

บทที่ 4

ผลการทดลอง

วงจรแปลงสัญญาณพัลส์วัดคินสันแบบอาร์เรย์ที่พัฒนาขึ้น สามารถทำงานร่วมกับเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง CANBERRA รุ่น S-100 โดยสามารถทดสอบ การทำงานเปรียบเทียบกับ ADC CANBERRA รุ่น 8706 (450 MHz) และเปรียบเทียบการทำงานระหว่างการทำงานของ ADC ชุดเดียวกับ ADC ทำงานแบบอาร์เรย์ได้ โดยทำการทดสอบดังนี้

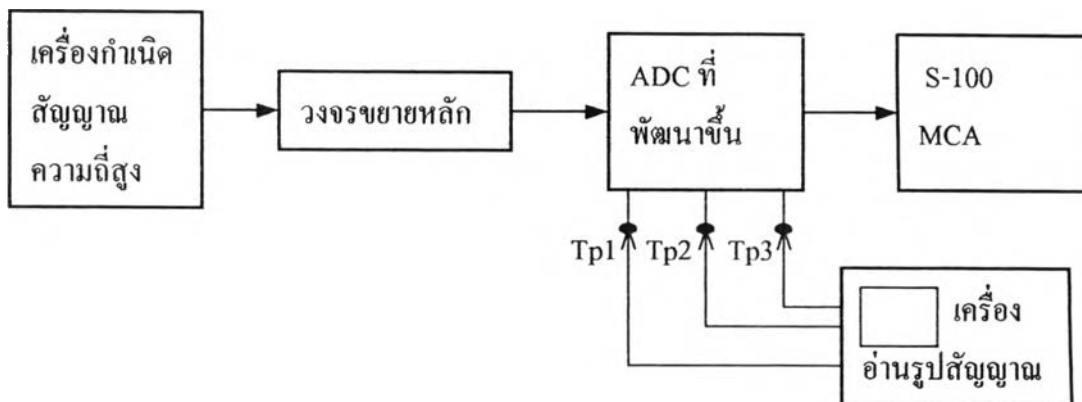
1. ทดสอบการทำงานของวงจร
2. ทดสอบความเสถียรในการทำงานของ ADC
3. ทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินติกรัล
4. ทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณ (throughput count rate)
5. ทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมของคันทันกำเนิดครึ่งสิมาตรฐาน

4.1 การทดสอบการทำงานของวงจร

4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

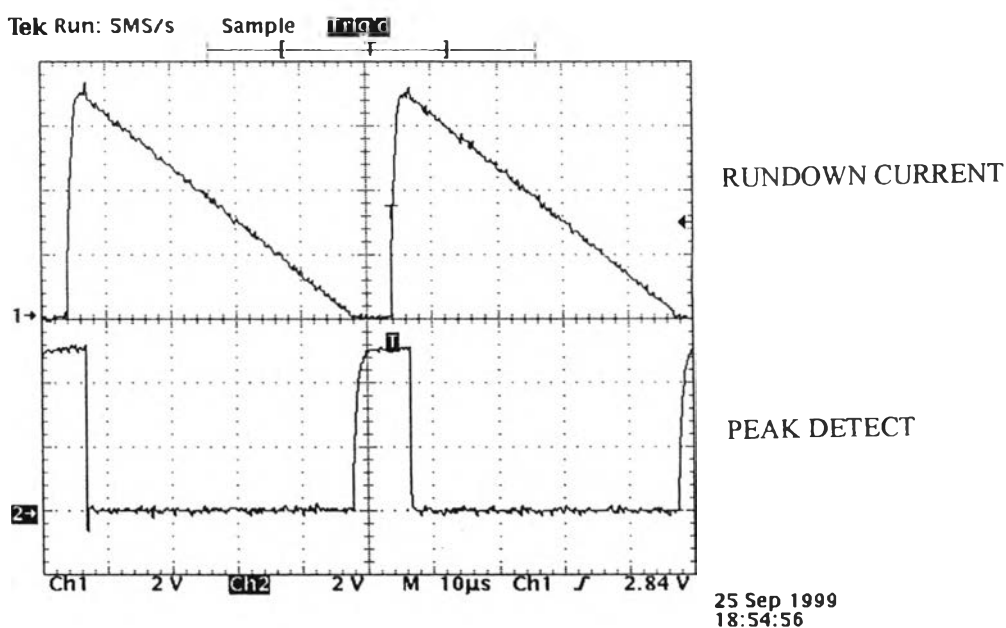
1. เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (Hewlett Packard model 1407)
2. NIM BIN Power Supply (CANBERRA model 1000)
3. เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (CANBERRA model S-100)
4. อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ (CANBERRA model 2021)
5. วงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์วัดคินสันแบบอาร์เรย์ที่พัฒนาขึ้น
6. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Tektronix model TDS 360)
7. เครื่องคอมพิวเตอร์ CPU 486 ขึ้นไป 1 ชุด

4.1.2 ทดสอบรูปสัญญาณที่จุดทดสอบสำคัญ

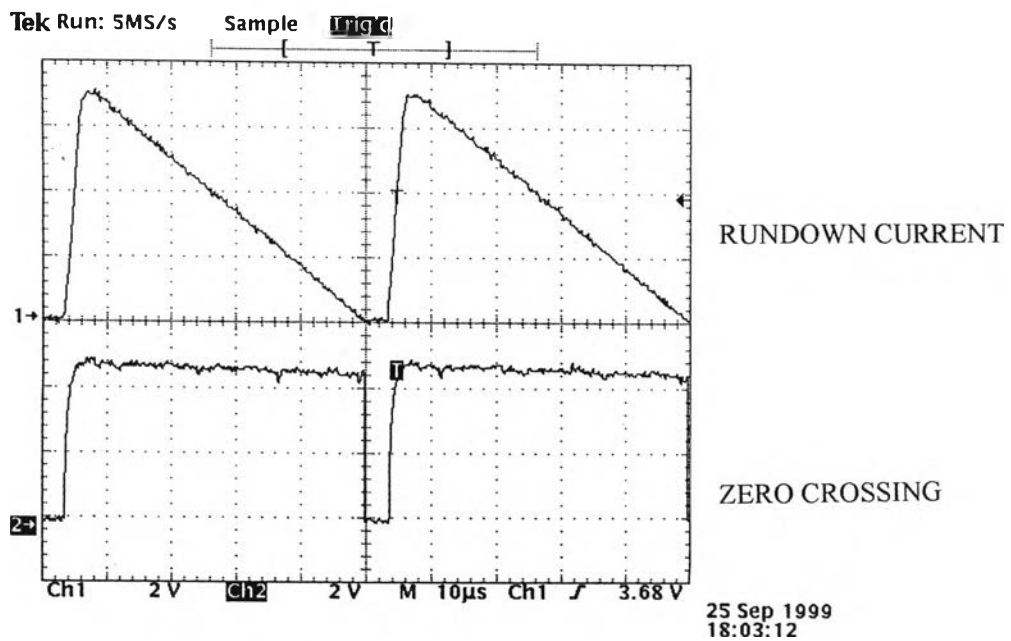


รูปที่ 4.1 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบการทำงานของวงจร

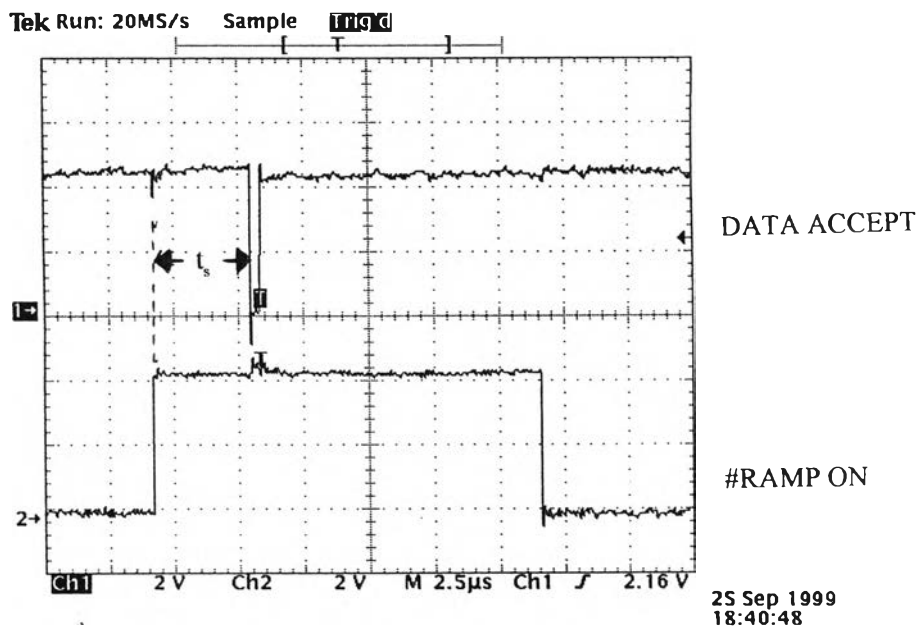
1. จัดอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 4.1
2. จ่ายไฟฟ้าให้เครื่องมือและอุปกรณ์ทำงาน 10 นาที
3. ปรับเครื่องกำเนิดสัญญาณให้ได้สัญญาณพัลส์ 250 mV ความถี่ 80 kcps
4. ปรับอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ให้ shaping time = 2 μ s และปรับอัตราขยายสัญญาณให้ได้สัญญาณทางออก 9 V
5. ใช้เครื่องอ่านรูปสัญญาณจับรูปสัญญาณขณะที่ ADC ทำงานเพียงชุดเดียวที่จุดทดสอบต่างๆ ได้สัญญาณดังรูปที่ 4.2 4.3 และ 4.4 จากรูปสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 4.4 conversion time ที่ 9 V = 40.28 μ s (ที่ channel 4028) ช่วงเวลา storage time = 4 μ s



รูปที่ 4.2 สัญญาณ peak detect



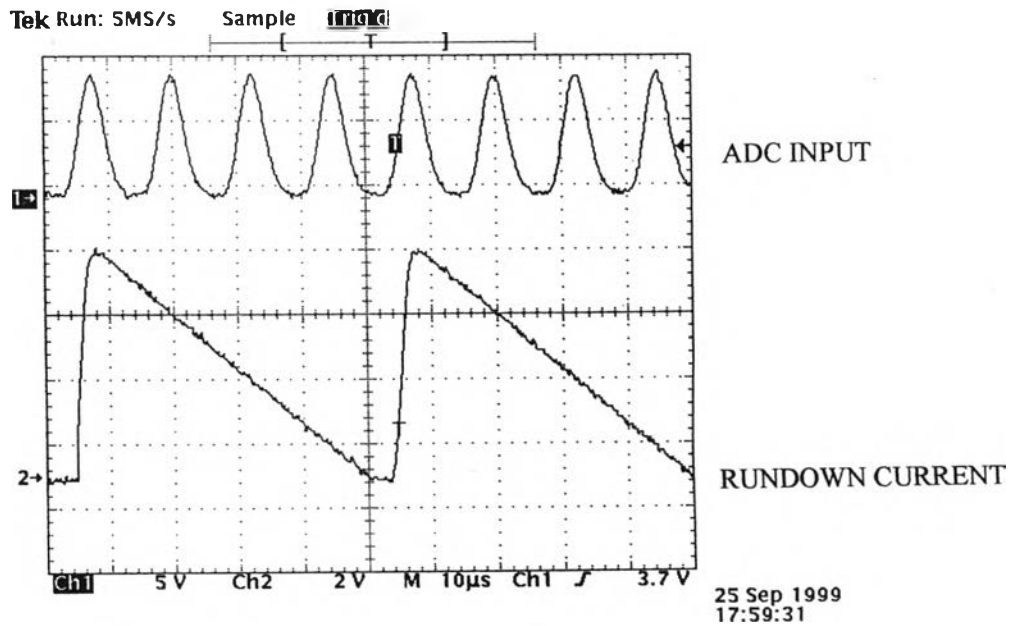
รูปที่ 4.3 สัญญาณ zero crossing



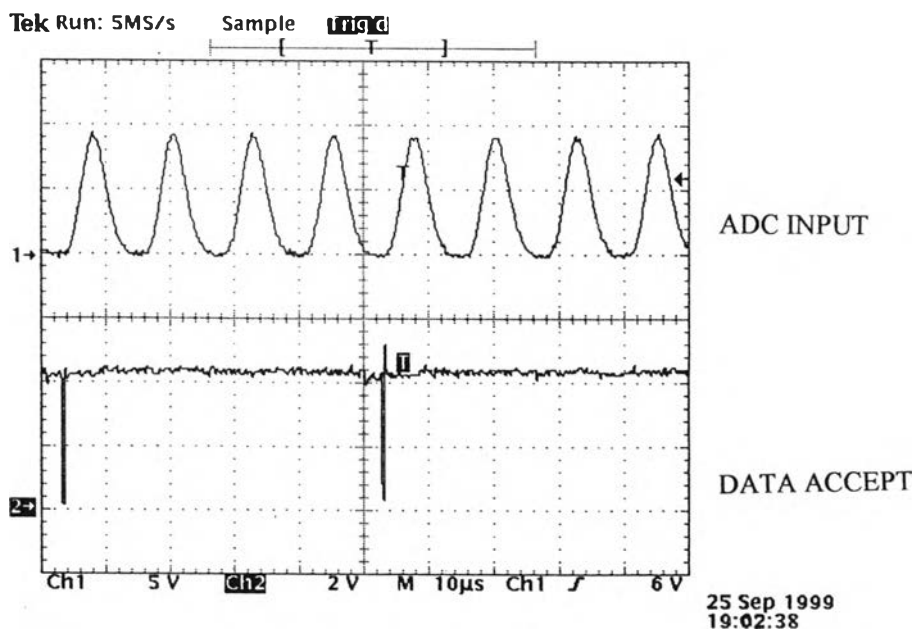
รูปที่ 4.4 สัญญาณ conversion time และช่วง storage time

6. ปรับปรุงรูปแบบสัญญาณที่พัฒนาขึ้นให้วงจร ADC ทำงานพร้อมกันทั้ง 4 ชุด ใช้เครื่องอ่านรูปสัญญาณจับรูปสัญญาณที่จุดทดสอบการส่งสัญญาณ (data storage) เทียบกับสัญญาณพัลส์จากอุปกรณ์ขยายสัญญาณ และเปรียบเทียบผลการทำงานกับการใช้ ADC เพียงตัวเดียว ให้ผลรูปสัญญาณดังรูปที่

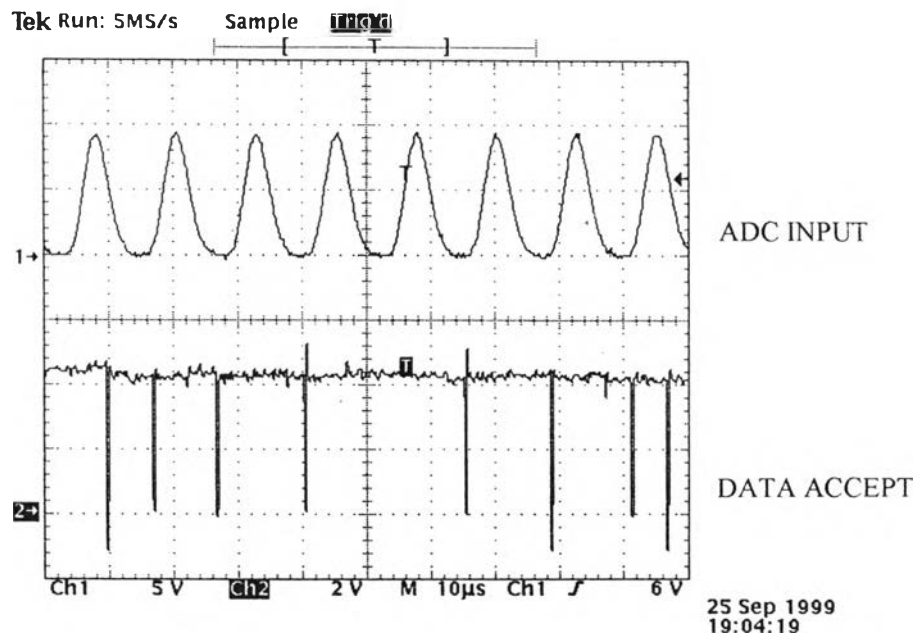
4.5 4.6 และ 4.7 จากผลของรูปสัญญาณพบว่าในรูปที่ 4.6 การใช้ ADC 1 ชุดทำงานจะสูญเสียสัญญาณพัลส์ 3 พัลส์ ส่วนในรูปที่ 4.7 ใช้ ADC 4 ชุดทำงานพร้อมกันจะไม่มี การสูญเสียสัญญาณพัลส์



รูปที่ 4.5 สัญญาณ ramp discharge เมื่อใช้ ADC 1 ชุดทำงาน



รูปที่ 4.6 สัญญาณ data storage เมื่อใช้ ADC 1 ชุดทำงาน



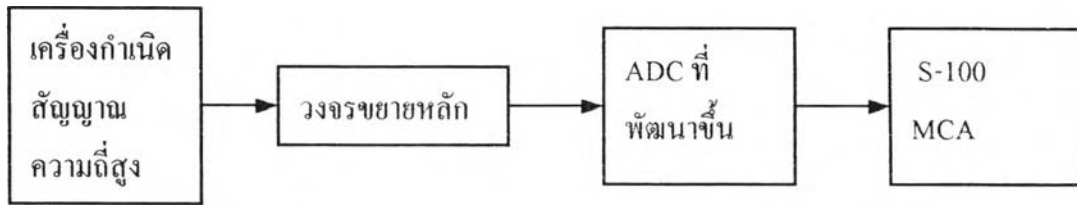
รูปที่ 4.7 สัญญาณ data storage เมื่อใช้ ADC 4 จุดทำงาน

4.2 ทดสอบความเสถียรของการทำงานของ ADC (stability)

4.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

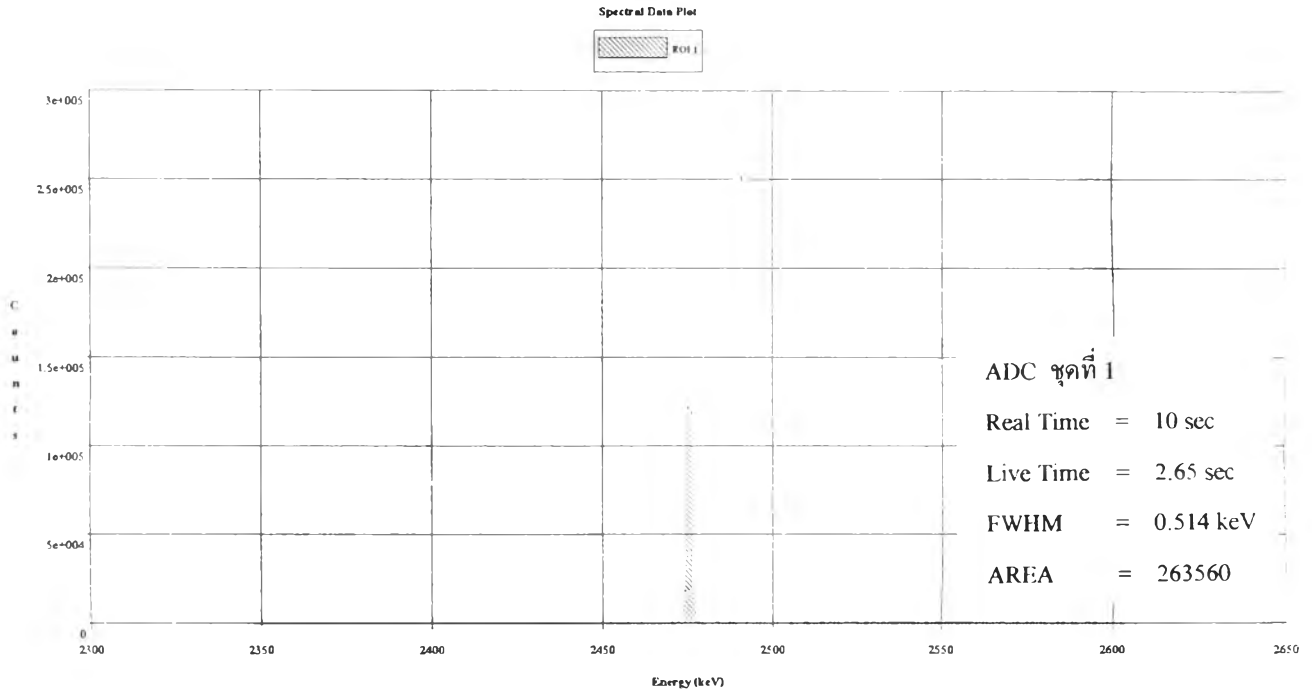
1. เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (Hewlett Packard model 1407)
2. NIM BIN Power Supply (CANBERRA model 1000)
3. เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (CANBERRA model S-100)
4. อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ (CANBERRA model 2021)
5. วงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์วิลคินสันแบบอาร์เรย์ที่พัฒนาขึ้น
6. เครื่องคอมพิวเตอร์ CPU 486 ขึ้นไป 1 ชุด

4.2.2 ทดสอบความเสถียรของการทำงานของ ADC แต่ละชุด

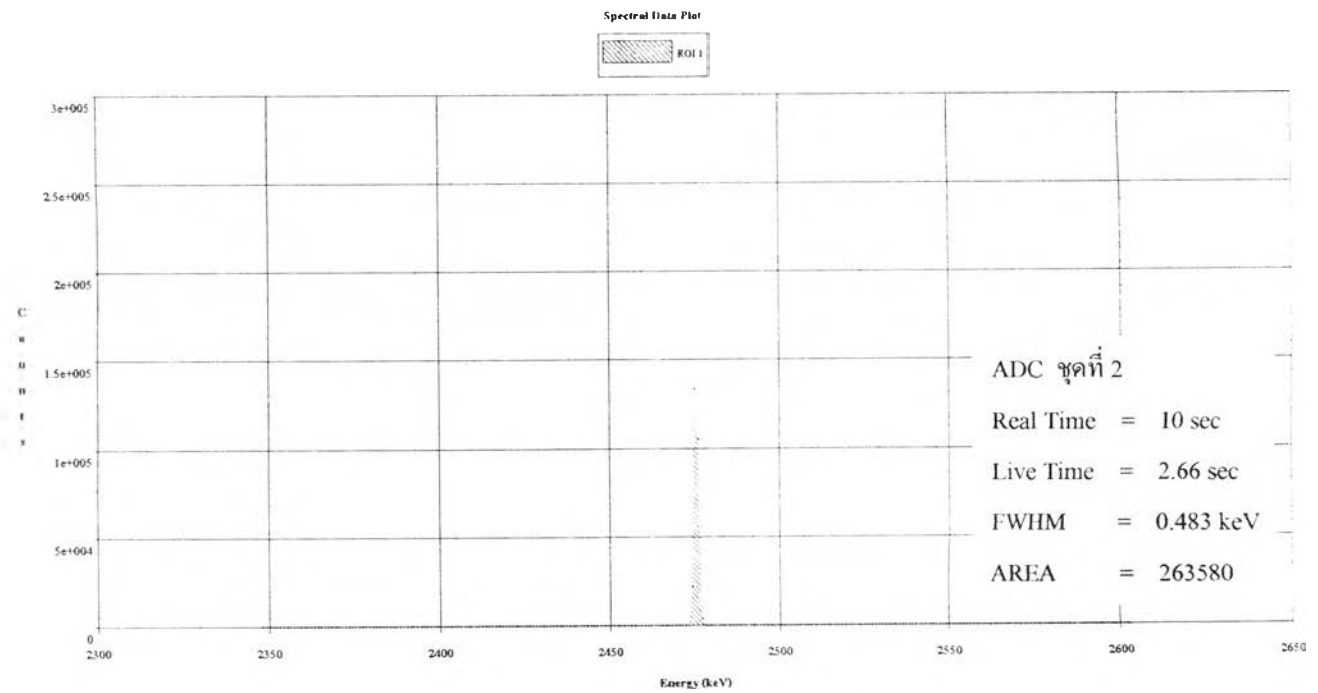


รูปที่ 4.8 แผนภาพการจัดอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบความความเสถียรของ ADC

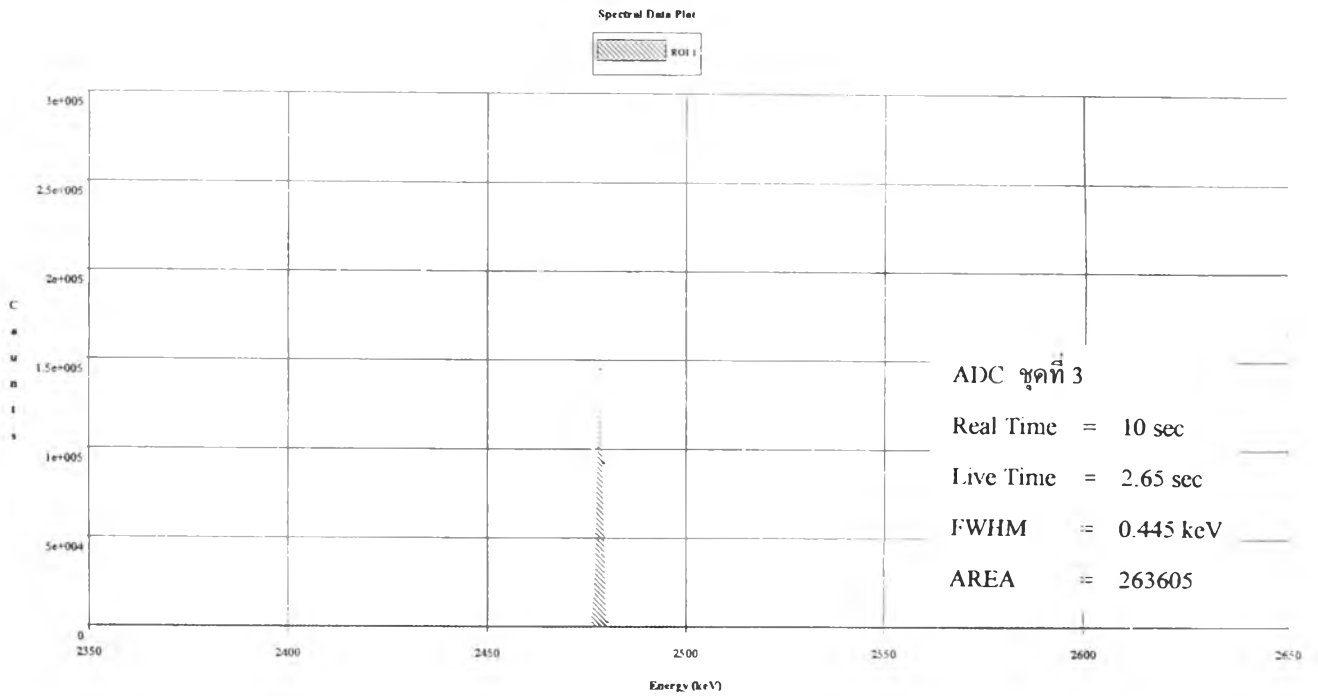
1. จัดอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 4.8
2. จ่ายไฟฟ้าให้เครื่องมือและอุปกรณ์ทำงาน 10 นาที
3. ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูงปรับให้ได้สัญญาณพัลส์ 500 mV ความถี่ 100 kcps
4. ปรับวงจรถ่ายหลัก ให้ค่า shaping time = 2 μ s ปรับค่าการขยายสัญญาณให้ได้สัญญาณเอาต์พุต 5 V
5. ปรับให้ ADC ชุดที่1 ทำงานชุดเดียวด้วยคิพสวิตช์ SW1 บน ADC board โดยให้คิพสวิตช์ SW1/1 = OFF, SW1/2 = ON, SW1/3 = ON, SW1/4 = ON ใช้เวลาวิเคราะห์ เป็น REAL TIME 10 วินาที บันทึกผลสำหรับ ADC ชุดที่1 ผลการทดสอบเป็นตามรูปที่ 4.9
6. ปรับให้ ADC ชุดที่2 ทำงานชุดเดียวด้วยคิพสวิตช์ SW1 บน ADC board โดยให้คิพสวิตช์ SW1/1 = ON, SW1/2 = OFF, SW1/3 = ON, SW1/4 = ON ใช้เวลาวิเคราะห์ เป็น REAL TIME 10 วินาที บันทึกผลสำหรับ ADC ชุดที่ 2 ผลการทดสอบเป็นตามรูปที่ 4.10
7. ปรับให้ ADC ชุดที่3 ทำงานชุดเดียวด้วยคิพสวิตช์ SW1 บน ADC board โดยให้คิพสวิตช์ SW1/1 = ON, SW1/2 = ON, SW1/3 = OFF, SW1/4 = ON ใช้เวลาวิเคราะห์ เป็น REAL TIME 10 วินาที บันทึกผลสำหรับ ADC ชุดที่ 3 ผลการทดสอบเป็นตามรูปที่ 4.11
8. ปรับให้ ADC ชุดที่4 ทำงานชุดเดียวด้วยคิพสวิตช์ SW1 บน ADC board โดยให้คิพสวิตช์ SW1/1 = ON, SW1/2 = ON, SW1/3 = ON, SW1/4 = OFF ใช้เวลาวิเคราะห์ เป็น REAL TIME 10 วินาที บันทึกผลสำหรับ ADC ชุดที่4 ผลการทดสอบเป็นตามรูปที่ 4.12



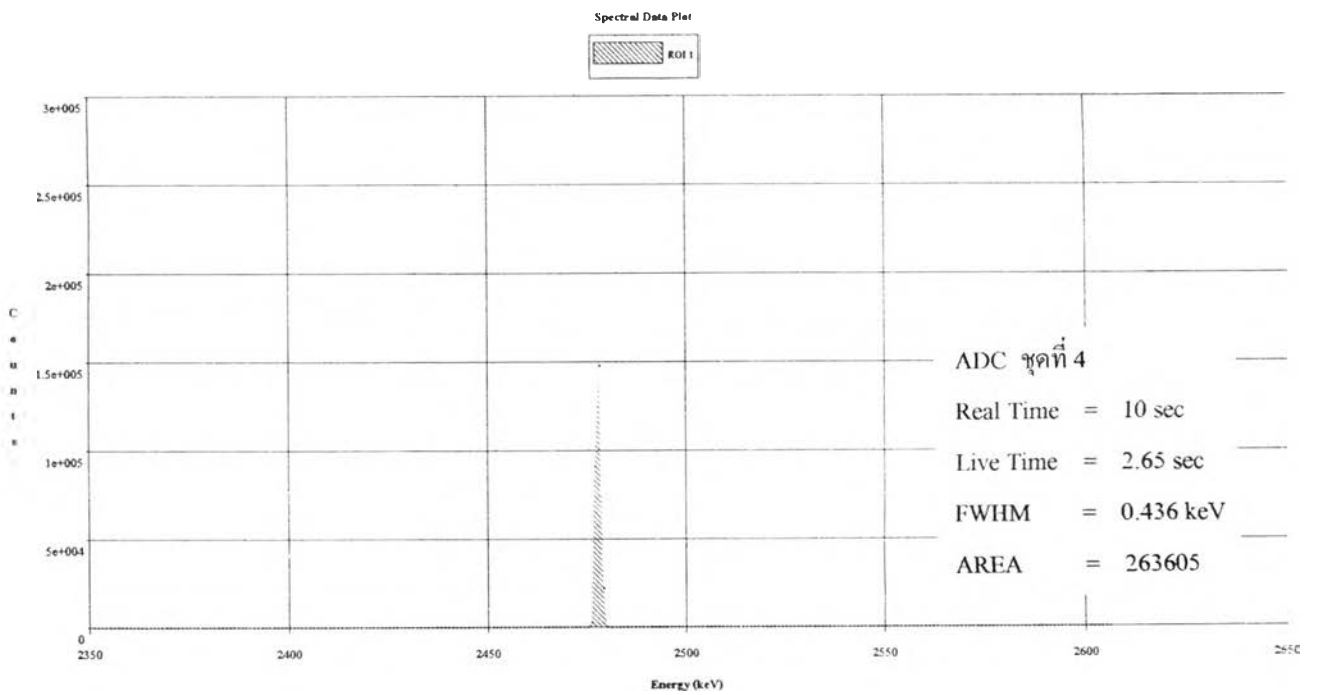
รูปที่ 4.9 สเปกตรัมการทดสอบ ADC ชุดที่ 1



รูปที่ 4.10 สเปกตรัมการทดสอบ ADC ชุดที่ 2



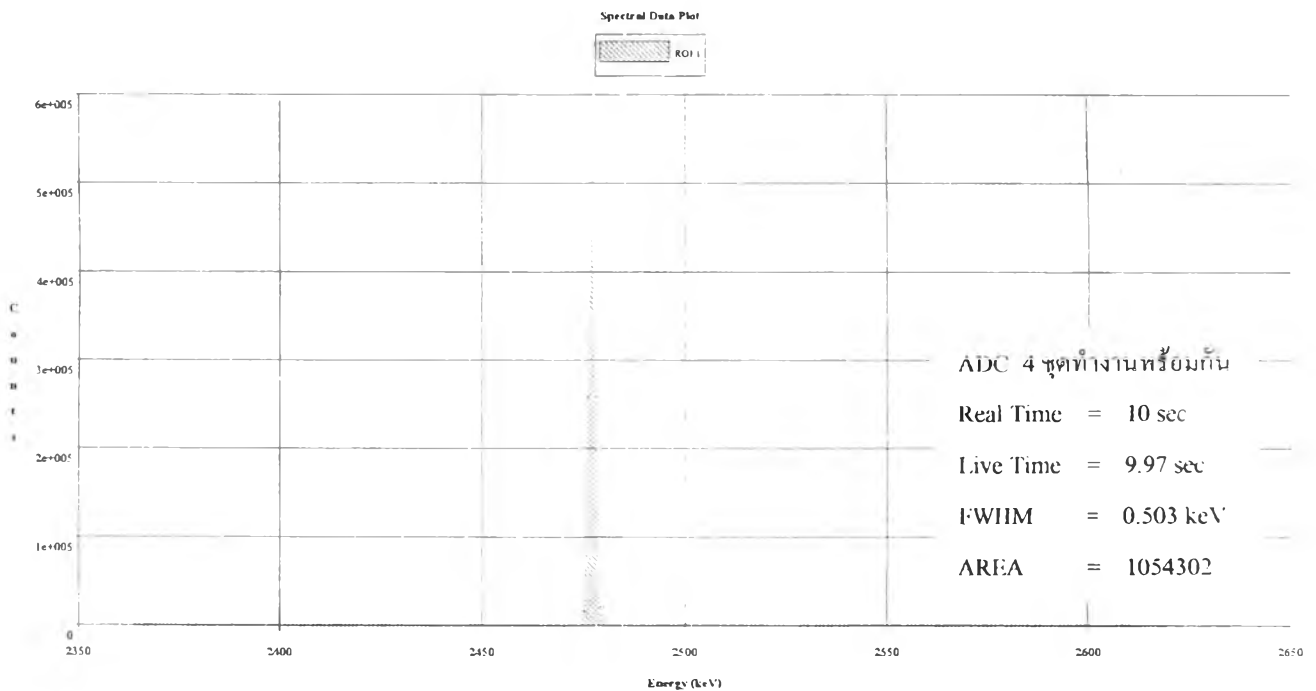
รูปที่ 4.11 สเปกตรัมการทดสอบ ADC ชุดที่ 3



รูปที่ 4.12 สเปกตรัมการทดสอบ ADC ชุดที่ 4

4.2.3 ทดสอบความเสถียรของการทำงาน ADC 4 ชุดร่วมกัน

1. จัดอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 4.8
2. จ่ายไฟฟ้าให้เครื่องมือและอุปกรณ์ทำงาน 10 นาที
3. ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง ปรับให้ได้สัญญาณพัลส์ 500 mV ความถี่ 100 kcps
4. ปรับวงจรมอนิเตอร์ ให้ค่า shaping time เป็น 2 μ s ปรับค่าการขยายสัญญาณ ให้ได้สัญญาณเอาต์พุต 5 V
5. ปรับให้ ADC ชุดที่ 1 ทำงานชุดเดียวด้วยคิพสวิทช์ SW1 บน ADC board โดยให้คิพสวิทช์ SW1/1 , SW1/2 , SW1/3 และ SW1/4 เป็น OFF ใช้เวลาวิเคราะห์ เป็น REAL TIME 10 วินาที บันทึกผลสำหรับ ADC 4ชุดทำงาน ผลการทดสอบเป็นตามรูปที่ 4.13 จากผลการทดสอบจะเห็นว่าตำแหน่งช่องวิเคราะห์เบี่ยงเบนไม่เกิน 2.06 ช่องวิเคราะห์ (FWHM) เมื่อให้ ADC 4 ชุดทำงานร่วมกัน



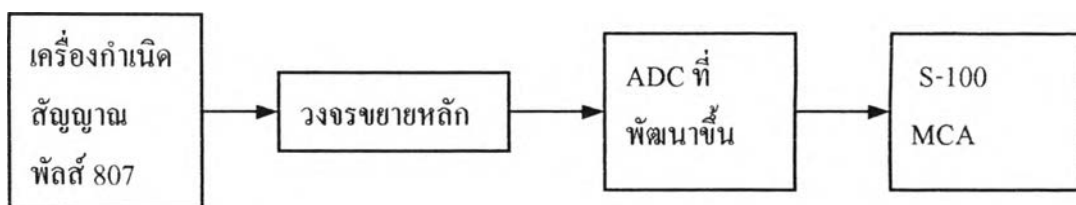
รูปที่ 4.13 สเปกตรัมการทดสอบ ADC 4 ชุดทำงานร่วมกัน

4.3 การทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinearity)

4.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ (CANBERRA Model 807)
2. เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (Hewlett Packard model 1407)
3. NIM BIN Power Supply (CANBERRA model 1000)
4. เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (CANBERRA model S-100)
5. อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ (CANBERRA model 2021)
6. วงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์วิลคินสันแบบอาร์เรย์ที่พัฒนาขึ้น
7. เครื่องคอมพิวเตอร์ CPU 486 ขึ้นไป 1 ชุด

4.3.2 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นในการแปลงสัญญาณของ ADC แต่ละชุด



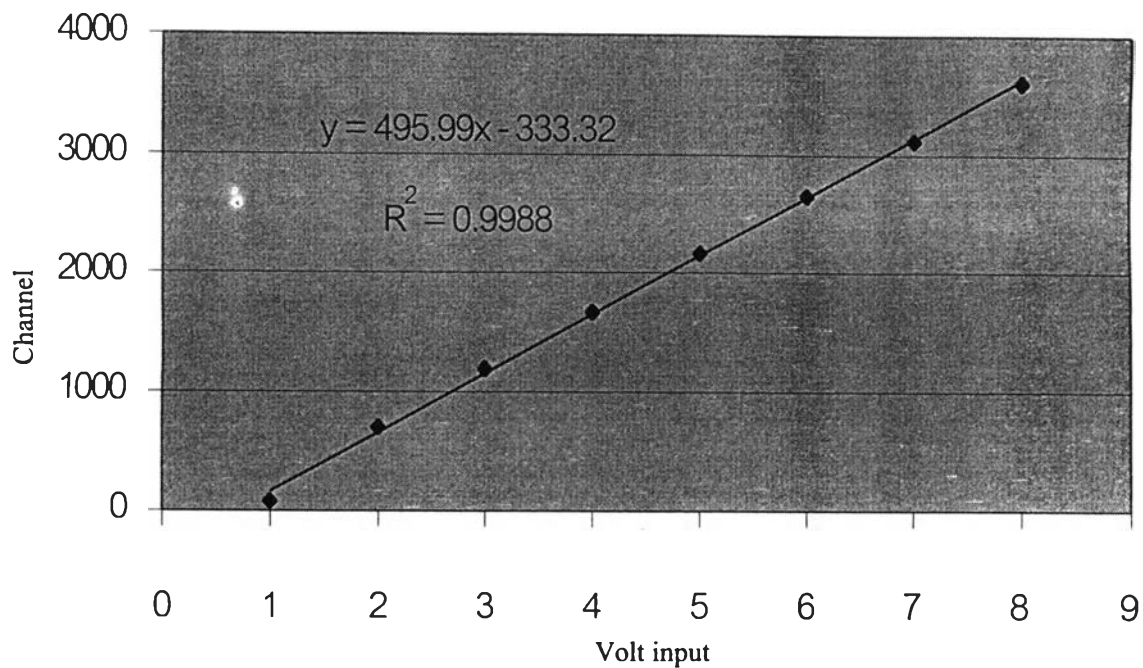
รูปที่ 4.14 แผนภาพการจัดอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้นในการแปลงสัญญาณของ ADC

1. จัดอุปกรณ์การทดสอบดังรูปที่ 4.14
2. จ่ายไฟฟ้าให้เครื่องมือและอุปกรณ์ทำงาน 10 นาที
3. ปรับให้ ADC ชุดที่1 ทำงานชุดเดียวด้วยคิพสวิตช์ SW1 บน ADC board โดยให้คิพสวิตช์ SW1/1 = OFF, SW1/2 = ON, SW1/3 = ON, SW1/4 = ON
4. ปรับค่าความสูงของสัญญาณพัลส์ ครั้งละ 1 V จาก 1 ,2.....8 Vโดยใช้เวลาการวิเคราะห์ช่วงละ 10 วินาที
5. บันทึกผลการทดลองสำหรับ ADC ชุดที่1 ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1 และกราฟแสดงความสัมพันธ์รูปที่ 4.15
6. ปรับให้ ADC ชุดที่2 ทำงานชุดเดียวด้วยคิพสวิตช์ SW1 บน ADC board โดยให้คิพสวิตช์ SW1/1 = ON, SW1/2 = OFF, SW1/3 = ON, SW1/4 = ON

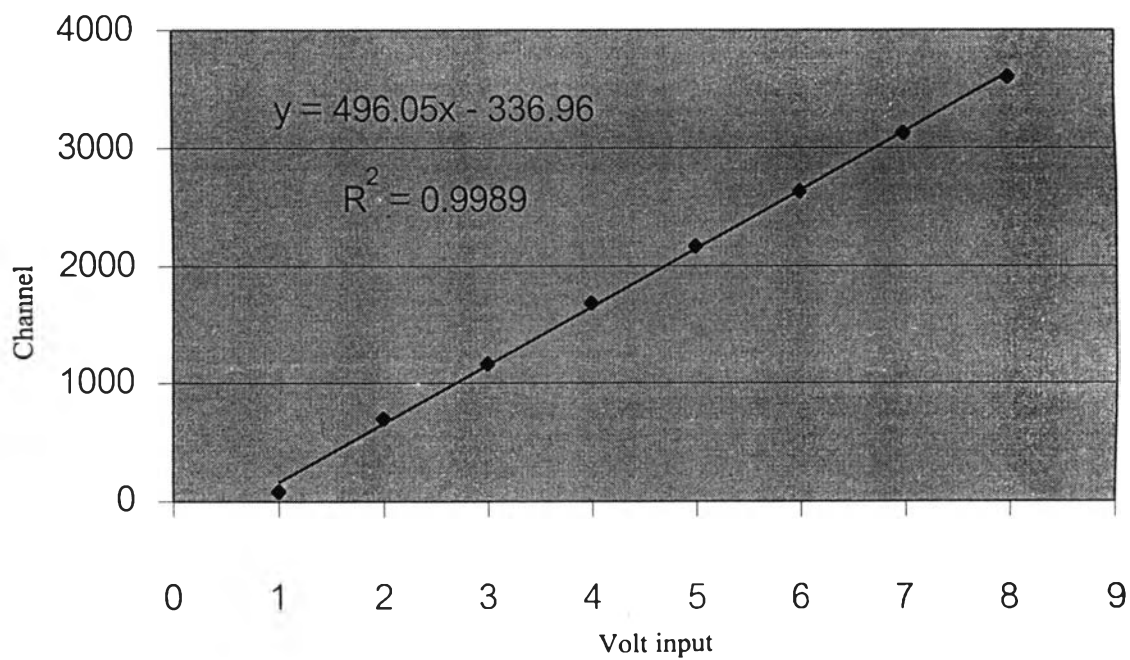
7. ทำซ้ำข้อ 4 บันทึกผลการทดลองสำหรับ ADC ชุดที่ 2 ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1 และกราฟแสดงความสัมพันธ์รูปที่ 4.16
8. ปรับให้ ADC ชุดที่ 3 ทำงานชุดเดียวด้วยคิพสวิทช์ SW1 บน ADC board โดยให้คิพสวิทช์ SW1/1 = ON, SW1/2 = ON, SW1/3 = OFF, SW1/4 = ON
9. ทำซ้ำข้อ 4 บันทึกผลการทดลองสำหรับ ADC ชุดที่ 3 ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1 และกราฟแสดงความสัมพันธ์รูปที่ 4.17
10. ปรับให้ ADC ชุดที่ 4 ทำงานชุดเดียวด้วยคิพสวิทช์ SW1 บน ADC board โดยให้คิพสวิทช์ SW1/1 = ON, SW1/2 = ON, SW1/3 = ON, SW1/4 = OFF
11. ทำซ้ำข้อ 4 บันทึกผลการทดลองสำหรับ ADC ชุดที่ 4 ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1 และกราฟแสดงความสัมพันธ์รูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในการแปลงสัญญาณของ ADC แต่ละชุด

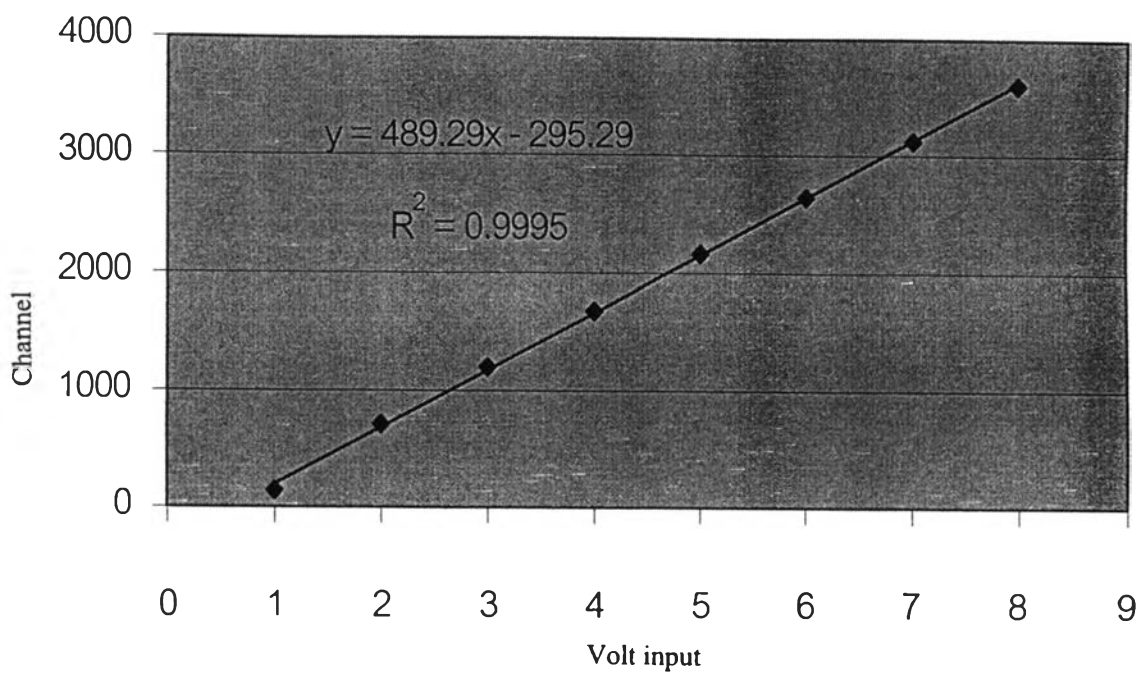
ความสูงของพัลส์ (volt)	ADC ชุดที่ 1 (channel number)	ADCชุดที่ 2 (channel number)	ADC ชุดที่ 3 (channel number)	ADC ชุดที่ 4 (channel number)
1	82	140	79	137
2	699	708	704	694
3	1166	1201	1192	1174
4	1683	1677	1667	1678
5	2168	2161	2166	2174
6	2635	2643	2654	2653
7	3129	3122	3119	3150
8	3600	3600	3608	3628



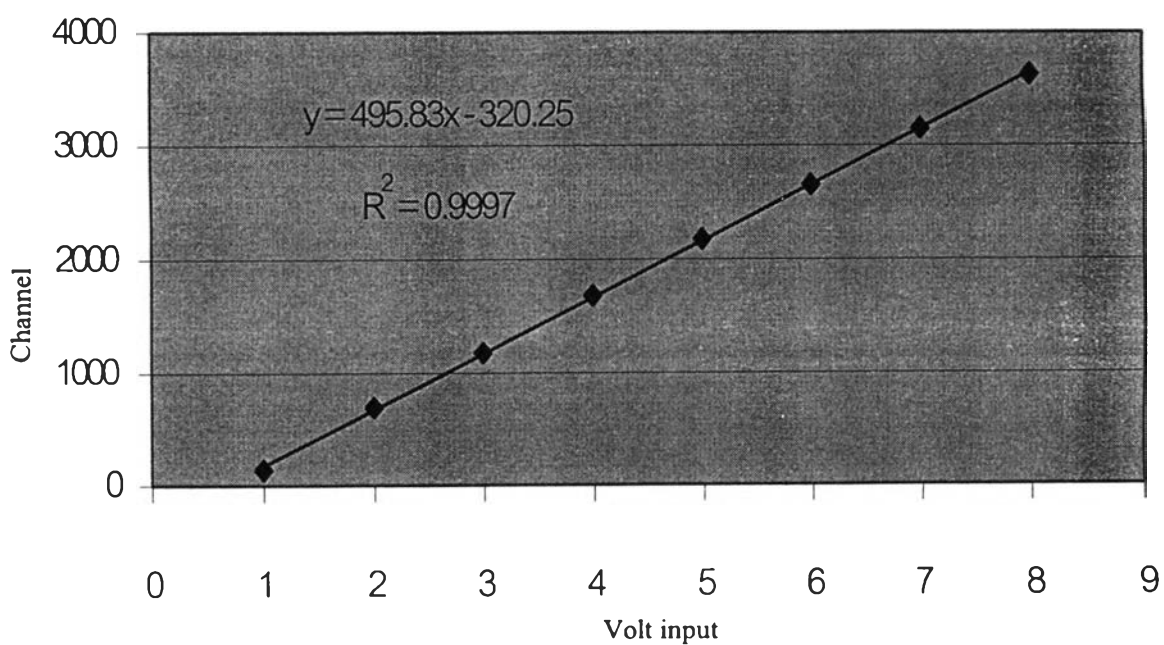
รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับช่องวิเคราะห์ ADC ชุดที่ 1



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับช่องวิเคราะห์ ADC ชุดที่ 2

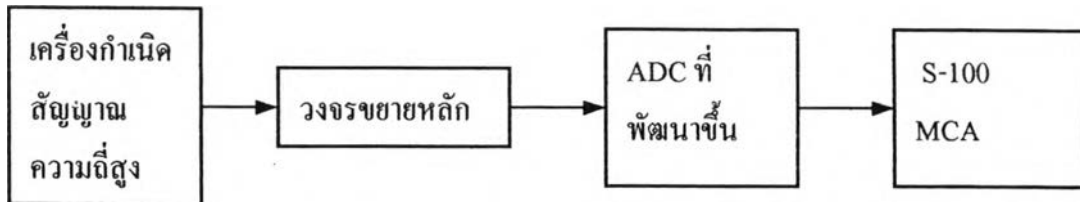


รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับช่องวิเคราะห์ ADC ชุดที่ 3



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับช่องวิเคราะห์ ADC ชุดที่ 4

4.3.3 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นในการแปลงสัญญาณของ ADC 4 ชุดทำงานร่วมกัน

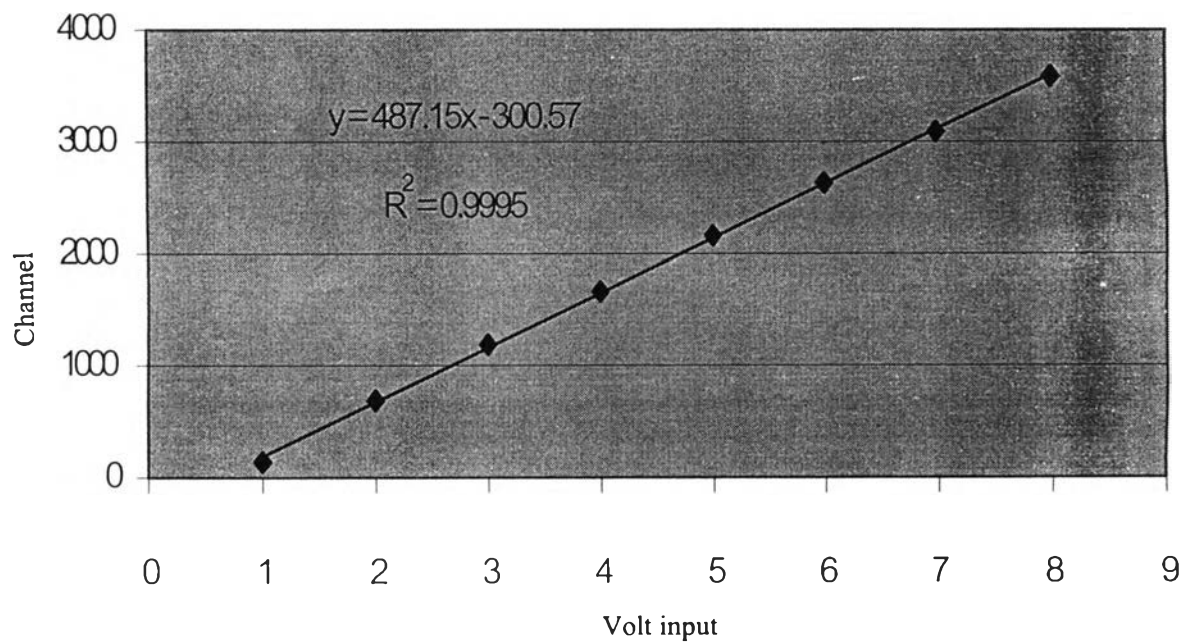


รูปที่ 4.19 แผนภาพการจัตุอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้นในการแปลงสัญญาณของ ADC 4 ชุด ทำงานร่วมกัน

1. จัตุอุปกรณ์การทดสอบดังรูปที่ 4.19
2. จ่ายไฟฟ้าให้เครื่องมือและอุปกรณ์ทำงาน 10 นาที
3. ปรับให้ ADC 4 ชุดทำงานร่วมกันด้วยคิพสวิตช์ SW1 บน ADC board โดยให้คิพสวิตช์ SW1/1 , SW1/2 , SW1/3 และ SW1/4 = OFF
4. ปรับความถี่ของเครื่องกำเนิดความถี่สูงให้ ADC 4 ชุดทำงานพร้อมกันโดยสังเกตจาก LED ที่ ADC จะกระพริบทั้ง 4 ดวง ที่สัญญาณพัลส์เอ๊าท์พุทของอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์เป็น 9 V
5. ปรับค่าความสูงของสัญญาณพัลส์ ครั้งละ 1 V จาก 1 ,2.....8 V โดยใช้เวลาการวิเคราะห์ช่วงละ 10 วินาที บันทึกผลการทดลองสำหรับ ADC 4 ชุดทำงานร่วมกัน ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.2 และกราฟแสดงความสัมพันธ์รูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในการแปลงสัญญาณของ ADC 4 ชุดทำงานร่วมกัน

ความสูงของพัลส์ (volt)	ADC 4 ชุดทำงาน (channel number)
1	137
2	689
3	1189
4	1663
5	2157
6	2628
7	3088
8	3582



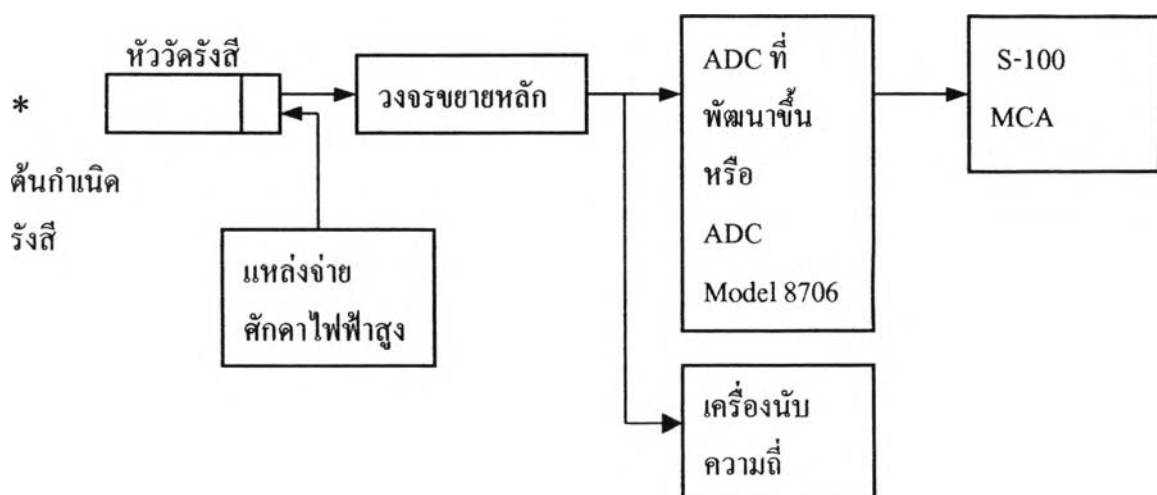
รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับช่องวิเคราะห์ ADC 4ชุดทำงาน

4.4 การทดสอบอัตราในการวิเคราะห์สัญญาณ (throughput count rate)

4.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (Hewlett Packard model 1407)
2. NIM BIN Power Supply (CANBERRA model 1000)
3. เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (CANBERRA model S-100)
4. อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ (CANBERRA model 2021)
5. วงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์วัดคินสันแบบอาร์เรย์ที่พัฒนาขึ้น
6. วงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์วัดคินสัน(CANBERRA model 8706 450 MHz)
7. เครื่องนับความถี่ (Hewlett Packard model 5315A)
8. หัววัดรังสี NaI(Tl) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว พร้อมฐาน PMT และอุปกรณ์ขยายสัญญาณ
9. High voltage power supply (EG&G ORTEC model 478)
10. เครื่องคอมพิวเตอร์ CPU 486 ขึ้นไป 1 ชุด
11. ต้นกำเนิดรังสี ซีเซียม-137 ความแรงรังสี 40 μCi

4.4.2 ทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณเปรียบเทียบกันระหว่าง ADC ที่พัฒนาขึ้นกับ ADC model 8706



รูปที่ 4.21 แผนภาพการจัดอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณด้วยต้นกำเนิดรังสี

1. จัดอุปกรณ์การทดสอบดังรูปที่ 4.21 โดยใช้ ADC วิลคินสันอาร์เรย์ที่พัฒนาขึ้น
2. จ่ายไฟฟ้าให้เครื่องมือและอุปกรณ์ทำงาน 10 นาที
3. ปรับให้ ADC ทำงานชุดเดียวด้วยดิพสวิทช์ SW1 บน ADC board
4. ปรับ shaping time ที่ 0.5 μ s ปรับความละเอียดการวิเคราะห์ 4096 ช่อง ปรับอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ให้พีคของพลังงานตรงกับช่องวิเคราะห์ 2048
5. แปรเปลี่ยนระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสี กับหัววัดรังสี โดยอ่านค่าอัตราการนับรังสีจากเครื่องนับความถี่ ในการแปรเปลี่ยนครั้งละ 10 kcps จาก 10k, 20k 160k โดยใช้เวลาวิเคราะห์สเปกตรัมครั้งละ 10 วินาที
6. วิเคราะห์สเปกตรัมของ ซีเซียม-137 ที่อัตราการนับตามข้อ 5. โดยจัดให้ ADC วิลคินสันอาร์เรย์ครั้งละ 1, 2, 3 และ 4 ชุด โดยการเลือกสวิทช์บนบอร์ด
7. บันทึกจำนวนนับรังสีได้พื้นที่สเปกตรัมทั้งหมด (total area) ของการวิเคราะห์จากการทำงานของ ADC ในข้อที่ 6 ได้ผลตอบสนองอัตราการนับรังสีตามตารางที่ 4.3 คอลัมน์ที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ
8. เปลี่ยน ADC ของเครื่องวิเคราะห์ MCA เป็น ADC model 8706 แล้วดำเนินการขั้นตอนซ้ำข้อ 4 และ 5
9. วิเคราะห์สเปกตรัมของ ซีเซียม-137 ที่อัตราการนับตามข้อ 5. พร้อมบันทึกจำนวนนับรังสีได้พื้นที่สเปกตรัมทั้งหมด ได้ผลตอบสนองอัตราการนับรังสีตามตารางที่ 4.3 คอลัมน์ที่ 6
10. เขียนเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับรังสีที่แปรเปลี่ยนกับ ผลตอบสนองที่วิเคราะห์ได้จาก ADC ในเงื่อนไขต่างๆดังในรูปที่ 4.22
11. หาค่าเฉลี่ยของ dead time (τ) เมื่อเครื่องวิเคราะห์ MCA ทำงานด้วยจำนวนชุดของ ADC ต่างกัน และ ADC รุ่น 8706 จากตารางที่ 4.3 ดังสมการ ⁽¹⁾

$$m = \frac{n}{1 + n\tau} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

หรือ

$$\tau = \frac{n - m}{nm} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

เมื่อ

m = อัตราวิเคราะห์พัลส์ที่แปลงผันได้

n = อัตราพัลส์ที่ทางเข้า

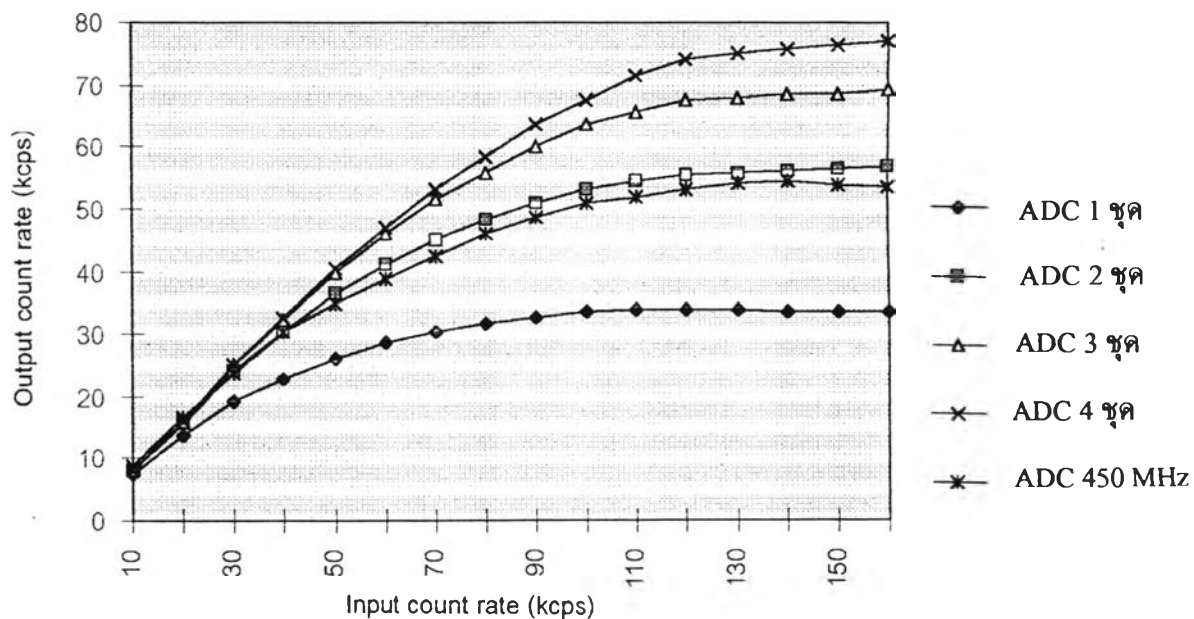
τ = dead time ที่เกิดขึ้น

จะได้ค่าเฉลี่ย dead time ดังตารางที่ 4.4

12. คำนวณอัตราวิเคราะห์สัญญาณจากการคำนวณ ตามสมการที่ 4.1 โดยใช้ค่าเฉลี่ยของ dead time ได้ผลตามตารางที่ 4.4 และเส้นกราฟเปรียบเทียบอัตราวิเคราะห์ที่พล็อตจากการคำนวณและการวิเคราะห์ของระบบ ระหว่าง ADC อาร์เรย์ 4 ชุด (100 MHz) และ ADC ปกติ (450 MHz) ในรูปที่ 4.23
13. เขียนเส้นกราฟความสัมพันธ์ของ dead time กับจำนวนชุดการทำงาน ของ ADC อาร์เรย์ ในรูปที่ 4.24 ซึ่งจะ ได้สมการของ $\tau = 19.964 x^{-0.8252} \mu\text{s}$
14. เขียนเส้นกราฟความสัมพันธ์ของอัตราวิเคราะห์ที่พล็อตกับจำนวนชุดการทำงาน ของ ADC อาร์เรย์ที่ความถี่ทางเข้า 10, 50, 100, 150 kcps ได้ผลดังเส้นกราฟที่ 4.25

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณด้วยต้นกำเนิดรังสี ซีเซียม-137

ความถี่ input (kcps)	ADC 1 ชุด ทำงาน (kcps)	ADC 2 ชุด ทำงาน (kcps)	ADC 3 ชุด ทำงาน (kcps)	ADC 4 ชุด ทำงาน (kcps)	ADC 450 MHz (kcps)
10	7.5	8.1	8.1	8.1	8.9
20	13.6	15.8	16	15.9	16.8
30	19.4	24.3	25.3	25.3	23.9
40	23	30.5	32.3	32.5	30.3
50	26.2	36.6	39.8	40.5	35
60	28.6	41.2	46	47	39
70	30.4	45.2	51.6	53.2	42.6
80	31.7	48.3	56	58.5	45.8
90	32.7	50.8	60.1	63.6	48.5
100	33.7	53.3	63.6	67.5	51
110	33.8	54.5	65.7	71.5	52
120	33.4	55.6	67.5	74.0	53.3
130	33.8	55.8	68	75.1	54.2
140	33.6	56.1	68.5	75.9	54.4
150	33.7	56.6	68.6	76.3	54
160	33.7	56.8	69.1	77	53.4



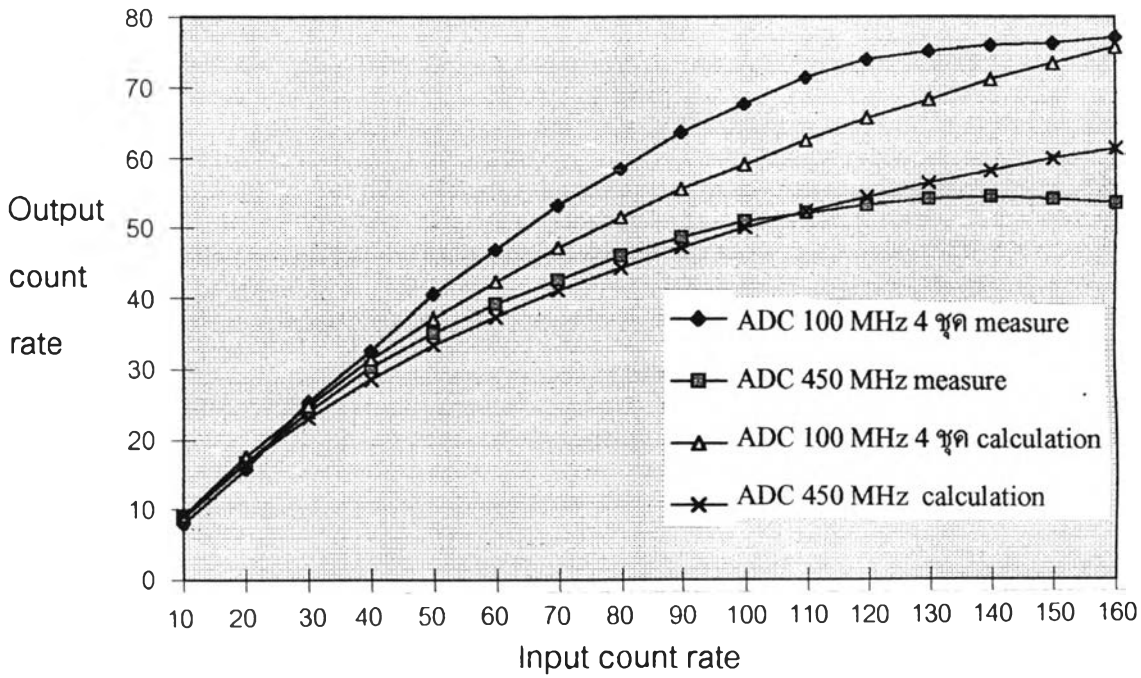
รูปที่ 4.22 เส้นกราฟการตอบสนองอัตรานับรังสี (throughput count rate) ที่ช่องวิเคราะห์ 2048

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณอัตราวิเคราะห์สัญญาณจากตารางที่ 4.3

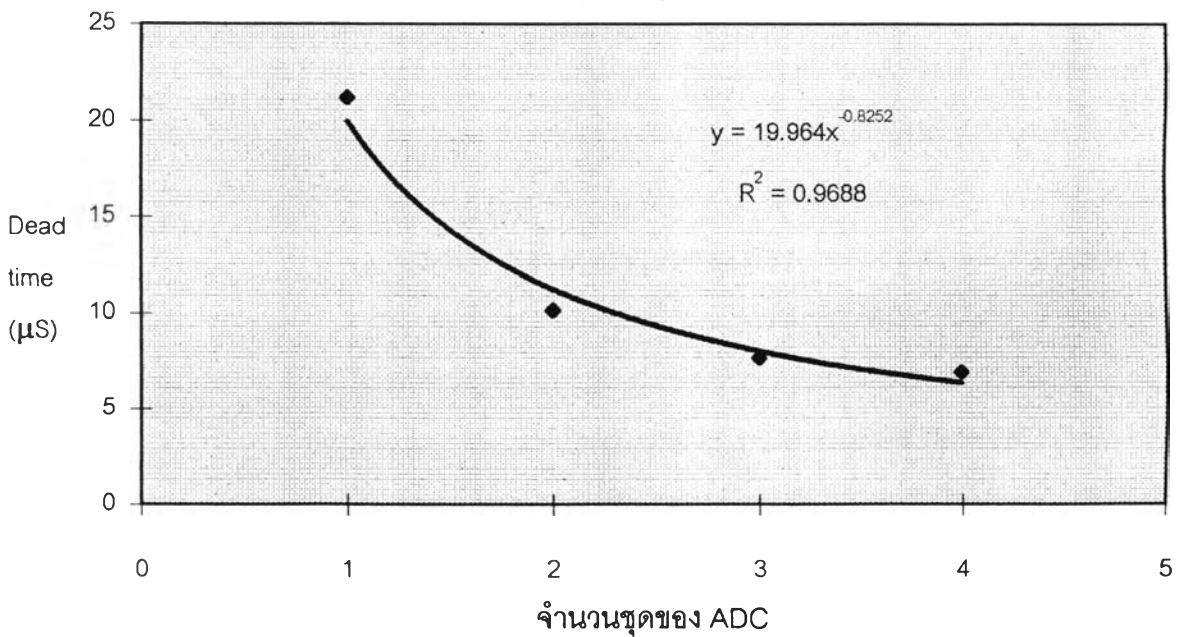
ความถี่ input (kcps)	ADC1 ชุค $\tau = 21.21 \mu\text{s}$ (kcps)	ADC2 ชุค $\tau = 10.18 \mu\text{s}$ (kcps)	ADC3 ชุค $\tau = 7.70 \mu\text{s}$ (kcps)	ADC4 ชุค $\tau = 6.94 \mu\text{s}$ (kcps)	ADC 450 MHz $\tau = 10.04 \mu\text{s}$ (kcps)
10	8.25	9.08	9.28	9.35	9.09
20	14.04	16.63	17.33	17.56	16.66
30	18.33	23.01	24.37	24.83	23.06
40	21.64	28.48	30.58	31.31	28.55
50	24.27	33.20	36.10	37.12	33.30
60	26.40	37.34	41.04	42.36	37.46
70	28.17	40.98	45.48	47.11	41.13
80	29.67	44.21	49.50	51.44	44.39
90	30.94	47.11	53.16	55.40	47.31
100	32.04	49.71	56.49	59.03	49.93
110	33.00	52.06	59.55	62.38	52.31
120	33.85	54.20	62.36	65.47	54.47
130	33.60	56.15	64.96	68.34	56.44
140	35.27	57.94	67.37	71.00	58.24

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

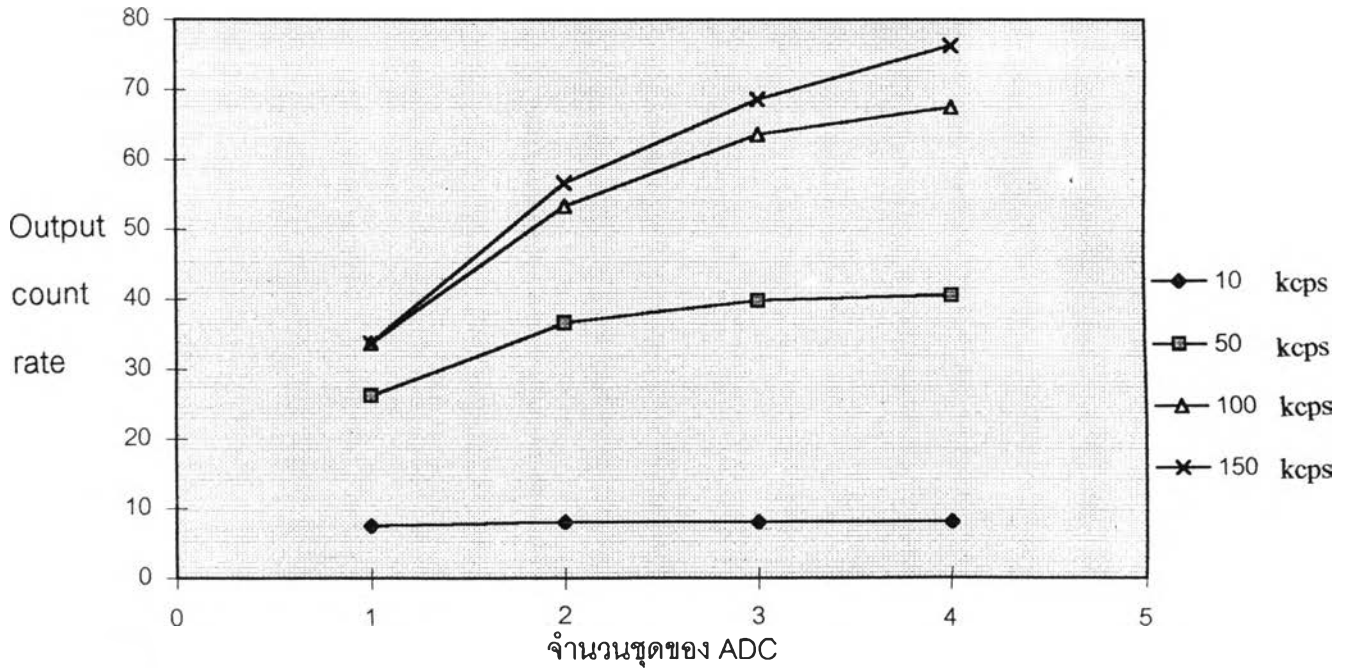
ความถี่ input (kcps)	ADC1 ชูด (kcps)	ADC2 ชูด (kcps)	ADC3 ชูด (kcps)	ADC4 ชูด (kcps)	ADC 450 MHz (kcps)
150	35.87	59.58	69.60	73.49	59.90
160	36.42	61.10	71.68	75.81	61.43



รูปที่ 4.23 เส้นกราฟเปรียบเทียบอัตราวิเคราะห์พัลส์จากการคำนวณและการวิเคราะห์ของระบบระหว่าง ADC (100 MHz) อาร์เรย์ 4 ชูด และ ADC (450 MHz)

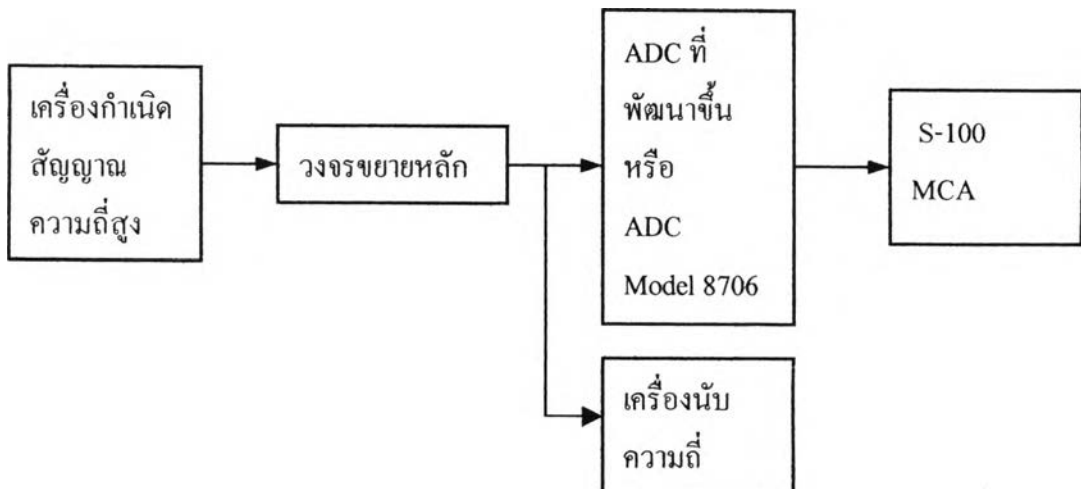


รูปที่ 4.24 เส้นกราฟความสัมพันธ์ของ dead time และจำนวนชูดการทำงานของ ADC อาร์เรย์



รูปที่ 4.25 เส้นกราฟความสัมพันธ์ของอัตรานับพัลส์กับจำนวนชุดการทำงานของ ADC อาร์เรย์ที่ความถี่ทางเข้าแตกต่างกัน

4.4.3 ทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง



รูปที่ 4.26 แผนภาพการจัดอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง

1. จัดอุปกรณ์การทดสอบดังรูปที่ 4.26 โดยใช้ ADC วิลกินสันอาร์เรย์ที่พัฒนาขึ้น

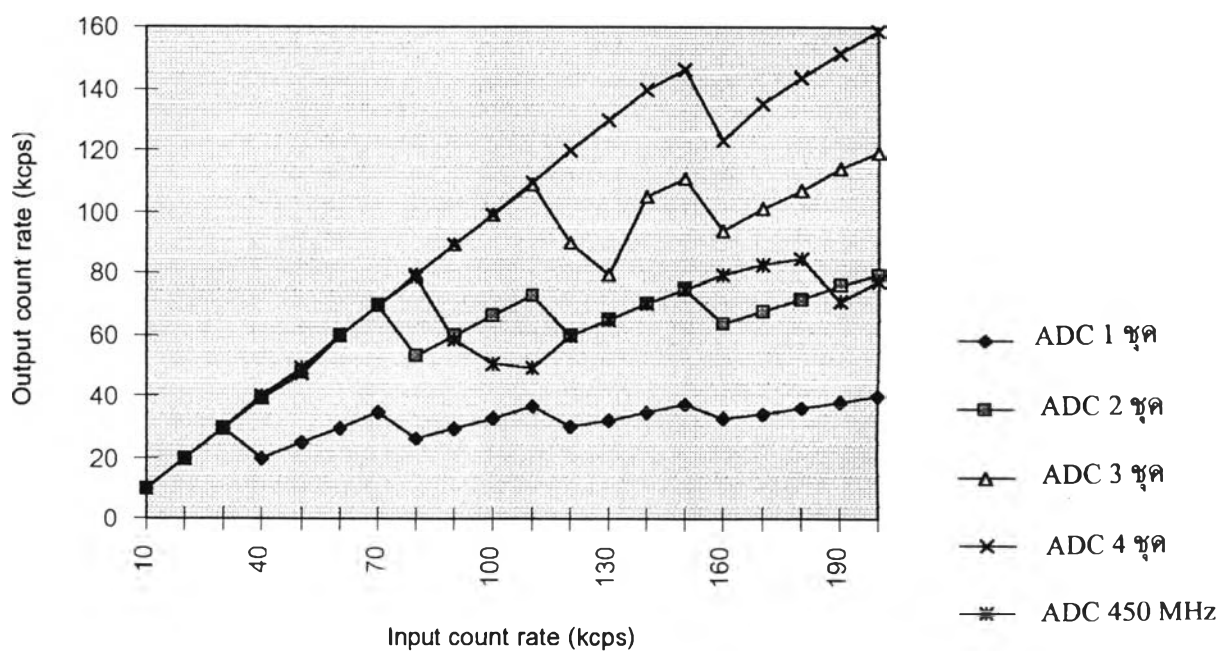
2. จ่ายไฟฟ้าให้เครื่องมือและอุปกรณ์ทำงาน 10 นาที
3. ปรับค่า shaping time ของอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์เป็น 1 μ s ปรับความละเอียดการวิเคราะห์ 4096 ช่องวิเคราะห์แล้วปรับขนาดสัญญาณพัลส์ให้ได้ตำแหน่งพีคตรงกับช่องวิเคราะห์ 2048
4. แปรเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณพัลส์จากเครื่องกำเนิดความถี่ ครั้งละ 10 kcps จาก 10k, 20k 200k โดยใช้เวลาวิเคราะห์ช่วงละ 10 วินาที
5. วิเคราะห์สัญญาณพัลส์ที่อัตรานับตามข้อ 4 โดยจัดให้ ADC วิเคราะห์สัญญาณพัลส์ทำงานครั้งละ 1, 2, 3 และ 4 ชุค ด้วยการเลือกสวิตช์บนบอร์ด
6. บันทึกจำนวนนับพัลส์ได้พีคที่พีคทั้งหมด จากการทำงานของ ADC ในข้อ 4 ได้ผลตอบสนองอัตรานับพัลส์ตามตารางที่ 4.5 คอลัมน์ที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ
7. เปลี่ยน ADC ของเครื่องวิเคราะห์ MCA เป็น ADC model 8706 และดำเนินการขั้นตอนซ้ำตามข้อ 3 และ 4
8. วิเคราะห์สัญญาณพัลส์ที่อัตรานับตามข้อ 4 พร้อมบันทึกจำนวนนับได้พื้นที่ทั้งหมด ได้ผลตอบสนองอัตรานับพัลส์ตามตารางที่ 4.5 คอลัมน์ที่ 6
9. เขียนเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับพัลส์กับผลตอบสนองที่วิเคราะห์ได้จาก ADC ในเงื่อนไขต่างๆ ดังรูปที่ 4.27

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบอัตราวิเคราะห์ด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ความถี่สูง

ความถี่ input (kcps)	ADC1 ชุค ทำงาน (kcps)	ADC2 ชุค ทำงาน (kcps)	ADC3 ชุค ทำงาน (kcps)	ADC4 ชุค ทำงาน (kcps)	ADC Model 8706 (kcps)
10	9.8	9.8	9.8	9.8	9.9
20	19.7	19.7	19.7	19.7	19.8
30	29.5	29.6	29.6	29.6	29.7
40	19.7	39.6	39.6	39.6	39.7
50	24.8	48.1	47.9	47.5	49.5
60	29.7	59.4	59.4	59.4	59.4
70	34.7	69.4	69.4	69.4	69.3
80	26.4	79.2	79.2	79.3	78.7
90	29.7	89.1	89.1	89.1	58.5

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ความถี่ input (kcps)	ADC1 ชด ทำงาน (kcps)	ADC2 ชด ทำงาน (kcps)	ADC3 ชด ทำงาน (kcps)	ADC4 ชด ทำงาน (kcps)	ADC Model 8706 (kcps)
100	33	66	99	99	50.2
110	36.5	72.8	109	109.3	49.5
120	30	60	89.8	120	59.8
130	32	64.8	97.3	130	65
140	35	70.1	105.1	140	70
150	37.4	74.5	111	146	74.9
160	32.8	63.6	93.8	123.3	79.5
170	33.9	67.7	101.3	135.1	82.4
180	35.9	71.7	106.8	143.7	84.3
190	38	75.9	113.9	151.2	70.6
200	39.7	79.5	119.2	159	77.3



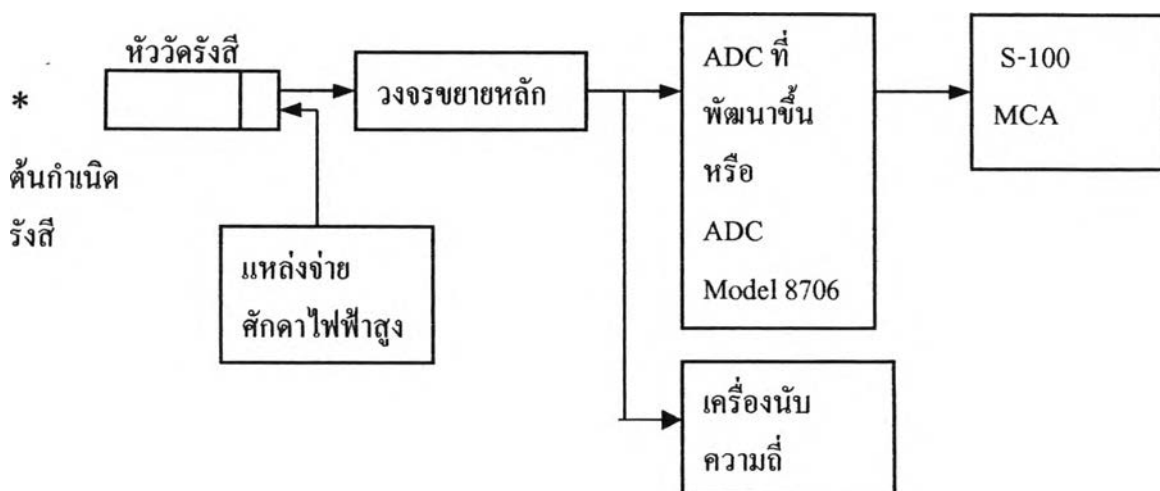
รูปที่ 4.27 เส้นกราฟการตอบสนองอัตรานับพัลส์ (throughput pulse rate) ที่ช่องวิเคราะห์ 2048

4.5 ทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมของต้นกำเนิดครึ่งสีมาตรฐาน

4.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หัววัดรังสี NaI(Tl) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว พร้อมฐาน PMT และอุปกรณ์ขยายสัญญาณ
2. High voltage power supply (EG&G ORTEC model 478)
3. NIM BIN Power Supply (CANBERRA model 1000)
4. เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (CANBERRA model S-100)
5. อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ (CANBERRA model 2021)
6. วงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์วอลคินสันแบบอาร์เรย์ที่พัฒนาขึ้น
7. วงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์วอลคินสัน(CANBERRA model 8706 450 MHz)
8. เครื่องนับความถี่ (Hewlett Packard model 5315A)
9. เครื่องคอมพิวเตอร์ CPU 486 ขึ้นไป 1 ชุด
10. ต้นกำเนิดรังสี ซีเซียม-137
11. ต้นกำเนิดรังสี โคบอลต์-60

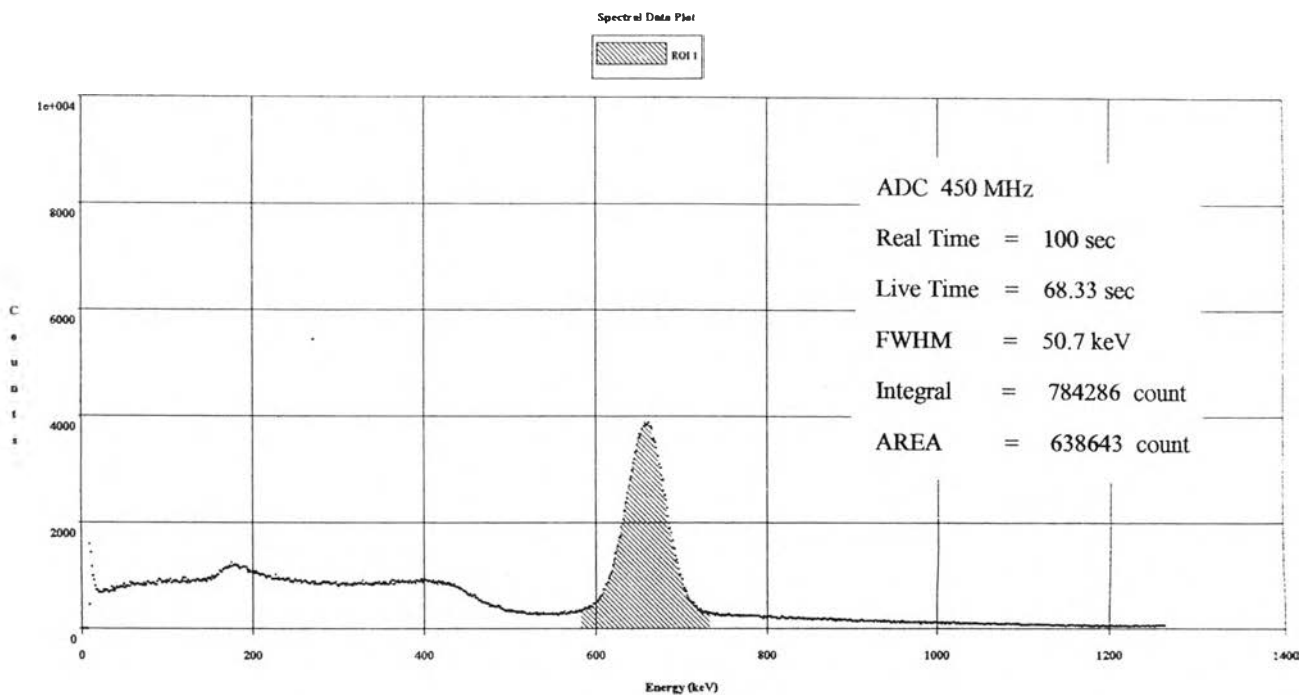
4.5.2 ทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมของต้นกำเนิดครึ่งสีมาตรฐาน



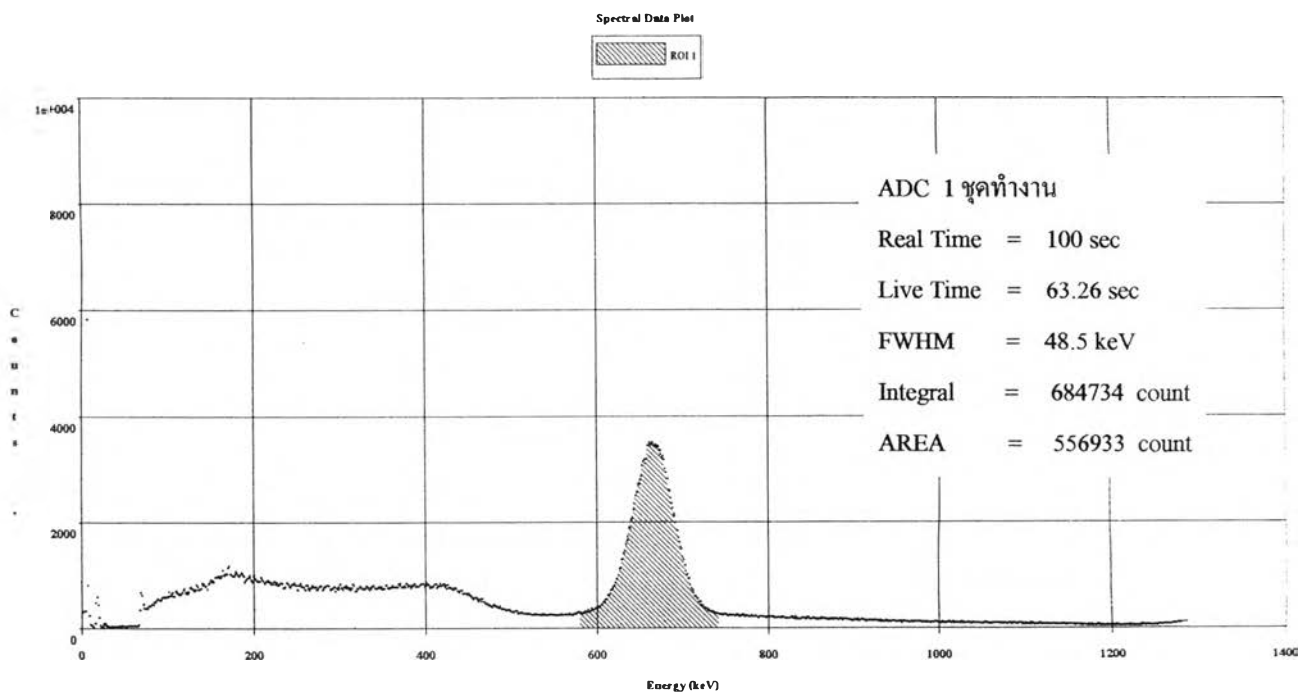
รูปที่ 4.28 แผนภาพการจัดอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมของต้นกำเนิดครึ่งสี

4.5.2.1 ทดสอบการวิเคราะห์พลังงานรังสีแกมมาของ ซีเซียม-137

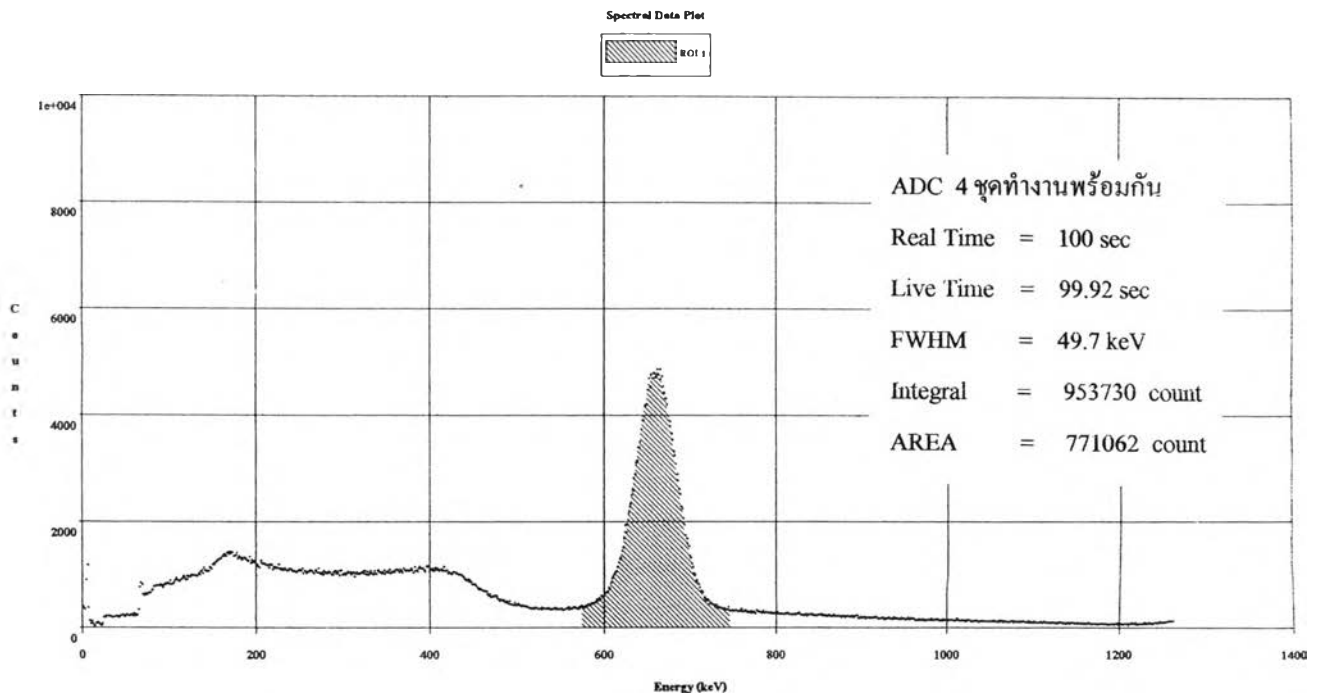
1. จัดอุปกรณ์การทดสอบดังรูปที่ 4.28 โดยใช้ ADC Model 8706
2. ใช้ต้นกำเนิดรังสี ซีเซียม-137 วางห่างจากหัววัดรังสีอันค่าอัตรานับจากเครื่องนับความถี่ให้ได้ 30 kcps
3. วิเคราะห์สเปกตรัมของ ซีเซียม-137 ใช้เวลาวิเคราะห์ REAL TIME 100 วินาที ได้ผลวิเคราะห์สเปกตรัมดังรูปที่ 4.29 ได้ resolution ของระบบวิเคราะห์เท่ากับ 7.66 % และ LIVE TIME บันทึกได้ 68 วินาที
4. เปลี่ยน ADC ของเครื่องวิเคราะห์ MCA เป็น ADC วิลคินสันที่พัฒนาขึ้นและดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2
5. ปรับให้ ADC ทำงาน 1 ชุดและ 4 ชุด เพื่อวิเคราะห์สเปกตรัมของซีเซียม-137 ใช้เวลาวิเคราะห์ REAL TIME 100 วินาที ได้ผลวิเคราะห์สเปกตรัมดังรูปที่ 4.30 และ 4.31 โดยได้ resolution ของระบบวิเคราะห์ที่ใช้ ADC 1 ชุดทำงานเท่ากับ 7.39 % LIVE TIME บันทึกได้ 63 วินาที และเมื่อใช้ ADC ทำงานพร้อมกัน 4 ชุด จะมี resolution ของระบบวิเคราะห์เท่ากับ 7.57 % LIVE TIME บันทึกได้ 100 วินาที จากผลการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบผลของ LIVE TIME ของ ADC model 8706 ซึ่งใช้ฐานความถี่ 450 MHz กับ ADC อาร์เรย์ที่ทำงานพร้อมกัน 4 ชุด จะเห็นว่า ADC ที่พัฒนาขึ้นให้ LIVE TIME สูงกว่า และมี resolution ของระบบที่ใกล้เคียงกัน
6. ทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมที่พลังงาน 662 keV. ของ ซีเซียม-137 และพลังงาน 1173 keV. , 1332 keV. ของ โคบอลต์-60 ใช้เวลาวิเคราะห์ 100 วินาทีผลการวิเคราะห์เป็นไปดังรูปที่ 4.32
7. ทดสอบปรับเทียบพลังงานเพื่อสร้าง calibration curve ให้ผลดังรูปที่ 4.33



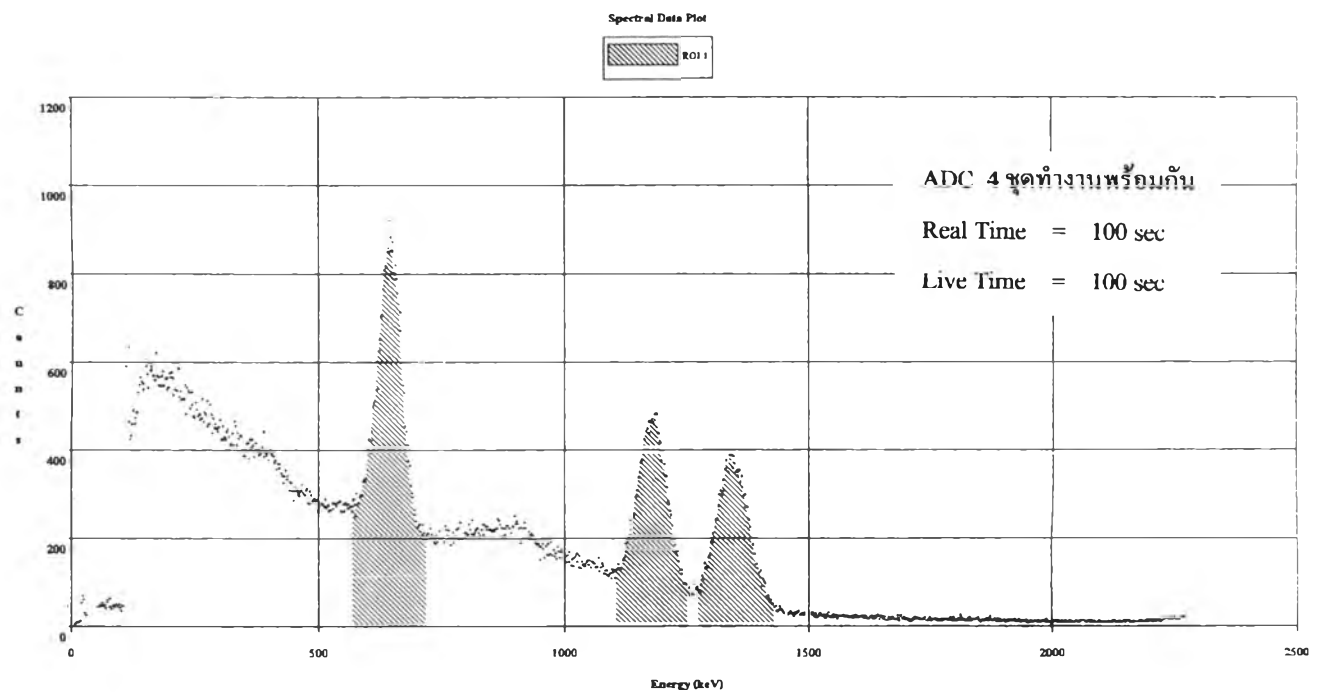
รูปที่ 4.29 สเปกตรัมซีเซียม-137 วิเคราะห์ด้วย ADC model 8706



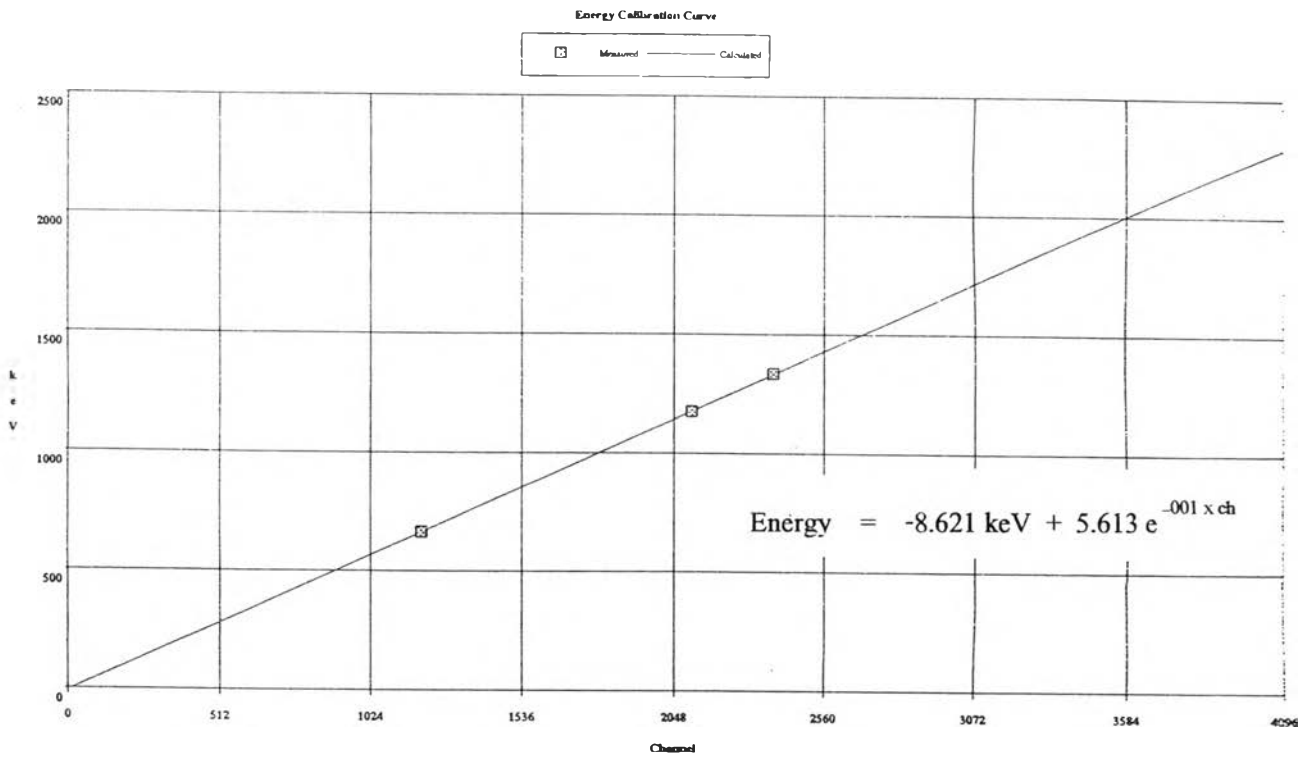
รูปที่ 4.30 สเปกตรัมซีเซียม-137 วิเคราะห์ด้วย ADC อาร์เรย์ที่พัฒนาขึ้นปรับให้ ADC ทำงาน 1 ชุด



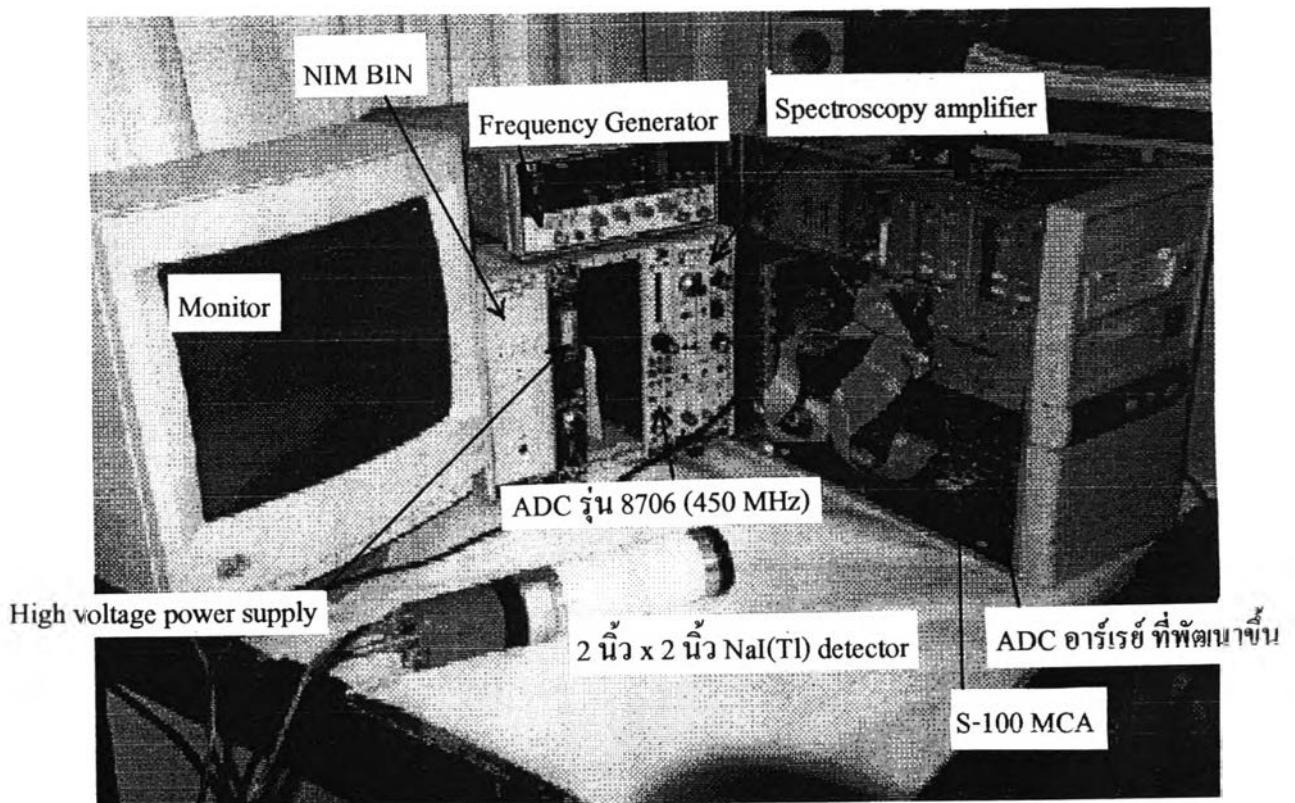
รูปที่ 4.31 สเปกตรัมซีเซียม-137 วิเคราะห์ด้วย ADC อาร์เรย์ที่พัฒนาขึ้นปรับให้ ADC ทำงาน 4 จุด



รูปที่ 4.32 สเปกตรัมของ ซีเซียม-137 ร่วมกับโคบอลต์-60 ด้วย ADC ที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 4.33 เส้นกราฟปรับเทียบพลังงาน



รูปที่ 4.34 ภาพถ่ายการจัดอุปกรณ์เพื่อการทดสอบสมรรถนะของ ADC