1201
206	4.12	0.02	60	1196
207	4.14	0.02	60	1104
208	4.16	0.02	60	1082
209	4.18	0.02	60	975
210	4.2	0.02	60	958
211	4.22	0.02	60	861
212	4.24	0.02	60	734
213	4.26	0.02	60	675

ตารางที่ 2 ผลการทดลองห่าวัครงสี CsI(Tl)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีที่พัฒนาขึ้น (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
214	4.28	0.02	60	570
215	4.3	0.02	60	364
216	4.32	0.02	60	233
217	4.34	0.02	60	146
218	4.36	0.02	60	60
219	4.38	0.02	60	46
220	4.4	0.02	60	1
221	4.42	0.02	60	0
222	4.44	0.02	60	0
223	4.46	0.02	60	0
224	4.48	0.02	60	0
225	4.5	0.02	60	0
226	4.52	0.02	60	0
227	4.54	0.02	60	0
228	4.56	0.02	60	0
229	4.58	0.02	60	0
230	4.6	0.02	60	0

ตารางที่ 3 ผลการทดลองห้วงวัดรังสี NaI (T1)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
1	0.02	0.02	60	43035
2	0.04	0.02	60	44349
3	0.06	0.02	60	44620
4	0.08	0.02	60	44381
5	0.1	0.02	60	44487
6	0.12	0.02	60	43978
7	0.14	0.02	60	40720
8	0.16	0.02	60	37484
9	0.18	0.02	60	35618
10	0.2	0.02	60	34087
11	0.22	0.02	60	32166
12	0.24	0.02	60	30397
13	0.26	0.02	60	27961
14	0.28	0.02	60	26002
15	0.3	0.02	60	24020
16	0.32	0.02	60	22072
17	0.34	0.02	60	20863
18	0.36	0.02	60	19320
19	0.38	0.02	60	18914
20	0.4	0.02	60	17265
21	0.42	0.02	60	16694
22	0.44	0.02	60	16151
23	0.46	0.02	60	15975
24	0.48	0.02	60	15768
25	0.5	0.02	60	14285
26	0.52	0.02	60	11103
27	0.54	0.02	60	3838
28	0.56	0.02	60	2258
29	0.58	0.02	60	2095
30	0.6	0.02	60	1810
31	0.62	0.02	60	1682
32	0.64	0.02	60	1527
33	0.66	0.02	60	1413
34	0.68	0.02	60	1360
35	0.7	0.02	60	1239
36	0.72	0.02	60	1128

ตารางที่ 3 ผลการทดลองห้วงวัดรังสี NaI (T1)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
37	0.74	0.02	60	1076
38	0.76	0.02	60	1014
39	0.78	0.02	60	1005
40	0.8	0.02	60	930
41	0.82	0.02	60	865
42	0.84	0.02	60	871
43	0.86	0.02	60	788
44	0.88	0.02	60	742
45	0.9	0.02	60	718
46	0.92	0.02	60	656
47	0.94	0.02	60	578
48	0.96	0.02	60	507
49	0.98	0.02	60	509
50	1	0.02	60	439
51	1.02	0.02	60	477
52	1.04	0.02	60	439
53	1.06	0.02	60	400
54	1.08	0.02	60	372
55	1.1	0.02	60	359
56	1.12	0.02	60	377
57	1.14	0.02	60	352
58	1.16	0.02	60	338
59	1.18	0.02	60	346
60	1.2	0.02	60	325
61	1.22	0.02	60	322
62	1.24	0.02	60	302
63	1.26	0.02	60	344
64	1.28	0.02	60	340
65	1.3	0.02	60	325
66	1.32	0.02	60	364
67	1.34	0.02	60	346
68	1.36	0.02	60	345
69	1.38	0.02	60	324
70	1.4	0.02	60	349
71	1.42	0.02	60	328

ตารางที่ 3 ผลการทดลองห่าวัครงสี NaI (T1)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
72	1.44	0.02	60	331
73	1.46	0.02	60	301
74	1.48	0.02	60	280
75	1.5	0.02	60	282
76	1.52	0.02	60	265
77	1.54	0.02	60	252
78	1.56	0.02	60	243
79	1.58	0.02	60	256
80	1.6	0.02	60	265
81	1.62	0.02	60	254
82	1.64	0.02	60	236
83	1.66	0.02	60	253
84	1.68	0.02	60	252
85	1.7	0.02	60	223
86	1.72	0.02	60	195
87	1.74	0.02	60	219
88	1.76	0.02	60	191
89	1.78	0.02	60	188
90	1.8	0.02	60	197
91	1.82	0.02	60	172
92	1.84	0.02	60	175
93	1.86	0.02	60	211
94	1.88	0.02	60	162
95	1.9	0.02	60	192
96	1.92	0.02	60	170
97	1.94	0.02	60	172
98	1.96	0.02	60	169
99	1.98	0.02	60	181
100	2	0.02	60	177
101	2.02	0.02	60	163
102	2.04	0.02	60	130
103	2.06	0.02	60	139
104	2.08	0.02	60	121
105	2.1	0.02	60	145
106	2.12	0.02	60	140
107	2.14	0.02	60	123

