รายงานผลการประดิษฐ์
เงินอุดหนุนโครงการสิ่งประดิษฐ์

เรื่อง

อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง
MULTICHANNEL ANALYZER

ทส
วศ 15
008309

โดย

วิรุฬห์ มังคละวิรัช
สุวิทย์ ปุณณชัยยะ

2536

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการสิ่งประดิษฐ์

รายงาน

อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง

MULTICHANNEL ANALYZER

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย

วิรุฬห์ มังคละวิรัช

สุวิทย์ บุญศรียะ

กันยายน 2536

I19954A60 6 ม.ค. 2542

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยสิ่งประดิษฐ์อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยการสนับสนุนของฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และการให้โอกาสขยายเวลาทำการวิจัยจากคณะกรรมการสิ่งประดิษฐ์ ในระหว่างที่ผู้วิจัยจำเป็นต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งไปปฏิบัติภาระกิจที่ได้รับมอบหมายจากมหาวิทยาลัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอขอบคุณเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่อนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ในการดำเนินการวิจัย รวมทั้งการสนับสนุนจากเพื่อนร่วมงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณเดโช ทองอร่าม คุณบัญชา อุนพานิช คุณณฤบวัจก์ เงินวิจิตร คุณบุญนาถ โครมกระโทก และ คุณหัสฤกษ์ เนียมอินทร์ ที่ได้ช่วยเหลือในการทดลองวงจรประกอบเครื่องต้นแบบ และเขียนโปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบ จนกระทั่งงานวิจัยบรรลุเป้าหมาย และขอขอบคุณ คุณอัชรา สกุลมั่น ที่ได้ช่วยเหลือจัดพิมพ์รายงานฉบับนี้อย่างดียิ่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง
ชื่อผู้ดำเนินงาน วิรุฬห์ มังคละวิรัช
สุวิทย์ บุณยรัยยะ
เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ กันยายน 2536

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ ที่มีราคาประหยัด บำรุงรักษาง่าย มีความซับซ้อนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์น้อย ใช้งานสะดวก และมีอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์พร้อมใช้งานกับหัววัดรังสีได้ทันที อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่ออกแบบขึ้นนี้ ใช้ระบบแปลงสัญญาณพัลส์อนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขแบบวิลคินสัน (Wilkinson) ซึ่งทำงานด้วยความถี่ฐานเวลา 50 ล้านเฮิรตซ์ มีความละเอียดในการวิเคราะห์ 1024 ช่องวัด และมีความจุแต่ละแต่ละช่องวัดเท่ากับ $10^{16}-1$ จำนวนนับ โดยข้อมูลเชิงตัวเลขจากระบบแปลงสัญญาณจะส่งผ่านช่องขยายการทำงาน ขนาด 8 บิต บนไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC AT/XT และควบคุมการทำงานจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นชื่อ MCA-NT01 ขนาด 26773 ไบต์

ผลการพัฒนาพบว่าอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง สามารถใช้งานร่วมกับหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลและหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์(ทัลเลียม)ได้ โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงสามารถปรับค่าได้จาก 0 ถึง 2000 โวลต์ จ่ายกระแสสูงสุด 100 μA มีศักดาระลอกคลื่นต่ำกว่า 50 mV ในส่วนของอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์สามารถปรับอัตราขยายได้ต่อเนื่อง 100 เท่า และให้สัญญาณพัลส์ทางออกเป็นรูปยูนิโพลาขนาดความกว้าง 4 μS มีความเป็นเชิงเส้นในช่วงความสูงของพัลส์ 0 ถึง 10 โวลต์ ระบบแปลงสัญญาณพัลส์อนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข มีค่าสหสัมพันธ์ของความเป็นเชิงเส้น 0.999 การทำงานของระบบวิเคราะห์นี้มีขีดความสามารถเพียงพอสำหรับวิเคราะห์สเปกตรัมนิวเคลียร์ในระดับงานการเรียนการสอนและวิจัยขั้นพื้นฐาน

Project Title MULTICHANNEL ANALYZER

Name of the Investigators VIRUL MANGCLAVIRAJ

SUVIT PUNNACHAIYA

Year 1993

Abstract

A low cost pulse height analyzer with ease of maintenance and less complexity of electronic circuitry and operation together with other nuclear measuring facilities is developed. The multichannel analyzer (MCA) employs the Wilkinson type analog to digital converter (ADC) working at 50 MHz with a conversion gain of 1024 channels and a counting capacity of $10^{16}-1$ counts per memory channel. The digital signals from the ADC are processed through XT slot on microcomputer IBM PC AT/XT under the control of a program called MCA-NT01 of 26773 bytes.

The test result shows that the MCA works well with proportional counters as well as scintillation detectors like NaI(Tl). High voltage supply can be adjusted from 0 to 2000 V with a maximum current of 100 μA and a ripple voltage less than 50 mV. Pulse amplification can be varied continuously upto 100 times resulting a unipolar pulse of 4 μS pulse width ranging from 0 to 10 V with a good linearity at the output. The linear correlation of the analog to digital conversion is 0.999. The MCA is capable to analyze nuclear spectrum with a resolution suitable for teaching as well as for basic research.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ii
บทคัดย่อภาษาไทย	iii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	iv
สารบัญตารางประกอบ	viii
สารบัญภาพประกอบ	viv
รายการคำย่อ	xii
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	4
2. หลักการของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องวัด	5
2.1 การวิเคราะห์ความสูงของพัลส์	6
2.1.1 สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์	6
2.1.2 หลักการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์	7
2.2 อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง	9
2.2.1 โครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง	9
2.2.2 การแปลงความสูงของพัลส์เป็นสัญญาณเชิงตัวเลข	11
2.2.3 เวลาในการแปลงความสูงของพัลส์เป็นสัญญาณเชิงตัวเลข	14
2.2.4 การตั้งเวลานับรังสีในอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง	17
2.2.5 หน่วยความจำ	17
2.3 รูปแบบของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง	19
3. การพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง	22
3.1 ข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและสร้าง	22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การออกแบบอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องชนิดใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะส่วน 23

3.2.1 โครงสร้างของระบบที่เริ่มพัฒนา 23

3.2.2 การวางแผนประกอบเครื่องต้นแบบที่ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะส่วน 25

3.3 การออกแบบอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ 27

3.3.1 โครงสร้างของระบบวิเคราะห์ที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ 28

3.3.2 ระบบวัดรังสีส่วนหน้า 29

3.3.3 ระบบแปลงสัญญาณพัลส์อนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข 34

3.3.4 ระบบเชื่อมโยงสัญญาณ 38

3.3.5 โปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง 42

3.3.6 การประกอบเครื่องต้นแบบ 46

4. ผลการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง 48

4.1 ทดสอบการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง 48

4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 48

4.1.2 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับค่าศักดาไฟฟ้า 48

4.1.3 ทดสอบการควบคุมความคงที่ของศักดาไฟฟ้า 50

4.1.4 ตรวจวัดขนาดของศักดาระลอกคลื่น 51

4.2 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ 52

4.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 52

4.2.2 ตรวจวัดรูปสัญญาณทางออก 52

4.2.3 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล 53

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ทดสอบการทำงานของระบบแปลงสัญญาณพัลส์อนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข 55

4.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 55

4.3.2 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นในการแปลงสัญญาณพัลส์ 55

4.4 ทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบวิเคราะห์ 57

4.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 57

4.4.2 ทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบวิเคราะห์ 57

4.5 การวิเคราะห์สเปกตรัมนิวเคลียร์ 60

4.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 60

4.5.2 ทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมนิวเคลียร์ 60

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 63

5.1 สรุปผลการวิจัย 63

5.2 พิกัดการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง 65

5.2.1 พิกัดของระบบวิเคราะห์ทางฮาร์ดแวร์ 65

5.2.2 พิกัดของโปรแกรม (Software) 66

5.3 ปัญหาและอุปสรรค 66

5.4 ข้อเสนอแนะ 67

เอกสารอ้างอิง 68

ภาคผนวก ก. 69

ภาคผนวก ข. 71

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่ คศ
วศ 15
เลขทะเบียน 008309
วัน,เดือน,ปี 28 มิย 38

สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างสเกลปรับค่าศักดาไฟฟ้าและศักดาไฟฟ้าทางออก	49
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักดาไฟฟ้าทางออก	50
4.3	ความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล	54
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์และตำแหน่งช่องวิเคราะห์	56
4.5	ผลทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบวิเคราะห์	58

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	ผลการวิเคราะห์พลังงานด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์	5
2.2	แผนภาพของระบบวิเคราะห์พลังงานของอนุภาคนิวเคลียร์	7
2.3	แผนภาพการปรับเทียบความสูงของพัลส์กับระดับศักดาอ้างอิง	8
2.4	การวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์ช่องเดี่ยว	8
2.5	แผนภาพการทำงานเบื้องต้นของ MCA	10
2.6	การแสดงสเปกตรัมนิวเคลียร์ของ MCA	10
2.7	แผนภาพการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแบบวิลคินสัน	12
2.8	การสร้างเวลาการแปลงผัน (conversion time) ที่ระดับความสูงของพัลส์ต่างกัน	12
2.9	แผนภาพเวลาเปรียบเทียบการแปลงความสูงของพัลส์เป็นรหัสไบนารีที่ขนาดสัญญาณ 5 และ 10 โวลต์	14
2.10	แสดงการขยายสเปกตรัมด้วย conversion gain	15
2.11	การตัดข้อมูลความสูงของพัลส์เพื่อสำรองช่องวิเคราะห์ที่ถูกขยายออกด้วย DZO	16
2.12	แสดงการใช้บัสแอดเดรสและบัสข้อมูลในการบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์	18
2.13	แผนภาพการทำงานของหน่วยความจำ	19
2.14	แผนภาพการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่ใช้กับระบบการทำงานแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วน	21
2.15	แผนภาพการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่ใช้ระบบการควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์	21
3.1	แผนภาพของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องชนิดใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วน	24
3.2	การจัดวางแผ่นวงจรภายในโครงแท่นเครื่อง	26
3.3	แผ่นวงจรที่พัฒนาแล้วบางส่วนบนโครงแท่นเครื่อง	26

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.4	ส่วนแสดงผลบนจอ CRT ที่พัฒนาขึ้น	26
3.5	แผนภาพของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์	28
3.6	แผนภาพของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง	29
3.7	วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง	30
3.8	แผนภาพของอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์	31
3.9	วงจรฐานหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนสำหรับหลอด RCA 8053	32
3.10	วงจรขยายสัญญาณพัลส์ (Preamplifier/Amplifier)	33
3.11	แผนภาพการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณพัลส์ในส่วนของการแปลงผันสัญญาณอนาลอก	34
3.12	แผนภาพการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณในส่วนของสัญญาณเชิงตัวเลข	35
3.13	แผนภาพเวลาของการแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข	35
3.14	วงจรระบบแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขแบบวิลคินสัน	36
3.15	แผนภาพของระบบเชื่อมโยงสัญญาณ	37
3.16	แผนภาพเวลาการทำงานในขั้นตอนการรับข้อมูลจาก ADC	37
3.17	วงจรระบบเชื่อมโยงสัญญาณ	41
3.18	โฟล์วชาร์ตของโปรแกรมหลัก	43
3.19.ก.	แผนภาพการทำงานของโปรแกรมหลักและโปรแกรมย่อย	44
3.19.ข.	โฟล์วชาร์ตของโปรแกรมย่อย	45
3.20	การจัดวางแผ่นวงจรและอุปกรณ์ภายในเครื่อง	46
3.21	เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น	47
3.22	การวางแผ่นวงจรภายในเครื่อง	47
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งสเกลปรับค่าศักดาไฟฟ้ากับศักดาไฟฟ้าทางออก	49
4.2	แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการควบคุมความคงที่ศักดาไฟฟ้า	50
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลดและศักดาไฟฟ้าทางออก	51

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อตรวจวัดศักดาระลอกคลื่น	51
4.5	ขนาดของศักดาระลอกคลื่น	52
4.6	แผนภาพการจัดอุปกรณ์ตรวจวัดรูปสัญญาณพัลส์	52
4.7	รูปสัญญาณพัลส์ทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์	53
4.8	ความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยายชิ้งทดสอบแบบดิฟเฟอเรนเชียล	54
4.9	แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบแปลงสัญญาณ	55
4.10	ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความสูงของพัลส์และตำแหน่งช่องวิเคราะห์	56
4.11	แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบวิเคราะห์	57
4.12	เส้นกราฟเปรียบเทียบความสามารถในการวิเคราะห์ของ MCA (NT-01)	59
4.13	แผนภาพการจัดระบบวิเคราะห์พลังงานของรังสีแกมมา	60
4.14	ผลวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมาจาก Cs-137	61
4.15	ผลวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมาจาก Co-60	61
4.16	ผลการรวมปริมาณนับรังสีใต้พื้นที่พีคพลังงานของ Cs-137 โดยใช้ integral function	62
4.17	ผลการใช้ฟังก์ชันการขยายและเลื่อนสเปกตรัมด้วยฟังก์ชัน expand และ roll up	62
ก.1	แผนภาพของ main board SUM 286	69
ก.2	ตำแหน่งขาของแหล่งจ่ายไฟฟ้า	69
ก.3	ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆบน main board SUH 286	70
ก.4	ตำแหน่งขาของช่องขยายสัญญาณ XT	70

รายการคำย่อ

หน่วยทางไฟฟ้า

A	Ampere (หน่วยวัดกระแสไฟฟ้า)
mA	milliampere (10^{-3}A)
μA	microampere (10^{-6}A)
C	Coulomb (หน่วยวัดประจุไฟฟ้า)
Hz	Hertz (หน่วยวัดความถี่)
kHz	kilohertz (10^{3} Hz)
MHz	Megahertz (10^{6} Hz)
t	time (เวลา)
V	Volt (หน่วยวัดศักดาไฟฟ้า)
mV	millivolt (10^{-3}V)
μV	microvolt (10^{-6}V)

ชื่อสัญญาณ

A_x-A_n	address buses
ADD	addition
B	ADC busy
CLEAR	clear command
CLP	clamp
CSC	current source control
D_x-D_n	data bus
DTM	dead time meter
GTZ	greater than zero
IRQ	interrupt request
ING	input gate
IOW	I/O write
IOR	I/O read

INT	interrupt
LLD	lower level discriminator
LT	live time
LGS	linear gate switch
PSB	pulse strecher busy
PD	peak detect
Q_X-Q_n	signal output bus
R_X	read control signal
REC	record
RFF	reject flip flop
REJ	reject
RD	read
RT	real time
SUB	substract
STORE	store command
S/N	signal to noise ratio
ULD	upper level discriminate
W_X	write control signal
WR	write
ZL	zero level
50 MHz	ADC time base
100 kHz	timer time base
1Hz	1 second signal
1Hz+LTC	1 second + live time correction signal

ศัพท์วิทยาศาสตร์

ADC	analog to digital converter
BCD	binary coded dicimal
BLR	base line restorer

CG	conversion gain
CPU	central processing unit
CRT	cathode ray tube
DAC	digital to analog converter
DMA	direct memory access
DZO	digital zero offset
E	energy
EPMA	electron probe microanalysis
F.F.	flip flop
HV	high voltage
I/O	input/output
ITF	interface
MCA	multichannel analyzer
NAA	neutron activation analysis
PAL	programmable array logic
PH	pulse height
PHA	pulse height analyzer
PGA	prompt gamma analysis
PIXE	protron induced x-ray emission
PZ	pole zero cancellation
RAM	random access memory
ROI	region of interest
ROM	read only memory
SCA	single channel analyzer
XRF	x-ray fluorescence

บทที่ 1
บทนำ

การพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง (multichannel analyzer) เป็นโครงการสิ่งประดิษฐ์เครื่องมือวิเคราะห์นิวเคลียร์ ซึ่งพัฒนาขึ้นที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากฝ่ายวิจัยของมหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2528 และคาดว่าโครงการจะเสร็จสิ้นในปี พ.ศ.2531 แต่ประสบอุปสรรคในการดำเนินการวิจัย จึงทำให้งานวิจัยล่าช้ามาเป็นเวลา 6 ปี ทั้งนี้เนื่องจากช่วงเวลาหลังจากผู้วิจัยได้รับทุนวิจัยแล้ว ผู้วิจัยมีภาระด้านการสนับสนุนการดำเนินงานของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบกับผู้วิจัยร่วมถูกขอตัวไปช่วยงานวิจัยเร่งด่วนหลายโครงการ จึงทำให้การดำเนินงานขาดความต่อเนื่อง ระยะเวลาที่งานพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่ชะลอไปนั้น เทคโนโลยีด้านเครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ได้ปรับเปลี่ยนไปตามวิวัฒนาการของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ทำให้รูปแบบของเครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันมีลักษณะเป็นระบบวิเคราะห์ที่ควบคุมการทำงาน และประมวลผลด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ หรือคอมพิวเตอร์ ขณะเดียวกันราคาของไมโครคอมพิวเตอร์ก็ลดลงมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง จากการทำงานแบบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะส่วน (discrete components) มาเป็นระบบการทำงานที่ควบคุมการวิเคราะห์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ (microcomputer based MCA) และออกแบบโปรแกรมสนับสนุนการทำงานให้มีสมรรถนะสูงกว่าเดิม

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง (MCA) เป็นอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์พลังงานของอนุภาคนิวเคลียร์ โดยวิธีการจำแนกความสูงของสัญญาณพัลส์ (pulse height analysis) จากระบบวัดนิวเคลียร์ ด้วยการทำงานในระบบเชิงตัวเลข และแสดงผลของสเปกตรัมพร้อมรายละเอียดของตำแหน่งพลังงานและปริมาณของอนุภาคนิวเคลียร์ที่วิเคราะห์ได้ทางจอภาพ ทำให้การแปรผลวิเคราะห์กระทำได้สะดวก รวดเร็วกว่าการใช้อุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer, SCA) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาใช้กับกระบวนการวิเคราะห์พลังงานของอนุภาคนิวเคลียร์ในระยะแรกๆ และเนื่องจากอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องมีสมรรถนะการทำงานสูง

จึงมีความสำคัญต่องานด้านการศึกษาวิจัยและการวิเคราะห์ธาตุทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยเฉพาะการตรวจหาองค์ประกอบของสารในระดับความเข้มข้นต่ำมากที่ใช้เทคนิคนิวเคลียร์ อันได้แก่ เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยวิธีอาบรังสีนิวตรอน (NAA) เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) เทคนิคการวัดพรอมต์แกมมา (PGA) เทคนิคการเหนี่ยวนำด้วยโปรตอน (PIXE) และเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยลำอิเล็กตรอน (EPMA) เป็นต้น

อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องนี้มีความจำเป็นต่อหน่วยงานที่มีการเรียนการสอนและการวิจัยในสาขาฟิสิกส์นิวเคลียร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์เป็นอย่างมาก แต่เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวมีการทำงานที่ค่อนข้างซับซ้อนและมีการใช้งานเฉพาะด้าน ทำให้ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศด้วยราคาสูง ในขณะที่บริษัทผู้ผลิตมักจะไม่ยอมให้รายละเอียดทางเทคนิคแก่ผู้ใช้ จึงทำให้เป็นอุปสรรคทั้งด้านงบประมาณการจัดหาและการบำรุงรักษาอุปกรณ์นี้ เพื่อให้มีการใช้งานได้อย่างคุ้มค่าของหลายหน่วยงาน ผู้วิจัยมองเห็นความสำคัญและประโยชน์ของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องรวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้น จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาและประดิษฐ์อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายหลายช่องให้มีสมรรถนะการทำงานทัดเทียมกับเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ ในราคาที่ต่ำกว่า ซ่อมบำรุงได้ สะดวก ใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่หาได้ภายในประเทศเป็นหลัก โดยขอรับการสนับสนุนทุนวิจัยจากฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดำเนินการวิจัยที่ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์นิวเคลียร์ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี และศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อให้ได้ต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่สามารถถ่ายทอดเทคนิคการประดิษฐ์นี้ไปสู่การพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องขึ้นใช้เองในระดับงานวิจัยพื้นฐานในประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องนี้ มุ่งที่จะประดิษฐ์เครื่องต้นแบบที่สามารถใช้งานได้สะดวก บำรุงรักษาง่าย และมีสมรรถนะเพียงพอที่จะใช้งานในระดับงานวิจัยขั้นพื้นฐาน โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาวงจรต่างๆของระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ที่ใช้ในอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง

1.2.2 เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องต้นแบบที่มีสมรรถนะทัดเทียมเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ โดยใช้วัสดุและชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่หาได้ในประเทศเป็นหลัก

1.2.3 เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องต้นแบบ รวบรวมข้อมูล อันเป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์ที่มีสมรรถนะสูงขึ้น และสามารถใช้งานในระดับงานวิจัยขั้นสูง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

จากการติดตามคู่มือทางเทคนิคของเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ และความเป็นไปได้ในการจัดหาชิ้นส่วนต่างๆในประเทศ เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนานี้ สามารถแบ่งงานพัฒนาออกเป็น 3 ส่วน โดยมีขอบเขตของข้อมูลพิกัดทางเทคนิคดังนี้

1.3.1 การพัฒนาระบบแปลงสัญญาณพัลส์เชิงอนาลอก (analog pulse) เป็นรหัสเชิงตัวเลข (digital code) หรือ ADC โดยเลือกแบบวิลคินสัน (Wilkinson) มีความละเอียด ในการแปลงสัญญาณขนาด 10 บิต ความถี่ฐานเวลามีขนาด 50 MHz. สามารถเลือก CG ได้จาก 512, 1024, 2048 และเลือก DZO จาก 0, 256, 512, 768, 1024, 1280, 1536, 1792

1.3.2 การพัฒนาระบบควบคุมการทำงานออกแบบให้สามารถจำแนกผลการแปลงสัญญาณในระบบเชิงตัวเลขไบบันทึกบนหน่วยความจำขนาด 1024 ช่องวัด และเก็บข้อมูลในแต่ละช่องวัดได้ไม่น้อยกว่า 10^6-1 จำนวนนับ สามารถเลือกเก็บข้อมูลได้ทั้งในแบบนับเพิ่ม (addition) และนับลด (subtraction) รวมทั้งมีเคอร์เซอร์ (cursor) อ่านปริมาณนับรังสี ณ ตำแหน่งพลังงานต่างๆได้ทุกช่องวิเคราะห์และสามารถรวมค่าปริมาณนับใต้พื้นที่พีค (peak) พลังงานได้

1.3.3 ระบบรายงานผลการวิเคราะห์ออกแบบให้สามารถแสดงผลของสเปกตรัมทางจอภาพ และพิมพ์ผลวิเคราะห์ทางเครื่องพิมพ์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องและติดตามข้อมูลพิกัดทางเทคนิคของอุปกรณ์วิเคราะห์รุ่นใหม่ รวมทั้งจัดหาชิ้นส่วนและวัสดุที่สำคัญ

1.4.2 ออกแบบและทดสอบการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณพัลส์ ระบบควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์ และระบบรายงานผลการวิเคราะห์ตามลำดับ

1.4.3 พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ และโปรแกรมสนับสนุนการใช้อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง

1.4.4 ออกแบบแผ่นพิมพ์วงจร และประกอบวงจรแต่ละส่วนเพื่อทดสอบหาจุดบกพร่อง

1.4.5 ประกอบเครื่องต้นแบบและแก้ไขสิ่งบกพร่อง เพื่อทดสอบสมรรถนะการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่มีพัฒนาขึ้น

1.4.6 รวบรวมข้อมูลและสรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.5.1 ช่วยให้เกิดการสนับสนุนด้านการเรียนการสอนและการวิจัยในสาขาเทคนิโลยีนิวเคลียร์และฟิสิกส์นิวเคลียร์ โดยเฉพาะการใช้เป็นอุปกรณ์การเรียนการสอนภาคปฏิบัติ

1.5.2 เป็นการสร้างความรู้ความเข้าใจในการทำงานของระบบวิเคราะห์ที่ซับซ้อน และสามารถติดตามพัฒนาการของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องรุ่นใหม่ อันจะก่อให้เกิดประโยชน์ในการถ่ายทอดวิทยาการใหม่ๆ

1.5.3 เป็นการสนับสนุนให้มีการพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องขึ้นใช้เองสำหรับงานวิจัยขั้นพื้นฐาน

1.5.4 เป็นการเผยแพร่และถ่ายทอดเทคนิคในการพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องจากประสบการณ์ในการสร้างเครื่องต้นแบบ

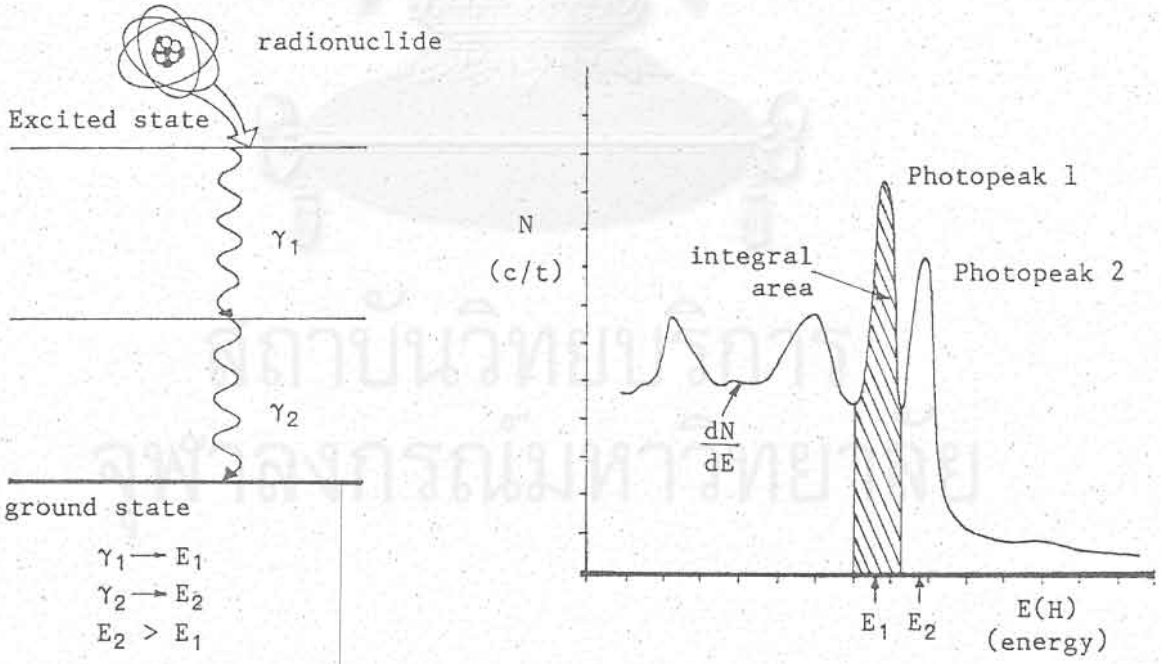
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องวัด

อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ (Pulse Height Analyzer : PHA) เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์พลังงานของอนุภาคนิวเคลียร์ ที่เกิดจากจากกระบวนการนิวเคลียร์ต่างๆ อันได้แก่ การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี (radioactive decay) ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (nuclear reaction) และอันตรกิริยานิวเคลียร์ (nuclear interaction) เป็นต้น การวิเคราะห์พลังงานด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ จากกระบวนการที่กล่าวมา จะทำให้ได้ข้อมูลอันนำไปสู่การวิเคราะห์ธาตุในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วยเทคนิคนิวเคลียร์ดังรูปที่ 2.1 ข. เส้นกราฟการกระจายพลังงานจากการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์บนระนาบของแกนแนวนอนและแนวตั้ง (dN/dE) หรือ (dN/dH) ซึ่งเรียกว่า "สเปกตรัมนิวเคลียร์" จะแสดงตำแหน่งพลังงานที่ยอดพีคพลังงานในแกนแนวนอนของเส้นกราฟ สัมพันธ์กับระดับพลังงานที่ปลดปล่อยจากต้นกำเนิดรังสีในรูปที่ 1.ก และผลรวมของจำนวนนับอนุภาคนิวเคลียร์บนพื้นที่ใต้พีคพลังงาน (integral area) จะบอกสัดส่วนปริมาณของธาตุนั้นๆ



ก. แผนผังการปลดปล่อยพลังงานของอะตอมธาตุ 2 พลังงาน

ข. สเปกตรัมนิวเคลียร์จากการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์พลังงาน E_1, E_2

รูปที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์พลังงานด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์

2.1 การวิเคราะห์ความสูงของพัลส์

2.1.1 สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์

กระบวนการตรวจวัดนิวเคลียร์ อาศัยหลักการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของอนุภาคนิวเคลียร์จากการถ่ายโอนพลังงานแก่ตัวกลางที่เหมาะสมภายในหัววัดรังสี เป็นปริมาณประจุไฟฟ้า โดยปริมาณประจุไฟฟ้าจะมากหรือน้อยจะขึ้นกับระดับพลังงานที่ถ่ายโอนภายในหัววัดรังสี จากนั้นปริมาณประจุไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าในรูปพัลส์ที่มีขนาดความสูงสัมพันธ์กับสัดส่วนพลังงานของอนุภาคนิวเคลียร์นั้นๆ และมีขนาด ดังสมการที่ 1

$$v_d = \frac{qn}{C} e^{-t/RC} \qquad \text{..... (1)}$$

เมื่อ v_d = พัลส์ศักดาไฟฟ้า โวลต์

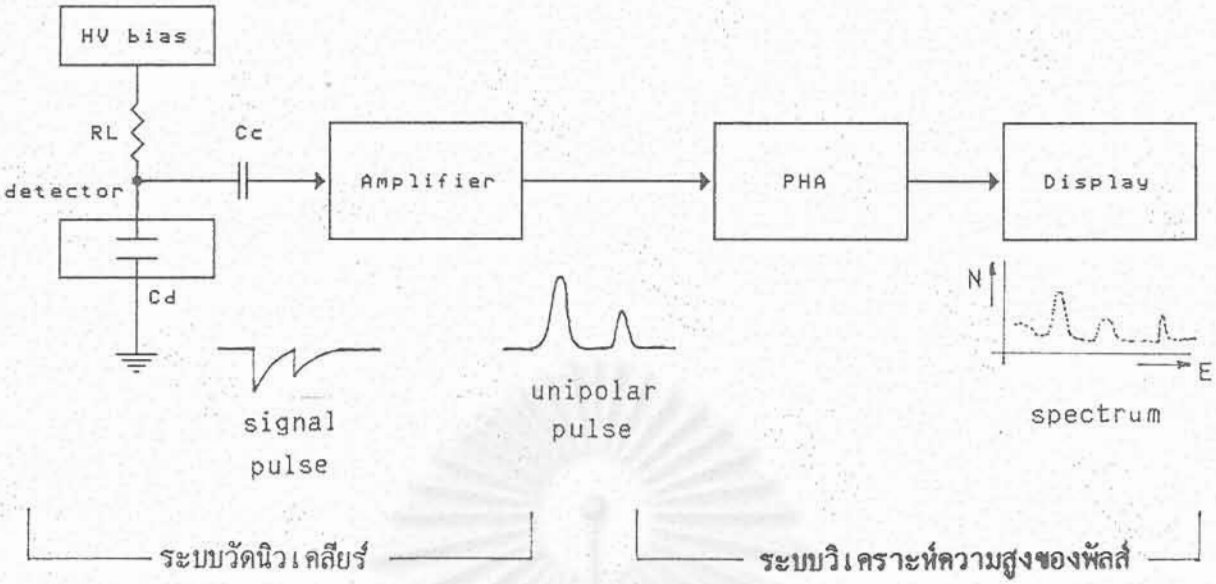
q = ประจุของอิเล็กตรอน (1.602×10^{-19}C) คูลอมบ์

n = ปริมาณของตัวพาประจุลบหรือบวกที่เกิดขึ้น

C = ค่าความจุในวงจรเทียบเท่าของหัววัดรังสี ซึ่งรวมความจุโครงสร้างของหัววัดด้วย ฟาราด

$e^{-t/RC}$ = ตัวประกอบการสลายตัวของสัญญาณพัลส์

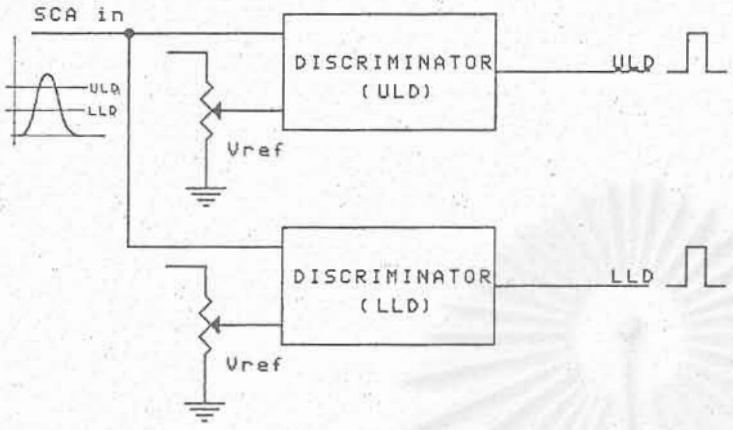
สัญญาณพัลส์จากหัววัดรังสีที่มีขนาดเล็กมากจากระบบวัดนิวเคลียร์ ตามรูปที่ 2.2 จะส่งไปยังภาคขยายสัญญาณเพื่อรับการขยายสัญญาณและแต่งรูปสัญญาณด้วยกระบวนการกรองความถี่ ให้มีลักษณะเป็นภาคขยายที่มีย่านตอบสนองความถี่แคบ (narrow band amplifier) ตามเทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัม (spectroscopy) ทำให้ได้อัตราส่วนสัญญาณพัลส์ต่อสิ่งรบกวน (S/N) สูง สัญญาณพัลส์ที่รับการขยายแล้ว จึงมีขนาดความสูงของพัลส์แปรเปลี่ยนตามสัดส่วนพลังงาน ($dH \propto dE$) ส่งให้กับระบบวิเคราะห์พลังงานเพื่อจำแนกความสูงของพัลส์ ด้วยเหตุนี้จึงเรียกกระบวนการวิเคราะห์พลังงานของอนุภาคนิวเคลียร์นี้ว่า "การวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ (pulse height analysis)"[1]



รูปที่ 2.2 แผนภาพของระบบวิเคราะห์พลังงานของอนุภาคนิวเคลียร์

2.1.2 หลักการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์

จากรูปที่ 2.2 สัญญาณพัลส์จากภาคขยายของระบบวัดนิวเคลียร์ จะมีลักษณะเป็นสัญญาณอนาลอก การวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ในระยะแรกอาศัยการจำแนกความสูงของพัลส์โดยการเปรียบเทียบความสูงของพัลส์กับระดับศักดาไฟฟ้าอ้างอิง 2 ระดับ ด้วยวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.3 วงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าที่มีศักดาอ้างอิงระดับล่างเรียกว่า "lower level discriminator : LLD" และวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าที่มีศักดาอ้างอิงระดับบน เรียกว่า "upper level discriminator : ULD" ผลต่างของศักดาไฟฟ้าอ้างอิงทั้งสอง (ULD-LLD) เรียกว่า "หน้าต่างวิเคราะห์พลังงาน (energy window)" ซึ่งมีลักษณะเป็นช่องวิเคราะห์เดี่ยว ผลการเปรียบเทียบระดับศักดาไฟฟ้าจะทำให้เกิดสภาวะทางตรรกะ 4 สถานะ ขณะที่เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ เพื่อแยกนับเฉพาะความสูงของพัลส์นั้นมีเพียงสถานะเดียว คือ ความสูงของพัลส์จะต้องอยู่ภายในหน้าต่างวิเคราะห์พลังงาน ในรูปที่ 2.4.ก คือ พัลส์หมายเลข 3 เท่านั้นที่มีสภาวะตามต้องการ ดังนั้นการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์จำเป็นจะต้องมีลอจิกเกต (logic gate) ในการตัดสินสภาวะจากตารางตรรกะ $\overline{ULD}$.LLD เรียกว่า "แอนติโคอินซิเดนซ์เกต (anticoincidence gate)" ในรูปที่ 2.4.ข แสดงผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมาจาก Co-60



