

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ระบบวิเคราะห์หลายช่องที่บรรจุในฐานหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ที่พัฒนาขึ้นได้นำมาทดสอบสมรรถนะเพื่อสรุปผลการทำงานของวงจรต่างๆ และการทำงานโดยรวม ได้แก่

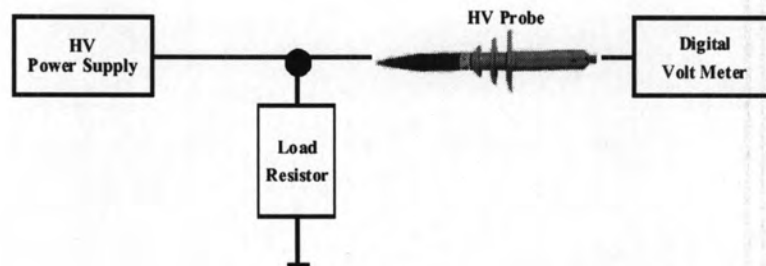
1. ทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง
2. ทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์
3. ทดสอบระบบวิเคราะห์แบบหลายช่อง
4. ทดลองวิเคราะห์สเปกตรัมนิวเคลียร์

4.1 การทดสอบการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. โพรบวัดศักดาไฟฟ้าสูง (High Voltage Probe) ของ Fluke รุ่น FV04
2. เครื่องวัดศักดาไฟฟ้าของ Fluke รุ่น 189
3. ตัวต้านทานขนาดต่างๆ
4. ตัวเก็บประจุขนาด $0.1 \mu\text{F}$ 1000 โวลต์
5. แผ่นวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่พัฒนาขึ้น

4.1.2 ทดสอบความสามารถในการรักษาระดับศักดาไฟฟ้าขณะมีการเปลี่ยนแปลง (Load Regulation)



รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

ทดสอบโดยจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.1 ปรับค่าทางออกของศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่แรงดัน 1,000 โวลต์ ขณะไม่มีโหลด (Load) จากนั้นแปรเปลี่ยนความต้านทานของโหลดเพิ่มครั้งละ 1.3 MΩ เพื่อเพิ่มภาระของการจ่ายกระแสของแหล่งจ่ายศักดาจาก 64 μA ถึง 769 μA ผลทดสอบเป็นไปดังตารางที่ 4.1 และเส้นกราฟที่ 4.2 สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์การควบคุมศักดาไฟฟ้าที่กระแสสูงสุดได้ดังนี้

$$\% \text{ load regulation} = \frac{V_{nL} - V_{fL}}{V_{fL}} \times 100$$

เมื่อ V_{nL} = ศักดาไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด

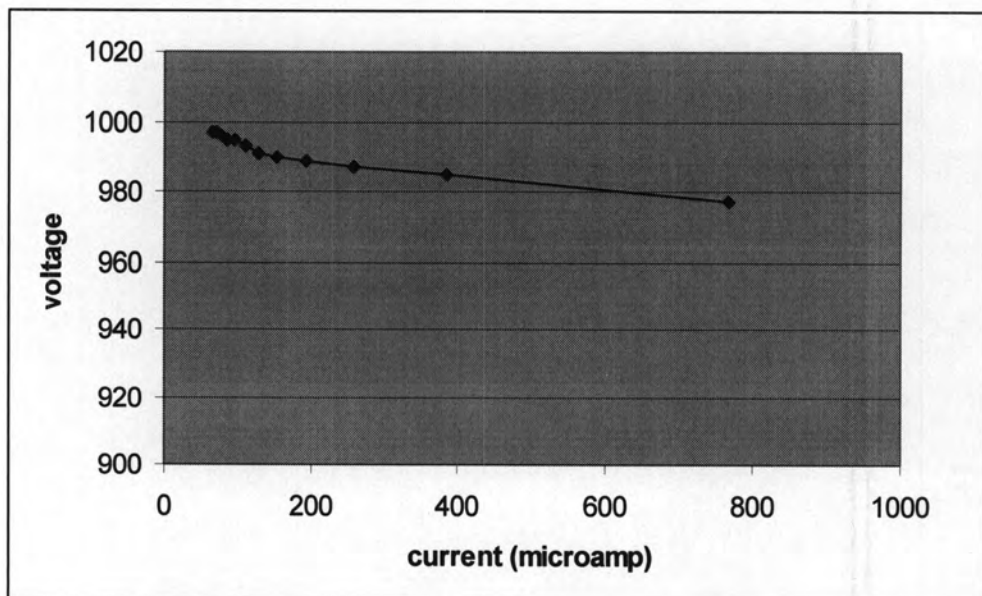
V_{fL} = ศักดาขณะจ่ายโหลดสูงสุด

$$= \frac{1000 - 977}{977} \times 100$$

$$= 2.35\%$$

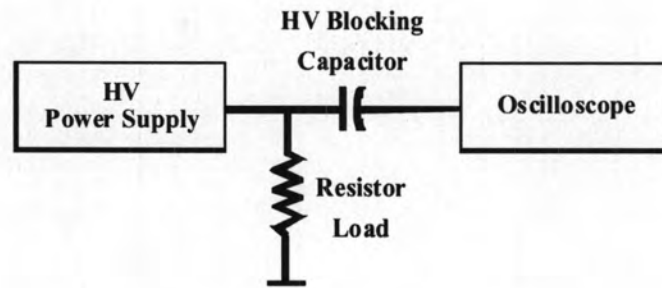
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันขาออก

ความต้านทาน (M Ω)	แรงดันขาออก (V)	กระแสขาออก (μ A)
15.6	997	64
14.3	997	70
13	996	77
11.7	995	85
10.4	995	96
9.1	993	109
7.8	991	128
6.5	990	153
5.2	989	192
3.9	987	256
2.6	985	384
1.3	977	769



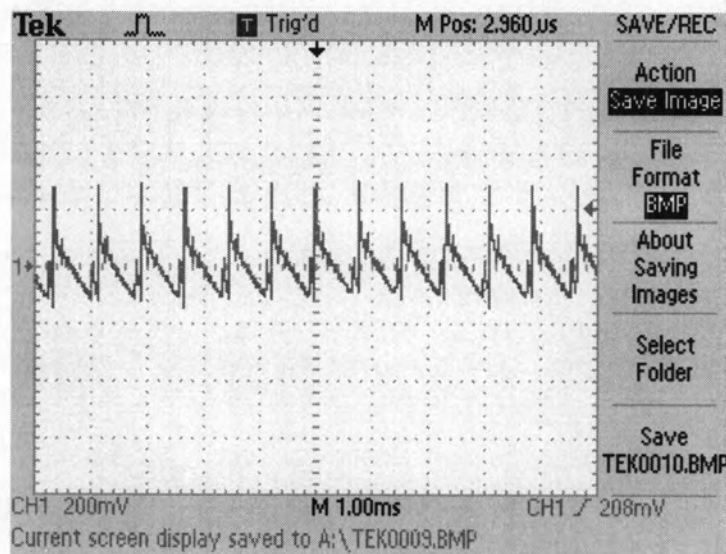
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของโหนดและแรงดันไฟฟ้าทางออก

4.1.3 ตรวจสอบขนาดของแรงดันริปเปิล (Ripple Voltage)



รูปที่ 4.3 แผนภาพการจับอุปกรณ์เพื่อตรวจวัดแรงดันริปเปิล

การตรวจวัดทำได้โดยการจับอุปกรณ์ทดสอบดังรูปที่ 4.3 ปรับแรงดันไฟฟ้าทางออกขณะจ่ายกระแสไหลคที่กระแส $178 \mu\text{A}$ ให้อ่านค่าได้ 1,000 โวลต์ ผลการวัดขนาดของแรงดันริปเปิลมีค่า 400 mVpp ดังในรูปที่ 4.4



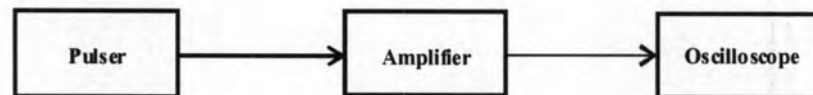
รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณริปเปิลจากเครื่องอ่านรูปสัญญาณ

4.2 การทดสอบการทำงานของวงจรมายสัญญาณพัลส์

4.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

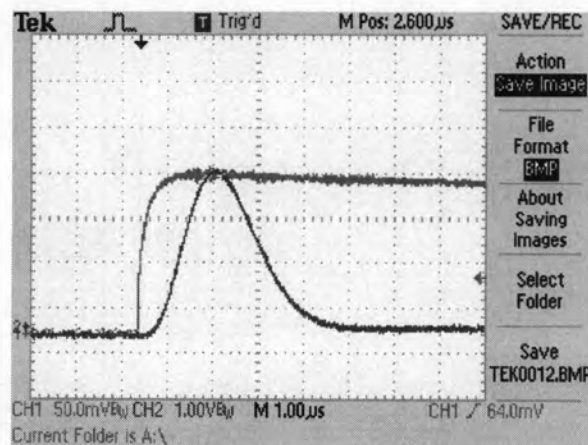
1. เครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสี (Pulser) ของ Canberra รุ่น 807
2. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Digital Signal Oscilloscope) ของ Tektronix รุ่น 2022
3. แผ่นวงจรมายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น

4.2.2 ตรวจสอบรูปสัญญาณทางออก



รูปที่ 4.5 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบสัญญาณพัลส์

ทดสอบโดยจัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.5 ป้อนสัญญาณพัลส์ขาบวกขนาด 175 มิลลิโวลต์ decay time $50 \mu\text{s}$ ให้วงจรมายสัญญาณพัลส์ ผลการอ่านรูปสัญญาณจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณหลังจากการปรับ Pole Zero Cancellation และ Base Line Restorer สมบูรณ์แล้วแสดงดังรูปที่ 4.6 ผลการทดสอบพบว่าอัตราขยายสัญญาณของวงจรมายสัญญาณรูปยูนิโพลาร์มีเวลาขาขึ้น 2.3τ และเวลาขาลง 4.2τ เมื่อ $\tau = 0.5 \mu\text{s}$



รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณทางเข้าและทางออกของวงจรมายสัญญาณพัลส์

4.2.3 ทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตรายขยายแบบอินทิกรัล (Integral Non-linearity, INL)

ทดสอบโดยตั้งอัตรายขยายคงที่ และแปรเปลี่ยนขนาดความสูงของสัญญาณพัลส์ทางเข้าจากอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสี เพื่อให้ขนาดความสูงของสัญญาณพัลส์ทางออกมีขนาด 0.5, 1, 2, 3 และ 4 โวลต์ตามลำดับ ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.2 และเส้นกราฟรูปที่ 4.7 พบว่า

$$\begin{aligned} \text{INL} &= \frac{V_o - V_{\text{ideal}}}{V_{\text{max}}} \times 100 \\ &= \frac{1.990 - 2.020}{4.04} \times 100 = \pm 0.742\% \end{aligned}$$

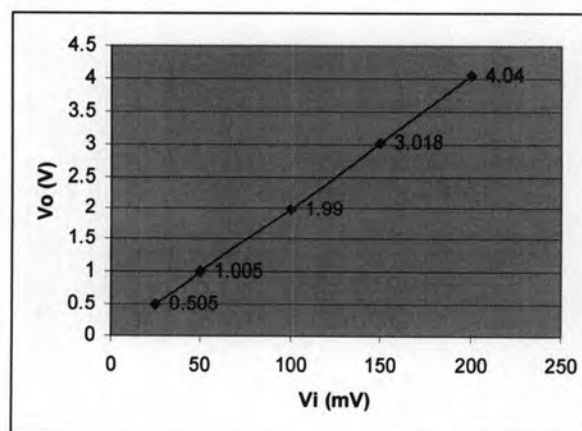
เมื่อ V_o = ศักดาไฟฟ้าทางออกของวงจรขยายสัญญาณ ทำการวัดที่ช่องศักดาซึ่งมีการเบี่ยงเบนสูงสุด

V_{ideal} = ศักดาไฟฟ้าทางออกของวงจรขยายสัญญาณในอุดมคติ

V_{max} = ศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่ทางออกของวงจรขยายสัญญาณซึ่งทำการวัด

ตารางที่ 4.2 ความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตรายขยายแบบอินทิกรัล

V_i (mV)	V_o (V)	Gain	Ideal output at Gain 20.20 (V)
200	4.040	20.20	4.040
150	3.018	20.12	3.030
100	1.990	19.90	2.020
50	1.005	20.10	1.100
25	0.505	20.20	0.505



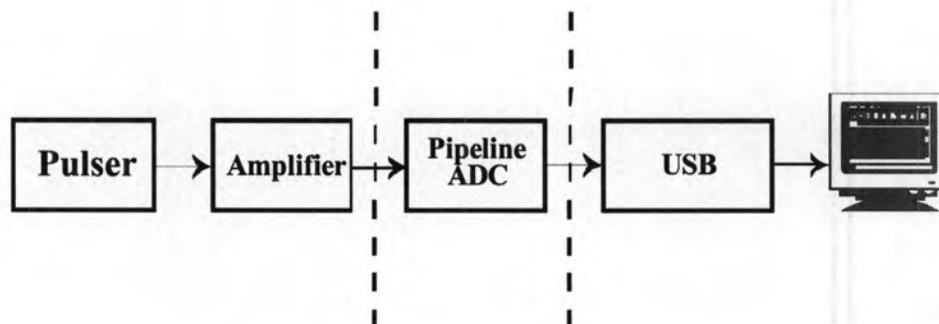
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตรายขยายแบบอินทิกรัล

4.3 การทดสอบระบบแปลงสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณเชิงตัวเลข

4.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

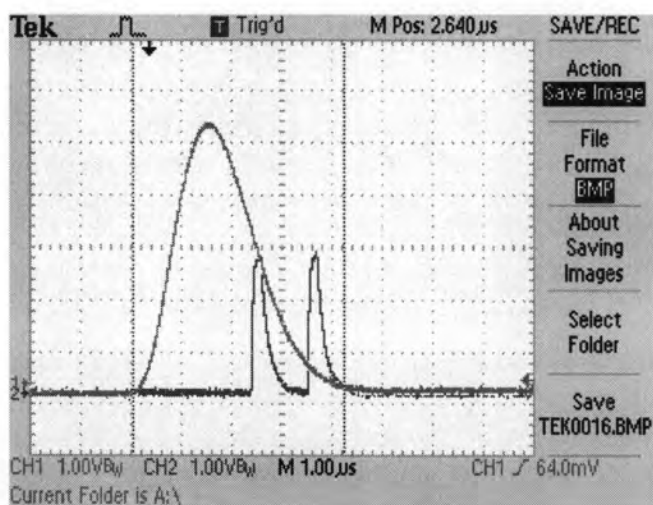
1. เครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสีของ Canberra รุ่น 807
2. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Digital Signal Oscilloscope) ของ Tektronix รุ่น 2022
3. แผ่นวงจรวิเคราะห์แบบหลายช่องที่พัฒนาขึ้นพร้อมโปรแกรมอิมูเลเตอร์ของระบบวิเคราะห์แบบหลายช่อง
4. ไมโครคอมพิวเตอร์

4.3.2 ทดสอบการทำงานของระบบส่งข้อมูล ADC ผ่านพอร์ตยูเอสบี



รูปที่ 4.8 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบส่งข้อมูล ADC

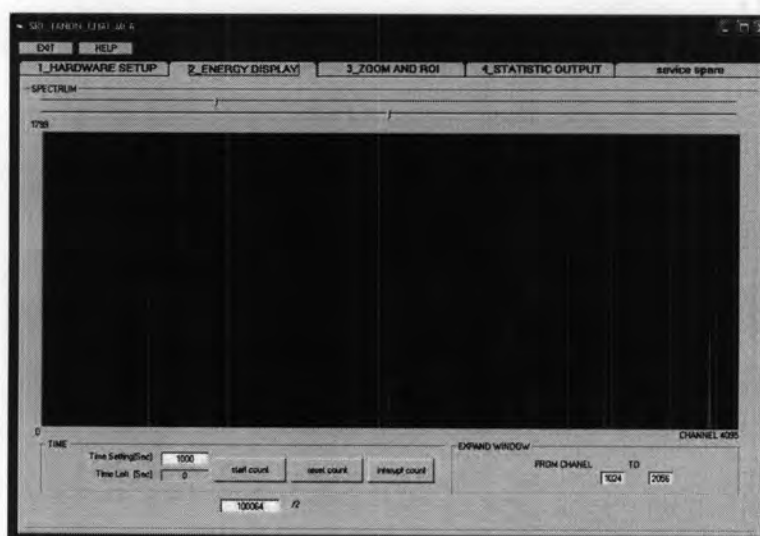
การทดสอบทำโดยจัดอุปกรณ์ทดสอบดังรูปที่ 4.8 ป้อนสัญญาณพัลส์ผ่านวงจรขยายจนได้สัญญาณทางออกรูปยูนีโพลาร์ขนาด 5 โวลต์ จับสัญญาณที่ทางออกของวงจรขยายสัญญาณเทียบกับจุดสัญญาณควบคุมการส่งข้อมูล ที่ขา WR ของไอซี FT245BM ผลการวัดรูปสัญญาณแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าการแปลงสัญญาณใช้เวลา $1 \mu\text{s}$ และการส่งสัญญาณครั้งละ 8 บิต ใช้เวลา $2 \mu\text{s}$ เมื่อเพิ่มความถี่ของสัญญาณพัลส์โปรแกรมจะหยุดที่ 10500 cps



รูปที่ 4.9 รูปสัญญาณทางออกของวงจรขยายเทียบกับจุดสัญญาณควบคุม

4.3.3 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นในการแปลงสัญญาณพัลส์ของระบบ

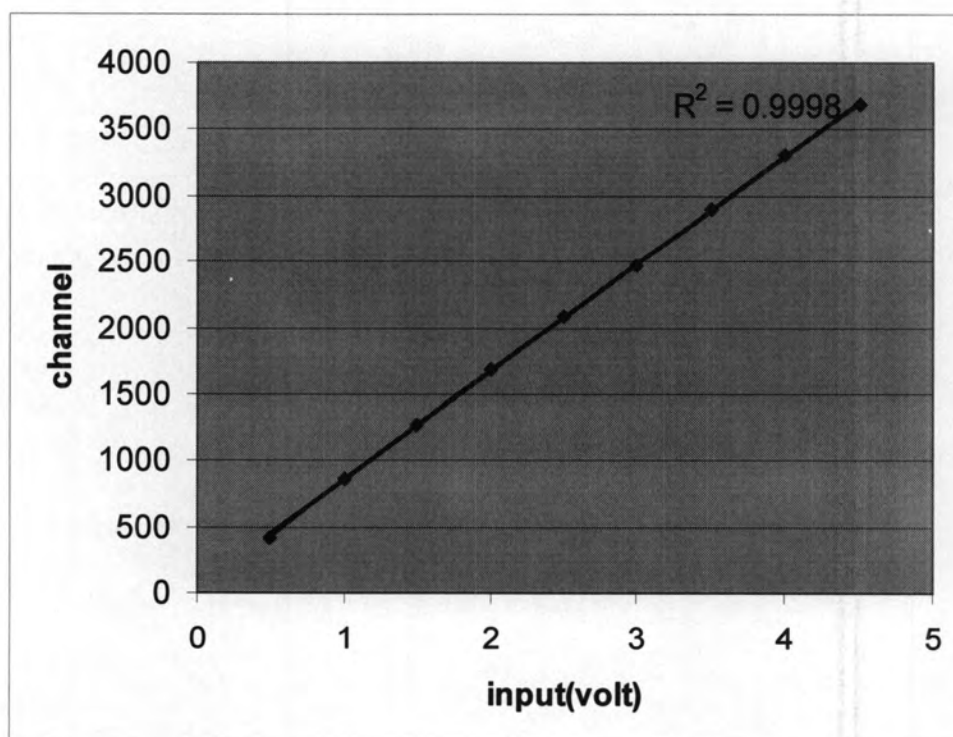
จัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบดังรูปที่ 4.8 และใช้โปรแกรมอิมูเลเตอร์ของระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ การทดสอบทำได้โดยแปรเปลี่ยนความสูงของพัลส์และบันทึกตำแหน่งช่องวิเคราะห์ที่อ่านค่าได้บนจอแสดงผลดังในรูปที่ 4.10 ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.3 และเส้นกราฟรูปที่ 4.11 พบว่าค่าของระบบที่พัฒนาขึ้นมีความเป็นเชิงเส้นสูง โดยมีค่า $R^2 = 0.9998$



รูปที่ 4.10 แสดงตำแหน่งความสูงของพัลส์ที่ตำแหน่งช่องวิเคราะห์ต่างๆ บนจอแสดงผล

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์และตำแหน่งช่องวิเคราะห์

ความสูงของพัลส์ (V)	ช่องวิเคราะห์ พลังงาน	แรงดันเทียบ กลับ (V)
0.5	416	0.5079
1.0	863	1.052
1.5	1270	1.550
2.0	1680	2.051
2.5	2078	2.537
3.0	2473	3.019
3.5	2897	3.537
4.0	3312	4.043
4.5	3698	4.515



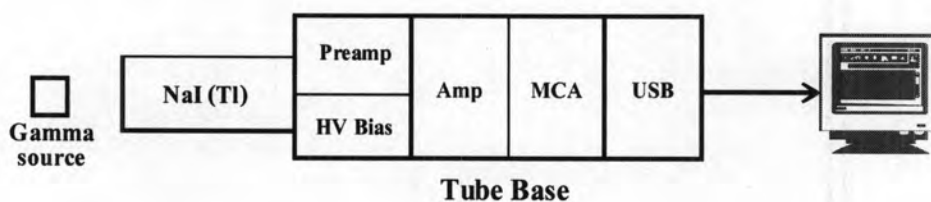
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์และตำแหน่งช่องวิเคราะห์

4.4 การทดลองวิเคราะห์สเปกตรัมนิวเคลียร์

4.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

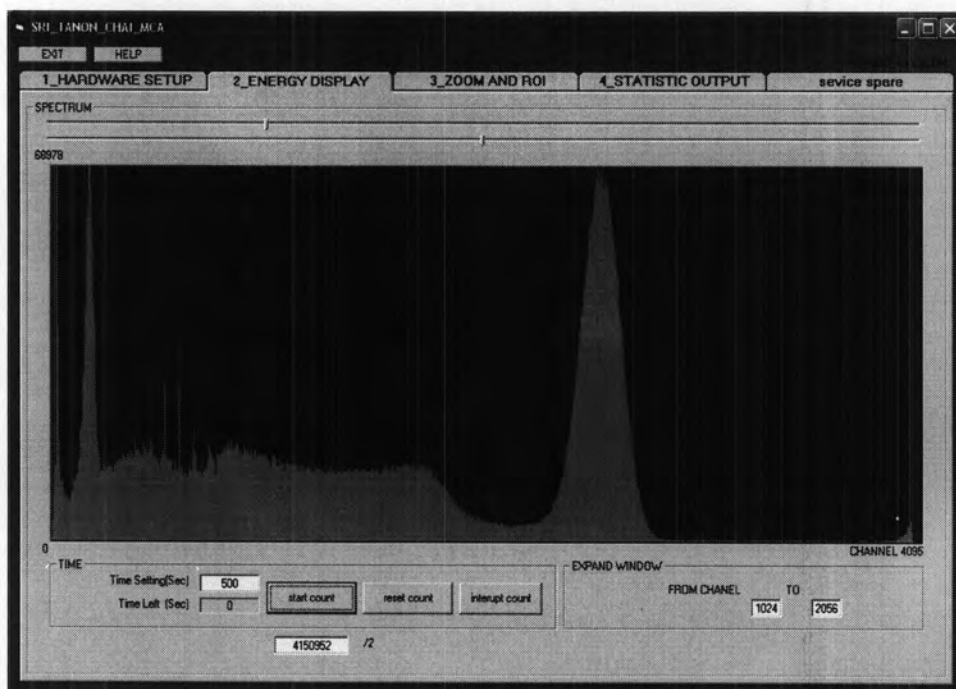
1. หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทึดเลียม) ขนาด $\varnothing 2 \times 2$ นิ้ว
2. ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่องที่พัฒนาขึ้นหลังบรรจุในฐานหลอด PMT พร้อมโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ
3. ไมโครคอมพิวเตอร์
4. ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137
5. ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Co-60

4.4.2 ทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบวิเคราะห์

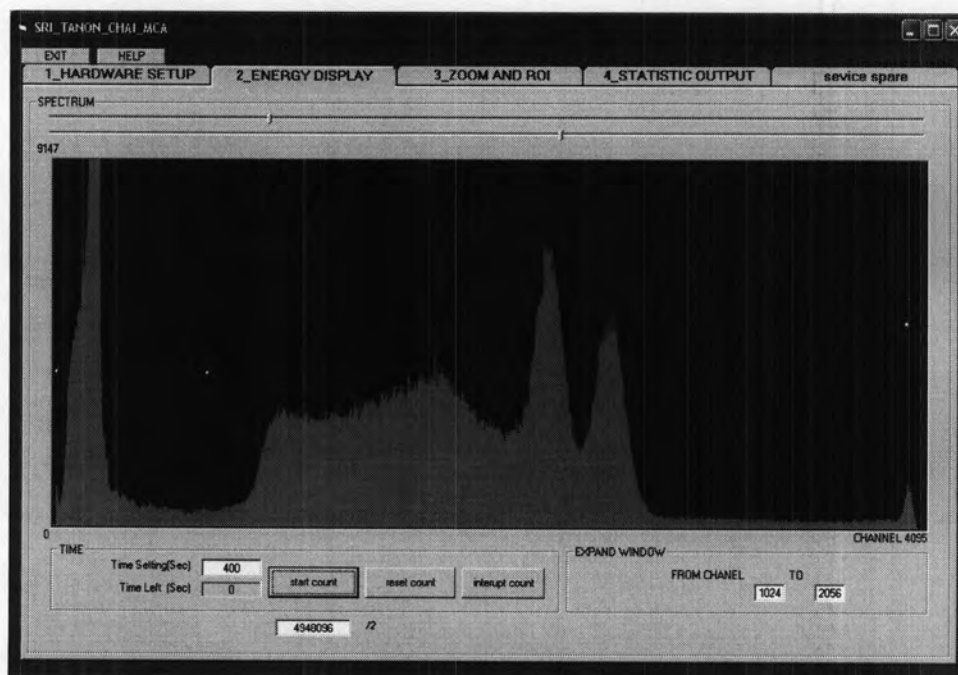


รูปที่ 4.12 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสามารถ
ในการทำงานของระบบวิเคราะห์แบบหลายช่อง

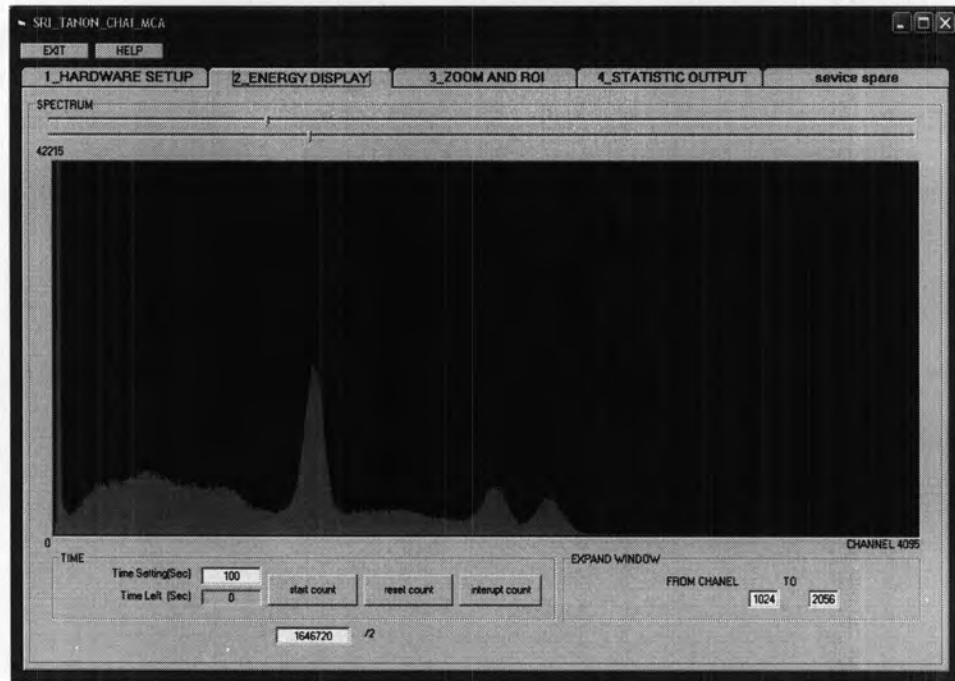
จัดอุปกรณ์ทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมดังรูปที่ 4.12 ปรับศักดาไฟฟ้าสูงให้พอเหมาะกับการวิเคราะห์พลังงานในช่วง 0 ถึง 2 MeV วิเคราะห์พลังงานของรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 และ Co-60 ได้ผลวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 จากนั้นทดสอบการใช้ฟังก์ชันส่งออกข้อมูลทาง Excel ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.16 จากผลการทดสอบพบว่าในการวิเคราะห์สเปกตรัมนั้น ระบบวิเคราะห์ยังมีสัญญาณรบกวนด้านพลังงานต่ำพอสมควร การส่งผลวิเคราะห์ผ่านทางโปรแกรม Excel จะช่วยให้นำข้อมูลส่งไปทำงานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์ในการวิเคราะห์เฉพาะด้านต่างๆ ได้สะดวก



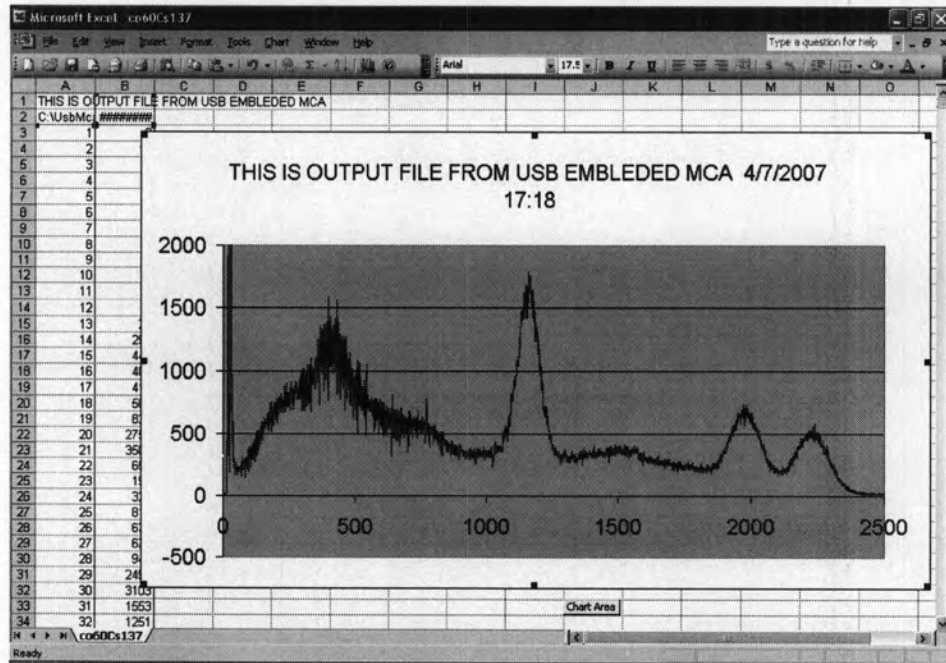
รูปที่ 4.13 ผลการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมาจาก Cs-137



รูปที่ 4.14 ผลการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมาจาก Co-60



รูปที่ 4.15 ผลการรวมสเปกตรัมรังสีแกมมาของ Cs-137 และ Co-60



รูปที่ 4.16 ภาพแสดงสเปกตรัมของ Cs-137 และ Co-60 ที่ได้จากการนำข้อมูล
ที่เก็บบันทึกไว้มาแสดงบน Microsoft Excel