ตารางที่ 3 ผลการทดลองห่าวัครงสี NaI (T1)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
108	2.16	0.02	60	115
109	2.18	0.02	60	102
110	2.2	0.02	60	158
111	2.22	0.02	60	136
112	2.24	0.02	60	104
113	2.26	0.02	60	127
114	2.28	0.02	60	114
115	2.3	0.02	60	124
116	2.32	0.02	60	109
117	2.34	0.02	60	117
118	2.36	0.02	60	124
119	2.38	0.02	60	115
120	2.4	0.02	60	148
121	2.42	0.02	60	141
122	2.44	0.02	60	147
123	2.46	0.02	60	139
124	2.48	0.02	60	140
125	2.5	0.02	60	136
126	2.52	0.02	60	131
127	2.54	0.02	60	128
128	2.56	0.02	60	125
129	2.58	0.02	60	113
130	2.6	0.02	60	118
131	2.62	0.02	60	120
132	2.64	0.02	60	136
133	2.66	0.02	60	127
134	2.68	0.02	60	122
135	2.7	0.02	60	126
136	2.72	0.02	60	119
137	2.74	0.02	60	105
138	2.76	0.02	60	117
139	2.78	0.02	60	105
140	2.8	0.02	60	110
141	2.82	0.02	60	93
142	2.84	0.02	60	88

ตารางที่ 3 ผลการทดลองหัววัดรังสี NaI (T1)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
143	2.86	0.02	60	84
144	2.88	0.02	60	79
145	2.9	0.02	60	64
146	2.92	0.02	60	77
147	2.94	0.02	60	79
148	2.96	0.02	60	82
149	2.98	0.02	60	62
150	3	0.02	60	104
151	3.02	0.02	60	102
152	3.04	0.02	60	91
153	3.06	0.02	60	97
154	3.08	0.02	60	89
155	3.1	0.02	60	88
156	3.12	0.02	60	73
157	3.14	0.02	60	65
158	3.16	0.02	60	51
159	3.18	0.02	60	47
160	3.2	0.02	60	49
161	3.22	0.02	60	42
162	3.24	0.02	60	38
163	3.26	0.02	60	35
164	3.28	0.02	60	39
165	3.3	0.02	60	32
166	3.32	0.02	60	40
167	3.34	0.02	60	35
168	3.36	0.02	60	36
169	3.38	0.02	60	31
170	3.4	0.02	60	32
171	3.42	0.02	60	21
172	3.44	0.02	60	24
173	3.46	0.02	60	27
174	3.48	0.02	60	22
175	3.5	0.02	60	23
176	3.52	0.02	60	16
177	3.54	0.02	60	12
178	3.56	0.02	60	10

ตารางที่ 3 ผลการทดลองหัววัดรังสี NaI (T1)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
179	3.58	0.02	60	11
180	3.6	0.02	60	8
181	3.62	0.02	60	13
182	3.64	0.02	60	6
183	3.66	0.02	60	8
184	3.68	0.02	60	13
185	3.7	0.02	60	7
186	3.72	0.02	60	9
187	3.74	0.02	60	17
188	3.76	0.02	60	5
189	3.78	0.02	60	9
190	3.8	0.02	60	8
191	3.82	0.02	60	2
192	3.84	0.02	60	6
193	3.86	0.02	60	4
194	3.88	0.02	60	7
195	3.9	0.02	60	3
196	3.92	0.02	60	11
197	3.94	0.02	60	10
198	3.96	0.02	60	16
199	3.98	0.02	60	19
200	4	0.02	60	14
201	4.02	0.02	60	20
202	4.04	0.02	60	21
203	4.06	0.02	60	30
204	4.08	0.02	60	28
205	4.1	0.02	60	21
206	4.12	0.02	60	33
207	4.14	0.02	60	46
208	4.16	0.02	60	43
209	4.18	0.02	60	38
210	4.2	0.02	60	53
211	4.22	0.02	60	61
212	4.24	0.02	60	63
213	4.26	0.02	60	61