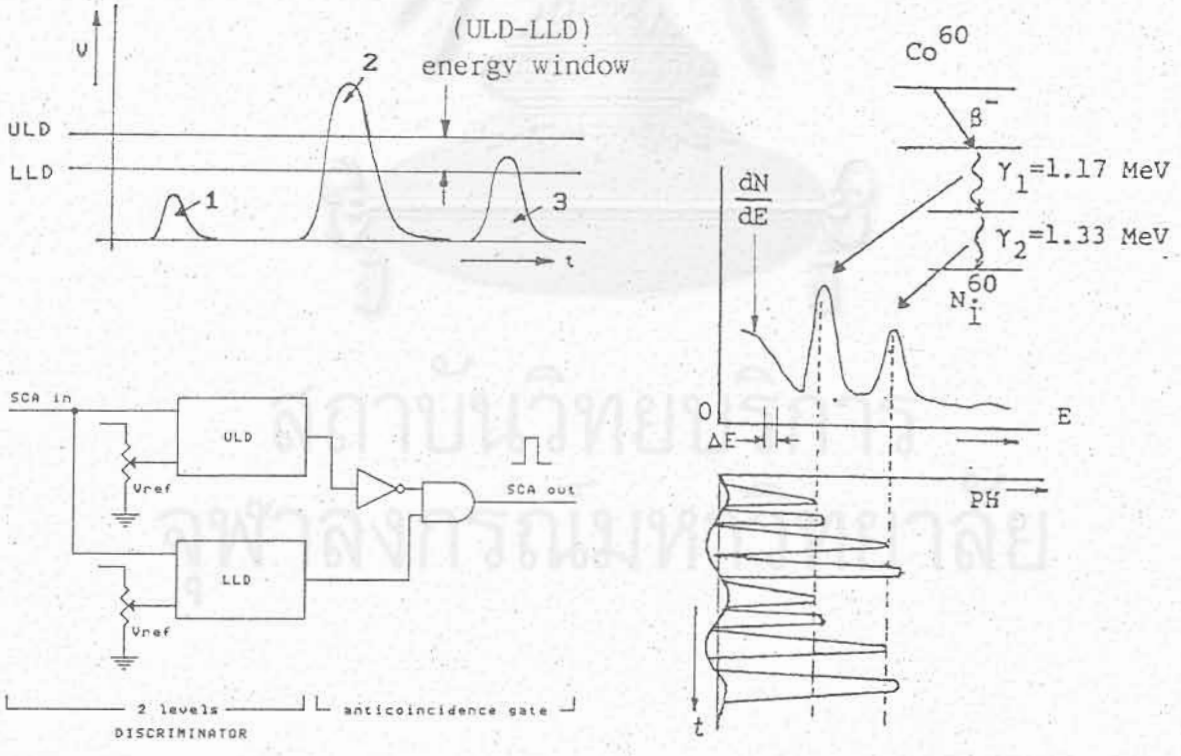
วงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้า 2 ระดับ

ULD	LLD	SCA
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	0

$\overline{ULD}.LLD$

ตารางสภาวะลอจิก

รูปที่ 2.3 แผนภาพการเปรียบเทียบความสูงของพัลส์กับระดับศักดาอ้างอิง



ก. ส่วนประกอบสำคัญของ SCA

ข. ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของพัลส์

รูปที่ 2.4 การวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์ช่องเดี่ยว

การวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ตลอดย่านวิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์ช่องเดี่ยว ทำได้โดยการเลื่อนช่องวิเคราะห์ (ΔE) ครั้งละ 1 ช่องต่อเนื่องกัน และตั้งเวลานับเท่าๆกัน ข้อมูลจากการบันทึกผลการวัดแบบแยกนับเฉพาะความสูงของพัลส์ เมื่อสร้างเป็นเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง dN/dE จะได้สเปกตรัมดังรูปที่ 2.4 ข. อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดี่ยวนี้มีความไม่สะดวกทั้งด้านวิธีการวิเคราะห์ การแสดงผลและใช้เวลาในการวิเคราะห์มาก จึงมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบต่อเนื่อง ต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบต่อเนื่อง โดยอาศัยเทคนิคทางระบบเชิงตัวเลข (digital technique) เข้ามาช่วยทำให้สามารถวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ได้หลายช่องวิเคราะห์ในเวลาเดียวกัน เสมือนกับการตั้งช่องวิเคราะห์พลังงานช่องเดี่ยวต่อเนื่องกัน (stacked discriminator)[1] และมีอุปกรณ์บันทึกข้อมูลประจำช่องวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ทำงานพร้อมกัน แสดงผลได้ทันทีหลังสิ้นสุดเวลานับรังสี ปัจจุบันจึงมีการแบ่งอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์เป็น 2 ชนิดคือ อุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer : SCA) และอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multi-Channel Analyzer : MCA)

2.2 อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง

อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องเป็นอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ที่มีขีดความสามารถในการวิเคราะห์ความสูง ด้วยการรับข้อมูลความสูงของพัลส์มาวิเคราะห์ในระบบเชิงตัวเลขอย่างต่อเนื่องและถูกเก็บไว้ (หลังว่างเว้นจากพันธะการประมวลข้อมูลภายในของอุปกรณ์วิเคราะห์โดยอัตโนมัติ) ข้อมูลที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำนี้จะถูกสะสมในรูปของการกระจายข้อมูลความสูงของพัลส์ (pulse height distribution) และแสดงผลสเปกตรัมทางจอภาพได้ทันทีเมื่อต้องการ

2.2.1 โครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง

อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง มีส่วนสำคัญในการสร้างกระบวนการวิเคราะห์ทั้งหมด 7 ส่วน ดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 2.5 ได้แก่

ก. วงจรแปลงความสูงของพัลส์เป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (pulse height to digital converter)

ข. หน่วยความจำ (memory) RAM และ ROM

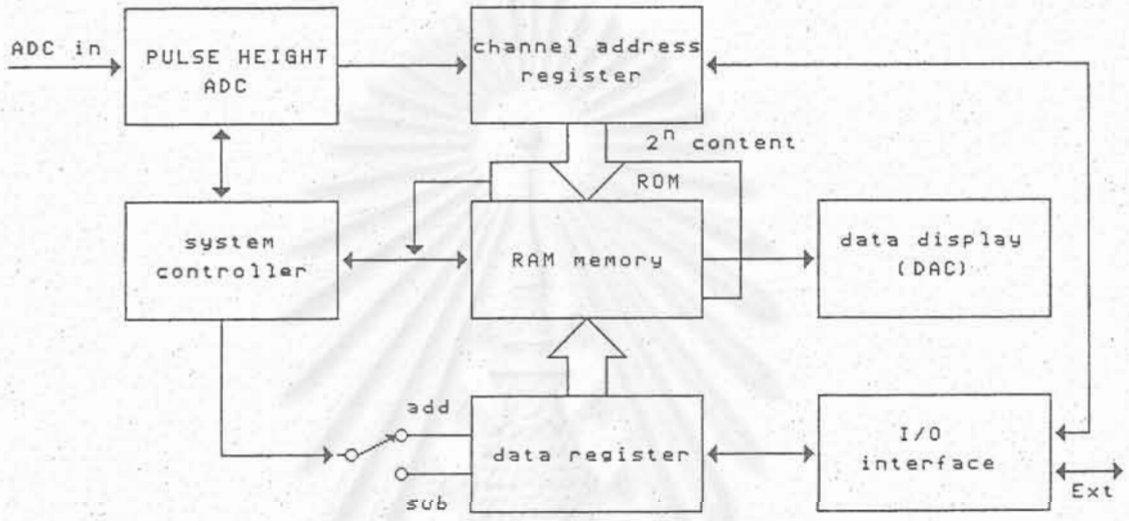
ค. วงจรกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำ (channel address register)

ง. วงจรบันทึกข้อมูล (data register)

จ. วงจรแสดงผล (data display)

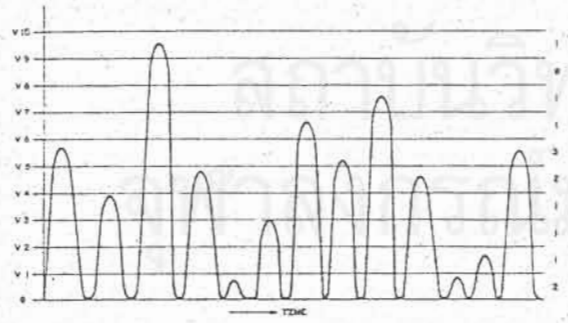
ฉ. วงจรควบคุมการทำงานของระบบ (system controller)

ช. วงจรเชื่อมโยงกับอุปกรณ์ภายนอก (I/O interface)

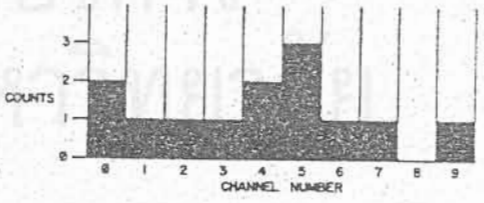


รูปที่ 2.5 แผนภาพการทำงานเบื้องต้นของ MCA

Pulse Height Distribution Analysis



Input voltage pulses



PHA Histogram

ก. สัญญาณพัลส์จากระบบวัดรังสี

ข. ฮิสโตแกรมความสูงของพัลส์

รูปที่ 2.6 การแสดงสเปกตรัมนิวเคลียร์ของ MCA

อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องมีการทำงานด้วยระบบเชิงตัวเลขที่ค่อนข้างซับซ้อน เริ่มจากวงจรแปลงความสูงของพัลส์จะรับพัลส์ศักดาไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.6 ก. จากระบบวัดรังสีมาแปลงเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขที่สอดคล้องกับความสูงของพัลส์ ข้อมูลนี้จะทำหน้าที่กำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำ และทุกครั้งที่การแปลงข้อมูลความสูงของพัลส์ลูกใดตรงกับตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำนั้น จะมีการบันทึกข้อมูลด้วยการบวกเพิ่มข้อมูลสะสม ณ ตำแหน่งนั้น ข้อมูลจำแนกการกระจายความสูงของพัลส์ที่เก็บไว้บนหน่วยความจำจะมีลักษณะเป็นฮิสโตรแกรม (histrogram)(2) และถูกนำไปแสดงผลทางจอภาพด้วยการแปลงข้อมูลเชิงตัวเลขเป็นสัญญาณควบคุมระนาบแกนแนวนอนและตั้งของระบบจอภาพ ดังรูปที่ 2.6 ข. ขั้นตอนการทำงานของระบบจะถูกควบคุมโดยโปรแกรมในหน่วยความจำถาวรผ่านวงจรควบคุมการทำงานของระบบ

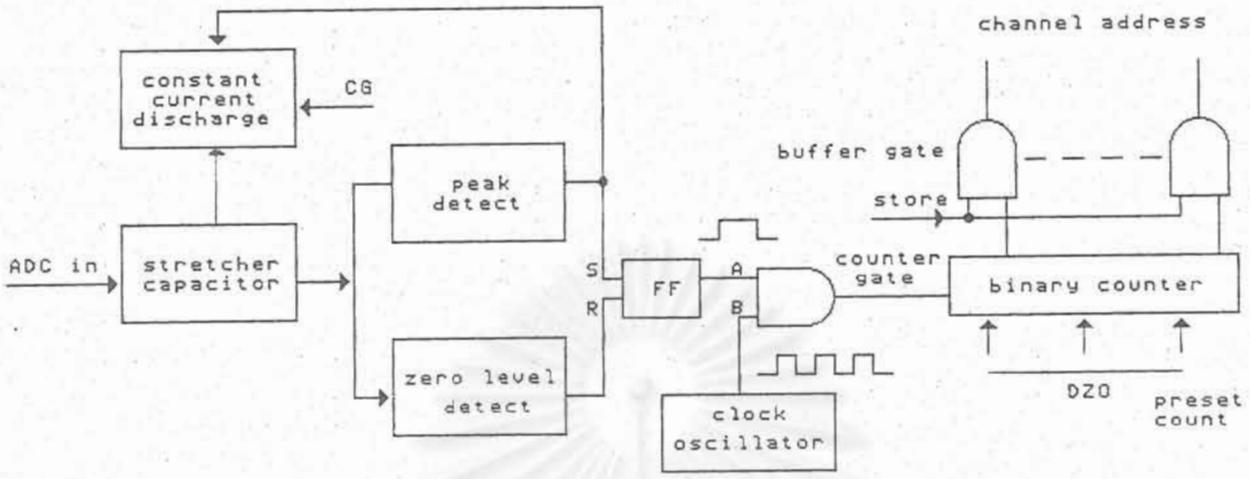
2.2.2 การแปลงความสูงของพัลส์เป็นสัญญาณเชิงตัวเลข

การแปลงความสูงของพัลส์เป็นสัญญาณเชิงตัวเลขเป็นส่วนสำคัญส่วนหน้าของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง วงจรที่ทำหน้าที่ในการแปลงความสูงของพัลส์เป็นสัญญาณเชิงตัวเลข เรียกว่า "pulse height ADC" ปัจจุบันมีวิธีการแปลงข้อมูลใน 2 ลักษณะ คือ

ก. conventional ADC คือ การแปลงความสูงของพัลส์เป็นเวลาในการเปิดและปิดเกต จำนวนสัญญาณพัลส์จากฐานความถี่ ซึ่งให้ความเป็นเชิงเส้นของข้อมูลสูง ได้แก่ ADC แบบ ramp type หรือวิลคินสัน

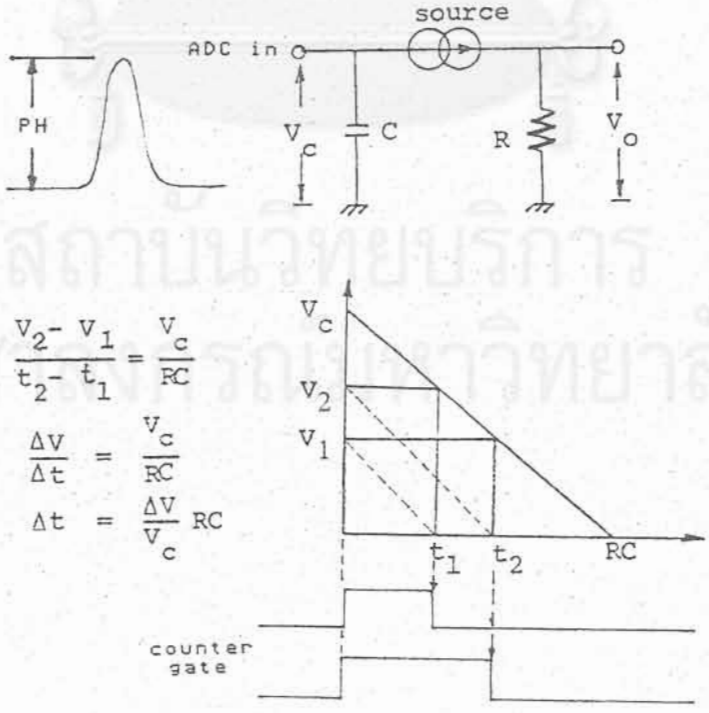
ข. constant fraction ADC คือ การแปลงความสูงของพัลส์เป็นรหัสเชิงตัวเลขที่มีเวลาในการแปลงคงที่ มีความไวในการแปลงสูง แต่ความเป็นเชิงเส้นต้องอาศัยเทคนิคปรับแก้ ได้แก่ ADC แบบ successive approximation และ flash type เป็นต้น

ในการออกแบบวงจรแปลงความสูงของพัลส์ที่ต้องการความเป็นเชิงเส้นในการแปลงข้อมูลเชิงตัวเลขโดยไม่ต้องการปรับแก้ความคลาดเคลื่อน จะเลือกการทำงานแบบวิลคินสัน ซึ่งในระยะแรกทำงานที่ฐานความถี่ 10 MHz แต่ปัจจุบันสามารถทำงานด้วยความถี่ฐานเวลาสูงถึง 400 MHz ระบบการแปลงสัญญาณพัลส์มีหลักการทำงานดังแผนภาพรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนภาพการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแบบวิลคินสัน

วิธีการเปลี่ยนความสูงของพัลส์เป็นรหัสไบนารี อาศัยคุณสมบัติการคายประจุของคาบาซิเตอร์ด้วยแหล่งจ่ายกระแสคงที่ (constant current source) ผ่านตัวต้านทาน ดังแสดงในรูปที่ 2.8



$$\frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} = \frac{V_c}{RC}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_c}{RC}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta V}{V_c} RC$$

รูปที่ 2.8 การสร้างเวลาการแปลงผัน conversion time ที่ระดับความสูงของพัลส์ต่างกัน

เมื่อคาปาซิเตอร์ในแผนภาพรูปที่ 2.7 ถูกควบคุมให้รับความสูงของพัลส์ที่ตำแหน่งสูงสุด (peak) เท่ากับ V_C และเริ่มคายประจุด้วยค่าเวลาคงที่ RC สม่ำเสมอ ผ่านตัวต้านทานตำแหน่งของสัญญาณ V_0 ที่ตัดเส้นศูนย์จะเป็นสัดส่วนระหว่างความสูงของพัลส์ V_1 และ V_2 กับช่วงเวลา t_1 และ t_2 ตามลำดับ ดังในรูปที่ 2.8 ช่วงเวลาที่คายประจุนี้เรียกว่า "run down time หรือเวลาการแปลงผัน (conversion time)" ซึ่งสรุปได้ว่า $t \propto PH$ ถ้าพิจารณาการทำงานของวงจรรูปที่ 2.7 จะมีขั้นตอนดังนี้

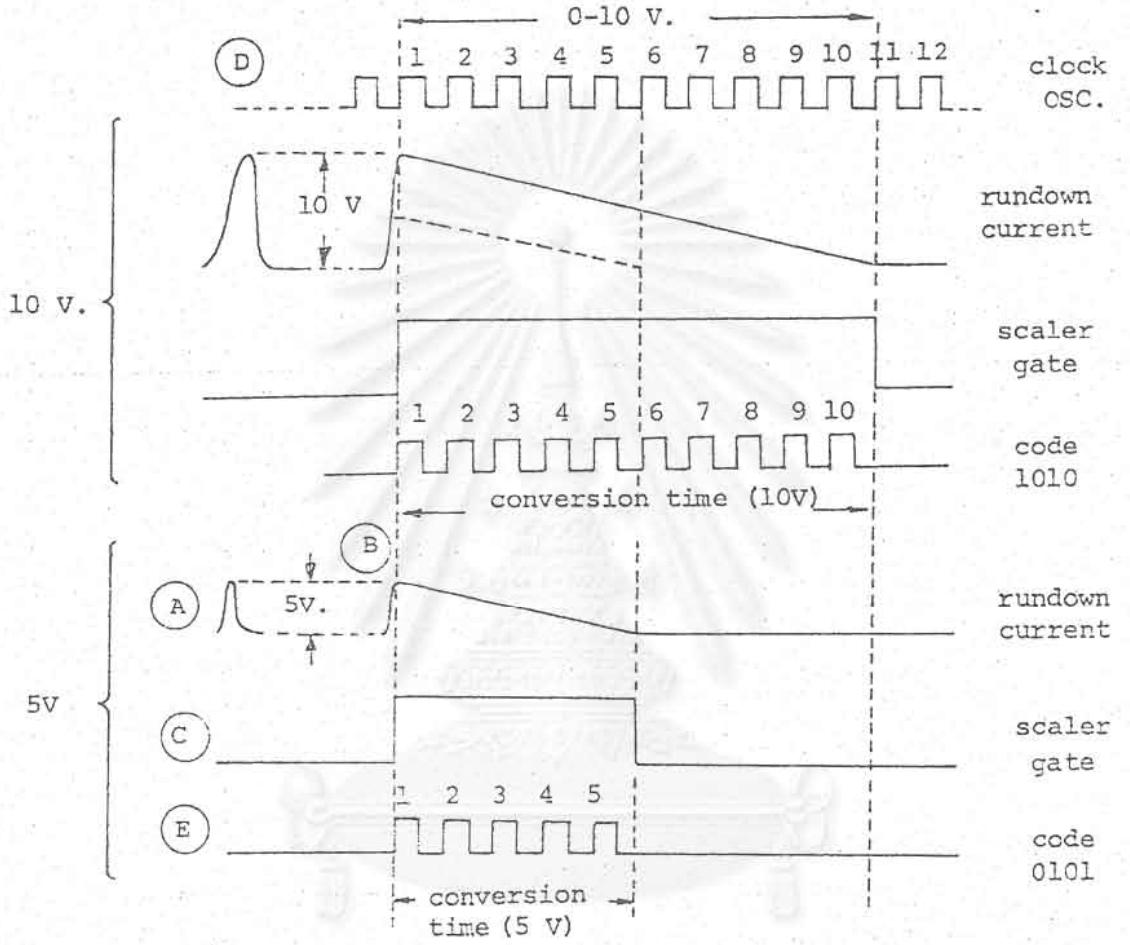
1. clock oscillator เป็นต้นกำเนิดความถี่ฐานเวลาคงที่ รออยู่ที่ counter gate ขา B ตลอดเวลา (ความไวในการแปลงสัญญาณจะขึ้นกับความถี่ของต้นกำเนิดความถี่ฐานเวลานี้)
2. strecher capacitor คาปาซิเตอร์นี้จะทำหน้าที่เก็บประจุจนได้ระดับสูงสุดของพัลส์ และจะคายประจุด้วยแหล่งจ่ายกระแสคงที่ โดยระดับของพัลส์ที่เข้ามาถูกตรวจสอบด้วยวงจร peak detect ว่ามีระดับสูงสุด
3. peak detect วงจรนี้จะทำหน้าที่ตรวจสอบระดับสูงสุดของการประจุสัญญาณพัลส์ที่คาปาซิเตอร์ และบังคับการทำงาน 2 ส่วน คือ สั่งให้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์คายประจุ ผ่านวงจรแหล่งจ่ายกระแสคงที่ทำงานพร้อมกับสั่งให้ฟลิป-ฟลอบ (flip-flop) เปิดเกต ระหว่างเวลานี้ counter gate จะถูกเปิด และวงจรนับ ไบนารีจะเริ่มนับความถี่ฐานเวลา
4. zero level detect วงจรนี้จะทำหน้าที่ตรวจสอบระดับการคายประจุของคาปาซิเตอร์ เมื่อถึงเส้นศูนย์ของสัญญาณจะกระตุ้นฟลิป-ฟลอบให้ปิดเกต วงจรนับไบนารีจะหยุดนับ และค้างข้อมูลสูงสุดที่นับได้ไว้เป็นตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำ

หลังจากขั้นตอนการทำงานของวงจร zero level detect วงจรควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องจะให้กำเนิดสัญญาณ store เพื่อเปิด buffer gate และบอกหน่วยความจำให้ทำการบันทึกข้อมูล ณ ตำแหน่งความสูงของพัลส์ที่ประมวลได้ เมื่อสิ้นสุดการบันทึกข้อมูลจะส่งสัญญาณ clear มาให้วงจรแปลงความสูงของพัลส์เริ่มทำงานใหม่ ถ้าขนาดความสูงของพัลส์ต่างกัน conversion time ก็จะต่างกัน ดังแผนภาพเวลาการแปลงสัญญาณขนาดความสูง 5 โวลต์ และ 10โวลต์ เปรียบเทียบกันในรูปที่ 2.9

pulse height conversion process

Pulse hegiht --------> conversion time -------> binary code

(analog signal) ----------------------> (digital signal)

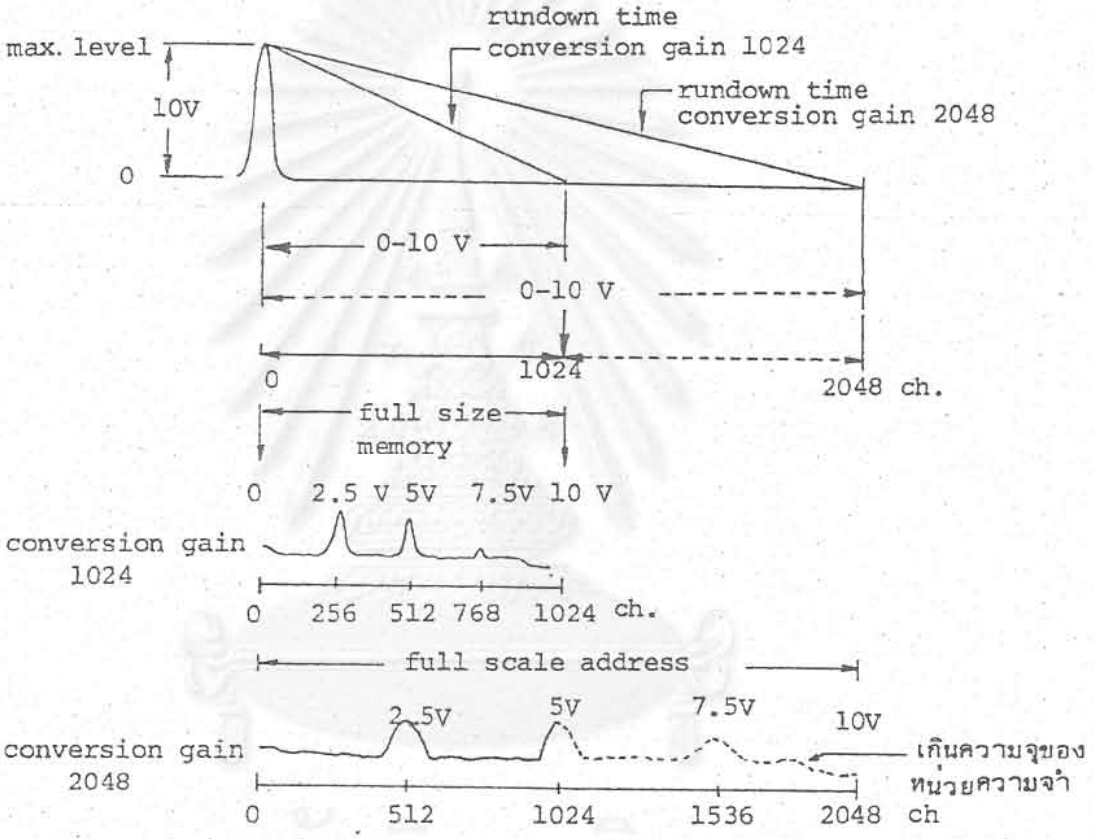


รูปที่ 2.9 แผนภาพเวลาเปรียบเทียบการแปลงความสูงของพัลส์เป็นรหัสไบนารีที่ขนาดสัญญาณ 5 และ 10 โวลต์

2.2.3 เวลาในการแปลงความสูงของพัลส์เป็นสัญญาณเชิงตัวเลข

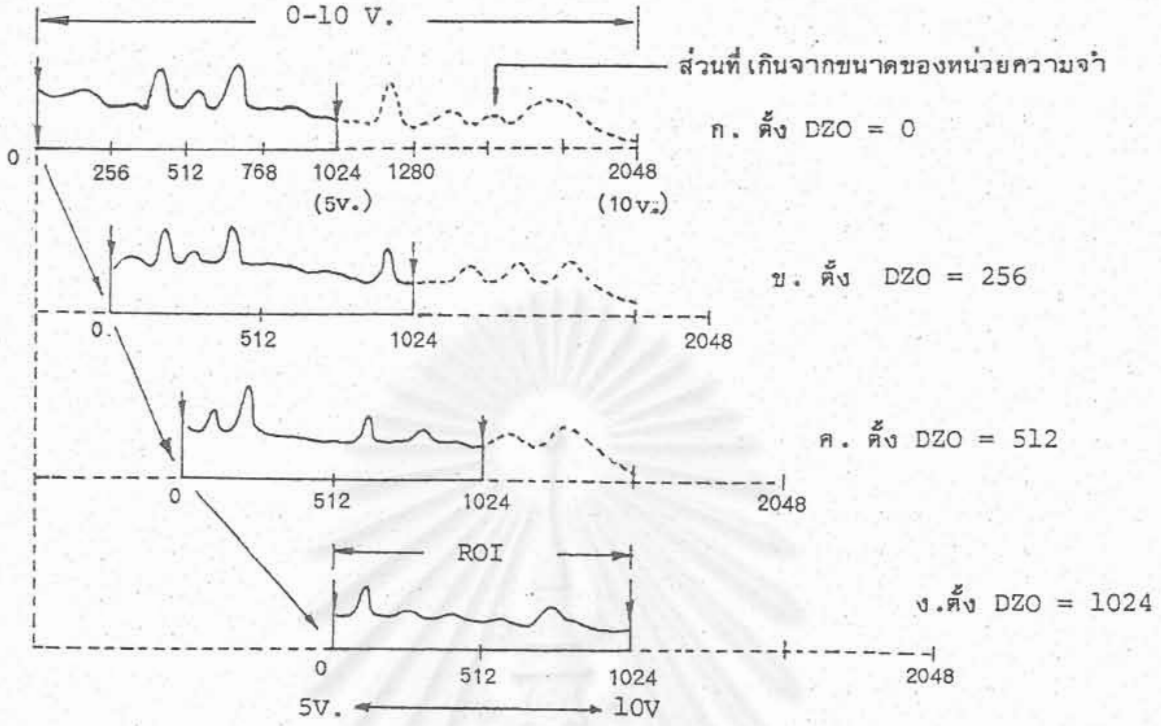
เนื่องจากอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องจะจัดหน่วยความจำไว้ขนาดหนึ่ง บางกรณีอาจต้องการขยายรายละเอียดเฉพาะส่วนของสเปกตรัมสำหรับหัววัดรังสีที่มีความสามารถในการแจกแจงพลังงานสูงให้อยู่บนจอภาพ จึงมีการขยายและจัดสัดส่วนของข้อมูลในระบบเชิงตัวเลข เรียกว่า ADC gain หรือ conversion gain และ ADC offset หรือ digital zero offset ตามลำดับ

ก. conversion gain (CG) เป็นการปรับค่าเต็มสเกลของเวลาการแปลงผัน ให้ขยายออกเป็นสัดส่วนของไบนารี เช่น 1024, 2048 หรือ 4096 เป็นต้น การขยายสัดส่วนนี้ ทำได้โดยการเพิ่มค่าตัวต้านทานในการคายประจุของคาปาซิเตอร์ตำแหน่งสูงสุดของพัลส์จะถูกเปลี่ยนไปตามค่าสูงสุดของเวลาการแปลงผัน ดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการขยายสเปกตรัมด้วย conversion gain

ข. digital zero offset (DZO) เป็นการปรับฐานการแปลงข้อมูลความสูง เพื่อให้ส่วนของสเปกตรัมความสูงที่ถูกขยายออกด้วย conversion gain เลื่อนเข้ามาอยู่ในตำแหน่งช่องวิเคราะห์ของหน่วยความจำ ซึ่งสามารถเริ่มต้นจาก 0, 256, 512 .... 2^n เป็นต้น การปรับฐานการแปลงความสูงของพัลส์ทำได้โดยการใส่ข้อมูลเริ่มนับ (preset count) ที่วงจรนับไบนารีในรูปที่ 2.7 ดังนั้นเมื่อเริ่มแปลงสัญญาณจำนวนนับที่ต่ำกว่าค่าเริ่มนับจะถูกนับทิ้งไป และเริ่มฐาน 0 ที่ค่า DZO ซึ่งใส่ไว้ ทำให้สามารถเลื่อนสเปกตรัมส่วนที่ขยายเข้ามาแทนที่และตัดส่วนหน้าของสเปกตรัมทิ้งไปดังแสดงในรูปที่ 2.11



ก. เมื่อใช้ DZO = 0 ข. DZO = 256

ค. DZO = 512 และ ง. DZO = 1024

รูปที่ 2.11 การตัดข้อมูลความสูงของพัลส์เพื่อสำรองช่องวิเคราะห์ที่ถูกขยายออกด้วย DZO

ดังนั้นการพิจารณาเวลาในการแปลงสัญญาณของวงจรแปลงสัญญาณแบบวิลคินสัน นอกจากจะขึ้นกับความถี่ฐานเวลาแล้ว จะต้องนำเวลาที่ใช้ในการปรับตำแหน่งของสเปกตรัมมาคำนวณร่วมด้วย สมการทั่วไปของเวลาในการแปลงจะเป็น (3)

$$t_c = k + (1/f)(N+X) \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

เมื่อ t_c = เวลาในการแปลงผัน (conversion time)

f = ความถี่ฐานเวลา

N = ตำแหน่งแอดเดรส

X = ค่า digital zero offset ที่ตั้งไว้

k = linear gate time รวมทั้ง memory cycle time

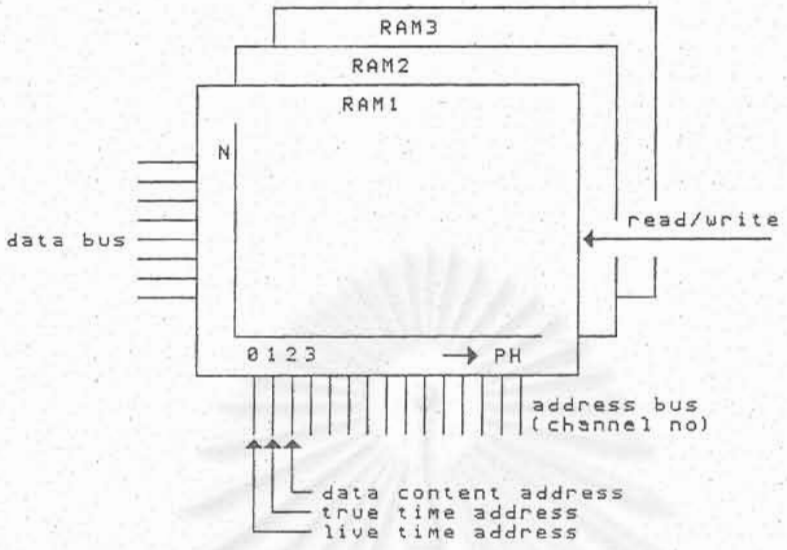
2.2.4 การตั้งเวลานับรังสีในอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง

การวิเคราะห์พลังงานของตัวอย่างที่เป็นสารกัมมันตรังสี จะมีการคำนวณทางสถิติเพื่อหาเวลาในการวัดรังสีที่ให้ผลการวัดถูกต้อง เพื่อนำมาตั้งเวลาให้อุปกรณ์วิเคราะห์เรียกว่า "preset time" แต่จากการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องจะเห็นว่าในส่วนของวงจรแปลงความสูงของพัลส์นั้น หลังจากคาปาซิเตอร์เก็บประจุถึงค่าสูงสุดของพัลส์แล้วระบบการทำงานจะอยู่ในกระบวนการแปลงสัญญาณและบันทึกข้อมูลภายในระบบ เรียกว่า "busy time" ในช่วงเวลานี้จะไม่มีการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ที่เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานของสารกัมมันตรังสีผ่านระบบวัดนิวเคลียร์เลย จึงเรียกช่วงเวลานี้ว่า "dead time" ดังนั้นเพื่อให้อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง ได้ทำการวิเคราะห์พลังงานครบเวลาที่ตั้งไว้ จึงมีการปรับแก้เวลาที่สูญเสียไปในระบบ มีผลทำให้เวลาทำงานของระบบ (true time) นานออกไป เรียกช่วงเวลา preset time นี้ว่า "live time" และเพื่อแสดงเวลาที่สูญเสียไปในระบบในการวัดแต่ละครั้ง อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์จึงมีการแสดงค่า % dead time ไว้ที่เครื่องเสมอ ซึ่งความสัมพันธ์ของเวลาทั้งหมดสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{true time} = \text{live time} \times \frac{1}{1-\text{dead time fraction}} \quad \ldots\ldots(3)$$

2.2.5 หน่วยความจำ

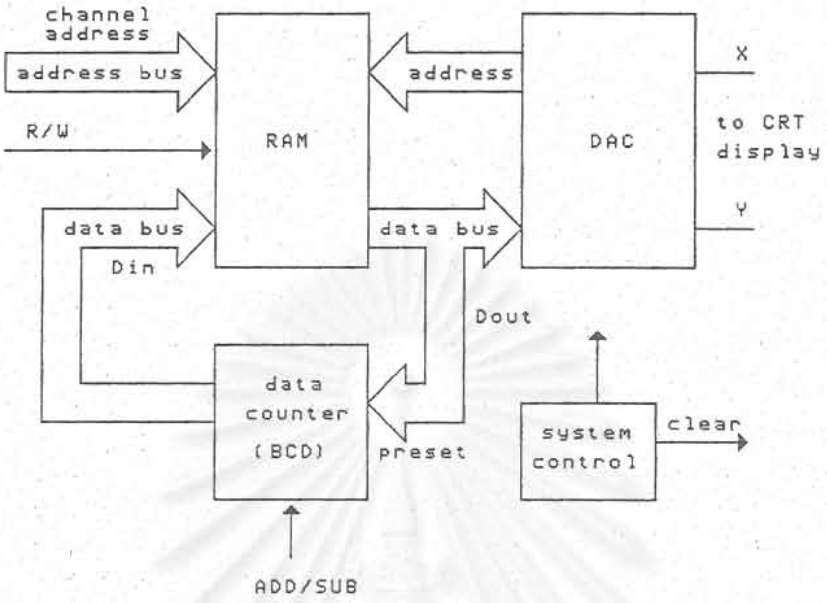
หน่วยความจำเป็นส่วนสำคัญรองลงมาจากวงจรแปลงสัญญาณความสูงของพัลส์ ทำหน้าที่เก็บสะสมข้อมูลการกระจายความสูงของพัลส์ในรูปของฮิสโตรแกรม หรือสเปกตรัม โดยใช้ตำแหน่งแอดเดรสของช่องวิเคราะห์ตั้งแต่ 2 ขึ้นไปถึงตำแหน่งสูงสุด รวมทั้งสะสมเวลาในการวิเคราะห์ในช่องวิเคราะห์ที่ 0 และ 1 ซึ่งอาจจะเป็น live time หรือ true time ขึ้นกับการออกแบบดังในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงการใช้บัสแอดเดรสและบัสข้อมูลในการบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์

