

บทที่ 4

การทดสอบแผ่นวงจรแปลงสัญญาณแบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชันที่พัฒนาขึ้น

แผ่นวงจรแปลงสัญญาณที่ประกอบเสร็จแล้วได้นำมาทดสอบการทำงานร่วมกับเครื่องวิเคราะห์รังสีแบบหลายช่อง โดยเปรียบเทียบแผ่นวงจรแปลงสัญญาณแบบวิลคินสันเดิมกับแผ่นวงจรแปลงสัญญาณแบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน ดังนี้

ก. การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของแผ่นวงจรแปลงสัญญาณแบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน

ข. การทดสอบความสามารถในการตอบสนองอัตรานับสูงสุดของแผ่นวงจรแปลงสัญญาณแบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน

ค. การทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ซีเซียม-137 และ โคบอลต์-60

4.1 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของแผ่นวงจรแปลงสัญญาณซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชันที่พัฒนาขึ้น

4.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

4.1.1.1 เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (TRACOR NORTHERN Model 1706)

4.1.1.2 เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ (CANBERRA model 807)

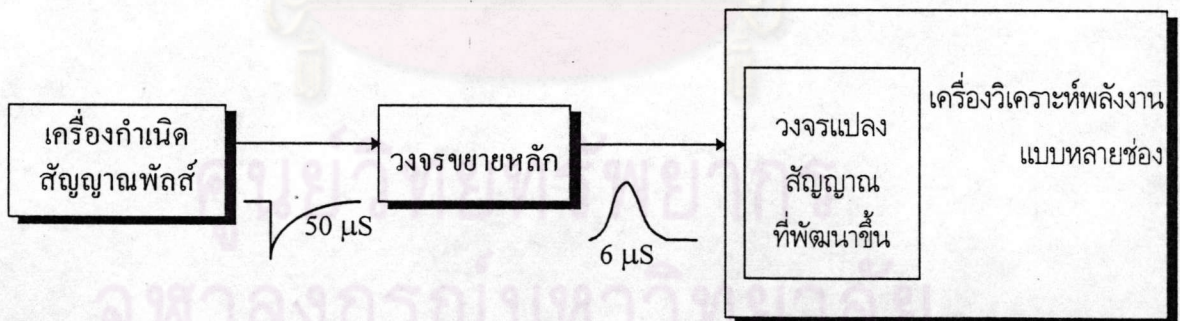
4.1.1.3 NIM BIN และ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

4.1.1.4 อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ (CANBERRA Model 9022)

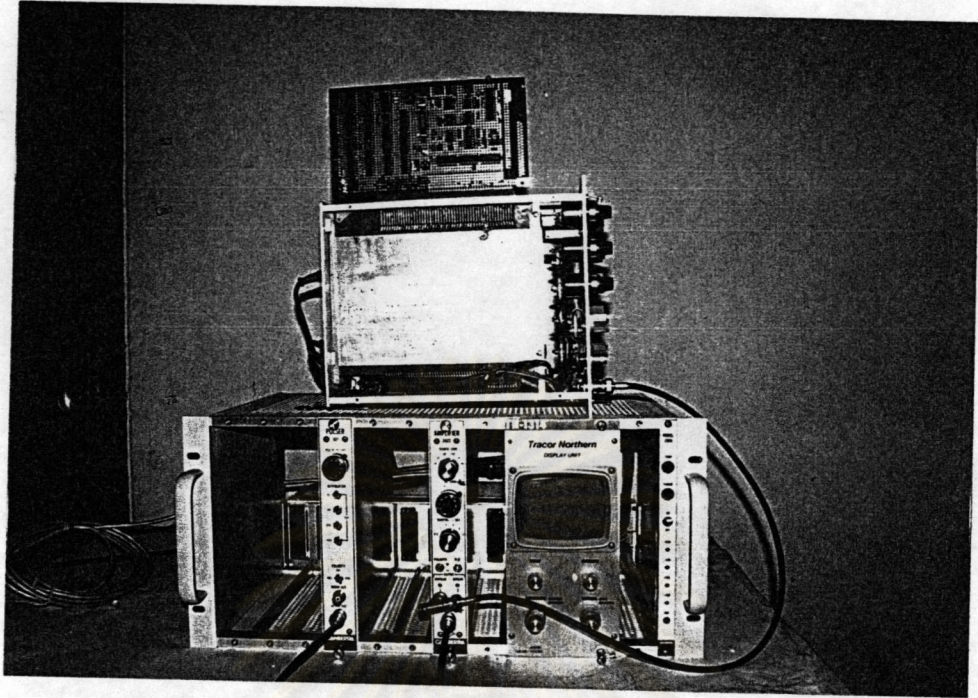
- 4.1.1.5 หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดค์ (ทลเลียม) ขนาด 2" × 2" พร้อมอุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้า (ORTEC Model 276)
- 4.1.1.6 แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง
- 4.1.1.7 เครื่องกำเนิดรูปสัญญาณ (HP Model 811A)
- 4.1.1.8 เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Tektronix Model 2445B)
- 4.1.1.9 ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโซโทป ซีเซียม-137 และ โคบอลต์-60 ความแรง 1 ไมโครคูรี
- 4.1.1.10 แผ่นวงจรแปลงสัญญาณแบบซีกเซตซีฟแอฟพรอกซิเมชันที่พัฒนาขึ้น

4.1.2 การจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบ

จัดอุปกรณ์การทดสอบดังรูป 4.1 และ 4.2 เพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้นของแผ่นวงจรแปลงสัญญาณพัลส์แบบซีกเซตซีฟแอฟพรอกซิเมชันเปรียบเทียบกับความเป็นเชิงเส้นของแผ่นวงจรแปลงสัญญาณพัลส์แบบวิลคินสันเดิมในเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง TN 1706



รูป 4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้นในการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายการจับอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้น
ในการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์

4.1.3 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดสอบ

4.1.3.1 จัดอุปกรณ์ทดสอบระบบแปลงผันสัญญาณพัลส์ดังในรูปที่ 4.1

4.1.3.2 ปรับอัตราขยายของระบบวัดส่วนหน้า ให้ขนาดสัญญาณพัลส์ยูนิโพลาร์ ทางออก 0 ถึง 10 โวลต์ สัมพันธ์กับสเกลของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ 0 ถึง 10 โวลต์

