หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

การทดสอบการทำงานของระบบเปลี่ยนไมโครคอมพิวเตอร์ชนิด 8 บิท ให้เป็นอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

ก. การทดสอบการรับสัญญาณข้อมูลของไมโครคอมพิวเตอร์

ข. การทดสอบโปรแกรมควบคุมระบบการทำงาน

5.1 <u>การทดสอบการรับสัญญาณข้อมูลของไมโครคอมพิวเตอร์</u>

5.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ทดสอบการทำงานของระบบเปลี่ยน ไมโครคอมพิวเตอร์ให้เป็นอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ ประกอบด้วย

ก) ไมโครคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลชนิด 8 บิทของแอปเปิล

ข) เครื่องบันทึกข้อมูลแบบจานแม่เหล็ก

ค) เครื่องพิมพ์ข้อมูล

ง) แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

จ) แผ่นวงจรแปลงรหัสสัญญาณ

ฉ) เครื่องอ่านรูปสัญญาณ แบบ 4 ช่องวัด (Oscilloscope) ของ TEKTRONIX รุ่น 2465A

ช) เครื่องกำเนิดรูปสัญญาณ (Function Generator) ของ INTERSTATE รุ่น F6504

ซ) แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า (Power Supply)

ฌ) พัลซ์เซอร์ (Pulser)

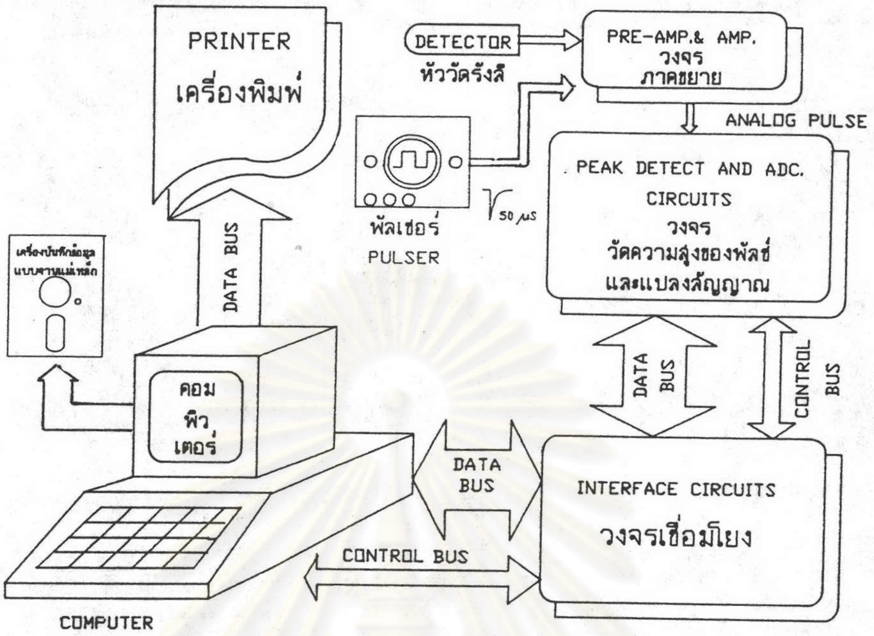
ญ) อุปกรณ์ แผ่นทดลอง และสายต่อเชื่อมสัญญาณ

5.1.2 <u>การจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ</u>

รูป 5.1 แสดงการจัดอุปกรณ์เพื่อเปลี่ยนไมโครคอมพิวเตอร์ชนิด 8 บิท ให้เป็นอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ และการจัดอุปกรณ์วัดสัญญาณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

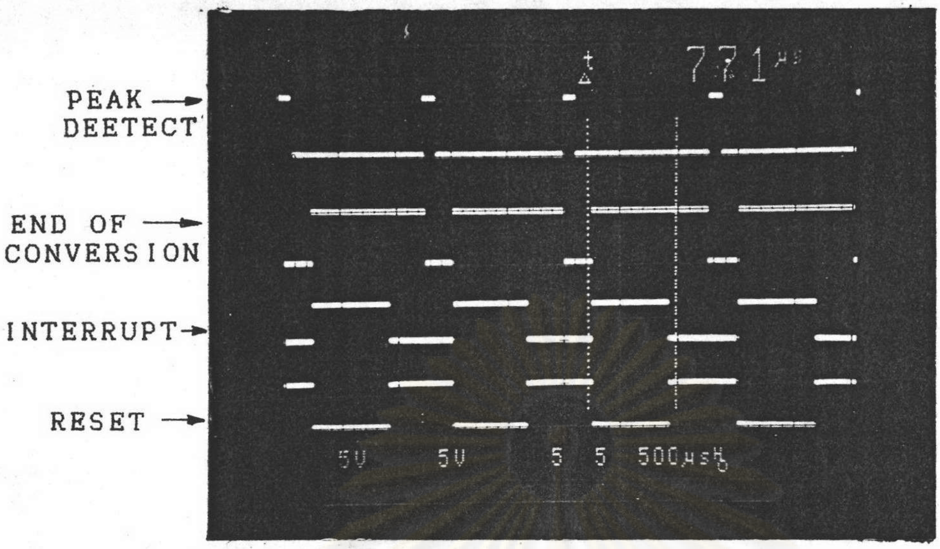
ไฟฟ้าเพื่อทดสอบรูปสัญญาณที่ควบคุมการทำงานของระบบตามโปรแกรมที่สร้างขึ้น



รูป 5.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ

5.1.3 <u>ผลการทดสอบค่าเวลาของการทำงานตามโปรแกรมย่อย</u>

การควบคุมช่วงเวลาการรับและส่งสัญญาณระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์ และวงจรเชื่อมโยงที่สำคัญ คือ ขั้นตอนการทำงานตามโปรแกรมย่อย "INTERRUPT" การรับข้อมูลในรูปรหัส เริ่มจากวงจรแปลงรหัสสัญญาณสิ้นสุดการแปลงรหัส จะขอขัดจังหวะผ่านทางขา NMI ไมโครคอมพิวเตอร์จะเปลี่ยนมาทำงานตามโปรแกรมรับข้อมูลเข้าสู่รีจิสเตอร์ในไมโครโปรเซสเซอร์ และจัดข้อมูลเข้าสู่แอดเดรสชั่วคราวที่กำหนดไว้ จากนั้นจะทำการตรวจสอบสเกลปริมาณนับสัญญาณ และแสดงผลทางจอภาพ เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณรีเซทมาควบคุมวงจรเชื่อมโยง ทางขา AO เพื่อให้เริ่มต้นการรับข้อมูลได้ใหม่ การทดสอบลำดับสัญญาณบนแผ่นวงจรเชื่อมโยงที่ออกแบบขึ้นทำโดยการป้อนสัญญาณจากพัลซ์เซอร์ความถี่ 500ครั้งต่อวินาที ความแรงสัญญาณ 2.5 โวลท์ เข้าที่อินพุทของวงจรแปลงรหัสสัญญาณ รูปสัญญาณทดสอบแสดงในแผนภาพเวลา รูป 5.2



รูป 5.2 แผนภาพเวลาของระบบขณะวัด

ช่วงเวลาของการทำงานในโปรแกรมย่อยขณะวัด จะมีผลต่อการสูญเสียเวลาในการวัดรังสีนิวเคลียร์ซึ่งเรียกว่า เดดไทม์ (Dead Time) ในระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ที่พัฒนาขึ้น ค่าของเดดไทม์หาได้ดังนี้

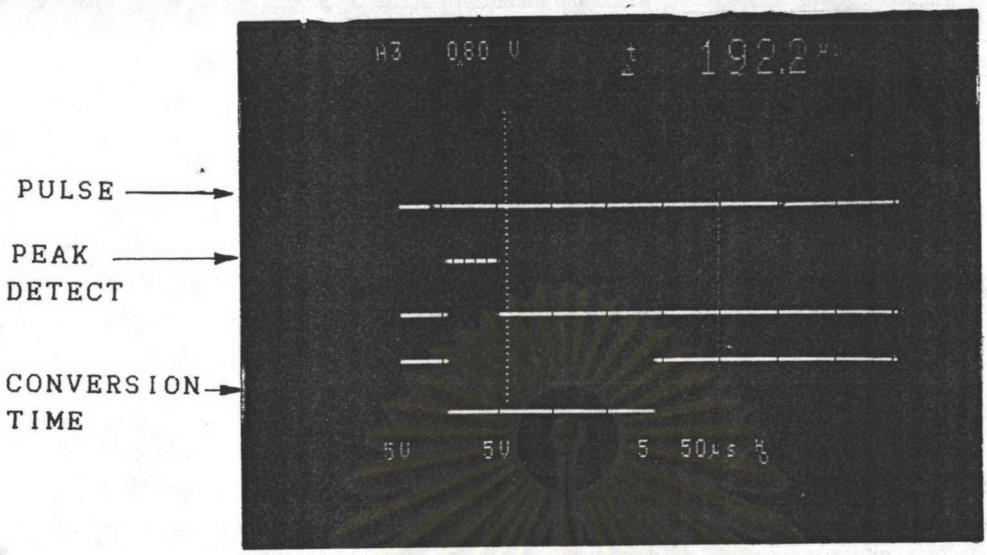
เดดไทม์ = เวลาในการแปลงรหัส + เวลาในกระบวนการเก็บข้อมูลในไมโครคอมพิวเตอร์

(Dead Time = ADC Conversion Time + Signal Processing Time)

เมื่อป้อนสัญญาณพัลซ์ขนาดความสูง 5 โวลท์ ความถี่ 50 ครั้งต่อวินาที เพื่อวัดค่าเวลาในกระบวนการสัญญาณจะให้ผลดังนี้

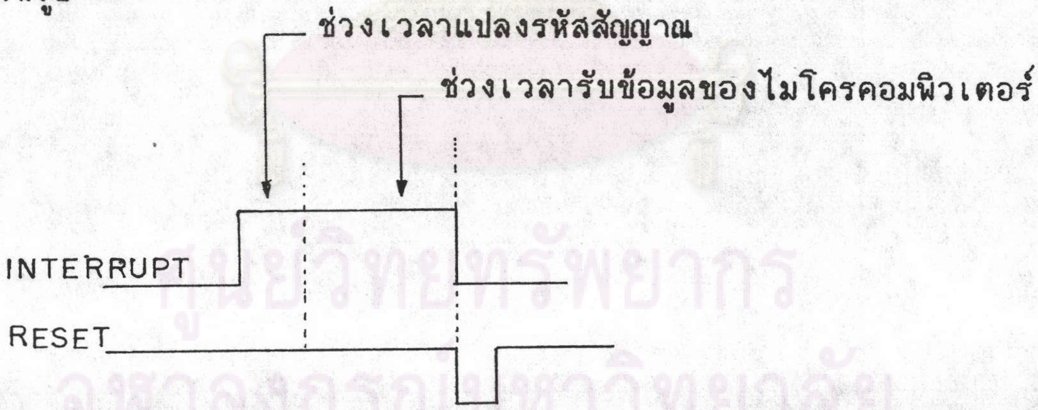
ก) ผลการวัดค่าเวลาของการเปลี่ยนแปลงรหัสสัญญาณในวงจรแปลงรหัสสัญญาณ ที่ความแรงสัญญาณ 0.5 โวลท์ ถึง 5 โวลท์ จะใช้เวลาสูงสุด 192 ไมโครวินาที ดังแสดงการอ่านรูปสัญญาณ ในรูป 5.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.3 รูปสัญญาณและเวลาที่ใช้ในการแปลงรหัสของ ADC

ข) ผลการวัดค่าเวลาของขั้นตอนกระบวนการสัญญาณในโปรแกรมย่อย ที่ความแรงสัญญาณพัลซ์ 2.5 โวลท์ จะมีค่า 725 ไมโครวินาที แสดงในรูป 5.4



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 5.4 รูปสัญญาณและเวลาในการเก็บข้อมูล

5.1.4 ผลการทดสอบค่าความถี่สูงสุดที่ระบบวิเคราะห์สามารถตอบสนองได้

ขั้นตอนการทดลองหาความสามารถในการรับข้อมูล ที่เวลาจริง เพื่อวิเคราะห์อัตราสูญเสียจำนวนวัดที่ความถี่สูง ทำได้ดังนี้

ก) กำหนดรหัสข้อมูลที่จะส่งให้ไมโครคอมพิวเตอร์ทางบัสข้อมูล

ในการทดลองเลือกช่องวิเคราะห์หมายเลข 127_{10} หรือ 01111111_2 หรือ $7F_{16}$

ข) ตั้งเวลาวิเคราะห์ในโปรแกรมการวัด 50 วินาที และ 100 วินาที

ง) แปรเปลี่ยนค่าความถี่ของเครื่องกำเนิดรูปสัญญาณพัลซ์ จาก 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 และ 1100 ครั้งต่อวินาที

จ) บันทึกผลการอ่านค่าปริมาณนับ และคำนวณการสูญเสียสัญญาณเป็นร้อยละ แสดงในตาราง 5.1

ตาราง 5.1 ผลการวิเคราะห์อัตราสูญเสียปริมาณวิเคราะห์ที่เวลาจริง

ความถี่ของพัลซ์ C/S	% การสูญเสียปริมาณนับในช่วงเวลาต่าง ๆ (sec)										
	เวลา 10	เวลา 20	เวลา 30	เวลา 40	เวลา 50	เวลา 60	เวลา 70	เวลา 80	เวลา 90	เวลา 100	เวลา 110
50	11	7	4.8	4.1	2.2	2.4	2.1	1.7	0.9	1.6	1.4
100	8.4	4.2	3.6	3.9	3.2	3.2	2.6	2.3	1.2	1.8	1.6
200	15.9	6.8	4.9	3.2	3.3	3.1	2.6	1.9	1.8	1.9	1.7
300	10.4	8.8	3.5	3.1	3.8	2.1	2.3	2.8	1.9	2	1.8
400	14.4	8.1	5.1	5.3	3.2	2.7	2.3	2.6	1.2	1.5	1.4
500	10.4	9.6	6.9	3.9	3.9	2.7	3.2	3	2.1	1.4	1.2
600	12.6	10.1	5.5	4.3	3.9	3.8	2.7	3.1	1.9	1.9	1.5
700	15.4	10.8	5.8	4.1	4.2	3.8	3.2	3.1	2.4	1.8	1.6
800	10.6	10.4	6.3	3.5	3.1	2.7	3.1	3.1	2.9	1.9	1.8
900	14.6	9.3	5.7	3.9	3	3.2	2.8	2	1.9	1.3	1.2
1000	10.8	8.1	3.6	2.4	2.3	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1
1100	17.3	12.5	11.5	10.4	8.9	7.9	5.5	2.1	1.9	1.3	1.1

จากตาราง 5.1 พบว่าเมื่อความถี่มากกว่า 1000 ครั้งต่อวินาทีสัญญาณจะสูญเสียมากเนื่องจากความถี่เกินขีดความสามารถของวงรอบการทำงานของระบบ และการสูญเสียในช่วงนับความถี่ต่ำกว่า 1000 ครั้งต่อวินาทีในช่วงเวลานับน้อยกว่า 50 วินาที จะมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 12.17 ส่วนในเวลานับมากกว่า 100 วินาทีจะมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 1.4 การสูญเสียสัญญาณวัดเกิดจากเวลาที่ใช้ในการแสดงผลในโปรแกรม "INTERRUPT" ซึ่งจะทำให้ช่วงเวลานั้นสูญเสียสัญญาณวัดไป การวิเคราะห์ในช่วงเวลานาน ๆ การทำงานในการเปลี่ยนสเกลจะน้อยลง ทำให้สูญเสียเวลาน้อยกว่า