ในรูปที่ 2.13 ความสูงของพัลส์ที่ถูกแปลงเป็นรหัสไบนารี (channel address) จะถูกส่งมายังบัสแอดเดรส เพื่อกำหนดตำแหน่งในการบันทึกข้อมูลหลังได้รับคำสั่ง store ณ ตำแหน่งแอดเดรสนี้ ข้อมูลที่ถูกเก็บไว้เดิมจะถูกอ่าน (read) มาโหลดไว้ที่ data counter และตรวจสอบสภาวะของ counter ว่าให้ทำงานที่นับเพิ่มหรือลด (count up/down) ถ้าสภาวะเป็นการเก็บสเปกตรัม คือนับเพิ่ม (ADD) วงจรควบคุมจะสั่งให้ counter บวกค่าจำนวนนับที่อ่านจากหน่วยความจำเพิ่มไปหนึ่งและเขียน (write) กลับไปยังหน่วยความจำที่ตำแหน่งเดิม

เมื่อสิ้นสุดการทำงานจะส่งสัญญาณ clear ไปยังวงจรแปลงสัญญาณความสูงของพัลส์ ให้เริ่มทำการวิเคราะห์พัลส์ลูกถัดไป ข้อมูลใหม่บนหน่วยความจำจะถูกอ่านโดยส่วนแสดงผลผ่านวงจรแปลงสัญญาณเชิงตัวเลขเป็นสัญญาณอนาลอก (DAC) เพื่อแสดงผลบนจอภาพ ขนาดของหน่วยความจำนี้มีขนาดตั้งแต่ 2^{10} channel (1024 ช่อง, 1 k) ไปจนถึง 2^{13} channel (8192 ช่อง, 8 k) การจะใช้ขนาดของหน่วยความจำมากหรือน้อย ขึ้นกับความสามารถในการแจกแจงพลังงานของหัววัดรังสี (energy resolution)



รูปที่ 2.13 แผนภาพการทำงานของหน่วยความจำ

2.3 รูปแบบของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง

วิวัฒนาการของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องในปัจจุบัน ได้ปรับเปลี่ยนไปตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ประกอบกับกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ไมโครได้พัฒนาการผลิตวงจรรวม (integrated circuit) ในสเกลเล็ก (SSI) มาเป็นการผลิตวงจรในสเกลใหญ่มาก (VLSI) ทำให้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วน (discrete component) ขนาดเล็กล้าสมัยและบางส่วนเลิกผลิตไป อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่เคยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วนๆ มีการทำงานที่ซับซ้อน จึงเปลี่ยนมาเป็นอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ (microcomputer based MCA) หรือควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ จากลำดับการพัฒนาของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่ผ่านมา สามารถจำแนกรูปแบบโครงสร้างของระบบได้เป็น 2 ประเภท คือ

ก. Stand alone MCA เป็นอุปกรณ์วิเคราะห์ที่ออกแบบให้มีระบบการทำงานอิสระด้วยตัวเองโดดๆ เฉพาะหน้าที่ในการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ แบ่งได้เป็น

ก.1 แบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วน

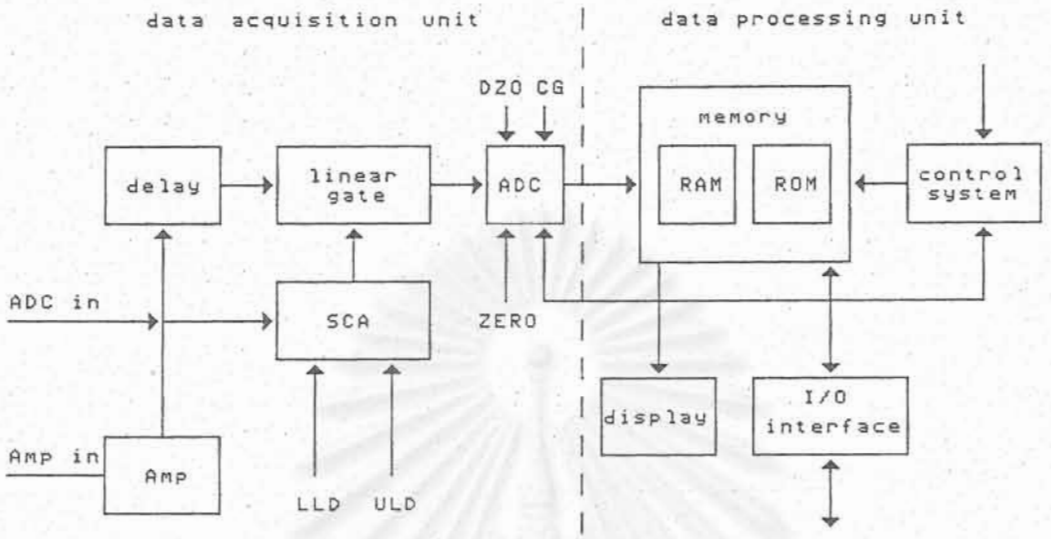
ก.2 แบบควบคุมการทำงานด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

ข. MCA card มีลักษณะเป็นแผ่นวงจรที่ต้องพึ่งช่องขยายการทำงานของไมโครคอมพิวเตอร์และโปรแกรมสำเร็จรูปในการทำงานเป็นอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง

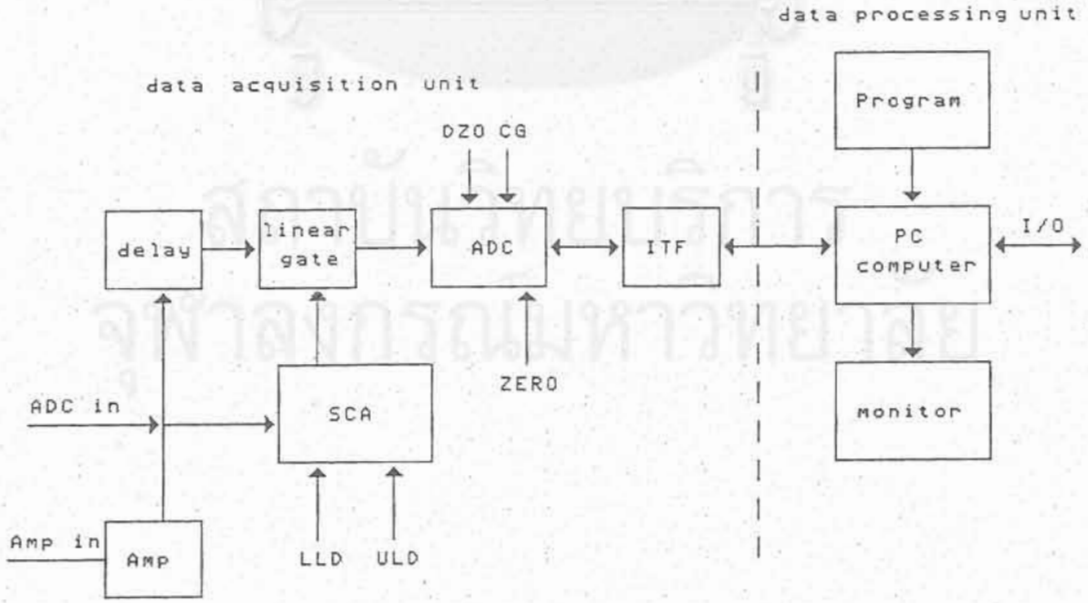
ความแตกต่างของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องซึ่งทำงานด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วน กับแบบที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์แสดงในแผนภาพรูปที่ 2.14 และ 2.15 โครงสร้างที่มีรูปแบบต่างไปจากเดิมเป็นส่วนของหน่วยควบคุมกระบวนการข้อมูล (data processing unit) ซึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลเชิงตัวเลขมาประมวลเพื่อแสดงสเปกตรัมของพลังงาน สำหรับในส่วนของหน่วยรับข้อมูลมาประมวลผล (data acquisition unit) ยังคงเหมือนเดิม เพียงแต่เพิ่มวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ (Interface : ITF) ระหว่าง ADC และ I/O port เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้าทางช่องขยายการทำงานของไมโครคอมพิวเตอร์เท่านั้น การทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องระบบที่ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ล้วน จะทำงานตามลำดับขั้นที่กำหนดไว้ใน ROM ไม่สามารถข้ามขั้นตอนได้ ทำให้มีความล่าช้าและไม่ยืดหยุ่นต่อการใช้งาน ในขณะที่อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ สามารถลดการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนของ data processing unit ไปทั้งหมด และสามารถออกแบบโปรแกรมสนับสนุนให้ทำงานได้อย่างกว้างขวางทั้งเทคนิคในการเก็บข้อมูล แสดงผล คำนวณผล ตลอดจนการติดต่ออุปกรณ์ภายนอกได้อย่างคล่องตัว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง ฐลาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.14 แผนภาพการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่ใช้ระบบการทำงานแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะส่วน



รูปที่ 2.15 แผนภาพการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่ใช้ระบบการควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

บทที่ 3

การพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง

อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่ต้องการพัฒนาขึ้นนี้เป็นแบบ stand alone ซึ่งสามารถพัฒนาได้ใน 2 แนวทางตามหลักการพื้นฐาน คือ ในรูปแบบของการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วนและแบบใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของระบบ ดังที่กล่าวถึงในข้อ 2.3 ในระยะแรกผู้วิจัยได้เริ่มต้นในแนวทางของการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วน พบปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาส่วนต่างๆมาก โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไมโครอันเนื่องมาจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการผลิต มีการเลิกผลิตวงจรที่มีสเกลขนาดเล็กบางส่วนลง ทำให้ไม่สามารถจัดหาชิ้นส่วนที่ต้องการได้ รวมทั้งการพัฒนาแผ่นพิมพ์วงจรแบบเพลตทรูโฮล (plated through hole) นั้นต้องพึ่งพาอาศัยบริษัทเอกชน ซึ่งยังไม่มีเทคนิคที่ทำได้คุณภาพดีเท่าในปัจจุบันและมีราคาสูงมาก ช่วงเวลาที่ผ่านมาจากปัญหาและอุปสรรคด้านเวลาตลอดจนการจัดหาชิ้นส่วนอุปกรณ์ หลังจากงานพัฒนาล่าช้าไป 3-4 ปี เทคโนโลยีด้านเครื่องมือวิทยาศาสตร์ได้เปลี่ยนรูปแบบเป็นการใช้เทคนิคทางคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องมือทั้งหมดเพื่อลดการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นฮาร์ดแวร์ (hardware) ลงไป เพิ่มการทำงานด้วยซอฟแวร์ (software) ซึ่งมีความยืดหยุ่นต่อการพัฒนาระบบมากขึ้น ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องแบบใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วนที่มีราคาสูงและมีแนวโน้มที่จะหาอุปกรณ์และชิ้นส่วนภายในประเทศยาก มาเป็นอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ดังรายละเอียดของการดำเนินงานต่อไปนี้

3.1 ข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและสร้าง

1) อุปกรณ์วิเคราะห์ต้องการให้มีส่วนขยายสัญญาณพัลส์และแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงสำหรับใช้กับหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนลและชนิดเรืองรังสีได้โดยตรง

2) ส่วนขยายสัญญาณพัลส์ มีโครงสร้างรวมแบบ preamplifier/amplifier โดยภาคขยายส่วนหน้าเป็นแบบ charge sensitive และภาคขยายหลักสามารถขยายสัญญาณพัลส์ได้อย่างเป็นสัดส่วนเชิงเส้นในช่วง 0 ถึง 10 โวลต์

3) แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงจะต้องปรับศักดาไฟฟ้าได้จาก 0-2000 โวลต์ จ่ายกระแสได้สูงสุด 100 ไมโครแอมแปร์

4) ส่วนวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว (SCA) สามารถเลือกช่องวิเคราะห์พลังงานได้โดยปรับระดับศักดาอ้างอิงด้านล่าง (LLD) และด้านบน (ULD) ในช่วงศักดาไฟฟ้า 0-10 โวลต์

5) ส่วนแปลงสัญญาณพัลส์อนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข(ADC) ใช้ความถี่ฐานเวลาขนาด 50 MHz โดยแปลงเป็นรหัสไบนารี (binary code) ขนาด 10 บิต เพื่อสอดคล้องกับขนาดของหน่วยความจำ และสามารถปรับค่า CG ได้จาก 512, 1024 และ 2048 และ DZO ปรับได้จาก 0, 256, 512, 768, 1024, 1280 1536, 1792

6) หน่วยความจำมีขนาดไม่น้อยกว่า 1 กิโลบิต เพื่อกำหนดช่องวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ไม่น้อยกว่า 1024 ช่อง แต่ละช่องสามารถบันทึกข้อมูลนับรังสีได้อย่างน้อย 10^6-1 จำนวนนับ และสามารถหักลบข้อมูลแบรคกราวนด์ (back ground) ได้

7) ส่วนควบคุมเวลาวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ สามารถตั้งเวลาได้ไม่น้อยกว่า $9x10^4$ วินาที โดยเลือกการทำงานได้ทั้งแบบ real time และ live time

8) ส่วนแสดงผล (display) สามารถแสดงเส้นกราฟของสเปกตรัมและรายละเอียดของข้อมูลช่องวิเคราะห์ จำนวนนับรังสี ผลรวมพื้นที่ใต้พีคพลังงาน และค่า dead time

9) ส่วนเชื่อมโยงสัญญาณ สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ได้แก่ เครื่องพิมพ์ เครื่องเขียนกราฟ และระบบเก็บข้อมูลภายนอก

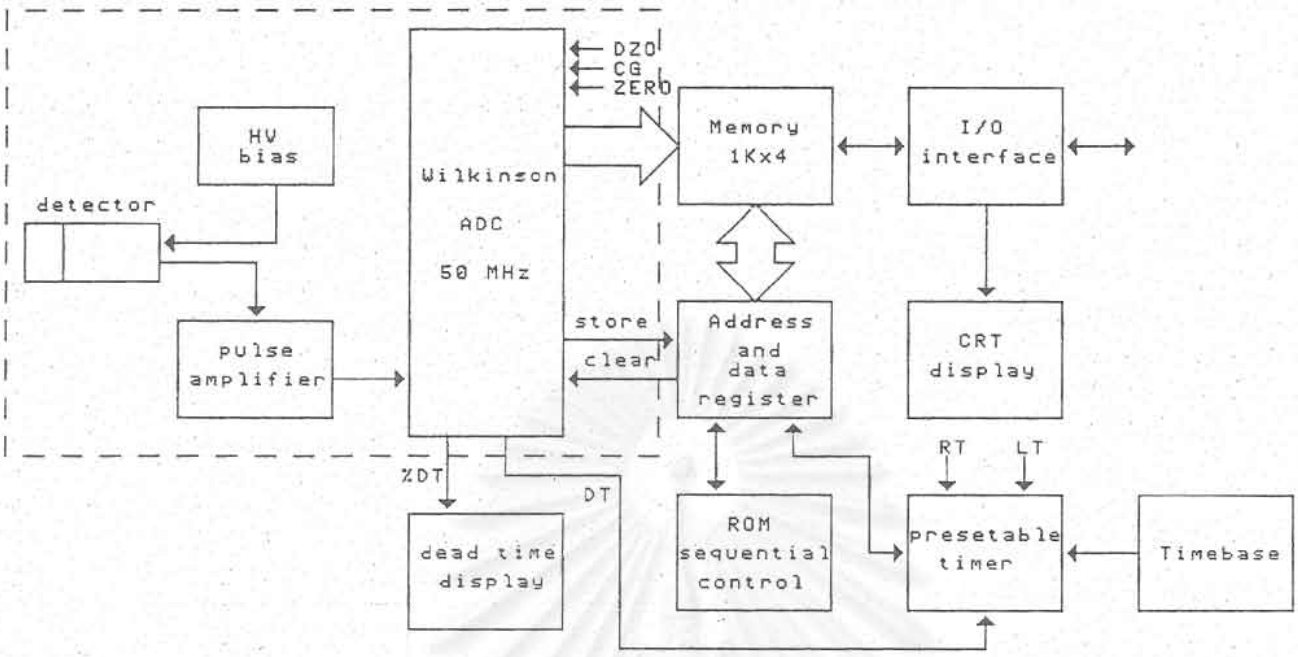
3.2 การออกแบบอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องชนิดใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะส่วน

3.2.1 โครงสร้างของระบบที่เริ่มพัฒนา

อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ที่ออกแบบขึ้นครั้งแรก ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะส่วนหลายส่วน ดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 3.1 ได้แก่

ก. ระบบวัดส่วนหน้า ประกอบด้วยอุปกรณ์ย่อยคือ แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง ปรับค่าศักดาได้ 0-2000 โวลต์ และภาคขยายสัญญาณพัลส์ซึ่งสามารถขยายความสูงของพัลส์ได้ในช่วง 0-10 โวลต์

ข. ระบบแปลงสัญญาณพัลส์อนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข ซึ่งใช้หลักการของวิลคินสัน มีความถี่ฐานเวลาขนาด 50 MHz สร้างสัญญาณตำแหน่งช่องวิเคราะห์ขนาด 10 บิต มีสัญญาณ store เป็นสัญญาณหลักในการขอบันทึกข้อมูลต่อระบบควบคุม และรับสัญญาณ clear เพื่อควบคุมการเริ่มต้นแปลงสัญญาณ



รูปที่ 3.1 แผนภาพของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องชนิดใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะส่วน

ค. หน่วยความจำ ใช้ static RAM ขนาด 1k x 4 bit จัดเป็นชุดบันทึกข้อมูลโดยรับข้อมูลบัสแอดเดรสจาก ADC และรับข้อมูลนับรังสีรหัส BCD จากระบบควบคุมการบันทึกข้อมูล(address and data register) ขนาดความจุ 10^6-1 จำนวนนับต่อช่องวิเคราะห์

ง. ระบบควบคุมการบันทึกข้อมูล ทำหน้าที่รับสัญญาณจาก ADC เพื่อควบคุมการเก็บข้อมูลทางบัสข้อมูลและบัสแอดเดรส รวมทั้งจัดลำดับขั้นการทำงานให้สอดคล้องกับการแสดงผลการรวมจำนวนนับบนพื้นที่ใต้พีคพลังงาน

จ. ระบบควบคุมลำดับขั้นการทำงานของระบบ (ROM sequential control) เป็นระบบที่ออกแบบสำหรับควบคุมลำดับขั้นการทำงานของวงจรต่างๆของระบบวิเคราะห์ โดยเก็บลำดับขั้นต่างๆไว้คล้ายโปรแกรมในหน่วยความจำถาวร

ฉ. ระบบตั้งเวลาวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ ประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบปริมาณเชิงตัวเลขและวงจรกำเนิดความถี่ฐานเวลา สามารถเลือกตั้งเวลาวิเคราะห์ในแบบ real time และ live time และเก็บข้อมูลเวลาไว้ที่ตำแหน่งช่องวิเคราะห์หมายเลข 0

ช. ระบบแสดงผล ประกอบด้วย วงจรควบคุมการเขียนเส้นกราฟบนจอ CRT เพื่อแสดงสเปกตรัมความสูงของพัลส์ พร้อมทั้งตัวอักษรแสดงช่องวิเคราะห์ ปริมาณนับรังสีและผลรวมของปริมาณนับบนพื้นที่ใต้พีค อีกส่วนหนึ่งเป็นมิเตอร์เข็มแสดงค่าร้อยละของเดดไทม์

ช. ระบบเชื่อมโยงสัญญาณ เป็นระบบควบคุมการผ่านเข้าออกของข้อมูลเชิงตัวเลข ทั้งตำแหน่งช่องวิเคราะห์ ปริมาณนับรังสี และข้อความบ่งชี้ข้อมูลเฉพาะ ระหว่างหน่วยความจำและอุปกรณ์ภายนอก

การทำงานของระบบ เริ่มจากหัววัดรังสีที่ได้รับการไบอัสไฟฟ้าศักดาสูงจะเปลี่ยนพลังงานของรังสีที่ตกกระทบหัววัดให้เป็นสัญญาณพัลส์ขนาดเล็กที่มีสัดส่วนสัมพันธ์กับระดับพลังงาน ภาคขยายสัญญาณจะขยายสัญญาณให้มีขนาดสูงขึ้นในช่วงการแปรเปลี่ยน 0-10 โวลต์ โดยสัญญาณพัลส์จะได้รับการแต่งรูป เพื่อให้ได้อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N) สูงตามหลักการสเปกโตรสโคปี (spectroscopy) สัญญาณพัลส์ที่ส่งให้ระบบแปลงสัญญาณจะถูกแปลงข้อมูลตามกระบวนการของวิลคินสัน สร้างข้อมูลเชิงตัวเลขขนาด 10 บิต ที่มีสัดส่วนสัมพันธ์กับความสูงของพัลส์ เมื่อสิ้นสุดการแปลงสัญญาณวงจรภายในจะสร้างสัญญาณ store ส่งให้กับระบบควบคุมการบันทึกข้อมูล และระบบควบคุมการบันทึกข้อมูลจะใช้ข้อมูลเชิงตัวเลขที่ ADC แปลงกำหนดตำแหน่งช่องวิเคราะห์ โดยใช้อ้างตำแหน่งบนบัสแอดเดรส เริ่มอ่าน (read) ข้อมูลจำนวนนับเดิมของช่องวิเคราะห์ในหน่วยความจำมาเก็บไว้ใน register พร้อมทั้งบวกข้อมูลในระบบ BCD เพิ่มขึ้น 1 ครั้ง และส่งกลับไปเขียน (write) ไว้ในตำแหน่งของหน่วยความจำเดิม เป็นการเพิ่มข้อมูลเมื่อสิ้นสุดการบันทึกข้อมูล ระบบแสดงผลจะอ่านข้อมูลใหม่บนหน่วยความจำแสดงผลบนจอ รวมทั้งตรวจสอบข้อมูลการรวมปริมาณนับรังสีบนพื้นที่ใต้พีค ตลอดจนตรวจสอบเวลานับรังสีที่ตั้งไว้ ขั้นตอนเหล่านี้จะถูกควบคุมโดยตรงจากระบบควบคุมลำดับขั้นการทำงานของระบบ เมื่อยังอยู่ในช่วงเวลาวิเคราะห์พลังงาน เมื่อจบขั้นตอนทางการบันทึกปริมาณนับรังสี ระบบควบคุมการบันทึกข้อมูลจะส่งสัญญาณ clear ออกไปเริ่มต้นการทำงานของ ADC เป็นวงรอบต่อเนื่อง จนกว่าจะสิ้นสุดเวลาวิเคราะห์หรือยกเลิกการทำงาน ช่วงเวลาวัดรังสีทุก 1วินาที จะถูกบันทึกที่ช่องวิเคราะห์ตำแหน่งที่ศูนย์และสัญญาณพัลส์ของช่วงเวลาการแปลงสัญญาณ จะถูกแปลงเป็นค่าเฉลี่ยศักดาไฟฟ้าแสดงผลเป็นค่าร้อยละของเดดไทม์ด้วยมิเตอร์เข็ม

3.2.2 การวางแผนประกอบเครื่องต้นแบบที่ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะส่วน

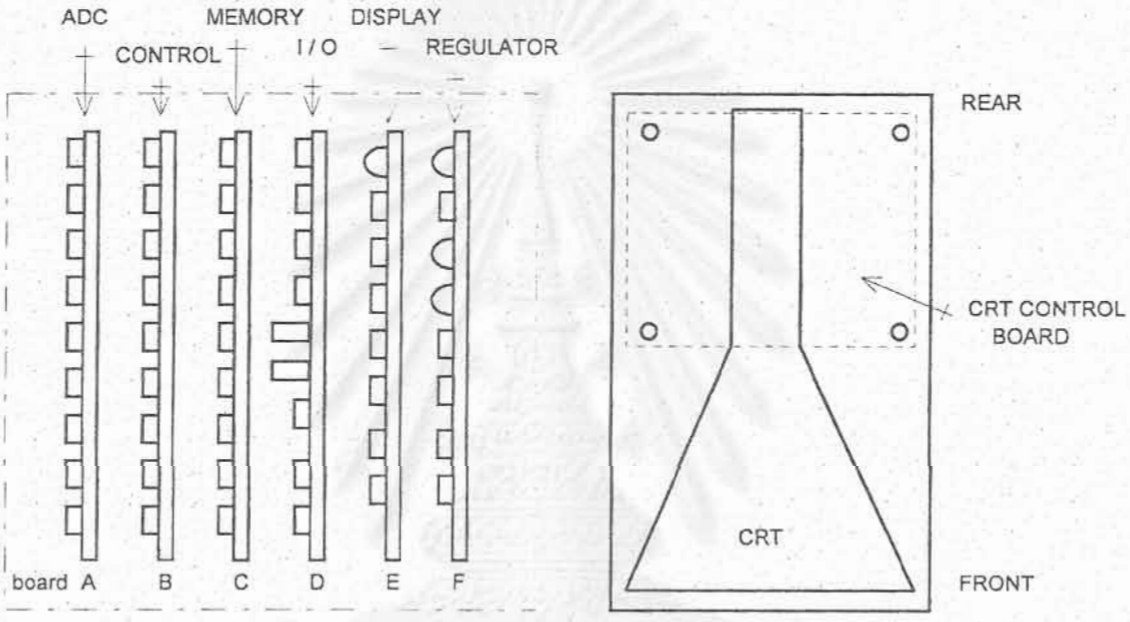
จากโครงสร้างของวงจรต่างๆ ได้จัดแบ่งวงจรเพื่อให้อยู่บนวงจรแผ่นพิมพ์ได้ 6 แผ่น ได้แก่

1. แผ่นวงจรแปลงสัญญาณ (ADC board)
2. แผ่นวงจรควบคุมการทำงานของระบบ (control board)
3. แผ่นวงจรหน่วยความจำ (memory board)
4. แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ (I/O board)

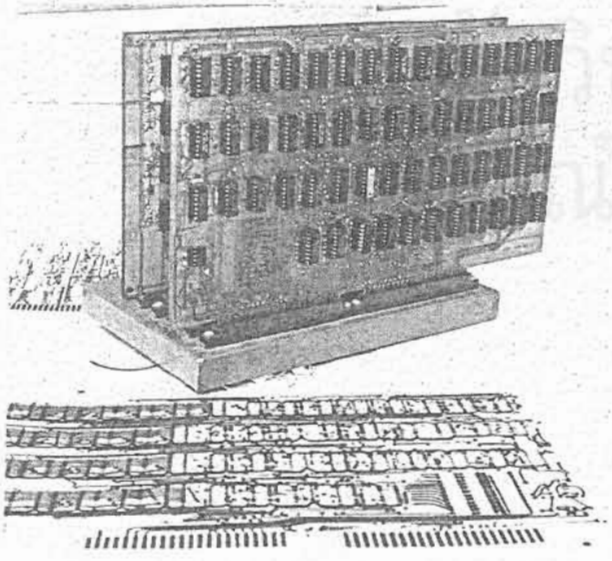
5. แผ่นวงจรแสดงผล (display board)

6. แผ่นวงจรควบคุมไฟฟ้าศักดาต่ำ (regulator board)

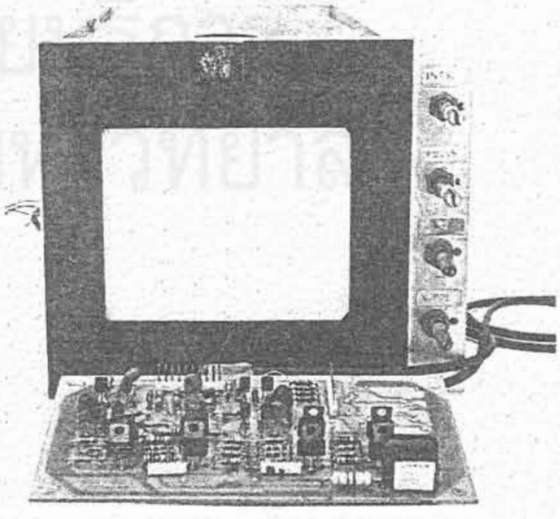
นอกจากนี้ยังมีส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ แผ่นวงจรควบคุมด้านหน้าและด้านหลัง รวมทั้งส่วนแสดงผลซึ่งอยู่ในขั้นตอนการออกแบบไว้



รูปที่ 3.2 การจัดวางแผ่นวงจรภายในโครงแท่นเครื่อง



รูปที่ 3.3 แผ่นวงจรที่พัฒนาแล้วบางส่วนบนโครงแท่นเครื่อง



รูปที่ 3.4 ส่วนแสดงผลบนจอ CRT ที่พัฒนาขึ้น

ในรูปที่ 3.3 และ 3.4 แสดงต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่ได้พัฒนาไว้ถึงระดับหนึ่งและได้พบอุปสรรคมากในการจัดหาชิ้นส่วน อุปกรณ์สวิตช์ขนาดเล็กต่างๆ ตลอดจนการออกแบบและสร้างแผ่นพิมพ์วงจรซึ่งมีแผ่นใหญ่มาก (18x31 ซม.) จำนวน 6 แผ่น เนื่องจากการพัฒนาในรูปแบบที่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วนจะต้องสร้างระบบเองทุกอย่าง แม้กระทั่งวงจรควบคุมจอแสดงผล ทำให้งานออกแบบและสร้างเป็นไปด้วยปัญหาทำให้เกิดความล่าช้า สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง คาดว่าในอนาคตจะไม่สามารถหาชิ้นส่วนที่ใช้พัฒนาต้นแบบในระยะแรกนี้ได้โดยเฉพาะวงจรเกตขนาดเล็กขาดหายไปจากตลาดอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศ และมีวงจรไมโครใหม่ซึ่งต้องใช้กระบวนการโปรแกรมกำหนดเกตต่างๆลงไป คือวงจรไมโครประเภท PAL (programmable array logic) ซึ่งยุ่งยากในการจัดประกอบในอนาคต และประกันไม่ได้ว่าจะอยู่ในตลาดอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศนานมากน้อยเพียงใด เมื่อเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มีบทบาทในการทำงานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่โดยการใช้โปรแกรมควบคุมขั้นตอนเสียนแบบ การทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ระหว่างการพัฒนาในระยะแรกดังได้กล่าวมาแล้วนั้น จึงทำให้ผู้วิจัยจำเป็นต้องเปลี่ยนแนวทางมาเป็นการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีราคาประหยัดในปัจจุบัน ควบคุมการทำงานของระบบวิเคราะห์แบบหลายช่องแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วนที่ซับซ้อน

3.3 การออกแบบอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

การออกแบบอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์นี้ เป็นเพียงการปรับแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง โดยยังอาศัยข้อมูลออกแบบพื้นฐานในข้อ 3.1 เดิม ใช้โปรแกรมควบคุมขั้นตอนการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แทนการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ และเพิ่มโปรแกรมสนับสนุนการใช้งาน รูปแบบการแสดงผลของสเปกตรัม รายละเอียดคำสั่งให้ระบบทำงานบนจอภาพ และการพิมพ์ผลวิเคราะห์ ดังนั้นการออกแบบและสร้างอุปกรณ์วิเคราะห์ในรูปแบบนี้ จึงแบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วนคือ

ก. การออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์ (hardware) แบ่งออกเป็นส่วนย่อย 2 ส่วน คือ

ก.1 ระบบวัดส่วนหน้าและระบบแปลงสัญญาณ ทั้งสองระบบนี้ออกแบบให้มีขนาดของแผ่นวงจร สามารถบรรจุในโครงบรรจุโมดุลอิเล็กทรอนิกส์มาตรฐาน EURO card[4] ซึ่งสามารถสับเปลี่ยนโมดุลเมื่อต้องการบำรุงรักษา หรือพัฒนาการทำงานของระบบวัดและระบบแปลงสัญญาณใหม่ได้โดยอิสระ

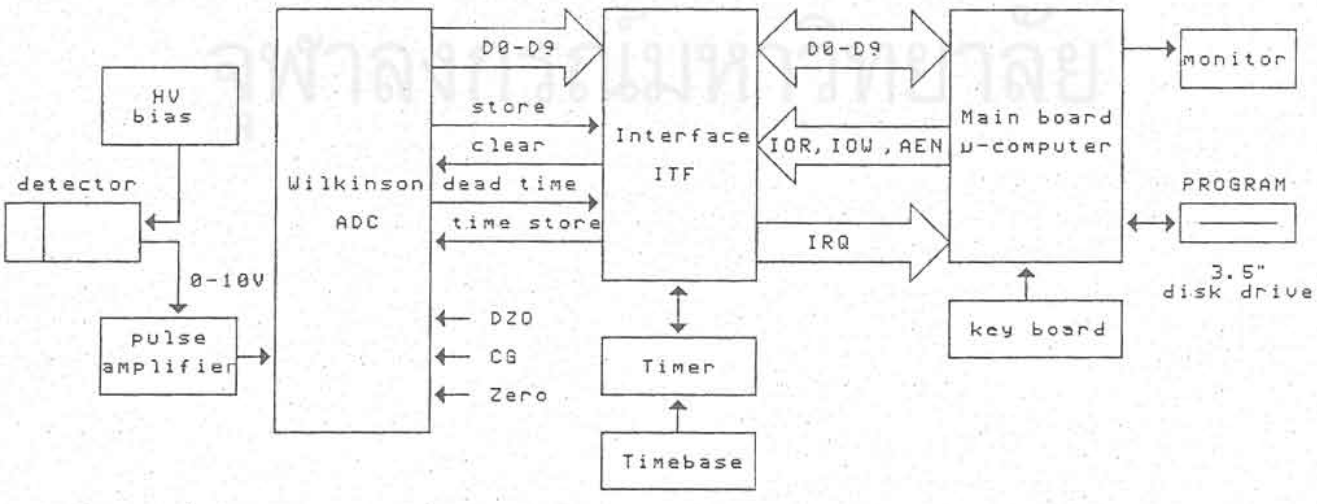
ก.2 ระบบเชื่อมโยงสัญญาณ ออกแบบให้สามารถติดต่อกับช่องขยายการทำงานขนาด 8 บิต (XT slot)[5] บนแผ่นวงจรหลัก (main board) ของไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC XT/AT หรือแผ่นวงจรหลักของไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะใกล้เคียงกัน ด้วยลักษณะการทำงานแบบ interrupt service routine I/O [6] ให้รับสัญญาณเชิงตัวเลขจากระบบแปลงสัญญาณ เพื่อกำหนดตำแหน่งช่องวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ และส่งสัญญาณควบคุมขั้นตอนการทำงานภายในระบบ

ข. การออกแบบส่วนของซอฟแวร์ (software) หรือส่วนของโปรแกรม ออกแบบให้สามารถควบคุมการติดต่อระหว่างระบบแปลงสัญญาณและไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อรับส่งข้อมูลทางพอร์ตทางเข้าและออกบนช่องขยายการทำงานและรายงานผลการวิเคราะห์ทางจอภาพโมโนโครม (monochrome) โดยใช้พื้นที่โอนถ่ายข้อมูลของหน่วยความจำบนไมโครคอมพิวเตอร์บริเวณ prototype card (บริเวณตำแหน่ง 710H - 71FH) โปรแกรมที่ออกแบบเขียนด้วยภาษาเบสิกและแอสเซมบลี แบ่งได้เป็น

ข.1 โปรแกรมหลัก (main program) ได้แก่ โปรแกรมที่ทำหน้าที่จัดการเริ่มต้นทำงานของระบบ (set up) แสดงสเปกตรัม ตรวจสอบการกดแป้นพิมพ์ และควบคุมการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ย่อยในระบบเชื่อมโยงสัญญาณ

ข.2 โปรแกรมย่อย (sub program) เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่อ่านข้อมูลเชิงตัวเลขจากระบบแปลงสัญญาณ เมื่อมีคำสั่ง store ส่งมายังไมโครคอมพิวเตอร์

3.3.1 โครงสร้างของระบบวิเคราะห์ที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

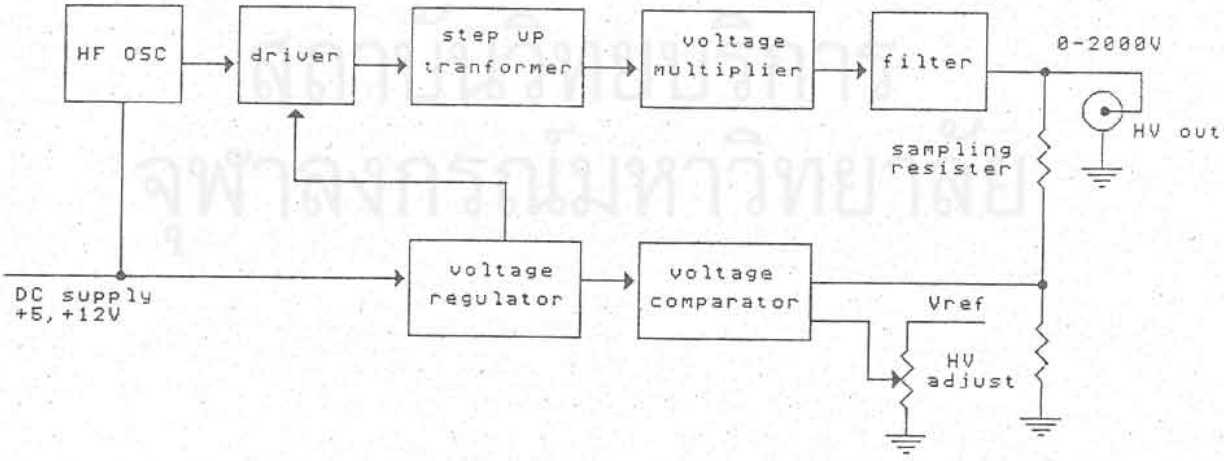


รูปที่ 3.5 แผนภาพของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

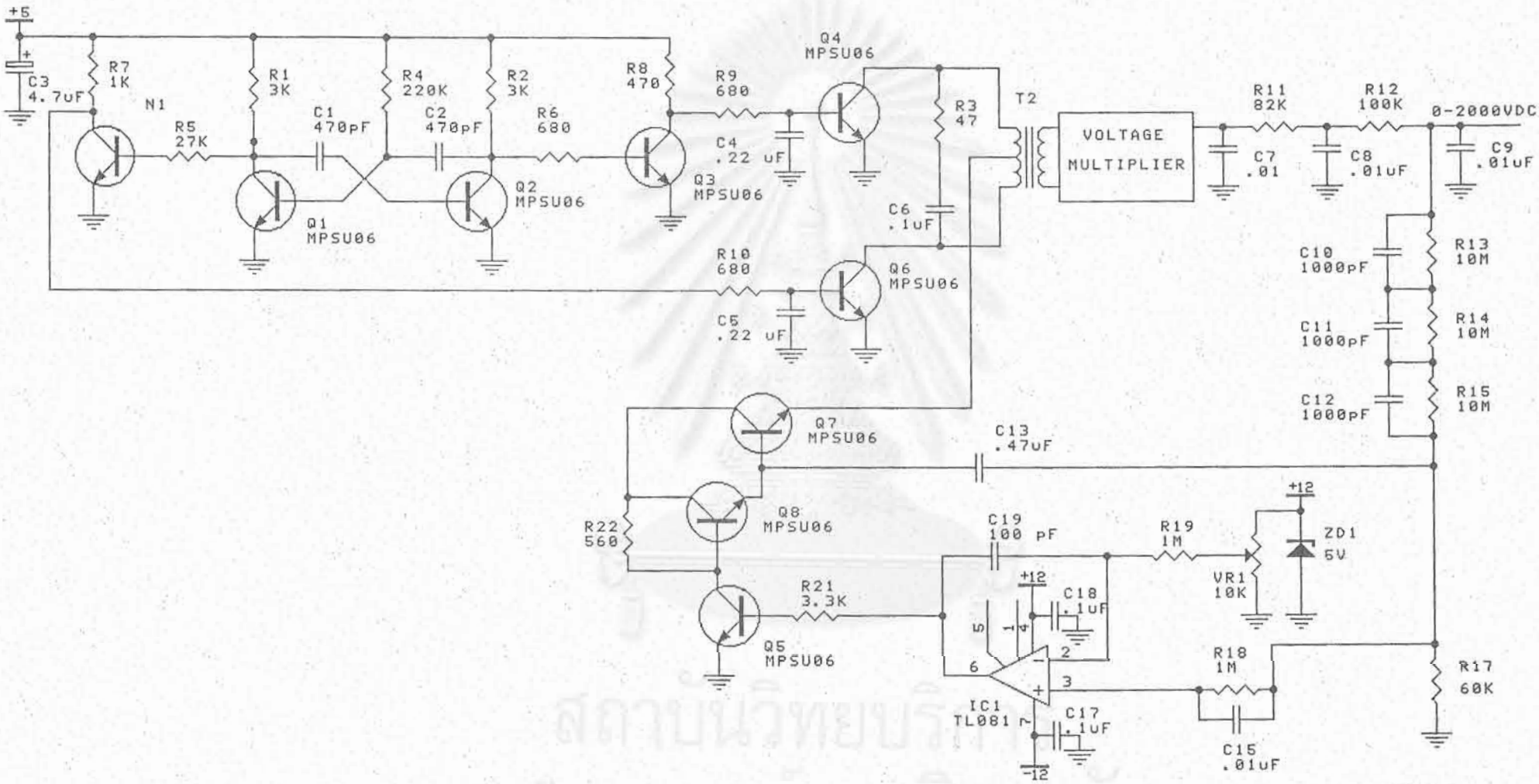
อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบขึ้นประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ ระบบวัดนิวเคลียร์ ระบบแปลงสัญญาณ (ADC) ระบบเชื่อมโยงสัญญาณ และไมโครคอมพิวเตอร์ ดังแสดงการทำงานในรูปที่ 3.5 แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงสำหรับไบอัสหัววัดรังสีสามารถปรับค่าได้จาก 0 ถึง 2000 โวลต์ ที่กระแส 100 ไมโครแอมแปร์ และอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์สามารถปรับอัตราขยายได้ต่อเนื่อง 100 เท่า ซึ่งจัดวิธีการปรับแบบอัตราลดทอนสัญญาณ 1:20 เพื่อปรับขนาดความสูงของพัลส์พลังงานให้ได้สัดส่วนกับตำแหน่งของช่องวัดที่ต้องการ สัญญาณพัลส์ทางออกจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณจะส่งเข้าระบบแปลงสัญญาณ เพื่อแปลงความสูงของพัลส์อนาลอกเป็นรหัสไบนารีขนาด 10 บิต โดยไมโครคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่ควบคุมขั้นตอนการประมวลข้อมูลตามลำดับขั้นการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์และบันทึกผลวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ในหน่วยความจำที่ตำแหน่งแอดเดรส ซึ่งกำหนดเป็นช่องวิเคราะห์ต่างๆตามเวลานับรังสีที่ตั้งไว้ การทำงานของระบบวิเคราะห์และไมโครคอมพิวเตอร์จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณที่กำเนิดจากโปรแกรมผ่านทางระบบเชื่อมโยงสัญญาณ นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมสำหรับควบคุมการใส่ข้อมูลก่อนวิเคราะห์ การแสดงสเปกตรัม และค่าวิเคราะห์ รวมทั้งการพิมพ์ผลวิเคราะห์

3.3.2 ระบบวัดรังสีส่วนหน้า

3.3.2.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง



รูปที่ 3.6 แผนภาพของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

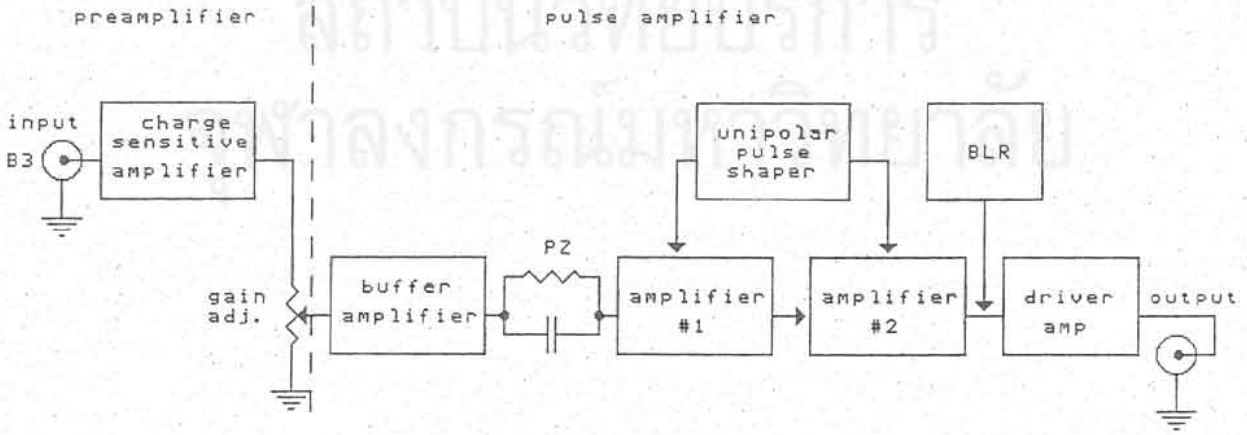


รูปที่ 3.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่พัฒนาขึ้น เป็นแบบ push-pull driver รับไฟฟ้าศักดาต่ำจาก Eurocard frame +5 และ ±12 โวลต์ เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้าศักดาสูง ปรับค่าได้จาก 0-2000 โวลต์ จ่ายกระแสสูงสุดได้ 100 ไมโครแอมแปร์ ดังแสดงการทำงานในแผนภาพรูปที่ 3.6 ประกอบด้วย วงจรกำเนิดความถี่ วงจรขับกระแส หม้อแปลงเพิ่มศักดาไฟฟ้า วงจรทวีศักดาไฟฟ้า วงจรกรองกระแส วงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้า และวงจรควบคุมศักดาไฟฟ้าให้คงที่

รูปที่ 3.7 เป็นวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง Q_1 และ Q_2 เป็นวงจร astable multivibrator กำเนิดความถี่ 7 kHz ส่งให้กับวงจรขยาย push-pull ซึ่งประกอบด้วย Q_3,Q_4 และ Q_5,Q_6 เพื่อขับกระแสไฟฟ้าในหม้อแปลงเพิ่มศักดาไฟฟ้า T_1 ที่มีอัตราส่วน 1:100 ศักดาไฟฟ้ากระแสสลับจะได้รับการทวีศักดาเป็น 4 เท่า พร้อมทั้งเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าศักดาสูงกระแสตรง กรองกระแสให้เรียบด้วย R_{11}, R_{12}, C_7, C_8, C_9 ไฟฟ้าศักดาสูงจะถูกแบ่งค่าด้วยอัตราลดทอนของความต้านทาน 500:1 ส่งเข้าวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าที่ IC1 ขา 3 เปรียบเทียบกับค่าศักดาอ้างอิงซึ่งปรับค่าได้ด้วย VR_1 สำหรับปรับค่าไฟฟ้าศักดาสูงและควบคุมศักดาให้คงที่ โดยสัญญาณทางออกขา 6 ของ IC1 จะนำไปควบคุมการทำงานของวงจรควบคุมไฟฟ้าศักดาต่ำ Q_7-Q_9 เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจรขับกระแส

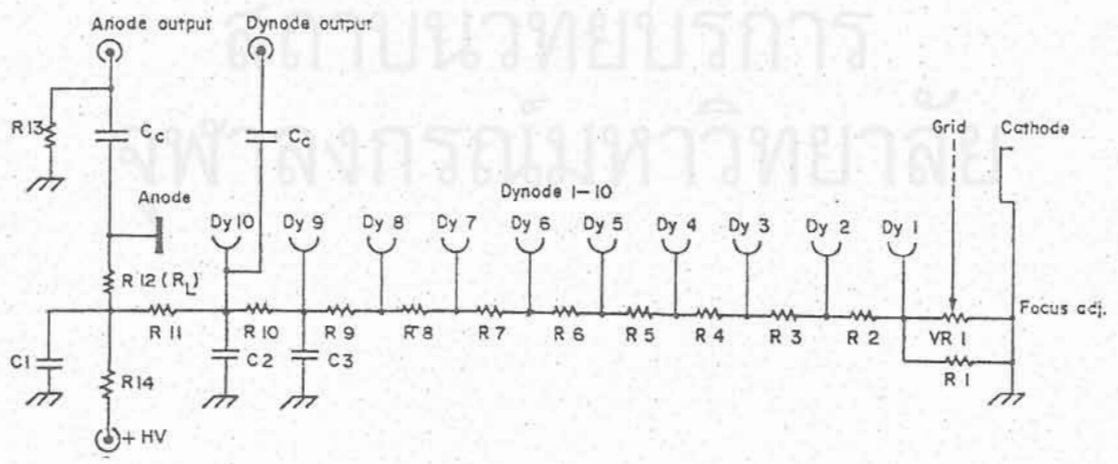
3.3.2.2 อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์



รูปที่ 3.8 แผนภาพของอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์

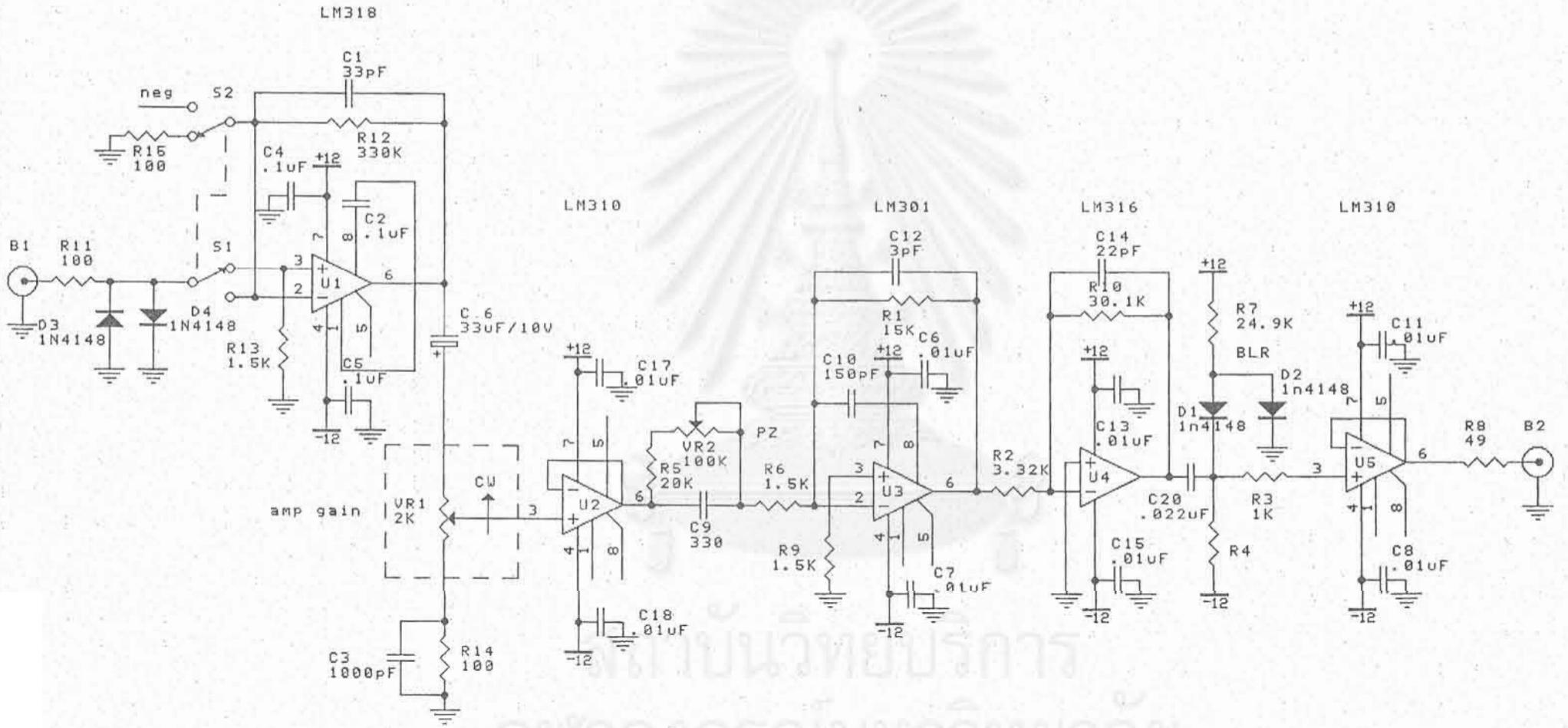
อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ประกอบด้วยภาคขยายส่วนหน้าแบบ charge sensitive และภาคขยายหลัก ซึ่งแต่งรูปสัญญาณในแบบยูนิโพลา (unipolar) ดังในแผนภาพรูปที่ 3.8 และวงจรในรูปที่ 3.10 โดยที่ IC U_1 จัดวงจรแบบ charge sensitive หรือ integrator ใช้ค่าตัวเก็บประจุ C_1 เท่ากับ 33 pF ส่งสัญญาณผ่าน C_6 มายังรีเซทซิริอมิเตอร์ (potentiometor) VR_1 เพื่อปรับอัตราขยายซึ่งจัดสัดส่วนไว้ 20:1 วงจรขยายหลัก (U_3) จะรับสัญญาณผ่าน U_2 (buffer amplifier) เป็นการขยายสัญญาณขั้นที่ 1 ซึ่งจัดวงจรขยายแบบ inverting อัตราขยายประมาณ 10 เท่า สัญญาณระหว่าง U_1 และ U_3 จะถูกดิเฟอเรนชิเอต (differentiate) ด้วย C_9 และชดเชยการส่งผ่านสัญญาณด้วยวงจร pole zero cancellation (PZ) ซึ่งประกอบด้วย C_9, R_5 และ VR_2 จากนั้นสัญญาณจะถูกขยายครั้งที่ 2 ด้วย U_4 ที่จัดวงจรขยายเช่นเดียวกับ U_3 ด้วยอัตราขยาย 10 เท่า สัญญาณที่อยู่ระหว่างการขยายของ U_3 และ U_4 จะได้รับการ integrate ด้วย C_{12} และ C_{14} ทำให้รูปสัญญาณพัลส์มีลักษณะเป็นยูนิโพลาพัลส์ที่มีความกว้างของพัลส์ประมาณ 4 μs สัญญาณที่ได้รับการขยายและแต่งรูปสัญญาณแล้วจะถูกส่งต่อไปยังวงจรขับกระแสไฟฟ้า U_5 ผ่าน C_{20} โดยมีการปรับชดเชยระดับเส้นฐานของสัญญาณด้วยวงจร Base Line Restorer (BLR) ทางออกของอุปกรณ์ขยายสัญญาณนี้มีอิมพีแดนซ์ประมาณ 50 โอห์ม

รูปที่ 3.9 เป็นวงจรฐานหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนสำหรับไบอัสหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนของหัววัดเรืองรังสีชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) สัญญาณทางออกที่แอโนด (anode output) จะถูกส่งไปยังภาคขยายส่วนหน้า



Photomultiplier tube base circuit

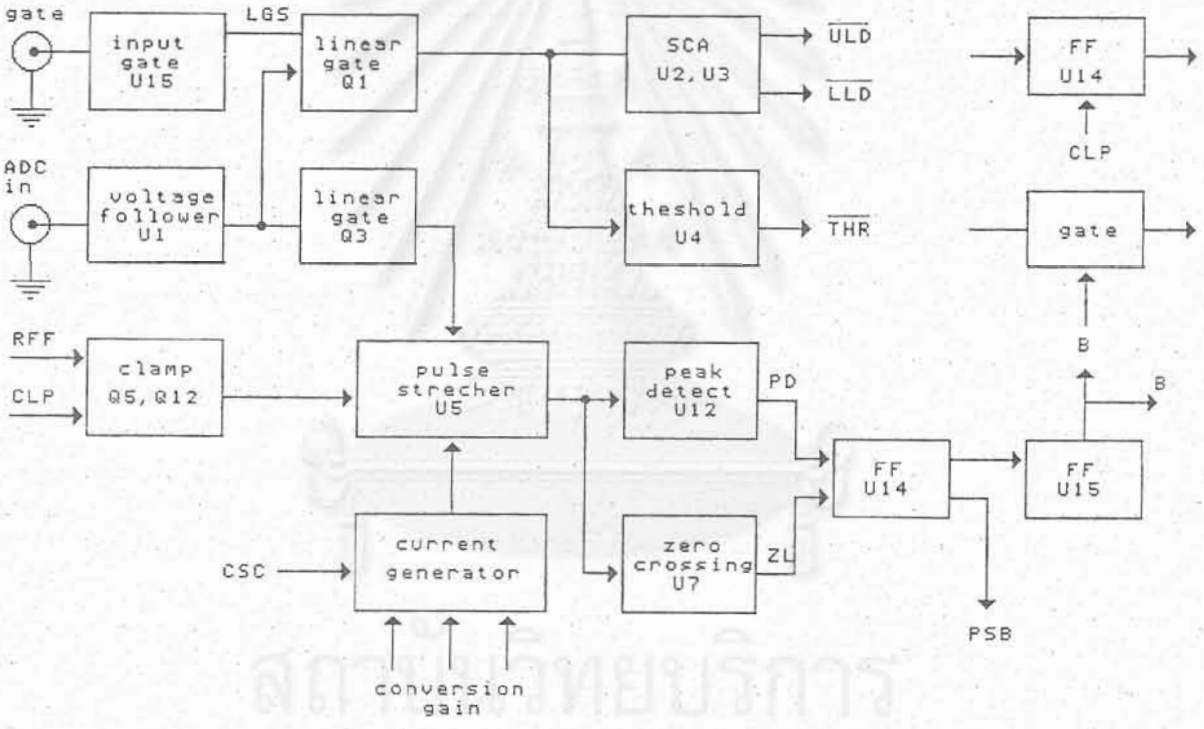
รูปที่ 3.9 วงจรฐานหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนสำหรับหลอด RCA 8053



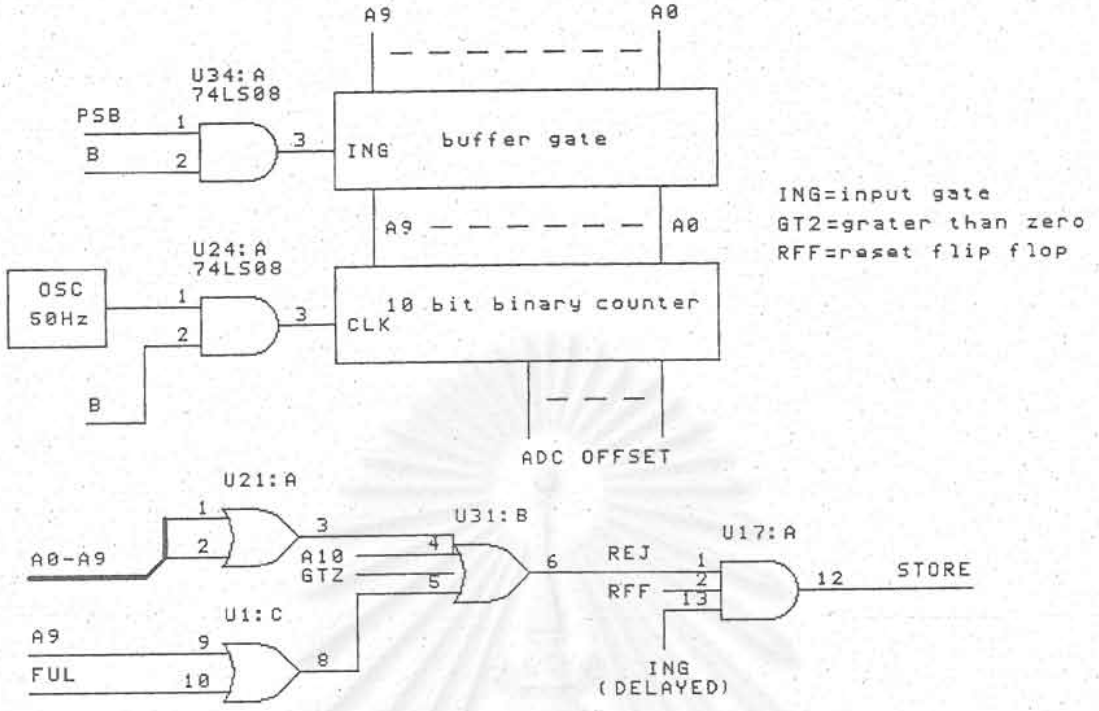
รูปที่ 3.10 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ (Preamplifier/Amplifier)

3.3.3 ระบบแปลงสัญญาณพัลส์อนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข

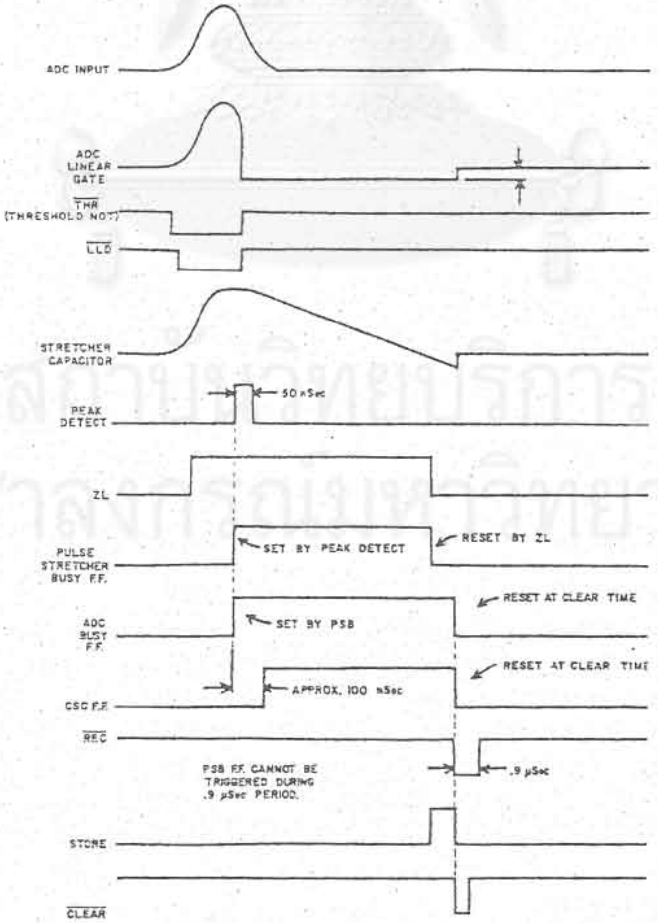
ระบบแปลงสัญญาณพัลส์อนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบวิลคินสันซึ่งใช้ความถี่ฐานเวลา 50 MHz มีความละเอียดในการแปลงความสูงของพัลส์ 10 บิต ระบบแปลงสัญญาณนี้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการทำงานของสัญญาณอนาลอก และส่วนการทำงานของสัญญาณเชิงตัวเลข ดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 3.11 และ 3.12



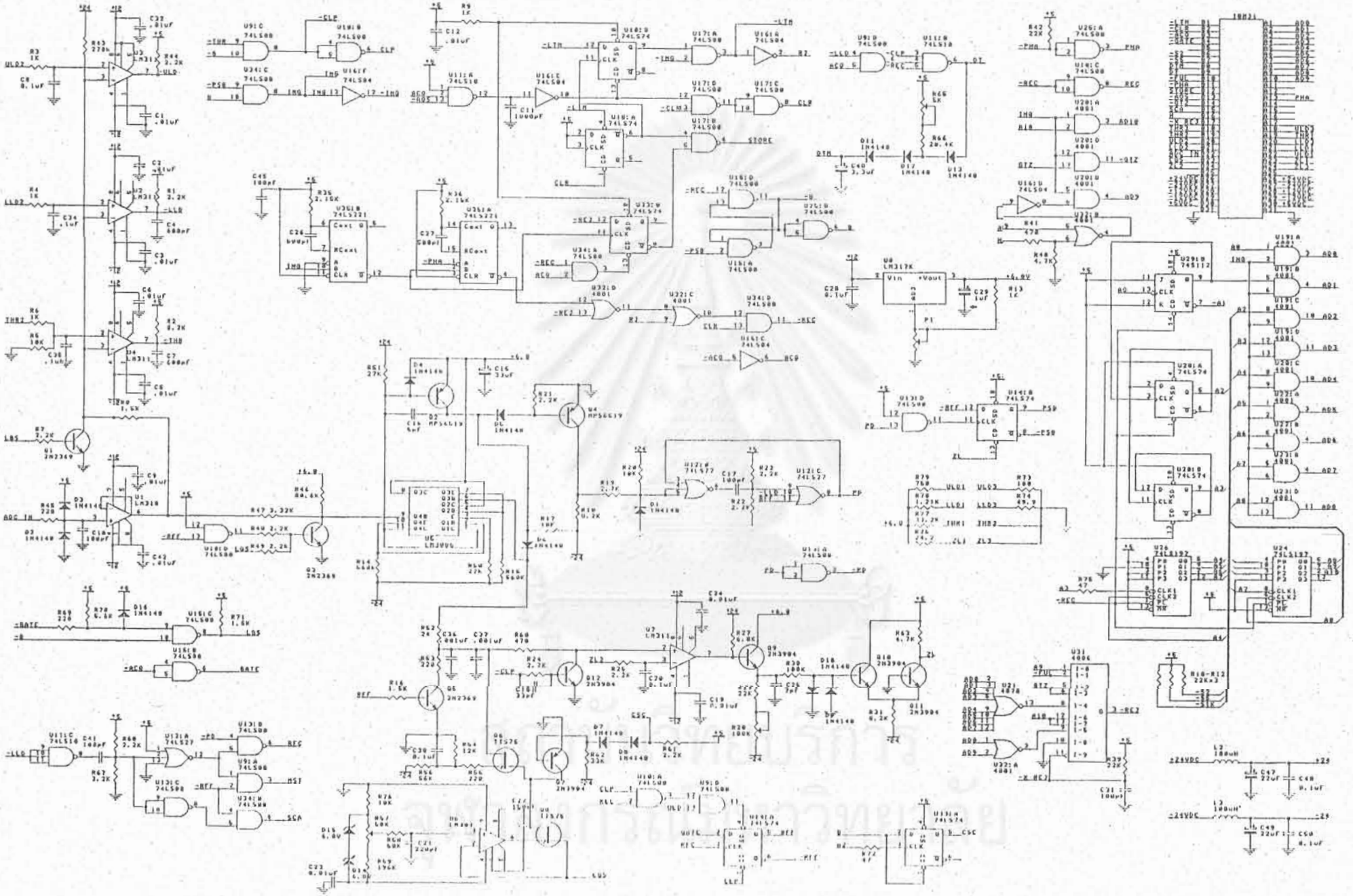
รูปที่ 3.11 แผนภาพการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณพัลส์ในส่วนของการแปลงผันสัญญาณอนาลอก



รูปที่ 3.12 แผนภาพการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณในส่วนของสัญญาณเชิงตัวเลข



รูปที่ 3.13 แผนภาพเวลาของการแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข



รูปที่ 3.14 วงจรระบบแปลงสัญญาณพัลส์ในส่วนของการแปลงผันสัญญาณอนาลอก

รูปที่ 3.13 เป็นแผนภาพเวลาของการแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข และรูปที่ 3.14 เป็นวงจรทั้งหมดของระบบแปลงสัญญาณพัลส์ ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยอาศัยแนวทางจากเครื่องวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบหลายช่องของ Tracor Nortern รุ่น TN 1706 (2) และ Ino-Tech รุ่น IT 520 (7) การทำงานของระบบเริ่มจากสัญญาณพัลส์จากอุปกรณ์ขยายสัญญาณรูปยูนิโพลา ขนาด 0-10 โวลต์ ส่งผ่านมายัง U_1 ซึ่งเป็นวงจรขยายที่มีอัตราขยาย 1 สัญญาณทางออกของ U_1 จะนำไปผ่านวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้า เพื่อคัดเลือกช่วงวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ตามย่านวิเคราะห์ที่ผู้ใช้ต้องการได้แก่ วงจรเปรียบเทียบระดับล่างสุดและบนสุด ซึ่งทำงานแบบ SCA เพื่อสร้างสัญญาณ $\overline{ULD}$ และ $\overline{LLD}$ ที่ไอซี U_2 และ U_3 และอีกวงจรหนึ่งเป็นวงจรเปรียบเทียบระดับความสูงต่ำสุดที่จะยอมให้ระบบทำการวิเคราะห์ (threshold) เพื่อสร้างสัญญาณ $\overline{THR}$ ที่ U_4 ในกรณีที่สัญญาณอยู่นอกสภาวะที่จะวิเคราะห์ วงจรฟลิป-ฟลอบ U_{14} และ U_{15} จะสร้างสัญญาณ REF และ CLP ยกเลิกสัญญาณด้วยการบิดลิเนียร์เกต Q_3 และคายประจุสัญญาณจากคาปาซิเตอร์ด้วยวงจรแคลมป์ Q_5 เมื่อเกินสภาวะของ SCA และแคลมป์ Q_{12} ถ้าต่ำกว่าระดับความสูงที่ยอมรับ นอกจากนี้วงจรแปลงสัญญาณส่วนหน้ายังมีทางเข้าของสัญญาณเกตซึ่งสามารถควบคุมจากระบบวัดภายนอกได้ ถ้าสัญญาณเกตที่ U_{15} ถูกบิด สัญญาณ LGS จะบิดลิเนียร์เกต Q_1 ด้วย

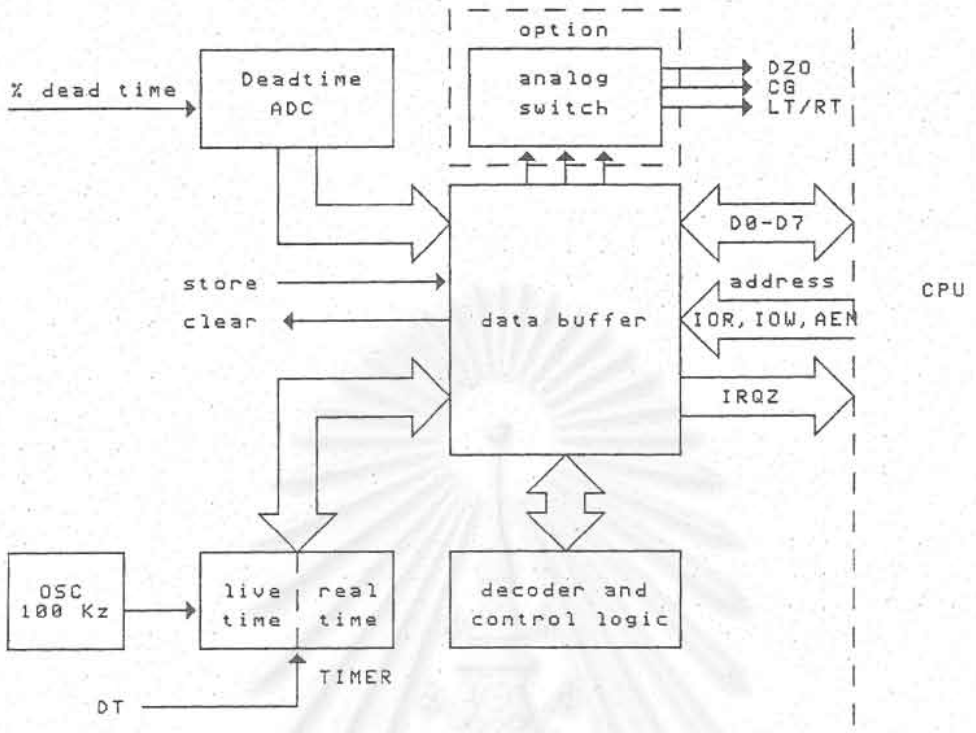
ในกรณีที่สัญญาณพัลส์จากอุปกรณ์ขยายสัญญาณมีความสูงอยู่ในเงื่อนไขที่ระบบพร้อมวิเคราะห์ คาปาซิเตอร์ C_{36} และ C_{37} จะได้รับการประจุตามขนาดความสูงของพัลส์ด้วยวงจร pulse strecher U_5 ขนาดของพัลส์บนคาปาซิเตอร์ดังกล่าวจะถูกตรวจสอบด้วยวงจร 2 วงจร คือ พีคดีเทค (peak detect) ที่ U_{12} และซีโรครอสชิง (zero crossing) ที่ U_7 กล่าวคือ เมื่อสัญญาณพัลส์ถึงค่าสูงสุด สัญญาณทางเข้าของ U_5 ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างขนาดความสูงของพัลส์ที่ประจุบนคาปาซิเตอร์และขนาดของสัญญาณพัลส์จากอุปกรณ์ขยาย จะทำให้สัญญาณทางออกของ U_5 เปลี่ยนระดับอย่างรวดเร็ว กระตุ้นวงจรพีคดีเทคให้สร้างสัญญาณ PD ดังในแผนภาพเวลารูปที่ 3.13 สัญญาณนี้จะกระตุ้นฟลิป-ฟลอบ U_{14} ให้สร้างสัญญาณ PSB และฟลิป-ฟลอบ U_{15} สร้างสัญญาณ B เพื่อเปิดเกต U_{24} ของวงจรนับไบนารี ดังในแผนภาพรูปที่ 3.12 และสร้างสัญญาณ CSC ด้วย U_{33A} สัญญาณนี้จะควบคุมการคายประจุของ C_{36} และ C_{37} ด้วยวงจร current generator อันประกอบด้วย Q_6, Q_7, Q_8 และ U_6 ซึ่งช่วงเวลาการคายประจุนี้ เรียกว่า "เวลาการแปลงผันสัญญาณ" เวลาจะมีความยาวเท่าใดขึ้นกับอัตราการคายประจุตามขนาดความต้านทานที่จัดไว้เป็นลำดับ อันเป็นการควบคุม conversion gain ระหว่างเวลาการแปลงผันนี้ วงจรนับไบนารีจะนับความถี่ฐานเวลา จนกระทั่งวงจรตรวจสอบระดับสัญญาณจากการคายประจุตัด

เส้นศูนย์ (U_7) สร้างสัญญาณ Z_L กระตุ้นฟลิป-ฟลอบ U_{14} ให้เปลี่ยนสภาวะ ตามด้วยฟลิป-ฟลอบ U_{15} ปิดเกต U_{24} ข้อมูลของขนาดความสูงของพัลส์อนาลอกที่ถูกเปลี่ยนเป็นรหัสไบนารีจะปรากฏอยู่บนทางออกของวงจรนับไบนารี (A_0-A_9) และสัดส่วนของข้อมูลนี้ อาจจะเริ่มนับจากฐาน 0 หรือต่ำกว่านั้น ขึ้นกับรหัสที่เริ่มต้น (preset) ไว้ก่อนนับ เรียกวิธีการนี้ว่า"ADC offset" เมื่อสิ้นสุดการนับของวงจรไบนารีสัญญาณ B และ PSB ที่ไอซี U_{34C} จะสร้างสัญญาณ ING เพื่อเปิดบัฟเฟอเกตสำหรับส่งข้อมูลไบนารีซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลกำหนดช่องวิเคราะห์ให้ไมโครคอมพิวเตอร์ต่อไป ไมโครคอมพิวเตอร์จะรับข้อมูลดังกล่าวเมื่อชุดเกต U_{21}, U_{31} และU_{17} ในแผนภาพรูปที่ 3.12 สร้างสัญญาณ STORE ส่งผ่านวงจรเชื่อมโยงสัญญาณเพื่อขอขัดจังหวะการทำงานของ CPU และอ่านข้อมูลจากบัฟเฟอเกต เมื่อสิ้นสุดการอ่านข้อมูลจะส่งสัญญาณ clear มายัง U_{34} สำหรับเริ่มต้นการแปลงสัญญาณต่อไป สัดส่วนของข้อมูลไบนารีจะขึ้นกับช่วงเวลาที่เกิดจากการแปลงผันความสูงของพัลส์เป็นคาบเวลาซึ่งสร้างจากฟลิป-ฟลอบ U_{15} นอกจากนี้ช่วงเวลาของการแปลงสัญญาณ (ADC busy) ยังถูกนำไปเฉลี่ยเป็นค่าเปอร์เซนต์เดดไทม์ (% dead time) ที่ U_{11B}, D_{11}, D_{12} และ C_{40} สัญญาณ DIM จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข อ่านค่าโดยไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงค่าเปอร์เซนต์เดดไทม์บนจอภาพด้วย

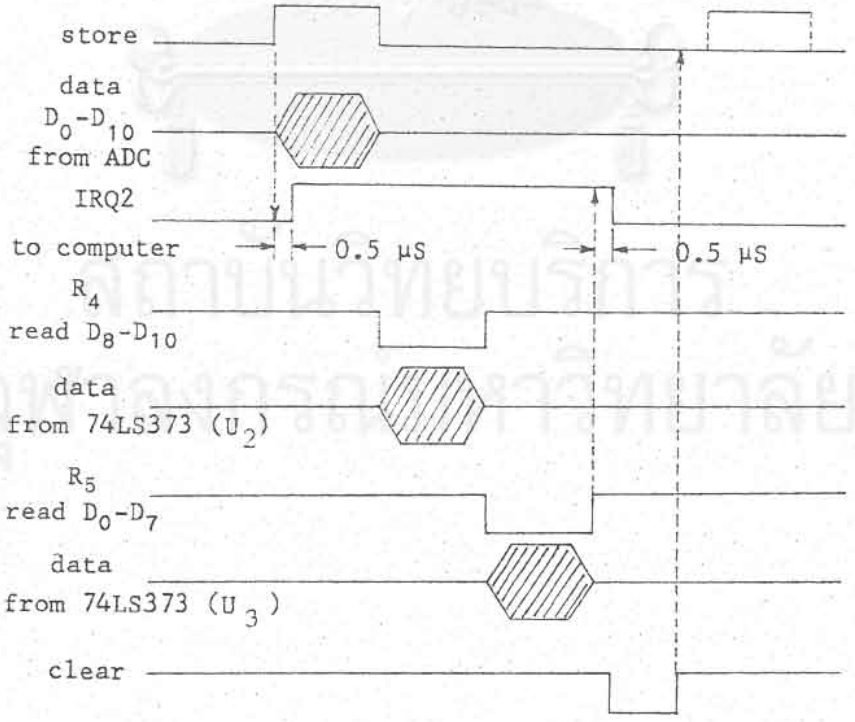
3.3.4 ระบบเชื่อมโยงสัญญาณ

ระบบเชื่อมโยงสัญญาณออกแบบให้ควบคุมการติดต่อข้อมูลระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์และระบบแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขแบบ interrupt service routine controlled I/O ประกอบด้วยวงจรย่อยต่างๆ ได้แก่ วงจรแปลงสัญญาณเปอร์เซนต์เดดไทม์ วงจรถอดรหัสและควบคุมสัญญาณลอจิก วงจรรับส่งข้อมูล และวงจรตั้งเวลา ดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 3.15 การทำงานของระบบควบคุมด้วยโปรแกรมบนไมโครคอมพิวเตอร์ โดยมีวงจรดังรูปที่ 3.17

วงจรหลักที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบเชื่อมโยงสัญญาณคือ วงจรถอดรหัสและควบคุมการทำงานของสัญญาณลอจิก วงจรถอดรหัสจะอาศัยสัญญาณตำแหน่ง(A_0-A_{15}) สัญญาณ IOR, IOW และ AEN มาถอดรหัสสัญญาณที่ U_{13} และ U_{19} เพื่อควบคุมการอ่านข้อมูล (R_0-R_7) และการเขียนข้อมูล (W_0-W_7) ณ ตำแหน่งแอดเดรส 710H-717H ตามลำดับ



รูปที่ 3.15 แผนภาพของระบบเชื่อมโยงสัญญาณ



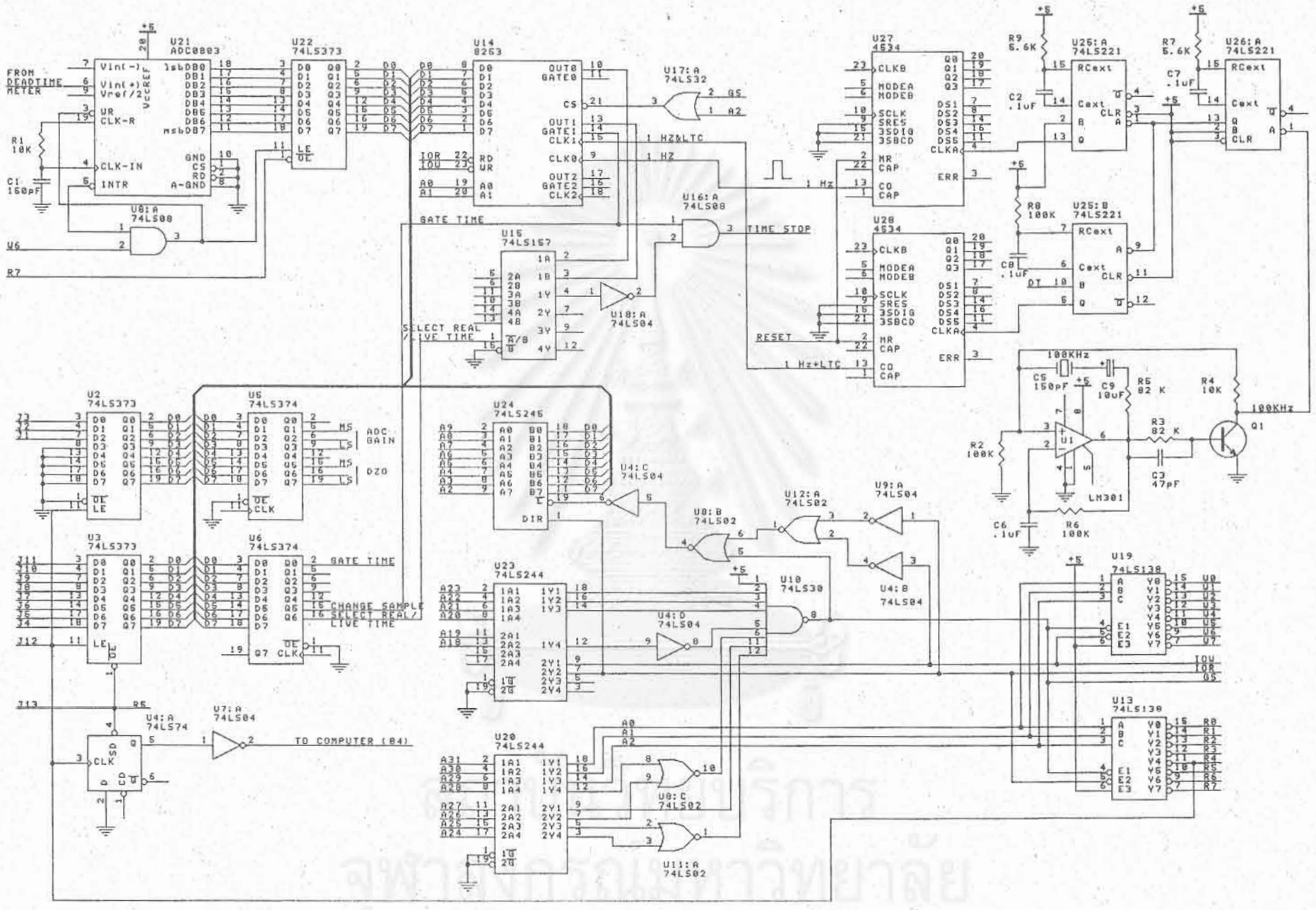
รูปที่ 3.16 แผนภาพเวลาการทำงานในขั้นตอนการรับข้อมูลจาก ADC

วงจรตั้งเวลาประกอบด้วย วงจรกำเนิดฐานความถี่เวลา 100 kHz (U_1) และวงจรหารความถี่ สัญญาณความถี่ฐานเวลาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกป้อนให้รีทริกเกอร์มัลติไวเบรเตอร์ (monostable multivibrator) U_{25A} แต่งรูปสัญญาณสำหรับวงจรหารความถี่ (10^5) เพื่อสร้างความถี่ 1Hz แบบ real time และส่วนที่ 2 ป้อนให้รีทริกเกอร์มัลติไวเบรเตอร์ U_{25B} ควบคุมสภาวะด้วยสัญญาณ DT จากวงจรแปลงสัญญาณ เพื่อปรับแก้เวลาที่สูญเสียไปกับการแปลงผันข้อมูลไอซี U_{19B} จะสร้างสัญญาณ 1Hz+LTC สัญญาณของวงจรตั้งเวลาทั้งสองจะถูกอ่านค่าด้วยไอซี U_{14} (8253) โดยเลือกตั้งเวลาแบบ real time หรือ live time ด้วยโปรแกรมซึ่งควบคุม U_{15} ไอซี U_{14} จะนับเวลาสะสม และส่งค่าออกไปแสดงผลบนจอภาพพร้อมทั้งเปรียบเทียบเวลากับเวลานับรังสีที่ตั้งไว้ เมื่อครบเวลานับจะส่งสัญญาณ time stop ผ่าน U_{16A} เพื่อหยุดนับเวลาและหยุดการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์

วงจรแปลงสัญญาณเบอร์เซนต์เดดไทม์ จะรับสัญญาณอนาลอก ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเวลาในการแปลงผันสัญญาณจากวงจรแปลงสัญญาณ และแปลงค่าเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขที่ U_{21} ไมโครคอมพิวเตอร์จะอ่านข้อมูลเชิงตัวเลขผ่าน U_{22} โดยใช้สัญญาณควบคุมการแปลงข้อมูลด้วย W_6 และอ่านด้วย R_7

วงจรควบคุมค่า ADC gain และ ADC offset ออกแบบเผื่อไว้สำหรับการพัฒนาระบบในขั้นต่อไป โดยถอดรหัสควบคุมอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ไว้ที่ทางออกของ U_5 และเลือกค่าต่างๆ ผ่านไมโครคอมพิวเตอร์

การอ่านข้อมูลตำแหน่งช่องวิเคราะห์จากวงจรแปลงสัญญาณ เริ่มจากสัญญาณ store จะเปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 ไอซี U_2 และ U_3 จะแลตช์ (latch) ข้อมูลเชิงตัวเลขที่ปรากฏบนบัสข้อมูลไว้ สัญญาณ store จะเปลี่ยนสภาวะที่ขา 5 ของ U_{14} เป็น 0 ผ่าน U_{7A} สัญญาณนี้จะเป็นสัญญาณขอขัดจังหวะให้ไมโครคอมพิวเตอร์หยุดการทำงานที่โปรแกรมหลักมาทำงานที่โปรแกรมย่อยในการอ่านข้อมูลตำแหน่งช่องวิเคราะห์จากทางออกสัญญาณของ U_2 และ U_3 โดยอ่านข้อมูลที่บิต 8-10 ก่อน แล้วจึงอ่านข้อมูลที่บิต 0-7 สัญญาณสิ้นสุดการอ่านข้อมูลจะไป reset ไอซี U_{4A} ดังแผนภาพเวลารูปที่ 3.16 เพื่อเป็นการสิ้นสุดการขอขัดจังหวะ จากนั้นไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณ clear ให้กับวงจรแปลงสัญญาณเพื่อเริ่มวงรอบการทำงานใหม่ แล้วจึงกลับไปทำงานที่โปรแกรมหลักจนกว่าจะมีการขอขัดจังหวะอีก



รูปที่ 3.17 วงจรระบบเชื่อมโยงสัญญาณ

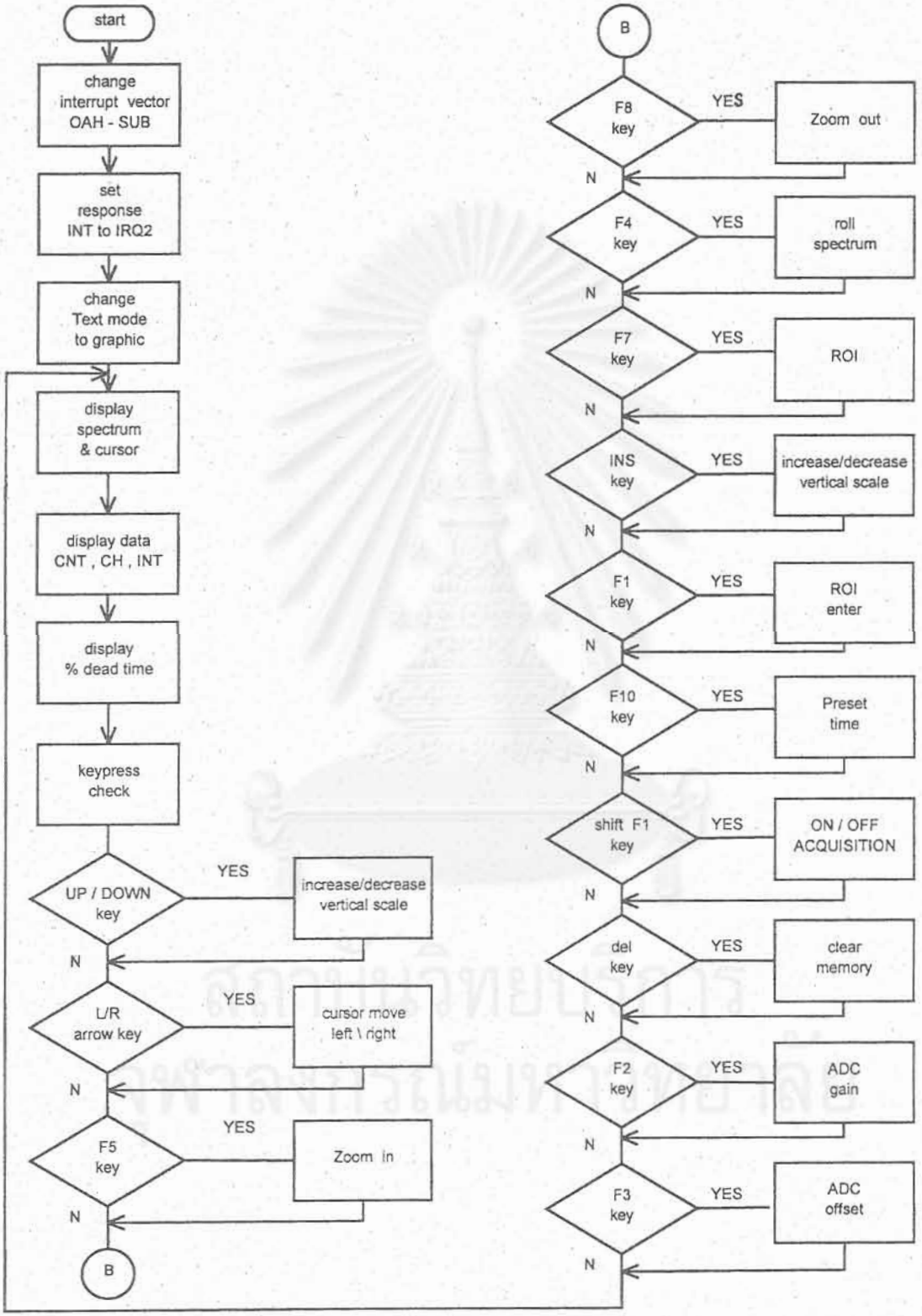
3.3.5 โปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง

3.3.5.1 โปรแกรมหลัก ทำหน้าที่ในการจัดลำดับเริ่มต้นการทำงานของระบบควบคุมการแสดงผลทั้งสเปกตรัมและค่าวัด ตรวจสอบการกดแป้นพิมพ์เพื่อสั่งงานระบบต่างๆผ่านระบบเชื่อมโยงสัญญาณ และควบคุมการทำงานของระบบเชื่อมโยงสัญญาณโดยตรง มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

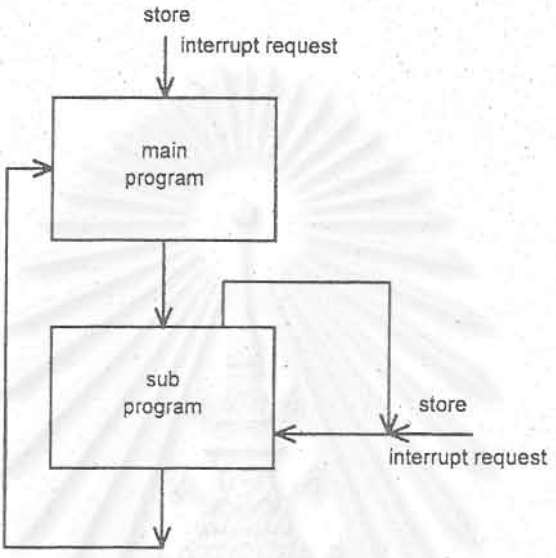
1) ทำการเปลี่ยนค่าในตาราง interrupt vector ที่ OAH ให้ชี้ไปที่ตำแหน่งของโปรแกรมย่อยสำหรับอ่านค่าเชิงตัวเลขจากระบบแปลงสัญญาณ
2) ปรับการทำงานของระบบให้ตอบสนองการขอขัดจังหวะ เมื่อได้รับสัญญาณ store ที่สัญญาณ IRQ_2
3) เปลี่ยนการทำงานของระบบควบคุมจอภาพจาก text mode เป็น graphic mode
4) อ่านข้อมูลจากกลุ่มของหน่วยความจำต่างๆ ที่ใช้เก็บข้อมูลเพื่อแสดงสเปกตรัมและข้อมูลวัดรังสี
5) แสดงค่าเปอร์เซนต์เดดไทม์
6) ตรวจสอบแป้นพิมพ์ ซึ่งทำหน้าที่สั่งงานในด้านต่างๆ เช่น ข้อมูลสำหรับควบคุมการวัด ADC gain, DZO การเลื่อนเคอร์เซอร์ การแสดงผลรวมปริมาณวัดรังสีได้พีค เป็นต้น

ขั้นตอนต่างๆสามารถเขียนเป็นโฟล์วชาร์ต (flow chart) ในรูปที่ 3.18 เพื่อนำไปพัฒนาโปรแกรม ซึ่งเขียนด้วยภาษาเบสิก และแปลงเป็นภาษาแอสเซมบลี ดังแสดงในภาคผนวก ข.

3.3.5.2 โปรแกรมย่อย ทำหน้าที่อ่านข้อมูลเชิงตัวเลขจากวงจรแปลงสัญญาณจะเริ่มทำงานเมื่อมีสัญญาณขอขัดจังหวะ IRQ_2 ถ้าไมโครคอมพิวเตอร์ทำงานอยู่ในโปรแกรมหลักยังไม่สิ้นสุด จะมาทำงานที่โปรแกรมย่อยจนสิ้นสุดการทำงานแล้วจึงกลับไปทำงานในโปรแกรมหลักต่อ หรือเมื่อมีการขอขัดจังหวะขณะยังไม่ทำงานที่โปรแกรมหลัก ก็สามารถจะทำงานในโปรแกรมย่อยก่อนแล้วจึงเข้าสู่โปรแกรมหลักก็สามารถจะทำงานในโปรแกรมย่อยก่อนแล้วจึงเข้าสู่โปรแกรมหลักดังรูปที่ 3.19 ก.



รูปที่ 3.18 โฟล์วชาร์ตของโปรแกรมหลัก

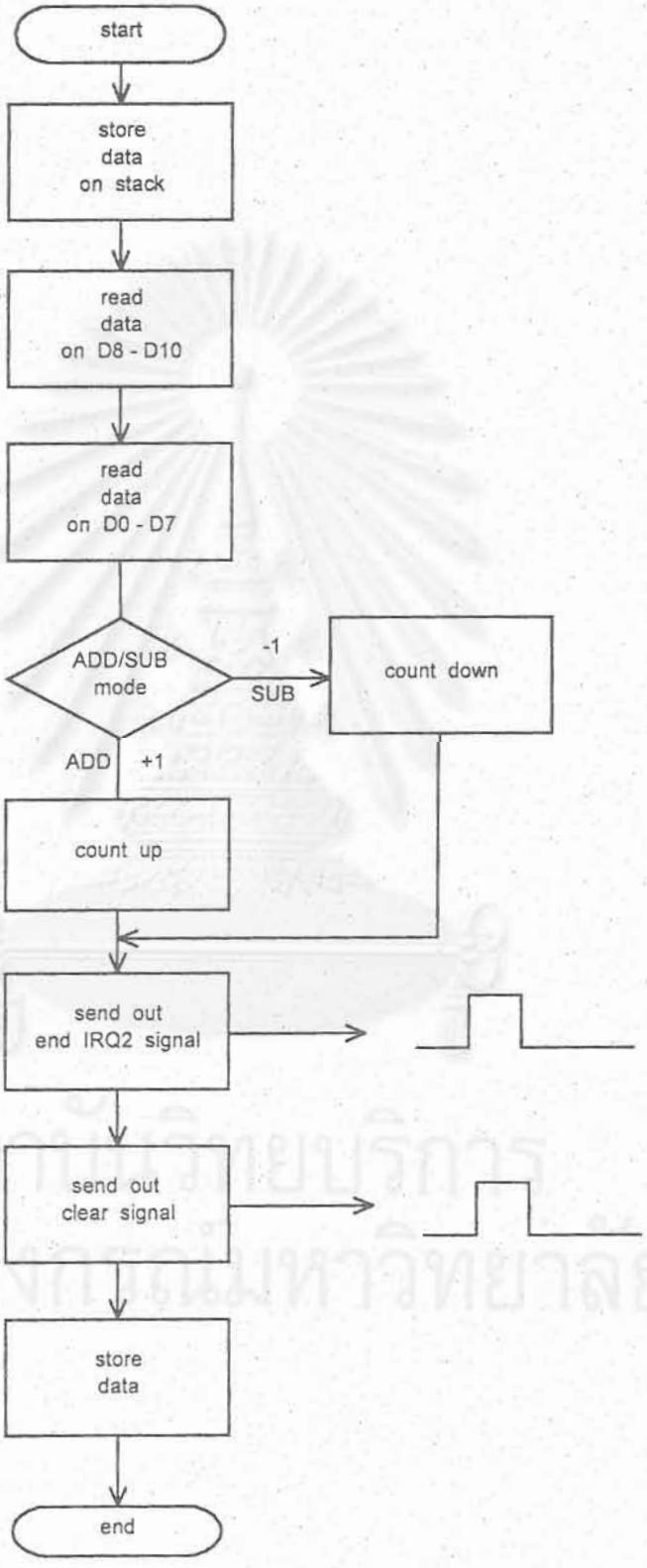


รูปที่ 3.19 ก. แผนภาพการทำงานของโปรแกรมหลักและโปรแกรมย่อย

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อยในการอ่านข้อมูลมีดังนี้

1. ทำการเก็บข้อมูลของรีจิสเตอร์ (register) ที่ออกแบบไว้บน stack
2. อ่านข้อมูลจากบัสข้อมูลที่บิต 8-10
3. อ่านข้อมูลจากบัสข้อมูลที่บิต 0-7
4. ทำการเพิ่มค่านับครั้งละหนึ่งที่ตำแหน่งช่องวิเคราะห์ที่อ่านจากบัสข้อมูล โดยจำนวนนับสะสมจะไม่เกิน $10^{16}-1$ หรือ 1 word
5. ส่งสัญญาณสิ้นสุดการขอขัดจังหวะให้ CPU
6. ส่งสัญญาณ clear ให้กับระบบแปลงสัญญาณ (pulse height ADC)
7. คืนค่าให้กับรีจิสเตอร์

ขั้นตอนต่างๆ เขียนเป็นโฟล์วชาร์ตได้ดังรูปที่ 3.19 ข.



รูปที่ 3.19 ข. โฟล์วชาร์ตของโปรแกรมย่อย

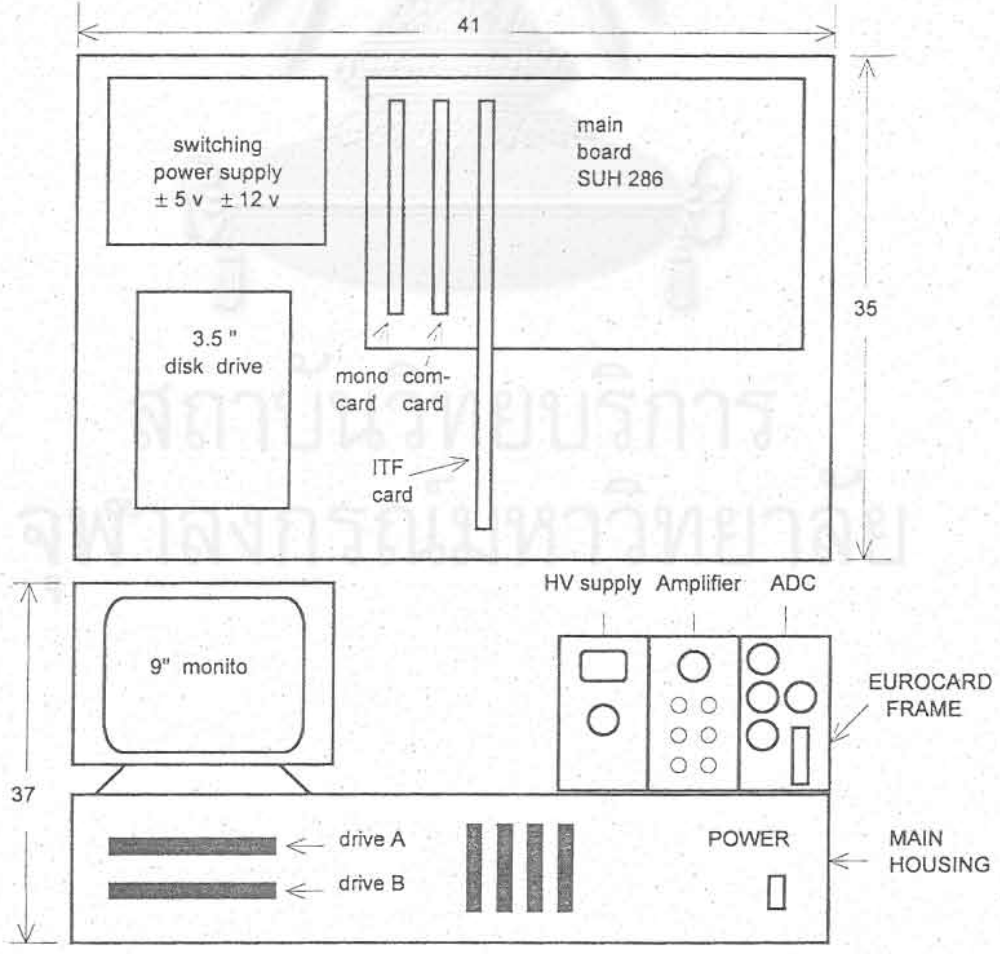
3.3.6 การประกอบเครื่องต้นแบบ

วงจรที่ออกแบบและทดสอบการทำงานแล้ว ได้นำมาออกแบบเป็นแผ่นพิมพ์วงจรและจัดวางลงในโครงเครื่อง แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังรูปที่ 3.20 ได้แก่

ก. ส่วนของจอภาพโมโนโครมขนาด 9 นิ้ว วางอยู่บนโครงบรรจุระบบประมวลผล

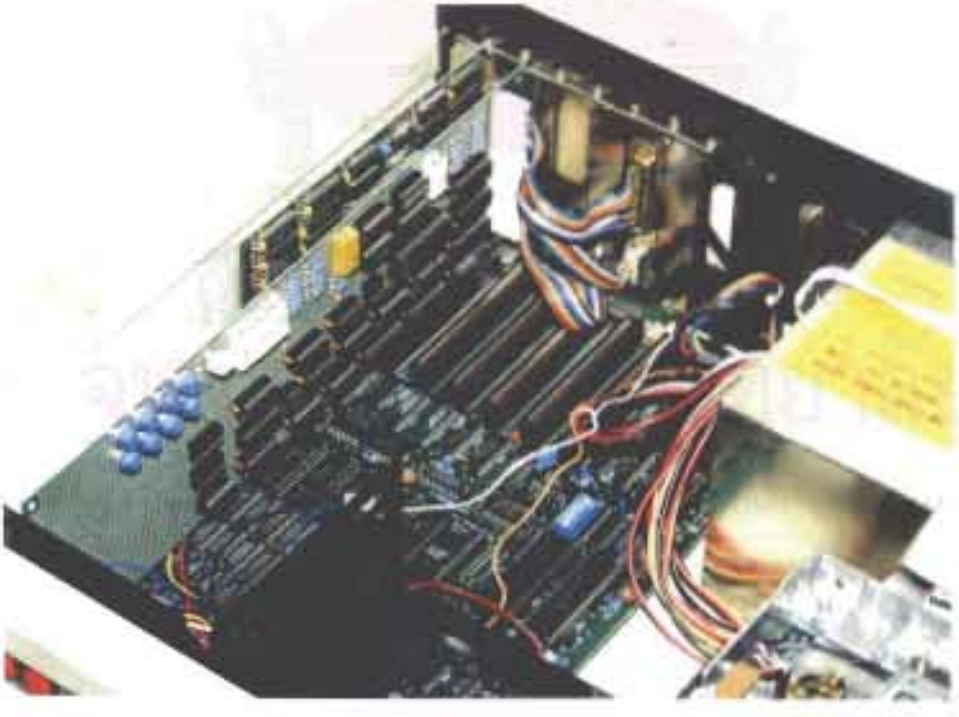
ข. ส่วนของโครงบรรจุระบบประมวลผล บรรจุแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังต่ำ ดิสค์ไดรว์ขนาด 3.5 นิ้ว 2 ชุดสำหรับอ่านโปรแกรมและข้อมูลตามลำดับ แผ่นวงจรหลักของไมโครคอมพิวเตอร์ แผ่นวงจร ขับจอภาพ แผ่นวงจรติดต่ออุปกรณ์ภายนอก และแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

ค. ส่วนของโครงบรรจุโมดุลขนาดมาตรฐาน EURO card สำหรับบรรจุโมดุลแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังสูง โมดุลขยายสัญญาณพัลส์ และโมดุลระบบแปลงสัญญาณขนาดของอุปกรณ์วิเคราะห์หลายช่อง หลังการประกอบอุปกรณ์เข้าด้วยกันทั้งหมดมีขนาด 35x41x37 ซม^3.



รูปที่ 3.20 การจัดวางแผ่นวงจรและอุปกรณ์ภายในเครื่อง

รูปที่ 3.21 เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.22 การวางแผ่นวงจรภายในเครื่อง

บทที่ 4

ผลการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง

เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยระบบวัดนิวเคลียร์ อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง ควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมควบคุมการทำงาน (MCA-NT01) หลังจากประกอบเข้าด้วยกันแล้ว ได้นำมาทดสอบการทำงานของระบบต่างๆ ภายในเครื่องเพื่อหาพิกัดการทำงานของส่วนต่างๆ ได้แก่

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง
2. อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์
3. ระบบแปลงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณเชิงตัวเลข
4. ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมนิวเคลียร์

4.1 ทดสอบการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

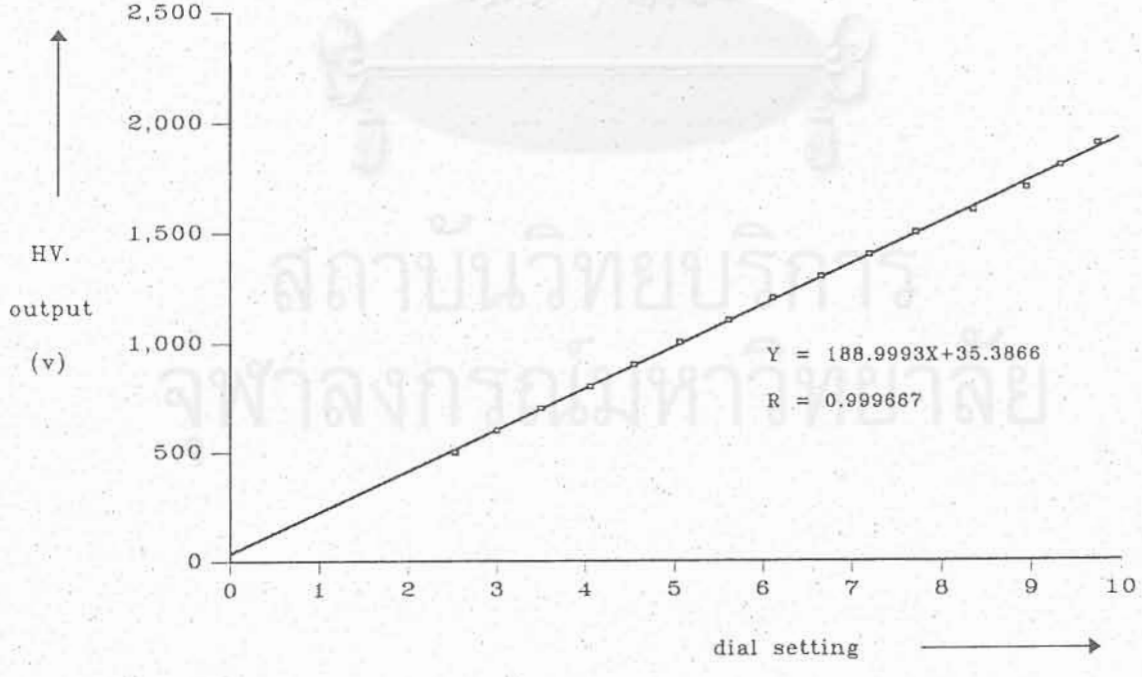
1. เครื่องวัดไฟฟ้าศักดาสูง (Electrostatic Voltmeter) ของ Electrical Instrument Service รุ่น EDS-7 และ ESD-10
2. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Digital Storage Oscilloscope) ของ Gould รุ่น DSO 4062
3. ตัวต้านทานขนาดต่างๆ
4. ตัวเก็บประจุขนาด 0.01 uF 3000 V.
5. แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่พัฒนาขึ้น

4.1.2 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับค่าศักดาไฟฟ้า

จากการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลปรับค่าศักดาไฟฟ้า โดยแปรเปลี่ยนตำแหน่งสเกลและอ่านค่าศักดาไฟฟ้า ได้ผลตามตารางที่ 4.1 และเส้นกราฟรูปที่ 4.1

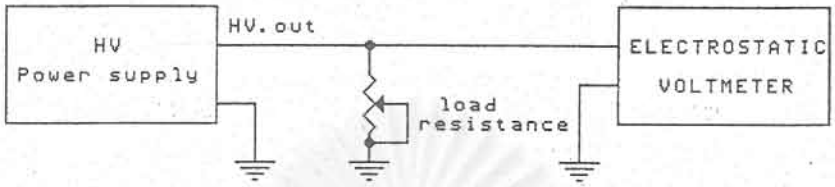
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสเกลปรับค่าศักดาไฟฟ้าและศักดาไฟฟ้าทางออก

สเกลที่ตั้ง	ศักดาไฟฟ้าทางออก (V)	สเกลที่ตั้ง	ศักดาไฟฟ้าทางออก (V)
2.52	500	6.66	1300
3.00	600	7.20	1400
3.50	700	7.72	1500
4.06	800	8.36	1600
4.55	900	8.96	1700
5.06	1000	9.34	1800
5.62	1100	9.76	1900
6.12	1200		



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งสเกลปรับค่าศักดาไฟฟ้ากับศักดาไฟฟ้าทางออก

4.1.3 ทดสอบการควบคุมความคงที่ศักดาไฟฟ้า (load regulation)

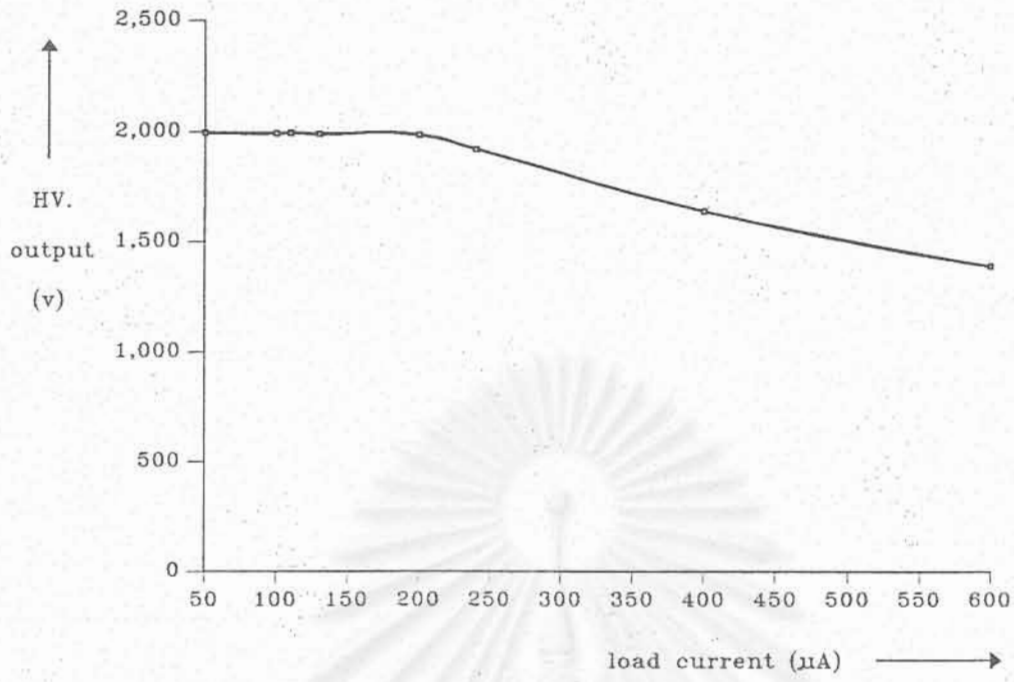


รูปที่ 4.2 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการควบคุมความคงที่ศักดาไฟฟ้า

ทดสอบโดยจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.2 ปรับค่าศักดาไฟฟ้าทางออกของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่ 2000 โวลต์ ขณะไม่มีโหลด (load) จากนั้นแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานของโหลดเพื่อเพิ่มการจ่ายกระแสของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงครั้งละ 10 μA จาก 50 μA ถึง 120 μA ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.2 และเส้นกราฟรูปที่ 4.3

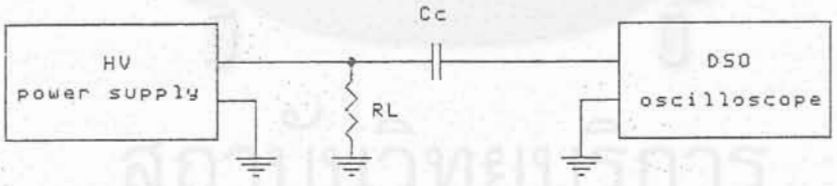
ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักดาไฟฟ้าทางออก

กระแสไฟฟ้า (μA)	ศักดาไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (μA)	ศักดาไฟฟ้า (V)
50	1994	200	1985
100	1993	240	1920
110	1994	400	1640
130	1990	600	1390



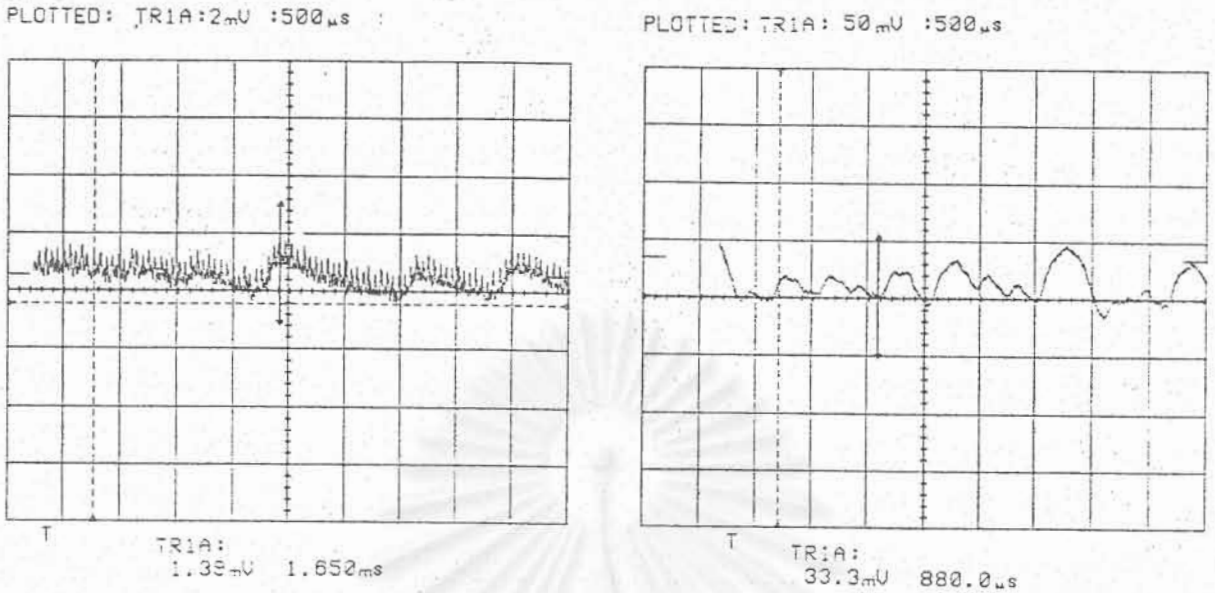
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลดและศักดาไฟฟ้าทางออก

4.1.4 ตรวจวัดขนาดของศักดาระลอกคลื่น (ripple voltage)



รูปที่ 4.4 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อตรวจวัดศักดาระลอกคลื่น

การตรวจวัดทำได้โดยการจัดอุปกรณ์ทดสอบดังรูปที่ 4.4 ปรับศักดาไฟฟ้าทางออกขณะไม่มีโหลด 2000 โวลต์ อ่านค่าศักดาระลอกคลื่นได้ดังในรูปที่ 4.5 ก. จากนั้นใส่โหลดตัวต้านทางขนาด 20 M Ω อ่านค่าศักดาระลอกคลื่นได้ดังในรูปที่ 4.5 ข. ดังนั้นถ้าแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าน้อยกว่าความสามารถสูงสุดที่จ่ายได้จะมีขนาดระลอกคลื่นต่ำกว่านี้



ก. ขณะไม่มีโหลด ข. ขณะมีโหลด

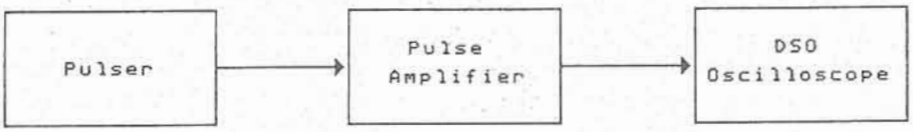
รูปที่ 4.5 ขนาดของศักดาระลอกคลื่น

4.2 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์

4.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

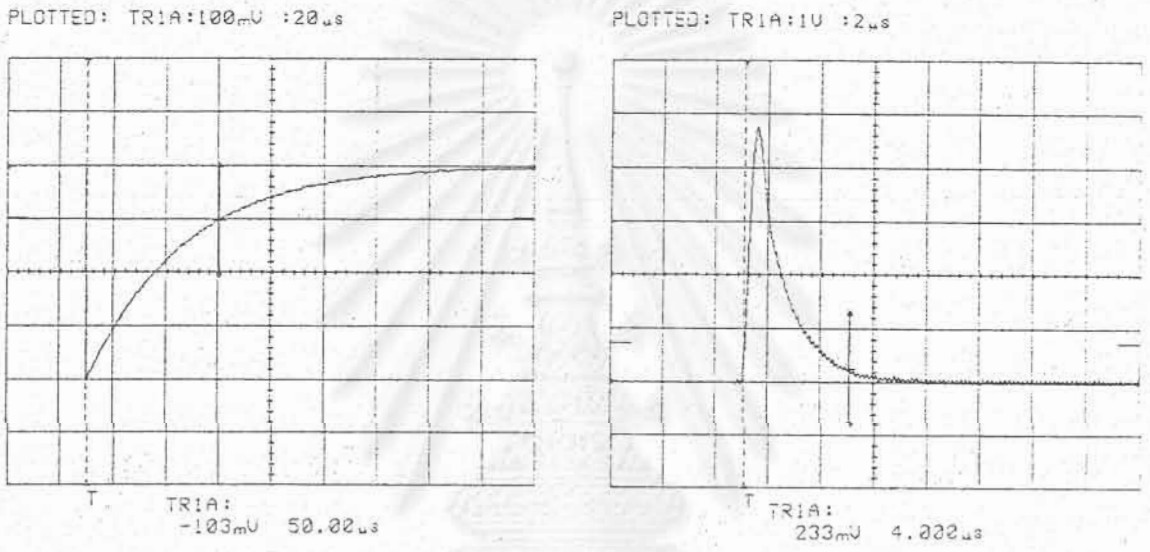
1. เครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสี (Pulser) ของ Canberra รุ่น 807
2. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (DSO) ของ Gould รุ่น DSO 4062
3. อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น

4.2.2 ตรวจวัดรูปสัญญาณทางออก



รูปที่ 4.6 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ตรวจวัดรูปสัญญาณพัลส์

ตรวจวัดโดยป้อนสัญญาณพัลส์ขาลบขนาด 400 มิลลิโวลต์ ดังในรูปที่ 4.7 ก. ให้กับอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ ซึ่งตั้งสเกลอัตราขยายที่ 0.15 อ่านรูปสัญญาณจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณหลังการปรับ pole zero cancellation และ base line restorer สมบูรณ์แล้ว จะได้สัญญาณ ดังรูปที่ 4.6 ข.



ก. สัญญาณทางเข้า ข. สัญญาณทางออก

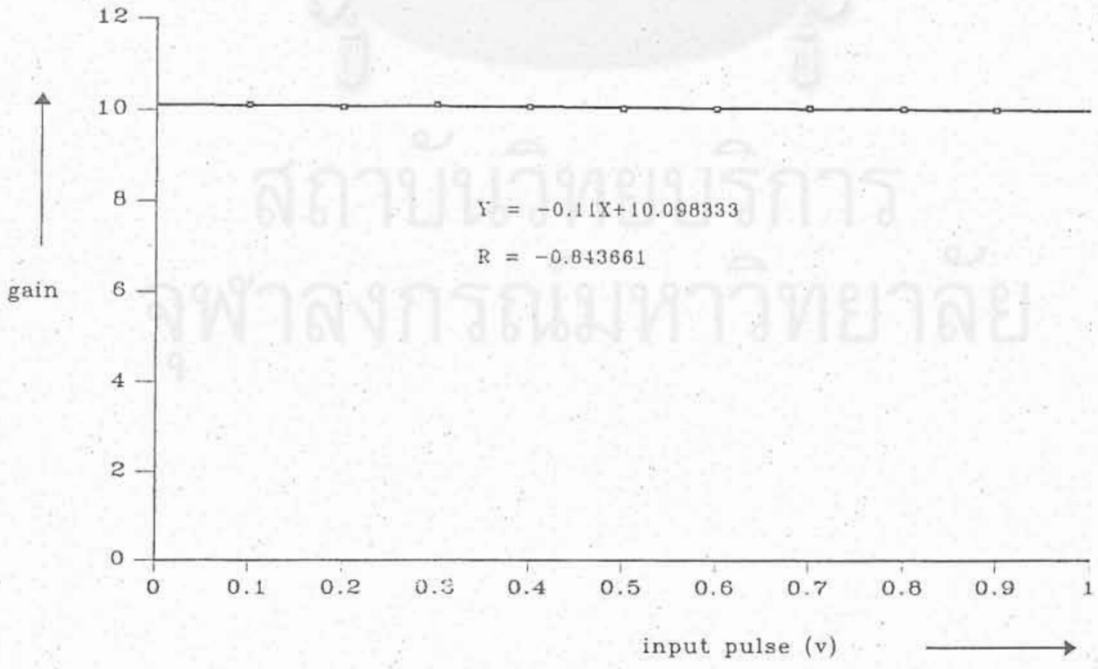
รูปที่ 4.7 รูปสัญญาณพัลส์ทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์

4.2.3 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล (differential non-linearity)

ทดสอบโดยตั้งอัตราขยายคงที่และแปรเปลี่ยนขนาดความสูงของสัญญาณพัลส์ทางเข้าจากอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเสียนแบบหัววัดรังสี ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.3 และเส้นกราฟรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.3 ความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล

สัญญาณพัลส์ทางเข้า (V)	สัญญาณพัลส์ทางออก (V)	อัตราขยาย
0.10	1.01	10.10
0.20	2.01	10.05
0.30	3.03	10.10
0.40	4.02	10.05
0.50	5.01	10.02
0.60	6.01	10.02
0.70	7.02	10.03
0.80	8.02	10.02
0.90	9.06	10.00



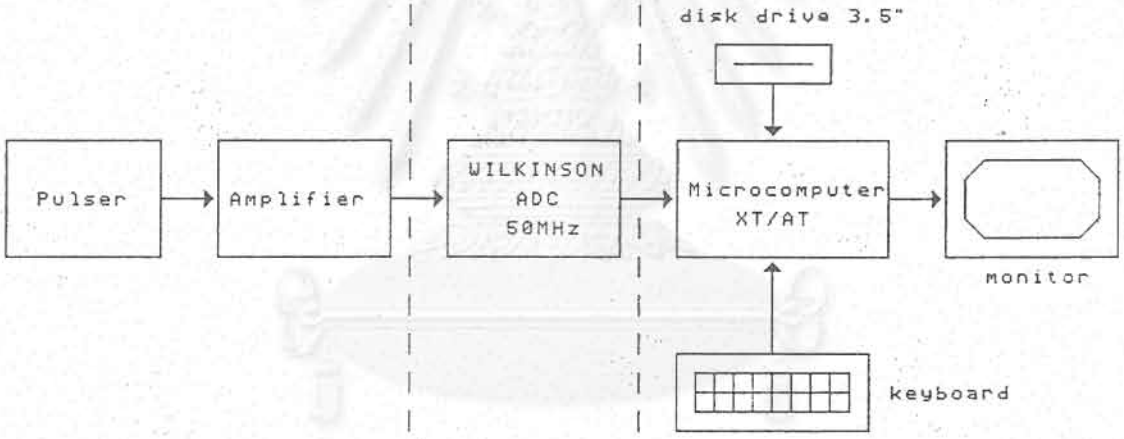
รูปที่ 4.8 ความเป็นเชิงเส้นของอัตราขยายซึ่งทดสอบแบบดิฟเฟอเรนเชียล

4.3 ทดสอบการทำงานของระบบแปลงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณเชิงตัวเลข

4.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสีของ Canberra รุ่น 807
2. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Real time Oscilloscope) ของ Tektronix รุ่น 465
3. ชุดวิเคราะห์แบบหลายช่องที่พัฒนาขึ้นพร้อมโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ

4.3.2 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นในการแปลงสัญญาณพัลส์

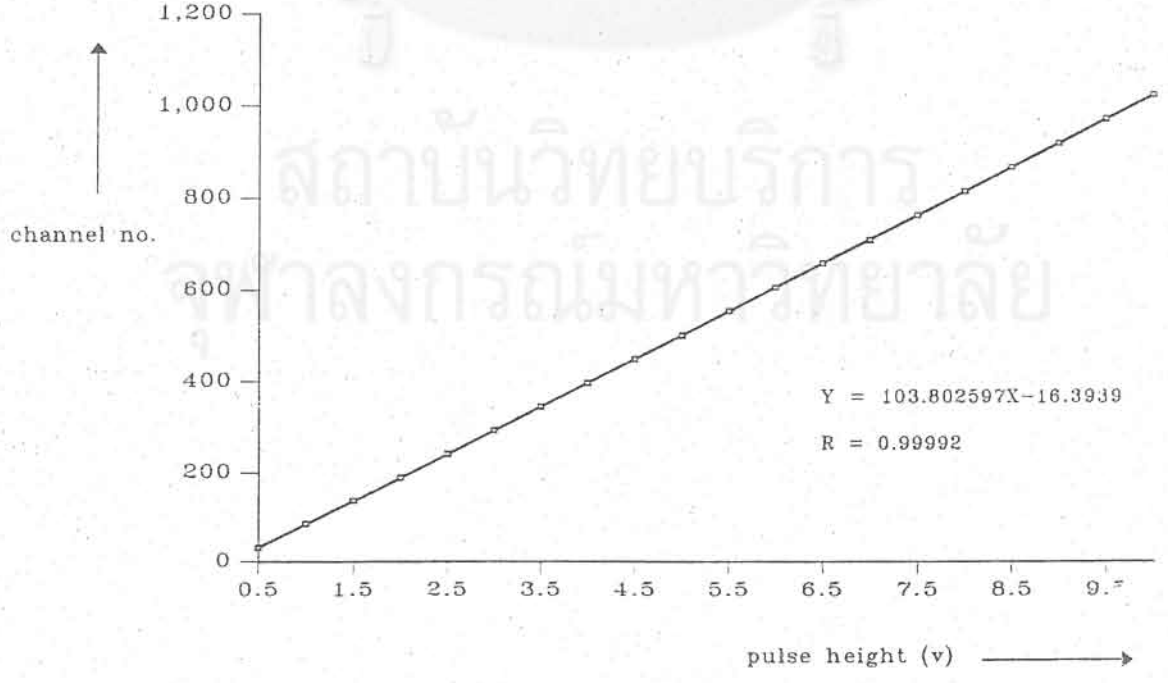


รูปที่ 4.9 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบแปลงสัญญาณ

จัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบดังรูปที่ 4.9 ใช้โปรแกรมควบคุมการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ แปรเปลี่ยนความสูงของพัลส์และบันทึกตำแหน่งช่องวิเคราะห์ตามค่าต่างๆ ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.4 และเส้นกราฟรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์และตำแหน่งช่องวิเคราะห์

ความสูงของพัลส์ (V)	ช่องวิเคราะห์พลังงาน	ความสูงของพัลส์ (V)	ช่องวิเคราะห์พลังงาน
0.5	32	5.5	554
1.0	85	6.0	606
1.5	137	6.5	658
2.0	189	7.0	709
2.5	241	7.5	763
3.0	293	8.0	815
3.5	345	8.5	867
4.0	397	9.0	919
4.5	449	9.5	972
5.0	501	10.0	1023



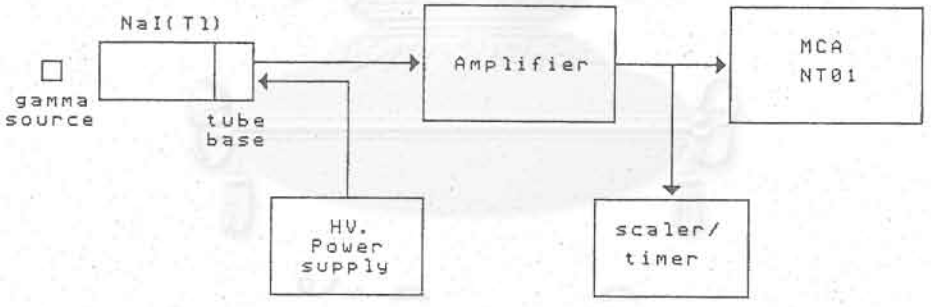
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความสูงของพัลส์และตำแหน่งช่องวิเคราะห์

4.4 ทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบวิเคราะห์

4.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ขนาด 2x2 นิ้ว พร้อมฐานหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนของ Ortec รุ่น 905-3/266
2. ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่พัฒนาขึ้นพร้อมโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ
3. อุปกรณ์วิเคราะห์ช่องเดี่ยว (SCA) ของ Canberra รุ่น 2030
4. อุปกรณ์นับรังสีและตั้งเวลานับ (scaler/timer) ของ Canberra รุ่น 1772
5. ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 ความแรง 10 uCi

4.4.2 ทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบวิเคราะห์

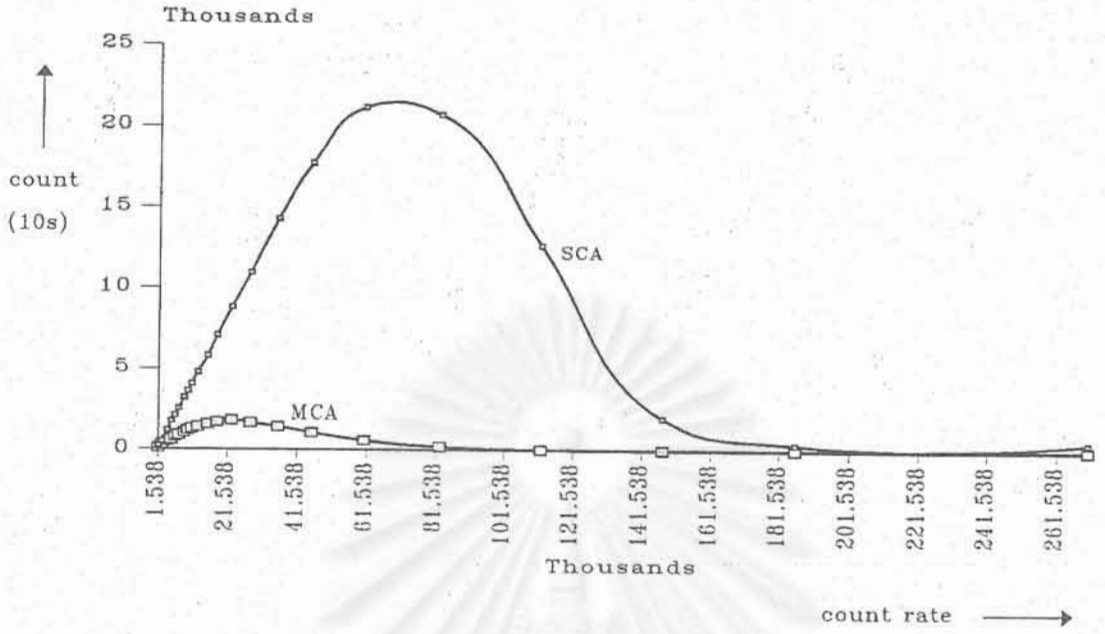


รูปที่ 4.11 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบวิเคราะห์

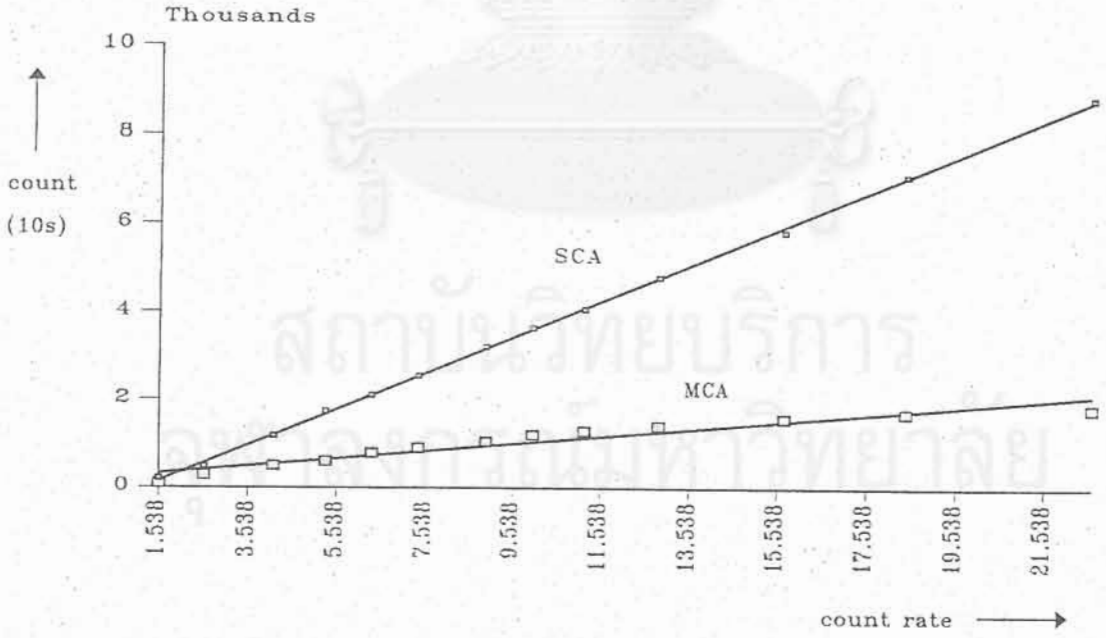
จัดอุปกรณ์ทดสอบการทำงานของระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ โดยแปรเปลี่ยนอัตรานับรังสีด้วยการเลื่อนระยะต้นกำเนิดรังสี และอ่านค่าผลรวมปริมาณนับรังสีที่พื้นที่ใต้พีคพลังงานของ Cs-137 ที่เวลานับ 10 วินาที เปรียบเทียบระหว่าง SCA ที่ผลิตจากต่างประเทศกับอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่พัฒนาขึ้น ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบวิเคราะห์

ปริมาณนับรังสีรวมแบบนับรวม (intergral) count/10 sec	ผลรวมปริมาณนับรังสีพื้นที่ใต้พีคพีคพลังงานจาก SCA	ผลรวมปริมาณนับรังสีใต้พื้นที่พีคพลังงานจาก MCA (NT-01)
270,476	484	0
186,080	363	1
147,509	1,973	2
112,275	12,647	25
82,656	20,702	186
60,712	21,157	565
45,547	17,728	1,046
35,861	14,290	1,416
28,022	10,962	1,662
22,614	8,817	1,817
18,420	7,082	1,707
15,692	5,810	1,582
12,850	4,795	1,417
11,175	4,070	1,294
9,995	3,637	1,209
8,922	3,206	1,045
7,373	2,545	899
6,319	2,110	786
5,275	1,746	601
4,110	1,182	502
2,541	487	249
1,538	210	90



ก. เปรียบเทียบความสามารถในการวิเคราะห์ระหว่าง SCA และ MCA (NT-01)



ข. เส้นกราฟแสดงอัตรานับสูงสุดที่ MCA NT-01 สามารถวิเคราะห์ได้

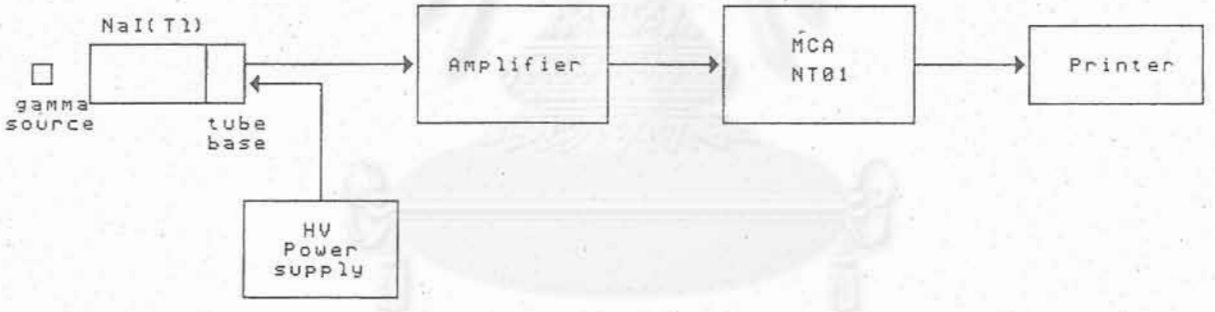
รูปที่ 4.12 เส้นกราฟเปรียบเทียบความสามารถในการวิเคราะห์ของ MCA (NT-01)

4.5 การวิเคราะห์สเปกตรัมนิวเคลียร์

4.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

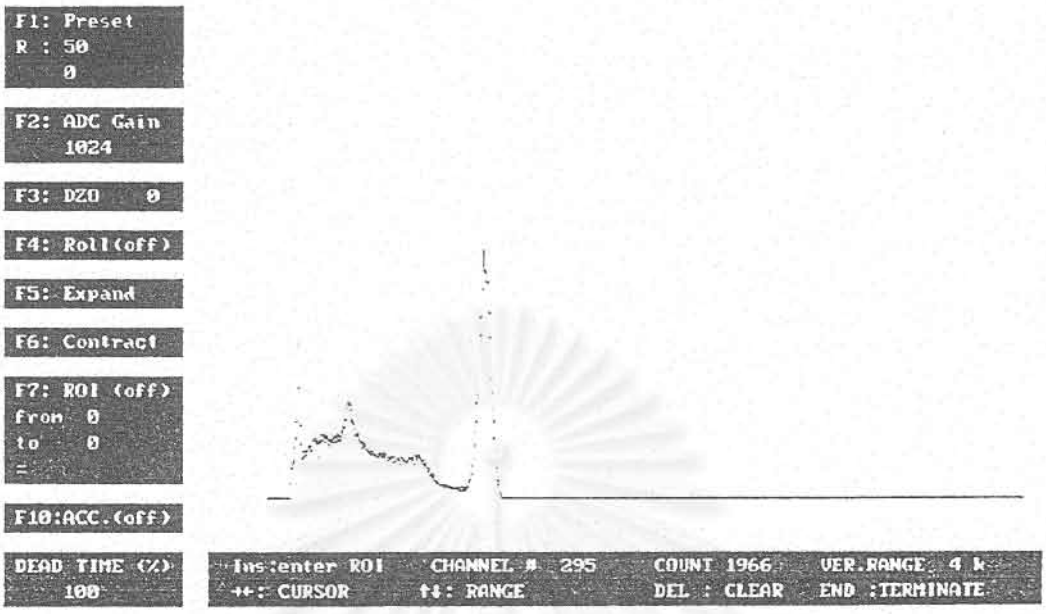
1. หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ขนาด 2"x2" พร้อมฐานหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน ของ Ortec รุ่น 905-3/266
2. ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่พัฒนาขึ้นพร้อมโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ
3. เครื่องพิมพ์ผลวิเคราะห์
4. ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 และ Co-60 ความแรง 1 μCi

4.5.2 ทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมนิวเคลียร์



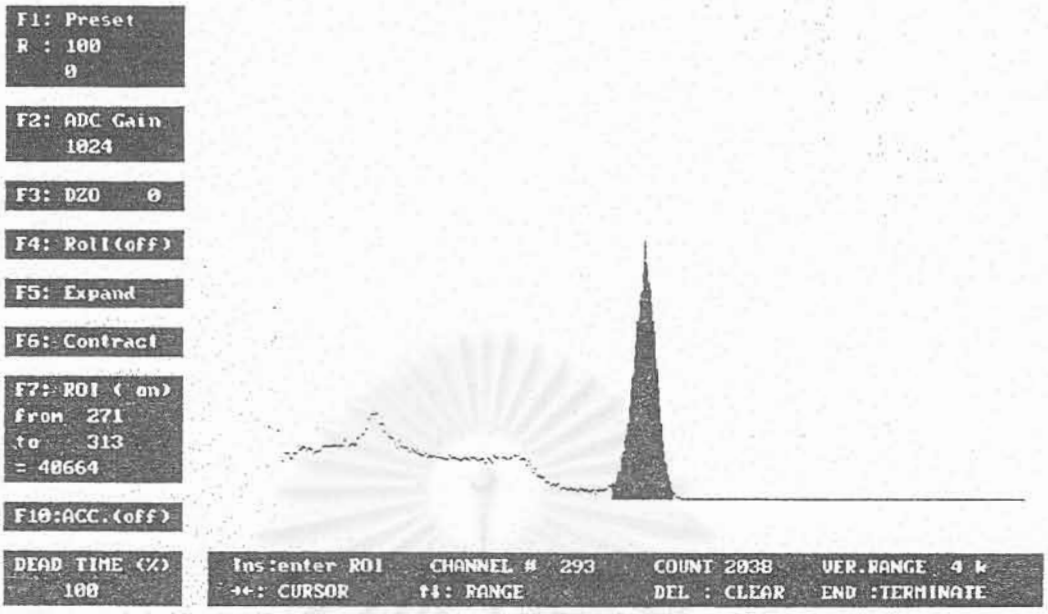
รูปที่ 4.13 แผนภาพการจัดระบบวิเคราะห์พลังงานของรังสีแกมมา

จัดอุปกรณ์ทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมดังรูปที่ 4.13 ปรับศักดาไฟฟ้าสูงและอัตราขยายให้พอเหมาะกับการวิเคราะห์พลังงานในช่วง 0 ถึง 2 MeV วิเคราะห์พลังงานของรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 และ Co-60 ได้ผลวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 จากนั้นทดสอบการใช้ฟังก์ชันการรวมปริมาณนับรังสีได้พื้นที่พีคพลังงานโดยใช้ฟังก์ชันคีย์ INS และ F7 ได้ผลดังรูปที่ 4.16 สามารถจะใช้ฟังก์ชันคีย์ F5 และ F6 ในการขยายและเลื่อนสเปกตรัมที่วิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 4.17

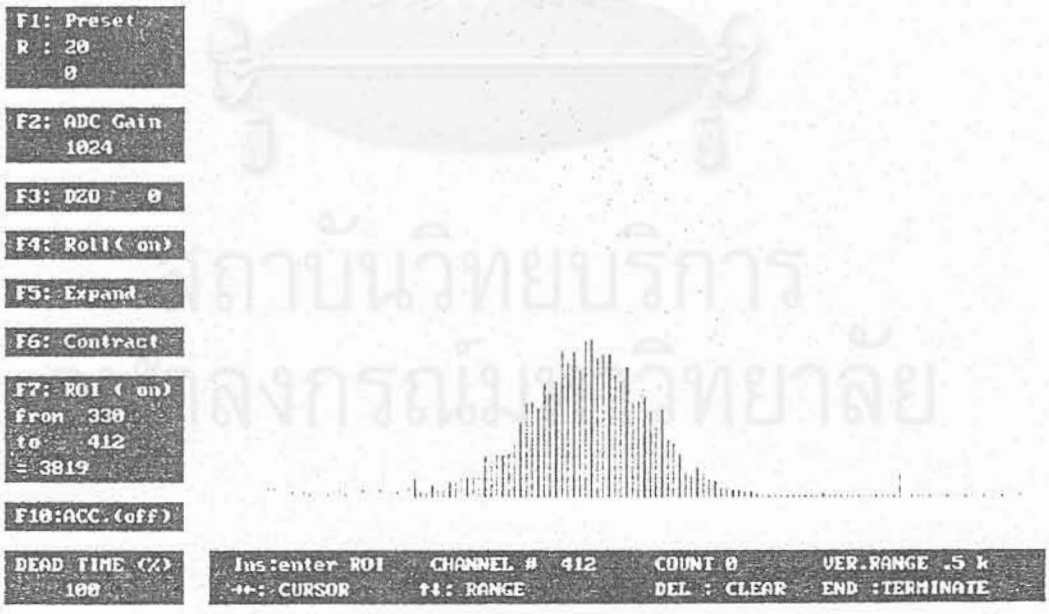


รูปที่ 4.14 ผลวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมาจาก Cs-137

รูปที่ 4.15 ผลวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมาจาก Co-60



รูปที่ 4.16 ผลการรวมปริมาณนับรังสีใต้พื้นที่พีคพลังงานของ Cs-137 โดยใช้ Integral function



รูปที่ 4.17 ผลการใช้ฟังก์ชันการขยายและเลื่อนสเปกตรัมด้วยฟังก์ชัน expand และ roll up

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องประเภท stand alone ใน 2 ลักษณะ คือ การใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วน และปรับเปลี่ยนมาเป็นการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ช่วยควบคุมการทำงานของระบบ จนกระทั่งได้ผลการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องเป็นไปตามพิกัดที่วางขอบเขตไว้ มีข้อสรุปจากการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ระยะแรกที่เริ่มพัฒนาในแนวทางของการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วนนั้น การพัฒนาเป็นไปได้ยาก เนื่องจากปัญหาในการจัดหาชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วน และชิ้นส่วนกลขนาดเล็ก ซึ่งไม่สามารถหาได้ในประเทศ การทำแผ่นพิมพ์วงจรสองหน้าชนิดเพลตทรูโฮล (plated through-holes) ขนาดใหญ่ ในขณะนั้นยังไม่มีเทคนิคเพียงพอและแนวโน้มของเทคโนโลยีทางการผลิตวงจรไมโครได้เปลี่ยนแปลงไปในทางการผลิตวงจรไมโครที่มีสเกลใหญ่มาก (VLSI) ทำให้มีการเลิกผลิตวงจรไมโครในสเกลเล็กที่ใช้เฉพาะงาน เป็นผลให้การพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องมีช่องมีอุปสรรคมากขึ้น

2. จากแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีด้านการผลิตวงจรไมโครและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ จึงได้ปรับเปลี่ยนแนวทางการพัฒนาเป็นการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ช่วยควบคุมการทำงานของระบบ ทำให้มีการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนน้อยลง เพิ่มการใช้โปรแกรมควบคุมการทำงาน ทำให้มีความยืดหยุ่นในการออกแบบและสามารถปรับเปลี่ยนระบบการควบคุมได้ง่าย มีแนวโน้มของค่าใช้จ่ายในส่วนของฮาร์ดแวร์ (hardware) ต่ำกว่าการพัฒนาที่ใช้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วน ด้วยเหตุผลดังนี้

2.1 การพัฒนาแบบใช้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วน จะต้องสร้างแผ่นพิมพ์วงจรขนาดใหญ่และใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนจำนวนมาก รวมทั้งต้องมีระบบแสดงผลบนจอภาพเพิ่มขึ้นอีกส่วนหนึ่ง จึงมีค่าใช้จ่ายสูง

2.2 การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ช่วยควบคุมทำให้ลดความซับซ้อนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์และมีส่วนแสดงผลในตัว ซึ่งปัจจุบันไมโครคอมพิวเตอร์มีราคาประหยัดขึ้นเหมาะแก่การใช้งานมาก

3. การออกแบบอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง โดยมีระบบวัดรังสีส่วนหน้าในตัวทำให้สะดวกในการจัดระบบวัด โดยเฉพาะการออกแบบระบบวัดในลักษณะโมดุลแยกส่วนตามขนาดมาตรฐาน Eurocard สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงขนาดมาตรฐานของระบบวัดนิวเคลียร์สากล ซึ่งเริ่มลดขนาดโมดุลลงมาใช้มาตรฐาน Eurocard ดังปรากฏในรายงานของ IAEA-TECDOC 530[4] ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ขยายผลการวิจัยในด้านของอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์แบบโมดุลแยกส่วน โดยใช้โครงบรรจุโมดุลและขนาดโมดุลตามมาตรฐาน Eurocard เรียกชื่อระบบวัดว่า "Mini-Bin Nuclear Instrument" และได้เสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ครั้งที่ 4 ตุลาคม 2535 ไปแล้ว

4. ผลทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ ได้ผลสรุปดังนี้

4.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงปรับค่าได้ 0-2000 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 100 µA ความเป็นเชิงเส้นของค่าที่อ่านบนสเกลและศักดาไฟฟ้าทางออกมีค่า Y = 188.99x +35.39 และมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.999 มีขนาดของศักดาระลอกคลื่นขณะจ่ายกระแสเต็มที่น้อยกว่า 50 mV ซึ่งมีคุณภาพเพียงพอที่จะใช้กับหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนล และหัววัดเรืองรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม)

4.2 อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ สามารถปรับอัตราขยายได้ 20:1 โดยให้รูปสัญญาณแบบยูนิโพลาที่ความกว้างของพัลส์ 4 µS ความสูงของพัลส์มีความเป็นเชิงเส้นในช่วง 0 ถึง 10 โวลต์ และจากการทดสอบความเป็นเชิงเส้นแบบดิฟเฟอเรนเชียลเป็นไปตามสมการ
Y = -0.11x+10.98 มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ -0.844

4.3 ระบบแปลงสัญญาณพัลส์อนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขขนาด 10 บิต ใช้ฐานความถี่ขนาด 50 MHz ความเป็นเชิงเส้นในการแปลงสัญญาณ มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.999

4.4 ระบบวิเคราะห์มีความสามารถในการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ที่พลังงาน 662 keV ของ Cs-137 ในอัตรานับน้อยกว่า 2.000 ครั้งต่อวินาที (120.000 CPM)

5. อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานในด้านการเรียนการสอนและงานวิจัยขั้นพื้นฐานด้านเทคนิคนิวเคลียร์และฟิสิกส์นิวเคลียร์ได้เพียงพอ โดยสามารถพัฒนาขึ้นด้วยตนเองภายในประเทศ ส่วนของระบบที่ประกอบยากคือ ส่วนของวงจรแปลงสัญญาณแบบวิลคินสัน ซึ่งในอนาคตสามารถพัฒนาระบบแปลงสัญญาณที่มีความซับซ้อนของวงจรน้อยลง ในรูปแบบของ constant fraction ADC ตามหัวข้อ 2.2.2 ในบทที่ 2

5.2 ฟิกัดการทำงานของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง

5.2.1 ฟิกัดของระบบวิเคราะห์ทางฮาร์ดแวร์

แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง	สามารถปรับค่าได้จาก 0-2000 โวลต์ จ่ายกระแสได้สูงสุด 100 μA อ่านค่าศักดาไฟฟ้าจากสเกลปรับ 10 รอบ
อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์	ภาคขยายส่วนหน้าแบบไวต่อประจุไฟฟ้า ภาคขยายหลักปรับอัตราขยายได้ 20:1 ให้สัญญาณทางออกแบบยูนิโพลา ซึ่งมีขนาดความกว้างพัลส์ 4 μS สามารถปรับความคลาดเคลื่อนของเส้นฐานสัญญาณด้วย P/Z และ BLR
ระบบแปลงสัญญาณพัลส์อนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข	เป็นแบบวิลคินสัน ขนาด 10 บิต ใช้ความถี่ฐานเวลา 50 MHz สามารถปรับค่า CG ได้เป็นขั้นจาก 512,1024 และ 2048 และเลือกค่า DZO ได้เป็นขั้นจาก 0, 256, 512, 768, 1024, 1280,1536 และ 1792
ระบบเชื่อมโยงสัญญาณ	ทำงานแบบ Interrupt service routine controlled I/O รับข้อมูล 10 บิต จาก ADC อ่านข้อมูลเวลาและส่งผ่านสัญญาณควบคุม

ไมโครคอมพิวเตอร์	ใช้ main board รุ่น SUH 286 ความถี่ฐานเวลา 7 MHz หรือ 12 MHz มีหน่วยความจำสำรอง 1 MB แสดงผลทางจอภาพผ่านแผ่น Hercules มี Floppy drive ขนาด 1.44 MB, 3.5 นิ้ว 2 ชุด สำหรับอ่านโปรแกรมและบันทึกข้อมูล

5.2.2 พิกัดของโปรแกรม (Software)

โปรแกรม MCA-NT01 สำหรับควบคุมการทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์ การอ่านข้อมูลจากระบบแปลงสัญญาณ การแสดงผลของสเปกตรัมและค่าปริมาณ ตลอดจนการจัดการเก็บข้อมูลวิเคราะห์ ได้แก่

- การอ่านปริมาณนับรังสี
- การอ่านผลรวมปริมาณนับรังสีใต้พีคพลังงาน
- การพิมพ์ผลการวิเคราะห์

โปรแกรม MCA-NT01 มีขนาดความจำ 26773 กิโลไบต์ ต้องการใช้ขนาดของหน่วยความจำสำรองอย่างน้อย 640 กิโลไบต์ แสดงผลทางจอภาพโมโนโครม

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

1. การออกแบบในลักษณะใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะส่วน เมื่อไม่สามารถจัดหาอุปกรณ์ในประเทศได้ เช่น วงจรไมโครเฉพาะงาน จอภาพ CRT สวิตช์โยก (toggle) ขนาดเล็ก สวิตช์เลือก (selector) ขนาดเล็ก จำเป็นต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ใช้เวลาไม่ต่ำกว่า 1 เดือน หรือมากกว่านั้น

2. การออกแบบแผ่นพิมพ์วงจรขนาดใหญ่ แม้จะใช้โปรแกรมช่วยออกแบบ เช่น Or-Cad Protel ก็ตามจะต้องมีความชำนาญ มิฉะนั้นจะใช้เวลามากและต้องเดินสายภายนอกเพิ่มเติม

มาก นอกจากนั้นการทำแผ่นพิมพ์วงจร (printed circuit board) ระบบเพลตทรูโฮลขนาดใหญ่มีราคาแพง และยังไม่มีคุณภาพสูงพอที่จะใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้

3. ข้อจำกัดในการออกแบบโปรแกรมการติดต่อระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์และวงจรภายนอกที่จะทำให้ใช้เวลาน้อยที่สุดและใช้เทคนิคชั้นสูง ต้องอาศัยการศึกษาและทดลอง จึงทำให้มีข้อจำกัดในขีดความสามารถในการอ่านข้อมูลของเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

4. ความล่าช้าของงานพัฒนาสิ่งประดิษฐ์นี้เกิดจากข้อจำกัดด้านเวลาของผู้วิจัย และความไม่ต่อเนื่องในการทำวิจัย การดำเนินงานจึงไม่เป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องในขั้นต่อไป เพื่อให้ได้ความไวในการเก็บข้อมูลสัญญาณเชิงตัวเลขจากระบบแปลงสัญญาณ จะต้องแยกไมโครโปรเซสเซอร์เก็บข้อมูลในหน่วยความจำเป็นลักษณะการทำงานแบบ DMA (direct memory access) [8] แล้วจึงโอนถ่ายข้อมูลให้ไมโครคอมพิวเตอร์ในช่วงเวลาที่ว่างเว้นจากการประมวลข้อมูลในรูปแบบไทม์แชริง (time sharing)

2. การพัฒนาโปรแกรมให้แสดงผลบนจอภาพสี จะช่วยให้การแสดงผลวิเคราะห์มีศักยภาพในการจำแนกข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ทั้งในส่วนของบริเวณสเปกตรัมและค่าปริมาณ

3. ระบบควบคุมการเลือกฟังก์ชันหรือย่านวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ ซึ่งปรับด้วยสวิตช์นั้นในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นและฝุ่นละอองมาก จะทำให้เกิดความสกปรกบนหน้าสัมผัส และมีความคลาดเคลื่อนในการทำงาน การใช้โปรแกรมควบคุมสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์แทนสวิทช์ทางกล จะช่วยแก้ปัญหาได้เป็นอย่างดี และเป็นเทคนิคที่ใช้กับเครื่องมือวิทยาศาสตร์รุ่นใหม่

4. การออกแบบ ADC และระบบเก็บข้อมูลอิสระที่ทำงานแบบ DMA ให้มีขนาดเล็ก จะสามารถขยายผลการวิจัยจากการพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องประเภท stand alone ไปสู่อุปกรณ์วิเคราะห์แบบแผ่นการ์ด (MCA Card) เสียบลงในช่องขยายการทำงานของไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งนิยมใช้กันในปัจจุบัน

5. แนวทางการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ยังช่วยให้สามารถนำแผ่นวงจรแปลงสัญญาณ (ADC) ในเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องรุ่นเก่าที่เป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะล้วน ซึ่งอาจจะชำรุดในส่วนอื่น และไม่สามารถซ่อมบำรุงได้ มาใช้ประโยชน์ได้ต่อไปอีก

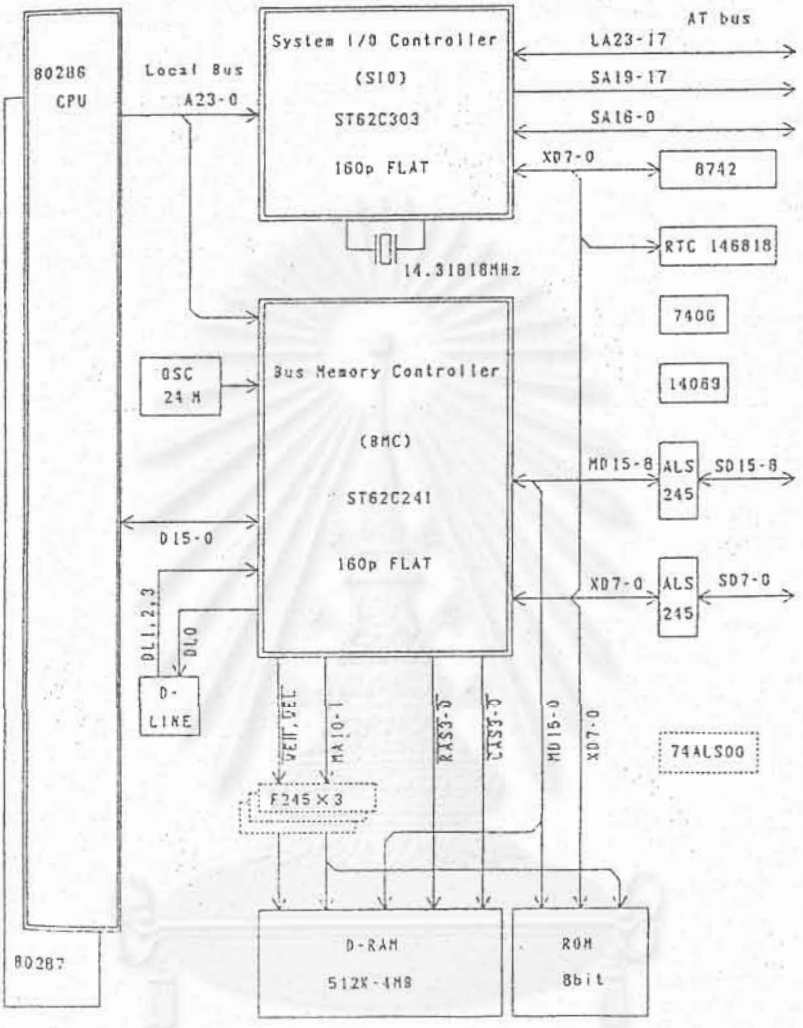
เอกสารอ้างอิง

1. Knoll G.F.. Radiation Detection and Measurement. 2nd ed John Wiley & Sons, Inc., 1979.
2. TN-1705 and TN-1706 Pulse Height Analyzer Technical Manual. Tracor Northern, Inc., ND.
3. Nicholson P.W.. Nuclear Electronics. John Wiley & Sons, Inc., 1974.
4. Nuclear Electronics Laboratory Manual. IAEA-TECDOC-530, 1989.
5. IBM Technical Reference. International Business Machines Corporation, 1981.
6. J.T. Willis and G.W. John. Interfacing Sensors to the IBM PC. Prentice-Hall International, Inc., 1991.
7. IT-5200 Instruction Manual; Ino-Tech, Inc., ND.
8. Protopapas D.A.. Microcomputer Hardware Design. Prentice-Hall International, Inc., 1988.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

รายละเอียดของแผ่นวงจรหลักของไมโครคอมพิวเตอร์



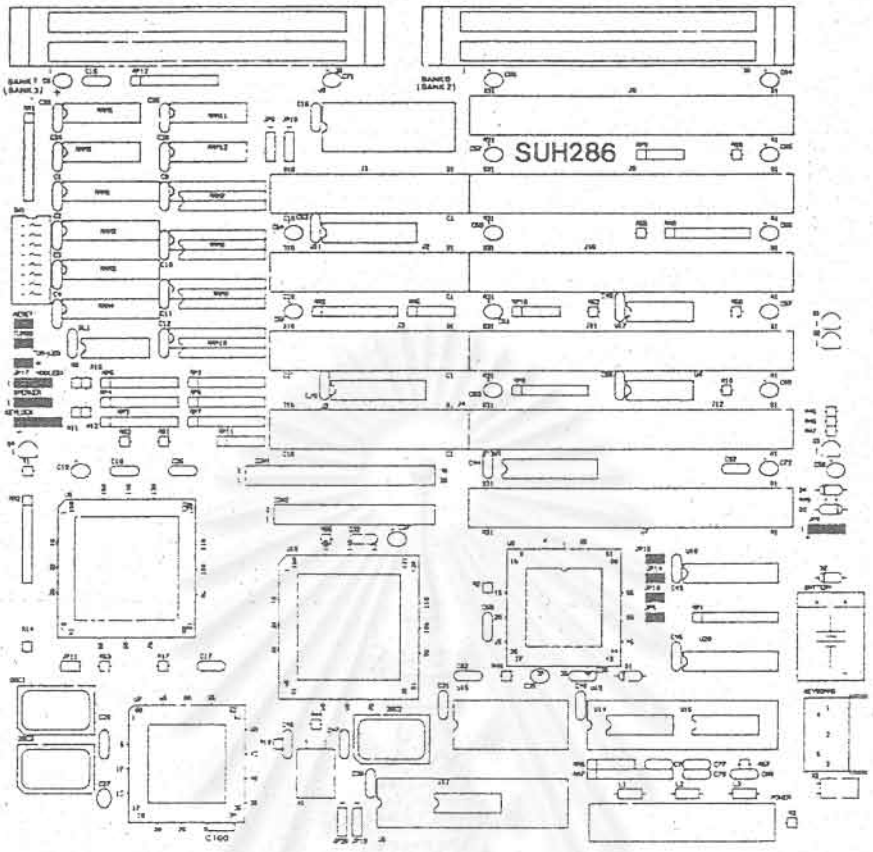
รูปที่ ก.1 แผนภาพของ main board SUH 286

Pin	Description
1	Power Good
2	+ 5 V
3	+ 12 V
4	- 12 V
5	Ground
6	Ground
7	Ground
8	Ground
9	- 5 V
10	+ 5 V
11	+ 5 V
12	+ 5 V

Power Supply Connector

(POWER)

รูปที่ ก.2 ตำแหน่งขาของแหล่งจ่ายไฟฟ้า



รูปที่ ก.3 ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ บน main board SUH 286

I/O	SIGNAL	B SIDE	A SIDE	SIGNAL	I/O
–	GND	B1	A1	/IOCHCK	I
O	RSTDRV	B2	A2	SD7	I/O
–	+5V	B3	A3	SD6	I/O
I	IRQ9	B4	A4	SD5	I/O
–	–5V	B5	A5	SD4	I/O
I	DRQ2	B6	A6	SD3	I/O
–	–12V	B7	A7	SD2	I/O
I	/OWS	B8	A8	SD1	I/O
–	+12V	B9	A9	SD0	I/O
–	GND	B10	A10	IOCHRDY	I/O
O	/SMEMW	B11	A11	AEN	O
O	/SMEMR	B12	A12	SA19	I/O
O	/IOW	B13	A13	SA18	I/O
O	/IOR	B14	A14	SA17	I/O
O	/DACK 3	B15	A15	SA16	I/O
I	DRQ 3	B16	A16	SA15	I/O
O	/DACK 1	B17	A17	SA14	I/O
I	DRQ 1	B18	A18	SA13	I/O
I/O	/MEMREF	B19	A19	SA12	I/O
O	SYSCLK	B20	A20	SA11	I/O
I	IRQ7	B21	A21	SA10	I/O
I	IRQ6	B22	A22	SA9	I/O
I	IRQ5	B23	A23	SA8	I/O
I	IRQ4	B24	A24	SA7	I/O
I	IRQ3	B25	A25	SA6	I/O
O	/DACK 2	B26	A26	SA5	I/O
O	TC	B27	A27	SA4	I/O
O	BUSALE	B28	A28	SA3	I/O
–	+5V	B29	A29	SA2	I/O
O	OSC	B30	A30	SA1	I/O
–	GND	B31	A31	SA0	I/O

I/O channel pin assignments

รูปที่ ก.4 ตำแหน่งขาของช่องขยายสัญญาณ XT

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมสำหรับใช้กับอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องควบคุมการทำงานไมโครคอมพิวเตอร์

```
;PHA.EXE
;CREATED BY N.HUDSALEARK
;19-9-1991
STACK           SEGMENT STACK
                DB              2000H DUP('?')

STACK           ENDS
DATA            SEGMENT
MCA_BUF         DW              4096 DUP(0000H)
VDO_BUF         DB              4096 DUP(00H)
SUB_COUNT       DW              1024
STK             DW              0000
SPT             DW              0000
SEQ             DW              10
SG_OLD          DW              0000
OF_OLD          DW              0000
BEG_WIN         DW              0000
END_WIN         DW              1024
BEG_ROI         DW              0000
END_ROI         DW              0000
STATUS          DB              04
PORT717         DB              040H
RNG_MSK         DW              0001
RNG_FAC         DW              0001
WIN_FAC         DW              0001
PRESET          DW              0000
R_OLDT          DW              0000
L_OLDT          DW              0000
ACT_PAG         DW              08000H
HALF_WIN        DW              0000
INT_ROI         DB              4 DUP(00H)
INT_BIN         DB              4 DUP(00H)
INT_STR         DB              10 DUP(00H),0DH,0DH
GTAB            DB              35H,2DH,2EH
                DB              07H,58H,02H,57H
                DB              57H,02H,03H,00H
                DB              00H,00H,00H,00H,00H
SG_1            DB              'NUCLEAR TECHNOLOGY DEPT.',0DH
SG_2            DB              'CHULALONGKORN UNIVERSITY',0DH
RSG_1           DB              '(off)',0DH
RSG_2           DB              '( on)',0DH
RSG_3           DB              ' S',0DH,' 1',0DH,' 2',0DH,' 4',0DH,' 8',0DH
                DB              '16',0DH,'32',0DH,'65',0DH
RSG_4           DB              'R ',0DH
RSG_5           DB              'L ',0DH
BLANK           DB              '  ',0DH
SG_3            DB              ' F1: Preset ',0DH,' '
                DB              ' R   100 ',0DH,'
                DB              ' F2: ADC Gain ',0DH
                DB              '     1024    ',0DH
                DB              ' F3: DZO    0 ',0DH
                DB              ' F4: Roi(off)',0DH
                DB              ' F5: Expand ',0DH,' '
                DB              ' F6: Contract ',0DH
                DB              ' F7: ROI (off)',0DH
                DB              ' from  0 ',0DH,'
                DB              ' to    0 ',0DH,'
                DB              ' ',0DH,'
                DB              ' F10:ACC (off)',0DH
                DB              ' DEAD TIME (%)',0DH
                DB              '     0  ',0DH,'
                DB              ' Ins enter ROI',0DH
                DB              ' CHANNEL #  0',0DH,'
                DB              ' COUNT',0DH,'
                DB              'VER.RANGE .5 K',0DH
                DB              '',01AH,01BH,' CURSOR',0DH,'
                DB              '',018H,019H,' RANGE',0DH,'
                DB    ' DEL : CLEAR ',0DH DB    'END :TERMINATE',0DH
BYTAB           DW              335,281,241,215,189,163,137,69,43,43
BHTAB           DW              44,30,16,16,16,16,58,16,30,30
BXTAB           DW              0,0,0,0,0,0,0,0,0,17
BWTAB           DW              15,15,15,15,15,15,15,15,15,71
YTAB            DW              331,317,277,263,237,211,185,159,133,119,105,91,65,39,25
                DW              39,39,39,39,25,25,25,25
XTAB            DW              0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,144,280,432,552,144,280
                DW              432,552
ROW_TAB         DW              348 DUP(0000H)
MCA_TAB         DW              348 DUP(0000H)
CUR_POS         DW              0000H
PHN_POS         DW              0000H
PLT_BUF         DW              0000H
TIME            DW              0000H
TIME_BUF        DB              ' 100',4 DUP(20H),0DH,0DH
TIME_TEM        DB              ' XXX',4 DUP(20H),0DH,0DH
TIME_PRT        DW              0710H
TIME_CRL        DB              03DH
TIME_LAT        DB              0DH
TIME_SEL        DB              0DH
DOS             DB              'A:COMMAND.COM',00H
DATA            ENDS
CODE            SEGMENT
TOP             PROC FAR
                ASSUME CS:CODE
START:          PUSH DS
                SUB AX,AX
                PUSH AX
                MOV AX,DATA
                MOV DS,AX
                ASSUME DS:DATA
                MOV AX,STACK
                MOV SS,AX
                ASSUME SS:STACK
                MOV AX,35DAH
                INT 21H
                PUSH ES
                POP AX
                MOV DS:[SG_OLD],AX
                MOV DS:[OF_OLD],BX
                PUSH DS
                PUSH CS
                POP DS
                MOV AX,250AH
                MOV DX,OFFSET COLCT
                INT 21H
                POP DS
                MOV DX,21H
                IN AL,DX
                AND AL,0F5H
                OUT DX,AL
                MOV DX,215H
                IN AL,DX
                INC DX
                OUT DX,AL
                MOV AX,05AH
                MOV CX,057H
                MOV BX,0000H
                LEA DI,ROW_TAB
                CALL MKTAB
                MOV AX,05AH
                MOV CX,045H
                MOV BX,16H
                LEA DI,MCA_TAB
                 CALL MKTAB
                 CALL GMOD
                 CALL MAXBOX
                 PUSH BP
```

```
                CALL SHOW
                POP BP
                MOV DX,714H ;OFF CLOCK/ACC. MOV AL,00H
                OUT DX,AL
                INC DX
                OUT DX,AL   ;START ADC0803 JMP PTEMP
COLGT:          CLI
                PUSH AX
                PUSH DX
                PUSH SI
                PUSH DS
                PUSHF
                MOV AX,DATA
                MOV DS,AX
                MOV DX,0714H
                IN AL,DX
                MOV AH,AL
                INC DX
                IN AL,DX
                MOV SI,AX
                SHL SI,1
                MOV AX,DS:MCA_BUF[SI]
                INC AX
                MOV DS:MCA_BUF[SI],AX
                PUSH DX
                MOV DX,020H
                MOV AL,020H
                OUT DX,AL
                POP DX
                INC DX
                OUT DX,AL
                POPF
                POP DS
                POP SI
                POP DX
                POP AX
                STI
                IRET
MAIN:           MOV AX,DS:[SUB_COUNT]
                MOV DS:[PLT_BUF],AX
CHK_WIN:        MOV BX,DS:[BEG_WIN]
                CMP AX,BX
                JB MID_WAY
                MOV BX,DS:[END_WIN]
                CMP AX,BX
                JA MID_WAY
                MOV BL,DS:[STATUS]
                TEST BL,02H
                JZ MAK_PLT
                JMP MAK_PLT
MID_WAY:        JMP NOT_PLT
MAK_PLT:        MOV SI,AX
                SHL SI,1
                MOV SI,DS:MCA_BUF[SI]
                MOV DI,DS:[RNG_MSK]
                TEST SI,DI
                JNZ RUB
                JMP NOT_PLT
RUB:            MOV SI,AX
                XOR DH,DH
                MOV DL,DS:VDO_BUF[SI]
                MOV SI,DX
                MOV BX,AX
                PUSH BX
                MOV DX,DS:[BEG_WIN]
                SUB BX,DX
                MOV DL,DS:[STATUS]
                MOV CX,DS:[WIN_FAC]
                TEST DL,04H
                JZ ZOOM_IN
ZOOM_OUT:       SHR BX,CL
                JMP RUB_1
ZOOM_IN:        SHL BX,CL
RUB_1:          MOV DI,DS:[BEG_ROI]
                CMP AX,DI
                JB CHK_CUR
                MOV DX,DS:[END_ROI]
                CMP AX,DX
                JA CHK_CUR
                CMP DX,DI
                JE CHK_CUR
                MOV DI,DS:[PHN_POS]
                MOV DS:[PHN_POS],AX
                CALL WPHN
                MOV DS:[PHN_POS],DI
                JMP ONY_WR
CHK_CUR:        MOV DX,DS:[CUR_POS]
                CMP DX,AX
                JNZ ONY_RUB
                CALL RCUR
ONY_RUB:        CALL RDOT
ONY_WR:         POP SI
WRITE:          MOV CX,DS:[RNG_FAC]
                SHL SI,1
                MOV SI,DS:MCA_BUF[SI]
                SHR SI,CL
CLIP:           CMP SI,00FFH
                JBE PLT
                SUB SI,0FFH
                JMP CLIP
PLT:            PUSH BX
                MOV BX,AX
                MOV DX,SI
                MOV CS:VDO_BUF[BX],DL
                MOV AX,DS:[CUR_POS]
                CMP BX,AX
                JNZ NOT_MAT
                CALL WCUR
                CALL WGNT
NOT_MAT:        POP BX
                CALL WDOT
NOT_PLT:        MOV AX,DS:[SUB_COUNT]
                DEC AX
                CMP AX,DS:[BEG_WIN]
                JNZ DUK
                CALL DROI
                CALL REAL
                CALL DEAD
                MOV AX,DS:[TIME]
                CMP AX,00H
                JA TRD
                MOV DX,714H
                OUT DX,AL
                JMP F10_4
TRD:            MOV AX,DS:[END_WIN]
DUK:            MOV DS:[SUB_COUNT],AX
                MOV AX,DS:[SEQ]
                DEC AX
                JZ KEY_PRES
                MOV DS:[SEQ],AX
                JMP MAIN
KEY_PRES:       MOV AX,DS:[TIME]
                CMP AX,00H
                JA TDK
                MOV AL,DS:[TIME_SEL]
```

```
                AND AL,07FH
                MOV DX,714H
                OUT DX,AL
                JMP F10_4
TDK:            MOV AX,10
                MOV DS:[SEQ],AX
                ;XOR AL,AL
                MOV AH,01H
                INT 16H
                JNZ TEMP
PRE_MIN:        JMP MAIN
PTEMP:          MOV AH,00H
                INT 16H
TEMP:           CMP AH,048H     ;UP
                JNZ T_1
                CALL UP
                CALL WRNG
                JMP RK
T_1:            CMP AH,050H     ;DOWN
                JNZ T_2
                CALL DOWN
                CALL WRNG
                JMP RK
T_2:            CMP AH,04DH     ;RIGHT ARROW
                JNZ T_3
                MOV AL,DS:[STATUS]
                TEST AL,10H
                JZ RA_2
                PUSH AX
                CALL MRPH
                POP AX
RA_2:           TEST AL,08H
                JZ RA_1
                CALL RROLL
                JMP RK
RA_1:           CALL MR
                JMP RK
T_3:            CMP AH,04BH     ;LEFT ARROW
                JNZ T_4
                MOV AL,DS:[STATUS]
                TEST AL,10H
                JZ LA_2
                PUSH AX
                CALL MLPH
                POP AX
LA_2:           TEST AL,08H
                JZ LA_1
                CALL LROLL
                JMP RK
LA_1:           CALL ML
                JMP RK
T_4:            CMP AH,03FH     ;F5 ZOOM IN
                JNZ T_5
                CALL F5
                JMP RK
T_5:            CMP AH,040H     ;F6 ZOOM OUT
                JNZ T_6
                CALL F6
                JMP RK
T_6:            CMP AH,03EH     ;F4 ROLL
                JNZ T_7
                MOV AL,DS:[STATUS]
                TEST AL,08H
                JNZ F4_1
                OR AL,08H
                LEA DI,RSG_2
                JMP F4_3
F4_1:           AND AL,0F7H
                LEA DI,RSG_1
F4_2:           MOV DS:[STATUS],AL
                MOV BX,72
                MOV SI,211
                CALL RWSTR
                JMP RK
T_7:            CMP AH,041H     ;F7 ROI
                JNZ T_8
                MOV AL,DS:[STATUS]
                TEST AL,02H
                JNZ F7_1
                OR AL,02H
                LEA DI,RSG_2
                JMP F7_2
F7_1:           AND AL,0FDH
                LEA DI,RSG_1
F7_2:           MOV DS:[STATUS],AL
                MOV BX,72
                MOV SI,133
                CALL RWSTR
                JMP RK
T_8:            CMP AH,052H     ;INS enter roi
                JNZ T_9
                MOV AL,DS:[STATUS]
                TEST AL,10H
                JNZ INS_1
                OR AL,10H
                MOV BX,DS:[CUR_POS]
                MOV DS:[PHN_POS],BX
                MOV DS:[BEG_ROI],BX
                PUSH AX
                CALL WPHN
                MOV AX,DS:[PHN_POS]
                MOV BX,56
                MOV SI,119
                CALL WDEC
                POP AX
                JMP INS_2
INS_1:          AND AL,0EFH
                MOV BX,DS:[PHN_POS]
                MOV DS:[END_ROI],BX
                CALL FSTROI
INS_2:          MOV DS:[STATUS],AL
INS_E:          JMP RK
T_9:            CMP AH,3BH      ;F1 PRESET REAL TIME
                JNZ T_10
                MOV BX,8
                MOV SI,317
                LEA DI,RSG_4
                CALL RSSTR
                MOV AX,0710H
                MOV DS:[TIME_PRT],AX
                MOV AL,030H
                MOV DS:[TIME_CRL],AL
                MOV AL,00H
                MOV DS:[TIME_LAT],AL
                MOV AL,00H
                MOV DS:[TIME_SEL],AL
F1_1:           PUSH DS
                POP ES
                CLD
                MOV CX,6
                LEA DI,TIME_TEM
                MOV AL,20H
                REP STOSB
                CALL KEYSER
                CALL INSTT
```

```
                MOV BX,40
                MOV SI,303
                LEA DI,BLANK
                CALL RSSTR
                MOV BX,40
                MOV SI,303
                MOV AX,DS:[TIME]
                CALL WDEC
                JMP RK
T_10:           CMP AH,044H  ;F10 ACCUMULATOR ON/OFF
                JNZ T_11
F10_4:          MOV BL,DS:[STATUS]
                TEST BL,01H
                JZ F10_1
                AND BL,0FEH
                MOV AL,DS:[TIME_SEL]
                AND AL,07FH
                LEA DI,RSG_1
                JMP F10_2
F10_1:          OR BL,01H
                PUSH BX
                CALL INSTT
                POP BX
                MOV AL,DS:[TIME_SEL]
                OR AL,80H
                LEA DI,RSG_2
F10_2:          MOV DS:[STATUS],BL
                MOV DX,714H
                OUT DX,AL
                MOV BX,72
                MOV SI,65
                CALL RSSTR
                JMP RK
T_11:           CMP AH,54     ;SHIFT F1 PREESET DEAD TIME
                JNZ T_12
                MOV BX,8
                MOV SI,317
                LEA DI,RSG_5
                CALL RSSTR
                MOV AX,0711H
                MOV DS:[TIME_PRT],AX
                MOV AL,070H
                MOV DS:[TIME_CRL],AL
                MOV AL,040H
                MOV DS:[TIME_LAT],AL
                MOV AL,01H
                MOV DS:[TIME_SEL],AL
                JMP F1_1
T_12:           CMP AH,53   ;DEL CLEAR MEMORY
                JNZ T_13
                PUSH DS
                POP ES
                CLI
                LEA DI,MCA_BUF
                XOR AX,AX
                MOV CX,2048
                REP  STOSW
                STI
                CALL CLR
                CALL UOT_SCR
                JMP RK
T_13:           CMP AH,03CH  ;F2 ADC GAIN
                JNZ T_14
                CALL DGZ
                JMP RK
T_14:           CMP AH,03DH  ;F3 DIGITAL ZERO OFFSET
                JNZ T_15
                CALL DZO
                JMP RK
T_15:           CMP AH,04FH  ;END TERMINATE PROGRAM
                JZ BYE
RK:             MOV AH,01H
                INT 16H
                JZ  RKE
                MOV AH,00
                INT 16H
RKE:            MOV AL,DS:[STATUS]
                TEST AL,01H
                JZ RK_1
                JMP PRE_MN
RK_1:           JMP PTEMP
BYE:            ;MOV AH,00H       ;SCREEN TEXT MODE
                ;MOV AL,02H
                ;INT 010H
                MOV DX,714H
                XOR AX,AX
                OUT DX,AL
                PUSH DS
                MOV DX,DS:[OF_OLD]
                MOV AX,DS:[SG_OLD]
                PUSH AX
                POP DS
                MOV AX,250AH
                INT 21H
                POP DS
                CLI
                MOV DX,21H
                IN AL,DX
                OR AL,04H
                OUT DX,AL
                STI
                MOV AX,0C12H
                INT 21H
                MOV AH,00
                MOV AL,02
                INT 10H
                ;INT 019H
                MOV AH,4CH  ;BACK TO DOS
                MOV AL,00
                INT 021H
KEYSER          PROC NEAR    ;INPUT PRESET TIME
                LEA SI,TIME_TEM
KESE_1:         LEA DI,TIME_TEM
                PUSH SI
                PUSH DI
                MOV BX,32
                MOV SI,317
                CALL RSSTR
                ;MOV AX,0C12H
                ;INT 21H
                POP DI
                POP SI
                MOV AX,00H
                INT 16H
                CMP AH,0EH   ;BLACK SPACE JNZ KESE_2
                CMP DI,SI
                JZ KESE_1
                MOV AL,20H
                MOV DS:[SI],AL
                DEC SI
                JMP KESE_1
KESE_2:         CMP AH,01H   ;ESC
                JNZ KESE_3
                LEA DI,TIME_BUF
                MOV BX,32
```

```
                MOV SI,317
                CALL RSSTR
                JMP KESE
KESE_3:         CMP AH,1CH    ;ENTER
                JNZ KESE_5
                MOV CX,8
                LEA DI,TIME_BUF
                LEA SI,TIME_TEM
KESE_4:         MOV AL,DS:[SI]
                MOV DS:[DI],AL
                INC DI
                INC SI
                LOOP KESE_4
                JMP KESE
KESE_5:         CMP AL,30H    ;FILTER NUMERRIC
                JB KESE_1
                CMP AL,39H
                JA KESE_1
                MOV BX,DI
                ADD BX,5
                CMP SI,BX
                JBE KESE_6
                JMP KESE_1
KESE_6:         INC SI
                MOV DS:[SI],AL
                JMP KESE_1
KESE:           RET
KEYSER          ENDP
MRPH            PROC NEAR     ;MOVE PHANTOM RIGHT
                MOV AX,DS:[PHN_POS]
                INC AX
                MOV DS:[PHN_POS],AX
                MOV DS:[END_ROI],AX
                CALL WPHN
                CALL WTO
                RET
MRPH            ENDP
MLPH            PROC NEAR
                CALL RPHN
                MOV AX,DS:[PHN_POS]
                DEC AX
                MOV DS:[PHN_POS],AX
                MOV DS:[END_ROI],AX
                CALL WTO
                RET
MLPH            ENDP
WTO             PROC NEAR
                MOV AX,DS:[PHN_POS]
                MOV BX,56
                MOV SI,105
                CALL WDEC
                RET
WTO             ENDP
MAKROI          PROC NEAR     ;MAKE ROI
                PUSH AX
                PUSHF
                CLC
                LEA SI,INT_ROI
                MOV BX,DS:[SI]
                MOV AX,DS:[SI+2]
                INC AX
                ADC BX,00H
                MOV DS:[SI+2],AX
                MOV DS:[SI],BX
                XCHG AH,AL
                MOV DS:[SI+2],AX
                XCHG BH,BL
                MOV DS:[SI],BX
                CALL WROI
                POPF
                POP AX
                RET
MAKROI          ENDP
LROLL           PROC NEAR     ;LEFT ROLL
                MOV AX,DS:[BEG_WIN]
                DEC AX
                CMP AX,00H
                JGE LROLL_1
                MOV AX,00H
                MOV DS:[BEG_WIN],AX
                JMP LROLL_2
LROLL_1:        MOV DS:[BEG_WIN],AX
                MOV AX,DS:[END_WIN]
                DEC AX
                MOV DS:[END_WIN],AX
LROLL_2:        MOV AX,DS:[CUR_POS]
                DEC AX
                CMP AX,00H
                JGE LROLL_3
                MOV AX,00H
LROLL_3:        MOV DS:[CUR_POS],AX
                CALL CLR
                CALL UDT_SCR
                RET
LROLL           ENDP
RROLL           PROC NEAR     ;RIGHT ROLL
                MOV AX,DS:[END_WIN]
                INC AX
                CMP AX,2048
                JBE RROLL_1
                MOV AX,2048
                MOV DS:[END_WIN],AX
                JMP RROLL_2
RROLL_1:        MOV DS:[END_WIN],AX
                MOV AX,DS:[BEG_WIN]
                INC AX
                MOV DS:[BEG_WIN],AX
RROLL_2:        MOV AX,DS:[CUR_POS]
                INC AX
                CMP AX,2048
                JBE RROLL_3
                MOV AX,2048
RROLL_3:        MOV DS:[CUR_POS],AX
                CALL CLR
                CALL UDT_SCR
                RET
RROLL           ENDP
DOWN            PROC NEAR     ;DECR RANGE
                PUSH BX
                MOV AX,DS:[RNG_FAC]
                DEC AX
                JNZ DOWN_1
                MOV AX,01H
                JMP DOWN_2
DOWN_1:         MOV BX,DS:[RNG_MSK]
                SHR BX,1
                MOV DS:[RNG_MSK],BX
DOWN_2:         MOV DS:[RNG_FAC],AX
                CALL CLR
                CALL RCUR
                CALL UDT_SCR
                POP BX
                RET
DOWN            ENDP
UP              PROC NEAR     ;INCR RANGE
```

```
                MOV AX,DS:[RNG_FAC]
                INC AX
                CMP AX,08H
                JBE UP_1
                MOV AX,08H
UP_1:           MOV DS:[RNG_FAC],AX
                PUSHF
                MOV CX,AX
                XOR AX,AX
UP_2:           STC
                RCL AX,1
                LOOP UP_2
                POPF
                MOV DS:[RNG_MSK],AX
                CALL CLR
                CALL RCUR
                CALL UDT_SCR
                RET
UP              ENDP
MAKMSK          PROC NEAR    ;MAKE MASK
                XOR AX,AX
                PUSHF
                MOV CX,DS:[RNG_FAC]
MSK_1:          STC
                RCL AX,1
                LOOP MSK_1
                POPF
                MOV DS:[RNG_MSK],AX
                RET
MAKMSK          ENDP
FS              PROC NEAR    ;ZOOM IN
                MOV AL,DS:[STATUS]
                TEST AL,04H
                JNZ FS_1
                MOV AX,DS:[WIN_FAC]
                INC AX
                MOV DS:[WIN_FAC],AX
                JMP DRAW_1
FS_1:           MOV AX,DS:[WIN_FAC]
                DEC AX
                CMP AX,00H
                JGE FS_3
                MOV AL,DS:[STATUS]
                AND AL,0FBH
                MOV DS:[STATUS],AL
                MOV AX,01H
FS_3:           MOV DS:[WIN_FAC],AX
                JMP DRAW_1
DRAW_1:         CALL MAKWIN
                CALL CLR
                CALL UDT_SCR
                RET
FS              ENDP
F8              PROC NEAR    ;ZOOM OUT
                MOV AL,DS:[STATUS]
                TEST AL,04H
                JZ F8_1
                MOV AX,DS:[WIN_FAC]
                INC AX
                MOV DS:[WIN_FAC],AX
                JMP DRAW_2
F8_1:           MOV AX,DS:[WIN_FAC]
                DEC AX
                CMP AX,00H
                JGE F8_3
                MOV AL,DS:[STATUS]
                OR AL,04H
                MOV DS:[STATUS],AL
                MOV AX,01H
F8_3:           MOV DS:[WIN_FAC],AX
                JMP DRAW_2
DRAW_2:         CALL MAKWIN
                CALL CLR
                CALL UDT_SCR
                RET
F8              ENDP
MAKWIN          PROC NEAR    ;MAKE BEG,END WINDOW
                MOV AL,DS:[STATUS]
                TEST AL,04H
                JNZ BEW_1
                MOV CX,DS:[WIN_FAC]
                MOV AX,256
                SHR AX,CL
BEW_4:          MOV DX,DS:[CUR_POS]
                SUB DX,AX    ;CAL. BEG_WIN
                CMP DX,00H
                JGE BEW_2
                MOV DX,00H
                MOV DS:[BEG_WIN],DX
                SHL AX,1
                ADD DX,AX
                MOV DS:[END_WIN],DX
                JMP BEW_6
BEW_2:          MOV DS:[BEG_WIN],DX
                SHL AX,1
                ADD DX,AX    ;CAL. END_WIN BEW_6
                CMP DX,2048
                JBE BEW_3
                MOV DX,2048
                MOV DS:[END_WIN],DX
                ;SHL AX,1
                MOV DX,2048
                SUB DX,AX
                MOV DS:[BEG_WIN],DX
                JMP BEW_E
BEW_3:          MOV DS:[END_WIN],DX
                JMP BEW_E
BEW_1:          MOV CX,DS:[WIN_FAC]
                CMP CX,02H
                JBE BEW_5
                MOV CX,02H
                MOV DS:[WIN_FAC],CX
BEW_5:          MOV AX,256
                SHL AX,CL
                JMP BEW_4
BEW_E:          RET
MAKWIN          ENDP
MR              PROC NEAR    ;MOVE CURSOR LEFT
                PUSH AX
                CALL RCUR
                MOV AX,DS:[CUR_POS]
                INC AX
                MOV DX,DS:[END_WIN]
                CMP AX,DX
                JBE MR_1
                MOV AX,DS:[BEG_WIN]
MR_1:           MOV DS:[CUR_POS],AX
                CALL WCUR
                CALL WCNT
                CALL WCHN
                POP AX
                RET
MR              ENDP
ML              PROC NEAR    ;MOVE CURSOR LEFT
                PUSH AX
```

```
                CALL RCUR
                MOV AX,DS:[CUR_POS]
                DEC AX
                MOV DX,DS:[BEG_WIN]
                CMP AX,DX
                JGE ML_1
                MOV AX,DS:[END_WIN]
ML_1:           MOV DS:[CUR_POS],AX
                CALL WCUR
                CALL WCNT
                CALL WCHN
                POP AX
                RET
ML              ENDP
GMOD                PROC NEAR
                    MOV DX,03BFH
                    MOV AL,03H
                    OUT DX,AL
                    MOV AX,08000H
                    MOV ES,AX
                    MOV AL,02H
                    LEA SI,GTAB
                    MOV CX,08000H
                    MOV BX,0000H
                    PUSHF
                    PUSH BX
                    PUSH CX
                    MOV DX,03B8H
                    OUT DX,AL
                    MOV DX,03B4H
                    MOV CX,000EH
                    XOR AH,AH
                    CLD
                    CLI
GPARA:              MOV AL,AH
                    OUT DX,AL
                    INC DX
                    LODSB
                    OUT DX,AL
                    INC AH
                    DEC DX
                    LOOP GPARA
                    POP CX
                    XOR DI,DI
                    POP AX
                    REPZ STOSW
                    POPF
                    MOV AL,06
                    ADD AL,02
                    PUSH AX
                    MOV DX,03BAH
VOFF:               IN AL,DX
                    SHL AL,1
                    JNB VOFF
VON:                IN AL,DX
                    SHL AL,1
                    JB VON
                    POP AX
                    MOV DX,03B8H
                    OUT DX,AL
                    RET
GMOD                ENDP
MKTAB               PROC NEAR
                    PUSH DS
                    POP ES
LP1:                MOV SI,08000H
                    PUSH AX
                    PUSH SI
                    MUL CX
                    ADD AX,BX
                    ADD SI,AX
MOV DS:[DI],SI
                    INC DI
                    INC DI
                    POP SI
                    SUB SI,02000H
                    PUSH SI
                    ADD SI,AX
MOV DS:[DI],SI
                    INC DI
                    INC DI
                    POP SI
                    SUB SI,02000H
                    PUSH SI
                    ADD SI,AX
MOV DS:[DI],SI
                    INC DI
                    INC DI
                    POP SI
                    SUB SI,02000H
                    ADD SI,AX
MOV DS:[DI],SI
                    INC DI
                    INC DI
                    POP AX
                    DEC CX
                    JNZ LP1
                    RET
MKTAB               ENDP
WDOT                PROC NEAR
                    PUSH SI
                    PUSH BX
                    PUSH ES
                    PUSH DI
                    PUSH CX
                    PUSH AX
                    MOV AX,DS:[ACT_PAG]
                    MOV ES,AX
                    MOV CX,BX
                    SHL SI,1
                    MOV SI,DS:MCA_TAB[SI]
                    SHR BX,1
                    SHR BX,1
                    SHR BX,1
                    ADD SI,BX
                    AND CL,07H
                    MOV BL,080H
                    ROR BL,CL
                    MOV DI,SI
                    OR ES:[DI],BL
                    POP AX
                    POP CX
                    POP DI
                    POP ES
                    POP BX
                    POP SI
                    RET
WDOT                ENDP
RDOT                PROC NEAR
                    PUSH SI
                    PUSH BX
                    PUSH ES
                    PUSH DI
                    PUSH CX
                    PUSH AX
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                MOV AX,DS:[ACT_PAG]
                MOV ES,AX
                MOV CX,BX
                SHL SI,1
                MOV SI,DS:MCA_TAB[SI]
                SHR BX,1
                SHR BX,1
                SHR BX,1
                ADD SI,BX
                AND CL,07H
                MOV BL,080H
                ROR BL,CL
                MOV DI,SI
                NOT BL
                AND ES:[DI],BL
                POP AX
                POP CX
                POP DI
                POP ES
                POP BX
                POP SI
                RET
ROOT            ENDP
CLR             PROC NEAR
                PUSH CX
                PUSH DI
                PUSH AX
                PUSH ES
                PUSH SI
                PUSHF
                MOV AX,DS:[ACT_PAG]
                MOV ES,AX
                MOV CX,021H
                MOV SI,257
                SHL SI,1
                XOR AX,AX
                CLD
CCL:            MOV DI,DS:MCA_TAB[SI]
                REP  STOSW
                DEC SI
                DEC SI
                MOV CX,021H
                JNZ CCL
                MOV SI,00H
                MOV DI,DS:MCA_TAB[SI]
                MOV CX,21H
                REP  STOSW
                POPF
                POP SI
                POP ES
                POP AX
                POP DI
                POP CX
                RET
CLR             ENDP
WCHR            PROC NEAR
                PUSH ES
                PUSH DI
                PUSH BP
                PUSH CX
                MOV CX,BX
                SHR BX,1
                SHR BX,1
                SHR BX,1
                MOV BP,0006H
                AND CL,07H
                XOR DH,DH
                PUSHF
                CLC
                SHL DX,1
                SHL DX,1
                SHL DX,1
                POPF
                SHL SI,1
MC1:            PUSH SI
                PUSH BX
                MOV SI,ROW_TAB[SI]
                ADD SI,BX
                MOV AX,0F000H
                MOV ES,AX
                MOV DI,0FA6EH
                ADD DI,DX
                MOV AH,ES:[DI]
                XOR AL,AL
                ROR AX,CL
                XCHG AH,AL
                MOV BX,0B000H
                MOV ES,BX
                MOV DI,SI
                MOV ES:[DI],AX
                INC DX
                POP BX
                POP SI
                DEC SI
                DEC SI
                DEC BP
                JNZ MC1
                POP CX
                POP BP
                POP DI
                POP ES
                RET
WCHR            ENDP
WSTR            PROC NEAR
SSTR:           MOV DL,DS:[DI]
                CMP DL,0DH
                JZ  ESTR
                PUSH BX
                PUSH SI
                PUSH DI
                CALL WCHR
                POP DI
                POP SI
                POP BX
                ADD BX,08H
                INC DI
                JMP SSTR
ESTR:           RET
WSTR            ENDP
WCUR            PROC NEAR
                PUSH AX
                PUSH BX
                PUSH CX
                PUSH DI
                PUSH ES
                PUSH SI
                PUSHF
                MOV AX,0B000H
                MOV ES,AX
                MOV BX,DS:[CUR_POS]
                MOV AX,DS:[BEG_WIN]
                SUB BX,AX
                MOV CX,DS:[WAN_FAC]
                MOV AL,DS:[STATUS]
                TEST AL,04H
```

```
                JZ II
                SHR BX,CL
                JMP OO
II:             SHL BX,CL
OO:             MOV SI,DS:[CUR_POS]
                MOV AL,DS:VDO_BUF[SI]
                XOR AH,AH
                MOV SI,AX
                INC SI
                INC SI
                SHL SI,1
                MOV CX,BX
                SHR BX,1
                SHR BX,1
                SHR BX,1
                AND CL,07H
                MOV AL,080H
                ROR AL,CL
                MOV CX,0AH
CCUR:           PUSH SI
                MOV SI,DS:MCA_TAB[SI]
                ADD SI,BX
                MOV DI,SI
                OR ES:[DI],AL
                POP SI
                INC SI
                INC SI
                LOOP CCUR
                POPF
                POP SI
                POP ES
                POP DI
                POP CX
                POP BX
                POP AX
                RET
WCUR            ENDP
RCUR            PROC NEAR
                PUSH AX
                PUSH BX
                PUSH CX
                PUSH DI
                PUSH ES
                PUSH SI
                PUSHF
                MOV AX,0B000H
                MOV ES,AX
                MOV BX,DS:[CUR_POS]
                MOV AX,DS:[BEG_WIN]
                SUB BX,AX
                MOV CX,DS:[WIN_FAC]
                MOV AL,DS:[STATUS]
                TEST AL,04H
                JZ TT
                SHR BX,CL
                JMP QQ
TT:             SHL BX,CL
QQ:             MOV SI,DS:[CUR_POS]
                MOV AL,DS:VDO_BUF[SI]
                XOR AH,AH
                MOV SI,AX
                INC SI
                INC SI
                SHL SI,1
                MOV CX,BX
                SHR BX,1
                SHR BX,1
                SHR BX,1
                AND CL,07H
                MOV AL,080H
                ROR AL,CL
                NOT AL
                MOV CX,0AH
ECUR:           PUSH SI
                MOV SI,DS:MCA_TAB[SI]
                ADD SI,BX
                MOV DI,SI
                AND ES:[DI],AL
                POP SI
                INC SI
                INC SI
                LOOP ECUR
                POPF
                POP SI
                POP ES
                POP DI
                POP CX
                POP BX
                POP AX
                RET
RCUR            ENDP
UDT_SCR         PROC NEAR
                PUSH AX
                PUSH BX
                PUSH CX
                PUSH DX
                PUSH SI
                PUSH DI
                PUSH ES
                PUSHF
                MOV DX,DS:[END_WIN]
                MOV AX,DS:[BEG_WIN]
                SUB DX,AX
                INC DX
                MOV BX,DS:[BEG_WIN]
                MOV AL,DS:[STATUS]
                TEST AL,04H
                JZ ZIN
ZOUT:           MOV SI,BX
                SHL SI,1
                MOV SI,DS:MCA_BUF[SI]
                CALL SCALE
                MOV AX,SI
                MOV DS:VDO_BUF[BX],AL
                PUSH BX
                MOV AX,DS:[BEG_WIN]
                SUB BX,AX
                MOV CX,DS:[WIN_FAC]
                SHR BX,CL
                CALL WDOT
                POP BX
                INC BX
                DEC DX
                JNZ ZOUT
                JMP NN
ZIN:            MOV SI,BX
                SHL SI,1
                MOV SI,DS:MCA_BUF[SI]
                CALL SCALE
                MOV AX,SI
                MOV DS:VDO_BUF[BX],AL
                PUSH BX
                MOV AX,DS:[BEG_WIN]
                SUB BX,AX
                MOV CX,DS:[WIN_FAC]
```

```
                SHL BX,CL
                CALL WOOT
                POP BX
                INC BX
                DEC DX
                JNZ ZIN
NIN:            CALL WCUR
                CALL WCNT
                CALL WCHN
                MOV BX,DS:[END_WIN]
                MOV AX,DS:[BEG_ROI]
                CMP AX,BX
                JA UDTE
                MOV BX,DS:[BEG_WIN]
                MOV AX,DS:[END_ROI]
                CMP AX,BX
                JB UDTE
                MOV AX,DS:[BEG_ROI]
                MOV CX,DS:[END_ROI]
                CMP AX,CX
                JAE UDTE
                MOV DX,DS:[PHN_POS]
                PUSH DX
                MOV BX,DS:[BEG_WIN]
                CMP AX,BX
                JAE KT_1
                MOV AX,DS:[BEG_ROI]
                MOV BX,DS:[BEG_WIN]
                CMP AX,BX
                JAE KT_1
                MOV AX,DS:[BEG_WIN]
KT_1:           MOV BX,DS:[END_WIN]
                CMP CX,BX
                JBE KT_2
                MOV CX,DS:[END_WIN]
KT_2:           SUB CX,AX
                INC CX
ROI_L:          PUSH AX
                MOV DS:[PHN_POS],AX
                CALL WPHN
                POP AX
                INC AX
                LOOP ROI_L
                POP DX
                MOV DS:[PHN_POS],DX
UDTE:           POPF
                POP ES
                POP DI
                POP SI
                POP DX
                POP CX
                POP BX
                POP AX
                RET
UDT_SCR         ENDP
SCALE           PROC NEAR
                MOV CX,DS:[RNG_FAC]
                SHR SI,CL
E_1:            CMP SI,0FFH
                JBE BCK
                SUB SI,0FFH
                JMP E_1
BCK:            RET
SCALE           ENDP
WDEC            PROC NEAR    ;WRITE DECIMAL
                PUSH AX      ;AX VALUE TO WRITE PUSH CX      BX = X
                PUSH DX      ;SI = Y
                CMP AX,027104
                JGE N_1
                CMP AX,03E8H
                JGE N_2
                CMP AX,064H
                JGE N_3
                CMP AX,0AH
                JGE N_4
                CMP AX,0
                JGE N_5
N_1:            MOV CX,02710H
                CALL DGIT
N_2:            MOV CX,03E8H
                CALL DGIT
N_3:            MOV CX,064H
                CALL DGIT
N_4:            MOV CX,0AH
                CALL DGIT
N_5:            MOV CX,01H
                CALL DGIT
                POP DX
                POP CX
                POP AX
                RET
WDEC            ENDP
DGIT            PROC NEAR
                PUSH DI
                PUSH SI
                PUSH BX
                MOV DI,AX
                XOR DX,DX
                DIV CX
                MOV DI,DX
                MOV DI,AL
                ADD DI,030H
                CALL RE_WCHR
                MOV AX,DI
                POP BX
                ADD BX,08H
                POP SI
                POP DI
                RET
DGIT            ENDP
BOX             PROC NEAR
                PUSH CX
                PUSH DI
                PUSH AX
                PUSH ES
                PUSH SI
                PUSHF
                MOV AX,DS:[ACT_PAG]
                MOV ES,AX
                MOV AX,0FFFFH
                CLD
BOX_1:          PUSH CX
                PUSH SI
                SHL SI,1
                MOV DI,DS:ROW_TAB[SI]
                ADD DI,BX
                REP STOSB
                POP SI
                DEC SI
                POP CX
                DEC DX
                JNZ BOX_1
                POPF
                POP SI
                POP ES
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                POP AX
                POP DI
                POP CX
                RET
BOX             ENDP
RE_WCHR         PROC NEAR
                PUSH ES
                PUSH DI
                PUSH BP
                PUSH CX
                MOV CX,BX
                SHR BX,1
                SHR BX,1
                SHR BX,1
                MOV BP,0008H
                AND CL,07H
                XOR DH,DH
                PUSHF
                CLC
                SHL DX,1
                SHL DX,1
                SHL DX,1
                POPF
                SHL SI,1
RMC1:           PUSH SI
                PUSH BX
                MOV SI,ROW_TAB[SI]
                ADD SI,BX
                MOV AX,0F000H
                MOV ES,AX
                MOV DI,0FA6EH
                ADD DI,DX
                MOV AH,ES:[DI]
                XOR AL,AL
                ROR AX,CL
                XCHG AH,AL
                NOT AX
                MOV BX,08000H
                MOV ES,BX
                MOV DI,SI
                MOV ES:[DI],AX
                INC DX
                POP BX
                POP SI
                DEC SI
                DEC SI
                DEC BP
                JNZ RMC1
                POP CX
                POP BP
                POP DI
                POP ES
                RET
RE_WCHR         ENDP
RWSTR           PROC NEAR
RSSTR:          MOV DL,DS:[DI]
                CMP DL,0DH
                JZ  RESTR
                PUSH BX
                PUSH SI
                PUSH DI
                CALL RE_WCHR
                POP DI
                POP SI
                POP BX
                ADD BX,08H
                INC DI
                JMP RSSTR
RESTR:          RET
RWSTR           ENDP
SHOW            PROC NEAR
                LEA DI,SQ_3
                XOR BP,BP
SHW_1:          MOV BX,DS:XTAB[BP]
                MOV SI,DS:YTAB[BP]
                PUSH BP
                PUSH DI
                CALL RWSTR
                POP DI
                POP BP
                ADD DI,15
                ADD BP,2
                CMP BP,46
                JNZ SHW_1
                RET
SHOW            ENDP
MAKBOX          PROC NEAR
                XOR DI,DI
MKB_1:          PUSH DI
                MOV SI,DS:BYTAB[DI]
                MOV DX,DS:BHTAB[DI]
                MOV BX,DS:BXTAB[DI]
                MOV CX,DS:BWTAB[DI]
                CALL BOX
                POP DI
                ADD DI,02
                CMP DI,20
                JNZ MKB_1
                RET
MAKBOX          ENDP
WPHN                PROC NEAR
                    PUSH AX
                    PUSH BX
                    PUSH CX
                    PUSH DI
                    PUSH ES
                    PUSH SI
                    PUSHF
                MOV AX,0B000H
                MOV ES,AX
                MOV BX,DS:[PHN_POS]
                MOV AX,DS:[BEG_WIN]
                SUB BX,AX
                MOV CX,DS:[WIN_FAC]
                MOV AL,DS:[STATUS]
                TEST AL,04H
                JZ WPN_1
                SHR BX,CL
                JMP WPN_2
WPN_1:          SHL BX,CL
WPN_2:          MOV CX,BX
                SHR BX,1
                    SHR BX,1
                    SHR BX,1
                    AND CL,07H
                    MOV AL,080H
                    ROR AL,CL
                    MOV SI,DS:[PHN_POS]
                    MOV CL,DS:VDO_BUF[SI]
                    XOR CH,CH
                    XOR SI,SI
                    CMP CX,00H
                    JZ WPN_4
WPN_3:              PUSH SI
                    MOV SI,DS:MCA_TAB[SI]
```

```
                ADD SI,BX
                MOV DI,SI
                OR ES:[DI],AL
                POP SI
                INC SI
                INC SI
                LOOP WPN_3
WPN_4:          POPF
                POP SI
                POP ES
                POP DI
                POP CX
                POP BX
                POP AX
                RET
WPHN            ENDP
RPHN            PROC NEAR
                PUSH AX
                PUSH BX
                PUSH CX
                PUSH DI
                PUSH ES
                PUSH SI
                PUSHF
                MOV AX,0B000H
                MOV ES,AX
                MOV BX,DS:[PHN_POS]
                MOV AX,DS:[BEG_WIN]
                SUB BX,AX
                MOV CX,DS:[WIN_FAC]
                MOV AL,DS:[STATUS]
                TEST AL,04H
                JZ RPN_1
                SHR BX,CL
                JMP RPN_2
RPN_1:          SHL BX,CL
RPN_2:          MOV CX,BX
                SHR BX,1
                SHR BX,1
                SHR BX,1
                AND CL,07H
                MOV AL,080H
                ROR AL,CL
                NOT AL
                MOV SI,DS:[PHN_POS]
                MOV CL,DS:VDO_BUF[SI]
                XOR CH,CH
                XOR SI,SI
                CMP CX,00H
                JZ RPN_4
RPN_3:          PUSH SI
                MOV SI,DS:MCA_TAB[SI]
                ADD SI,BX
                MOV DI,SI
                AND ES:[DI],AL
                POP SI
                INC SI
                INC SI
                LOOP RPN_3
RPN_4:          POPF
                POP SI
                POP ES
                POP DI
                POP CX
                POP BX
                POP AX
                RET
RPHN            ENDP
WRNG            PROC NEAR  ;WRITE RANGE
                PUSH AX
                PUSH BX
                PUSH CX
                PUSH DX
                MOV CX,DS:[RNG_FAC]
                DEC CX
                MOV AX,3
                MUL CX
                LEA DI,RSG_3
                ADD DI,AX
                MOV BX,632
                MOV SI,39
                CALL RWSTR
                POP DX
                POP CX
                POP BX
                POP AX
                RET
WRNG            ENDP
WCNT            PROC NEAR  ;WRITE COUNT
                PUSH AX
                PUSH BX
                PUSH SI
                MOV SI,DS:[CUR_POS]
                SHL SI,1
                MOV AX,DS:MCA_BUF[SI]
                MOV BX,488
                MOV SI,39
                CALL WDEC
                POP SI
                POP BX
                POP AX
                RET
WCNT            ENDP
WCHN            PROC NEAR  ;WRITE CHANNEL
                PUSH AX
                PUSH BX
                PUSH SI
                MOV AX,DS:[CUR_POS]
                MOV BX,376
                MOV SI,39
                CALL WDEC
                POP SI
                POP BX
                POP AX
                RET
WCHN            ENDP
FSTROI          PROC NEAR  ;FIRST MAKE ROI
                PUSH AX
                PUSH BX
                PUSH CX
                PUSH DX
                PUSH SI
                PUSHF
                CLC
                MOV CX,DS:[END_ROI]
                MOV AX,DS:[BEG_ROI]
                XOR BX,BX
                SUB CX,AX
                INC CX
                MOV SI,AX
                SHL SI,1
                XOR AX,AX
FSR_1:          MOV DX,DS:MCA_BUF[SI]
                ADD AX,DX
                ADC BX,00H
```

```
                INC SI
                INC SI
                LOOP FSR_1
                LEA SI,INT_ROI
                MOV DS:[SI+2],AX
                MOV DS:[SI],BX
                LEA SI,INT_BIN
                XCHG AH,AL
                MOV DS:[SI+2],AX
                XCHG BH,BL
                MOV DS:[SI],BX
                POPF
                POP SI
                POP DX
                POP CX
                POP BX
                POP AX
                RET
FSTROI          ENDP
WROI            PROC NEAR  ;WRITE INT
                PUSH AX
                PUSH BX
                PUSH CX
                PUSH DX
                PUSHF
                CALL FSTROI
                LEA SI,INT_STR
                MOV CX,10
                XOR AL,AL
EMP:            MOV DS:[SI],AL
                INC SI
                LOOP EMP
                CLC
                MOV DX,20H
WRI_3:          LEA SI,INT_BIN + 03
                MOV CX,04
WRI_1:          MOV AL,DS:[SI]
                RCL AL,1
                MOV DS:[SI],AL
                DEC SI
                LOOP WRI_1
                LEA SI,INT_STR + 09
                MOV CX,0AH
WRI_2:          MOV AL,DS:[SI]
                ADC AL,AL
                AAA
                MOV DS:[SI],AL
                DEC SI
                LOOP WRI_2
                DEC DX
                JNZ WRI_3
LEA SI,INT_STR
                MOV CX,10
WRI_4:          MOV AL,DS:[SI]
                ADD  AL,30H
                MOV DS:[SI],AL
                INC SI
                LOOP WRI_4
                INC SI
                MOV AL,0DH
                MOV DS:[SI],AL
                LEA SI,INT_STR
WRI_6:          MOV AL,DS:[SI]
                CMP AL,30H
                JNE WRI_5
                INC SI
                JMP WRI_6
                DEC SI
                MOV AL,30H
                MOV DS:[SI],AL
WRI_5:          MOV DI,SI
                MOV BX,24
                MOV SI,91
                CALL RWSTR
                POPF
                POP DX
                POP CX
                POP BX
                POP AX
                RET
WROI            ENDP
DROI            PROC NEAR  ;DISPLAY INT VALUE
                MOV AX,DS:[PLT_BUF]
                MOV DL,DS:[STATUS]
                TEST DL,02H
                JZ EDROI
;               MOV BX,DS:[BEG_ROI]
                ;CMP AX,BX
                ;JB EDROI
;               MOV BX,DS:[END_ROI]
                ;CMP AX,BX
                ;JA EDROI
                CALL WROI
EDROI:          RET
DROI            ENDP
INSTT           PROC NEAR ;SET TIMER
                LEA SI,TIME_BUF+1
INSTT_1:        MOV AL,DS:[SI]
                CMP AL,20H
                JZ INSTT_2
                INC SI
                JMP INSTT_1
INSTT_2:        MOV CX,01H
                XOR BX,BX
INSTT_3:        DEC SI
                XOR DX,DX
                MOV AL,DS:[SI]
                CMP AL,20H
                JZ INSTT_E
                AND AX,000FH
                MUL CX
                ADD BX,AX
                MOV AX,CX
                MOV CX,10
                MUL CX
                MOV CX,AX
                JMP INSTT_3
INSTT_E:        MOV DS:[TIME],BX
                MOV AL,DS:[TIME_SEL]
                AND AL,07FH
                MOV DX,714H
                OUT DX,AL
                DEC DX
                MOV AL,DS:[TIME_CRL]
                OUT DX,AL
                MOV DX,DS:[TIME_PRT]
                MOV AX,BX
                OUT DX,AL
                XCHG AH,AL
                OUT DX,AL
                MOV DX,714H
                MOV AL,DS:[TIME_SEL]
                OR AL,80H
                OUT DX,AL
INSTT_4:        MOV DX,713H
```

```
                        MOV AL,DS:[TIME_LAT]
                        OUT DX,AL
                        MOV DX,DS:[TIME_PRT]
                        IN AL,DX
                        MOV BL,AL
                        IN AL,DX
                        MOV BH,AL
                        MOV AX,DS:[TIME]
                        CMP AX,BX
                        JNZ INSTT_4
                        MOV DX,714H
                        MOV AL,DS:[TIME_SEL]
                        AND AL,07FH
                        OUT DX,AL
                        RET
INSTT                   ENDP
REAL                    PROC NEAR ;DISPLAY REAL TIME
                        MOV DX,713H
                        MOV AL,DS:[TIME_LAT]
                        OUT DX,AL
                        MOV DX,DS:[TIME_PRT]
                        IN AL,DX
                        MOV AH,AL
                        IN AL,DX
                        XCHG AH,AL
                        MOV BX,DS:[TIME]
                        CMP AX,BX
                        JZ REAL_E
                        MOV DS:[TIME],AX
                        MOV BX,40
                        MOV SI,303
                        CALL WDEC
REAL_E:                 RET
REAL                    ENDP
DEAD                    PROC NEAR ;DISPLAY DEAD TIME
                        XOR AH,AH
                        MOV DX,0716H
                        IN AL,DX
                        CMP AL,00
                        JNZ DEAD_1
                        MOV AX,0000
                        JMP DEAD_2
DEAD_1:                 MOV CX,100
                        MUL CX
                        MOV CX,0FFH
                        DIV CX
DEAD_2:                 MOV BX,40
                        MOV SI,25
                        CALL WDEC
                        RET
DEAD                    ENDP
DGZ                     PROC NEAR ;SET ADC. GAIN
                        PUSH AX
                        PUSH BX
                        PUSH DX
                        PUSH SI
                        PUSHF
                        MOV AL,DS:[PORT717]
                        AND AL,0FDH
                        CLC
                        SHL AL,1
                        CMP AL,080H
                        JNZ DGZ_1
                        MOV AL,10H
DGZ_1:                  MOV BL,DS:[PORT717]
                        AND BL,0FH
                        PUSH AX
                        OR AL,BL
                        MOV DS:[PORT717],AL
                        MOV DX,0717H
                        OUT DX,AL
                        POP AX
                        XOR AH,AH
                        SHL AX,1
                        SHL AX,1
                        SHL AX,1
                        SHL AX,1
                        PUSH AX
                        MOV BX,40
                        MOV SI,253
                        LEA DI,BLANK
                        CALL RSSTR
                        POP AX
                        MOV BX,40
                        MOV SI,253
                        CALL WDEC
                        POPF
                        POP SI
                        POP DX
                        POP BX
                        POP AX
                        RET
DGZ                     ENDP
DZO                     PROC NEAR
                        PUSH AX
                        PUSH BX
                        PUSH DX
                        PUSH SI
                        PUSHF
                        MOV AL,DS:[PORT717]
                        AND AL,0FH
                        INC AL
                        CMP AL,08H
                        JNZ DZO_1
                        MOV AL,00H
DZO_1:                  MOV BL,DS:[PORT717]
                        AND BL,0F0H
                        PUSH AX
                        OR AL,BL
                        MOV DS:[PORT717],AL
                        MOV DX,0717H
                        OUT DX,AL
                        POP AX
                        XOR AH,AH
                        XCHG AH,AL
                        PUSH AX
                        MOV BX,80
                        MOV SI,237
                        LEA DI,BLANK
                        CALL RSSTR
                        POP AX
                        MOV BX,80
                        MOV SI,237
                        CALL WDEC
                        POPF
                        POP SI
                        POP DX
                        POP BX
                        POP AX
                        RET
DZO                     ENDP
TOP                     ENDP
CODE                    ENDS
END     START
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย