

การพัฒนาอุปกรณ์แปลงผันสัญญาณพัลส์วีลคินสันแบบอาร์เรย์

นาย ราชันย์ สุรณธร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-160-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A WILKINSON PULSE HEIGHT ARRAY ADC

Mr. Rachan Suranen

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

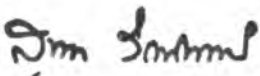
Academic year 1999

ISBN 974-333-160-3

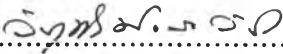
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาอุปกรณ์แปลงผันสัญญาณพัลส์วิดคินสันแบบอาร์เรย์
โดย	นาย ราชันย์ สุรณเระ
ภาควิชา	นิเวศศาสตร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ เค โข ทองอร่าม

---


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

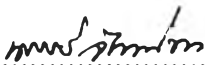
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ วิรุฬห์ มังคละวิรัช)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(อาจารย์ เค โข ทองอร่าม)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

ราชนันท์ สุรณเร : การพัฒนาอุปกรณ์แปลงผันสัญญาณพัลส์ชนิดวิลคินสันแบบอาร์เรย์ (DEVELOPMENT OF A WILKINSON PULSE HEIGHT ARRAY ADC) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. เดโช ทองอร่าม ; 116 หน้า. ISBN 974-333-160-3.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอุปกรณ์แปลงผันสัญญาณพัลส์ชนิดวิลคินสัน ขนาด 4096 ช่องวิเคราะห์ ที่มีฐานความถี่ 100 MHz ให้สามารถรับอัตราวิเคราะห์พัลส์ (Throughput count rate) ได้สูงขึ้น โดยออกแบบให้ระบบทำงานแบบอาร์เรย์ 4 ชุด แต่ละชุดทำงานอิสระในลักษณะขนานกันเพื่อที่จะรับสัญญาณพัลส์ได้อย่างต่อเนื่อง มีผลให้เวลาที่สูญเสียไปในการแปลงผันสัญญาณ (dead time) ลดลงมาก ซึ่งเวลาที่สูญเสียไปจะเกิดขึ้นเมื่อชุดแปลงผันสัญญาณทั้งหมดไม่มีช่วงเวลาว่างรับพัลส์ อุปกรณ์แปลงผันสัญญาณพัลส์ชนิดวิลคินสันแบบอาร์เรย์ที่พัฒนาขึ้น ได้จัดช่องสัญญาณข้อมูลให้สามารถเชื่อมโยงการทำงานกับระบบวิเคราะห์แบบหลายช่องของ CANBERRA รุ่น S-100.

ผลการทดสอบสมรรถนะของอุปกรณ์แปลงผันสัญญาณพัลส์ชนิดวิลคินสันแบบอาร์เรย์ 4 ชุด ซึ่งทำงานบนระบบวิเคราะห์แบบหลายช่อง รุ่น S-100 โดยวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมาจาก Cs-137 ด้วยหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ (ทลเทียม) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว ผ่านอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ CANBERRA รุ่น 2021 ปรับอัตราขยายพัลส์ของพิกพลังงานที่วิเคราะห์ให้อยู่ที่ช่องวิเคราะห์ 2048 เปรียบเทียบการทำงานกับอุปกรณ์แปลงผันสัญญาณพัลส์ชนิดวิลคินสันปกติที่มีฐานความถี่ 450 MHz พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น สามารถรับอัตราวิเคราะห์พัลส์สูงสุดที่ 77 kcps ซึ่งสูงกว่าอุปกรณ์ที่นำมาเปรียบเทียบ 41.5 % โดยความสามารถในการแจกแจงพลังงานที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มจำนวนชุด ADC ให้ทำงาน ผลของอัตราวิเคราะห์พัลส์จะเพิ่มขึ้นไม่เป็นสัดส่วนกับการเพิ่มจำนวนชุดของ ADC และเมื่อจัดอุปกรณ์แปลงผันสัญญาณแบบอาร์เรย์ที่ทำงานด้วยฐานความถี่ 100 MHz ให้ทำงานเพียง 2 ชุด จะสามารถรับอัตราวิเคราะห์พัลส์ ได้ทัดเทียมกับอุปกรณ์แปลงผันสัญญาณพัลส์ชนิดวิลคินสันปกติที่ใช้ฐานความถี่ 450 MHz

ภาควิชา ..... นวัตกรรมเทคโนโลยี  
สาขาวิชา ..... นวัตกรรมเทคโนโลยี  
ปีการศึกษา ..... 2542

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 3971461021 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: WILKINSON ADC / ARRAY ADC / HIGH THROUGHPUT RATE / MULTICHANNEL ANALYZER

RACHAN SURANEN: DEVELOPMENT OF A WILKINSON PULSE HEIGHT ARRAY ADC. THESIS ADVISOR: ASSIST. PROF.

SUVIT PUNNACHAIYA, THESIS CO-ADVISOR: DACHO THONGALAM, 116 pp. ISBN 974-333-160-3.

This thesis is intended to develop a Wilkinson array pulse height analog to digital converter with 100 MHz clock frequency and 4096 channel capacities. The technique provides each ADC individually operated in parallel functions that can enhance the throughput count rate capability. The system can successively analyze incoming pulse continuously and extremely reduce the system dead time. The dead time can be detected when all sets of ADC are activated. The developed Wilkinson array ADC provides the interfacing system fitting to the CANBERRA S-100 MCA.

The throughput performance test is arranged in order to compare the developed ADC with 450 MHz Wilkinson ADC. By operating these ADC on S-100 MCA equipped with CANBERRA 2021 spectroscopy amplifier and 2 inch x 2 inch NaI(Tl), the Cs-137 spectrum setting the amplifier gain at peak centroid half side memory (channel number 2048). The results show the maximum throughput rate at 77 kcps, 41.2 % over the 450 MHz ADC without any degradation of system resolution. Besides, the testing results reveal that the throughput rate increasing is not directly proportional with the number of ADC sets. Only 2 sets of 100 MHz array ADC activated the throughput rate can be compatible to the operation of 450 MHz Wilkinson ADC

ภาควิชา..... วิศวกรรมเทคโนโลยี.....  
สาขาวิชา..... วิศวกรรมเทคโนโลยี.....  
ปีการศึกษา..... 2542.....

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยการให้คำปรึกษาและสนับสนุนเป็นอย่างดีจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะและอาจารย์ เคโจ ทองกร่วม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ช่วยให้คำแนะนำและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณ ธวัช วิจารณ์ ผู้จัดการบริษัทไทยยูนิค ที่ให้โอกาสในการศึกษาในครั้งนี้และขอขอบคุณ คุณ อภิชัย วชิรห่า ที่ให้คำชี้แนะและข้อมูลประกอบวิทยานิพนธ์รวมทั้งเครื่องมือสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ ทุนการวิจัยบางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจเสมอมา และขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่มีส่วนร่วมในการสนับสนุนช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฌ
สารบัญภาพ .....	ญ
<b>บทที่</b>	
1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย .....	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย .....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
2 หลักการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ทางนิวเคลียร์ .....	4
2.1 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ทางนิวเคลียร์ .....	5
2.2 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง .....	8
2.3 การวิเคราะห์ความสูงของพัลส์สำหรับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง .....	9
2.3.1 ADC แบบวิลคินสัน .....	10
2.3.2 ADC แบบเวลาแปลงผันสัญญาณคงที่ (fixed-conversion time)..	12
2.3.1.1 ADC แบบซัคเซสซีฟแอพรอกซิเมชัน (Successive approximation ADC).....	12
2.3.1.2 ADC แบบแฟลช (flash ADC).....	14
2.4 ประสิทธิภาพการทำงานของวงจรแปลงผันสัญญาณ .....	15
2.4.1 การสูญเสียเวลาในการวิเคราะห์สัญญาณ.....	15
2.4.2 ความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงความสูงของพัลส์ (linearity) ...	17
3 การพัฒนาวงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์วิลคินสันแบบอาร์เรย์ .....	22
3.1 ข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ .....	26

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 การออกแบบวงจรแปลงผันสัญญาณพัลส์วิตคินสันแบบอาร์เรย์ .....	26
4 ผลการทดลอง.....	46
4.1 การทดสอบการทำงานของวงจร .....	46
4.2 ทดสอบความเสถียรของการทำงานของ ADC.....	50
4.3 การทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้น .....	55
4.4 การทดสอบอัตราในการวิเคราะห์สัญญาณ.....	61
4.5 ทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน.....	69
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	74
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	74
5.2 ปัญหาและอุปสรรค .....	75
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	76
รายการอ้างอิง .....	77
ภาคผนวก .....	78
ประวัติผู้เขียน .....	104



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่าเวลาที่ใช้ในระบบการแปลงสัญญาณแบบวอลทิจินสันปกติ .....	16
4.1	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในการแปลงสัญญาณของ ADC แต่ละชุด .....	56
4.2	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นในการแปลงสัญญาณของ ADC 4 ชุดทำงานร่วมกัน	60
4.3	ผลการทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณด้วยคัมกำเนิดรังสีซีซีเอ็ม-137.....	63
4.4	ผลการคำนวณอัตราวิเคราะห์สัญญาณจากตารางที่ 4.3 .....	64
4.5	ผลการทดสอบอัตราวิเคราะห์ด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ความถี่สูง. ....	67

## สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ระบบวัดสำหรับวิเคราะห์หอนุภาคนิวเคลียร์ .....	4
2.2	การเกิดสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ .....	5
2.3	แผนภาพของ Spectroscopy amplifier.....	7
2.4	สัญญาณพัลส์มาตรฐานในระบบวัดนิวเคลียร์.....	7
2.5	สเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมาของสารกัมมันตรังสี.....	8
2.6	แผนภาพการทำงานของ MCA เบื้องต้น.....	9
2.7	แผนภาพการทำงานของวงจรแปลงผันสัญญาณแบบวิตคินสัน.....	10
2.8	แสดงเวลาที่สูญเสียในการแปลงผันสัญญาณพัลส์ 5 V และ 10 V.....	11
2.9	การเลื่อนข้อมูลเปรียบเทียบค่าอ้างอิงไปนารี.....	12
2.10	แผนภาพการทำงานของระบบแปลงผันสัญญาณแบบ Successive approximation..	13
2.11	แสดงแผนภาพการทำงานของระบบการแปลงผันสัญญาณแบบเฟลช คอนเวอร์เตอร์.....	14
2.12	แผนภาพการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ ADC ชนิดวิตคินสัน.....	16
2.13	แผนภาพแนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ ADC วิตคินสัน อาร์เรย์ 4 ชุด.....	17
2.14	ความไม่เป็นเชิงเส้นแบบอินติกรัล (Integral Non-linearity).....	18
2.15	ความไม่เป็นเชิงเส้นแบบดิฟเฟอเรนเชียล(Differential Non-linearity).....	18
2.16	Integral Nonlinearity (INL) Error.....	19
2.17	Differential Nonlinearity (DNL).....	20
2.18	The successive Approximation ADC with Sliding Scale Linearization.....	21
2.19	ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมจากวงจรแปลงผันสัญญาณแบบซัคเซสซีฟ แอฟพรอกซิเมชัน.....	21
2.20	แผนภาพแสดงความคลาดเคลื่อนในการแปลงผันสัญญาณและก่อให้เกิด DNL....	22
3.1	แผนภาพการทำงานของ วิตคินสัน ADC array .....	24
3.2	แผนภาพเวลาการทำงานระหว่าง วิตคินสัน ADC ปกติ กับ วิตคินสัน ADC อาร์เรย์.....	25
3.3	แผนภาพเวลาการทำงานของชุด Main ADC .....	29
3.4	วงจร MAIN ADC (Sheet 1 of 8).....	36

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.5	วงจร ARRAY PEAK DETECTOR (Sheet 2 of 8) .....	37
3.6	วงจร ARRAY CURRENT CONSTANT DISCHARGE (Sheet 3 of 8).....	38
3.7	วงจร ADC INTER-LOCATION (Sheet 4 of 8) .....	39
3.8	วงจร RAMP ON CONTROL (Sheet 5 of 8) .....	40
3.9	วงจร BINARY COUNTER (Sheet 6 of 8) .....	41
3.10	วงจร TRI-STATE BUFFER (Sheet 7 of 8) .....	42
3.11	วงจร DATA TRANSFER (Sheet 8 of 8).....	43
3.12	ตำแหน่งต่างๆของวงจรบนแผ่นวงจร ADC วิลคินสันแบบอาร์เรย์.....	44
3.13	แผ่นวงจร ADC วิลคินสันแบบอาร์เรย์ 4 ชุดที่พัฒนาขึ้น.....	44
3.14	แผ่นวงจร ADC ของ CANBERRA รุ่น 8706.....	45
3.15	แผ่นวงจร MCA ของ CANBERRA รุ่น S-100.....	45
4.1	แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบการทำงานของวงจร.....	47
4.2	สัญญาณ peak detect.....	47
4.3	สัญญาณ zero crossing.....	48
4.4	สัญญาณ conversion time และ ช่วง storage time.....	48
4.5	สัญญาณ ramp discharge เมื่อใช้ ADC 1 ชุดทำงาน.....	49
4.6	สัญญาณ data storage เมื่อใช้ ADC 1 ชุดทำงาน.....	49
4.7	สัญญาณ data storage เมื่อใช้ ADC 4 ชุดทำงาน.....	50
4.8	แผนภาพการจับอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบความเสถียรของ ADC.....	51
4.9	สเปกตรัมการทดสอบ ADC ชุดที่ 1.....	52
4.10	สเปกตรัมการทดสอบ ADC ชุดที่ 2.....	52
4.11	สเปกตรัมการทดสอบ ADC ชุดที่ 3.....	53
4.12	สเปกตรัมการทดสอบ ADC ชุดที่ 4.....	53
4.13	สเปกตรัมการทดสอบ ADC 4 ชุดทำงานร่วมกัน.....	54
4.14	แผนภาพการจับอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้น ในการแปลงผัน สัญญาณของ ADC.....	55
4.15	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับช่องวิเคราะห์ ADC ชุดที่ 1.....	57
4.16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับช่องวิเคราะห์ ADC ชุดที่ 2.....	57

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับช่องวิเคราะห์ ADC ชุดที่ 3.....	58
4.18	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับช่องวิเคราะห์ ADC ชุดที่ 4.....	58
4.19	แผนภาพการจับอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้นในการแปลงผันสัญญาณของ ADC 4 ชุด ทำงานร่วมกัน.....	59
4.20	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของพัลส์กับช่องวิเคราะห์ ADC 4ชุดทำงาน..	60
4.21	แผนภาพการจับอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณด้วยดินก้านีคริงส์..	61
4.22	เส้นกราฟการตอบสนองอัตรานับรังสี (throughput count rate) ที่ช่องวิเคราะห์ 2048.....	64
4.23	เส้นกราฟเปรียบเทียบอัตราวิเคราะห์พัลส์จากการคำนวณและการวิเคราะห์ของระบบระหว่าง ADC (100 MHz) อาร์เรย์ 4 ชุด และ ADC (450 MHz).....	65
4.24	เส้นกราฟความสัมพันธ์ของ dead time และจำนวนชุดการทำงานของ ADC อาร์เรย์.....	65
4.25	เส้นกราฟความสัมพันธ์ของอัตรานับพัลส์กับจำนวนชุดการทำงานของ ADC ที่ความถี่ทางเข้าแตกต่างกัน.....	66
4.26	แผนภาพการจับอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบอัตราวิเคราะห์สัญญาณด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง.....	66
4.27	เส้นกราฟการตอบสนองอัตรานับพัลส์ (throughput pulse rate) ที่ช่องวิเคราะห์ 2048.....	68
4.28	แผนภาพการจับอุปกรณ์วัดเพื่อทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมของดินก้านีคริงส์..	69
4.29	สเปกตรัมซีเซียม-137 วิเคราะห์ด้วย ADC model 8706.....	71
4.30	สเปกตรัมซีเซียม-137 วิเคราะห์ด้วย ADC อาร์เรย์ที่พัฒนาขึ้นปรับให้ ADC ทำงาน 1ชุด.....	71
4.31	สเปกตรัมซีเซียม-137 วิเคราะห์ด้วย ADC อาร์เรย์ที่พัฒนาขึ้นปรับให้ ADC ทำงาน 4 ชุด.....	72
4.32	สเปกตรัมของ ซีเซียม-137 ร่วมกับโคบอลต์-60 ด้วย ADC ที่พัฒนาขึ้น.....	72
4.33	เส้นกราฟเปรียบเทียบพลังงาน .....	73
4.34	ภาพถ่ายการจับอุปกรณ์เพื่อการทดสอบ.....	73