ตารางที่ 3 ผลการทดลองห้วงครึ่งสี NaI (T1)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
214	4.28	0.02	60	81
215	4.3	0.02	60	80
216	4.32	0.02	60	81
217	4.34	0.02	60	98
218	4.36	0.02	60	99
219	4.38	0.02	60	96
220	4.4	0.02	60	79
221	4.42	0.02	60	87
222	4.44	0.02	60	70
223	4.46	0.02	60	86
224	4.48	0.02	60	80
225	4.5	0.02	60	56
226	4.52	0.02	60	34
227	4.54	0.02	60	31
228	4.56	0.02	60	29
229	4.58	0.02	60	24
230	4.6	0.02	60	27
231	4.62	0.02	60	18
232	4.64	0.02	60	13
233	4.66	0.02	60	8
234	4.68	0.02	60	7
235	4.7	0.02	60	4
236	4.72	0.02	60	0
237	4.74	0.02	60	0
238	4.76	0.02	60	2
239	4.78	0.02	60	0
240	4.8	0.02	60	0
241	4.82	0.02	60	0
242	4.84	0.02	60	0
243	4.86	0.02	60	0
244	4.88	0.02	60	0
245	4.9	0.02	60	2
246	4.92	0.02	60	0
247	4.94	0.02	60	0
248	4.96	0.02	60	0
249	4.98	0.02	60	0

ตารางที่ 4 ผลการทดลองห้วงครึ่งสี CsI (T1)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
1	0.02	0.02	60	342354
2	0.04	0.02	60	54871
3	0.06	0.02	60	46431
4	0.08	0.02	60	42966
5	0.1	0.02	60	41735
6	0.12	0.02	60	40479
7	0.14	0.02	60	39173
8	0.16	0.02	60	37945
9	0.18	0.02	60	37324
10	0.2	0.02	60	36118
11	0.22	0.02	60	33592
12	0.24	0.02	60	31716
13	0.26	0.02	60	30473
14	0.28	0.02	60	28820
15	0.3	0.02	60	27591
16	0.32	0.02	60	26498
17	0.34	0.02	60	25673
18	0.36	0.02	60	22521
19	0.38	0.02	60	21750
20	0.4	0.02	60	20898
21	0.42	0.02	60	19935
22	0.44	0.02	60	18707
23	0.46	0.02	60	17382
24	0.48	0.02	60	16931
25	0.5	0.02	60	16350
26	0.52	0.02	60	15983
27	0.54	0.02	60	15225
28	0.56	0.02	60	14893
29	0.58	0.02	60	14018
30	0.6	0.02	60	13100
31	0.62	0.02	60	11562
32	0.64	0.02	60	10733
33	0.66	0.02	60	9486
34	0.68	0.02	60	8244
35	0.7	0.02	60	6205

ตารางที่ 4 ผลการทดลองหัววัดรังสี CsI (T1)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
36	0.72	0.02	60	5748
37	0.74	0.02	60	4001
38	0.76	0.02	60	3390
39	0.78	0.02	60	2515
40	0.8	0.02	60	1809
41	0.82	0.02	60	1682
42	0.84	0.02	60	1224
43	0.86	0.02	60	1162
44	0.88	0.02	60	1030
45	0.9	0.02	60	872
46	0.92	0.02	60	793
47	0.94	0.02	60	757
48	0.96	0.02	60	680
49	0.98	0.02	60	649
50	1	0.02	60	624
51	1.02	0.02	60	577
52	1.04	0.02	60	532
53	1.06	0.02	60	510
54	1.08	0.02	60	495
55	1.1	0.02	60	470
56	1.12	0.02	60	454
57	1.14	0.02	60	430
58	1.16	0.02	60	352
59	1.18	0.02	60	374
60	1.2	0.02	60	339
61	1.22	0.02	60	360
62	1.24	0.02	60	326
63	1.26	0.02	60	311
64	1.28	0.02	60	296
65	1.3	0.02	60	280
66	1.32	0.02	60	245
67	1.34	0.02	60	238
68	1.36	0.02	60	263
69	1.38	0.02	60	280
70	1.4	0.02	60	235
71	1.42	0.02	60	293

ตารางที่ 4 ผลการทดลองหัววัดรังสี CsI (T1)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
72	1.44	0.02	60	214
73	1.46	0.02	60	205
74	1.48	0.02	60	191
75	1.5	0.02	60	193
76	1.52	0.02	60	182
77	1.54	0.02	60	176
78	1.56	0.02	60	173
79	1.58	0.02	60	185
80	1.6	0.02	60	182
81	1.62	0.02	60	169
82	1.64	0.02	60	182
83	1.66	0.02	60	180
84	1.68	0.02	60	181
85	1.7	0.02	60	177
86	1.72	0.02	60	168
87	1.74	0.02	60	162
88	1.76	0.02	60	164
89	1.78	0.02	60	151
90	1.8	0.02	60	171
91	1.82	0.02	60	155
92	1.84	0.02	60	149
93	1.86	0.02	60	147
94	1.88	0.02	60	144
95	1.9	0.02	60	133
96	1.92	0.02	60	151
97	1.94	0.02	60	144
98	1.96	0.02	60	137
99	1.98	0.02	60	140
100	2	0.02	60	129
101	2.02	0.02	60	133
102	2.04	0.02	60	138
103	2.06	0.02	60	143
104	2.08	0.02	60	146
105	2.1	0.02	60	144
106	2.12	0.02	60	132

ตารางที่ 4 ผลการทดลองห่าวัครงสี CsI (T1)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
107	2.14	0.02	60	134
108	2.16	0.02	60	126
109	2.18	0.02	60	120
110	2.2	0.02	60	132
111	2.22	0.02	60	105
112	2.24	0.02	60	110
113	2.26	0.02	60	127
114	2.28	0.02	60	124
115	2.3	0.02	60	113
116	2.32	0.02	60	95
117	2.34	0.02	60	86
118	2.36	0.02	60	98
119	2.38	0.02	60	113
120	2.4	0.02	60	86
121	2.42	0.02	60	81
122	2.44	0.02	60	92
123	2.46	0.02	60	77
124	2.48	0.02	60	66
125	2.5	0.02	60	57
126	2.52	0.02	60	59
127	2.54	0.02	60	63
128	2.56	0.02	60	60
129	2.58	0.02	60	56
130	2.6	0.02	60	51
131	2.62	0.02	60	47
132	2.64	0.02	60	42
133	2.66	0.02	60	33
134	2.68	0.02	60	28
135	2.7	0.02	60	31
136	2.72	0.02	60	49
137	2.74	0.02	60	42
138	2.76	0.02	60	39
139	2.78	0.02	60	34
140	2.8	0.02	60	30
141	2.82	0.02	60	21
142	2.84	0.02	60	24

ตารางที่ 4 ผลการทดลองห่าวัครงสี CsI (T1)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
143	2.86	0.02	60	41
144	2.88	0.02	60	37
145	2.9	0.02	60	39
146	2.92	0.02	60	50
147	2.94	0.02	60	58
148	2.96	0.02	60	54
149	2.98	0.02	60	41
150	3	0.02	60	69
151	3.02	0.02	60	72
152	3.04	0.02	60	78
153	3.06	0.02	60	96
154	3.08	0.02	60	113
155	3.1	0.02	60	138
156	3.12	0.02	60	136
157	3.14	0.02	60	164
158	3.16	0.02	60	141
159	3.18	0.02	60	210
160	3.2	0.02	60	211
161	3.22	0.02	60	261
162	3.24	0.02	60	262
163	3.26	0.02	60	270
164	3.28	0.02	60	304
165	3.3	0.02	60	300
166	3.32	0.02	60	278
167	3.34	0.02	60	328
168	3.36	0.02	60	307
169	3.38	0.02	60	293
170	3.4	0.02	60	292
171	3.42	0.02	60	291
172	3.44	0.02	60	284
173	3.46	0.02	60	260
174	3.48	0.02	60	307
175	3.5	0.02	60	272
176	3.52	0.02	60	253
177	3.54	0.02	60	215

ตารางที่ 4 ผลการทดลองห่าวัครงสี CsI (T1)
กับ เครื่องนับพัลส์รังสีเชิงพาณิชย์ (ต่อ)

Channel	LLD (Volt)	DEL (Volt)	Time (sec)	Count
178	3.56	0.02	60	211
179	3.58	0.02	60	165
180	3.6	0.02	60	162
179	3.58	0.02	60	165
180	3.6	0.02	60	162
181	3.62	0.02	60	131
182	3.64	0.02	60	117
183	3.66	0.02	60	121
184	3.68	0.02	60	113
185	3.7	0.02	60	93
186	3.72	0.02	60	87
187	3.74	0.02	60	54
188	3.76	0.02	60	69
189	3.78	0.02	60	64
190	3.8	0.02	60	58
191	3.82	0.02	60	33
192	3.84	0.02	60	28
193	3.86	0.02	60	29
194	3.88	0.02	60	27
195	3.9	0.02	60	23
196	3.92	0.02	60	20
197	3.94	0.02	60	18
198	3.96	0.02	60	12
199	3.98	0.02	60	18
200	4	0.02	60	11
201	4.02	0.02	60	10
202	4.04	0.02	60	8
203	4.06	0.02	60	3
204	4.08	0.02	60	7
205	4.1	0.02	60	5
206	4.12	0.02	60	3
207	4.14	0.02	60	0
208	4.16	0.02	60	0
209	4.18	0.02	60	0
210	4.2	0.02	60	0