



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (รังสีประยุกต์และไอโซโทป)  
ปริญญา

รังสีประยุกต์และไอโซโทป สาขา ภาควิชา  
รังสีประยุกต์และไอโซโทป ภาควิชา

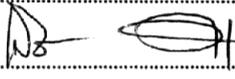
เรื่อง การพัฒนาระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา

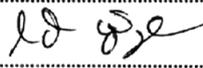
Development of a Portable Nuclear Pulse Height Analyzer System

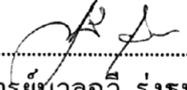
นามผู้วิจัย นายภานุพงษ์ หมั่นจิต

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ (  )  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อดิศักดิ์ เงินวิจิตร, วศ.ม. )

กรรมการ (  )  
( อาจารย์เดโช ทองอร่าม, วศ.ม. )

กรรมการ (  )  
( รองศาสตราจารย์ เพ็ญจันทร์ ชิงห์, วท.ม. )

หัวหน้าภาควิชา (  )  
( รองศาสตราจารย์ นวพลวี รุ่งชนเกียรติ, วท.ค. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(  )  
( รองศาสตราจารย์วินัย อากงหาญ, M.A. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 13 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2548

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา

Development of a Portable Nuclear Pulse Height Analyzer System

โดย

นายภานุพงษ์ หมั่นจิต

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (รังสีประยุกต์และไอโซโทป)

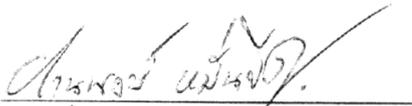
พ.ศ. 2548

ISBN 974-16-1028-9

กานูพงษ์ หมั่นจิต 2548: การพัฒนาระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (รังสีประยุกต์และไอโซโทป) สาขาวิชารังสีประยุกต์  
และไอโซโทป ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป ปรธานกรรมการที่ปรึกษา:  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณฤพวิจัก์ เงินวิจิตร, วศ.ม. 88 หน้า  
ISBN 974-16-1028-9

ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในการเรียนการ  
สอน และการวิจัย ระบบสามารถวัดพลังงานรังสีแกมมา และอัตราการนับเฉลี่ย โดยการใช้  
ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต และเครื่องช่วยงานส่วนบุคคลแบบดิจิทัล (พีดีเอ) รุ่น ปาล์ม ทั้งสแตน  
ที่ ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพาประกอบด้วย ก) วงจรแหล่งจ่ายความต่าง  
ศักย์ไฟฟ้าแรงสูง สำหรับใช้จ่าย +900 โวลต์ ให้กับหลอดทวิคูณแสง ข) วงจรภาคขยายปรับการ  
ขยายสัญญาณ ได้ตั้งแต่ 1 ถึง 300 เท่า ค) วงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ใช้ single chip SCA  
พัฒนาโดยภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ง) วงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงต่ำ สำหรับจ่ายพลังงานให้กับระบบ

ผลการทดสอบวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้า  
ได้สูงสุด 600 ไมโครแอมแปร์ ที่ +900 โวลต์ และค่า ripple factor ขณะใส่โหลด 0.00889 %  
วงจรภาคขยาย มีความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยาย ที่ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น  $R^2$  เท่ากับ 0.9991  
ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรมีค่าประมาณ 200 มิลลิโวลต์ จากพีคถึงพีค วิเคราะห์สเปกตรัม  
พลังงานด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นร่วมกับ หัววัดรังสีชนิดซิลิคอนทิลเลชันผลึกโซเดียมไอโอไดด์  
(ทิลเลียม) NaI(Tl) ได้ตำแหน่งการเกิดพีคพลังงาน 661.66 keV 1173.238 keV และ 1332.502  
keV ที่ channel 56.75 channel 102.58 และ channel 116.85 ความสามารถในการแจกแจง  
พลังงานมีค่าเท่ากับ 7.14% ที่พลังงาน 661.66 keV

  
ลายมือชื่อนิติศ

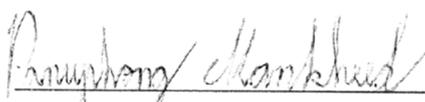
  
ลายมือชื่อประธานกรรมการ

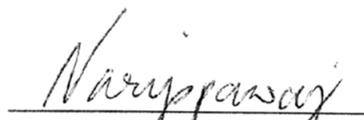
๒๒ / ๑๑ / ๒๕๔๘

Panuphong Mankheed 2005: Development of a Portable Nuclear Pulse Height Analyzer System. Master of Science (Applied Radiation and Isotopes), Major Field: Applied Radiation and Isotopes, Department of Applied Radiation and Isotopes. Thesis Advisor: Assistant Professor Narippawaj Ngernvijit, M.Eng. 88 pages. ISBN 974-16-1028-9

A portable nuclear pulse height analyzer system was developed for education and research. The system can measure gamma energy and counts rate by using a 8 bit microcontroller and Personal Digital Assistant (PDAs) model palm Tungsten T. The nuclear pulse height analyzer system was consisted of a) High Voltage Power Supply (HVPS) for supply +900V to PMT. b) Amplifier with gain vary from 1X to 300X. c) Pulse height analyzer using single chip SCA developed by Department of Nuclear Technology Faculty of Engineering Chulalongkorn University. d) Low voltage power supply used for system.

Test result shown that HVPS circuit can be supplied current up to 600  $\mu$ A at +900 V and the ripple factor was 0.00889 % at maximum load current. Gain of amplifier circuit is linear and linear correlation  $R^2 = 0.9991$ . Noise level of circuit 200 mV<sub>(p-p)</sub>. Analysis energy spectrum by using developed system together with a NaI(Tl) was found step number of photo peak 661.66 keV, 1173.238 keV and 1332.502 keV at channel 56.75, channel 102.58, and channel 116.85. Energy resolution was found to be 7.14% at 661.66 keV.

  
Student's signature

  
Thesis Advisor's signature

22 / 11 / 2005

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนุญจน์ วัฒนวิจิตร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำ การเขียนโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์เค โทงอร่วม กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในพัฒนาฮาร์ดแวร์ของระบบ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์เพ็ญจันทร์ ชิงห์ กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และรองศาสตราจารย์ วีระศักดิ์ อุดมโชค ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี และศูนย์เชี่ยวชาญเทคโนโลยี สำหรับการวิเคราะห์ และทดสอบวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมถึงอุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ ประโยชน์ที่วิทยานิพนธ์เล่มนี้พึงมี ผู้เขียนขอบอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ คณาจารย์ทุกท่าน รวมถึงผู้ที่ให้การช่วยเหลือ และสนับสนุนจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

กานุพงษ์ หมั่นจิต

พฤศจิกายน 2548

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
พลังงานรังสี	3
ระบบวัดรังสี	4
ความสามารถในการแจกแจงสเปกตรัมพลังงานของการวัดรังสี	6
ส่วนประกอบของระบบวิเคราะห์ความสูงของนิวเคลียร์พัลส์	9
แหล่งจ่ายกำลังความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง	9
ภาคขยายส่วนหน้า	9
ภาคขยาย	10
วงจรวิเคราะห์ความสูงสัญญาณพัลส์	11
วงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยวชนิดชิปเดี่ยว	15
การออกแบบสร้างเครื่องมือวิเคราะห์ความสูงของนิวเคลียร์พัลส์ชนิดพกพา	16
ไมโครคอนโทรลเลอร์	17
สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	17
ส่วนประกอบพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์	19
เครื่องช่วยงานส่วนบุคคลแบบดิจิทัล	21
อุปกรณ์ และวิธีการ	22
อุปกรณ์	22
วิธีการ	23
ข้อมูลพื้นฐานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา	23
การจัดอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีของระบบวิเคราะห์ความสูงนิวเคลียร์พัลส์	
ชนิดพกพา	24

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การออกแบบ และการสร้างระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ ชนิดพกพา	25
การทดสอบระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา	35
ผล และการวิจารณ์	39
การทดสอบระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา	39
การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง	39
การทดสอบวงจรภาคขยาย	45
การทดสอบโปรแกรม Scan SCA ที่ทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์ และบนพีดีเอ	48
สรุป	58
เอกสาร และสิ่งอ้างอิง	60
ภาคผนวก	64
ภาคผนวก ก	65
ภาคผนวก ข	71
ภาคผนวก ค	73
ภาคผนวก ง	76

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลการทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด	39
2	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก	41
3	ผลทดสอบความเสถียรของวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง	42
4	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของภาคขยาย	46
5	ผลความเป็นเชิงเส้นของการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ใน 1 วินาที	48
6	ความเป็นเชิงเส้นของการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ใน 10 วินาที	49
7	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD จากพีดีเอ	51
8	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง window จากพีดีเอ	52
9	ตำแหน่งการเกิดพีคพลังงานของ Cs-137 และ Co-60	55
ตารางผนวกที่		
ก1	ตำแหน่งการเกิดพีคพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 ที่ยังไม่ได้ แก้ไขความคลาดเคลื่อน	69
ก2	ตำแหน่งการเกิดพีคพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 ที่แก้ไขความคลาด เคลื่อนแล้ว	70

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนผังการสลายตัวของซีเซียม-137 (Cs-137)	3
2	สเปกตรัมพลังงานของซีเซียม-137 (Cs-137)	4
3	กระบวนการวัดรังสี	5
4	สเปกตรัมแบบเส้นเดี่ยว (ก) สเปกตรัมที่มีการกระจายแบบเกาส์เซียน (ข)	7
5	ผลของการเบี่ยงเบนความสูงพัลส์ต่อความกว้างของพีคพลังงาน	7
6	ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน	8
7	รูปสัญญาณพัลส์ยูนิโพลาร์ (ก) ไบโพลาร์ (ข)	10
8	ลักษณะการเกิดสัญญาณพัลส์ตรรกะของอินทิกรัลดิสครีมิเนเตอร์	11
9	การเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ด้านออกของวงจรวิเคราะห์ความสูง ของพัลส์แบบช่องเดี่ยว	12
10	ระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดี่ยวในแบบนอน-ไทม์มิงเอสซีเอ	12
11	การทำงานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยวในวิธีกวาด	14
12	แผนภาพการทำงานของวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยวชนิด ชิปเดี่ยว	15
13	การจัดอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีของระบบวิเคราะห์ความสูงนิวเคลียร์พัลส์ ชนิดพกพา	24
14	วงจรแหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูง	26
15	ภาพถ่ายแหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูงที่ประกอบเสร็จ	27
16	แผนภาพการทำงานของวงจรรักษาขยาย	27
17	ภาพวงจรรักษาขยาย	28
18	ภาพถ่ายวงจรรักษาขยายที่ประกอบเสร็จ	29
19	แผนภาพแสดงวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์	30
20	ภาพถ่ายวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ที่ประกอบเสร็จ	31
21	ผังงานโปรแกรมควบคุมหลักส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์	32

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	ผังงานการทำงานของโปรแกรมฐานเวลาในหน่วยวินาที และผังงานโปรแกรมนับสัญญาณลอจิกพัลส์โดยใช้การอินเทอร์รัพท์ที่พอร์ต RB0	33
23	ผังงานการทำงานของโปรแกรม Scan SCA ในส่วนพีดีเอ	34
24	แสดงการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรแหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูง	35
25	การจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรขยาย	36
26	การจัดอุปกรณ์ทดสอบโปรแกรมติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ต RS-232 โปรแกรมฐานเวลา และโปรแกรมนับสัญญาณลอจิกพัลส์ (ก) แสดงการจัดอุปกรณ์ทดสอบโปรแกรมควบคุมการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้า อ้างอิง LLD และ window บนวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ (ข)	38
27	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตัวต้านทานโหลด (เมกกะโอห์ม) กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก (โวลต์) ของแหล่งจ่ายความต่างศักย์ ไฟฟ้าแรงสูง	40
28	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทางเข้า (โวลต์) กับ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก (โวลต์) ของแหล่งจ่ายความต่างศักย์ ไฟฟ้าแรงสูง	41
29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (นาที) กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ทางออก (โวลต์) ของแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง	43
30	ripple voltage ขณะไม่มีโหลดในวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้า แรงสูง (ก) ripple voltage ขณะมีโหลดในวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ ไฟฟ้าแรงสูง (ข)	44
31	สัญญาณพัลส์ทางเข้าขนาด 500 มิลลิโวลต์ (ก) สัญญาณพัลส์ทางออก จากวงจรขยายก่อนการปรับ pole-zero cancellation และ baseline restorer (ข) สัญญาณพัลส์ทางออก จากวงจรขยายหลังการปรับ pole-zero cancellation และ baseline restorer (ค)	45

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
32	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสัญญาณพัลส์ทางเข้า (โวลต์) กับความสูงของสัญญาณพัลส์ทางออก (โวลต์)	47
33	ripple voltage ของภาคขยายสัญญาณ	47
34	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของแหล่งกำเนิดรูปสัญญาณ (กิโลเฮิรตซ์) กับจำนวนสัญญาณลอจิกพัลส์ที่นับได้ใน 1 วินาที (พัลส์)	50
35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของแหล่งกำเนิดรูปสัญญาณ (กิโลเฮิรตซ์) กับจำนวนสัญญาณลอจิกพัลส์ที่นับได้ใน 10 วินาที (พัลส์)	50
36	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD และ window (โวลต์) จากพีดีเอ กับความสูงของพัลส์ (โวลต์)	52
37	เมื่อกำหนดศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD จากพีดีเอ เท่ากับ 8.0 โวลต์ ทำให้ได้ค่าความสูงของพัลส์ ณ ตำแหน่งที่เกิด HT เท่ากับ 8.3 โวลต์ (ก) และเมื่อความสูงของพัลส์ทางเข้ามากกว่าค่า HT จะได้สัญญาณลอจิกพัลส์ทางออกความสูง 5.0 โวลต์ (ข)	53
38	สเปกตรัมพลังงานของ Cs-137 ที่ start LLD 0 โวลต์ และ stop LLD 10 โวลต์ window 40 มิลลิโวลต์ (ก) สเปกตรัมพลังงานของ Co-60 ที่ start LLD 0 โวลต์ และ stop LLD 10 โวลต์ window 40 มิลลิโวลต์ (ข) สเปกตรัมพลังงานของ Cs-137 ที่ start LLD 200 มิลลิโวลต์ stop LLD 3 โวลต์ และ window เท่ากับ 40 มิลลิโวลต์ (ค) สเปกตรัมพลังงานของ Co-60 ที่ start LLD เท่ากับ 200 มิลลิโวลต์ stop LLD เท่ากับ 6 โวลต์ และ window 40 มิลลิโวลต์ (ง)	54
39	พีคพลังงานของ Cs-137 ณ ตำแหน่งค่ากึ่งกลางสูงสุดของการนับด้านต่ำ (ก) พีคพลังงานของ Cs-137 ณ ตำแหน่งค่ากึ่งกลางสูงสุดของการนับด้านสูง (ข) พีคพลังงานของ Cs-137 ณ ตำแหน่งค่าสูงสุดของการนับ (ค)	56

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก1	สเปกตรัมพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 ที่ start LLD เท่ากับ 200 มิลลิโวลต์ stop LLD เท่ากับ 6 โวลต์ window 40 มิลลิโวลต์ และ เวลาการนับ 5 วินาทีต่อ step อัตราขยาย 10 เท่า	66
ก2	ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา และภาพสเปกตรัมพลังงานรังสีที่บันทึกเป็นข้อมูลไว้	67
ก3	การทำงานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา ขณะกำลังวัดสเปกตรัมพลังงานรังสี Co-60	67
ก4	การป้องกันข้อความการวัดสเปกตรัมพลังงานรังสีสำเร็จสมบูรณ์ ของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา	68
ข1	การจัดวางองค์ประกอบภายในของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา	72
ค1	แผนภาพวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงต่ำ	74
ค2	ภาพถ่ายวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงต่ำที่พัฒนาขึ้น	75

## การพัฒนาระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา

### Development of a Portable Nuclear Pulse Height Analyzer System

#### คำนำ

ความเจริญก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ประเทศไทย ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง พลังงานถือเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการผลักดัน และสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นตัวชี้วัดถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น ภาวะเศรษฐกิจ ความเป็นอยู่ของประชาชน (สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2544)

พลังงานนิวเคลียร์ เป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่งที่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาประเทศด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านเกษตร เช่น การใช้รังสีในการถนอมอาหาร ด้านการแพทย์ เช่น การใช้รังสีในการวินิจฉัย บำบัดรักษาโรค และด้านอุตสาหกรรม เช่น การใช้รังสีเพื่อควบคุมการไหลผ่านของส่วนผสมในการผลิตปูนซีเมนต์ รวมทั้งในด้านการศึกษาและพัฒนางานวิจัยต่าง ๆ เป็นต้น (สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2542) เมื่อมีการนำเอาพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ การตรวจสอบและวัดรังสี ตลอดจนการเฝ้าระวังป้องกันอันตรายจากรังสี เป็นอีกภารกิจหนึ่งที่ต้องปฏิบัติเพื่อประโยชน์ต่อผู้ปฏิบัติงานรวมทั้งสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ และความเสียหายในทรัพย์สินที่อาจเกิดขึ้นตามมา ทำให้เครื่องมือวัดทางนิวเคลียร์เข้ามามีบทบาทในงานเหล่านี้ นอกจากนี้เครื่องมือวัดทางนิวเคลียร์ยังมีประโยชน์ในด้านการศึกษา และพัฒนางานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นิวเคลียร์ของประเทศ รวมถึงการเผยแพร่ความรู้ด้านพลังงานนิวเคลียร์

การพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์วัดทางนิวเคลียร์ในประเทศไทย ได้เริ่มต้นครั้งแรกที่กองอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติเมื่อปี พ.ศ. 2506 โดยกลุ่มวิศวกร และนักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ ที่ตระหนักถึงความสำคัญของเครื่องมือและอุปกรณ์ทางนิวเคลียร์ ต่อบทบาทของการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ของประเทศ ต่อมาได้ขยายผลการพัฒนาเครื่องมือวัดทางนิวเคลียร์เชิงวิจัย ที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ. 2521 ผลงานที่ได้ถูกพัฒนาขึ้น ได้แก่ พัลส์เซอร์ (pulser, model NT1701) เรตมิเตอร์ฝึกหัด (training ratemeter, model NT1201) เครื่องวัดรังสีขนาดเล็ก (model NT1802)

เป็นต้น (วิรุพห์ และสุวิทย์, 2541) จากนั้นได้กระจายสู่หน่วยงานวิจัยด้านฟิสิกส์นิวเคลียร์ของสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ในรูปของการพัฒนาเครื่องมือสนับสนุนงานวิจัยเฉพาะด้าน การวิจัยและพัฒนาเครื่องมือวัดทางนิวเคลียร์ของหน่วยงานที่ดำเนินอย่างต่อเนื่องนั้น มีเป้าหมายเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือแบบประหยัด ให้มีสมรรถนะทัดเทียมเครื่องมือที่ผลิตจากต่างประเทศ โดยใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่หาได้ภายในประเทศเป็นหลัก และยังเป็นการศึกษาทักษะเสริมประสบการณ์ของบุคลากรทางด้านนิวเคลียร์

ปัจจุบันเครื่องมือและอุปกรณ์วัดทางนิวเคลียร์ที่ผลิตจากต่างประเทศมีราคาสูงมาก เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ใช้กันเฉพาะกลุ่มงาน จากข้อมูลของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ (2546) พบว่าในปี พ.ศ. 2545 มูลค่าสินค้านำเข้าประเภทเครื่องมือ เครื่องใช้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์การแพทย์ การวัด การตรวจสอบ มีมูลค่าสูงถึง 65,550.40 ล้านบาท คิดอันดับสินค้านำเข้าสำคัญ 1 ใน 20 รายการแรกของไทย ดังนั้นการพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์วัดทางนิวเคลียร์สำหรับการเรียนการสอนและงานวิจัยขึ้นใช้เองในประเทศ จึงเป็นการช่วยแบ่งเบาภาระการสั่งซื้อ และการนำเข้าเครื่องมือพื้นฐานที่ผลิตจากต่างประเทศ โดยสั่งซื้อเฉพาะเครื่องมือที่จำเป็นเท่านั้น (วิรุพห์ และสุวิทย์, 2541)

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องมือวัดทางนิวเคลียร์ ประเภทระบบวิเคราะห์ความสูงพลัส นิวเคลียร์ชนิดพกพา เหตุผลที่เลือกทำงานวิจัยนี้เพื่อต้องการออกแบบสร้างเครื่องมือวัดทางนิวเคลียร์ชนิดพกพาราคาประหยัด เพื่อใช้ในงานด้านการเรียนการสอนและงานวิจัย ซึ่งถือว่าขณะนี้ในประเทศยังมีผู้ทำการศึกษาวิจัยอยู่น้อยมาก และเพื่อต้องการใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่ภายในประเทศ ให้คุ้มค่าที่สุด บนพื้นฐานของการพึ่งตนเองทางเทคโนโลยี

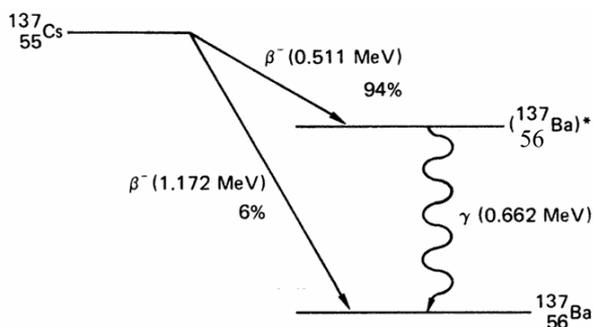
### วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาระบบวิเคราะห์ความสูงพลัสนิวเคลียร์ชนิดพกพาราคาประหยัด สำหรับงานด้านการเรียนการสอน และงานวิจัย

## การตรวจเอกสาร

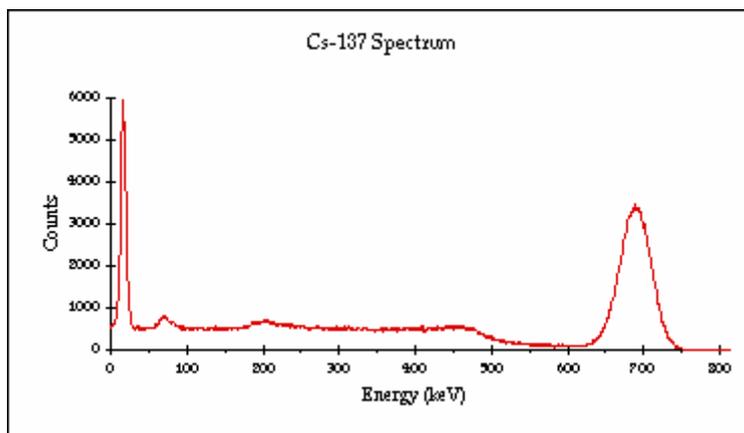
### พลังงานรังสี

พลังงานรังสี เป็นผลจากการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินจากการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ไม่เสถียร เพื่อปรับสภาพสู่สถานะเป็นนิวไคลด์เสถียร การสลายตัวจะเป็นในลักษณะแบบสุ่ม การปลดปล่อยพลังงานจะออกมาในรูปของรังสีอนุภาคหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดใด ๆ นั้น ขึ้นอยู่กับสมบัติของนิวไคลด์กัมมันตรังสีนั้น ๆ (มวลอะตอม, 2545) เช่น ซีเซียม-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) มีการสลายตัวเพื่อกลับสู่สถานะพื้น โดยการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีบีตา 2 ลำที่มีพลังงาน 1.172 MeV และ 0.511 MeV และให้รังสีแกมมาพลังงาน 0.662 MeV แล้วเปลี่ยนเป็นแบเรียม-137 ( $^{137}\text{Ba}$ ) ซึ่งเป็นนิวไคลด์เสถียร จากผลของปฏิกิริยาการสลายตัว สามารถแสดงเป็นแผนผังการสลายตัวของซีเซียม-137 ได้ดังภาพที่ 1 และแสดงสเปกตรัมพลังงานการสลายตัวของซีเซียม-137 ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ภาพแสดงแผนผังการสลายตัวของซีเซียม-137 ( $^{137}\text{Cs}$ )

ที่มา: Wilson (2002)



ภาพที่ 2 ภาพแสดงสเปกตรัมพลังงานของซีเซียม-137 (Cs-137)

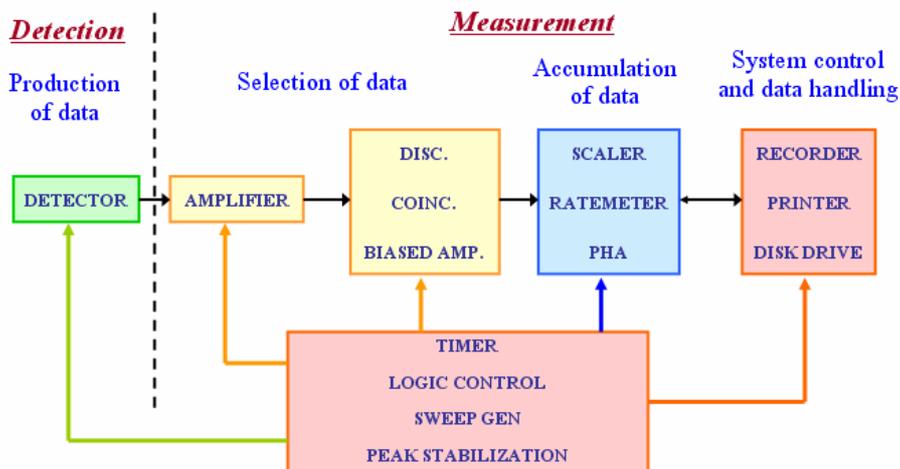
ที่มา: Maher (1997)

### ระบบวัดรังสี

กระบวนการวัดรังสีประกอบด้วยกระบวนการหลัก 2 ส่วน ทำงานร่วมกัน ดังแสดงในภาพที่ 3 ได้แก่ การตรวจหารังสี (detection) และการวัดรังสี (measurement)

รังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีใดๆ จะมีสภาวะทางฟิสิกส์ที่แฝงด้วยพลังงานจนสามารถทำอันตรกิริยากับไอออนพลังงานให้กับตัวกลางที่เหมาะสม เช่น ตัวเปล่งแสงวับ (scintillator) ก๊าซ (gas) สารกึ่งตัวนำ (semiconductor) เป็นต้น การตรวจวัดรังสีเป็นกระบวนการแปลงผลของอันตรกิริยาที่เกิดขึ้น เช่น ประจุไฟฟ้า การเรืองแสง เป็นต้น ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า อุปกรณ์นี้รวมเรียกว่า หัววัดรังสี (radiation detector)

สำหรับการวัดรังสี เป็นกระบวนการนำผลการตรวจวัด ไปสร้างเป็นข้อมูลการวัด และวิเคราะห์ผลการวัดรังสี เพื่อแสดงผลในหน่วยวัดรังสีมาตรฐานประกอบด้วยส่วนย่อย 2 ส่วน คือ อุปกรณ์การวัดรังสี ทำหน้าที่จัดสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดรังสี ด้วยกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อจัดข้อมูลวัดให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการ เช่น การวัดปริมาณรังสี การวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงาน นิวเคลียร์ เป็นต้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีเทคนิคการจัดอุปกรณ์การวัด เพื่อให้ได้ข้อมูลในรูปแบบที่ต้องการ อีกส่วนคือ การแสดงผลการวัดรังสี ผลการวัดรังสีในหน่วยมาตรฐานจะต้องมีการวิเคราะห์ และแปรผลข้อมูลที่วัดได้จากระบบวัดรังสี และมีเทคนิคด้านประเมินผลการวัดรังสี (determination techniques) เพื่อให้ผลการวัดมีความถูกต้อง (accuracy) ความแม่นยำ (precision) และมีความน่าเชื่อถือ (reliability) (ศุวิทย์, 2538)



ภาพที่ 3 แสดงกระบวนการวัดรังสี

ที่มา: สุวิทย์ (2538)

สุวิทย์ (2538) กล่าวว่ารูปแบบของการจัดระบบวัดรังสีเฉพาะงานแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของข้อมูลวัดรังสีดังนี้

1. ระบบวัดรังสีแบบนับรวม (integral counting system) เป็นระบบวัดรังสีที่จัดอุปกรณ์วัดสำหรับนับรังสีทุกพลังงานที่ตรวจวัดได้ กล่าวคือ นับรังสีรวมไม่แยกนับเฉพาะพลังงาน เช่น การวัดความแรงแรงรังสี (activity) และการวัดความเข้มรังสี (intensity) ในหน่วยแสดงผลจำนวนนับต่อเวลา (cpm หรือ cps)

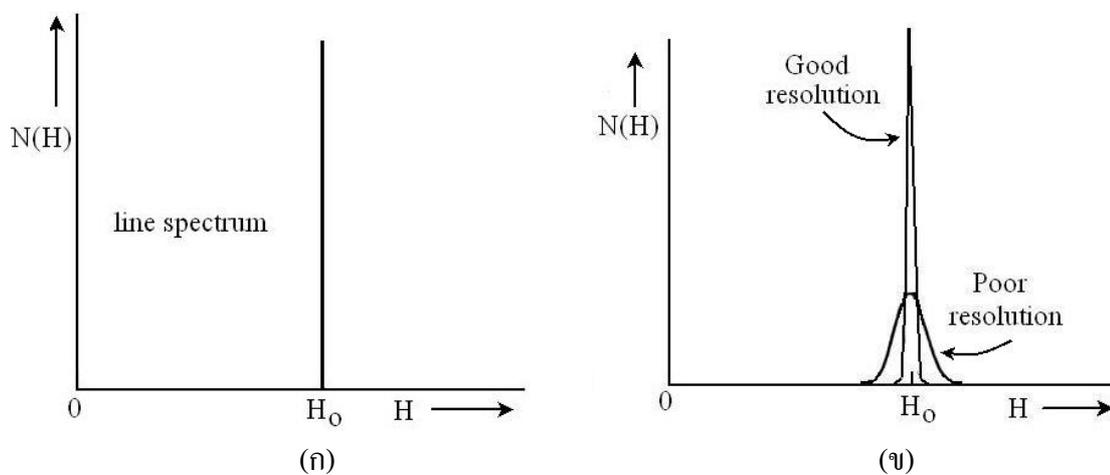
2. ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน (differential counting system) เป็นระบบวัดรังสีที่จัดอุปกรณ์วัดสำหรับวัดรังสีแบบแยกนับเฉพาะพลังงาน แสดงผลในรูปแบบของสเปกตรัมพลังงาน (energy spectrum) เช่น ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา ( $\gamma$ -spectrometer) และระบบวิเคราะห์รังสีแอลฟา ( $\alpha$ -spectrometer) เป็นต้น

3. ระบบวัดรังสีแบบโคอินซิเดนซ์ (coincidence counting system) เป็นระบบวัดรังสีที่จัดอุปกรณ์สำหรับวัดจำนวนนับรังสี แยกเฉพาะช่วงเวลาแสดงผลในรูปสเปกตรัมของเวลา (time spectrum) เช่น ระบบวัดแบบฟาสต์โคอินซิเดนซ์ (fast coincidence) และระบบวัดแบบสโลว์โคอินซิเดนซ์ (slow coincidence) เป็นต้น และสามารถประยุกต์ใช้กับระบบวัดรังสีรบกวนต่ำ (low background counting system)

นอกจากนี้ยังมีระบบวัดขั้นสูงที่มีกระบวนการทางข้อมูลที่ซับซ้อนหลายตัวแปร ซึ่งจะต้องใช้คอมพิวเตอร์จัดการกับระบบวัด และแปรผลข้อมูลที่มีมากกว่า 2 ตัวแปรในรูปของสเปกตรัม 3 มิติ คือ แบบไอโซเมตริก ซึ่งเรียกว่า “ระบบวัดรังสีแบบหลายตัวแปร (multi parameter analyzer)” ซึ่งอาจจะแสดงผลของจำนวนนับที่พลังงานต่างๆ และเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป เป็นต้น

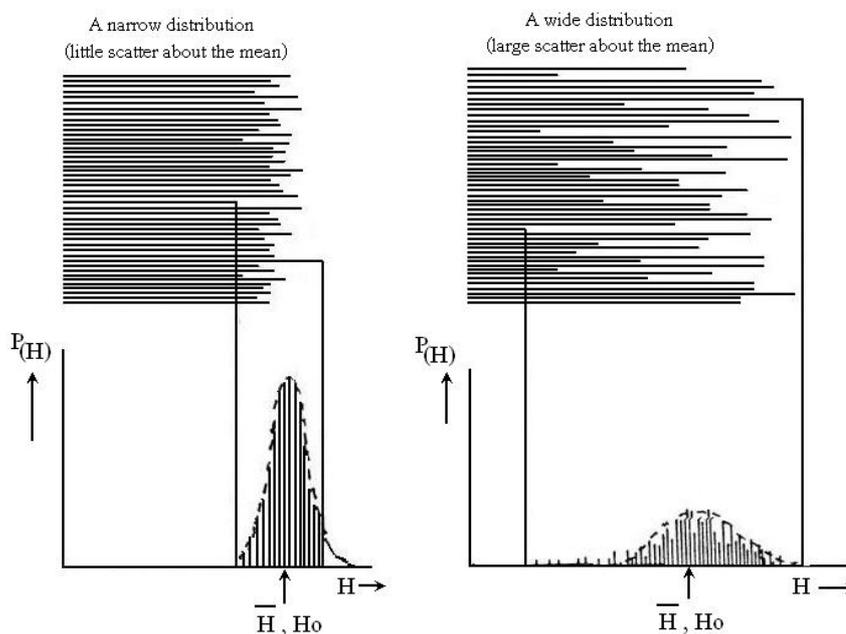
### ความสามารถในการแจกแจงสเปกตรัมพลังงานของการวัดรังสี

คุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับบ่งบอกคุณภาพของหัววัดรังสี ในการวิเคราะห์พลังงาน คือ ความสามารถในการแจกแจงพลังงานของตำแหน่งพีคพลังงาน 2 พีคที่อยู่ใกล้กัน ในกรณีของการวิเคราะห์พลังงานเดี่ยว (monoenergetic) สมบูรณ์แบบ โดยได้จากการสร้างสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสีจากพัลส์เซอร์ (pulser) พีคพลังงานจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง (line spectrum) ดังแสดงในภาพที่ 4 (ก) สำหรับในกรณีการวัดพลังงานเดี่ยวของหัววัดรังสี การถ่ายโอนพลังงานผ่านตัวกลางในหัววัดรังสีแต่ละครั้งมีความแปรปรวน โดยขึ้นกับโอกาสการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเบี่ยงเบนความสูงของพัลส์ดังภาพที่ 5 ทำให้พีคพลังงานที่เกิดมีลักษณะของสเปกตรัมในรูปของการกระจายค่าความสูงพัลส์แบบเกาส์เซียน (gaussian) ซึ่งมีความกว้างของพีคต่างกันตามคุณสมบัติของหัววัดรังสีแต่ละชนิด ดังภาพที่ 4 (ข)

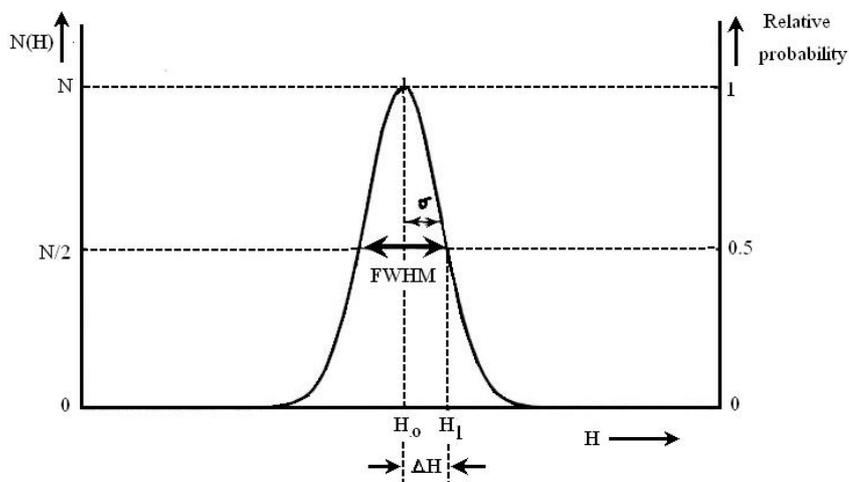


ภาพที่ 4 สเปกตรัมแบบเส้นเดี่ยว (ก) สเปกตรัมที่มีการกระจายแบบเกาส์เซียน (ข)  
 ที่มา: สุวิทย์ (2538)

จากสเปกตรัมในภาพที่ 4 (ข) แสดงความสามารถในการแจกแจงพลังงานของหัววัดรังสีที่ต่างกัน ความแตกต่างกันมีการบ่งบอกที่มีมาตรฐานเดียวกัน



ภาพที่ 5 แสดงผลของการเบี่ยงเบนความสูงพัลส์ต่อความกว้างของพีคพลังงาน  
 ที่มา: สุวิทย์ (2538)



ภาพที่ 6 แสดงความสามารถในการแจกแจงพลังงาน

ที่มา: สุวิทย์ (2538)

Knoll (1999) ได้นิยามการวัดความสามารถในการแจกแจงพลังงาน ของฟิสิกส์เปกตรัมไว้ ด้วยค่า “FWHM (Full Width at Half Maximum)” ซึ่งหมายถึงความกว้างของฟิสิกส์ ณ ตำแหน่งที่ จำนวนนับมีค่าครึ่งหนึ่งของจำนวนนับสูงสุด ดังภาพที่ 6 แสดงบริเวณจุดตัดของค่านับที่  $N/2$  กับ เส้นกราฟ  $dN(H)/dH$  และสมการของความสามารถในการแจกแจงพลังงานเขียนได้ดังสมการที่ 1

$$\text{Resolution } (R) = FWHM / H_0 = \Delta E / E \quad (1)$$

เมื่อ

$FWHM$  = ความกว้างของการกระจายค่าความสูงของพัลส์บริเวณค่าครึ่งหนึ่งของ จำนวนนับรังสี ซึ่งเท่ากับ  $2\Delta H$

$H_0$  = ตำแหน่งของฟิสิกส์ความสูงพัลส์ (peak centroid) หรือค่าเฉลี่ยของความสูงพัลส์

ในกรณีที่เปรียบเทียบสเกลพลังงานแล้วจะได้

$2\Delta H = \Delta E$  = ความกว้างของการกระจายค่าพลังงานบริเวณค่าครึ่งหนึ่งของ จำนวนนับรังสี

$H_0 = E$  = ตำแหน่งของฟิสิกส์พลังงาน

## ส่วนประกอบของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์

### 1. แหล่งจ่ายกำลังความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage Power Supply, HVPS)

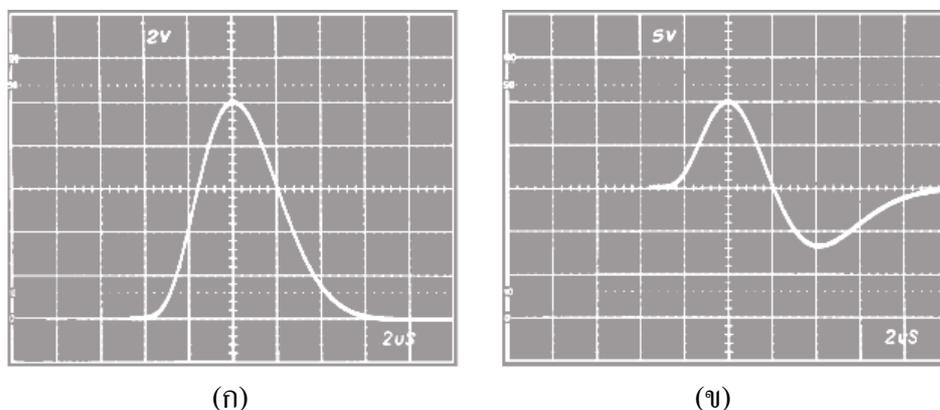
ธวัช (2541: 218) ได้กล่าวว่าแหล่งจ่ายกำลังความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง จะจ่ายความต่างศักย์บวกหรือลบตามความต้องการของหัววัดรังสี (หัววัดรังสีส่วนใหญ่ต้องการความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงบวก) แหล่งจ่ายกำลังความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงถูกสร้างมาในแนวคิดที่ว่า ความต่างศักย์ขาออกจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แม้ว่าความต่างศักย์ขาเข้าจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรก็ตาม นวลฉวี (2536: 55) ได้ให้ความหมายของหน้าที่แหล่งจ่ายกำลังความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงไว้ว่า เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับหัววัดรังสี โดยจะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง สามารถปรับค่าได้ให้เหมาะสมกับหัววัดรังสีที่จะใช้งาน และจะต้องมีเสถียรภาพในการรักษาความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออกให้คงที่ โดยไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ หรือการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้า ในขณะที่ทำงานค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะต้องอยู่ ณ จุดทำงานของหัววัด ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละหัววัด เช่น หัววัดรังสีชนิดบรรจุแก๊ส และหัววัดรังสีชนิดตัวแปลงแสงวับ แหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงควรปรับค่าได้ตั้งแต่ 0–3000 โวลต์ และให้กระแสได้ในช่วง 0 – 10 มิลลิแอมแปร์ (mA) เป็นต้น

### 2. ภาคขยายส่วนหน้า (Pre-amplifier)

เมื่อรังสีกระทบกับหัววัดรังสีแล้วจะทำให้เกิดสัญญาณทางไฟฟ้า หรือสัญญาณพัลส์ (ธวัช, 2541: 219) สัญญาณพัลส์จะอ่อนมากอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์ (mV) (นวลฉวี, 2536: 56) สัญญาณพัลส์ จะถูกส่ง ไปยังภาคขยายส่วนหน้า เพื่อทำการขยายสัญญาณ แต่กำลังการขยายจะอยู่ในระดับต่ำ และเมื่อทำการปรับค่าความต้านทานของหัววัดรังสีกับสายนำสัญญาณ รวมทั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ขนาด และรูปร่างของสัญญาณพัลส์จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของหัววัดรังสี โดยทั่วไปแล้วภาคขยายส่วนหน้าจะคิดไว้ใกล้เคียงกับหัววัดรังสีมากที่สุด เพื่อลดสัญญาณรบกวน (noise) ซึ่งเป็นสัญญาณใดๆ ที่ไม่ได้เกิดจากการกระทำของรังสี แต่อาจเกิดจากการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ในวงจรหรือเกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นโลหะ เมื่อได้รับความร้อนจะปล่อยอิเล็กตรอนออกมารบกวนสัญญาณที่เกิดขึ้นเนื่องจากรังสี หน้าที่แรกของภาคขยายส่วนหน้าคือจับคู่ระหว่างสัญญาณออกของหัววัดกับสัญญาณเข้าของภาคขยายหลัก (ธวัช, 2541: 219)

### 3. ภาขยาย (Amplifier)

เมื่อสัญญาณพัลส์ออกจากภาขยายส่วนหน้าจะถูกส่งต่อมายัง ส่วนภาขยายหลัก นวลฉวี (2536: 56) กล่าวว่า สัญญาณพัลส์จะถูกนำมาปรับแต่งรูปสัญญาณ และขยายขนาดของสัญญาณให้เหมาะสมในการวิเคราะห์ความสูง ภาขยายหลักจะมีกำลังขยายค่อนข้างสูง อยู่ในระหว่าง 500-1000 เท่า และสามารถปรับค่าได้ ชวิช (2541: 219) กล่าวว่า สัญญาณพัลส์จะถูกขยายมากเป็น 1000 เท่าหรือมากกว่า นวลฉวี (2536: 56) กล่าวว่า สัญญาณขาออกที่ได้จากภาขยายหลัก มี 2 แบบ คือยูนิโพลาร์ (unipolar) และไบโพลาร์ (bipolar) ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงรูปสัญญาณพัลส์ยูนิโพลาร์ (ก) ไบโพลาร์ (ข)

ที่มา: Ortec (n.d.)

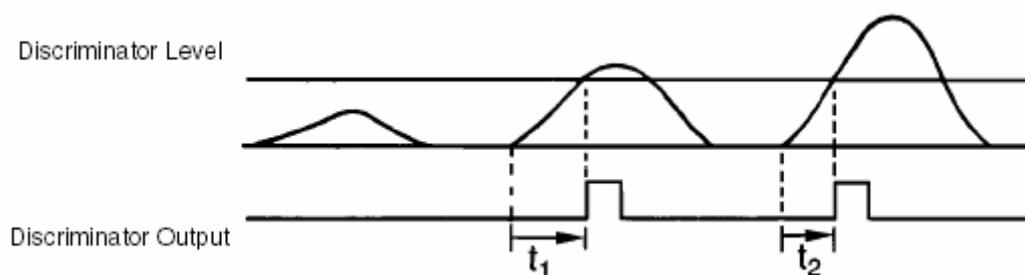
รูปร่างของสัญญาณพัลส์นั้น สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการปรับค่าเซฟปีงไทม์คอนสแตนท์ (shaping time constant) เพื่อป้องกันการซ้อนกัน (pile up) ของสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นจากรังสีภายในหัววัดซึ่งเกิดขึ้นแบบสุ่ม และรวดเร็ว ดังนั้นสัญญาณที่เกิดขึ้นจะต้องถูกส่งผ่านเข้าสู่วงจรถัดไปให้เร็วที่สุด เพื่อขจัดผลกระทบของสัญญาณตัวแรกที่จะมีผลต่อสัญญาณตัวถัดไป และเพิ่มอัตราส่วนความสูงของสัญญาณพัลส์ต่อสัญญาณรบกวน เนื่องจากสัญญาณรบกวนมีช่วงความถี่กว้าง เมื่อเทียบกับสัญญาณพัลส์ที่ต้องการ

#### 4. วงจรวิเคราะห์ความสูงสัญญาณพัลส์ (Pulse Height Analyzer, PHA)

นวลฉวี (2536: 59) ได้ให้ความหมายของวงจรวิเคราะห์ความสูงสัญญาณพัลส์คือ วงจรคัดเลือกความสูงของพัลส์ ซึ่งทำหน้าที่คัดเลือกสัญญาณที่มีความสูงมากกว่าระดับที่ตั้งไว้เท่านั้น โดยไม่คำนึงว่า สัญญาณที่เข้ามามีความสูงของพัลส์ขนาดเท่าใดบ้าง Punnachaiya (1998: 35) กล่าวว่า ความสูงของสัญญาณพัลส์คือพลังงานของรังสี และในกรณีที่ต้องการทราบสเปกตรัมของรังสี จะต้องใช้วงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์

##### 4.1 วงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว (single channel analyzer, SCA)

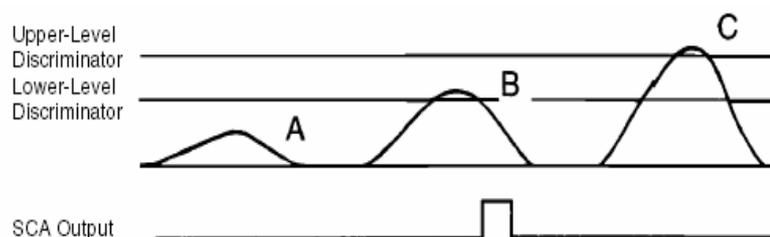
ประกอบด้วยดิสคริมีเนเตอร์ (discriminator) ทำหน้าที่วัดระดับความสูงของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ หรือระดับพลังงานของรังสี โดยจะให้สัญญาณลอจิกพัลส์ (logic pulse) เมื่อสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ ที่รับเข้ามาจากภาชนะ มีระดับความสูงของสัญญาณมากกว่าระดับเทรสโฮลด์ (threshold) ที่ดิสคริมีเนเตอร์ได้ถูกตั้งค่าไว้ ดังแสดงในภาพที่ 8 จะเห็นว่าสัญญาณพัลส์ที่มีระดับต่ำกว่าระดับเทรสโฮลด์ จะไม่เกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ด้านออก ส่วนสัญญาณที่มีระดับสูงกว่าจะเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ด้านออก ในช่วงขอบขาขึ้น (Leading edge) ของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ การทำงานของดิสคริมีเนเตอร์ระดับเดียว เพื่อเลือกสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ เรียกว่า อินทิกรัลดิสคริมีเนเตอร์ (Integral discriminator) Ortec (n.d.)



ภาพที่ 8 แสดงลักษณะการเกิดสัญญาณพัลส์ตรรกะของอินทิกรัลดิสคริมีเนเตอร์  
ที่มา: Ortec (n.d.).

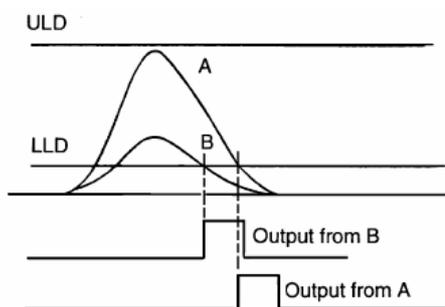
วงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดี่ยว ประกอบด้วย ตัวแยกระดับความสูงของสัญญาณพัลส์ 2 ชุด คือ ดิสคริมีเนเตอร์ระดับต่ำ (lower level discriminator, LLD) และ

ดิสคริมิเนเตอร์ระดับสูง (upper level discriminator, ULD) การแยกระดับความสูงของสัญญาณพัลส์ในวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดี่ยว อาศัยการเปรียบเทียบความสูงของสัญญาณกับค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน ที่ถูกจัดเอาไว้ระหว่างผลต่างของ ดิสคริมิเนเตอร์ระดับสูง และ ดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ ซึ่งเรียกว่า หน้าต่าง (window) เพื่อใช้เลือกช่วงสัญญาณที่ต้องการวัด ถ้าสัญญาณที่ส่งผ่านเข้ามาทางขาเข้ามีความสูงอยู่ในหน้าต่าง หรืออยู่ระหว่าง ดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ และดิสคริมิเนเตอร์ระดับสูง จะทำให้มีลอจิกพัลส์ออกมา โดยลอจิกพัลส์จะเกิดบริเวณขอบขาลง (Falling edge) ของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่ตัดกับระดับดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 9 ซึ่งจากภาพจะแสดงให้เห็นว่ามีเพียงสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ B ที่ถูกสร้างเป็นสัญญาณลอจิกพัลส์ แต่ถ้าทำการปรับตั้งค่าของดิสคริมิเนเตอร์ระดับสูงให้มีค่าสูงสุด ก็จะทำให้สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ B และ C ถูกสร้างเป็นสัญญาณลอจิกพัลส์



ภาพที่ 9 แสดงการเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ด้านออกของวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดี่ยว

ที่มา: Ortec (n.d.)



ภาพที่ 10 แสดงระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดี่ยวในแบบนอน-โทมมิ่งเอสซีเอ

ที่มา: Ortec (n.d.)

Ortec (n.d.) ได้แบ่งระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดี่ยว ตามพื้นฐานการทำงาน เป็น 2 ชนิด คือ นอน-ไทม์มิ่งเอสซีเอ (non-timing SCA) และไทม์มิ่งเอสซีเอ (timing SCA) การทำงานแบบนอน-ไทม์มิ่งเอสซีเอ จะให้สัญญาณลอจิกพัลส์เมื่อสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์เกิดขึ้นใน หน้าต่าง ดังสมการที่ 2

$$\Delta E = \text{ULD} - \text{LLD} \quad (2)$$

เมื่อ  $\Delta E$  คือ ความกว้างของหน้าต่าง (window wide)

โดยสัญญาณลอจิกพัลส์จะเกิดขึ้นบริเวณขอบข้างของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ ที่ตัดกับ ระดับดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ และจะส่งผลทำให้เกิดไทม์วอล์ค (time walk) ดังแสดงในภาพที่ 10 สำหรับการงานแบบไทม์มิ่งเอสซีเอ จะมีสัญญาณลอจิกพัลส์เมื่อสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์อยู่ใน หน้าต่าง เหมือนกับแบบนอน-ไทม์มิ่งเอสซีเอ แต่สัญญาณพัลส์ตรรกะจะเกิดที่ตำแหน่งเฉพาะ เช่น จุดสูงสุดของสัญญาณ (peak) จุดตัดศูนย์ (zero crossover) และแฟรกชันคงตัว (constant fraction) การทำงานแบบไทม์มิ่งเอสซีเอ เหมาะสำหรับระบบวิเคราะห์สเปกตรัมเวลา

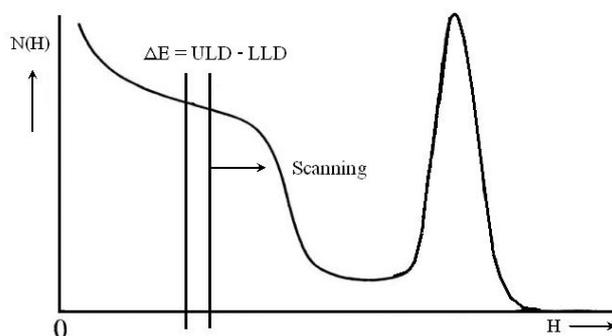
Mangclaviraj *et al.* (1989) ได้แบ่งวิธีการทำงานของระบบการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ แบบช่องเดี่ยวไว้ 4 วิธี คือ

1. วิธีอินทิกรัล (Integral mode) การทำงานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบ ช่องเดี่ยว ในโหมดนี้จะปรับตั้งค่าของดิสคริมิเนเตอร์ระดับสูงให้เป็นค่าสูงสุด จึงทำให้มีลักษณะ การทำงานคล้ายคลึงกับการทำงานของอินทิกรัลดิสคริมิเนเตอร์ แตกต่างกันที่รูปแบบการเกิด ลอจิกพัลส์ด้านออก คือวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว จะเกิดลอจิกพัลส์ที่ขอบข้างของ สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ ส่วนอินทิกรัลดิสคริมิเนเตอร์จะเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ขอบข้างของ สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์
2. วิธีปกติ (Normal mode) สำหรับการงานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์ แบบช่องเดี่ยวในวิธีนี้ มีการปรับตั้งค่าของดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ และดิสคริมิเนเตอร์ระดับสูง ให้อิสระจากกัน ทำให้สามารถเลือกกำหนดค่าให้เหมาะสม กับช่วงพลังงานเฉพาะที่ต้องการตรวจ วิเคราะห์ได้

3. วิธีหน้าต่าง (Window mode) การตั้งค่าดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ และดิสคริมิเนเตอร์ระดับสูง ไม่สามารถทำได้อย่างอิสระเหมือนกับโหมดปกติ โดยทั่วไปในการใช้งานจะต้องตั้งค่าของหน้าต่าง ดังสมการที่ 1 โดยค่าของหน้าต่างต้องสัมพันธ์ และเหมาะสมกับความสูงของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ หรือระดับพลังงานของรังสีที่ต้องการตรวจวัด ในส่วนของขั้นตอนการเปลี่ยนค่าดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ และดิสคริมิเนเตอร์ระดับสูงสามารถปรับเปลี่ยนได้ดังสมการที่ 3

$$ULD = LLD + \Delta E \quad (3)$$

4. วิธีกวาด (Sweep mode) เป็นวิธีที่ตั้งค่าให้ดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ รับสัญญาณกวาด (Sweep) จากอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณภายนอก และส่งสัญญาณลอจิกพัลส์ไปบันทึกยังอุปกรณ์นับในแต่ละระดับของหน้าต่างโดยอัตโนมัติ ดังภาพที่ 11



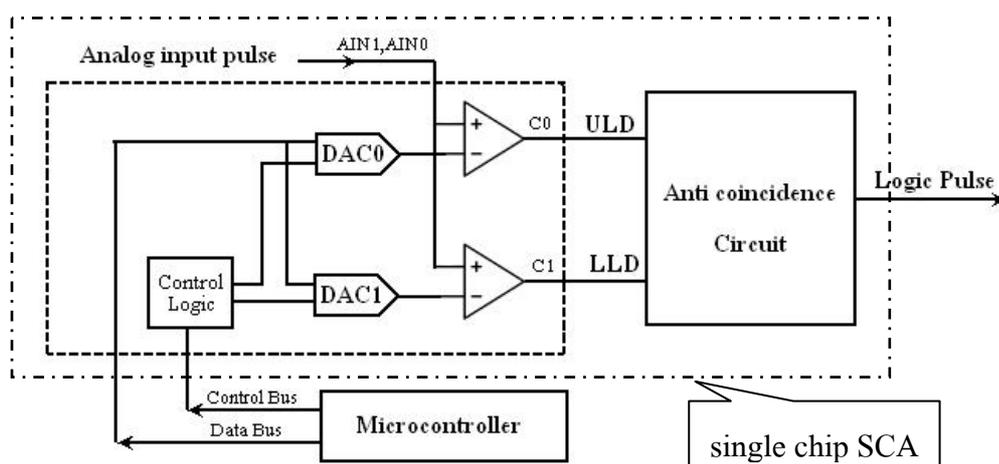
ภาพที่ 11 แสดงการทำงานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียวในวิธีกวาด  
ที่มา: Mangclaviraj *et al.* (1989)

โดย เดโซ และคณะ (2543: 258) ได้ทำการพัฒนาระบบวิเคราะห์สเปกตรัมแบบช่องเดียวบนวงจรแบบชิพเดียว (single chip SCA) ด้วยเทคนิคการโปรแกรมฟังก์ชันการทำงานของวงจรรงบนชิพพีเอสดี (programmable system device, PSD) ซึ่งเป็นผลผลิตของบริษัทวาเฟอร์สเกล (waferscale) เพื่อลดขนาดวงจรและการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า รวมทั้งประหยัดเวลาในการออกแบบและสร้าง ประกอบกับการประยุกต์เครื่องเล่น เกมส์บอย (games boy) และปรับการทำงานให้เป็นเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบกวาด (sweep SCA mode) ชนิดพกพาได้ สุวิทย์ และคณะ (2543: 279) ได้ทำการออกแบบการทำงานของไมโครคอมพิวเตอร์ ผ่านอุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดียว ให้เป็นอุปกรณ์นับรังสีแบบหลายช่อง (multichannel scaler) ที่รับอัตราการ

นับรังสีได้สูงผ่านทางพอร์ตเครื่องพิมพ์ โดยใช้โมดูลเอ็มซีเอส (MCS module) พร้อมวงจรสลับกัน นับรังสีส่วนหน้า โดยสามารถทำงานได้ทั้งการนับรังสีในวิธีสแกน (multichannel scaling mode) และวิธีกวาดสเปกตรัม (sweep mode)

### วงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยวชนิดชิปเดี่ยว

Single chip SCA ถูกพัฒนาขึ้นโดยภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายในชิปประกอบด้วยวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์ ทำหน้าที่วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ที่ได้จากวงจรขยายหลัก และเปลี่ยนรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์เป็นสัญญาณลอจิกพัลส์ที่มีความกว้าง 500 นาโนวินาที (ns) โดยมีแผนภาพแสดงการทำงานดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แสดงแผนภาพการทำงานของวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยวชนิดชิปเดี่ยว

ที่มา: สิริยาภรณ์ (2548)

Single chip SCA สามารถเลือกการทำงานได้ 4 วิธีคือ วิธีอินทิเกรต วิธีปกติ วิธีหน้าต่าง และวิธีกวาด ตามความเหมาะสมในการใช้งาน โดยมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ วงจรดิสคริมิเนเตอร์ชนิดโปรแกรมค่าแรงดันได้ 2 ระดับ และวงจรแอนติโคอซิเดนซ์ (anti coincidence circuit) โดยรับข้อมูลควบคุมการเปลี่ยนค่าดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ และดิสคริมิเนเตอร์ระดับสูง ขนาด 8 บิต (bit) จากไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) สามารถสร้างช่องวิเคราะห์สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ได้สูงสุด 256 ช่อง ที่ความละเอียดต่ำสุด

0.0390625 มิลลิโวลต์ สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์จะถูกเปรียบเทียบกับ ดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำที่ขา C1 และดิสคริมิเนเตอร์ระดับสูงที่ขา C0 โดยวงจรแอนติโคอีนซิเดนซ์ ซึ่งประกอบด้วยเกตแบบแนนด์ (NAND gate) และเกตแบบนอท (NOT gate) เพื่อคัดเลือกให้เกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ทางด้านออก เฉพาะสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่มีความสูงของพัลส์อยู่ในช่วงของหน้าต่างที่กำหนด

การวิจัยนี้ได้นำเอา single chip SCA มาใช้ในการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์นิวเคลียร์ เพื่อช่วยลดขนาดของวงจร ช่วยประหยัดเวลาในการสร้าง รวมทั้งยังช่วยลดต้นทุนของการสร้างเครื่องมือ

### การออกแบบสร้างเครื่องมือวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา

จากการได้มีผู้ทำการออกแบบสร้าง เครื่องมือวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพาไว้ โดย Cardoso *et al.* (n.d.) ได้ออกแบบและการสร้างเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (multichannel analyzer, MCA) ชนิดพกพา โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมประมวลผล และแสดงผลทางอุปกรณ์สร้างภาพ (dot-matrix graphic) Lorenz *et al.* (1994) ได้ทำการออกแบบ และสร้างเครื่องมือวิเคราะห์พลังงานรังสีแกมมาชนิดพกพา ร่วมกับหัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำ สำหรับการใช้ในการวินิจฉัย ตรวจวิเคราะห์ และติดตาม โรคเส้นเลือดอุดตันในคนผู้ป่วย ส่วน X-ray Instrumentation Associates (2002) เป็นการออกแบบสร้าง microDXP ซึ่งเป็นอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานรังสีเอกซ์ ใช้ส่วนวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่องเป็นตัววิเคราะห์พลังงาน โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัววิเคราะห์ประมวลผลข้อมูล และคอมพิวเตอร์กระเป๋าหิ้ว (notebook) หรือพีดีเอ เป็นภาคแสดงผล และป้อนคำสั่ง ซึ่งสามารถใช้เป็นเครื่องมือวิเคราะห์พลังงานรังสีเอกซ์ชนิดพกพาได้ และ Ortec (2003) ได้ทำการออกแบบสร้าง portable HPGe MCA ใช้กับหัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำประเภท HPGe ใช้ส่วนวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่องขนาด 16 กิโลเฮนเนลเป็นตัววิเคราะห์พลังงาน โดยสามารถต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางยูเอสบีพอร์ต (USB Port) ได้ มีจอแสดงผลในตัวเครื่อง และใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ต่อเนื่องได้มากกว่า 9 ชั่วโมง

จากการออกแบบสร้างเครื่องมือวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพาข้างต้น จะเห็นว่า การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาช่วยในการควบคุมและประมวลผล ใช้คอมพิวเตอร์กระเป๋าหิ้ว หรือพีดีเอเป็นภาคแสดงผล ทำให้สามารถลดขนาดของเครื่องมือ ช่วยประหยัดพลังงาน และสามารถพกพาใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น

## ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์คือ หน่วยประมวลผลกลางที่ถูกรวมอยู่ในวงจรเบ็ดเสร็จ (integrated circuit, IC) เพียงตัวเดียว ภายในประกอบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ หน่วยความจำแบบอ่านอย่างเดียว (read-only memory, ROM) หรือ พรอม (programmable read-only memory, PROM) หรือ อีพรอม (erasable read-only memory, EPROM) หน่วยความจำแบบอ่านและเขียน (random access memory, RAM) พอร์ตสัญญาณเข้า พอร์ตสัญญาณออกแบบขนาน ไทม์เมอร์ และ พอร์ตสื่อสารอนุกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการลดต้นทุนการผลิตสินค้าให้ต่ำลง โดยทั่วไปนิยมนำไปใช้กับระบบควบคุมจึงเรียกว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ธีรวัฒน์, 2541: 275)

### 1. สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

การออกแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ ยึดการออกแบบตามสถาปัตยกรรมของไมโครโปรเซสเซอร์ โดย WebMaster@ByXtreme.com. (1999) ได้แบ่งการออกแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็น 2 ประเภท คือ

1.1 สถาปัตยกรรมแบบริส ( reduced instruction set computer architecture, RISC architecture) เป็นการออกแบบไมโครโปรเซสเซอร์ที่เน้นการลดจำนวน และความซับซ้อนของคำสั่งภายใน (instruction) มี ลักษณะเฉพาะการจัดการเกี่ยวกับแคช (cache) การทำไปป์ไลน์ (pipeline) ซุปเปอร์สเกลาร์ (superscalar) และ อื่นๆ โดยทั่วไปจะมีกฎเกณฑ์การออกแบบดังนี้

1.1.1 คำสั่งต่อรอบสัญญาณนาฬิกา ( one instruction per clock ) เป็นสิ่งแรกในการออกแบบสถาปัตยกรรมแบบริส โดยจะพยายามทำงานให้เสร็จสิ้นภายใน 1 รอบสัญญาณนาฬิกา (1 clock cycle) โดยมีการใช้ไปป์ไลน์มาช่วยในการทำงาน ดังนั้น ในการทำงานจริงๆ อาจไม่ใช่ทำงาน 1 คำสั่งเสร็จสิ้นใน 1 รอบสัญญาณนาฬิกา แต่ใช้การนับเวลาในการทำงานของโปรแกรม ซึ่งมีการทำงานหลายๆ คำสั่ง หลายๆ ขั้นตอน แล้วคิดเป็นเวลาเฉลี่ยโดยประมาณ 1 คำสั่งต่อ 1 รอบสัญญาณนาฬิกา โดยการใช้คำสั่งง่ายๆ ไม่ใช่เพิ่มรอบสัญญาณนาฬิกาให้มากขึ้น

1.1.2 กำหนดขนาดของคำสั่งภายในให้มีขนาดที่แน่นอน (fixed instruction length) มีขนาดที่ยาวเกินไป ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้ขนาด 1 เวิร์ด (word) โดยทั่วไป ไมโครโปรเซสเซอร์แบบริสมีขนาดของ 1 เวิร์ด = 32 bit ภายใน 1 เวิร์ดจะกำหนดทุกๆ อย่างทั้งคำสั่ง โอเปอเรชัน (operation) จะดึงโอเปอเรนด์ (operand) จากที่ไหน จะให้เก็บผลลัพธ์ (result) และคำสั่งถัดไปอยู่ที่ใด ตำแหน่งใด ดังเช่น  $C = A + B$  โดยที่ A และ B คือ โอเปอเรนด์ + คือ โอเปอเรชัน และ C คือ ผลลัพธ์

1.1.3 คำสั่งในการเข้าถึงหน่วยความจำหลัก จะใช้การดึงข้อมูล (load) และการเก็บข้อมูล (store) เท่านั้น สถาปัตยกรรมแบบริส นั้นเมื่อจะทำการจัดการกับคำสั่งต่างๆ จำเป็นจะต้องนำโอเปอเรนด์มาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ (Register) ก่อน และในแต่ละคำสั่งนั้นจะถูกจำกัดไว้ที่ 1 เวิร์ด ซึ่งก็ไม่เพียงพอต่อการเก็บค่าของโอเปอเรนด์ต่างๆ ดังนั้นจึงใช้การอ้างตำแหน่งในหน่วยความจำแทน ในการเข้าถึงหน่วยความจำเพื่อไม่ให้เสียเวลา จึงมีการกำหนดให้ใช้คำสั่ง 2 คำสั่ง คือการดึงข้อมูลและการเก็บข้อมูล ส่วนเวลาในการดึงข้อมูลหรือการเก็บข้อมูลนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของโอเปอเรนด์

1.1.4 ใช้การอ้างตำแหน่งแบบตรงๆ เพราะการอ้างตำแหน่งแบบซับซ้อนจะใช้ช่วงเวลานาน การอ้างตำแหน่งสถาปัตยกรรมแบบริสนั้น จะจำกัดอยู่ 2 แบบ คือ แบบอ้างผ่านรีจิสเตอร์ (register indirect) และอินเด็กซ์ (index) โดยการอ้างผ่านรีจิสเตอร์นั้น รีจิสเตอร์จะเก็บค่าตำแหน่งไว้แล้ว ทำการอ้างตำแหน่งนั้นๆ ผ่านรีจิสเตอร์ และในแบบอินเด็กซ์ จะเป็นการอ้างตำแหน่งจากค่าคงที่ที่มาในคำสั่งนั้นๆ

1.1.5 ใช้โอเปอเรชันที่เรียบง่าย และจำนวนน้อย เพื่อจะได้รอบการทำงานน้อยๆ ลง และรวมไปถึงทรัพยากรของระบบที่ใช้ ก็จะใช้น้อยลงด้วย เป็นต้น ตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลสถาปัตยกรรมแบบริส ได้แก่ พิก (PIC) ของบริษัทไมโครชิพ (Microchip), เอวีอาร์ (AVR) ของบริษัทแอตเมล (Atmel) เป็นต้น

1.2 สถาปัตยกรรมแบบซิส (complex instruction set computer architecture, CISC architecture) เป็นการออกแบบไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้หลักเกณฑ์ตรงข้ามกับสถาปัตยกรรมแบบริส เพราะในขณะที่สถาปัตยกรรมแบบริสจะพยายามลดคำสั่งให้มีจำนวนน้อยๆ และไม่ซับซ้อน แต่สถาปัตยกรรมแบบซิสจะพยายามให้มีรูปแบบของคำสั่งต่างๆ มากมาย และซับซ้อนมากขึ้น

คำสั่งการทำงานของสถาปัตยกรรมแบบบริสมิค่าเฉลี่ย 1 คำสั่งต่อ 1 สัญญาณนาฬิกา แต่ในขณะที่สถาปัตยกรรมแบบซิส อาจใช้ถึง 100 สัญญาณนาฬิกา ต่อ 1 คำสั่ง สถาปัตยกรรมแบบซิสมีจุดเด่นในเรื่องของการเขียนโปรแกรมซึ่งทำได้ง่าย เพราะโปรเซสเซอร์นั้นรู้จักคำสั่งต่างๆ มากมาย ทำให้สะดวกต่อการเขียนโปรแกรมใช้งาน และโปรแกรมบนสถาปัตยกรรมแบบซิสนั้น ก็มีขนาดเล็กกว่าโปรแกรมบนสถาปัตยกรรมแบบบริส (ด้วยเหตุผลเดียวกัน) ตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลสถาปัตยกรรมแบบซิส ได้แก่ 80x86, 8051 ของบริษัทอินเทล (Intel), 68000, 68xx ของบริษัทโมโตโรลาร์ (Motorola) เป็นต้น

## 2. ส่วนประกอบพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.1 หน่วยความจำหลัก เป็นหน่วยความจำชนิดหนึ่งที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถใช้อ้างอิงตำแหน่งข้อมูล โดยทั่วไปหน่วยความจำหลักสามารถอ่าน/เขียนข้อมูลได้ คำสั่งต่างๆ ของโปรแกรมจะถูกเขียนลงบนหน่วยความจำโดยใช้กระบวนการเขียนหน่วยความจำ ซึ่งพบว่าข้อมูลสามารถเขียนหรืออ่านจากตำแหน่งต่างๆ ของหน่วยความจำได้ (ธีรวัฒน์, 2541) โยชิน (2530) ได้กล่าวว่า ในการเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำหลักกระทำโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ หน่วยความจำแบบอ่าน และเขียน เป็นหน่วยความจำที่มีการเข้าถึงข้อมูลแบบสุ่มสามารถอ่าน และเขียนข้อมูลได้ และหน่วยความจำแบบใช้สำหรับอ่านเท่านั้น เป็นหน่วยความจำที่มีความสำคัญมากในระบบไมโครโปรเซสเซอร์ หน่วยความจำชนิดนี้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่บันทึกไว้ได้ และมีการเข้าถึงข้อมูลแบบสุ่มเช่นเดียวกับหน่วยความจำแบบอ่าน และเขียน สุเจตน์ (2543: 585) กล่าวว่า พรอม เป็นรอมประเภทหนึ่งที่สามารถโปรแกรมเองได้ และเมื่อโปรแกรมแล้วไม่สามารถลบออกได้ อีพรอม เป็นรอมที่สามารถลบ และโปรแกรมใหม่ได้ อีพรอมแบ่งเป็น 2 ประเภท คือชนิดที่ใช้แสงอัลตราไวโอเลตในการลบข้อมูล และอีพรอมที่ลบข้อมูลด้วยไฟฟ้า หรืออีอีพรอม (electrically erasable PROM, EEPROM)

2.2 หน่วยประมวลผลกลาง ไพรัช (2537: 19-20) กล่าวว่า ในไมโครคอนโทรลเลอร์ หน่วยประมวลผลกลางจะมีชิ้นเดียวเรียกว่าไมโครโปรเซสเซอร์ หน้าที่หลักของหน่วยประมวลผลกลางมี 2 ประการ คือทำหน้าที่คำนวณเลขคณิตตรรกศาสตร์ (logic) ในการให้ข้อมูลจะมีการถ่ายเทข้อมูลดิบ ผลลัพธ์ระหว่างซีพียู และหน่วยความจำตลอดเวลา ผลลัพธ์ที่ได้อาจจะส่งไปเก็บที่หน่วยความจำหรือส่งผ่านหน่วยรับส่งข้อมูลเข้า และออก ไปยังอุปกรณ์แสดงผล ควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูล และคำสั่งระหว่างหน่วยต่าง ๆ เช่น เมื่อเริ่มการทำงานจะรับคำสั่งจากตำแหน่งแรกใน

หน่วยความจำปฏิบัติ หากการปฏิบัติตามคำสั่งจำเป็นต้องมีการถ่ายเทข้อมูล หน่วยประมวลผลกลางจะรู้ตำแหน่งของข้อมูล และควบคุมจังหวะของการรับส่งข้อมูล

2.3 หน่วยรับส่งข้อมูล ซีริวต์ (2541) ได้ให้ความหมายไว้ว่า คือ การสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอก รับส่งข้อมูลเป็นจำนวนบิตให้กับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับไมโครคอนโทรลเลอร์ แบ่งได้เป็น

2.3.1 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน คือการรับส่งข้อมูลด้วยจำนวนบิตของข้อมูลทั้งหมดในเวลาเดียว

2.3.2 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม คือการรับส่งข้อมูลที่ละบิตจนครบจำนวนของข้อมูลทั้งหมด

2.3.3 ไอส์แคร์ซีบัส (inter-integrated circuits bus, I<sup>2</sup>C bus) โดย V.Himpe (2002) ได้กล่าวว่า ไอส์แคร์ซีบัส เป็นการเชื่อมต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ต่อพ่วงภายนอก ครั้งละจำนวนหลายๆ โดยใช้สายนำสัญญาณ 2 เส้น คือ สายรับส่งข้อมูล (serial data line, SDA) สายสัญญาณนาฬิกา (serial clock line, SCL) ซึ่งสัญญาณที่ส่งผ่านไปทั้ง 2 เส้นเป็นแบบอนุกรม และสายดิน โดยมีการรับส่งข้อมูลได้สูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาที รองรับอุปกรณ์ต่อพ่วงได้ถึง 150 อุปกรณ์ ไอส์แคร์ซีบัสเป็นผลจากพัฒนาของบริษัทฟิลิปส์เซมิคอนดักเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความยุ่งยากของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกกับอุปกรณ์ควบคุม ที่ต้องใช้สายนำสัญญาณจำนวนมาก และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลให้ได้ไกลมากยิ่งขึ้น

2.3.4 ยูเอสบีพอร์ต (universal serial bus port, USB port) ณีฎฐา และคณะ (2544) กล่าวว่า ยูเอสบีพอร์ต เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่านทางพอร์ตแบบใหม่ ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อในลักษณะแบบพืเ็นพื (plug and play, PnP) โดยสามารถต่อพ่วงอุปกรณ์แบบสายโซ่เดซี (daisy chain) ได้สูงสุด 127 อุปกรณ์ ภายในสายเส้นเดียว ยูเอสบีพอร์ตรองรับความเร็วในการรับส่งข้อมูลได้สูงถึง 12 เมกกะบิตต่อวินาที (Mbps) ซึ่งสามารถใช้กับอุปกรณ์ที่มีการรับส่งข้อมูลจำนวนมากได้

จากคุณสมบัติข้างต้น ทำให้การวิจัยนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลสถาปัตยกรรมแบบริส คือ PIC 16F877 ของบริษัทไมโครชิพ ซึ่งนิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ทำหน้าที่สำหรับ

ควบคุมการทำงานของวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียวชนิดชิปเดี่ยว และติดต่อสื่อสารกับพีดีเอ ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232

### เครื่องช่วยงานส่วนบุคคลแบบดิจิทัล

Shelly *et al.* (2001: 1.23) ได้กล่าวว่า พีดีเอ หรือ palmtop computer เป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก กะทัดรัด ด้วยการลดขนาดของจอแสดงผลให้เล็กลง อาจมีแป้นพิมพ์ขนาดเล็ก (small keyboards) หรือไม่มีก็ได้ และโดยทั่วไปจะไม่มีดิสก์ไดรฟ์ (disk drives) โปรแกรมและข้อมูลต่าง ๆ จะถูกบันทึกไว้บนหน่วยความจำขนาดเล็ก การโอนถ่ายข้อมูลต่าง ๆ สามารถทำได้กับคอมพิวเตอร์ทั่วไป หรือระหว่างเครื่องช่วยงานส่วนบุคคลแบบดิจิทัลด้วยกัน เหมาะสมสำหรับบุคคล นักธุรกิจที่เป็นนักเดินทาง สามารถใช้แทนคอมพิวเตอร์กระเป๋าหิ้วได้ การป้อนข้อมูลต่าง ๆ หรือการติดต่อกับโปรแกรมภายในเครื่องช่วยงานส่วนบุคคลแบบดิจิทัลจะใช้ สไตลัส (stylus) เป็นอุปกรณ์ในการสื่อสารผ่านทางจอภาพ สามารถใช้เขียนบนจอภาพแทนการใช้แป้นพิมพ์ได้ ทรงเกียรติ (2545: 1) กล่าวว่า พีดีเอมีประสิทธิภาพการทำงานใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก มีผู้ผลิตพีดีเอออกมาอย่างมากมายแบ่งเป็น 2 ค่าย ใหญ่ๆ ตามระบบปฏิบัติการ คือ ปาล์มโอเอส (palm OS) และวินโดวส์ซีอี (windows CE) บริษัทที่ใช้ระบบปฏิบัติการปาล์มโอเอสในพีดีเอ ได้แก่ ปาล์ม และ โซนี่ ส่วนบริษัทที่ใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ซีอีในพีดีเอ ได้แก่ คาซิโอ (Casio) คอมเพค (Compaq) เอชพี (Hp) และโตชิบา (Toshiba) เป็นต้น AppSoftTech (2546) ได้ทดลองใช้ปาล์มควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์เบสิกแอสเอ็มบี 2SX เปิด/ปิดหลอดไดโอดเปล่งแสง ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232 โดยใช้โปรแกรมแซทเทอร์ไรต์ฟอร์ม (satellite forms) ในการเขียนโปรแกรมที่ทำงานบนเครื่องปาล์ม

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้พีดีเอระบบปฏิบัติการปาล์ม รุ่นทังสแตนที (Tungsten T) เป็นส่วนควบคุม แสดงผล และเก็บข้อมูล โดยสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232

## อุปกรณ์ และวิธีการ

### อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย

1. หัววัดรังสีชนิดซิลทิลเลชันผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) (NaI(Tl))  
ยี่ห้อ Ortec รุ่น 905-1
2. ต้นกำเนิดรังสี โคบอลต์-60 ความแรง  $4.67 \mu Ci$  และซีเซียม-137 ความแรง  $10 \mu Ci$
3. แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulser) ยี่ห้อ Canberra รุ่น 807
4. โมดูลขยายสัญญาณพัลส์ (Amplifier) ยี่ห้อ Canberra รุ่น 2022
5. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ายี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 6236B Triple Output Power Supply
6. ออสซิลอสโคปยี่ห้อ Tektronix รุ่น TDS 360
7. แหล่งกำเนิดกำเนิดรูปสัญญาณ (Function generator) ยี่ห้อ HEWLETT PACKARD  
รุ่น 8111A
8. มัลติมิเตอร์ยี่ห้อ Brymen รุ่น BM201
9. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน ได้แก่ หัวแร้ง, ตั้วต้านทาน, ตั้วเก็บประจุ, ไดโอด, ไอซี เป็นต้น
10. ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC 16F877 ของบริษัทไมโครชิป
11. พีดีเอ ระบบปฏิบัติการปาล์ม
12. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

## วิธีการ

### 1. ข้อมูลพื้นฐานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา

ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพาที่ได้พัฒนาขึ้น ถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กกะทัดรัด สะดวกในการใช้งาน โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกับพีดีเอ ในการประมวลผล การแสดงผล บันทึกข้อมูล และควบคุมการทำงานของวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ ทำให้สามารถวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาได้ เมื่อใช้ร่วมกับหัววัดรังสีชนิดซิลิคอนสำหรับวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 16F877 ควบคุมการทำงานของ single chip SCA โดยมีหน้าที่ ดังนี้

- 1.1 ควบคุมการเปลี่ยนค่า LLD และ ULD ของ single chip SCA
- 1.2 นับจำนวนสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ได้จากการวิเคราะห์ของ single chip SCA
- 1.3 สร้างฐานเวลา สำหรับตั้งเวลาการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ได้จากการวิเคราะห์ของ single chip SCA
- 1.4 ส่งค่าที่ได้จากการประมวลผล คือ ฐานเวลา (วินาที) จำนวนลอจิกพัลส์ที่นับได้ในแต่ละช่องวิเคราะห์ และสัญญาณจบการทำงาน ให้กับพีดีเอผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232

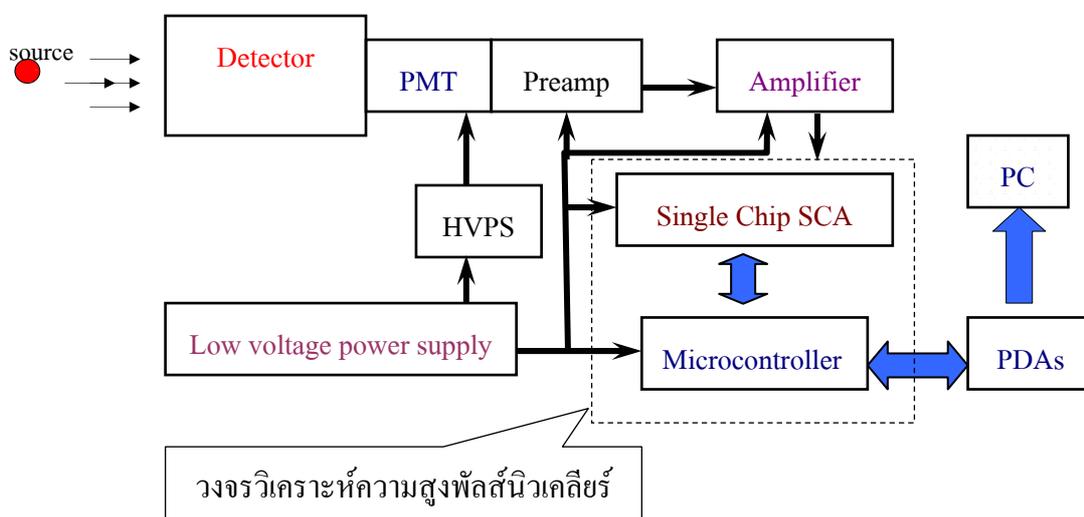
ในการตรวจวัดรังสีของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา เลือกใช้หัววัดรังสีชนิดซิลิคอนผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (ทลเลียม) ยี่ห้อ Ortec รุ่น 905-1 ทำงานร่วมกับหลอดทวิคูณแสง ยี่ห้อ Ortec รุ่น 276 โดยมีแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงบวก 900 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 500 ไมโครแอมแปร์ จ่ายพลังงานให้กับหลอดทวิคูณแสง เพื่อให้หัวรังสีทำงานได้ และมีแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงต่ำ  $\pm 24$  โวลต์ กระแสไฟฟ้า 16 มิลลิแอมแปร์ สำหรับจ่ายให้ภาคขยายส่วนหน้าที่อยู่ติดกับหลอดทวิคูณแสง ทำการขยายสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์เบื้องต้น ก่อนทำการส่งต่อยังภาคขยายสัญญาณ ที่สามารถขยายสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ได้ถึง 300 เท่า โดยมีสัญญาณพัลส์ทางออกเป็นแบบยูนิโพลาร์ จากนั้นสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์จะถูกส่งต่อไปกับวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ เพื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณ ตามคำสั่งที่ได้รับจากพีดีเอ ก่อนส่งผลการวิเคราะห์ที่ได้ให้กับพีดีเอ รายงานผล และบันทึกข้อมูล เป็นการสิ้นสุดการทำงานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา

สำหรับข้อมูลของพีดีเอ ใช้พีดีเอตระกูลปาล์ม (palm) รุ่นทังสเตนที (tungsten T) มีหน่วยความจำแรม 16 เมกะไบต์ จอภาพสีความละเอียด 320×320 พิกเซล ขนาด 10.2×7.5×1.5 เซนติเมตร น้ำหนัก 157 กรัม ระบบปฏิบัติการปาล์ม เวอร์ชัน 5.0 สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตยูเอสบี RS-232 อินฟราเรด (infrared) และบลูทูธ (bluetooth) ได้

## 2. การจัดอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีของระบบวิเคราะห์ความสูงพลังงานนิวเคลียร์ชนิดพกพา

ดังแสดงในภาพที่ 13 อันประกอบด้วย

- 2.1 หัววัดรังสี
- 2.2 วงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง
- 2.3 วงจรภาคขยาย
- 2.4 วงจรวิเคราะห์ความสูงพลังงานนิวเคลียร์
- 2.5 ส่วนควบคุม และแสดงผลหรือพีดีเอ



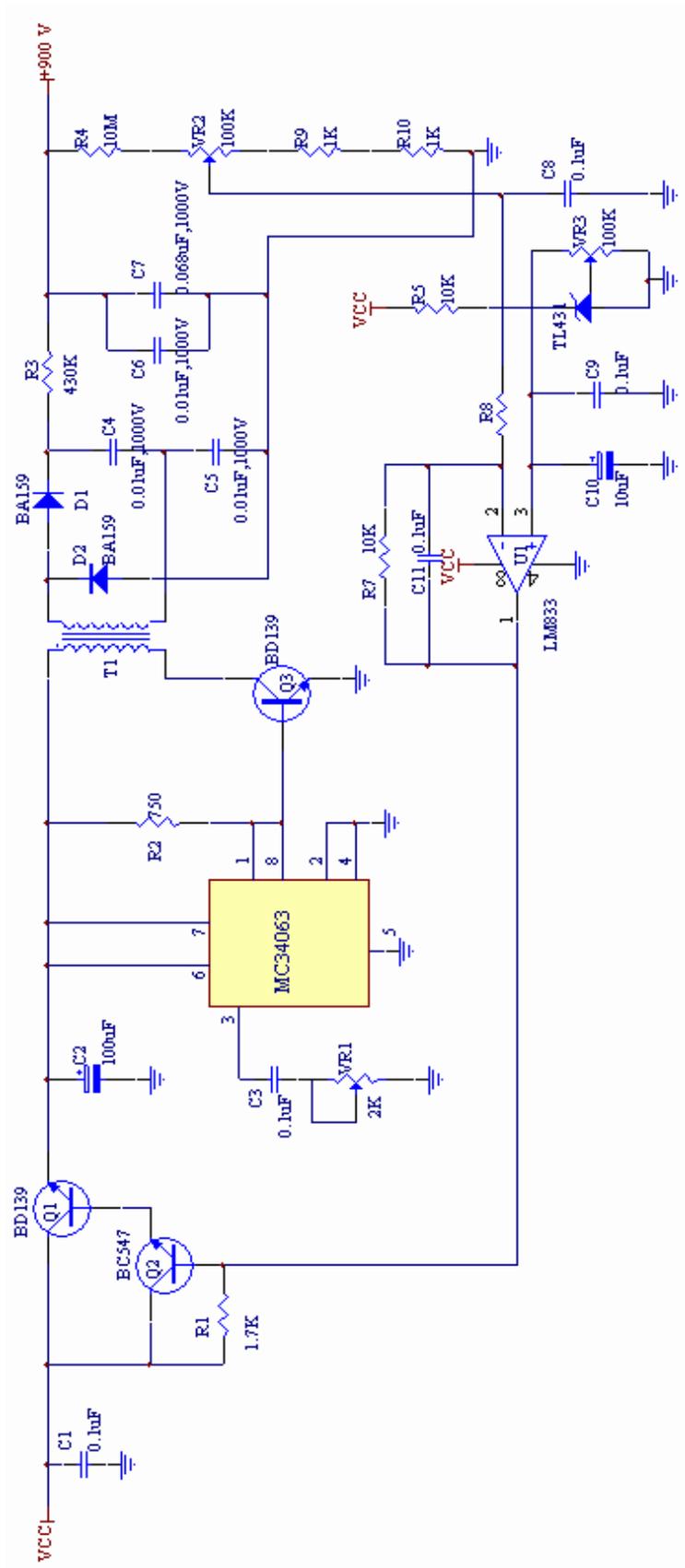
ภาพที่ 13 แสดงการจัดอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีของระบบวิเคราะห์ความสูงพลังงานนิวเคลียร์ชนิดพกพา

การพัฒนาระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา ประกอบด้วย การออกแบบ การสร้าง และการทดสอบ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

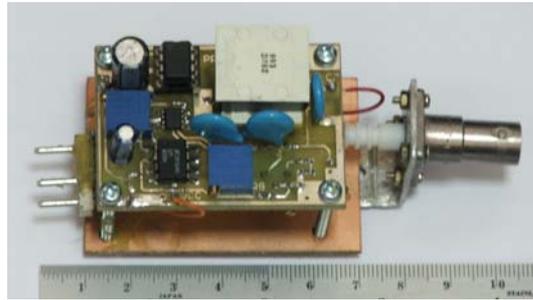
### 3. การออกแบบ และการสร้างระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา

แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบสร้างวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง ในการวิจัยนี้เลือกใช้ หัววัดรังสีชนิดซิลิคอนทิลเลชันผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ร่วมกับระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา โดยออกแบบให้จ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงบวก 900 โวลต์ กระแสประมาณ 500 ไมโครแอมแปร์ ( $\mu\text{A}$ ) ซึ่งเพียงพอสำหรับจ่ายกำลังให้หัววัดรังสีชนิดนี้ทำงานได้ โดยการออกแบบวงจรเลือกใช้ไอซี MC 34063 ของบริษัทโมโตโลลาร์ สำหรับสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 80 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อควบคุมทรานซิสเตอร์ Q3 เบอร์ BD 139 ให้ขับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบฟลายแบ็ค (flyback) ในลักษณะความกว้างของพัลส์คงที่ เพื่อลดปัญหาการกระเพื่อมของความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง หม้อแปลงไฟฟ้าใช้แกนเฟอร์ไรท์ออกแบบหม้อแปลงแบบสเตปอัพ (step up) มีอัตรารอบ 1 : 25 และใช้ไดโอด D1 และ D2 เป็นวงจรทวิแรงดันแบบครึ่งคลื่น 2 เท่า ทำให้ได้ความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง จากนั้นกรองกระแสอีกครั้งด้วย R3 C6 และ C7 เพื่อลดความต่างศักย์ระลอก (ripple voltage) และมีการป้อนกลับศักย์ไฟฟ้าเพื่อควบคุมความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออกให้คงที่ ด้วยวงจรโวลเตจเรกกูเรเตอร์ วงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงนี้ทำงานด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าทางเข้า 20 โวลต์ ดังแสดงเป็นภาพวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงในภาพที่ 14 สำหรับภาพที่ 15 เป็นภาพถ่ายแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงที่ประกอบเสร็จ

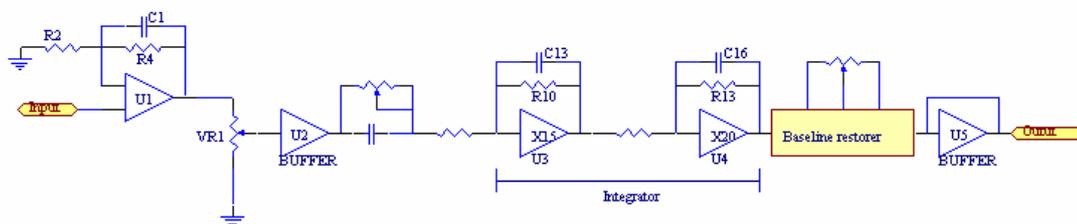


ภาพที่ 14 แสดงวงจรแหล่งจ่ายความต้งศักย์ไฟฟ้าแรงสูง



ภาพที่ 15 แสดงภาพถ่ายแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงที่ประกอบเสร็จ

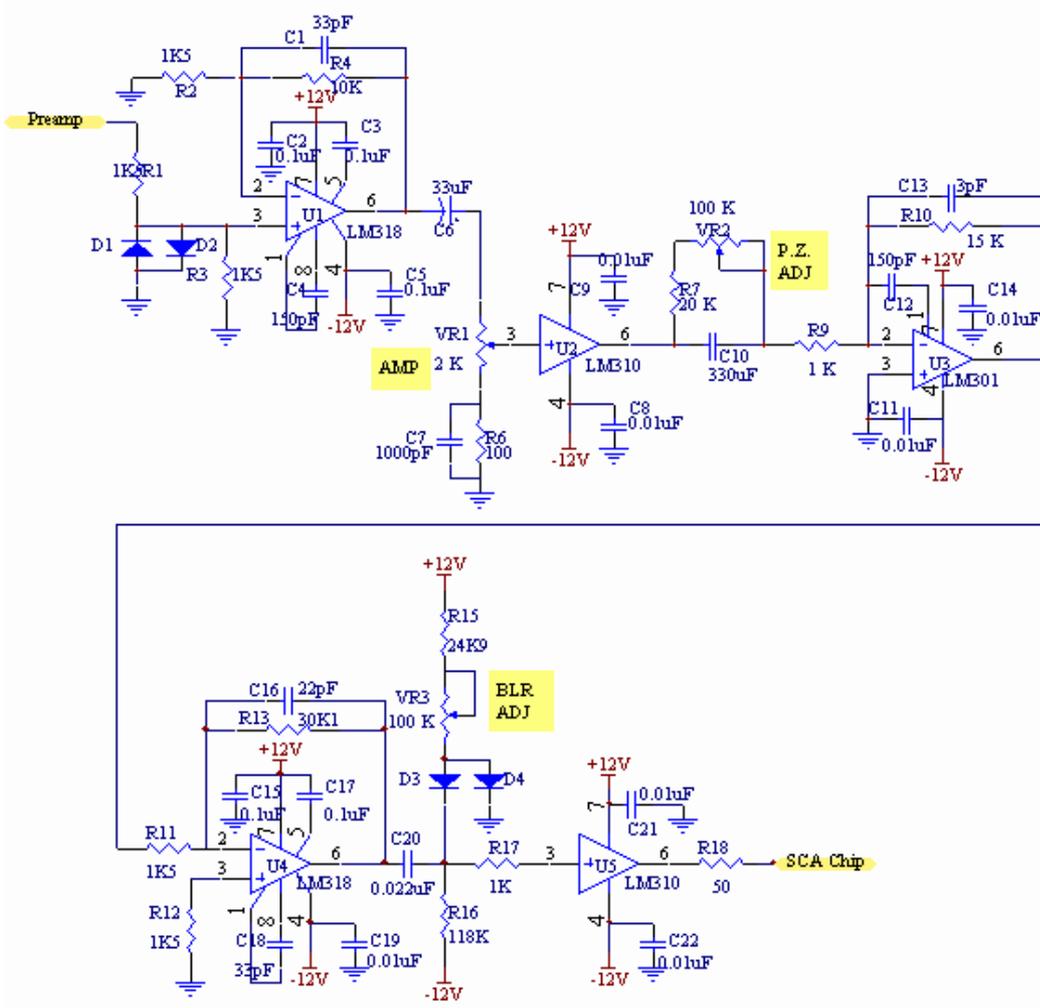
3.2 การออกแบบสร้างภาคขยายสัญญาณ ซึ่งเป็นส่วนแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่ได้จากวงจรขยายส่วนหน้าอยู่ติดกับหลอดทวีคูณแสง ดังนั้นการออกแบบจึงต้องมีการขยาย และปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณส่วนหน้า ให้เหมาะสมกับการใช้งานในส่วนวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว โดยมีแผนภาพการทำงานดังภาพที่ 16



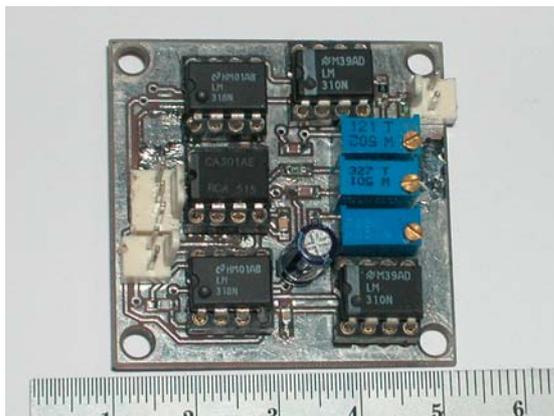
ภาพที่ 16 แสดงแผนภาพการทำงานของวงจรภาคขยาย

จากแผนภาพที่ 16 สามารถออกแบบวงจรขยายได้ดังในภาพที่ 17 เมื่อให้ U1 เป็นวงจรขยายส่วนหน้า จัดการทำงานแบบนอนอินเวอร์ตติงรับสัญญาณพัลส์บวก โดยมี R2 R4 และคาปาซิเตอร์ C1 เป็นวงจรป้อนกลับ ทางออกสัญญาณของ U1 เป็นพัลส์บวกมีรูปร่างเป็นเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีค่าคงตัวเวลาการสลายตัวเท่ากับ 10.89 ไมโครวินาที สัญญาณที่ได้จาก U1 สามารถลดทอนความสูงของสัญญาณได้โดยการปรับ VR1 สำหรับ U2 ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ระหว่างวงจรขยายส่วนหน้ากับวงจรลบล้างโพล - ซีโร (pole-zero cancellation) ที่มีค่าคงตัวเวลา 0.473 ไมโครวินาที เพื่อลดอันเดอร์ชูท (undershoot)

วงจรขยาย U3 และ U4 จัดรูปวงจรแบบอินเวอร์ตติ้งอินทิเกรตเตอร์ (inverting integrator) โดยแต่ละวงจรมีอัตราขยาย 10 และ 15 เท่า ตามลำดับ วงจรขยาย U3 มีค่าคงตัวเวลา 0.075 ไมโครวินาที ( $5\text{ pF} \times 15\text{ k}\Omega$ ) และวงจรขยาย U4 มีค่าคงตัวเวลา 0.705 ไมโครวินาที ( $47\text{ pF} \times 15\text{ k}\Omega$ ) ทำให้ได้สัญญาณพัลส์ทางออกที่ U4 มีรูปร่างแบบยูนิโพลาร์ มีความกว้างประมาณ 1.0 ไมโครวินาที เนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่ออกทาง U4 อาจมีศักย์ไฟฟ้ากระแสดรกร่วมอยู่ด้วย ซึ่งมีผลกระทบมาก ในการวิเคราะห์ห้ความสูงของพัลส์ จึงจำเป็นต้องมีวงจรปรับเบสไลน์ กลับสู่ศูนย์ (baseline restorer) ที่ประกอบด้วย R15 R16 D3 D4 และ VR3 โดยสามารถทำได้ โดยการปรับ VR3 และเพื่อไม่ให้วงจรในส่วนถัดไปมีผลกระทบด้านการโหลดสัญญาณ จึงใส่ U5 เป็นวงจรบัฟเฟอร์ เพื่อขับวงจรภายนอก ดังแสดงภาพถ່ายวงจขยายที่ประกอบเสร็จในภาพที่ 18



ภาพที่ 17 แสดงภาพวงจขยาย



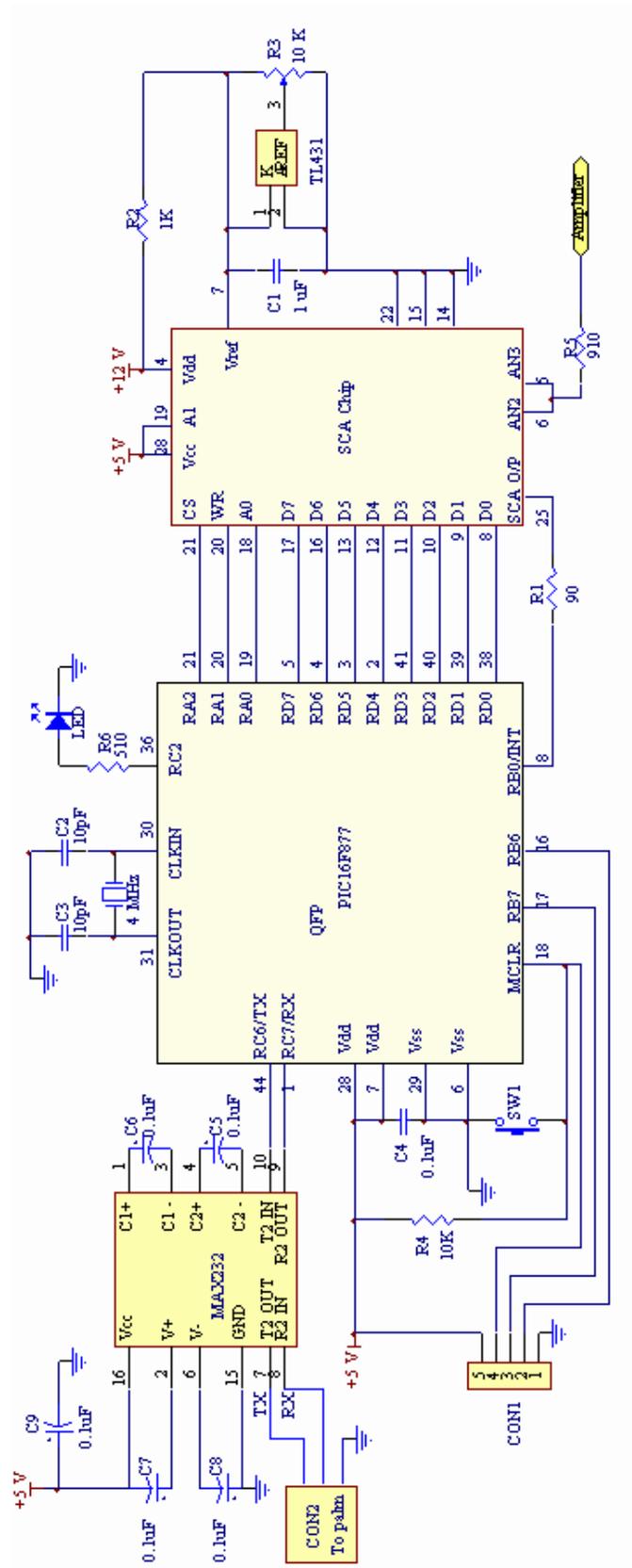
ภาพที่ 18 แสดงภาพถ่ายวงจรขยายที่ประกอบเสร็จ

3.3 การออกแบบสร้างวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ และโปรแกรมควบคุมส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ จากแผนภาพวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ในภาพที่ 19 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC16F877 ความถี่ 4 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) ของบริษัทไมโครชิพ ทำหน้าที่ติดต่อกับ single chip SCA และพีดีเอ โดยเลือกใช้พอร์ต RA0 – RA2 จำนวน 3 บิต เป็นพอร์ตควบคุมการเปลี่ยนค่า LLD และ ULD ใช้พอร์ต RD0 - RD7 จำนวน 8 บิต เป็นพอร์ตส่งค่า LLD และ ULD ให้ single chip SCA โดยมีไอซี TL431 ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความต่างศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง 10 โวลต์ ให้กับ single chip SCA ในส่วนของวงจรฐานเวลาเลือกใช้ไทม์เมอร์ศูนย์ (timer 0) ขนาด 8 บิต ให้ทำหน้าที่สร้างฐานเวลาในหน่วยวินาที ส่วนวงจรนับสัญญาณลอจิกพัลส์เลือกใช้พอร์ต RB0 จำนวน 1 บิต ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณอินเตอร์รัพท์ (interrupt) เพื่อนับสัญญาณลอจิกพัลส์จากการวิเคราะห์ของ single chip SCA และใช้พอร์ต RC6 และ RC7 ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม RS 232 กับพีดีเอ ผ่านทาง CON 2 ส่วน CON 1 ใช้สำหรับการโปรแกรมอินเทลเฮกไฟล์ (intel hex file) ลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงภาพถ่ายวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ที่ประกอบเสร็จในภาพที่ 20 จากนั้นเขียนผังงานของโปรแกรม โดยแบ่งเป็น

3.1.1 ผังงานโปรแกรมควบคุมหลัก แสดงในภาพที่ 21

3.1.2 ผังงานโปรแกรมการอินเตอร์รัพท์เพื่อสร้างฐานเวลาในหน่วยวินาที และการอินเตอร์รัพท์ที่พอร์ต RB0 เพื่อนับสัญญาณลอจิกพัลส์ ดังแสดงในภาพที่ 22

สุดท้ายเขียนโปรแกรม Scan SCA ตามผังงานที่ได้ออกแบบไว้ ก่อนทำการทดสอบโปรแกรมต่อไป

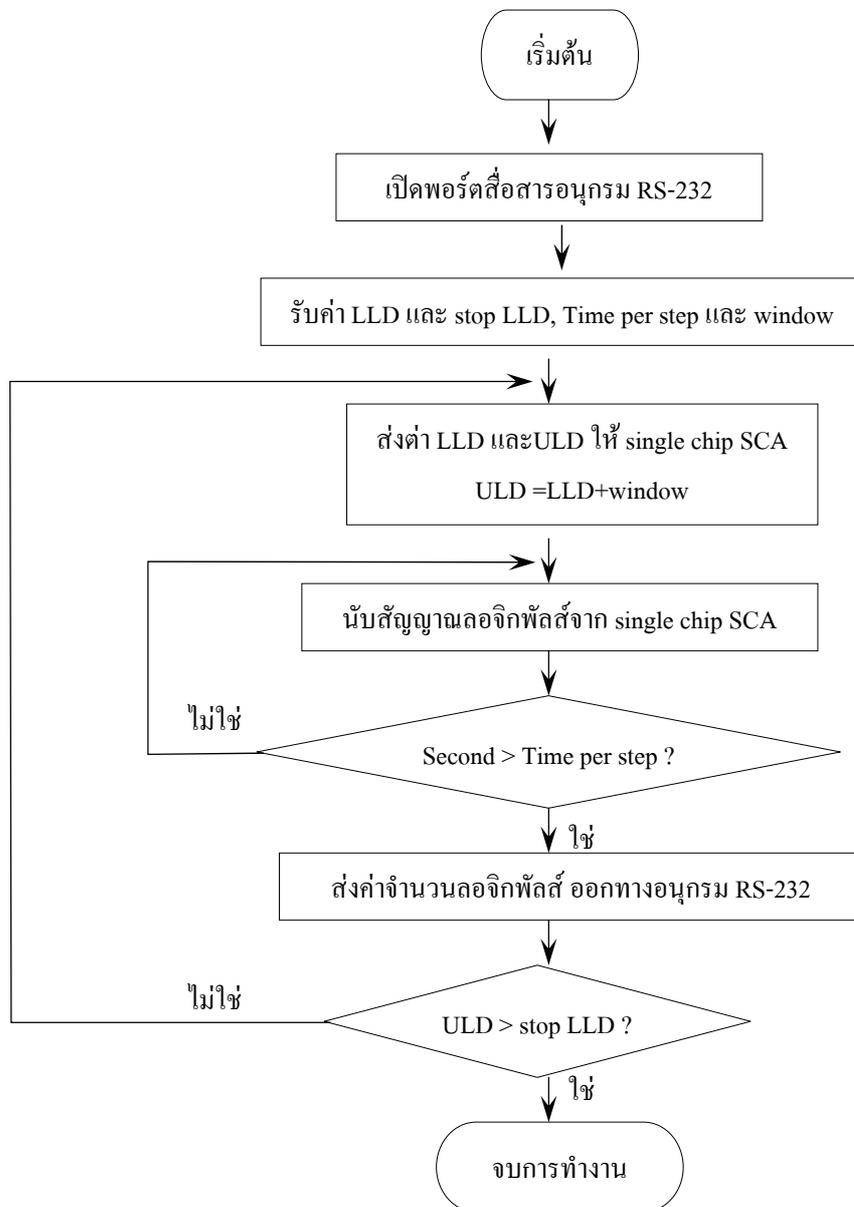


ภาพที่ 19 แผนภาพแสดงวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์ไมโครคัลเลอร์

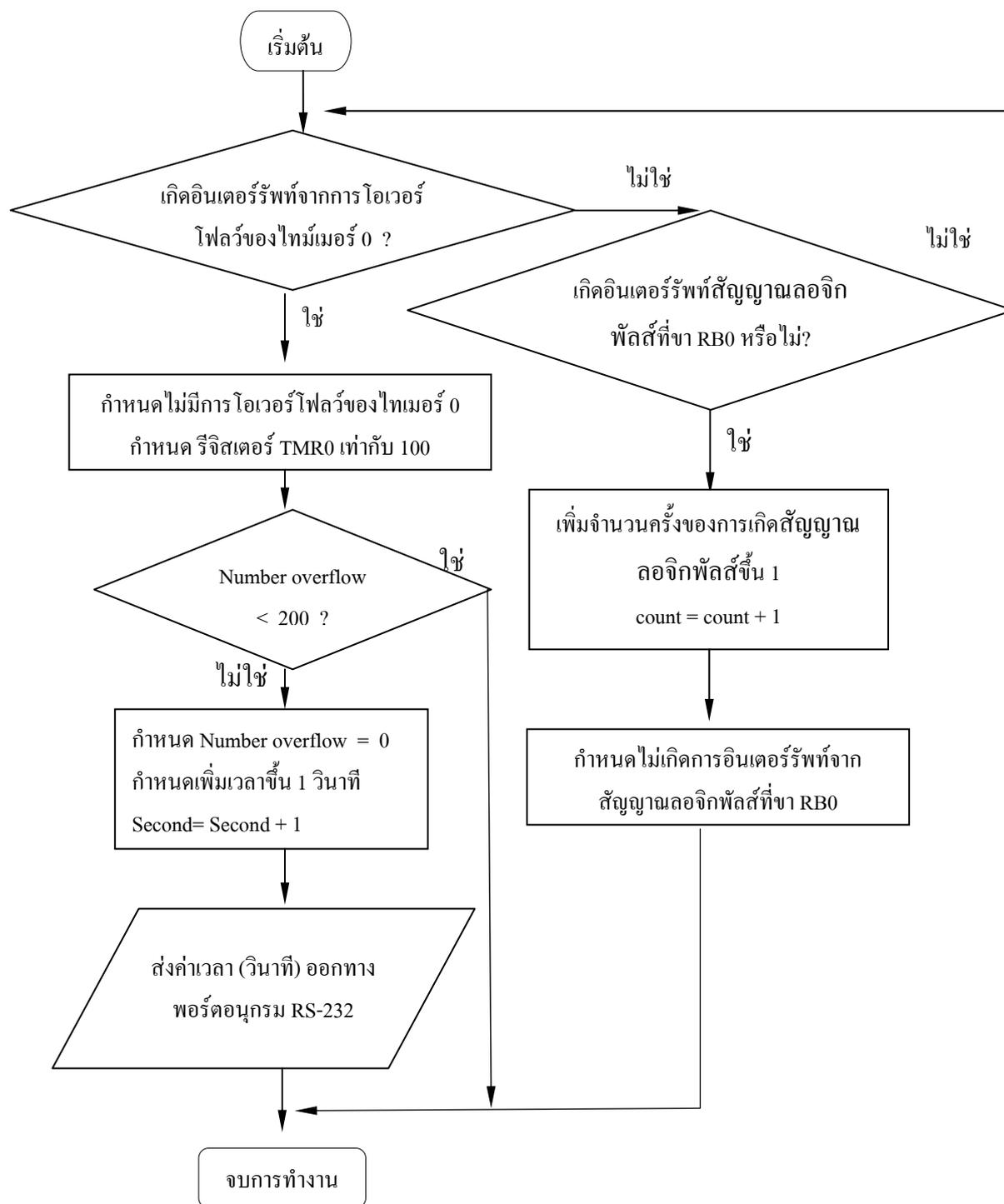


ภาพที่ 20 แสดงภาพถ่ายวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ที่ประกอบเสร็จ

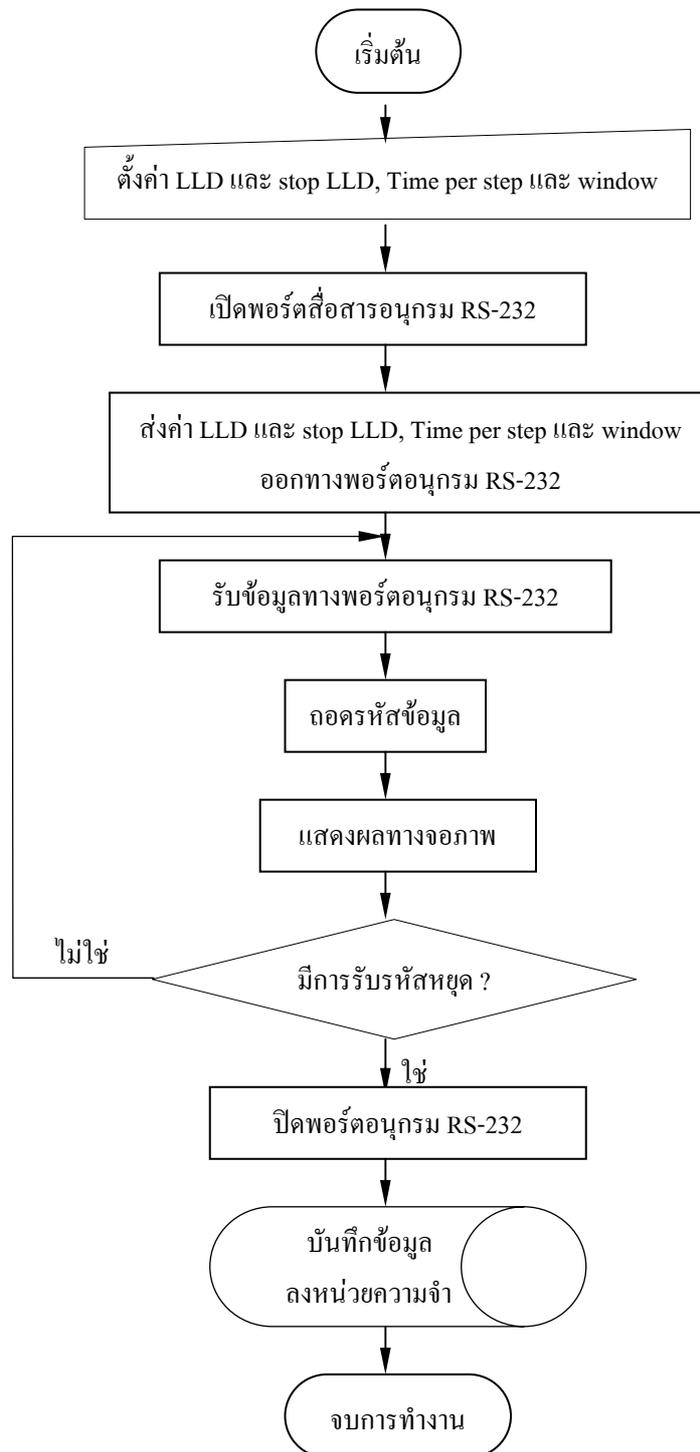
3.4 การออกแบบผังงาน และโปรแกรม Scan SCA ในส่วนพีดีเอ โปรแกรมในส่วนพีดีเอ ทำหน้าที่ส่งค่า LLD stop LLD window และ time per step ในหน่วยวินาที ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232 หลังจากนั้นจะรอรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ เพื่อทำการแสดงผล และเก็บข้อมูล ดังแสดงเป็นผังงานของโปรแกรมในภาพที่ 23



ภาพที่ 21 ฟังงานโปรแกรมควบคุมหลักส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 22 แสดงผังงานการทำงานของโปรแกรมฐานเวลาในหน่วยวินาที และผังงาน โปรแกรมนับสัญญาณลอจิกพัลส์โดยใช้การอินเทอร์รัพท์ที่พอร์ต RB0



ภาพที่ 23 ผังงานการทำงานของโปรแกรม Scan SCA ในส่วนพีดีเอ

#### 4. การทดสอบระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา

แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง ขั้นตอนการทดสอบ แบ่งได้ดังนี้

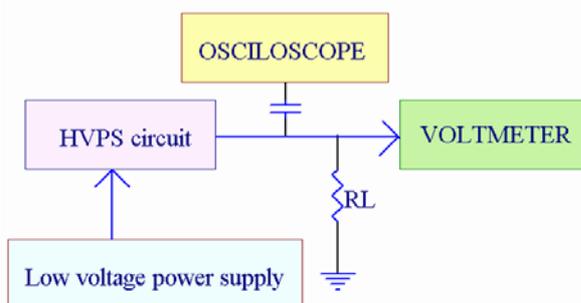
4.1.1 จัดอุปกรณ์การทดสอบดังภาพที่ 24

4.1.2 ทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด โดยการปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออกของวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงที่ 900 โวลต์ จากนั้นแปรเปลี่ยนตัวต้านทาน โหลด และบันทึกผลความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก รายงานผล

4.1.3 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก โดยการปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงต่ำ ที่จ่ายให้วงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง และอ่านค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก ของวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง บันทึก รายงานผล

4.1.4 ทดสอบความเสถียรของวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง โดยการปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก ของวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงที่ 900 โวลต์ บันทึกผลค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก ของวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง ทุก ๆ 10 นาที เป็นเวลา 90 นาที รายงานผล

4.1.5 ทดสอบ ripple voltage ของวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง ขณะไม่มีโหลด และมีโหลด โดยการปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก ของวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงที่ 900 โวลต์ บันทึกค่า ripple voltage จากนั้นใส่โหลด (หัววัดรังสี) บันทึกค่า ripple voltage รายงานผล



ภาพที่ 24 แผนภาพแสดงการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง

#### 4.2 การทดสอบวงจรภาคขยาย ขั้นตอนการทดสอบ แบ่งได้ดังนี้

##### 4.2.1 จัดอุปกรณ์การทดสอบดังภาพที่ 25

4.2.2 ทดสอบการตอบสนองสัญญาณพัลส์ของวงจรขยาย โดยป้อนสัญญาณพัลส์ทางเข้าขนาด 500 มิลลิโวลต์ ให้กับวงจรขยายสัญญาณพัลส์ อ่านรูปสัญญาณเปรียบเทียบกับสัญญาณพัลส์หลังมีการปรับ pole-zero cancellation และ baseline restorer ที่สมบูรณ์แล้ว บันทึกผล

4.2.3 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยาย โดยตั้งอัตราขยายคงที่ และแปรเปลี่ยนขนาดสูงของสัญญาณพัลส์ทางเข้าจากแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ รวมทั้งสัญญาณรบกวนของวงจร บันทึกผล และคำนวณหาอัตราขยาย



ภาพที่ 25 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรขยาย .

#### 4.3 การทดสอบโปรแกรม Scan SCA ที่ทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์ และบนพีดีเอ

##### ขั้นตอนการทดสอบ แบ่งได้ดังนี้

4.3.1 ทดสอบโปรแกรมสร้างฐานเวลาในหน่วยวินาที และโปรแกรมนับจำนวนสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ร่วมกับการส่งค่าฐานเวลา และจำนวนลอจิกพัลส์ที่วิเคราะห์ได้ให้กับโปรแกรม Scan SCA บนพีดีเอแสดงผล โดยจัดอุปกรณ์ทดสอบดังภาพที่ 26 (ก) เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นของการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ เมื่อกำหนดเวลาการนับ 1 และ 10 วินาที ที่ความถี่ของแหล่งกำเนิดรูปสัญญาณ 1-10 กิโลเฮิร์ตซ์ บันทึก รายงานผล

4.3.2 ทดสอบโปรแกรมควบคุมการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD และ window ( $\Delta E$ ) บนวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ โดยจัดอุปกรณ์การทดสอบดังภาพที่ 26 (ข)

ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD เลือกรับสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ (ตำแหน่งสวิตช์ A) โดยกำหนดข้อมูลจากพีดีเอ ดังนี้

start LLD เริ่มต้นที่ 40 มิลลิโวลต์ ถึง 9 โวลต์

stop LLD เท่ากับ 10 โวลต์

window เท่ากับ 1 โวลต์

time per step เท่ากับ 3 นาที  
 จากนั้นทำการแปรเปลี่ยนค่าความสูงของพัลส์ และบันทึกค่าศักย์ไฟฟ้า  
 อ้างอิง LLD ณ ตำแหน่งที่เกิด HT (half triggering) รายงานผล  
 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง window  
 เลือกรับสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ (ตำแหน่งสวิตช์ A) และกำหนดข้อมูลจากพีดีเอ  
 ดังนี้

start LLD เท่ากับ 1 โวลต์

stop LLD เท่ากับ 10 โวลต์

window เริ่มต้นที่ 40 มิลลิโวลต์ ถึง 9 โวลต์

time per step เท่ากับ 3 นาที

จากนั้นทำการแปรเปลี่ยนค่าความสูงของพัลส์ และบันทึกค่าศักย์ไฟฟ้า  
 อ้างอิง window ณ ตำแหน่งที่เกิด HT (half triggering) รายงานผล  
 ทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 ด้วย  
 ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา จัดอุปกรณ์การทดสอบดังภาพที่ 26 (ข) เลือกรับ  
 สัญญาณจากหัววัดรังสี (ตำแหน่งสวิตช์ B) ปรับอัตราขยายสัญญาณพัลส์ 10 เท่า และกำหนดข้อมูล  
 จากพีดีเอดังนี้

start LLD เท่ากับ 0 โวลต์

stop LLD เท่ากับ 10 โวลต์

window เท่ากับ 40 มิลลิโวลต์

time per step เท่ากับ 5 วินาที

ตั้งการทำงานของระบบแบบ sweep mode

บันทึกข้อมูล รายงานผล

จากนั้นทำการปรับเทียบระบบการวัดรังสีให้เหมาะสม ตั้งการทำงานของ  
 ของระบบแบบ sweep mode และปรับเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ดังนี้

อัตราขยายสัญญาณพัลส์

start LLD

stop LLD

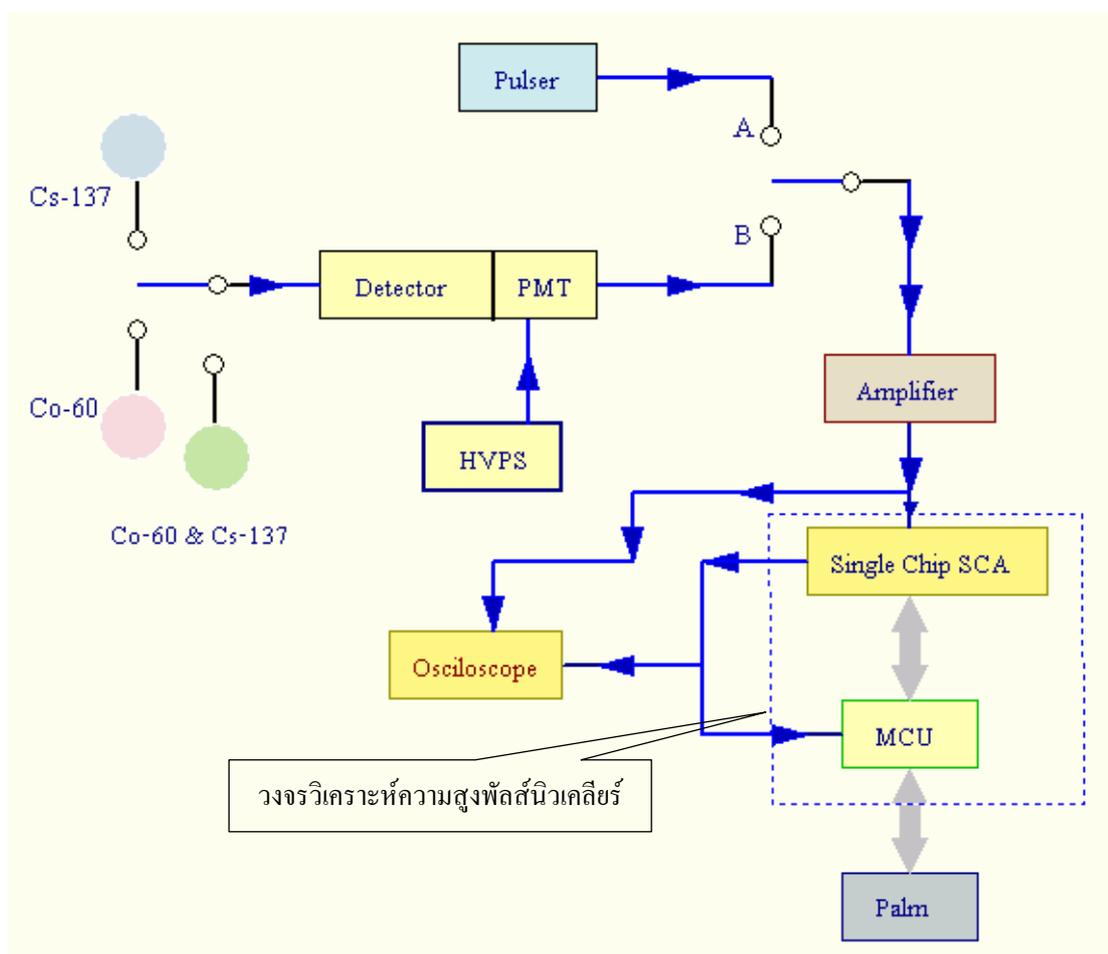
window

time per step

ชุดท้ายหาความสามารถในการแจกแจงพลังงานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา



(ก)



(ข)

ภาพที่ 26 แสดงการจัดอุปกรณ์ทดสอบโปรแกรมติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ต RS-232 โปรแกรมฐานเวลา และ โปรแกรมนับสัญญาณลอจิกพัลส์ (ก) แสดงการจัดอุปกรณ์ทดสอบโปรแกรมควบคุมการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD และ window บนวงจรวินิจฉัยความสูงพัลส์นิวเคลียร์ (ข)

## ผล และการวิจารณ์

### การทดสอบระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิเวศวิทยารุ่นชนิดพกพา

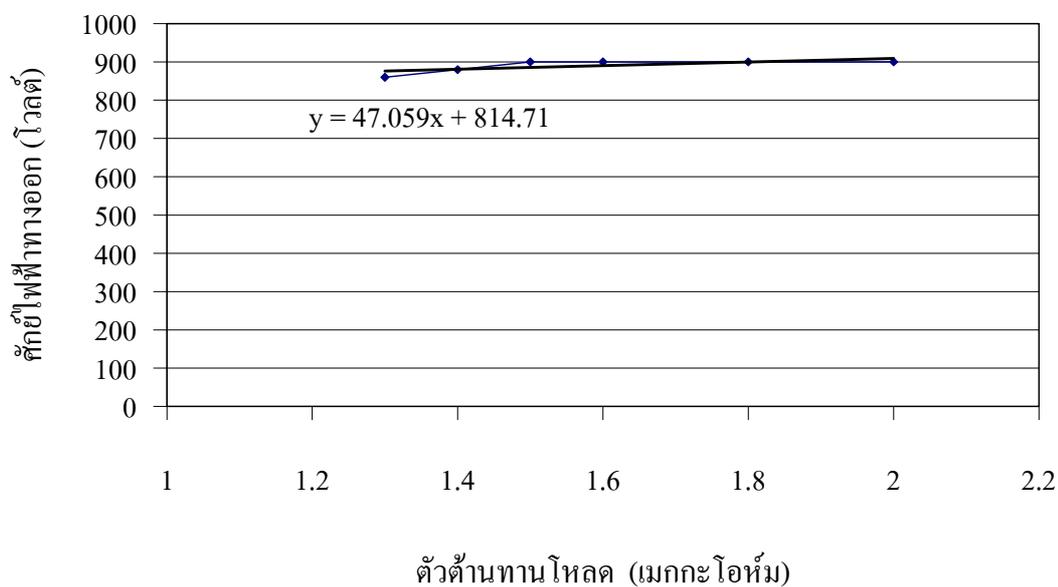
#### 1. การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง

##### 1.1 การทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด

ตัวต้านทานโหลด (เมกกะโอห์ม)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า ทางออก (โวลต์)	กระแสไฟฟ้าโหลด (ไมโครแอมแปร์)
1.3	860	661.54
1.4	880	628.57
1.5	900	600.00
1.6	900	562.50
1.8	900	500.00
2	900	450.00

จากตารางที่ 1 ความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก 900 โวลต์ เท่ากับ 600 ไมโครแอมแปร์ และเมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 1 เขียนกราฟความสัมพันธ์จะ  
ได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพที่ 27



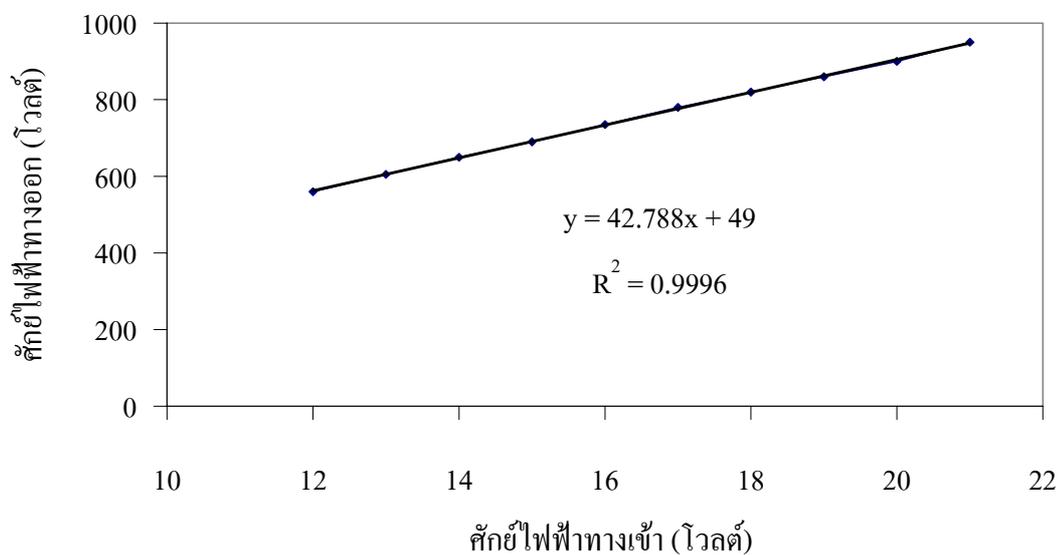
ภาพที่ 27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตัวต้านทาน โหลด (เมกกะโอห์ม) กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก (โวลต์) ของแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง

#### 1.2 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก

เมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 2 มาวิเคราะห์ ได้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น  $R^2$  เท่ากับ 0.9996 และกราฟความสัมพันธ์ในภาพที่ 28

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก

ความต่างศักย์ไฟฟ้าทางเข้า (โวลต์)	ความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก (โวลต์)
12	560
13	605
14	650
15	690
16	735
17	780
18	820
19	860
20	900
21	950



ภาพที่ 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทางเข้า (โวลต์) กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก (โวลต์) ของแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง

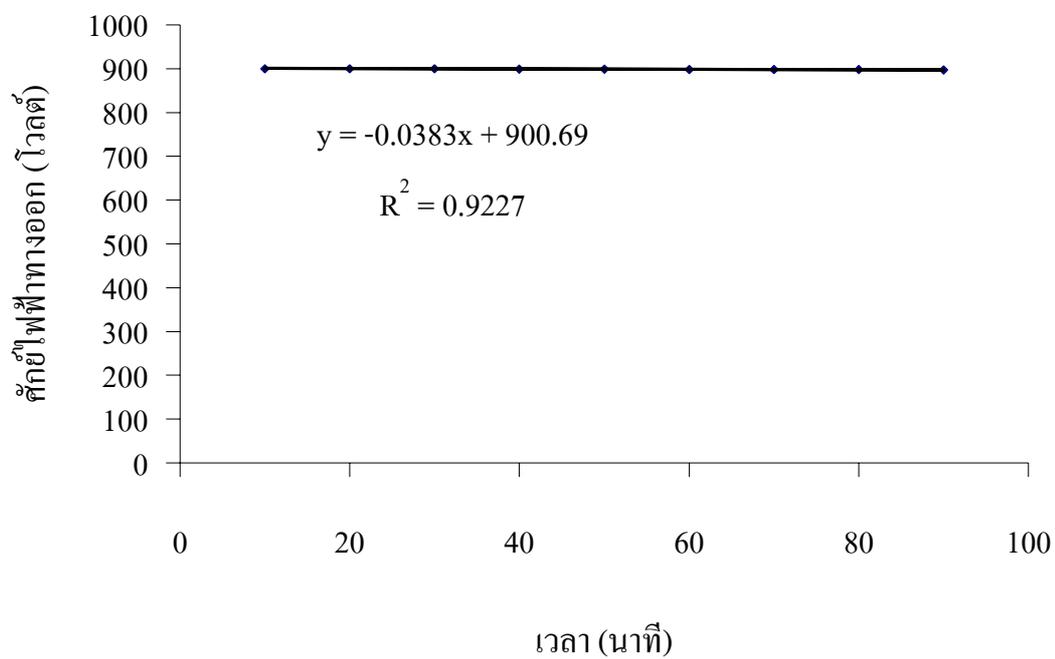
### 1.3 การทดสอบความเสถียรของวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง

จากตารางที่ 3 วิเคราะห์ผลได้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น  $R^2$  เท่ากับ 0.9227 และกราฟความสัมพันธ์ในภาพที่ 29

ตารางที่ 3 แสดงผลทดสอบความเสถียรของวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก (โวลต์)
10	900
20	900
30	900
40	899
50	899
60	898
70	898
80	898
90	897

ระยะเวลาสำหรับทดสอบความเสถียรของวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงไม่ยาวนาน เนื่องจากขีดจำกัดของแหล่งจ่ายพลังงาน ที่ให้กับระบบมีกำลังไม่เพียงพอ โดยแหล่งจ่ายพลังงานมีกำลังสูงสุด 14.4 วัตต์ต่อชั่วโมง ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 7.2 โวลต์



ภาพที่ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (นาฬิกา) กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก (โวลต์) ของแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง

1.4 ผลการทดสอบ ripple voltage ของวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง ขณะไม่มีโหลด และมีโหลด (หัววัดรังสี)

ripple voltage ขณะไม่มีโหลดประมาณ 40 มิลลิโวลต์ จากพิกถึงพิก ( $mV_{p-p}$ )

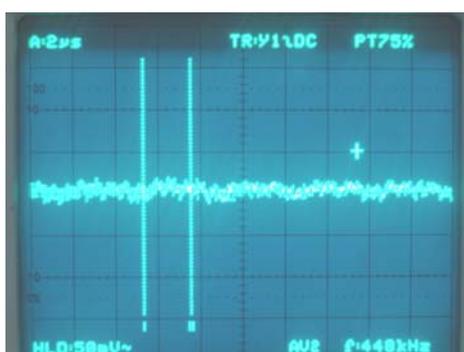
ripple voltage ขณะมีโหลดประมาณ 80 มิลลิโวลต์ จากพิกถึงพิก

ทำให้ค่า ripple factor ของวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง ขณะมีโหลด เท่ากับ

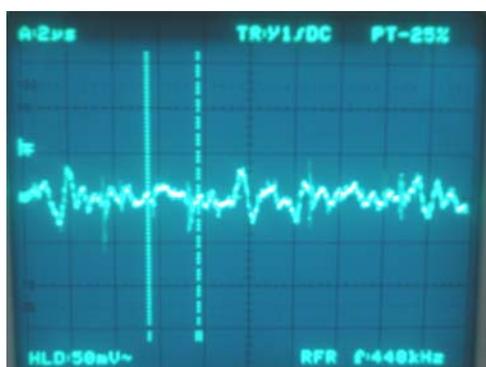
$$\text{ripple factor (r)} = \frac{V_{r(p-p)}}{V_{DC}} \quad (4)$$

แทนค่า  $r = \frac{80mV}{900V} = 8.89 \times 10^{-5}$

คิดเป็น 0.00889 % ของ 900 โวลต์



(ก)



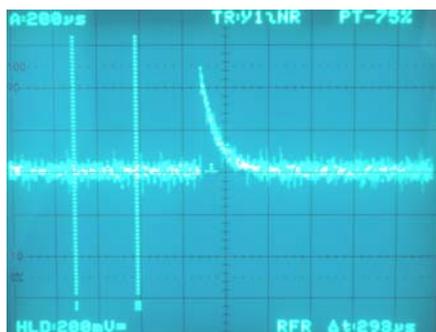
(ข)

ภาพที่ 30 ripple voltage ขณะไม่มีโหลดในวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (ก)

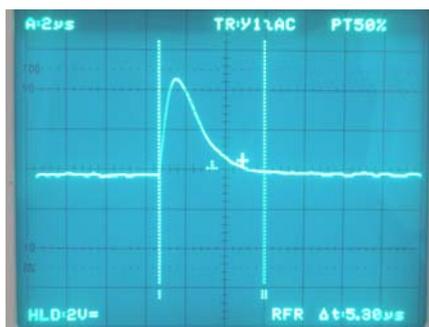
ripple voltage ขณะมีโหลดในวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (ข)

## 2. การทดสอบวงจรมายาย

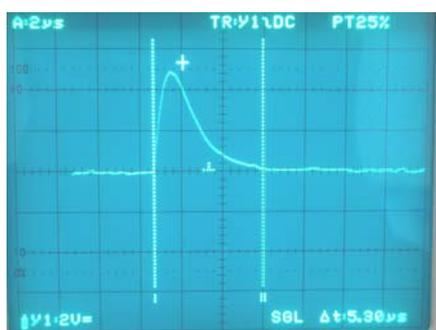
### 2.1 ทดสอบการตอบสนองสัญญาณพัลส์ของวงจรมายาย



(ก)



(ข)



(ค)

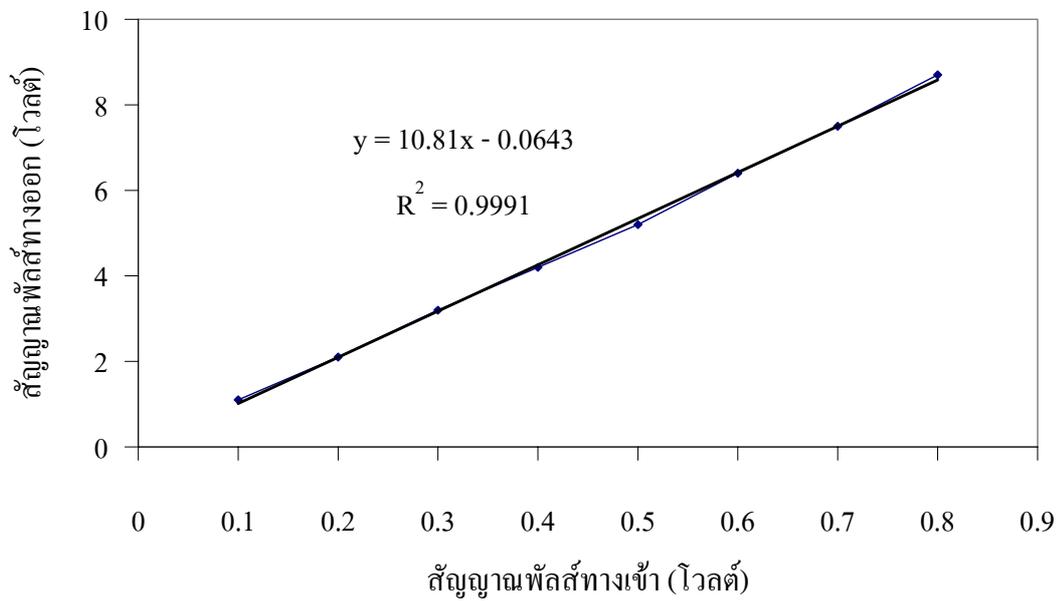
ภาพที่ 31 สัญญาณพัลส์ทางเข้าขนาด 500 มิลลิโวลต์ (ก) สัญญาณพัลส์ทางออก จากวงจรมายายก่อนการปรับ pole-zero cancellation และ baseline restorer (ข) สัญญาณพัลส์ทางออก จากวงจรมายายหลังการปรับ pole-zero cancellation และ baseline restorer (ค)

## 2.2 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยาย

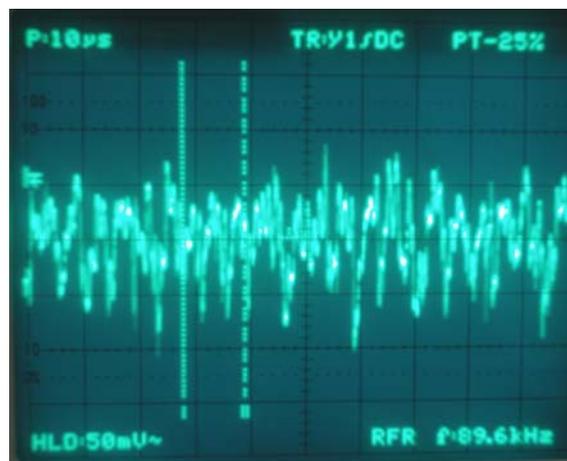
จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ได้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น  $R^2$  เท่ากับ 0.9991 และกราฟความสัมพันธ์ในภาพที่ 32 สำหรับภาพที่ 33 เป็นภาพแสดงระดับของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากวงจรภาคขยายสัญญาณมีค่าประมาณ 200 มิลลิโวลต์ จากพีคถึงพีคซึ่งมีค่าสูง โดยเป็นผลมาจากสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงต่ำ วงจร high speed digital และจากอุปกรณ์ภายในวงจรด้วยกัน โดยสัญญาณรบกวนนี้มีผลต่อประสิทธิภาพการวัดสเปกตรัมพลังงานรังสีมาก ดังนั้นควรมีการปรับปรุงให้มิต่ำลงกว่านี้

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของภาคขยาย

สัญญาณพัลส์ทางเข้า (โวลต์)	สัญญาณพัลส์ทางออก (โวลต์)	อัตราขยาย
0.1	1.1	11.0
0.2	2.1	10.5
0.3	3.2	10.7
0.4	4.2	10.5
0.5	5.2	10.4
0.6	6.4	10.7
0.7	7.5	10.7
0.8	8.7	10.9



ภาพที่ 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสัญญาณพัลส์ทางเข้า (โวลต์) กับความสูงของสัญญาณพัลส์ทางออก (โวลต์)



ภาพที่ 33 แสดง ripple voltage ของภาคขยายสัญญาณ

### 3. การทดสอบโปรแกรม Scan SCA ที่ทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์ และบนพีดีเอ

3.1 ทดสอบโปรแกรมสร้างฐานเวลาในหน่วยวินาที และโปรแกรมนับจำนวนสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์

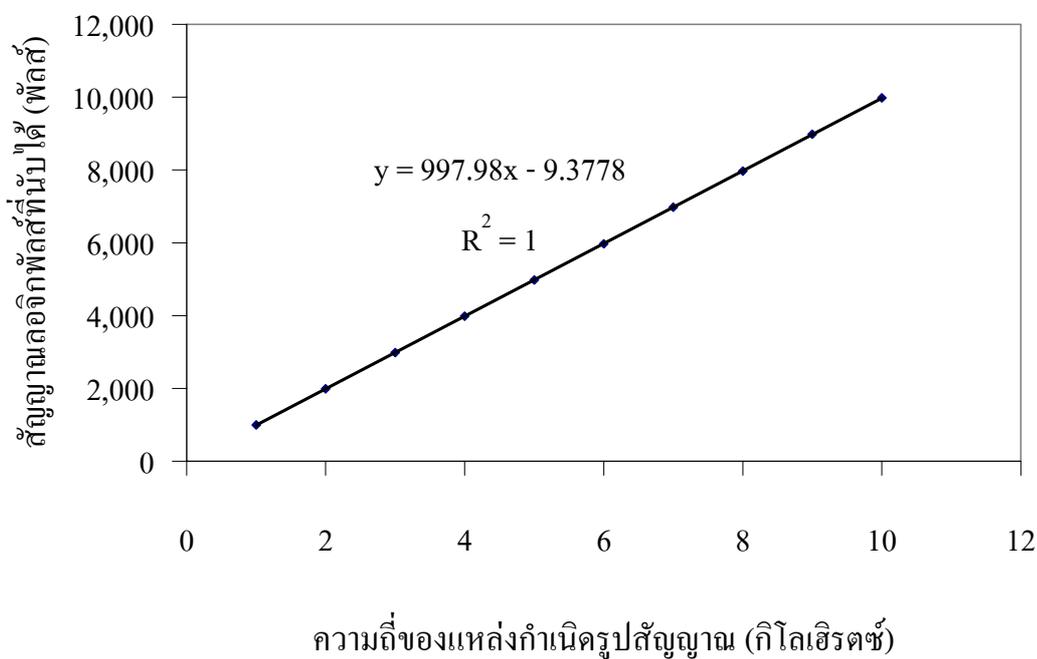
จากตารางที่ 5 และ 6 เป็นผลของการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ที่เวลา 1 และ 10 วินาที ณ ความถี่ของแหล่งกำเนิดรูปสัญญาณ 1-10 กิโลเฮิร์ตซ์ เมื่อวิเคราะห์ความเป็นเชิงเส้นของการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ ได้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น  $R^2$  เท่ากับ 1 ทั้งสองเวลาการนับ โดยให้กราฟความสัมพันธ์ดังภาพที่ 34 และ 35 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 แสดงผลความเป็นเชิงเส้นของการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ใน 1 วินาที

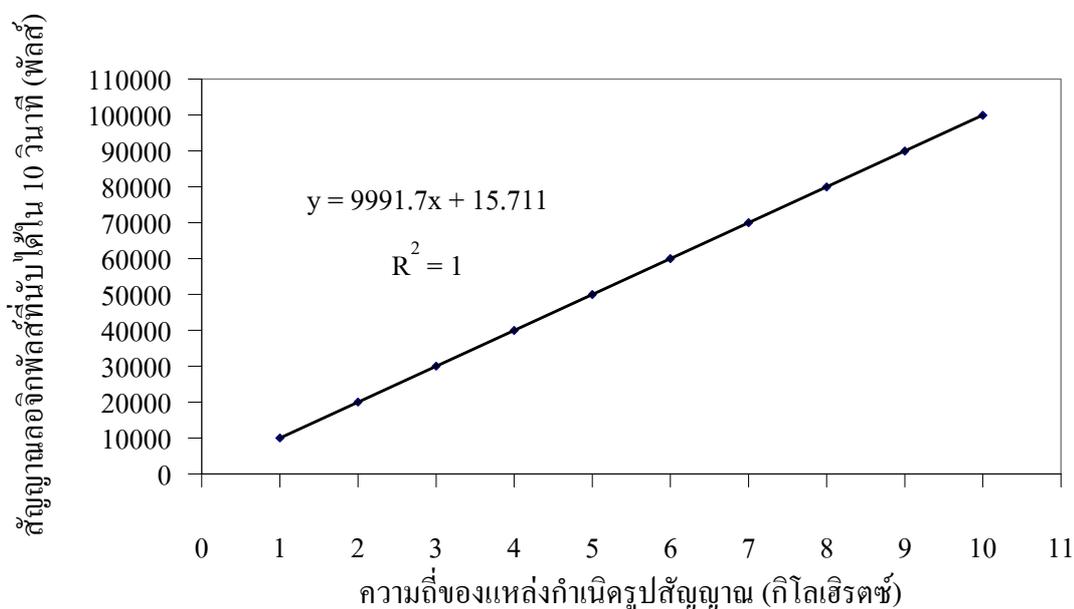
ความถี่ของแหล่งกำเนิดรูปสัญญาณ (กิโลเฮิร์ตซ์)	สัญญาณลอจิกพัลส์ที่นับได้ใน 1 วินาที (พัลส์)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	995	995	995	995.00
2	1990	1990	1990	1990.00
3	2985	2985	2985	2985.00
4	3980	3980	3980	3980.00
5	4975	4975	4975	4975.00
6	5970	5970	5970	5970.00
7	6973	6974	6972	6973.00
8	7971	7972	7971	7971.33
9	8978	8978	8977	8977.67
10	9979	9977	9978	9978.00

ตารางที่ 6 แสดงผลความเป็นเชิงเส้นของการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ใน 10 วินาที

ความถี่ของแหล่งกำเนิดรูป สัญญาณ (กิโลเฮิรตซ์)	สัญญาณลอจิกพัลส์ที่นับได้ใน 10 วินาที (พัลส์)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	10000	9995	9995	9996.67
2	20004	19990	19985	19993.00
3	30003	29980	29985	29989.33
4	40004	39974	39970	39982.67
5	50001	49975	49975	49983.67
6	60010	59960	59970	59980.00
7	69974	69980	69990	69981.33
8	79945	79940	79942	79942.33
9	89935	89940	89931	89935.33
10	99911	99921	99917	99916.33



ภาพที่ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของแหล่งกำเนิดรูปสัญญาณ (กิโลเฮิรตซ์) กับจำนวนสัญญาณลอจิกพัลส์ที่นับได้ใน 1 วินาที (พัลส์)



ภาพที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของแหล่งกำเนิดรูปสัญญาณ (กิโลเฮิรตซ์) กับจำนวนสัญญาณลอจิกพัลส์ที่นับได้ใน 10 วินาที (พัลส์)

### 3.2 การทดสอบโปรแกรมควบคุมการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD และ window จากพีดีเอ

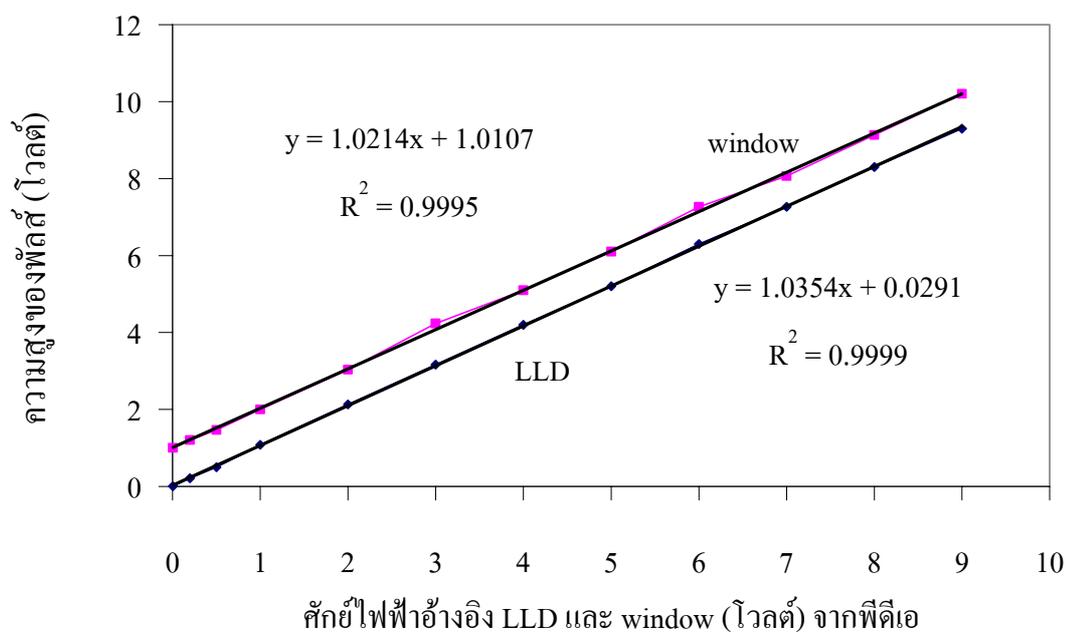
จากตารางที่ 7 และ 8 ผลวิเคราะห์ห้ความเป็นเชิงเส้นการควบคุมเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD และ window จากพีดีเอ ได้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น  $R^2$  เท่ากับ 0.9999 และ 0.9995 ตามลำดับ ดังแสดงกราฟความสัมพันธ์ในภาพที่ 36 สำหรับภาพที่ 37 แสดงการเกิดสัญญาณลอคจิกพัลส์ทางออก ณ ตำแหน่ง HT และการให้สัญญาณลอคจิกพัลส์ทางออกความสูง 5.0 โวลต์ จาก single chip SCA

ตารางที่ 7 แสดงผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD จากพีดีเอ

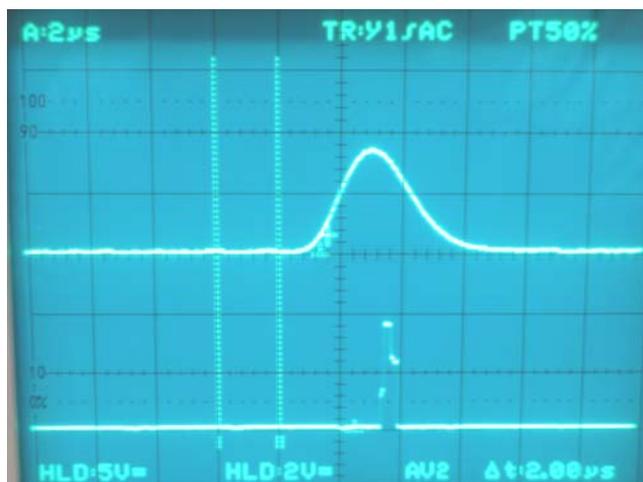
ศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD (โวลต์) จากพีดีเอ	ความสูงของพัลส์ (โวลต์)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0.04	0.006	0.0065	0.006	0.0062
0.2	0.24	0.2	0.2	0.21
0.5	0.5	0.5	0.5	0.50
1	1.1	1.1	1.05	1.08
2	2.1	2.2	2.1	2.13
3	3.2	3.2	3.1	3.17
4	4.2	4.2	4.2	4.20
5	5.2	5.2	5.2	5.20
6	6.4	6.3	6.2	6.30
7	7.4	7.2	7.2	7.27
8	8.4	8.2	8.3	8.30
9	9.4	9.3	9.3	9.33

ตารางที่ 8 แสดงผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง window จากพีดีเอ

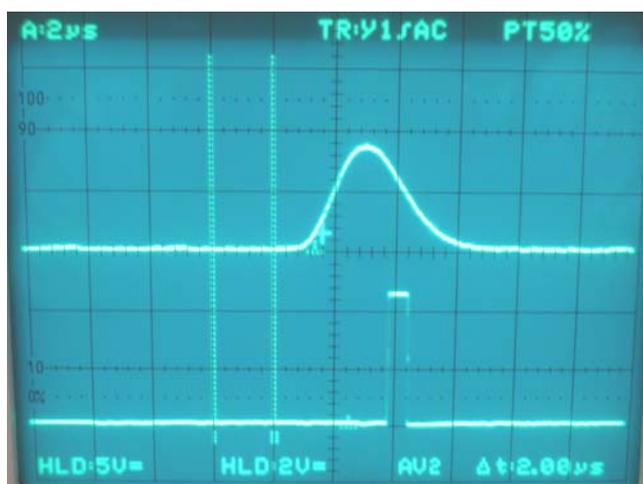
ศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง window (โวลต์) จาก พีดีเอ	ความสูงของพีลด์ (โวลต์)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0.004	1.005	1.005	1.006	1.01
0.20	1.21	1.20	1.20	1.20
0.50	1.50	1.40	1.50	1.47
1.00	2.10	2.00	1.90	2.00
2.00	3.10	3.00	3.00	3.03
3.00	4.20	4.20	4.30	4.23
4.00	5.20	5.10	5.00	5.10
5.00	6.20	6.00	6.10	6.10
6.00	7.30	7.20	7.30	7.27
7.00	8.00	8.10	8.10	8.07
8.00	9.20	9.00	9.20	9.13
9.00	10.20	10.20	10.20	10.20



ภาพที่ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD และ window (โวลต์) จากพีดีเอ กับความสูงของพีลด์ (โวลต์)



(ก)



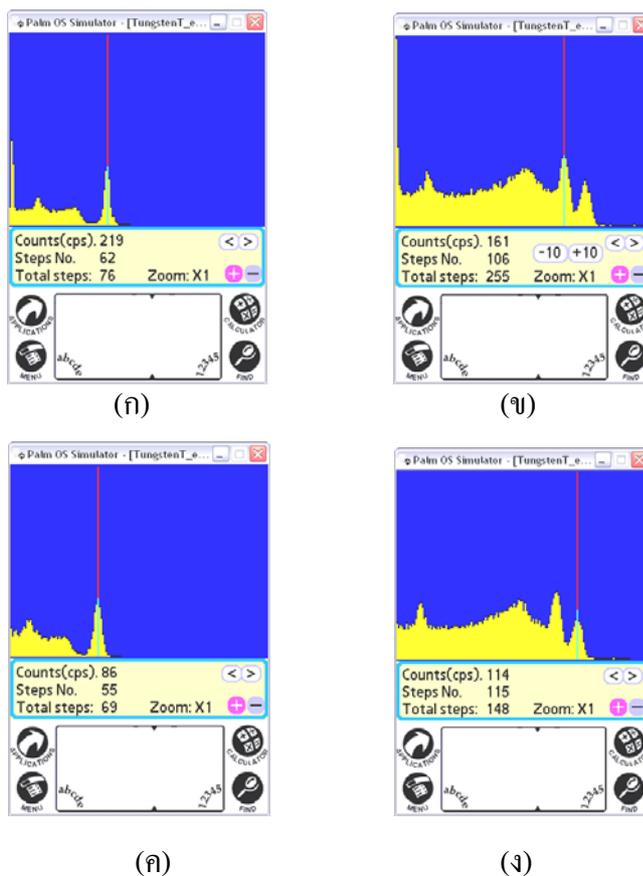
(ข)

ภาพที่ 37 เมื่อกำหนดศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD จากพีดีเอ เท่ากับ 8.0 โวลต์ ทำให้ได้ค่าความสูงของพัลส์ ณ ตำแหน่งที่เกิด HT เท่ากับ 8.3 โวลต์ (ก) และเมื่อความสูงของพัลส์ทางเข้ามากกว่าค่า HT จะได้สัญญาณลจิกพัลส์ ทางออกความสูง 5.0 โวลต์ (ข)

### 3.3 ทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 ด้วยระบบ

วิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา

เมื่อตั้งการทำงานของระบบเป็นแบบ sweep mode ใช้เวลาในการวัดแต่ละสเปป 5 วินาที ได้สเปกตรัมพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 ดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 แสดงสเปกตรัมพลังงานของ Cs-137 ที่ start LLD 0 โวลต์ และ stop LLD 10 โวลต์ window 40 มิลลิโวลต์ (ก) สเปกตรัมพลังงานของ Co-60 ที่ start LLD 0 โวลต์ และ stop LLD 10 โวลต์ window 40 มิลลิโวลต์ (ข) สเปกตรัมพลังงานของ Cs-137 ที่ start LLD 200 มิลลิโวลต์ stop LLD 3 โวลต์ และ window เท่ากับ 40 มิลลิโวลต์ (ค) สเปกตรัมพลังงานของ Co-60 ที่ start LLD เท่ากับ 200 มิลลิโวลต์ stop LLD เท่ากับ 6 โวลต์ และ window 40 มิลลิโวลต์ (ง)

สำหรับภาพที่ 38(ค) และภาพที่ 38(ง) เป็นภาพสเปกตรัมพลังงานรังสีที่ได้ปรับค่าต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับการวัดรังสีเรียบร้อยแล้ว โดยได้ค่าของระบบวัดรังสีดังต่อไปนี้

อัตราขยายสัญญาณพัลส์	10 เท่า
start LLD	200 มิลลิโวลต์
stop LLD	3 โวลต์ สำหรับวัดสเปกตรัมพลังงานของ Cs-137
stop LLD	6 โวลต์ สำหรับสเปกตรัมพลังงานของ Co-60
window	40 มิลลิโวลต์
time per step	5 วินาที

จากภาพผนวกที่ ก1 ตำแหน่งการเกิดพีคพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงตำแหน่งการเกิดพีคพลังงานของ Cs-137 และ Co-60

ต้นกำเนิดรังสี	พีคพลังงาน (keV)	step No.	Channel No.
Cs-137	661.66	56	56.75
Co-60	1173.238	103	102.58
	1332.502	115	116.85

โดย

step No	คือจำนวนเต็มค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD ที่โปรแกรม Scan SCA บนพีซีเอ ใช้ควบคุมการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงบน single chip SCA
Channel No.	คือตำแหน่งพีคพลังงานรังสีที่แท้จริง เมื่อได้แก้ไขข้อผิดพลาดจากข้อจำกัดของโปรแกรม Scan SCA บนพีซีเอแล้ว

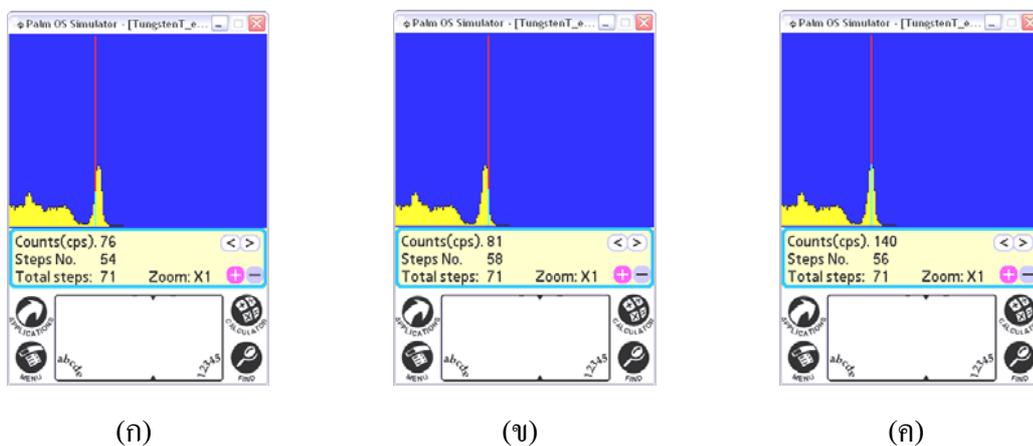
สำหรับวิธีการหาพีคพลังงานรังสีที่แท้จริง สามารถดูได้จากภาคผนวก ก. โดยความคลาดเคลื่อนนี้เกิดจาก

1. ข้อจำกัดของโปรแกรม Scan SCA บนพีดีเอ ที่ไม่สามารถกำหนดค่าและบันทึกค่า start LLD stop LLD window และ time per step เป็นเลขทศนิยมได้
2. เมื่อความต่างศักย์ศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงของ single chip SCA เท่ากับ 10 โวลต์ และจำนวนช่องวิเคราะห์สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์สูงสุดของ single chip SCA เท่ากับ 256 ช่อง ทำให้ได้

$$\begin{aligned} & \text{ความละเอียดต่ำสุดต่อช่องวิเคราะห์สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์} \\ & = 10 \text{ โวลต์} / 256 \text{ ช่อง} \\ & = 0.0390625 \text{ โวลต์} / \text{ช่อง} \end{aligned}$$

หรือความกว้าง window ของ single chip SCA มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 39.0625 มิลลิโวลต์ แต่ window ที่โปรแกรม Scan SCA บนพีดีเอ กำหนดได้มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 40 มิลลิโวลต์

การหาความสามารถในการแจกแจงพลังงาน ของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา ใช้แหล่งกำเนิดรังสี Cs-137 ดังแสดงภาพสเปกตรัมที่วัดได้ในภาพที่ 39



ภาพที่ 39 แสดงพีคพลังงานของ Cs-137 ณ ตำแหน่งค่ากึ่งกลางสูงสุดของการนับ  
ด้านต่ำ (ก) พีคพลังงานของ Cs-137 ณ ตำแหน่งค่ากึ่งกลางสูงสุดของการนับ  
ด้านสูง (ข) พีคพลังงานของ Cs-137 ณ ตำแหน่งค่าสูงสุดของการนับ (ค)

จากสมการที่ 1

$$\begin{aligned} \text{Resolution (R)} &= \frac{\text{FWHM}}{H_0} \times 100 \\ \text{FWHM} &= \text{step ที่ 58} - \text{step ที่ 54} \\ H_0 &= \text{step ที่ 56} \end{aligned}$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} \text{Resolution (R)} &= \frac{(58 - 54)}{56} \times 100 \\ \text{Resolution (R)} &= 7.14\% \end{aligned}$$

ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน ของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิด  
พกพา เท่ากับ 7.14%

ตำแหน่งการเกิดฟิสิกส์แปรผันพลังงานรังสี ที่ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิด  
พกพาไว้ได้นั้น มีค่าเปลี่ยนแปลงประมาณ  $\pm 1$  step เนื่องมาจากปัญหาของวงจรแหล่งจ่ายความ  
ต่างศักย์ไฟฟ้าแรงต่ำไม่เสถียร ส่งผลให้ส่วนภาคขยายสัญญาณให้สัญญาณพัลส์ทางออก ที่ไม่คงที่  
และเมื่อวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์วิเคราะห์สัญญาณ ทำให้ได้ฟิสิกส์แปรผันพลังงานรังสี  
ที่มีค่าไม่คงที่ตามมา

## สรุป

จากการทดสอบระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา ประกอบด้วย การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูง สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก 900 โวลต์ เท่ากับ 600 ไมโครแอมแปร์ ความเป็นเชิงเส้นของความต่างศักย์ไฟฟ้าทางออก มีค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น  $R^2$  เท่ากับ 0.9996 เมื่อทำการทดสอบความเสถียรของวงจรเป็นเวลา 90 นาที ได้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น  $R^2$  เท่ากับ 0.9227 และมีค่า ripple factor ขณะใส่โหลดให้กับวงจร เท่ากับ 0.00889 % ของ 900 โวลต์

การทดสอบวงจรภาคขยาย มีการตอบสนองต่อสัญญาณพัลส์ โดยดูจากการปรับ pole-zero cancellation และ baseline restorer เมื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยาย ได้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น  $R^2$  เท่ากับ 0.9991 ส่วนระดับของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากวงจรภาคขยาย มีค่าประมาณ 200 มิลลิโวลต์ จากพีคถึงพีค ปัญหาเกิดจาก สัญญาณรบกวนของแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงต่ำ วงจร high speed digital และจากอุปกรณ์ภายในวงจรด้วยกัน

การทดสอบโปรแกรมสร้างฐานเวลาในหน่วยวินาที และ โปรแกรมนับจำนวนสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ความเป็นเชิงเส้นของการนับสัญญาณลอจิกพัลส์ที่เวลาการนับ 1 และ 10 วินาที ให้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น  $R^2$  เท่ากับ 1 ทั้งสองเวลาการนับ

การทดสอบโปรแกรมควบคุมการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD และ window จากพีดีเอ ความเป็นเชิงเส้นการควบคุมเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD และ window จากพีดีเอ ให้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น  $R^2$  เท่ากับ 0.9999 และ 0.9995 ตามลำดับ

การทดสอบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 โดยตั้งค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง start LLD เท่ากับ 200 มิลลิโวลต์ stop LLD เท่ากับ 6 โวลต์ window 40 มิลลิโวลต์ และเวลาการนับ 5 วินาทีต่อ step อัตราขยาย 10 เท่า เมื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนแล้วได้พีคพลังงานรังสีที่แท้จริง ดังนี้

ตำแหน่งการเกิดพีคพลังงานของ Cs-137 ที่พลังงาน 661.66 keV เกิดที่ channel 56.75

ตำแหน่งการเกิดพีคพลังงานของ Co-60 ที่พลังงาน 1173.238 keV เกิดที่ channel 102.58

ตำแหน่งการเกิดพีคพลังงานของ Co-60 ที่พลังงาน 1332.502 keV เกิดที่ channel 116.85

โดยความคลาดเคลื่อนนี้เกิดจากโปรแกรม Scan SCA บนพีดีเอ ที่ไม่สามารถกำหนดค่าตัวเลขต่างๆ เป็นเลขทศนิยมได้

การทดสอบความสามารถในการแจกแจงพลังงาน ของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี Cs-137 ได้ค่าการแจกแจงพลังงานของระบบเท่ากับ 7.14%

ตำแหน่งการเกิดพีคพลังงานของสเปกตรัม ที่ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพาไว้ได้นั้น มีค่าเปลี่ยนแปลงประมาณ  $\pm 1$  step เนื่องจากปัญหาของวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงต่ำไม่เสถียร สิ่งที่ควรได้รับการพัฒนาเพิ่มของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา ประกอบด้วย

- 1 แก้ปัญหาสัญญาณรบกวนที่เกิดกับวงจรภาคขยายให้น้อยลง
- 2 ปรับปรุงวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงต่ำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- 3 เปลี่ยนวิธีการ scan ของ single chip SCA เพื่อให้การแสดงผลสเปกตรัมรวดเร็วยิ่งขึ้น

## เอกสาร และสิ่งอ้างอิง

ณัฐภา นัตรสกุลพานิต, จารุ สวรรยาวัฒน์, อุบลรัตน์ พาศิยานุกูล และอุไรพร เจตนาชัย. 2544.

คอมพิวเตอร์เบื้องต้น, น. 100. แมคกรอ-ฮิล, กรุงเทพฯ. แปลจาก P. Norton.

**Introduction to Computer.** The McGraw-Hill Companies, New York.

เดโช ทองอร่าม, นฤปวัจน์ เงินวิจิตร และ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. 2543. การพัฒนาซึ่งเกิด

แขนงแนลตอณาไลเซอร์ซัพเดี่ยวทำงานบนเครื่องเล่นเกมส์บอย, น. 258. ใน การประชุม

วิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิเวศลิษฐ์ ครั้งที่ 8. ม.ป.ท.

ทรงเกียรติ ภาวดี. 2545. คู่มือการใช้ Pocket PC. บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ. 384 น.

ธวัช ชิตตระการ. 2541. การตรวจและวัดรังสี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

514 น.

ธีรวัฒน์ ประกอบผล. 2541. ไมโครโปรเซสเซอร์ หลักและการประยุกต์ใช้งาน. แมคกรอ-ฮิล,

กรุงเทพฯ. แปลจาก C.M. Gilmore. **Microprocessors Principles and Applications.**

The McGraw-Hill Companies, New York. 732 น.

นวลฉวี รุ่งชนเกียรติ. 2536. เทคนิคการวัดรังสี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2545. วิทยาศาสตร์นิเวศลิษฐ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไพรัช รัชชพงษ์. 2537. ทฤษฎีการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอมพิวเตอร์,

บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

โยธิน เปรมปราณีรัชต์. 2530. **หลักการขั้นมูลฐานระบบไมโครโปรเซสเซอร์และการใช้งาน ซีพียู**, บริษัทอิเล็กทรอนิกส์เวิลด์, กรุงเทพฯ.

วิรุพห์ มังคะวิรัช และสุวิทย์ ปุณณชัยยะ. 2541. การพัฒนาเครื่องมือวัดนิวเคลียร์ในประเทศไทย, น. S-7. ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ครั้งที่ 7. ม.ป.ท.

สิริยาภรณ์ แสงอรุณ. 2548. **การพัฒนาระบบมอนิเตอร์รังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอส**. วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. 2538. **Nuclear Radiation Detection and Instrumentation**. เอกสารการสอนวิชา 2111606 ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, หัสฤกษ์ เนียมอินทร์, เดโช ทองอร่าม และวสันต์ อัมพูชนิ. 2543. **มัลติแชนเนลสเกลเลอร์บนไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตเครื่องพิมพ์**, น. 279. ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ครั้งที่ 8. ม.ป.ท.

สุเจตน์ จันทรัมย์. 2543. **การออกแบบระบบดิจิตอล**. แมคกรอ-ฮิล, กรุงเทพฯ. แปลจาก T.F. Bogart. **Introduction to DIGITAL CIRCUITS**. The McGraw-Hill Companies, New York. 752 น.

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. 2542. **พลังงานนิวเคลียร์กับการพัฒนาประเทศ**. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2544. **นิวเคลียร์กับสังคมไทย**. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, กรุงเทพฯ.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์. 2546. **สินค้านำเข้าสำคัญ 20 รายการแรกของไทย ปี 2542-2545**. สินค้านำเข้า. แหล่งที่มา: [http://www.ops2.moc.go.th/meeting/i\\_com10B.xls](http://www.ops2.moc.go.th/meeting/i_com10B.xls), 4 กุมภาพันธ์ 2546.

AppSoftTech. 2546. การใช้งาน **Palm** ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์เบสิกแอสตมป์ **2SX**. BASIC Stamp Club. แหล่งที่มา: [http://www.appsofttech.com/ast\\_mcu/edu/bsstamp/bsstamp03.shtml](http://www.appsofttech.com/ast_mcu/edu/bsstamp/bsstamp03.shtml), 3 กุมภาพันธ์ 2546.

Cardoso, J.M., V. Amorim, R. Bastos, R. Madeira, J.B. Simões and C.M.B.A. Correia. n.d. **A Very Low-Cost Portable Multichannel Analyzer**. Instrumentation Center of the Physics Department University of Coimbra, Portugal.

Info@ortec-online.com. 2003. **Portable HPGe MCA**. Portable HPGe MCA. Available Source: <http://www.ortec-online.com>, February 11, 2003.

Knoll, G.F. 1999. **Radiation Detection and Measurement**. U.S.A.

Lorenz, M., J.Van Ryn, H.Merk, M.Markert and W.G.Eisert. 1994. **Portable gamma spectrometry system for simultaneous monitoring of radiotracers in vivo using CdTe and CdZnTe radiation detector probes**. Nuclear instruments & methods in physics research. 353: 448-452.

Maher, K. 1997. **Cs-137 spectrum. Actual gamma-ray spectrum**. Available Source: [http://www.bh.rmit.edu.au/mrs/DigitalRadiography/DRPapers/DEXA\\_ScintDetectors.html](http://www.bh.rmit.edu.au/mrs/DigitalRadiography/DRPapers/DEXA_ScintDetectors.html), February 12, 2003.

Mangclaviraj, V., S.Punnachaiya and B.Ounpanich. 1989. Nuclear instrumentation laboratory Manual. Chulalongkorn University, Bangkok.

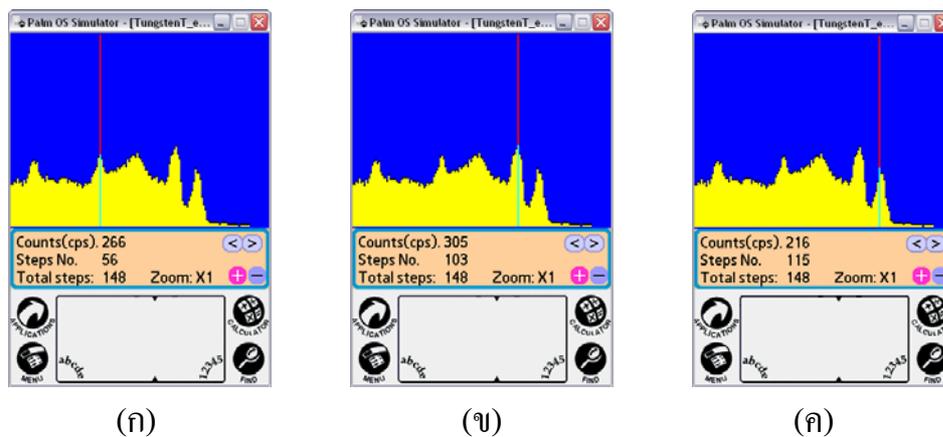
Ortec. n.d. **Modular Pulse-Processing Electronics Catalog**. Advanced Measurement Technology, Inc. U.S.A.

- Punnachaiya, S. 1998. **Nucleapp**. 33-42. Joint Training Course on Radiation Protection for Radiation Safety Supervisor 1998. The Office of Atomic Energy for Peace, Bangkok.
- Shelly, G.B., T.J.Cashman and M.E.Vermaat. 2001. **Discovering computers 2002 concepts for a digital world-web enhanced**. pp. 1.23. coruse technology, USA.
- V.Himpe. 2002. **i2c**. i2cfaq. Available Source: <http://vhimpe.crosswinds.net/electronics/i2cfaq/i2c.html#index>, January 29, 2003.
- Webmaster@Byxtreme.com. 1999. **RISC vs. CISC**. Article. Available Source: <http://www.byxtreme.com/Article/RISCCISC.html>, February 20, 2003.
- Wilson, J.D. 2002. **Decay Scheme of Cs-137**. No. 15. Available Source: <http://www.snow.edu/~larrys/PHSX222L/>, February 12, 2003.
- X-ray Instrumentation Associates. 2002. **MicroDXP**. MicroDXP. Available Source: <http://www.xia.com / MicroDXP.html>, February 10, 2003.

**ภาคผนวก**

ภาคผนวก ก

ข้อมูลจากการวัดสเปกตรัมพลังงานรังสี



ภาพผนวกที่ ก1 แสดงสเปกตรัมพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 ที่ start LLD เท่ากับ 200 มิลลิโวลต์ stop LLD เท่ากับ 6 โวลต์ window 40 มิลลิโวลต์ และ เวลาการนับ 5 วินาทีต่อ step อัตราขยาย 10 เท่า

ตำแหน่งการเกิดพีคพลังงานของ Cs-137 ที่พลังงาน 661.66 keV เกิดที่ step 56 (ก)

ตำแหน่งการเกิดพีคพลังงานของ Co-60 ที่พลังงาน 1173.238 keV เกิดที่ step 103 (ข)

ตำแหน่งการเกิดพีคพลังงานของ Co-60 ที่พลังงาน 1332.502 keV เกิดที่ step 115 (ค)



ภาพผนวกที่ ก2 แสดงระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา และภาพสเปกตรัมพลังงานรังสีที่บันทึกเป็นข้อมูลไว้



ภาพผนวกที่ ก3 แสดงการทำงานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา ขณะกำลังวัดสเปกตรัมพลังงานรังสี Co-60



ภาพผนวกที่ ก4 แสดงการฟ้องข้อความการวัดสเปกตรัมพลังงานรังสีสำเร็จสมบูรณ์  
ของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา

**การหาพีคพลังงานรังสีที่แท้จริง จากการวัดสเปกตรัมพลังงานรังสีของระบบวิเคราะห์  
ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา**

ตารางผนวกที่ ก1 แสดงตำแหน่งการเกิดพีคพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 ที่ยังไม่ได้  
แก้ไขความคลาดเคลื่อน

start LLD เท่ากับ 200 มิลลิโวลต์

stop LLD เท่ากับ 6 โวลต์

window 40 มิลลิโวลต์

เวลาการนับ 5 วินาทีต่อ step อัตราขยาย 10 เท่า

ต้นกำเนิดรังสี	พีคพลังงาน (keV)	ศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD จากพีคเอน(โวลต์)	step No.
Cs-137	661.66	2.44	56
Co-60	1173.238	4.32	103
	1332.502	4.80	115

เมื่อ

start LLD เท่ากับ 200 มิลลิโวลต์

หา start LLD ในรูป step No จะได้

$$\text{step No}_{(\text{start LLD})} = 200 \text{ มิลลิโวลต์} / 40 \text{ มิลลิโวลต์}$$

$$\text{step No}_{(\text{start LLD})} = 5$$

ศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD จากพีคเอน(โวลต์)

$$= (\text{step No} \times \text{window}(\text{โวลต์})) + 0.2 \text{ โวลต์}$$

หรือ

ศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD จากพีคเอน(โวลต์)

$$= (\text{step No} \times \text{window}(\text{โวลต์})) + (5 \times 0.04(\text{โวลต์}))$$

$$= (\text{step No} \times \text{window}(\text{โวลต์})) + (5 \times \text{window}(\text{โวลต์})) \quad (4)$$

เมื่อความต่างศักย์ศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงของ single chip SCA เท่ากับ 10 โวลต์ และจำนวนช่องวิเคราะห์สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์สูงสุดของ single chip SCA เท่ากับ 256 ช่อง ทำให้ได้

$$\begin{aligned} \text{window}_{(\min)} \text{ ของ single chip SCA} &= 10 \text{ โวลต์} / 256 \text{ ช่อง} \\ &= 39.0625 \text{ มิลลิโวลต์} / \text{ช่อง} \end{aligned}$$

ดังนั้น เมื่อแทน  $\text{window}_{(\min)}$  ของ single chip SCA ลงในสมการที่ 4 ทำให้ได้

$$\begin{aligned} \text{ศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD ของ single chip SCA (โวลต์)} \\ &= (\text{step No} \times \text{window}_{(\min)} \text{ ของ single chip SCA (โวลต์)}) + \\ &\quad (5 \times \text{window}_{(\min)} \text{ ของ single chip SCA (โวลต์)}) \end{aligned}$$

ตารางผนวกที่ ก2 แสดงตำแหน่งการเกิดฟิสิกพลังงานของ Cs-137 และ Co-60 ที่แก้ไขความคลาดเคลื่อนแล้ว

ต้นกำเนิดรังสี	ฟิสิกพลังงาน (keV)	ศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD ของ single chip SCA (โวลต์)	step No.	Channel No.
Cs-137	661.66	2.383	56	56.75
Co-60	1173.238	4.219	103	102.58
	1332.502	4.688	115	116.85

step No คือจำนวนเต็มค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD ที่โปรแกรม Scan SCA บนพีดีเอ ใช้ควบคุมการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงบน single chip SCA

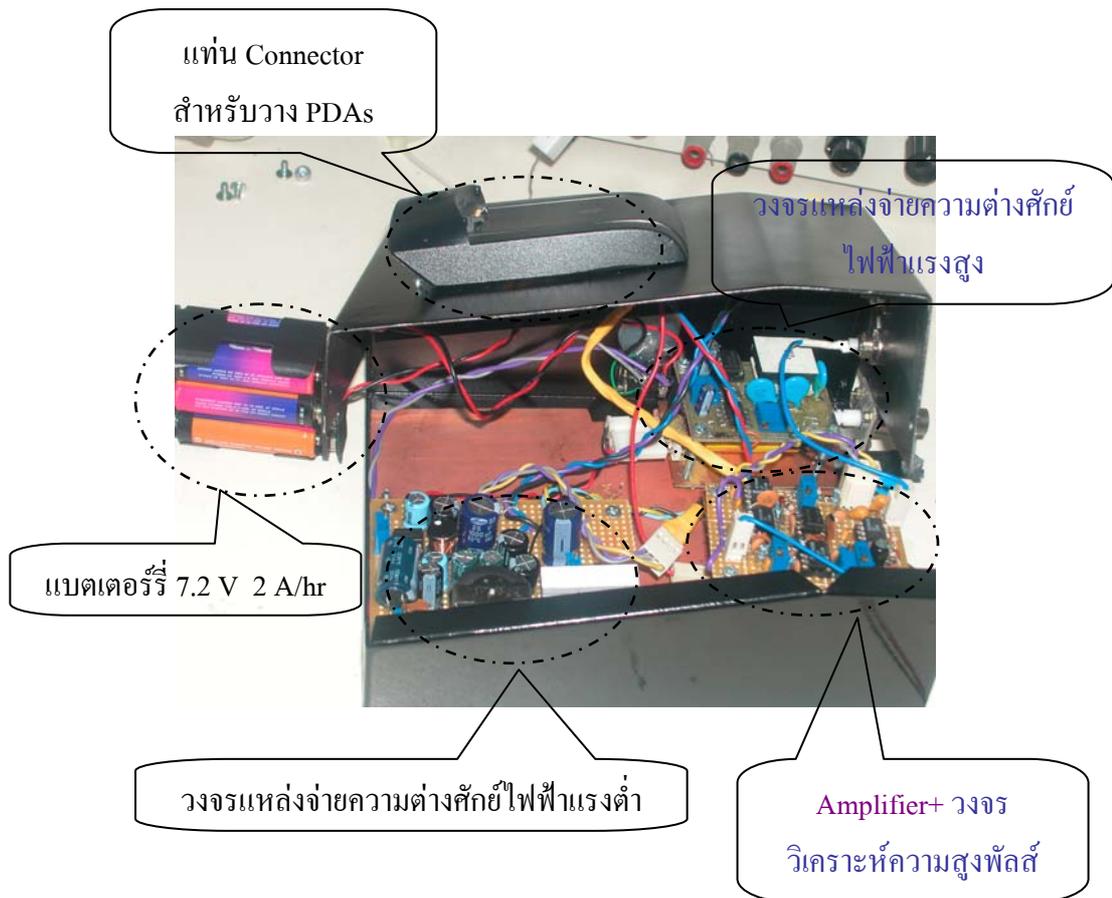
Channel No. คือตำแหน่งฟิสิกพลังงานรังสีที่แท้จริง เมื่อได้แก้ไขข้อผิดพลาดจากข้อจำกัดของโปรแกรม Scan SCA บนพีดีเอแล้ว

จากตารางผนวกที่ 2 ได้สมการความสัมพันธ์ที่ 5 คือ

$$\begin{aligned} \text{ศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง LLD ของ single chip SCA (โวลต์)} \\ &= 0.0035 \times E(\text{keV}) + 0.0962 \end{aligned} \quad (5)$$

## ภาคผนวก ข

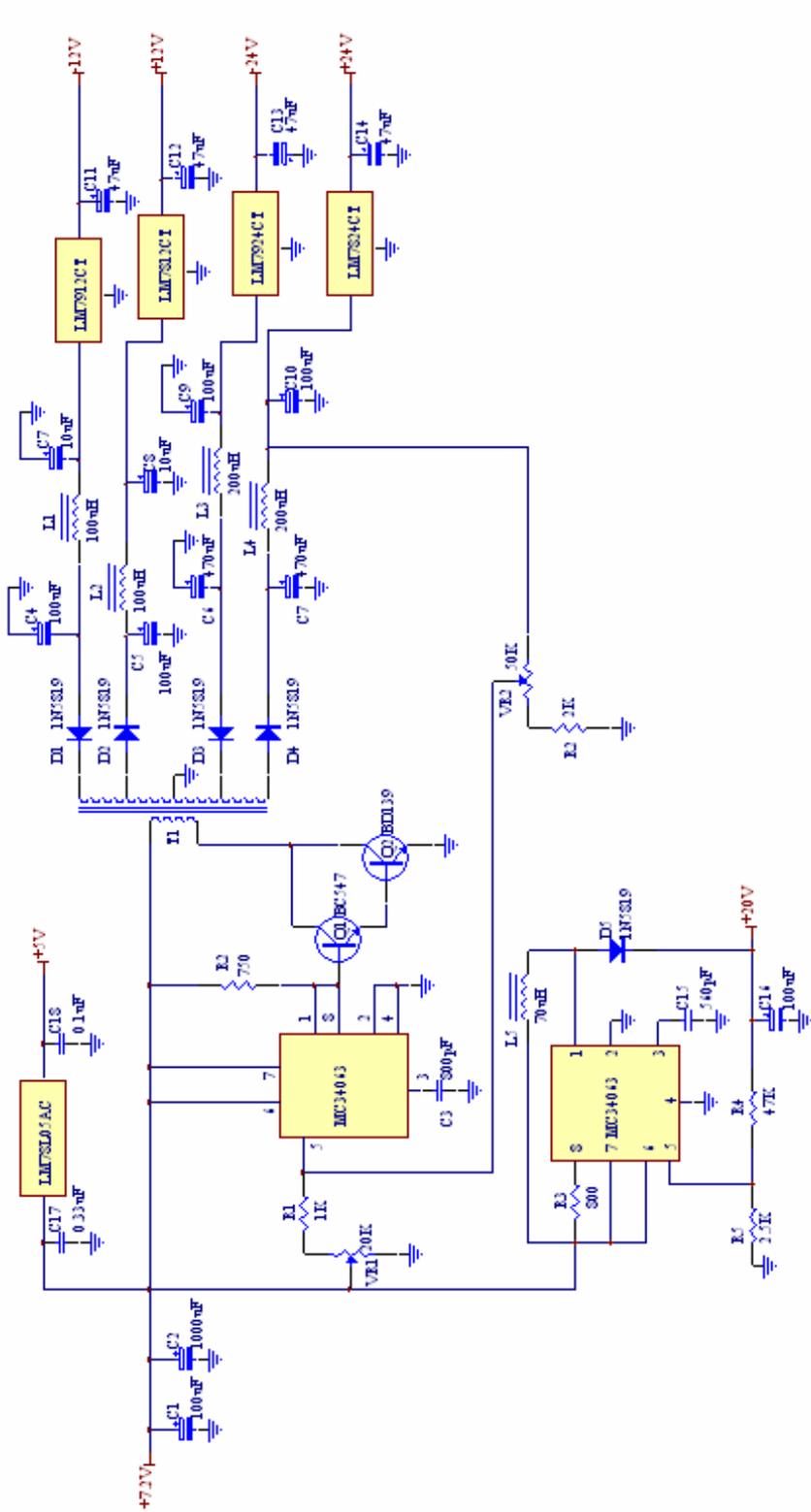
การจัดวางองค์ประกอบภายในของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา



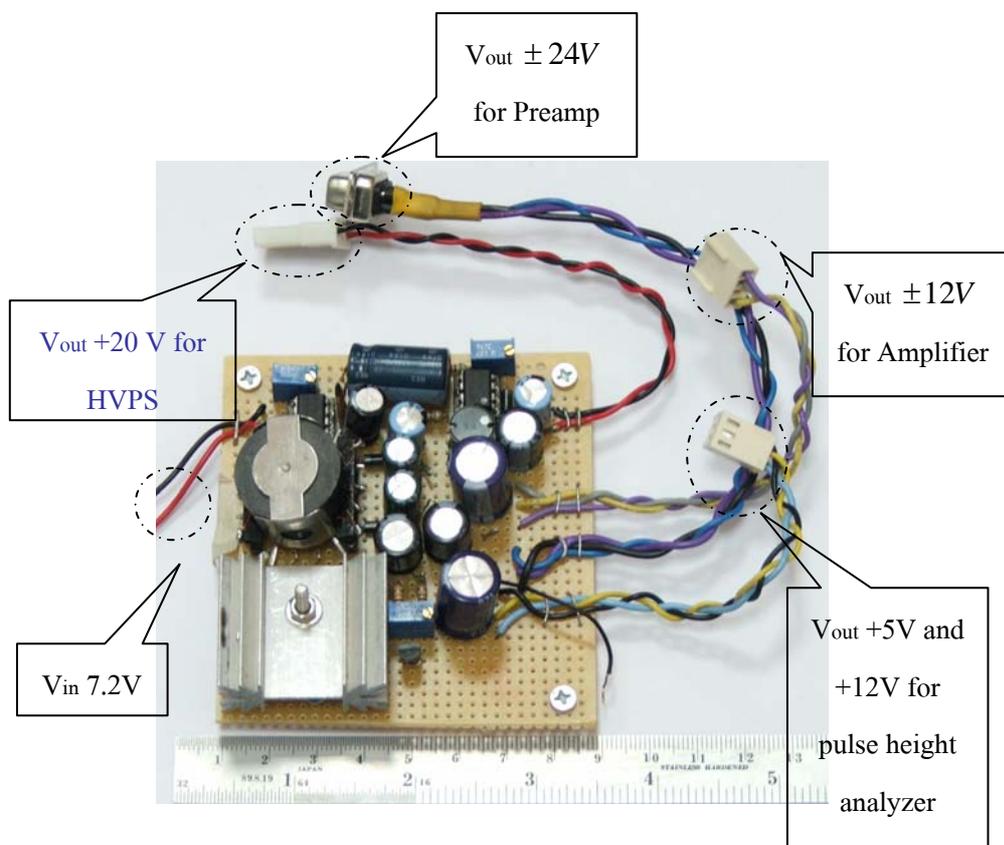
ภาพผนวกที่ ข1 แสดงการจัดวางองค์ประกอบภายในของ ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์นิวเคลียร์ชนิดพกพา

ภาคผนวก ค

วงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงต่ำ



ภาพผนวกที่ ๑๒ แสดงแผนภาพวงจรแหล่งจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงต่ำ



ภาพผนวกที่ ค2 แสดงภาพถ่ายวงจรแหล่งจ่ายความต้งศักย์ไฟฟ้าแรงต่ำที่ประกอบเสร็จ

ภาคผนวก ง

ข้อมูลพื้นฐานของ Microcontrollers PIC16F877

และ

DC-to-DC converters MC34063



# PIC16F87X

## 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

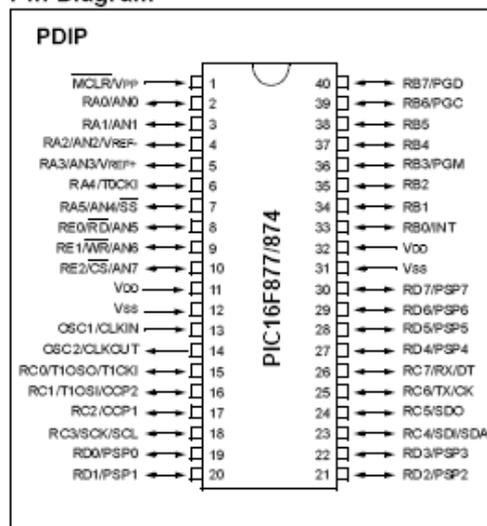
### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F876
- PIC16F877

### Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input  
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,  
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)  
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and  
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC  
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM  
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two  
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature  
ranges
- Low-power consumption:
  - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

### Pin Diagram

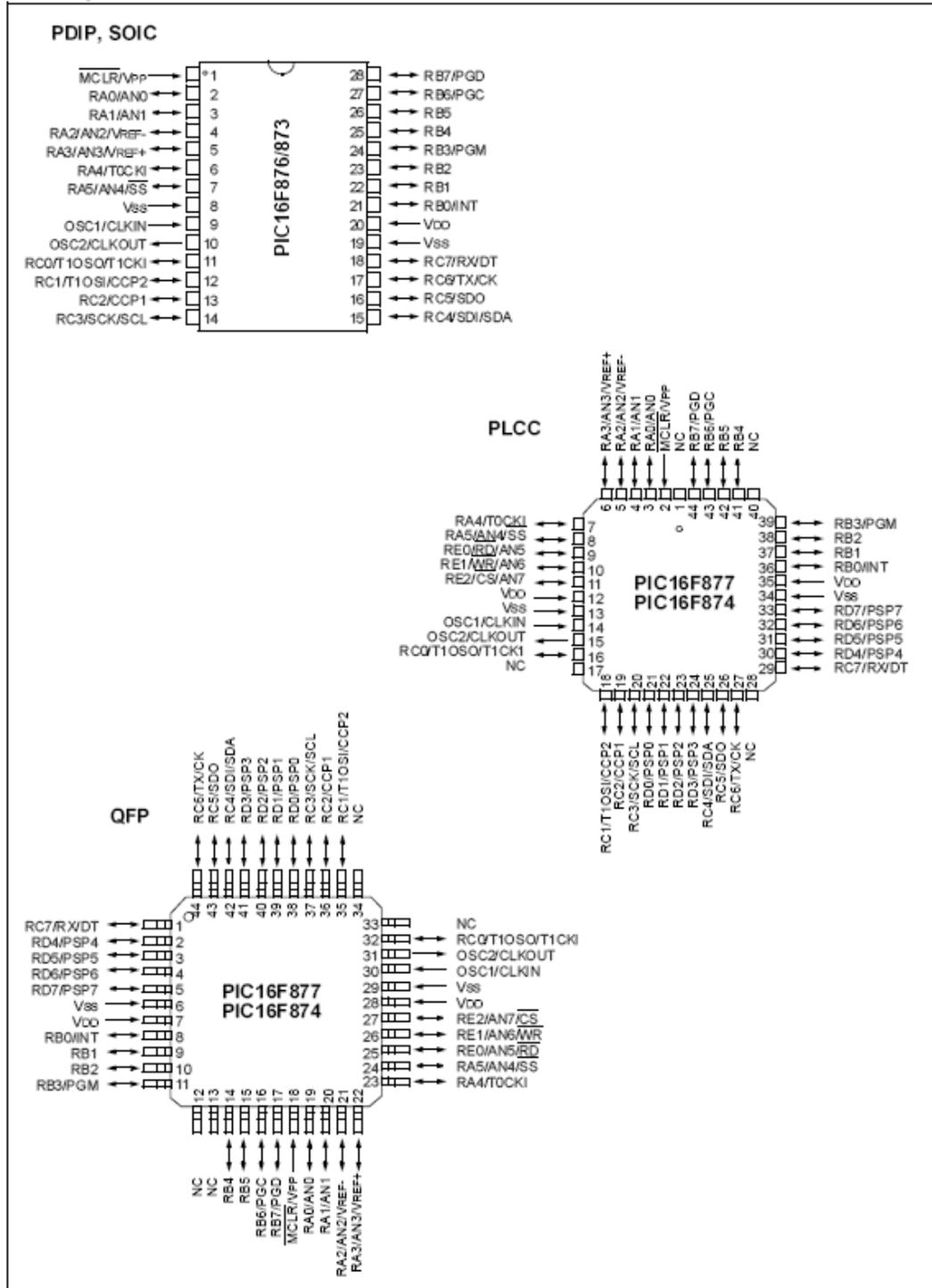


### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,  
can be incremented during SLEEP via external  
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period  
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master  
mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver  
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address  
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with  
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for  
Brown-out Reset (BOR)

# PIC16F87X

## Pin Diagrams



## PIC16F87X

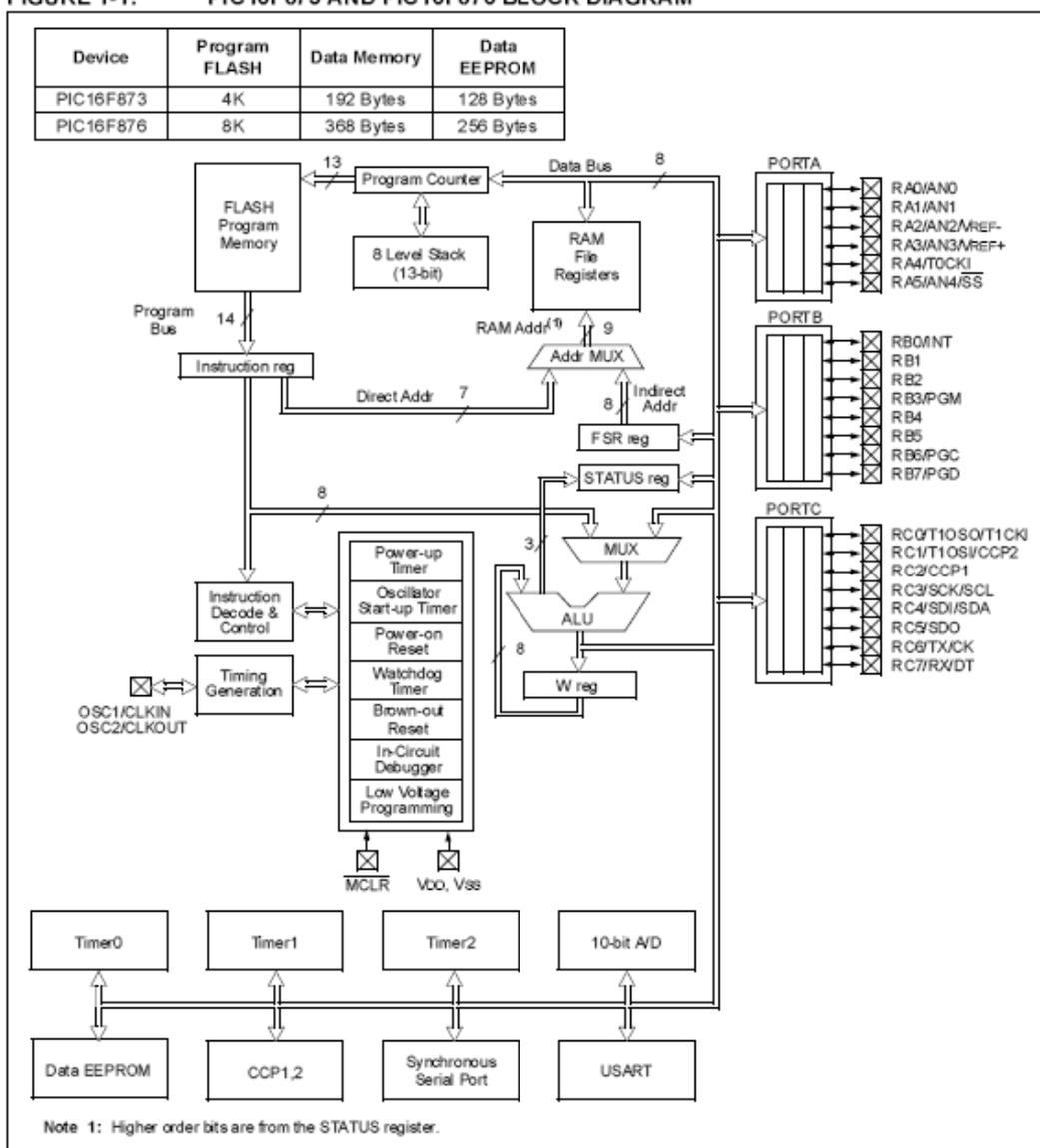
### 1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information. Additional information may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip website. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet, and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

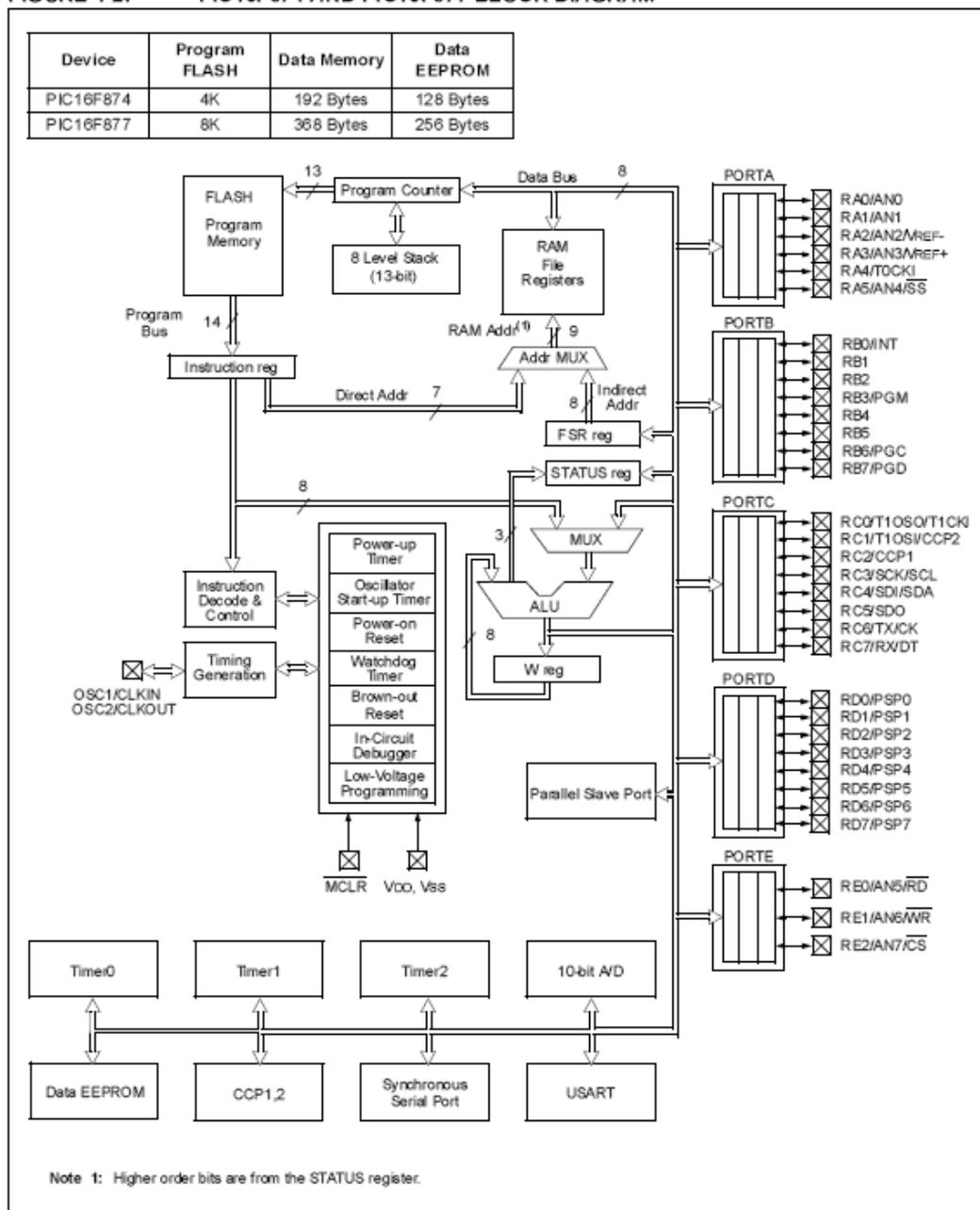
There are four devices (PIC16F873, PIC16F874, PIC16F876 and PIC16F877) covered by this data sheet. The PIC16F876/873 devices come in 28-pin packages and the PIC16F877/874 devices come in 40-pin packages. The Parallel Slave Port is not implemented on the 28-pin devices.

The following device block diagrams are sorted by pin number; 28-pin for Figure 1-1 and 40-pin for Figure 1-2. The 28-pin and 40-pin pinouts are listed in Table 1-1 and Table 1-2, respectively.

FIGURE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 BLOCK DIAGRAM



# PIC16F87X

**FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM**


## PIC16F87X

**TABLE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 PINOUT DESCRIPTION**

Pin Name	DIP Pin#	SOIC Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	9	9	I	ST/CMOS <sup>(3)</sup>	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	10	10	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, the OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	1	VP	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	2	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input0. RA1 can also be analog input1. RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage. RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage. RA4 can also be the clock input to the Timer0 module. Output is open drain type. RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
RA1/AN1	3	3	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF-	4	4	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF+	5	5	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	6	I/O	ST	
RA5/SS/AN4	7	7	I/O	TTL	
RB0/INT	21	21	I/O	TTL/ST <sup>(1)</sup>	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin.  RB3 can also be the low voltage programming input. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.
RB1	22	22	I/O	TTL	
RB2	23	23	I/O	TTL	
RB3/PGM	24	24	I/O	TTL	
RB4	25	25	I/O	TTL	
RB5	26	26	I/O	TTL	
RB6/PGC	27	27	I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	
RB7/PGD	28	28	I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	
RC0/T1OSO/T1CKI	11	11	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or Timer1 clock input. RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output. RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output. RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I <sup>2</sup> C modes. RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I <sup>2</sup> C mode). RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode). RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock. RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
RC1/T1OSI/CCP2	12	12	I/O	ST	
RC2/CCP1	13	13	I/O	ST	
RC3/SCK/SCL	14	14	I/O	ST	
RC4/SDI/SDA	15	15	I/O	ST	
RC5/SDO	16	16	I/O	ST	
RC6/TX/CK	17	17	I/O	ST	
RC7/RX/DT	18	18	I/O	ST	
Vss	8, 19	8, 19	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	20	20	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input    O = output    I/O = input/output    P = power  
 — = Not used    TTL = TTL input    ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
**Note 2:** This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
**Note 3:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87X

**TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION**

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	13	14	30	I	ST/CMOS <sup>(4)</sup>	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	14	15	31	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/PP	1	2	18	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	3	19	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input0. RA1 can also be analog input1. RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage. RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage. RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/counter. Output is open drain type. RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
RA1/AN1	3	4	20	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF-	4	5	21	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF+	5	6	22	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	7	23	I/O	ST	
RA5/SS/AN4	7	8	24	I/O	TTL	
RB0/INT	33	36	8	I/O	TTL/ST <sup>(1)</sup>	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin.  RB3 can also be the low voltage programming input. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.
RB1	34	37	9	I/O	TTL	
RB2	35	38	10	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	39	11	I/O	TTL	
RB4	37	41	14	I/O	TTL	
RB5	38	42	15	I/O	TTL	
RB6/PGC	39	43	16	I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	
RB7/PGD	40	44	17	I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	

Legend: I = input    O = output    I/O = input/output    P = power  
 — = Not used    TTL = TTL input    ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).  
 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87X

**TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)**

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI	15	16	32	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input. RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output. RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output. RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I <sup>2</sup> C modes. RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I <sup>2</sup> C mode). RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode). RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock. RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
RC1/T1OSI/CCP2	16	18	35	I/O	ST	
RC2/CCP1	17	19	36	I/O	ST	
RC3/SCK/SCL	18	20	37	I/O	ST	
RC4/SDI/SDA	23	25	42	I/O	ST	
RC5/SDO	24	26	43	I/O	ST	
RC6/TXCK	25	27	44	I/O	ST	
RC7/RXDT	26	29	1	I/O	ST	
RD0/PSP0	19	21	38	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.
RD1/PSP1	20	22	39	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD2/PSP2	21	23	40	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD3/PSP3	22	24	41	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD4/PSP4	27	30	2	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD5/PSP5	28	31	3	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD6/PSP6	29	32	4	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD7/PSP7	30	33	5	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RE0/RD $\overline{A}$ N5	8	9	25	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	PORTE is a bi-directional I/O port. RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5. RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6. RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.
RE1/WR $\overline{A}$ N6	9	10	26	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RE2/CS $\overline{A}$ N7	10	11	27	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
Vss	12,31	13,34	6,29	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11,32	12,35	7,28	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1,17,28,40	12,13,33,34		—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = input    O = output    I/O = input/output    P = power  
 — = Not used    TTL = TTL input    ST = Schmitt Trigger input

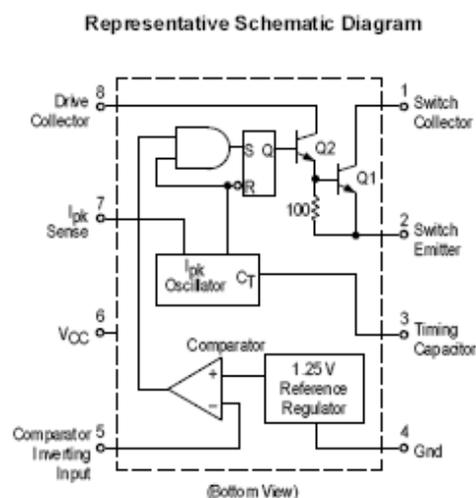
- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).  
 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.


**MOTOROLA**

## DC-to-DC Converter Control Circuits

The MC34063A Series is a monolithic control circuit containing the primary functions required for DC-to-DC converters. These devices consist of an internal temperature compensated reference, comparator, controlled duty cycle oscillator with an active current limit circuit, driver and high current output switch. This series was specifically designed to be incorporated in Step-Down and Step-Up and Voltage-Inverting applications with a minimum number of external components. Refer to Application Notes AN920A/D and AN954/D for additional design information.

- Operation from 3.0 V to 40 V Input
- Low Standby Current
- Current Limiting
- Output Switch Current to 1.5 A
- Output Voltage Adjustable
- Frequency Operation to 100 kHz
- Precision 2% Reference



This device contains 51 active transistors.

Order this document by MC34063A/D

## MC34063A MC33063A

### DC-to-DC CONVERTER CONTROL CIRCUITS

SEMICONDUCTOR  
TECHNICAL DATA

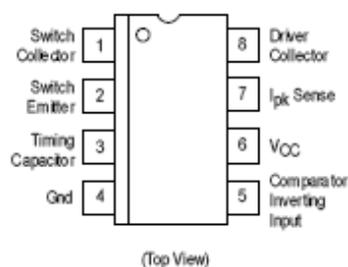


P, P1 SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 626



D SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751  
(SO-8)

### PIN CONNECTIONS



### ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
MC33063AD	$T_A = -40^\circ \text{ to } +85^\circ \text{C}$	SO-8
MC33063AP1		Plastic DIP
MC33063AVD	$T_A = -40^\circ \text{ to } +125^\circ \text{C}$	SO-8
MC33063AVP		Plastic DIP
MC34063AD	$T_A = 0^\circ \text{ to } +70^\circ \text{C}$	SO-8
MC34063AP1		Plastic DIP

## MC34063A MC33063A

## MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	$V_{CC}$	40	Vdc
Comparator Input Voltage Range	$V_{IR}$	-0.3 to +40	Vdc
Switch Collector Voltage	$V_{C(switch)}$	40	Vdc
Switch Emitter Voltage ( $V_{P_{in\ 1}} = 40\text{ V}$ )	$V_{E(switch)}$	40	Vdc
Switch Collector to Emitter Voltage	$V_{CE(switch)}$	40	Vdc
Driver Collector Voltage	$V_{C(driver)}$	40	Vdc
Driver Collector Current (Note 1)	$I_{C(driver)}$	100	mA
Switch Current	$I_{SW}$	1.5	A
Power Dissipation and Thermal Characteristics			
Plastic Package, P, P1 Suffix $T_A = 25^\circ\text{C}$	$P_D$	1.25	W
Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	100	$^\circ\text{C/W}$
SOIC Package, D Suffix $T_A = 25^\circ\text{C}$	$P_D$	625	W
Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	160	$^\circ\text{C/W}$
Operating Junction Temperature	$T_J$	+150	$^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range	$T_A$		$^\circ\text{C}$
MC34063A		0 to +70	
MC33063AV		-40 to +125	
MC33063A		-40 to +85	
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

NOTES: 1. Maximum package power dissipation limits must be observed.  
2. ESD data available upon request.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ ,  $T_A = T_{low}$  to  $T_{high}$  [Note 3], unless otherwise specified.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>OSCILLATOR</b>					
Frequency ( $V_{P_{in\ 5}} = 0\text{ V}$ , $C_T = 1.0\text{ nF}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$f_{osc}$	24	33	42	kHz
Charge Current ( $V_{CC} = 5.0\text{ V to } 40\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$I_{chg}$	24	35	42	$\mu\text{A}$
Discharge Current ( $V_{CC} = 5.0\text{ V to } 40\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$I_{dischg}$	140	220	260	$\mu\text{A}$
Discharge to Charge Current Ratio (Pin 7 to $V_{CC}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$I_{dischg}/I_{chg}$	5.2	6.5	7.5	-
Current Limit Sense Voltage ( $I_{chg} = I_{dischg}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$V_{ipk(sense)}$	250	300	350	mV
<b>OUTPUT SWITCH (Note 4)</b>					
Saturation Voltage, Darlington Connection (Note 5) ( $I_{SW} = 1.0\text{ A}$ , Pins 1, 8 connected)	$V_{CE(sat)}$	-	1.0	1.3	V
Saturation Voltage, Darlington Connection ( $I_{SW} = 1.0\text{ A}$ , $R_{P_{in\ 8}} = 82\ \Omega$ to $V_{CC}$ , Forced $\beta = 20$ )	$V_{CE(sat)}$	-	0.45	0.7	V
DC Current Gain ( $I_{SW} = 1.0\text{ A}$ , $V_{CE} = 5.0\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$h_{FE}$	50	75	-	-
Collector Off-State Current ( $V_{CE} = 40\text{ V}$ )	$I_{C(off)}$	-	0.01	100	$\mu\text{A}$

NOTES: 3.  $T_{low} = 0^\circ\text{C}$  for MC34063A,  $-40^\circ\text{C}$  for MC33063A, AV  $T_{high} = +70^\circ\text{C}$  for MC34063A,  $+85^\circ\text{C}$  for MC33063A,  $+125^\circ\text{C}$  for MC33063AV  
4. Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.  
5. If the output switch is driven into hard saturation (non-Darlington configuration) at low switch currents ( $\leq 300\text{ mA}$ ) and high driver currents ( $\geq 30\text{ mA}$ ), it may take up to  $2.0\ \mu\text{s}$  for it to come out of saturation. This condition will shorten the off time at frequencies  $\geq 30\text{ kHz}$ , and is magnified at high temperatures. This condition does not occur with a Darlington configuration, since the output switch cannot saturate. If a non-Darlington configuration is used, the following output drive condition is recommended:

$$\text{Forced } \beta \text{ of output switch: } \frac{I_{C\ \text{output}}}{I_{C\ \text{driver}} - 7.0\ \text{mA}} \geq 10$$

\*The  $100\ \Omega$  resistor in the emitter of the driver device requires about  $7.0\text{ mA}$  before the output switch conducts.

## MC34063A MC33063A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued) ( $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ ,  $T_A = T_{low}$  to  $T_{high}$  [Note 3], unless otherwise specified.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>COMPARATOR</b>					
Threshold Voltage $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{low}$ to $T_{high}$	$V_{th}$	1.225 1.21	1.25 –	1.275 1.29	V
Threshold Voltage Line Regulation ( $V_{CC} = 3.0\text{ V}$ to $40\text{ V}$ ) MC33063A, MC34063A MC33363AV	Regline	– –	1.4 1.4	5.0 6.0	mV
Input Bias Current ( $V_{in} = 0\text{ V}$ )	$I_B$	–	–20	–400	nA
<b>TOTAL DEVICE</b>					
Supply Current ( $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to $40\text{ V}$ , $C_T = 1.0\text{ nF}$ , Pin 7 = $V_{CC}$ , $V_{Pin 5} > V_{th}$ , Pin 2 = Gnd, remaining pins open)	$I_{CC}$	–	–	4.0	mA

NOTES: 3.  $T_{low} = 0^\circ\text{C}$  for MC34063A,  $-40^\circ\text{C}$  for MC33063A, AV  $T_{high} = +70^\circ\text{C}$  for MC34063A,  $+85^\circ\text{C}$  for MC33063A,  $+125^\circ\text{C}$  for MC33063AV  
 4. Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.  
 5. If the output switch is driven into hard saturation (non-Darlington configuration) at low switch currents ( $\leq 300\text{ mA}$ ) and high driver currents ( $\geq 30\text{ mA}$ ), it may take up to  $2.0\text{ }\mu\text{s}$  for it to come out of saturation. This condition will shorten the off time at frequencies  $\geq 30\text{ kHz}$ , and is magnified at high temperatures. This condition does not occur with a Darlington configuration, since the output switch cannot saturate. If a non-Darlington configuration is used, the following output drive condition is recommended:

$$\text{Forced } \beta \text{ of output switch} : \frac{I_{C \text{ output}}}{I_{C \text{ driver}} - 7.0\text{ mA}} \geq 10$$

\*The  $100\text{ }\Omega$  resistor in the emitter of the driver device requires about  $7.0\text{ mA}$  before the output switch conducts.

Figure 1. Output Switch On-Off Time versus Oscillator Timing Capacitor

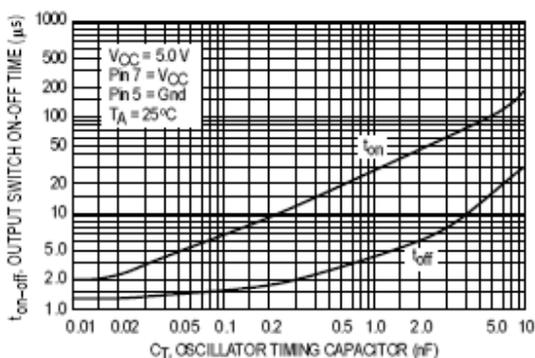
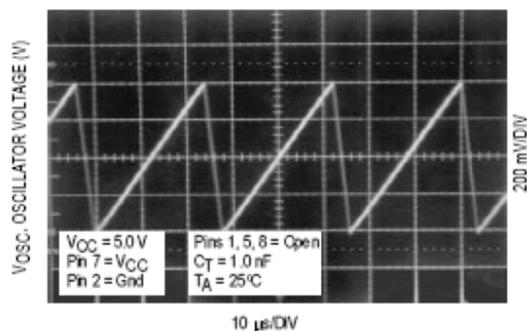


Figure 2. Timing Capacitor Waveform



## MC34063A MC33063A

Figure 3. Emitter Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

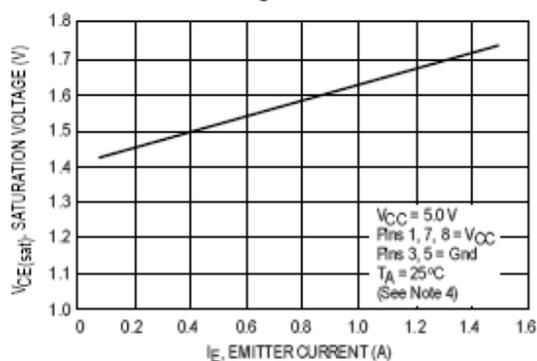


Figure 4. Common Emitter Configuration Output Switch Saturation Voltage versus Collector Current

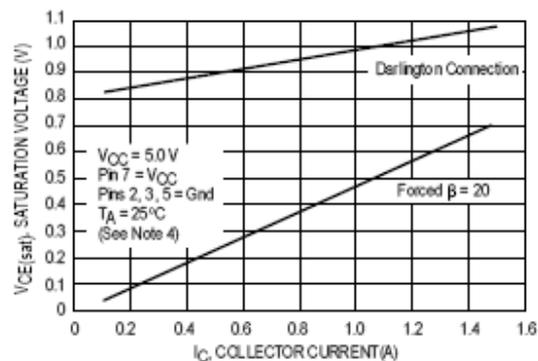


Figure 5. Current Limit Sense Voltage versus Temperature

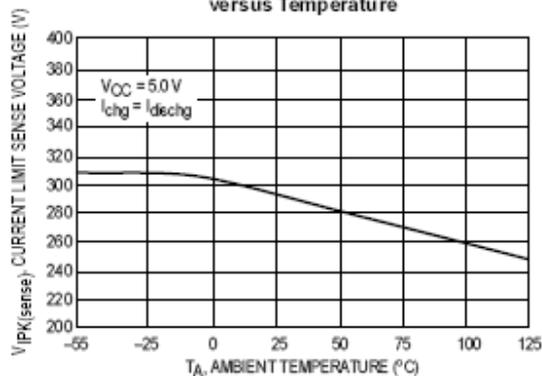
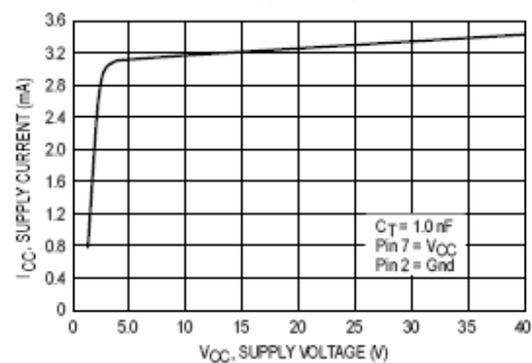


Figure 6. Standby Supply Current versus Supply Voltage



NOTE: 4. Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.

## ประวัติการศึกษา

ชื่อ ภาณุพงษ์ หมั่นจิต

เกิดวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2517

สถานที่เกิด ตำบลปงป่าหวาย อำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่

ประวัติการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) สถาบันราชภัฏเชียงใหม่ (2542)