4.1.3.3 ทดสอบการทำงานของแผ่นวงจรแปลงผันสัญญาณแบบวิลคินสัน โดยใช้เวลานับรังสี 10 วินาที

4.1.3.4 แปรเปลี่ยนค่าความสูงของพัลส์จาก 0 , 1 , 2 , 3 , , 10 โวลต์ วิเคราะห์ความสูงของพัลส์และบันทึกผลการวัด ในตารางที่ 4.1

4.1.3.5 ทดสอบการทำงานของแผ่นวงจรแปลงผันสัญญาณแบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน โดยใช้เวลานับ 10 วินาที

4.1.3.6 ทำซ้ำตามข้อ 4.1.3.4

4.1.3.7 ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.1 และเส้นกราฟรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

4.1.3.8 กำหนดความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินดิกรัล ตามสมการที่ 2.4

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของแผ่นวงจรแปลงสัญญาณพัลส์

ความสูงของพัลส์ (โวลต์)	แบบวิลคินสัน (ช่องวัด)	แบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน (ช่องวัด)
0	0	0
1	106	82
2	215	221
3	326	353
4	438	489
5	552	625
6	665	759
7	779	909
8	892	1023
9	1007	-
9.15	1023	-

4.1.3.9 นำค่าที่ได้จากตารางที่ 4.1 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของความสูงของพัลส์และช่องวิเคราะห์ ได้

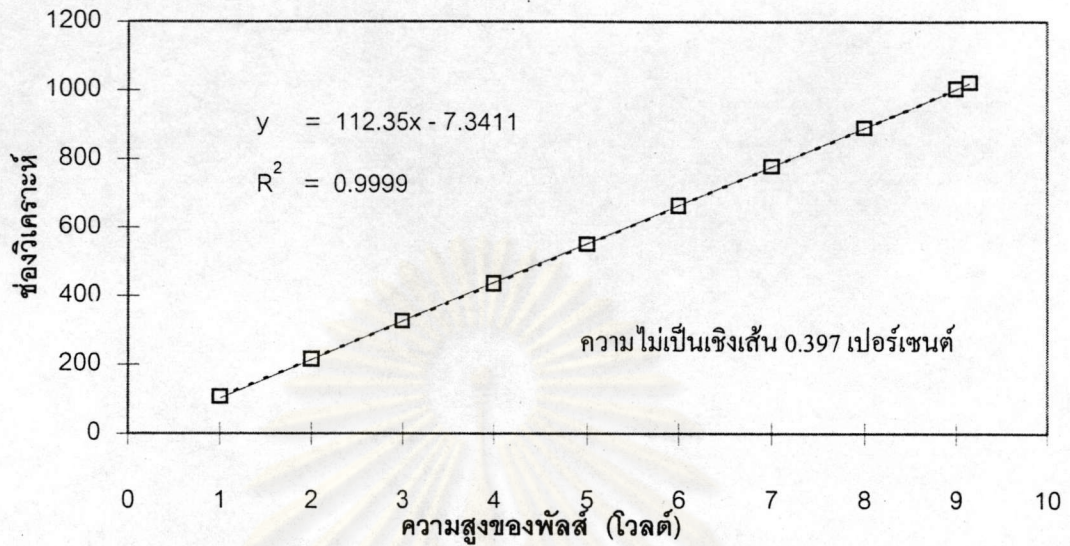
สมการเส้นตรงของรูปกราฟที่ 4.3 คือ $y = 112.3x + 7.3411$

$$R^2 = 0.9999$$

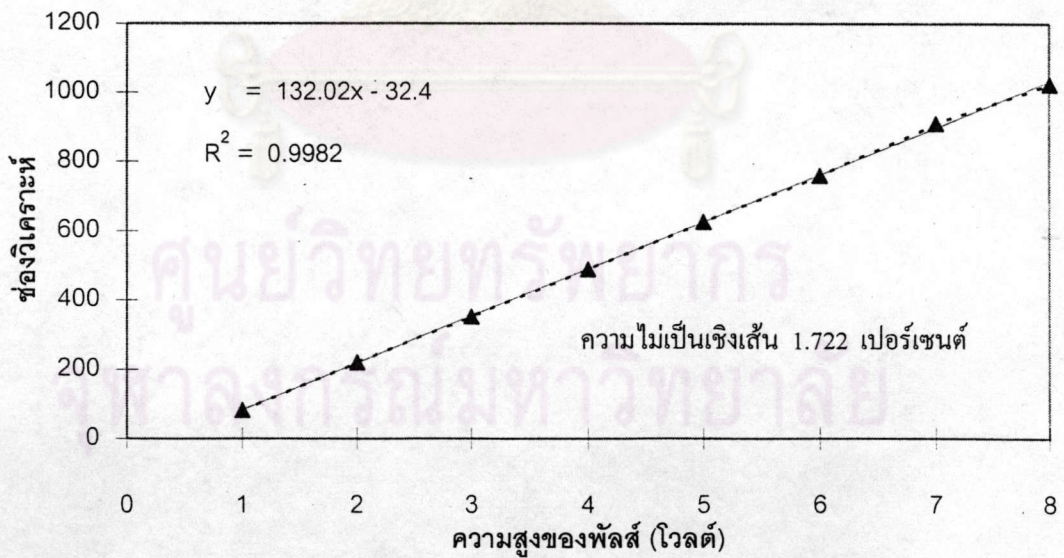
สมการเส้นตรงของรูปกราฟที่ 4.4 คือ $y = 132.02x - 32.4$

$$R^2 = 0.9982$$

และคำนวณค่าเบี่ยงเบนของช่องวิเคราะห์ที่ทดสอบได้กับช่องวิเคราะห์บนเส้นกราฟสมการเส้นตรง ได้ผลดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.3 เส้นกราฟความสัมพันธ์ของความสูงของพัลส์และช่องวิเคราะห์ของแผ่นวงจรแปลงสัญญาณพัลส์แบบวิลคินสัน 50 เมกกะเฮิร์ต



รูปที่ 4.4 เส้นกราฟความสัมพันธ์ของความสูงของพัลส์และช่องวิเคราะห์ของแผ่นวงจรแปลงสัญญาณแบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน เวลาแปลงผันสัญญาณ 5 ไมโครวินาที

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณค่าเบี่ยงเบนจากสมการเส้นตรงของกราฟทดสอบ

ความสูงของพัลส์ (โวลต์)	วิลคินสัน		ซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน	
	ค่าบนเส้นตรง แนวโน้ม	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าบนเส้นตรง แนวโน้ม	ค่าเบี่ยงเบน
1	105.0089	0.9811	99.62	17.62
2	217.3589	2.3589	231.64	10.64
3	329.7089	3.7089	363.66	10.66
4	442.0589	4.0589	495.68	6.68
5	554.4089	2.4089	627.7	2.70
6	666.7589	1.7589	759.72	0.72
7	779.1089	0.1089	891.74	17.26
8	891.4589	0.5411	1023.76	0.76
9	1003.809	3.1911	-	-
9.15	1020.661	2.3386	-	-

ช่องวิเคราะห์สูงสุดของวงจรแปลงสัญญาณแบบวิลคินสันและซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชันมีค่าเท่ากับ 1023 และค่าเบี่ยงเบนสูงสุดที่ได้จากกราฟที่ 4.3 และ 4.4 มีค่าเท่ากับ 4.0589 และ 17.62 ตามลำดับ เมื่อนำมาคำนวณหาความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินดิกรัลตามสมการที่ 2.4 ได้ผลดังนี้

แบบวิลคินสัน

$$\begin{aligned}
 \text{ความไม่เป็นเชิงเส้น} &= \frac{\text{ค่าเบี่ยงเบนสูงสุด}}{\text{ช่องวิเคราะห์สูงสุด}} \times 100 \\
 &= (4.0589/1023) \times 100 \\
 &= 0.397 \%
 \end{aligned}$$

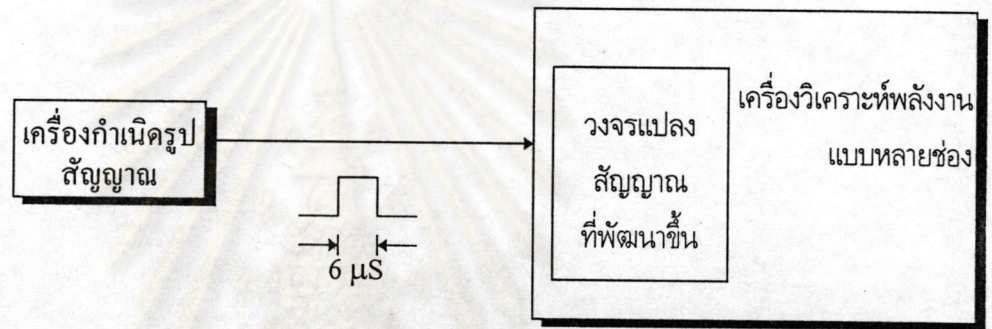
แบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน

$$\begin{aligned}
 \text{ความไม่เป็นเชิงเส้น} &= \frac{\text{ค่าเบี่ยงเบนสูงสุด}}{\text{ช่องวิเคราะห์สูงสุด}} \times 100 \\
 &= (17.62/1023) \times 100 \\
 &= 1.722 \%
 \end{aligned}$$

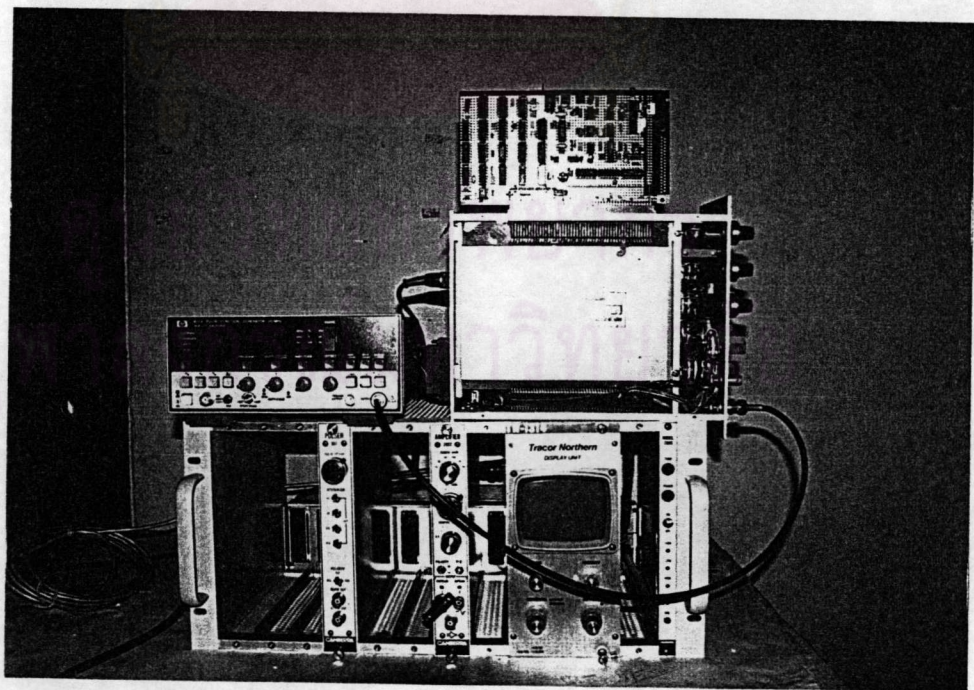
4.2 การทดสอบความสามารถในการตอบสนองอัตรานับสูงสุด

4.2.1 การจัดอุปกรณ์ทดสอบ

จัดอุปกรณ์ทดสอบดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 โดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์รูปเหลี่ยมแทนสัญญาณพัลส์แบบยูนิโพลาร์ เนื่องจากความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์คู่มีความถี่ไม่เพียงพอ



รูปที่ 4.5 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสามารถในการตอบสนองอัตรานับสูงสุด



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสามารถในการตอบสนองอัตรานับสูงสุด

4.2.2 ขั้นตอนการทดสอบและผลการทดสอบ

ก. การทดสอบการตอบสนองอัตรานับพัลส์ที่ช่องวิเคราะห์ 100

- 4.2.2.1 จัดอุปกรณ์ทดสอบดังในรูปที่ 4.5
- 4.2.2.2 ปรับความกว้างของพัลส์สี่เหลี่ยมให้มีขนาด 6 ไมโครวินาที ให้สัญญาณพัลส์ทางออกตรงกับช่องวิเคราะห์ที่ 100
- 4.2.2.3 ทดสอบการทำงานของแผ่นวงจรแปลงผันสัญญาณแบบวิลคินสัน โดยใช้เวลานับ 10 วินาที แบบ true time หรือ actual time
- 4.2.2.4 แปรเปลี่ยนความถี่ของพัลส์ (อัตราพัลส์) จาก 1 k , 5 k , 10 k , ... 70 kcps วิเคราะห์ความสูงของพัลส์และบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.2
- 4.2.2.5 ทดสอบการทำงานของแผ่นวงจรแปลงผันสัญญาณแบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน
- 4.2.2.6 ทำซ้ำตามข้อ 4.2.2.4
- 4.2.2.7 ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.3 และเส้นกราฟในรูปที่ 4.7

ข. การทดสอบการตอบสนองอัตรานับพัลส์ที่ช่องวิเคราะห์ 480

- 4.2.2.8 ใช้อุปกรณ์ทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 4.2.2.1 ปรับความกว้างของพัลส์สี่เหลี่ยมให้มีขนาด 6 ไมโครวินาที ให้สัญญาณพัลส์ทางออกตรงกับช่องวิเคราะห์ที่ 480
- 4.2.2.9 ทดสอบการทำงานของแผ่นวงจรแปลงผันสัญญาณแบบวิลคินสันตามข้อ 4.2.2.3 และ 4.2.2.4
- 4.2.2.10 ทดสอบการทำงานของแผ่นวงจรแปลงผันสัญญาณแบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน ตามข้อ 4.2.2.3 และ 4.2.2.4
- 4.2.2.11 ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.4 และเส้นกราฟในรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความสามารถในการตอบสนองอัตรานับที่ช่อง 100

อัตราพัลส์ (kcps)	แบบวิลคินสัน (จำนวนนับ)	แบบซัคเซสซีฟ แอฟพรอกซิเมชัน (จำนวนนับ)
1	10015	8974
5	50104	45116
10	99536	89276
15	149774	134367
20	199562	179400
25	249335	224180
30	298166	269088
35	348773	313300
40	399468	358360
45	447952	403486
50	497681	447917
55	547790	493113
60	582326	537551
65	598424	579738
70	598218	610498
75	643334	650616
80	658259	525882
85	422955	482242

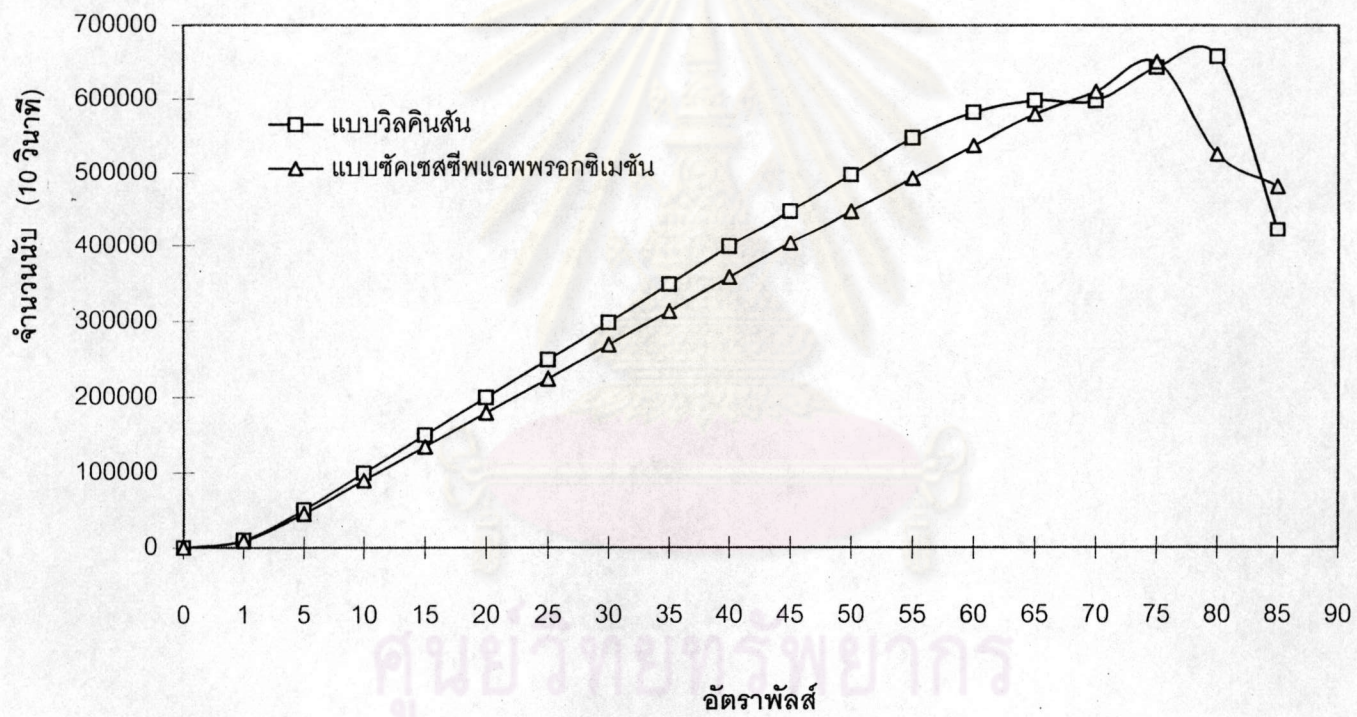
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความสามารถตอบสนองในการตอบสนองอัตรานับที่ช่อง 340

อัตราพัลส์ (kcps)	แบบวิลคินสัน (จำนวนนับ)	แบบซัคเซสซีฟแอฟ พรอกซิเมชัน (จำนวนนับ)
1	10031	8954
5	50132	45134
10	99335	89725
15	149881	134929
20	199685	179356
25	249507	224187
30	298783	268904
35	348891	313964
40	398697	358480
45	447116	403355
50	478943	447970
55	502925	493137
60	350691	537323
65	353973	582168
70	364398	627580

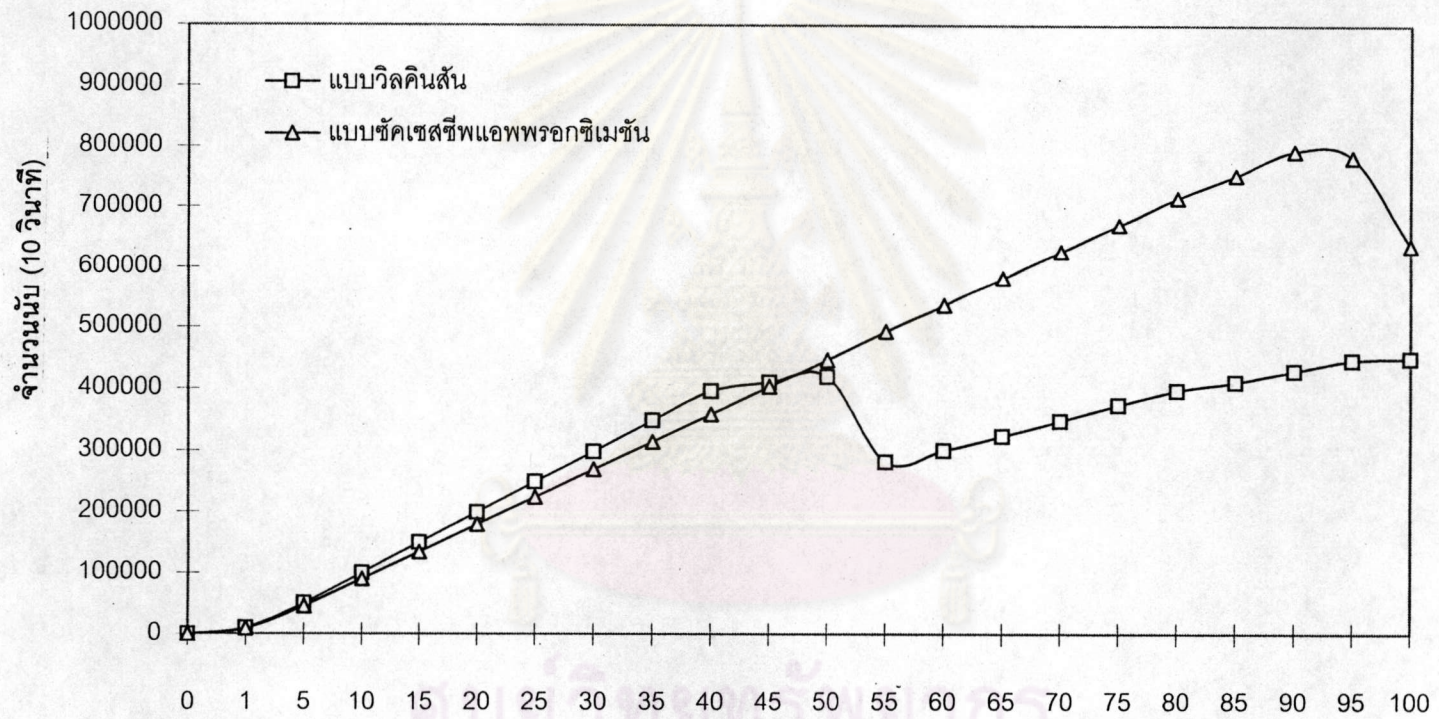
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความสามารถตอบสนองในการตอบสนองอัตราน้ำที่ช่อง 340

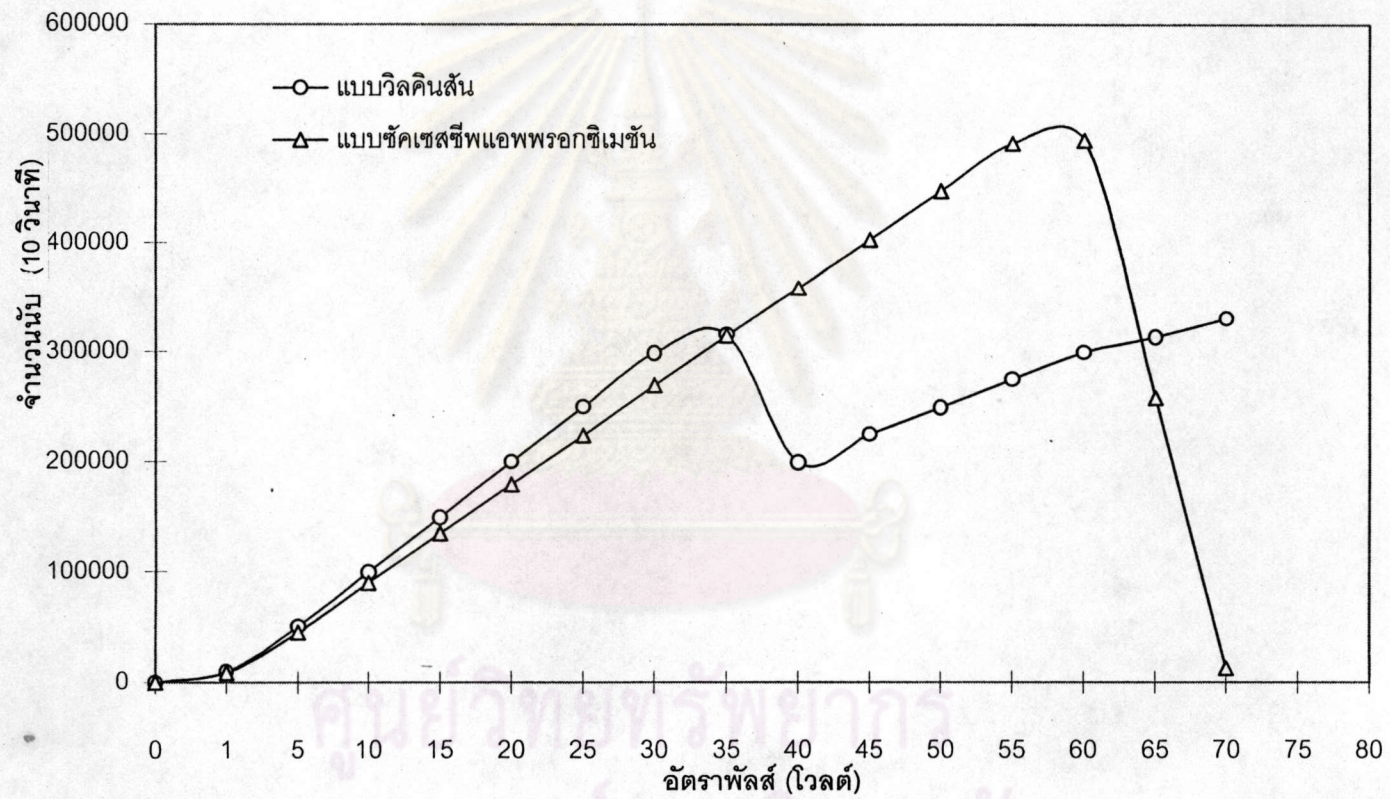
อัตราพัลส์ (kcps)	แบบวิลคินสัน (จำนวนนับ)	แบบซัคเซสซีฟแอฟ พรอกซิเมชัน (จำนวนนับ)
1	10050	8981
5	50114	45225
10	99649	89766
15	149697	134340
20	1978929	179261
25	249439	223813
30	298445	269100
35	348896	314144
40	396702	358977
45	410692	403993
50	419760	446745
55	282106	493138
60	300556	535803
65	323802	582310
70	348340	626759
75	374351	670361
80	397698	715196
85	411558	753134
90	428994	792971
95	446579	783136
100	450063	636870



รูปที่ 4.7 เส้นกราฟการตอบสนองอัตรานับพัลส์ของวงจรแปลงผันสัญญาณ 2 แบบ ที่ช่องวิเคราะห์ 100



รูปที่ 4.8 เส้นกราฟการตอบสนองอัตรานับพัลส์ของวงจรแปลงผันสัญญาณ 2 แบบ ที่ช่องวิเคราะห์ 480



รูปที่ 4.9 เส้นกราฟการตอบสนองอัตรานับพัลส์ของวงจรแปลงผันสัญญาณ 2 แบบ ที่ช่องวิเคราะห์ 850

ค. การทดสอบการตอบสนองอัตรานับพัลส์ที่ช่องวิเคราะห์ 850

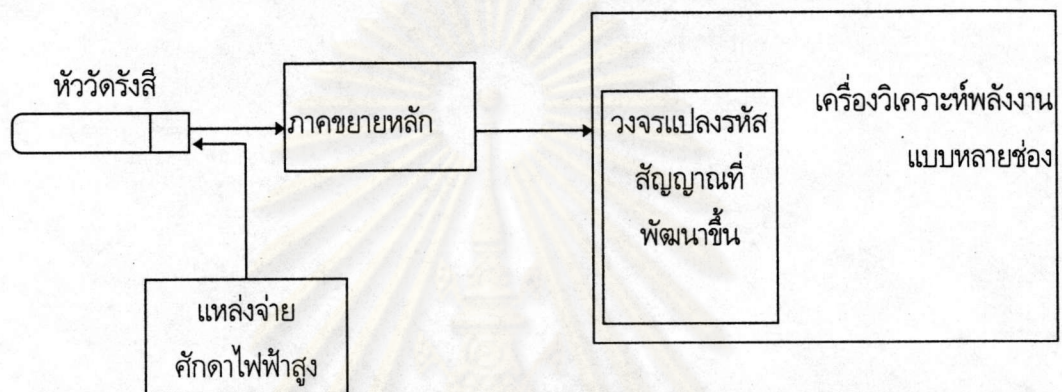
- 4.2.2.12 ใช้อุปกรณ์ทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 4.2.2.1 โดยปรับความกว้างของพัลส์สี่เหลี่ยมให้มีขนาด 6 ไมโครวินาที ให้สัญญาณพัลส์ทางออกตรงกับช่องวิเคราะห์ที่ 850
- 4.2.2.13 ทดสอบการทำงานของแผ่นวงจรแปลงผันสัญญาณแบบวิลคินสันตามข้อ 4.2.2.3 และ 4.2.2.4
- 4.2.2.14 ทดสอบการทำงานของแผ่นวงจรแปลงผันสัญญาณแบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน ตามข้อ 4.2.2.3 และ 4.2.2.4
- 4.2.2.15 ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.5 และเส้นกราฟในรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความสามารถตอบสนองในการตอบสนองอัตรานับที่ช่อง 850

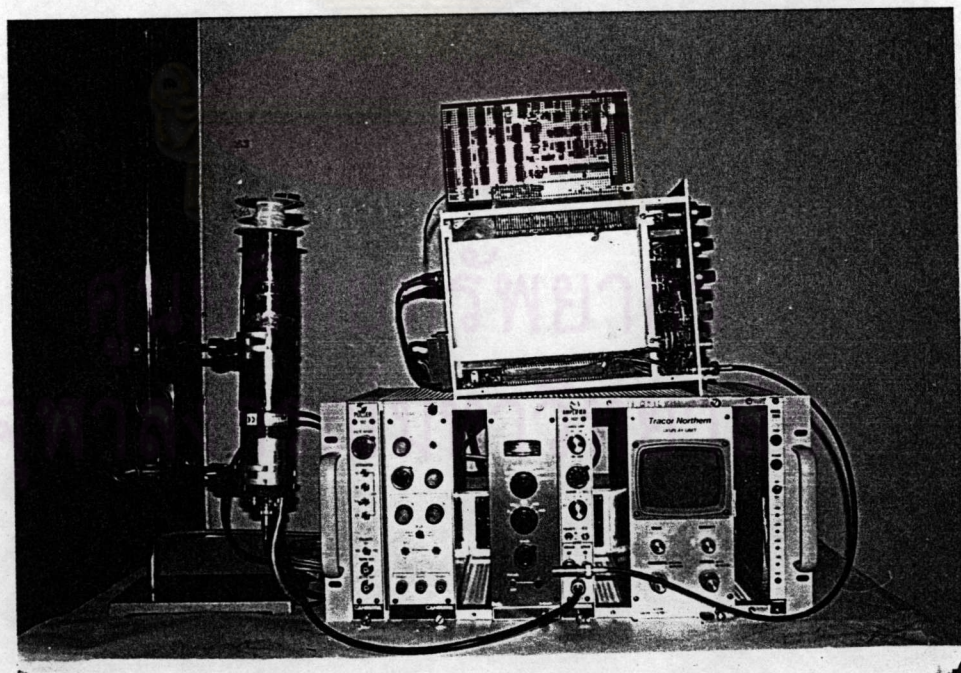
อัตราพัลส์ (kcps)	แบบวิลคินสัน (จำนวนนับ)	แบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน (จำนวนนับ)
1	9931	9001
5	50080	45012
10	99655	89597
15	149329	134765
20	199435	179332
25	249474	223617
30	298401	268867
35	314844	313682
40	199240	357905
45	224442	402919
50	249200	447873
55	274379	491169
60	298627	494260
65	313112	257632
70	329673	12798

4.3 การทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมของตัวกำเนิดรังสีมาตรฐาน

4.3.1 การจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ซีเซียม-137 ซึ่งให้พลังงานรังสีแกมมา 662 keV และ โคบอลต์-60 ซึ่งให้พลังงานของรังสีแกมมา 2 พลังงานใกล้เคียงกันที่ 1.17 MeV และ 1.33 MeV



รูปที่ 4.10 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัม



รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายการจัดอุปกรณ์เพื่อการทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงาน

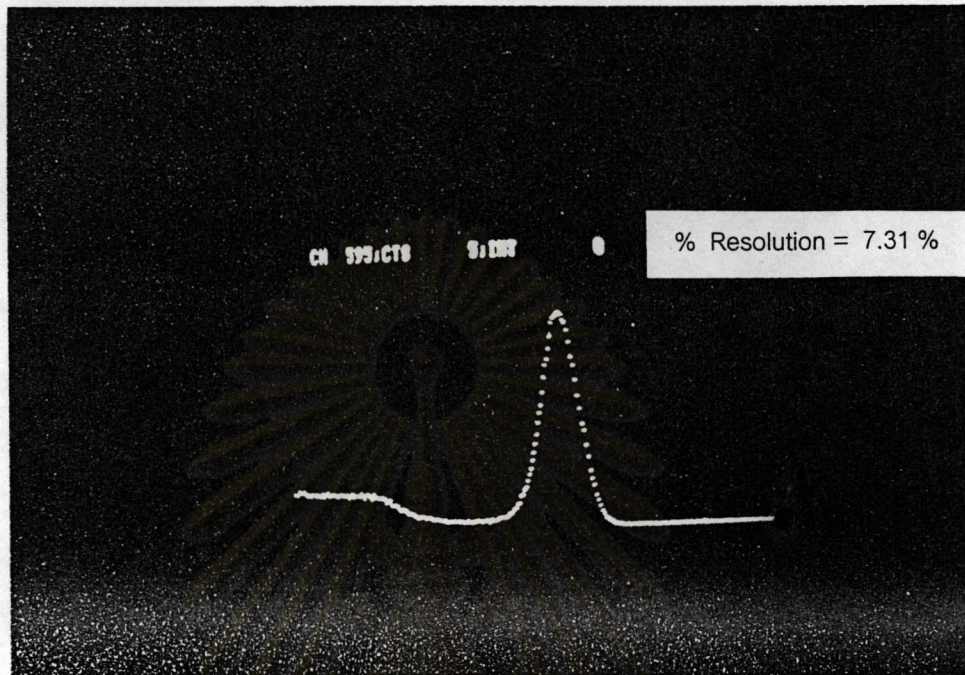
4.3.2 ขั้นตอนการทดสอบและผลการทดสอบ

ก. ทดสอบการวิเคราะห์พลังงานรังสีแกมมาของ ซีเซียม-137

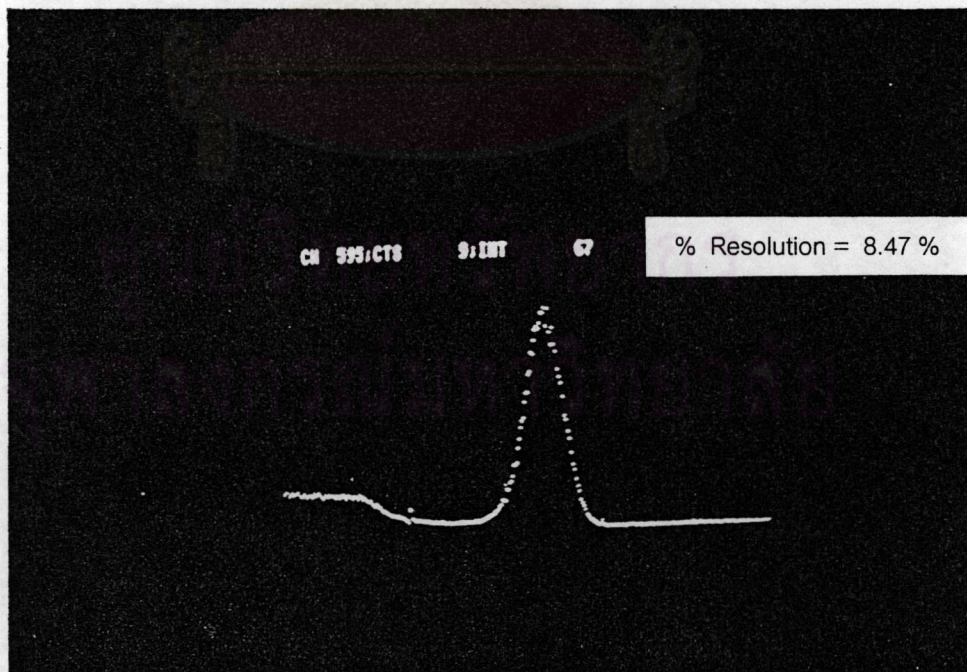
- 4.3.2.1. จัดอุปกรณ์ทดสอบดังรูปที่ 4.10
- 4.3.2.2. ใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ซีเซียม-137 ในการทดสอบ โดยวางต้นกำเนิดรังสีห่างจากหัววัดรังสีที่ระยะคงที่
- 4.3.2.3. ปรับอัตราขยายของระบบวัดส่วนหน้าให้สัญญาณพัลส์ยูนิโพลาร์ทางออกที่ระดับพลังงาน 662 keV เท่ากับ 5 V.
- 4.3.2.4. ทดสอบการวิเคราะห์พลังงานของแผ่นวงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์แบบวิลคินสัน โดยใช้เวลาวิเคราะห์ 1 นาที
- 4.3.2.5. ทดสอบการวิเคราะห์พลังงานของแผ่นวงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์แบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน โดยใช้เวลาวิเคราะห์ 1 นาที
- 4.3.2.6. ผลการทดสอบเป็นไปตามรูปที่ 4.12 ถึง 4.13

ข. ทดสอบการวิเคราะห์พลังงานรังสีแกมมาของ โคบอลต์-60

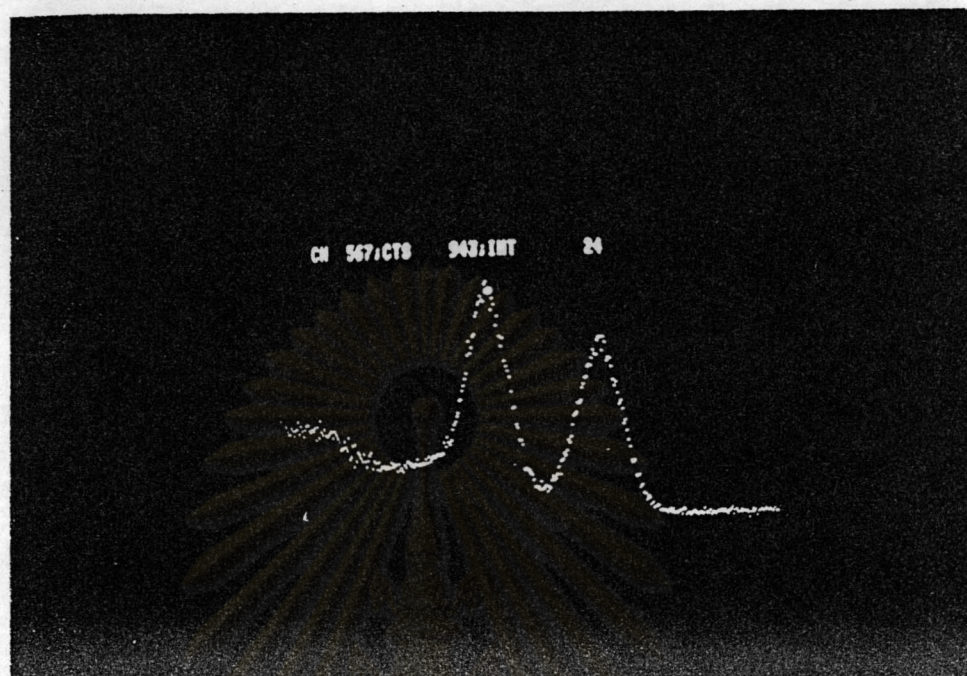
- 4.3.2.7. ใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน โคบอลต์-60 ในการทดสอบ โดยวางต้นกำเนิดรังสีห่างจากหัววัดรังสีคงที่
- 4.3.2.8. ทดสอบการวิเคราะห์พลังงานของแผ่นวงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์แบบวิลคินสัน โดยใช้เวลาวิเคราะห์ 1 นาที
- 4.3.2.9. ทดสอบการวิเคราะห์พลังงานของแผ่นวงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์แบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน โดยใช้เวลาวิเคราะห์ 1 นาที
- 4.3.2.10. ผลการทดสอบเป็นไปตามรูปที่ 4.14 ถึง 4.15
- 4.3.2.11. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การแจกแจงสัญญาณของแต่ละวงจรแปลงสัญญาณ ที่พลังงาน 662 keV ของซีเซียม-137



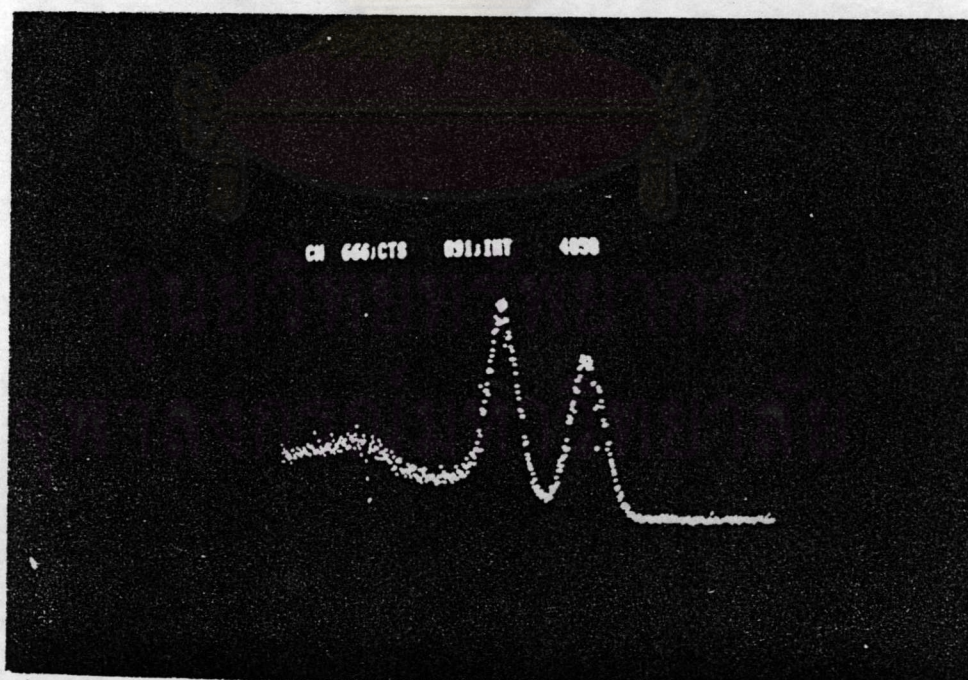
รูปที่ 4.12 สเปกตรัมของซีเซียม-137 วิเคราะห์ด้วยวงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์
แบบวิลคินสัน 50 เมกกะเฮิร์ต



รูปที่ 4.13 สเปกตรัมของซีเซียม-137 วิเคราะห์ด้วยวงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์
แบบซัคเซสซีฟแอฟพรอกซิเมชัน เวลาแปลงผัน 5 ไมโครวินาที



รูปที่ 4.14 สเปกตรัมของโคบอลต์-60 วิเคราะห์ด้วยวงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์
แบบวิลคินสัน 50 เมกกะเฮิร์ต



รูปที่ 4.15 สเปกตรัมของโคบอลต์-60 วิเคราะห์ด้วยวงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์
แบบซัคเซสซีฟแอฟฟรอกซิเมชัน เวลาแปลงผัน 5 ไมโครวินาที