5.1.5 ผลทดสอบความถูกต้องในการรับข้อมูล

การทดสอบทำได้โดยใช้ความถี่สูงสุดที่ระบบตอบสนองการทำงาน (1000 ครั้งต่อวินาที) ซึ่งกำเนิดจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ แปรเปลี่ยนรหัสบนบัสข้อมูล และอ่านค่าจากวิเคราะห์พัลซ์บนจอแสดงผล ด้วยขั้นตอนดังนี้

ก) ตั้งเวลาในโปรแกรมการวัด 10 วินาที

ข) แปรเปลี่ยนรหัสบนบัสข้อมูลเพื่อสั่งให้ตำแหน่งช่องวัด 32 64 96 128 160 192 224 และ255 ตามลำดับ

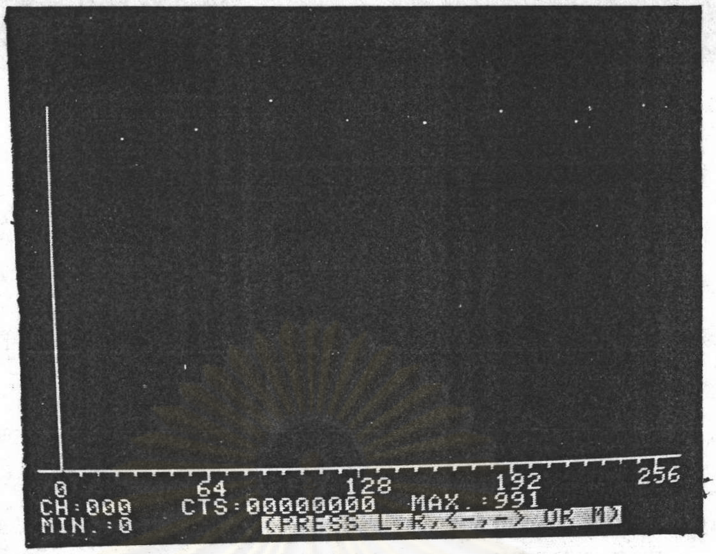
ค) วิเคราะห์และอ่านผลการวัด บันทึกในตาราง 5.2

ตาราง 5.2 ผลการทดสอบความถูกต้องในการรับข้อมูล

รหัสเลขฐานสอง	รหัสเลขฐานสิบหก	ช่องนับ	ความคลาดเคลื่อน
00100000	$0020	32	±0
01000000	$0040	64	±0
01100000	$0060	96	±0
10000000	$0080	128	±0
10100000	$00A0	160	±0
11000000	$00C0	192	±0
11100000	$00E0	224	±0
11111111	$00FF	255	±0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

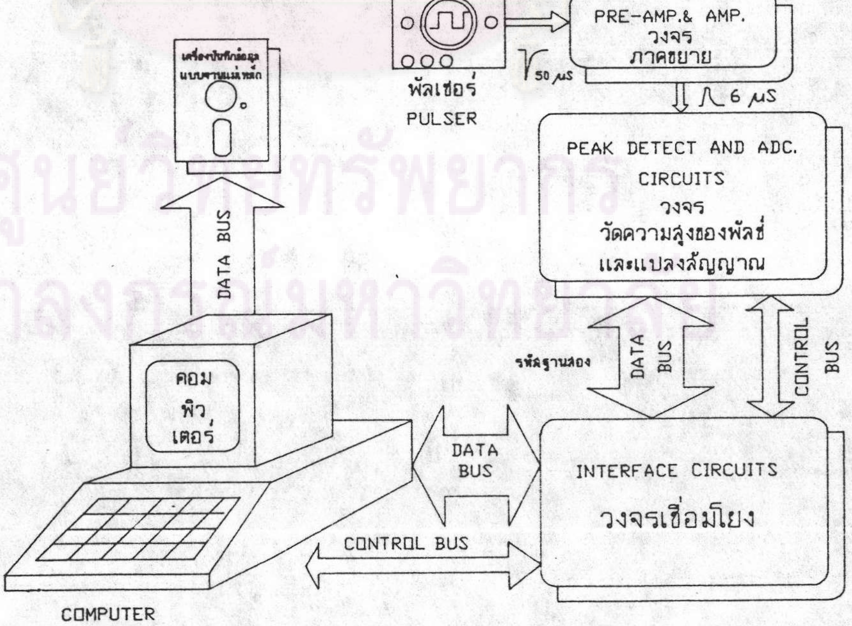
จากตาราง 5.2 แสดงความถูกต้องของการรับข้อมูล เมื่อป้อนรหัสโดยตรงกับบัสข้อมูล จะเห็นว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนในการเก็บข้อมูล



รูป 5.5 ผลการรับรหัสข้อมูลโดยตรงทางบัสข้อมูลซึ่งแสดงผลทางจอภาพ

5.1.6 ผลทดสอบการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์จากพัลเซอร์

ในการทำงานจริงของระบบจะต้องวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ในรูปสัญญาณพัลซ์จากวงจรภาคขยายหลัก ซึ่งมีความกว้างของพัลซ์ประมาณ 6 ไมโครวินาที เวลาในช่วงพีคจะสั้นมาก การแปลงรหัสสัญญาณจะผิดพลาดมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นกับประสิทธิภาพของแผ่นวงจรแปลงรหัสสัญญาณ สำหรับแผ่นวงจรแปลงรหัสสัญญาณที่สร้างขึ้นนั้นให้ผลการทดสอบดังนี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 5.6 การต่ออุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบความผิดพลาดในการวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์

<u>ขั้นตอนการทดสอบ</u>

ก) เชื่อมโยงระบบวัดดังรูป 5.6

ข) ตั้งเวลาในโปรแกรมการวัด 10 วินาที

ค) ปรับอัตราขยายของภาคขยายหลัก ให้สัมพันธ์กับสเกลของพัลเซอร์ 0-10 เท่ากับความสูงของพัลซ์ 0-5 โวลท์

ง) แปรเปลี่ยนความสูงของพัลซ์ จาก 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 หน่วยของพัลเซอร์

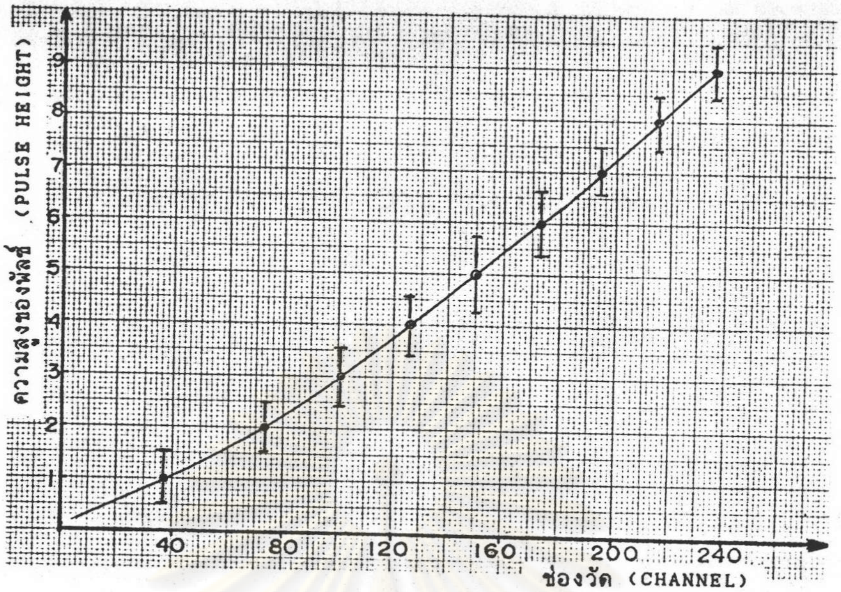
จ) วิเคราะห์และบันทึกผลการวัด ในตาราง 5.3

ตาราง 5.3 ผลการทดสอบความถูกต้องในการวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์จากพัลเซอร์

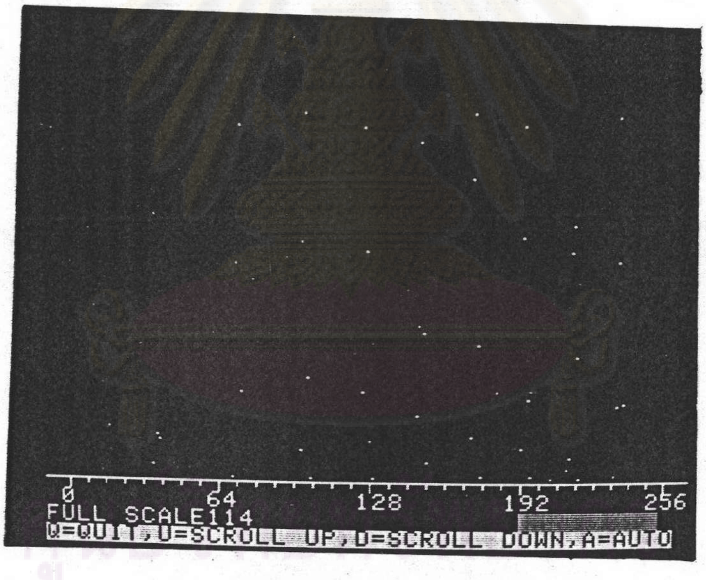
CH	COUNTS	CH	COUNTS	CH	COUNTS	CH	COUNTS	CH	COUNTS	CH	COUNTS
==	======	==	======	==	======	==	======	==	======	==	======
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
34	0	35	0	36	5	169	0	170	0	171	14
37	83	38	14	39	13	172	94	173	114	174	43
40	0	41	0	42	0	175	2	176	0	177	0
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
67	0	68	0	69	0	190	0	191	0	192	11
70	1	71	0	72	68	193	76	194	110	195	26
73	110	74	28	75	0	196	2	197	0	198	0
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
97	0	98	0	99	10	211	0	212	4	213	8
100	75	101	114	102	33	214	72	215	80	216	39
103	1	104	0	105	0	217	1	218	0	219	0
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
124	0	125	28	126	109	232	0	233	2	234	24
127	72	128	13	129	1	235	69	236	113	237	25
130	0	131	0	132	0	238	0	239	0	240	0
.	.	.	.	.	.						
.	.	.	.	.	.						
145	0	146	0	147	0						
148	21	149	49	150	105						
151	47	152	6	153	0						

ความสูงของพัลซ์	ช่องวัด	ความคลาดเคลื่อน
1	37	±2 ช่อง
2	73	±1 ช่อง
3	101	±2 ช่อง
4	126	±2 ช่อง
5	150	±2 ช่อง
6	173	±2 ช่อง
7	194	±2 ช่อง
8	215	±3 ช่อง
9	236	±3 ช่อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.7 เส้นกราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงรหัสสัญญาณ



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 5.8 ผลการวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ซึ่งกำเนิดจากพัลเซอร์

จากผลการวัดในตาราง 5.3 เป็นการรับข้อมูลทางบัสข้อมูลโดยผ่านแผ่นวงจรเชื่อมโยง รหัสเลขฐานสองถูกเปลี่ยนจากความสูงของพัลซ์ด้วยวงจรแปลงรหัสสัญญาณ ชนิดซัคเซสซีพแอพพรอกซิเมชันที่สร้างขึ้น ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น $\pm$ 2 ช่องวัด ความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงรหัสสัญญาณ แสดงในรูป 5.7

5.2 การทดสอบโปรแกรมควบคุมการทำงาน

5.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทดสอบการทำงานของโปรแกรมควบคุมระบบการเปลี่ยนไมโครคอมพิวเตอร์ให้เป็นอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ ในระบบวัดนิวเคลียร์ ประกอบด้วย

ก) หัววัดรังสีชนิดผลึกโซเดียมไอโอไดด์ ขนาด 2"x2" พร้อมด้วยภาคขยายส่วนหน้าของ ORTEC รุ่น 905-3/276

ข) แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง (High Voltage) ของ ORTEC รุ่น 456

ค) ภาคขยายหลักของ ORTEC รุ่น 575A

ง) ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ไอโซโทป ซีเซียม-137 และโคบอลต์-60 ความแรง $3.7X10^4$ เบคเคอเรล (1 ไมโครคูรี)

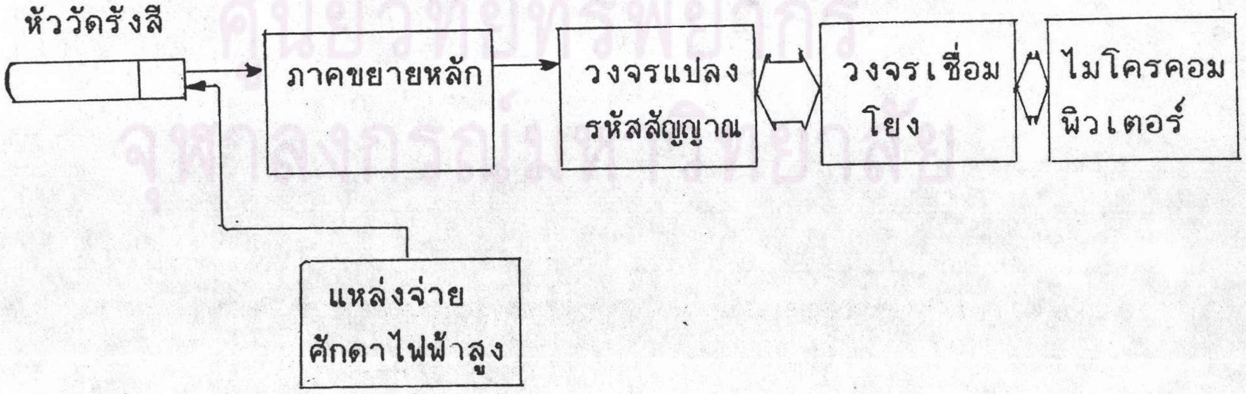
จ) ไมโครคอมพิวเตอร์ชนิด 8 บิท

ฉ) เครื่องบันทึกข้อมูลแบบจานแม่เหล็ก

ช) เครื่องพิมพ์ข้อมูล

5.2.2 การจัดอุปกรณ์เพื่อวิเคราะห์พลังงานของรังสีนิวเคลียร์

รูป 5.9 เป็นการเชื่อมโยงอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์ กับระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ที่พัฒนาขึ้น



รูป 5.9 แผนภาพการเชื่อมโยงอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานรังสีนิวเคลียร์

การทดสอบการรับข้อมูลรหัส จากระบบวัดนิวเคลียร์ ซึ่งมีความสูงของพัลซ์แบบสุ่มจากหัววัดรังสี เพื่อทดสอบความสามารถในการวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ในระดับต่าง ๆ มีขั้นตอนดังนี้

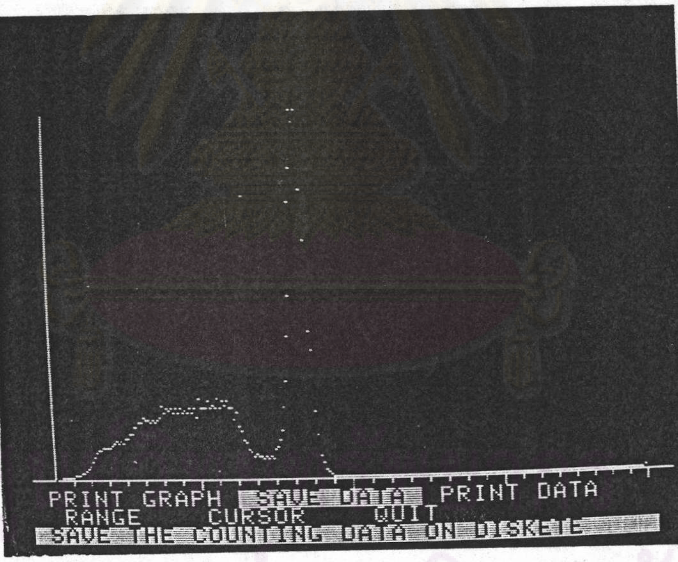
ก) เชื่อมโยงอุปกรณ์วัดดังแสดงในรูป 5.9

ข) ปรับศักดาไฟฟ้าสูง และอัตราขยายของภาคขยายหลัก ให้ความสูงของพัลซ์ที่พลังงาน 662 กิโลอิเลคตรอนโวลท์ (Kiloelectron Volt)เท่ากับ 2.5 โวลท์ โดยใช้ ต้นกำเนิดรังสีไอโซโทป ซีเซียม-137

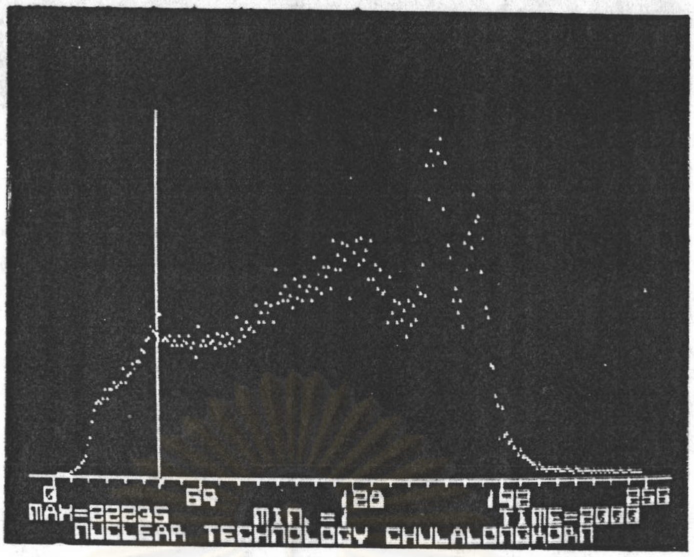
ค) ตั้งเวลาวัด 100 วินาที

ง) วิเคราะห์ระดับพลังงานและบันทึกผลจากจอแสดงผลบนเครื่องพิมพ์

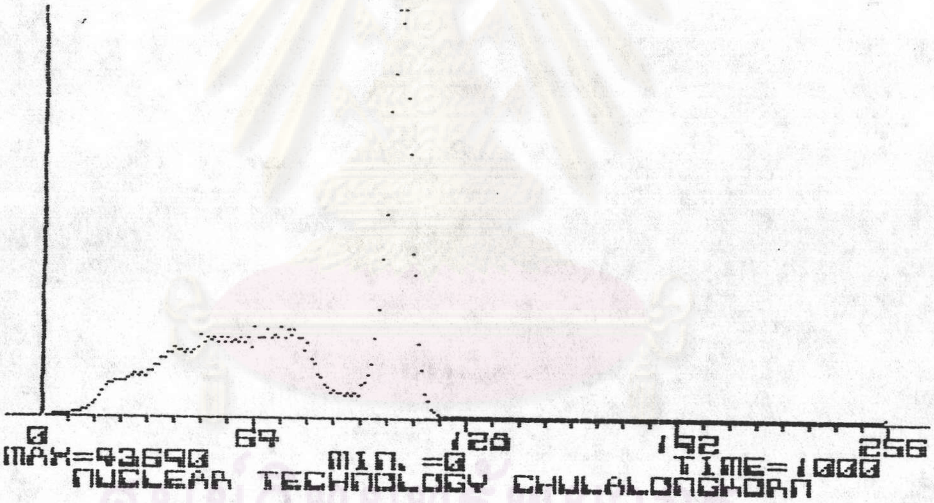
จ) ผลทดสอบการวัดสเปคตรัมของไอโซโทป ซีเซียม-137 และโคอบอลต์-60 แสดงในรูป 5.10 และ 5.11 ตามลำดับ



รูป 5.10 สเปคตรัมของไอโซโทปซีเซียม-137 ที่วิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ที่พัฒนาขึ้น



รูป 5.11 สเปคตรัมของไอโซโทปโคบอลต์-60 ที่วิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ที่พัฒนาขึ้น

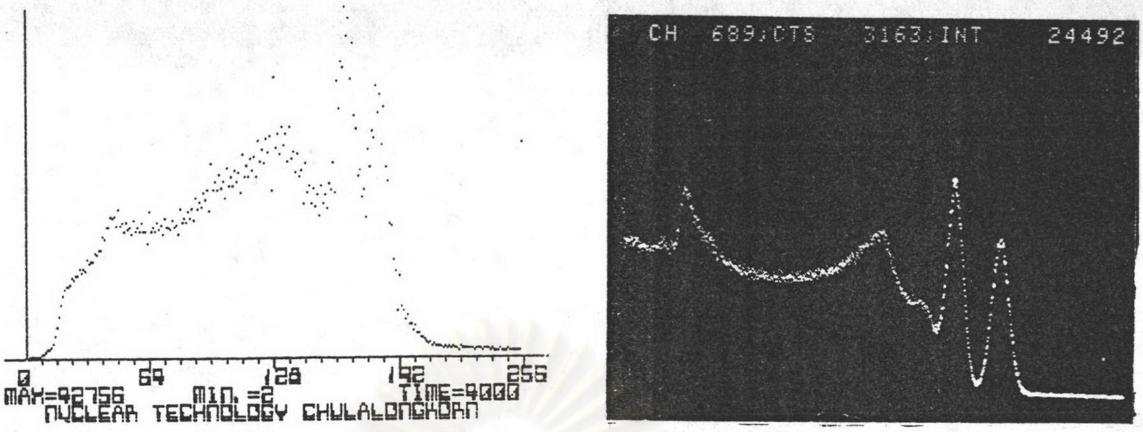


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

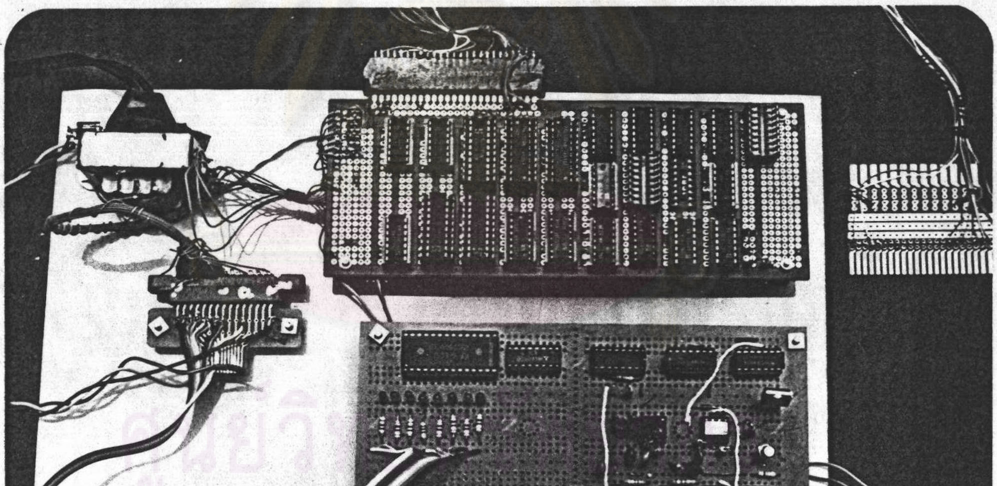
รูป 5.12 สเปคตรัมของไอโซโทป ซีเซียม-137 จากเครื่องพิมพ์

CH	COUNTS	CH	COUNTS	CH	COUNTS
67	1461	68	1395	69	1354
70	1377	71	1292	72	1426
73	1449	74	1780	75	2128
76	3258	77	4748	78	7025
79	9558	80	12903	81	14313
82	14827	83	12345	84	9725
85	5541	86	3081	87	1351
88	659	89	290	90	170
91	127	92	155	93	114
94	98	95	103	96	122

รูป 5.13 รายงานผลการวัดในแต่ละช่องวัดทางเครื่องพิมพ์



รูป 5.14 เปรียบเทียบผลวิเคราะห์ระดับพลังงานของไอโซโทป โคบอลต์-60 ด้วยเครื่อง MCA ของ TRACOR NORTERN รุ่น TN-1705 และระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ที่พัฒนาขึ้น



รูป 5.15 แผ่นวงจรเชื่อมโยงและแผ่นวงจรแปลงรหัสสัญญาณ

รูป 5.16 ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลซ์แบบหลายช่องโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ชนิด 8 บิท ของแอปเปิล

5.3 ลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลซ์

5.3.1 ลักษณะเฉพาะทางฮาร์ดแวร์

การทำงาน	ควบคุมด้วยซอฟท์แวร์ ไมโครคอมพิวเตอร์ทำงานด้วยความถี่ 1.023 ล้านเฮิร์ท
ขนาดหน่วยความจำ	256 ช่องวัด
ความจุ	$256^1+256^2+256^3+256^4$ จำนวนนับต่อช่อง
การเก็บข้อมูล	วิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ในแบบบวกเพิ่ม
การตั้งเวลา	ฐานเวลาความถี่ 50 เฮิร์ท สามารถตั้งเวลาจาก 0.1-65535 วินาที
การรับข้อมูล	รับทางบัสข้อมูล 8 บิท สามารถรับได้ทั้งวงจรเปลี่ยนรหัสสัญญาณแบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	Wilkinson และ Successive Approximation
การแสดงผล	แสดงทางจอภาพ มีรายละเอียด 1 ใน 256 ส่วนโดยสเกลจำนวนนับเปลี่ยนจาก 159 ถึงค่าความจุสูงสุดในแบบเชิงเส้น (Binary Increment)
การบันทึกผลภายนอก	ใช้ได้กับเครื่องพิมพ์ เครื่องบันทึกข้อมูลแบบจานแม่เหล็ก
แหล่งจ่ายไฟฟ้า	ใช้กับไฟฟ้า 220 โวลท์ 50 ครั้งต่อวินาที

5.3.2 ลักษณะเฉพาะทางซอฟท์แวร์

สเกลของสเปคตรัม	สามารถคำนวณค่าสเกลเต็ม (Full Scale) โดยคำนวณจากค่านับสูงสุดและต่ำสุดของข้อมูลค่านับทั้งหมด 255 ช่องวัด
	สามารถเลือกค่าสเกลเต็มโดยการใส่ข้อมูลให้แก่ไมโครคอมพิวเตอร์
การพิมพ์สเปคตรัม	สามารถเลือกพิมพ์รูปใหญ่ เล็กหรือพิมพ์สลับสีขาวกับดำ (Inverse)
การเลื่อนเคอร์เซอร์	สามารถเลื่อนไปทางซ้าย หรือขวา และ ช้าหรือเร็ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย