

การประยุกต์อุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข (DSP device) ในกระบวนการแต่งรูป  
สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์



นายบรรพต กำคำ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

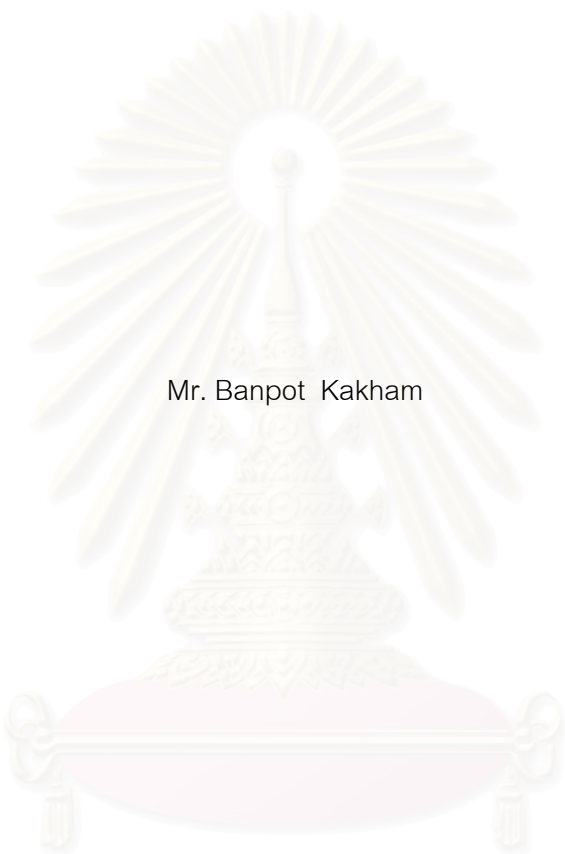
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4204-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATIONS OF DSP DEVICE IN NUCLEAR PULSE WAVE SHAPING



Mr. Banpot Kakham

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

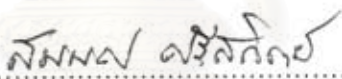
ISBN 974-17-4204-5

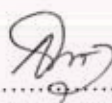
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์อุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข (DSP device) ในกระบวนการแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์
โดย	นายบรรพต กำคำ
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรพันธ์ ยิ้มมัน

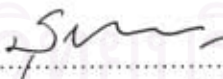
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรพันธ์ ยิ้มมัน)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ เดโช ทองอร่าม)

บรรพต กำคำ : การประยุกต์อุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข (DSP device)

ในกระบวนการแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์. (APPLICATIONS OF DSP DEVICE IN NUCLEAR PULSE WAVE SHAPING) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, อ.ที่ปรึกษา  
ร่วม : ผศ.สุรพันธ์ ยิ้มมัน, 98 หน้า. ISBN 974-17-4204-5.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข สำหรับประยุกต์ใช้ในกระบวนการแต่งรูปสัญญาณในระบบวิเคราะห์สเปกตรัมนิวเคลียร์ เพื่อให้ได้อัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) สูง ด้วยการวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอนของชุดตัวกรองสัญญาณชนิดแอนะล็อกบนอุปกรณ์ขยายแบบสเปกโตรโคปีของ Canberra รุ่น 2011 ที่ใช้อ้างอิง และใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนที่วิเคราะห์ได้ออกแบบสร้างอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขด้วยเทคนิคการแปลงเชิงเลข (Digital transform) 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดแรก อุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขด้วยแผ่นวงจร TMS320C31 DSP starter kit และชนิดหลัง อุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขด้วยแผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition ร่วมกับโปรแกรม MATLAB พร้อมทั้งพัฒนาโปรแกรมแสดงรูปสัญญาณพัลส์และสเปกตรัมพลังงานที่วิเคราะห์ได้

ผลการวิจัยพบว่าการแต่งรูปสัญญาณด้วยอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขชนิดแรกมีข้อจำกัดของสมรรถนะ จึงไม่สามารถแต่งรูปสัญญาณได้ถูกต้อง ขณะที่อุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขชนิดหลังสามารถแต่งรูปสัญญาณได้ดีในย่านค่าคงที่เวลา (Shaping time) 1  $\mu$ s ถึง 4  $\mu$ s ต่อเนื่อง โดยให้รูปลักษณะสัญญาณยูนิโพลาร์พัลส์ (Unipolar pulse) ใกล้เคียงกับการแต่งรูปสัญญาณด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ที่ใช้อ้างอิงเปรียบเทียบกัน และสามารถตอบสนองอัตรานับได้มากกว่า 10 kcps นอกจากนี้ในการทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของซีเซียม-137 โดยใช้หัววัดโซเดียมไอออไดด์ (แทลเลียม) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว แสดงผลความสามารถในการแจกแจงพลังงานเป็นที่น่าพึงพอใจ

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี  
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี  
ปีการศึกษา 2548

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

## 4570389221 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: NUCLEAR PULSE / WAVE SHAPING / DSP / NUCLEAR SPECTROSCOPY/  
TRANSFER FUNCTION / FREQUENCY FILTER

BANPOT KAKHAM : APPLICATIONS OF DSP DEVICE IN NUCLEAR PULSE WAVE  
SHAPING. THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF. SUVIT PUNNACHAIYA, THESIS  
COADVISOR : ASSIST.PROF. SURAPUN YIMMAN, 98 pp. ISBN 974-17-4204-5.

The purpose of this thesis was to develop a digital signal processing (DSP) device for applying in nuclear pulse wave shaping process, in order to obtain the high signal to noise ratio (S/N) of nuclear spectroscopy system. Referring to the model 2011 Canberra spectroscopy amplifier, the transfer function of its analog filter was analysed. Two techniques of the digital signal processor were designed according to the analysed transfer function. The first; TMS320C31 DSP starter kit was used; and the second; PCI-1712 data acquisition card with MATLAB programming were performed combining with the developed program for displaying the signal waveform and energy spectrum.

The research results indicated that the first technique could not be correctly shaped pulse waveform due to the limitation of its performance. While the second technique could be shaped the pulse waveform in range of 1  $\mu$ s to 4  $\mu$ s continuously shaping time and the unipolar shaped pulse characteristics were similarly with the reference system. The count rate capability of over 10 kcps could be achieved. Beside, the energy spectrum analysis of Cs-137 using 2" x 2" NaI(Tl) scintillation detector by the second technique showed the satisfactory results.

Department      Nuclear Technology  
Field of study    Nuclear Technology  
Academic year    2005

Student's signature.....

Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ เนื่องจากความกรุณาของท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่คอยสอนสั่ง ชี้แนะ ประสิทธิ์ประสาทความรู้ วิทยาการ ต่าง ๆ จัดหาทุนทำวิจัย และที่สำคัญท่านได้มอบโอกาสที่ดีสำหรับชีวิต ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรพันธ์ ยิ้มมั่น ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์ และ ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านการประมวลสัญญาณเชิงเลข รวมถึงคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรม เทคโนโลยีทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ กระผมขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน

ขอกราบขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อแสวง กำคำ และคุณแม่อรุณ กำคำ (กิจวิถิ) สำหรับความรัก พลังความคิด และกำลังใจที่มอบให้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณลุงดิเรก - คุณป้าเจตนา กิจวิถิ สำหรับกำลังใจ และการถามไถ่ ตลอดมา

ขอบคุณคุณบัญชา อุณพานิช และรุ่นพี่ภาควิชาที่ให้ความช่วยเหลือด้านเทคนิค

ขอขอบคุณคุณจันทิพย์ เครือจันทร์ที่ให้กำลังใจ และช่วยพิมพ์วิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2. ทฤษฎีการแต่งรูปสัญญาณพัลส์.....	6
2.1 ระบบจัดกระบวนการสัญญาณพัลส์.....	6
2.2 การแต่งรูปสัญญาณ.....	9
2.2.1 องค์ประกอบของสัญญาณ.....	9
2.2.2 วิธีการแต่งรูปสัญญาณ.....	11
2.3 การประมวลสัญญาณเชิงเลข.....	13
2.3.1 ลักษณะของสัญญาณ.....	13
2.3.2 ทฤษฎีการชักตัวอย่างสัญญาณ.....	14
2.3.3 เดตา แอคคิวิตีชัน.....	14
2.4 ฟังก์ชันถ่ายโอน.....	16
2.4.1 นิยามของฟังก์ชันถ่ายโอน.....	16
2.4.2 ขั้นตอนการหาฟังก์ชันถ่ายโอน.....	17

บทที่	หน้า
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	18
3.1 การวิเคราะห์หาค่าฟังก์ชันถ่ายโอน.....	18
3.1.1 การวิเคราะห์หาค่าฟังก์ชันถ่ายโอนพร้อมการลบสิ่งรบกวน.....	19
3.1.2 การวิเคราะห์หาค่าฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับสอง.....	20
3.1.3 การวิเคราะห์หาค่าฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับหนึ่ง.....	22
3.2 การทดสอบผลตอบสนองของความถี่.....	24
3.2.1 การทดสอบหาผลตอบสนองของความถี่ของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ.....	24
3.2.2 การทดสอบหาผลตอบสนองของความถี่จากฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรอง.....	25
3.3 การทดสอบผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันได.....	25
3.3.1 การทดสอบหาผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันไดของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ..	25
3.3.2 การทดสอบหาผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันไดของฟังก์ชันถ่ายโอน.....	28
3.4 การพัฒนาโปรแกรมแต่งรูปสัญญาณพัลส์บนบอร์ดประมวลสัญญาณเชิงเลข TMS320C31 DSP starter kit.....	29
3.4.1 การพัฒนาโปรแกรมแต่งรูปสัญญาณพัลส์.....	30
3.4.2 การทดสอบผลการแต่งรูปสัญญาณ.....	31
3.5 การพัฒนาอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขด้วยแผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition.....	32
3.5.1 การติดตั้งอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข.....	32
3.5.2 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงาน.....	33
3.5.3 การทดสอบผลการแต่งรูปสัญญาณ.....	34
4. การทดลองและผลการทดลอง.....	36
4.1 การทดลองแต่งรูปสัญญาณด้วยอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข.....	36
4.1.1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดลอง.....	36
4.1.2 ขั้นตอนและผลการทดลอง.....	36
4.2 การทดลองผลตอบสนองของอัตรานับรังสี.....	41
4.2.1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดลอง.....	41
4.2.2 ขั้นตอนและผลการทดลอง.....	41
4.3 การทดสอบความสามารถในการแจกแจงพลังงานของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ.....	46
4.3.1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบ.....	46



บทที่	หน้า
4.3.2 ขั้นตอนและผลการทดสอบ.....	46
4.4 การทดสอบความสามารถในการแจกแจงพลังงานของอุปกรณ์ประมวลสัญญาณ เชิงเลขที่พัฒนาขึ้น.....	49
4.4.1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบ.....	49
4.4.2 ขั้นตอนและผลการทดสอบ.....	49
4.5 การทดสอบความเสถียรของระบบ.....	51
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	52
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	52
5.1.1 อุปกรณ์แต่งรูปสัญญาณเชิงเลขจากตัวประมวลสัญญาณ TMS320C31 DSP starter kit.....	52
5.1.2 อุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขจากแผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition กับโปรแกรม MATLAB .....	52
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	53
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	54
รายการอ้างอิง.....	56
ภาคผนวก.....	57
ภาคผนวก ก.....	58
ภาคผนวก ก.1.....	59
ภาคผนวก ก.2.....	60
ภาคผนวก ก.3.....	61
ภาคผนวก ก.4.....	62
ภาคผนวก ก.5.....	63
ภาคผนวก ข.....	72
ภาคผนวก ค.....	91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	98

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของการแต่งรูปสัญญาณแบบต่าง ๆ .....	8
ตารางที่ 3.1 ค่าของตัวเก็บประจุและตัวต้านทานที่ Shaping time ต่าง ๆ ของตัวกรอง $G_a(t)$ ..	20
ตารางที่ 3.2 ค่าของตัวเก็บประจุและตัวต้านทานที่ Shaping time ต่าง ๆ ของตัวกรอง $G_b(t)$ ..	21
ตารางที่ 3.3 ค่าของตัวเก็บประจุและตัวต้านทานที่ Shaping time ต่าง ๆ ของตัวกรอง $G_c(t)$ ..	22
ตารางที่ 3.4 ลักษณะสำคัญของสัญญาณพัลส์จากผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันไดของ อุปกรณ์ขยายสัญญาณ Canberra รุ่น 2011 ที่ Shaping time ต่าง ๆ.....	28
ตารางที่ 3.5 ลักษณะสำคัญของสัญญาณพัลส์จากผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันได จากฟังก์ชันถ่ายโอนที่วิเคราะห์ได้ที่ Shaping time ต่าง ๆ .....	29
ตารางที่ 4.1 ลักษณะสำคัญของสัญญาณพัลส์ที่ Shaping time ต่าง ๆ.....	41
ตารางที่ 4.2 ความสามารถในการแจกแจงพลังงานของระบบวิเคราะห์พลังงาน ที่ใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณ.....	49
ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการแจกแจงพลังงานของระบบประมวลสัญญาณเชิงเลข ที่พัฒนาขึ้น.....	51
ตารางที่ 4.4 ค่าความสูงของพัลส์ที่วัดได้จากระบบประมวลสัญญาณเชิงเลขที่พัฒนาขึ้น....	51

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 การทำงานของหัววัดรังสี.....	6
รูปที่ 2.2 สัญญาณรบกวนแฝงที่เกิดร่วมกับสัญญาณพัลส์ในระบบวัดส่วนหน้า.....	7
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณรบกวน (ENC) กับ Shaping time.....	9
รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของรูปสัญญาณจากคลื่นชายนีตามทฤษฎีของฟูเรียร์.....	10
รูปที่ 2.5 การสังเคราะห์รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจากผลรวมของอนุกรมรูปคลื่นชายนี.....	10
รูปที่ 2.6 การสังเคราะห์รูปคลื่นด้วยแหล่งกำเนิดสัญญาณ.....	11
รูปที่ 2.7 การปรับสัญญาณให้มี S/N สูงในกระบวนการสัญญาณ.....	11
รูปที่ 2.8 แผนภาพการจัดตัวกรองความถี่เพื่อแต่งรูปสัญญาณ.....	12
รูปที่ 2.9 การชักตัวอย่างด้วยสวิตช์อุดมคติ.....	14
รูปที่ 2.10 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล.....	15
รูปที่ 2.11 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก.....	15
รูปที่ 2.12 แผนภาพความสัมพันธ์ของฟังก์ชันถ่ายโอน.....	17
รูปที่ 3.1 แผนภาพระบบแต่งรูปสัญญาณของอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์.....	18
รูปที่ 3.2 ตัวกรองความถี่สูงผ่านพร้อมการลบข้างโพลและซีโร $G_u(t)$ .....	19
รูปที่ 3.3 ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง $G_o(t)$ .....	21
รูปที่ 3.4 ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง $G_c(t)$ .....	22
รูปที่ 3.5 แผนภาพการจัดระบบทดสอบหาผลตอบสนองของความถี่ของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ	24
รูปที่ 3.6 ผลตอบสนองความถี่ของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ Canberra รุ่น 2011.....	24
รูปที่ 3.7 ผลตอบสนองความถี่จากฟังก์ชันตัวกรองที่วิเคราะห์ได้จากอุปกรณ์ขยายสัญญาณ	25
รูปที่ 3.8 แผนภาพการจัดระบบทดสอบหาผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันได ของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ.....	25
รูปที่ 3.9 ผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันไดของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ.....	26
รูปที่ 3.10 ผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันไดจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่วิเคราะห์ได้จาก อุปกรณ์ขยายสัญญาณ.....	28
รูปที่ 3.11 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการแต่งรูปสัญญาณด้วยบอร์ด TMS320C31 DSP starter kit.....	29
รูปที่ 3.12 ผังงานการพัฒนาโปรแกรมแต่งรูปสัญญาณด้วย TMS320C31 DSP starter kit..	30
รูปที่ 3.13 ผลการทดสอบการแต่งรูปสัญญาณด้วยบอร์ด TMS320C31 เปรียบเทียบกับ สัญญาณจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ Canberra รุ่น 2011.....	31

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 3.14 แผนภาพวงจรมายในชิป TLC32040.....	32
รูปที่ 3.15 กล้องเชื่อมตอสัญญาณ.....	33
รูปที่ 3.16 ผังงานการพัฒนาโปรแกรมแต่งรูปสัญญาณด้วย PCI-1712 data acquisition และโปรแกรม MATLAB.....	33
รูปที่ 3.17 ผลการทดสอบการแต่งรูปสัญญาณด้วยโปรแกรมฟังก์ชันตัวกรองที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับสัญญาณจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณ Canberra รุ่น 2011.....	34
รูปที่ 3.18 ระบบประมวลสัญญาณเชิงเลข สำหรับกระบวนการแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์	35
รูปที่ 3.19 ภาพถ่ายชุดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบประมวลสัญญาณเชิงเลข....	35
รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดระบบทดสอบการแต่งรูปสัญญาณด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณ....	36
รูปที่ 4.2 แผนภาพการจัดระบบทดสอบการแต่งรูปสัญญาณด้วยอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข.....	37
รูปที่ 4.3 ผลเปรียบเทียบรูปสัญญาณที่ถูกแต่งที่ Shaping time ค่าต่าง ๆ.....	37
รูปที่ 4.4 แผนภาพการจัดระบบทดสอบอัตรานับรังสีของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ.....	41
รูปที่ 4.5 แผนภาพการจัดระบบแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ด้วยอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข.....	42
รูปที่ 4.6 ผลเปรียบเทียบการตอบสนองอัตรานับรังสีที่ Shaping time ค่าต่าง ๆ.....	42
รูปที่ 4.7 แผนภาพการจัดอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงาน.....	46
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมของ Cs-137 จากอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงาน.....	47
รูปที่ 4.9 แผนภาพการจัดอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานที่พัฒนาขึ้น.....	50
รูปที่ 4.10 สเปกตรัมของ Cs-137 จากอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานที่พัฒนาขึ้น.....	50

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของรังสีในการศึกษาวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ได้แก่ การตรวจวิเคราะห์สารกัมมันตรังสี การประยุกต์เทคนิคนิวเคลียร์เพื่อการตรวจวิเคราะห์สารในเชิงปริมาณ และคุณภาพ เช่น เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) และเทคนิคการอาบรังสีนิวตรอน (NAA) เป็นต้น เป็นงานที่มีบทบาทสำคัญ ในงานวิเคราะห์ด้านห้องปฏิบัติการ งานตรวจวิเคราะห์จะให้ผลถูกต้อง และแม่นยำนั้น เครื่องมือและอุปกรณ์นิวเคลียร์จะต้องมีสมรรถนะสูง โดยเฉพาะระบบวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectroscopy system) ซึ่งการจัดกระบวนการทางสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ให้มีความสามารถในการแยกแยะพลังงาน (Energy resolution) สูงเป็นหัวใจสำคัญ ดังนั้นการพัฒนาเครื่องมือนิวเคลียร์สำหรับการวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงาน จึงเน้นที่การแก้ปัญหาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการทำลายความสามารถในการแยกแยะพลังงานของระบบ ได้แก่ สัญญาณรบกวน และการคลาดเคลื่อนจากผลของอุณหภูมิแวดล้อม (Temperature drift) เป็นต้น ปัญหาของสัญญาณรบกวนเป็นปัญหาหลัก เนื่องจากการทำงานของหัววัดรังสีเอง นอกจากจะวัดพลังงานของรังสีเพื่อสร้างสัญญาณ (Signal ; S) แล้ว ยังตอบสนองต่อสัญญาณรบกวน (Noise ; N) แวดล้อมด้วย รวมทั้งกลไกการทำงานของระบบวัดส่วนนี้สามารถกำเนิดสัญญาณรบกวนได้ทั้งสิ้น ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงาน จึงต้องมีกระบวนการทางสัญญาณสำหรับลดสัญญาณรบกวน เพื่อให้ได้ S/N สูง ในระยะแรกนั้นเทคนิคดั้งเดิมใช้กรรมวิธีสัญญาณแบบแอนะล็อก (Analog signal processing) ซึ่งมีการพัฒนากันมาโดยตลอด แต่พบว่ามีความจำกัดดังนี้

- มีความยุ่งยากซับซ้อนในการออกแบบ (Complication)
- ไม่ยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนรูปแบบของวงจรของสัญญาณ (Non-flexibility)
- ความเสถียรของระบบขึ้นกับอุณหภูมิ (Temperature dependent)
- สัญญาณแอนะล็อกถูกรบกวนง่าย (Noise affect)

เมื่อวิวัฒนาการของเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัลเทคโนโลยี และการผลิตวงจรรวม ได้มีการพัฒนาตัวประมวลสัญญาณเชิงเลข (DSP) ขึ้น โครงสร้างและการทำงานใน

ระบบดิจิทัล ทำให้กรรมวิธีสัญญาณยุคใหม่ ขจัดข้อจำกัดของการทำงานในระบบแอนะล็อกได้  
สิ้นเชิง และมีข้อได้เปรียบ ดังนี้

- ก. การออกแบบทำได้โดยการสร้างฟังก์ชันการกรองสัญญาณด้วยโปรแกรม
- ข. มีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนรูปแบบฟังก์ชัน
- ค. ระบบสัญญาณเชิงเลขไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ และสัญญาณรบกวน
- ง. สามารถสร้างวิธีการใช้ให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้สะดวก

จากข้อได้เปรียบของกรรมวิธีสัญญาณเชิงเลข ซึ่งสามารถขจัดปัญหาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการแจกแจงพลังงานของระบบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานรังสีได้ดีกว่ากรรมวิธีดั้งเดิม จึงมีความสนใจที่จะนำอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขมาประยุกต์ในกระบวนการ  
แต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ของอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ เพื่อศึกษา ทดสอบผลการทำงาน  
และประเมินผลของคุณภาพสัญญาณ ตลอดจนเปรียบเทียบการทำงานของกรรมวิธีสัญญาณด้วย  
เทคนิคใหม่ที่พัฒนาขึ้นกับระบบดั้งเดิมที่อยู่บนอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ผลิตจากต่างประเทศ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประยุกต์อุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข (DSP device) สำหรับกระบวนการแต่งรูป  
สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ในอุปกรณ์ขยายสัญญาณชนิดสเปกโตรสโกปี (Spectroscopy amplifier)

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขแทนกระบวนการแต่งรูปสัญญาณพัลส์  
นิวเคลียร์ด้วยเทคนิคแอนะล็อก (Analog) ในอุปกรณ์ขยายสัญญาณสเปกโตรสโกปี
2. พัฒนาโปรแกรมควบคุมการแต่งรูปสัญญาณ เพื่อทดลอง และเปรียบเทียบคุณภาพของ  
รูปสัญญาณพัลส์ที่ได้กับอุปกรณ์ขยายสัญญาณสเปกโตรสโกปี ซึ่งผลิตจากต่างประเทศ ได้แก่  
การตอบสนองของอัตรานับรังสี ผลของความสามารถในการแจกแจงพลังงาน และความเสถียรของ  
ระบบ เป็นต้น

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ค้นคว้าเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาทฤษฎีการประมวลสัญญาณเชิงเลข

3. ศึกษาการทำงาน และโปรแกรมอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขในกระบวนการแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์
4. วิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ของอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ Canberra รุ่น 2011 เพื่อนำไปพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขในกระบวนการแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์
5. ทดสอบ และปรับปรุงคุณภาพการแต่งรูปสัญญาณ เพื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ Canberra รุ่น 2011
6. สรุปผลการวิจัย และเขียนวิทยานิพนธ์

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีการประยุกต์อุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขในกระบวนการแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ชนิดสเปกโตรสโคปีให้มีสมรรถนะสูงขึ้น

### 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปี พ.ศ. 2545 พยุง เดชอยู่ และคณะ [1] ทำวิจัยเรื่องการสร้างตัวกรองความถี่ชนิดแบนด์แคบโดยใช้คาลมานฟิลเตอร์บนตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบ และสร้างตัวกรองเชิงเลขแบบแบนด์แคบโดยใช้คาลมานฟิลเตอร์ ใช้ตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข TMS320C31 ออกแบบตัวกรองความถี่ชนิดแบนด์แคบที่มีจุดศูนย์กลางความถี่ (Center frequency) อยู่ในช่วง 10 Hz ถึง 1.5 kHz การเปลี่ยนแปลงจุดศูนย์กลางความถี่ทำได้โดยการเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของโมเดลชายน์ ที่มีโครงสร้างแบบ Normal form realization ผลการวิจัยพบว่า ตัวกรองเชิงเลขแบบแบนด์แคบสามารถทำงานได้อย่างเที่ยงตรง

2. ปี พ.ศ. 2545 สายน้ำฝน หอมจันทร์ และคณะ [2] ทำวิจัยเรื่องการสร้างตัวกรองเชิงเลขแบบหลายแถบความถี่ผ่าน งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการออกแบบ และสร้างตัวกรองเชิงเลขแบบหลายความถี่ผ่านโดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งโพลและซีโร (Pole and zero) ลงบนวงกลมรัศมี 1 หน่วย ในระนาบแซด โดยแถบความถี่ผ่านจะเกิดขึ้น ณ จุดที่โพลและซีโรอยู่ทับกัน การออกแบบและจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม MATLAB ส่วนการสร้างจริงใช้ตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข TMS320C31 ผลการวิจัยพบว่าการสร้างตัวกรองแถบความถี่ผ่านด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ค่อนข้างง่ายเพราะสมการของระบบหาจากการพล็อตจุดบนวงกลมในระนาบแซด นอกจากนี้ยังสามารถ

นำมาประยุกต์สร้างเป็นตัวกรองที่มีหลายแถบความถี่ผ่านได้ อย่างไรก็ตามการออกแบบด้วยวิธีนี้ยังมีข้อจำกัด เช่น ไม่สามารถกำหนดคุณสมบัติอื่น ๆ ของตัวกรองได้ นอกจากจุดศูนย์กลางความถี่ของแถบความถี่ผ่าน และที่แถบความถี่กว้างไม่สามารถออกแบบให้ผลตอบสนองของทางขนาดมีความสูงชันได้

3. ปี พ.ศ. 2537 Jordanov, V. T., and Knoll, G. F. [3] ทำวิจัยเรื่อง Digital Synthesis of Pulse Shapes in Real Time for High Resolution Radiation Spectroscopy งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการสังเคราะห์เพื่อแต่งสัญญาณพัลส์ที่ใช้วงจรดิจิทัลความเร็วสูง (Fast digital scheme) แทนวิธีการแต่งรูปสัญญาณแอนะล็อก โดยพัฒนาขั้นตอนวิธีเรียกซ้ำ (Recursive algorithms) ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และสามารถทำการแต่งรูปสัญญาณแบบเวลาจริง (Real time) ให้รูปสัญญาณแบบ Trapezoidal และ Triangular ออกมา สำหรับเทคนิคเรียกซ้ำ (Recursive technique) อื่นๆ นำเสนอการสังเคราะห์รูปสัญญาณ Finite cusp-like ผลการทดสอบเบื้องต้นพบข้อดีของการใช้เทคนิคนี้ในระบบสเปกโตรสโคปีที่ทำให้การแจกแจงขนาดพัลส์สูง อัตรานับพัลส์สูง จึงมีประโยชน์ในการแต่งรูปสัญญาณขั้น (Step signal) แบบเวลาจริง และยังเป็นเทคนิคที่ยืดหยุ่นสามารถเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในการแต่งรูปสัญญาณที่ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของหัววัดรังสี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคนิคที่พัฒนาขึ้นสามารถปรับรูปสัญญาณของสัญญาณ Trapezoidal อย่างมีประสิทธิภาพในการลดผลกระทบจากการสูญเสียแอมพลิจูด (Ballistic deficit) จากหัววัดรังสี HPGe ได้สำเร็จ

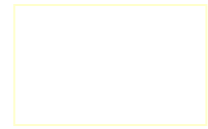
4. ปี พ.ศ. 2538 Simoes, J. B., Simoes, P. C. P. S., and Correia, C. M. B. A. [4] ทำวิจัยเรื่อง Nuclear spectroscopy pulse height analysis based on digital signal processing techniques งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ (Pulse height analysis) ซึ่งใช้ Flash analog-to-digital converter (ADC) เป็นตัวแปลงสัญญาณพัลส์ให้เป็นสัญญาณเชิงเลข โดยประมาณการความสูงของพัลส์บริเวณยอดพัลส์ตัวอย่าง ซึ่งใช้ตัวประมวลสัญญาณเชิงเลขแบบทศนิยมลดด้วยโมเดลของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหนึ่ง ส่วนความไม่เป็นเชิงเส้นแบบ Differential nonlinearity (DNL) จะถูกลดลงด้วยวิธีรวมสัญญาณเข้ากับพัลส์ตัวอย่างก่อนที่จะแปลงให้เป็นข้อมูลเชิงเลข สัญญาณแอนะล็อกทั้งสองจะถูกสร้างผ่าน Flash digital-to-analog converter (DAC) สัญญาณหนึ่งเป็นสัญญาณแอมพลิจูดต่ำใช้เพื่อลดค่าเอนเอียง (Bias) ที่เกิดจากขั้นตอนวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Fitting algorithm) และสัญญาณแอนะล็อกอีกตัวหนึ่งมีแอมพลิจูดสูงใช้เพื่อแก้ไขความไม่เป็นเชิงเส้นของ ADC ด้วยวิธี Gatti's sliding scale



ผลการจำลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ใช้ Flash ADC ขนาด 12 บิต DAC ขนาด 14 บิต และตัวประมวลผลเชิงเลขแบบทศนิยมลอยทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดบริเวณยอดพัลส์ด้วยพีชคณิตโพลีโนเมียล (Polynomial) ซึ่งมีความสามารถในการรวมวิธีสัญญาณได้ประมาณ 10,000 เหตุการณ์ต่อวินาที (even per second) กรณีที่ทดสอบด้วยความสูงของพัลส์คงที่จะทำให้เกิดการกระจายของความสูงของพัลส์เพียง 4 ช่องจาก 8192 ช่อง และให้ DNL ที่ดีมาก ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้ตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลขแบบทศนิยมลอย TMS320C31 ของบริษัท Texas Instrument



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



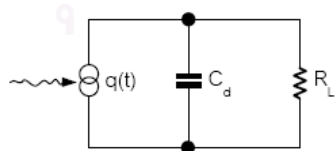
## บทที่ 2

### ทฤษฎีการแต่งรูปสัญญาณพัลส์

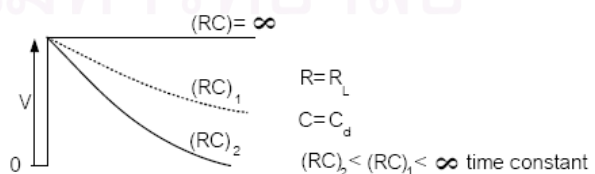
#### 2.1 ระบบจัดกระบวนการสัญญาณพัลส์

ในระบบวิเคราะห์สเปกตรัมนิวเคลียร์ทุกชนิด สัญญาณจากหัววัดรังสีจะต้องผ่านระบบจัดการสัญญาณพัลส์ เพื่อขยายขนาดสัญญาณ (Amplitude) ลดสัญญาณรบกวน รักษาความเสถียรของฐานสัญญาณ และรักษาผลการรวบรวมสัญญาณประจุกจากหัววัดรังสีให้ได้สมบูรณ์ เพื่อรักษาความสามารถในการแจกแจงพลังงานของหัววัดรังสี ดังนั้นระบบจัดกระบวนการสัญญาณพัลส์นอกจากประกอบด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Pulse amplifier) แล้ว จึงต้องมีระบบลดสัญญาณรบกวน และรักษาความเสถียรของฐานสัญญาณขณะวัดปริมาณรังสี ได้แก่ Pole-zero cancellation, Pulse shaper, Baseline restorer และ Pile-up rejection [5] เป็นต้น

ระบบวัดนิวเคลียร์ส่วนหน้าประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ เริ่มจาก หัววัดรังสี แหล่งจ่ายไบแอส และภาคขยายส่วนหน้า การกำเนิดสัญญาณพัลส์หลังการถ่ายโอนพลังงานของรังสีในหัววัด นอกจากจะได้สัญญาณอิมพัลส์จากปริมาณกลุ่มประจุดับปลัน (Burst of charge) แล้วกระบวนการรวบรวมประจุ และพารามิเตอร์ประกอบของหัววัดรังสีจะก่อให้เกิดสัญญาณรูปเอกซ์โพเนนเชียลสลาย ( $Ve^{-t/\tau}$ ) ดังรูปที่ 2.1 สัญญาณขนาดเล็กจากหัววัดรังสีจำเป็นต้องมีการปรับสภาพสัญญาณผ่านภาคขยายส่วนหน้า ซึ่งองค์ประกอบรวมดังกล่าวจะต้องพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนจากธรรมชาติ การทำงานของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในภาคขยาย หัววัดรังสี และการรบกวนของสภาพแวดล้อม ที่ทำให้เกิดรูปของแหล่งกำเนิดสัญญาณรูปแบบสัปดาห์ (Voltage noise) และรูปแบบกระแส (Current noise) ซึ่งแฝงอยู่ในการกำเนิดสัญญาณพัลส์จากหัววัดรังสี ดังแสดงสมมูลของวงจรในรูปที่ 2.2 จึงทำให้สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่กำเนิดจากหัววัดรังสีมีสัญญาณรบกวนปะปนอยู่เสมอ

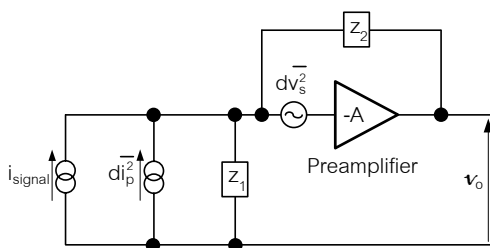


ก. วงจรสมมูลของหัววัดรังสี



ข. รูปสัญญาณพัลส์จากวงจรสมมูล

รูปที่ 2.1 การทำงานของหัววัดรังสี



รูปที่ 2.2 สัญญาณรบกวนแฉงที่เกิดร่วมกับสัญญาณพัลส์ในระบบวัดส่วนหน้า [5]

จากสมมูลของวงจรในระบบวัดส่วนหน้าในรูปที่ 2.2 สัญญาณรบกวนจากแหล่งกำเนิดทั้งรูปสี่ก้า และกระแสที่มีความถี่กระจายในย่านกว้าง มักจะพิจารณาในรูปของสเปกตรัมเดนซิตี (Spectral density) ของสัญญาณรบกวน ซึ่งสามารถเขียนสมการในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนได้เป็น

$$F(\omega) = a^2 + \frac{b^2}{\omega^2} + \frac{c^2}{\omega} \dots\dots\dots(2.1)$$

- เมื่อ
- a แทนเทอมของ Voltage noise ซึ่งเกิดจากทรานซิสเตอร์ตัวแรกของวงจรขยาย
  - b แทนเทอมของ Current noise ซึ่งเกิดจากหัววัดรังสี และชิ้นส่วนในวงจร
  - c แทนเทอมของ Flicker noise ซึ่งเกิดจากอัตราขยายสัญญาณของวงจรขยาย

การลดสัญญาณรบกวนเป็นหัวใจสำคัญของระบบจัดกระบวนการสัญญาณ เพื่อสร้างคุณภาพของสัญญาณพัลส์ให้มี S/N สูง อุปกรณ์ในการลดสัญญาณรบกวน คือ วงจรกรองสัญญาณรบกวน ซึ่งทำหน้าที่จำกัดย่านตอบสนองความถี่ของสัญญาณ การกรองย่านความถี่มีผลให้รูปสัญญาณพัลส์ที่ผ่านอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์ส่วนหน้าสูญเสียองค์ประกอบรูปคลื่น ยังผลให้รูปสัญญาณเปลี่ยนแปลงไป แต่ยังคงรักษาขนาดของอิมพัลส์ (Impulse) ซึ่งเป็นรายละเอียดของผลการถ่ายโอนพลังงานในหัววัดรังสีไว้ จึงมักเรียกระบบการลดสัญญาณรบกวนนี้ว่า การแต่งรูปสัญญาณ (Signal wave shaping) สำหรับรูปแบบของวงจรแต่งรูปสัญญาณแบบแอนะล็อกที่ใช้ในระบบวัดนิวเคลียร์มีหลายรูปแบบ เช่น Triangular, Gaussian และ Trapezoidal เป็นต้น แต่ละรูปแบบได้จากเลือกวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการลดสัญญาณรบกวนให้ต่ำลงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งวงจรกรองแต่ละรูปแบบมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังข้อมูลในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของการแต่งรูปสัญญาณแบบต่าง ๆ [5]

	Definition of $\tau$	$\tau_{opt}$	F	RMS flicker noise (arbitrary scale)
Infinite cusp	-	-	1.00	-
Triangular	Total duration = $\tau$	$2\sqrt{3} \tau_c$	1.075	1.665
DL-RC	Total delay time = $1.036\tau$ RC time constant = $\tau$	$1.29 \tau_c$	1.098	1.626
Gaussian			1.120	1.773
Semi-gaussian	CR time constant = $\tau$	0.378	1.165	1.810
CR - (RC) <sup>4</sup>	RC time constant = $\tau$	$\tau_c$		
CR - (RC) <sup>2</sup>	CR time constant = $1.06\tau$ RC time constant = $\tau$	$0.57 \tau_c$	1.215	1.847
CR - RC	CR time constant = $\tau$ RC time constant = $\tau$	$\tau_c$	1.359	1.992
(CR) <sup>2</sup> - (RC) <sup>4</sup>			1.380	
(CR) <sup>2</sup> - RC	CR time constant = $1.38\tau$ RC time constant = $\tau$	$1.40 \tau_c$	1.410	-

หมายเหตุ Definition of  $\tau$  คือ นิยามของ Shaping time

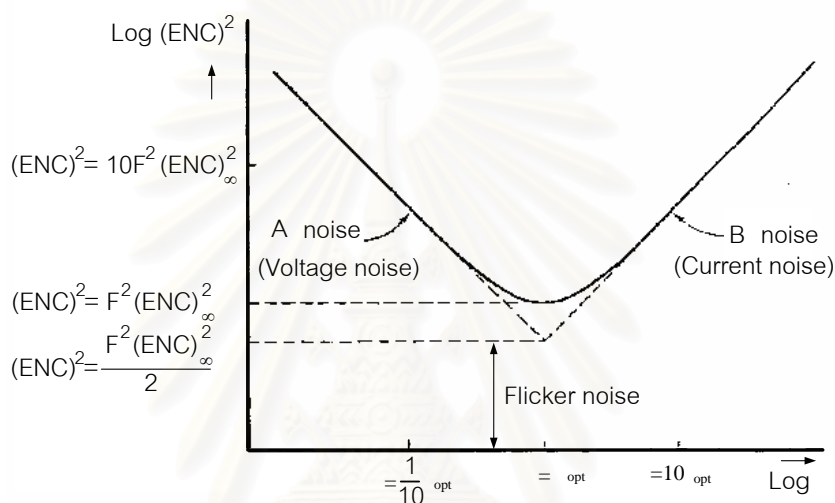
$\tau_{opt}$  คือ Optimum shaping time

F คือ The factor of demerit

RMS flicker noise คือ The flicker noise component on an arbitrary scale

ในทางปฏิบัติจะเลือกชนิดของการแต่งรูปสัญญาณ และตำแหน่งของบริเวณตอบสนองของความถี่สูงสุด (Corner frequency ;  $\omega_c$ ) หรือ ตำแหน่งของการตอบสนองเชิงเวลา (Shaping time ;  $\tau=1/\omega_c$ ) ให้เหมาะสมกับระบบที่ใช้งาน เพื่อลดสัญญาณรบกวนทั้งในรูปแบบของแรงดัน และกระแสไฟฟ้าให้ลดต่ำสุดเท่าที่จะทำได้ ดังเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณรบกวนกับ  $\tau$  ในรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนในรูปแบบของ Equivalent noise charge ; ENC [5] จะลดต่ำสุดเมื่อแปรเปลี่ยนตำแหน่ง  $\tau$  ไปที่ค่า  $\tau_{opt}$  ซึ่งบางครั้งจำเป็นต้องเปลี่ยนรูปแบบของตัวกรอง เพื่อแต่งรูปสัญญาณเฉพาะ แต่การเลือกชนิดของวงจรแต่งรูปสัญญาณดังกล่าว ระบบแอนะล็อก

ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้สะดวก จำเป็นต้องสร้างวงจรของตัวกรองใหม่ จึงขาดความยืดหยุ่น และธรรมชาติของการทำงานยังขึ้นกับผลของอุณหภูมิแวดล้อม ปัจจุบันด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีดิจิทัล และการใช้เทคนิคการแปลงฟังก์ชันของวงจรแบบสัญญาณในเชิงคณิตศาสตร์ ทำให้กระบวนการแปลงสัญญาณ สามารถใช้กรรมวิธีสัญญาณเชิงเลข สร้างฟังก์ชันในรูปแบบ และปรับเปลี่ยน Shaping time ตามต้องการได้ง่าย มีความยืดหยุ่น นอกจากนี้การทำงานของระบบดิจิทัลยังไม่ขึ้นกับอุณหภูมิด้วย



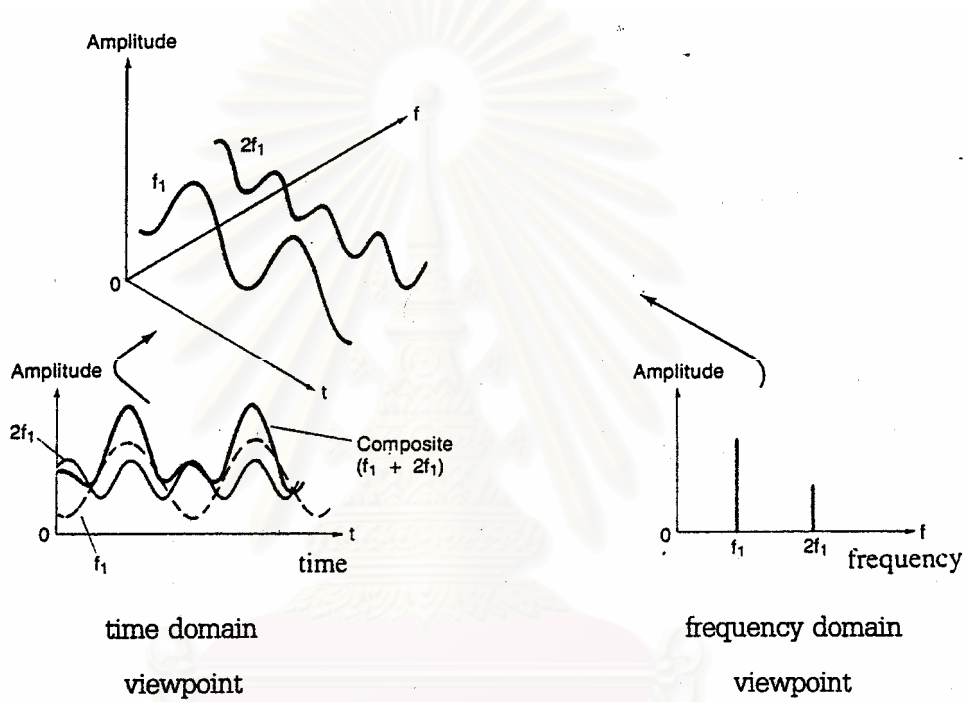
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณรบกวน (ENC) กับ Shaping time [5]

## 2.2 การแปลงสัญญาณ

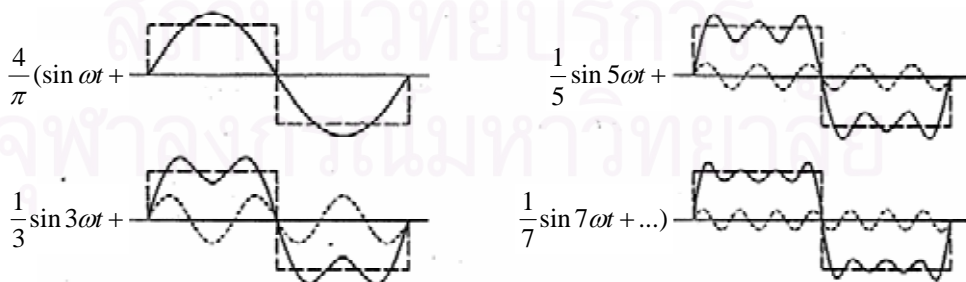
### 2.2.1 องค์ประกอบของสัญญาณ

สัญญาณจากการวัดรังสีหรือสัญญาณใด ๆ ก็ตาม จะมีลักษณะของรูปสัญญาณ (Waveform) แตกต่างกันไป ทั้งนี้เนื่องจากธรรมชาติของสัญญาณเหล่านี้แบ่งไว้ด้วยองค์ประกอบย่อยของรูปคลื่นสัญญาณไซน์ (Sine wave) หรือผลรวมของอนุกรมคลื่นความถี่ฮาร์มอนิก รูปคลื่นไซน์ และโคไซน์ (Cosine wave) ที่มีขนาด และสัดส่วนแตกต่างกันไป ตามทฤษฎีของฟูรีเยร์ (Fourier's theorem) ดังการแสดงความสัมพันธ์องค์ประกอบในโดเมนเวลา (Time domain) และโดเมนความถี่ (Frequency domain) ของสัญญาณบนแกนกราฟสามมิติในรูปที่ 2.4 องค์ประกอบของสัญญาณในโดเมนความถี่แจกแจงได้เป็นสเปกตรัมของความถี่ และรูปสัญญาณบนโดเมนเวลาเกิดจากผลรวมของแอมพลิจูดจุดต่อจุดของความถี่ฮาร์มอนิก [6]

สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณตัวอย่างที่แสดงผลรวมองค์ประกอบของคลื่นเป็นอย่างดี ดังในรูปที่ 2.5 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมสามารถสังเคราะห์ได้จากรูปคลื่นไซน์ความถี่พื้นฐาน ( $\sin \omega t$ ) รวมกับอนุกรมขององค์ประกอบย่อยรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ฮาร์มอนิกเลขคี่ ( $\sin 3\omega t, \sin 5\omega t, \sin 7\omega t, \dots$ ) ตามสัดส่วนของขนาดสัญญาณ รูปคลื่นจะค่อยๆ ปรับรูปเป็นสัญญาณ รูปเหลี่ยม เมื่อสัญญาณองค์ประกอบย่อยเพิ่มจำนวนขึ้น [6]

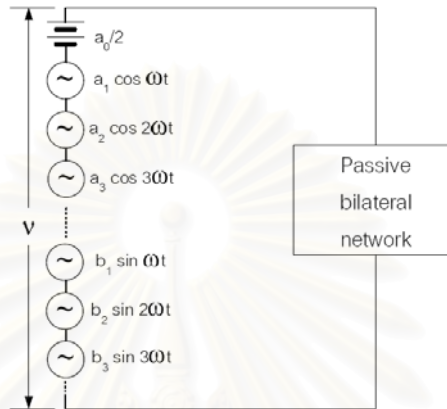


รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของรูปสัญญาณจากคลื่นไซน์ตามทฤษฎีของฟูเรียร์ [6]



รูปที่ 2.5 การสังเคราะห์รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจากผลรวมของอนุกรมรูปคลื่นไซน์ [6]

การสังเคราะห์รูปคลื่นดังกล่าวให้เลียนแบบสภาพธรรมชาติของคลื่นเปรียบเสมือนการนำแหล่งกำเนิดสัญญาณรูปซายน์ที่มีสัดส่วนของขนาดสัญญาณ และความถี่สัญญาณที่เหมาะสมมาต่ออันดับกัน ดังรูปที่ 2.6

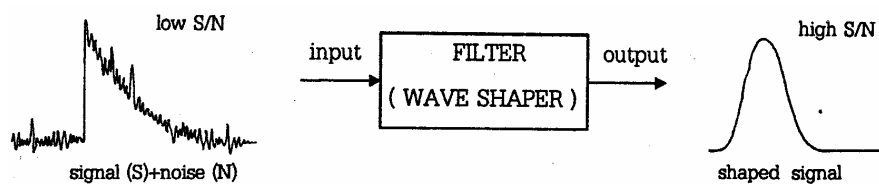


รูปที่ 2.6 การสังเคราะห์รูปคลื่นด้วยแหล่งกำเนิดสัญญาณ [6]

ในทางกลับกันถ้ารูปคลื่นที่เปลี่ยนแปลงต้องสูญเสียองค์ประกอบของความถี่ฮาร์มอนิกส่วนใดส่วนหนึ่งไปก็เท่ากับเป็นการหยุดแหล่งกำเนิดสัญญาณของการสร้างรูปคลื่นที่สมบูรณ์ออกไป มีผลให้รูปคลื่นเปลี่ยนรูปไปจากเดิม การทำให้ความถี่องค์ประกอบของรูปคลื่นใดๆ สูญเสียไปหมายถึง “การกรองความถี่ (Frequency filter)” สิ่งที่เกิดจากผลของการจงใจกรองความถี่องค์ประกอบเฉพาะส่วนออกไป และส่งผลให้สัญญาณเปลี่ยนรูปไปจึงเรียกว่า “การแต่งรูปสัญญาณ” ซึ่งในกระบวนการทางสัญญาณจำเป็นต้องมีการแต่งรูปสัญญาณ เพื่อให้ได้ S/N สูง

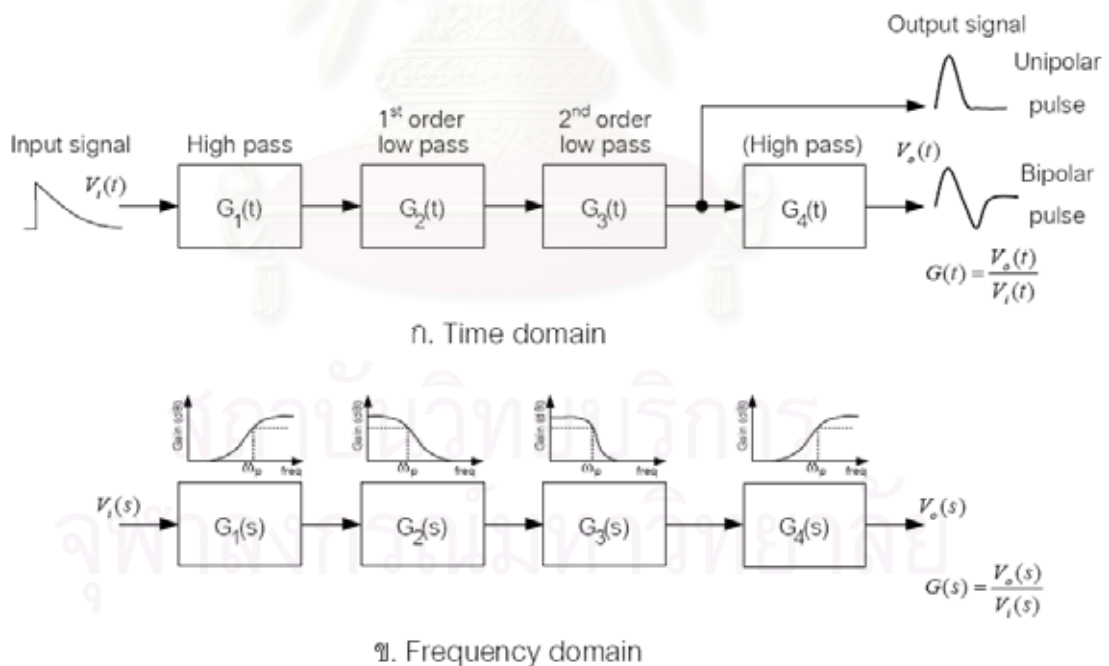
### 2.2.2 วิธีการแต่งรูปสัญญาณ

เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดจะรวมอยู่กับสัญญาณรบกวนเสมอ สัญญาณรบกวนนี้จะทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อนไป จึงจำเป็นต้องลดสัญญาณรบกวนด้วยการกรองความถี่ฮาร์มอนิกที่เป็นองค์ประกอบของสัญญาณรบกวนออกไป หรือเป็นการแต่งรูปสัญญาณให้ S/N สูง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การปรับสัญญาณให้มี S/N สูงในกระบวนการสัญญาณ [6]

การแต่งรูปสัญญาณด้วยวิธีดั้งเดิมเป็นการจัดวงจรกรองต่อเนื่อง (Cascade) เพื่อจำกัดย่านตอบสนองของความถี่ให้แคบ โดยเริ่มจากตัวกรอง  $G_1(t)$  ที่ยอมให้ความถี่สูงผ่าน (High pass filter) ตามด้วยตัวกรอง  $G_2(t)$  และ  $G_3(t)$  ที่ยอมให้ความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) ที่มีอันดับ (Order) ของการกรองต่างลำดับกัน แต่มีความถี่ลื่นสุดตรงกันดังแผนภาพในรูปที่ 2.8 ก. รูปสัญญาณจากส่วนนี้จะมีรูปแบบเป็น Unipolar pulse หรือ เป็น Pulsating DC signal การเพิ่มตัวกรอง  $G_4(t)$  ที่ยอมให้ความถี่สูงผ่านอีก 1 ชุด รูปสัญญาณจะมีรูปแบบเป็น Bipolar pulse หรือ เป็น AC signal ซึ่งแสดงในโดเมนเวลา ในการวิเคราะห์การทำงานของวงจรไฟฟ้าจะใช้เทคนิคการถ่ายโอนฟังก์ชันจากโดเมนเวลามาอยู่ในโดเมนความถี่ ทำให้ได้ฟังก์ชันของตัวกรองในโดเมนความถี่เป็น  $G_1(s)$ ,  $G_2(s)$ ,  $G_3(s)$  และ  $G_4(s)$  ที่มีฟังก์ชันรวมของวงจร  $G(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$  ดังในรูปที่ 2.8 ข. และสามารถแปลงรูปฟังก์ชันในโดเมนความถี่กลับสู่โดเมนเวลาได้ด้วยการแปลงกลับฟังก์ชัน (Inverse function) เมื่อพิจารณาจากกระบวนการวิธีทางคณิตศาสตร์จะเห็นว่าสามารถสร้างฟังก์ชันตัวกรองได้ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เพื่อแปลงรูปสัญญาณทางเข้าและออกที่ต้องการให้อยู่ในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.8 แผนภาพการจัดตัวกรองความถี่เพื่อแต่งรูปสัญญาณ



## 2.3 การประมวลสัญญาณเชิงเลข

ในอดีตนิยมการประมวลสัญญาณในรูปแบบสัญญาณแอนะล็อกซึ่งมีข้อดีคือ ราคาถูก และออกแบบง่าย ไม่ต้องพึ่งการทำงานของคอมพิวเตอร์ แต่มีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพ และความแม่นยำในการประมวลผล ต่อมาได้มีการพัฒนาระบบประมวลสัญญาณเชิงเลขหรือการประมวลสัญญาณดิจิทัลขึ้นมา เนื่องจากระบบการประมวลสัญญาณเชิงเลขให้ความแม่นยำในการคำนวณ และประสิทธิภาพดีกว่าระบบการประมวลสัญญาณแอนะล็อก จึงมีการนำระบบนี้ไปใช้กันอย่างกว้างขวาง และได้เริ่มเข้ามาทดแทนระบบการประมวลผลแบบแอนะล็อกกันมากขึ้น

### 2.3.1 ลักษณะของสัญญาณ

สัญญาณส่วนใหญ่ในทางปฏิบัติเป็นสัญญาณเวลาดังนั้นเราจึงแบ่งสัญญาณตามลักษณะจำเพาะของตัวแปรเวลา และค่าของสัญญาณ [7] ได้ดังนี้

2.3.1.1 สัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณที่มีรูปคลื่นแปรค่าไปอย่างต่อเนื่องกับพิสัยเวลา โดยแอมพลิจูดของสัญญาณก็มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องไปด้วย เช่น สัญญาณชายนร์ สัญญาณชั่วขณะ และสัญญาณแรนดอม (Random) เป็นต้น

2.3.1.2 สัญญาณเชิงเวลาต่อเนื่อง (Continuous data signal) เป็นสัญญาณที่มีรูปคลื่นแปรค่าไปอย่างต่อเนื่องกับพิสัยเวลา แต่แอมพลิจูดของสัญญาณไม่ได้เจาะจงว่าต้องแปรค่าไปอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าสัญญาณแอนะล็อกเป็นชนิดหนึ่งของสัญญาณเชิงเวลาต่อเนื่อง

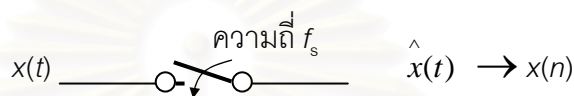
2.3.1.3 สัญญาณเชิงเวลาเต็มหน่วย (Discrete time signal) เป็นสัญญาณที่ค่าของฟังก์ชันกำหนดเฉพาะเซตของเวลาที่แน่นอนอันหนึ่งเท่านั้นซึ่งแบ่งเป็น 2 แบบคือ

2.3.1.3.1 สัญญาณเชิงข้อมูลเต็มหน่วย (Discrete time signal) เป็นสัญญาณที่มีแอมพลิจูดเท่ากับสัญญาณแอนะล็อกที่เป็นต้นแบบในการชักตัวอย่างสัญญาณ (Sampling)

2.3.1.3.2 สัญญาณเชิงเลข (Digital signal) เป็นสัญญาณที่มีแอมพลิจูดเป็นค่าที่แน่นอน คือ 0 และ 1 เช่น สัญญาณที่ออกจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณเชิงเลข (A/D)

### 2.3.2 ทฤษฎีการซัดตัวอย่างสัญญาณ

แนวคิดในการซัดตัวอย่างสัญญาณ คือ การนำสัญญาณแบบต่อเนื่องมาผ่านสวิตช์อุดมคติที่ปิดวงจร ณ เวลา...,  $-2T$ ,  $-T$ ,  $0$ ,  $T$ ,  $2T$ ,  $3T$ , ... โดยมีความถี่ในการเปิด และปิดวงจรเท่ากับ  $f_s$  ครั้งต่อวินาที หรือมีคาบเวลาการซัดตัวอย่าง  $T = 1/f_s$  ดังรูปที่ 2.9 เรียกสัญญาณเอาต์พุตว่า  $\hat{x}(t)$



รูปที่ 2.9 การซัดตัวอย่างด้วยสวิตช์อุดมคติ [7]

ในการกำหนดค่าความถี่ในการซัดตัวอย่างจะใช้ทฤษฎีการซัดตัวอย่างสัญญาณ (Sampling theory) ถ้าสัญญาณที่ต้องการซัดตัวอย่างมีความถี่สูงสุดเท่ากับ  $f_{max}$  เพื่อให้การซัดตัวอย่างสัญญาณได้ข้อมูลซึ่งเป็นตัวแทนที่ถูกต้องของสัญญาณนี้ ความถี่ในการซัดตัวอย่างจะต้องมีค่ามากกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุด [7] หรือ

$$f_s > 2f_{max} \dots\dots\dots(2.2)$$

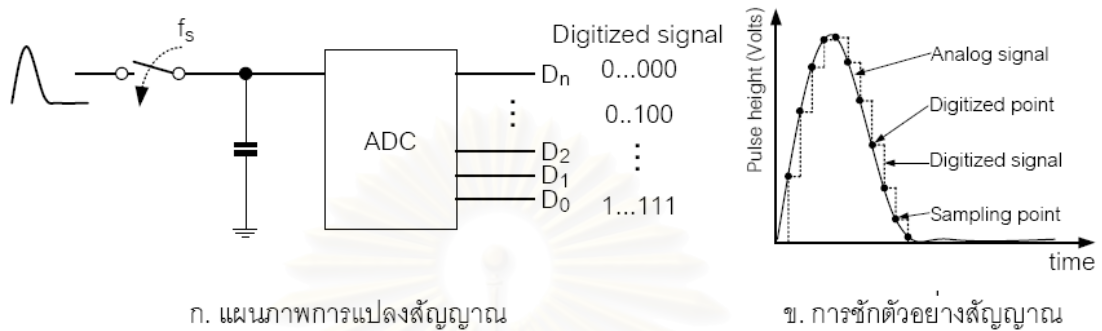
ความถี่  $2f_{max}$  นี้ มีชื่อว่า ความถี่ไนควิสต์ (Nyquist frequency) หรืออัตราไนควิสต์ [7]

### 2.3.3 เดตา แอควิซิชัน

ปัจจุบันการประยุกต์ระบบดิจิทัลในระบบการวัด (Measuring system) ของเครื่องมือวิทยาศาสตร์ยุคใหม่มีความสำคัญเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่ต้องเข้าใจในการเข้าถึงข้อมูลสัญญาณแอนะล็อก และอุปกรณ์แปลงข้อมูลในระบบนี้ สำหรับกระบวนการแปลงข้อมูลสัญญาณจากตัวรับรู้ (Sensor) ซึ่งในงานวัดรังสี คือ หัววัดรังสี เพื่อป้อนเข้าระบบไมโครโพรเซสเซอร์หรือคอมพิวเตอร์เรียกว่า เดตา แอควิซิชัน (Data acquisition)

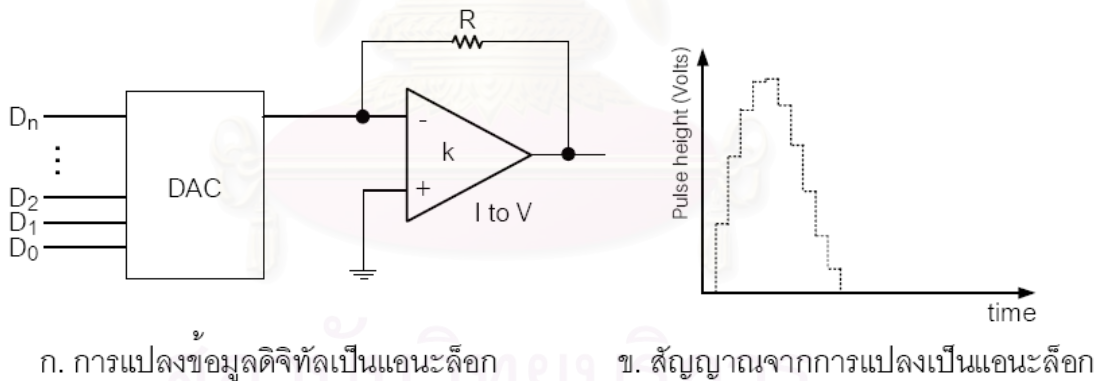
กระบวนการได้มาซึ่งข้อมูลจากสัญญาณแอนะล็อก เพื่อนำเข้าสู่ระบบดิจิทัลนั้น จะต้องอาศัยการแปลงข้อมูลแอนะล็อกเป็นปริมาณดิจิทัลก่อน ด้วยการประเมินค่าเชิงตัวเลขของสัญญาณจากการซัดตัวอย่าง (Sampling) อย่างต่อเนื่อง ซึ่งอัตราการซัดตัวอย่าง (Sampling rate) จะขึ้นกับความสามารถของอุปกรณ์แปลงข้อมูล หากอัตราการซัดตัวอย่างสูงจะยังผลให้ได้จุดซัด

ข้อมูลมีความต่อเนื่องมาก สัญญาณที่ได้จากการแปลงเป็นดิจิทัลนี้เป็นข้อมูลตัวแทนของสัญญาณแอนะล็อก เรียกว่า “สัญญาณจากการแปลงเป็นดิจิทัล (Digitized signal)” ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลจะใช้ตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog-to-digital converter ; ADC) ส่วนการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกจะใช้ตัวแปลงดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (Digital-to-analog converter ; DAC)



รูปที่ 2.11 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก

การประมวลผลสัญญาณเชิงเลขสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. การกรองเชิงเลข (Digital filtering) วิธีประมวลผลการกรองเชิงเลขจะมีอยู่หลายประเภท การกรองแต่ละประเภทจะมีพื้นฐานมาจากตัวกรองสองชนิด คือ ตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลข (Non-recursive digital filter) และตัวกรองป้อนกลับเชิงเลข (Recursive digital filter) [8]

2. การแปลงเชิงเลข (Digital transform) การแปลงเชิงเลขจะมีหลายรูปแบบด้วยกัน แต่พื้นฐานของการแปลงเชิงเลขโดยส่วนมากคือ การแปลงฟูเรียร์เต็มหน่วย (Discrete Fourier transform) และการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier transform) [8] หรือใช้การแปลงลาปลาซ (Laplace transform) ซึ่งนิยมใช้ในงานวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า เนื่องจากการแปลงเข้าสู่การคำนวณด้วยพีชคณิต

## 2.4 ฟังก์ชันถ่ายโอน

เป็นที่ทราบกันดีว่าการวิเคราะห์ระบบทางฟิสิกส์นั้น สามารถจำลองระบบด้วยสมการคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับวงจรสมมูลไฟฟ้า เพื่อหาความสัมพันธ์ของระบบในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) และนำเอาไปใช้ทดสอบหาเสถียรภาพของระบบหรือหาผลตอบสนองของระบบ โดยปกติจะใช้สมการเชิงอนุพันธ์อธิบายระบบทางฟิสิกส์ (Physical system) ส่วนผลตอบสนองของระบบคำนวณโดยใช้เทคนิคการอินทิเกรตสมการเชิงอนุพันธ์ อย่างไรก็ตามวิธีการเช่นนี้อาจจะยุ่งยากสำหรับระบบที่ซับซ้อนมาก ๆ ด้วยเหตุนี้จึงแปลงสมการเชิงอนุพันธ์เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน โดยแปลงฟังก์ชันในโดเมนเวลาไปเป็นโดเมนความถี่ ฟังก์ชันถ่ายโอนจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของสมการเชิงเส้นที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา ในบางครั้งอาจนำไปใช้กับระบบควบคุมแบบไม่เชิงเส้น [9]

### 2.4.1 นิยามของฟังก์ชันถ่ายโอน

ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นอัตราส่วนของสมการทางด้านเอาต์พุต และสมการทางด้านอินพุต ที่ถูกแปลงโดยลาปลาซภายใต้เงื่อนไขค่าเริ่มต้น (Initial condition) เป็นศูนย์ โดยเริ่มพิจารณาสมการเชิงอนุพันธ์ของระบบแบบไม่แปรเปลี่ยนตามเวลาดังนี้

$$a_0 \frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dy}{dt} + a_n y = b_0 \frac{d^m x}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + b_{m-1} \frac{dx}{dt} + b_m x \quad (n \geq m)$$

.....(2.3)

สมการที่ (2.3) เป็นฟังก์ชันในโดเมนเวลา  $f(t)$  เมื่อ  $t > 0$  จะแปลงเป็นโดเมนความถี่ต้องใช้การแปลงลาปลาซ โดยการคูณฟังก์ชัน  $f(t)$  ด้วย  $e^{-st}$  จากนั้นอินทิเกรตภายใต้ขอบเขตเวลาจาก 0 ถึง  $\infty$  จะได้คำตอบที่อยู่ในโดเมนความถี่ ดังสมการที่ 2.4

$$F(s) = \mathcal{L} \{f(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

กำหนดให้  $y$  เป็นเอาต์พุตของระบบ และ  $x$  เป็นอินพุตของระบบ ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบจากสมการที่ (2.3) หาโดยการแปลงลาปลาซด้วยนิยามในสมการที่ (2.4) ภายใต้เงื่อนไขค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์ จะได้

$$\mathcal{L}\left\{a_0 \frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dy}{dt} + a_n y\right\} = \mathcal{L}\left\{b_0 \frac{d^m x}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + b_{m-1} \frac{dx}{dt} + b_m x\right\} \dots\dots\dots(2.5)$$

และ

$$Y(s)[a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n] = X(s)[b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m] \dots(2.6)$$

จะได้ความสัมพันธ์ของสมการเอาต์พุตกับสมการอินพุตหรือฟังก์ชันถ่ายโอนดังสมการที่ (2.7)

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n} \dots\dots\dots(2.7)$$

### 2.4.2 ขั้นตอนการหาฟังก์ชันถ่ายโอน

2.4.1 เขียนสมการเชิงอนุพันธ์แทนอุปกรณ์ในระบบ

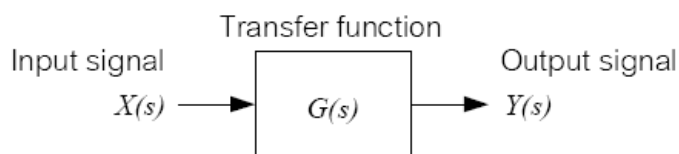
2.4.2 แปลงลาปลาซจากสมการเชิงอนุพันธ์ภายใต้เงื่อนไขค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์

2.4.3 คำนวณหาอัตราส่วนระหว่างสมการทางเอาต์พุตที่แปลงลาปลาซกับสมการทางอินพุตที่แปลงลาปลาซ

รูปแบบทั่วไปของฟังก์ชันถ่ายโอนเขียนได้ดังนี้

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \dots\dots\dots(2.8)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนจะมีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แผนภาพความสัมพันธ์ของฟังก์ชันถ่ายโอน

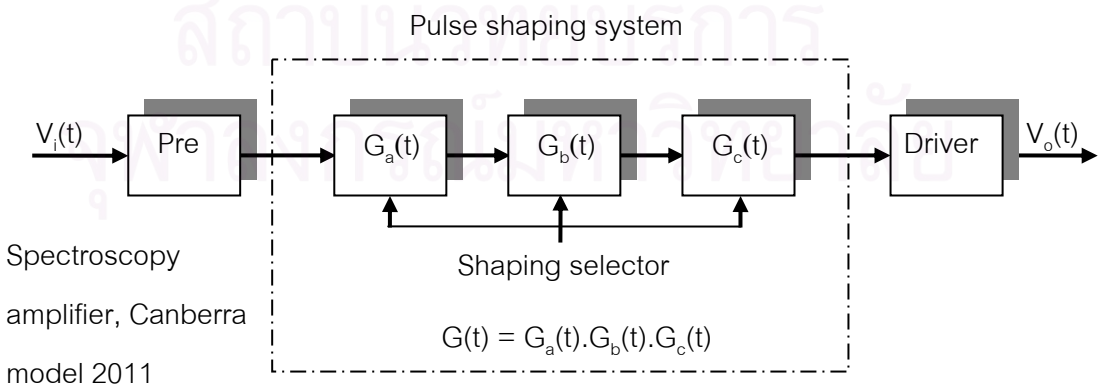
### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเพื่อประยุกต์อุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขสำหรับกระบวนการแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ในอุปกรณ์ขยายสัญญาณสเปกโตรสโคปีนี้ เลือกวิเคราะห์วงจรกรองแบบแอนะล็อกของอุปกรณ์ขยายสัญญาณสเปกโตรสโคปีของ Canberra รุ่น 2011 เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองความถี่ พัฒนาโปรแกรม ออกแบบ และสร้างตัวกรองสัญญาณที่ทำงานด้วยกระบวนการวิธีประมวลสัญญาณเชิงเลขที่สอดคล้องกับวงจรตัวกรองที่อ้างถึงตามวงจรของอุปกรณ์ขยายสัญญาณในภาคผนวก ค. ในการดำเนินวิจัยจะศึกษาอุปกรณ์ประมวลสัญญาณ 2 ชนิด คือ ตัวประมวลสัญญาณ TMS320C31 และแผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition กับโปรแกรม MATLAB โดยทดสอบคุณลักษณะของการตอบสนองความถี่ และการตอบสนองสัญญาณขั้นบันได เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของฟังก์ชันถ่ายโอนที่วิเคราะห์ได้

#### 3.1 การวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอน

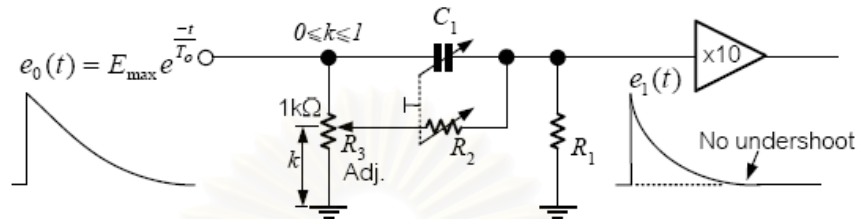
การวิเคราะห์วงจรของอุปกรณ์ขยายสัญญาณของ Canberra รุ่น 2011 เฉพาะส่วนของวงจรแต่งรูปสัญญาณ พบว่าระบบแต่งรูปสัญญาณภายในมีตัวกรอง 3 ฟังก์ชันต่อเนื่องลำดับกัน ประกอบด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่านพร้อมการลบขั้วโพลและซีโร (High-pass filter with pole/zero cancellation) ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง ( $2^{\text{nd}}$  order low-pass filter) และตัวกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง ( $1^{\text{st}}$  order low-pass filter) ดังแผนภาพรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพระบบแต่งรูปสัญญาณของอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์

### 3.1.1 การวิเคราะห์ตัวกรองความถี่สูงผ่านพร้อมการลบดั่งโพลและซีโร

วงจรรวมของอุปกรณ์ขยายสัญญาณในส่วนแรก  $G_a(t)$  มีรูปแบบดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวกรองความถี่สูงผ่านพร้อมการลบดั่งโพลและซีโร  $G_a(t)$

จากวงจรสามารถวิเคราะห์หาค่าเพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนได้จากสัญญาณอินพุต คุณฟังก์ชันของวงจรรวมความถี่สูงผ่านพร้อมการลบดั่งโพลและซีโรมีค่าเท่ากับสัญญาณเอาต์พุตในโดเมนเวลา [10] เขียนเป็นรูปสมการดังนี้

$$E_{\max} e^{-\frac{t}{T_0}} \times G(t) = e_1(t) \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

นำสมการที่ (3.1) มาแปลงลาปลาซจะได้

$$E_{\max} \frac{1}{s + \frac{1}{T_0}} \times \frac{s + \frac{k}{R_2 C_2}}{s + \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 C_1}} = E_1(s) \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

จากสมการที่ 3.2 การลบดั่งโพลและซีโรจะต้องปรับให้เทอม  $s + \frac{1}{T_0}$  เท่ากับเทอม  $s + \frac{k}{R_2 C_1}$  แต่ในขั้นตอนนี้จะยังไม่นำเทอม  $s + \frac{1}{T_0}$  มาคิดเพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองสัญญาณ  $G_a(s)$  จากความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุต และเอาต์พุต จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$G_a(s) = \frac{E_1(s)}{E_{\max}} = \frac{s + \frac{k}{R_2 C_1}}{s + \frac{1}{R_p C_1}} \Bigg|_{R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = R_1 // R_2} \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

ในวงจรของอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ตำแหน่งสวิทช์เลือก Shaping time ต่าง ๆ พบว่าค่าของตัวเก็บประจุ และตัวต้านทานในวงจรกรอง  $G_a(t)$  มีค่าดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าของตัวเก็บประจุและตัวต้านทานที่ Shaping time ต่าง ๆ ของตัวกรอง  $G_a(t)$

Parameters	Shaping time			
	0.5 $\mu$ s	1.5 $\mu$ s	3.0 $\mu$ s	4.0 $\mu$ s
$R_1$	909 $\Omega$	909 $\Omega$	909 $\Omega$	909 $\Omega$
$R_2$	39,200 $\Omega$	15,667.99387 $\Omega$	6,951.521551 $\Omega$	5,489.45111 $\Omega$
$C_1$	680 pF	1,680 pF	3,680 pF	4,680 pF

จากสมการที่ (3.3) กำหนดให้ค่าสัดส่วน  $k$  ซึ่งเกิดจากการปรับค่าของตัวต้านทาน  $R_3$  เพื่อการลบดั่งโพลและซีโรมีค่าเป็น  $A$  ก่อน เมื่อถึงขั้นทดลองโปรแกรมแล้วจึงจะแทนค่าที่เหมาะสม จากนั้นแทนค่า  $R_1$ ,  $R_2$  และ  $C_1$  จากตารางที่ 3.1 ลงสมการที่ (3.3) พร้อมคูณอัตราขยาย 10 เท่า จะได้ฟังก์ชันตัวกรองที่ Shaping time ต่าง ๆ ดังนี้

$$G_1(s) = 10 \times \frac{s + A}{s + 1,655,323.846} \quad @ \tau = 0.5 \mu\text{s}$$

$$G_4(s) = 10 \times \frac{s + A}{s + 692,818.0901} \quad @ \tau = 1.5 \mu\text{s}$$

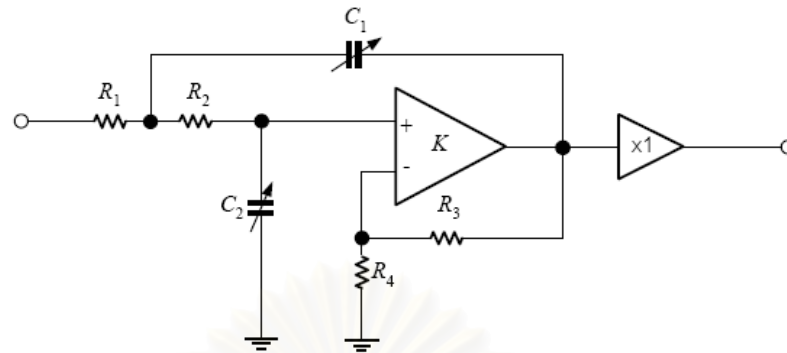
$$G_7(s) = 10 \times \frac{s + A}{s + 338,033.5354} \quad @ \tau = 3.0 \mu\text{s}$$

$$G_{10}(s) = 10 \times \frac{s + A}{s + 273,990.9373} \quad @ \tau = 4.0 \mu\text{s}$$

### 3.1.2 การวิเคราะห์ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง

วงจรตัวกรอง  $G_b(t)$  มีรูปแบบวงจรในรูปที่ 3.3 เป็นตัวกรองแบบบัตเตอร์เวิร์ท (Butterworth) อันดับสอง





รูปที่ 3.3 ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง  $G_b(t)$

ในวงจรอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ตำแหน่งสวิทช์เลือก Shaping time ต่าง ๆ พบว่าค่าของตัวเก็บประจุ และตัวต้านทานในวงจรกรอง  $G_b(t)$  มีค่าดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าของตัวเก็บประจุและตัวต้านทานที่ Shaping time ต่าง ๆ ของตัวกรอง  $G_b(t)$

Parameters	Shaping time			
	0.5 $\mu$ s	1.5 $\mu$ s	3.0 $\mu$ s	4.0 $\mu$ s
$R_1$	1.78 k $\Omega$	1.78 k $\Omega$	1.78 k $\Omega$	1.78 k $\Omega$
$R_2$	1.78 k $\Omega$	1.78 k $\Omega$	1.78 k $\Omega$	1.78 k $\Omega$
$R_3$	3.48 k $\Omega$	3.48 k $\Omega$	3.48 k $\Omega$	3.48 k $\Omega$
$R_4$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
$C_1$	220 pF	730 pF	1130 pF	1640 pF
$C_2$	110 pF	310 pF	670 pF	870 pF

การวิเคราะห์ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง และอันดับหนึ่งจะใช้สมการตัวกรองความถี่ต่ำผ่านชนิดเคอาร์ซี (Low-pass KRC filter) [11] ด้วยสมการ

$$G_b(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{K}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + [(1-K)R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2]s + 1} \dots\dots\dots(3.4)$$

เมื่อ  $K = 1 + \frac{R_3}{R_4}$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากตารางที่ 3.2 จะได้  $K = 1$  ตามสภาพของวงจรในอุปกรณ์ขยายสัญญาณ และแทนค่าลงสมการที่ (3.4) จะได้ฟังก์ชันตัวกรองที่ Shaping time ต่าง ๆ ดังนี้

$$G_2(s) = \frac{1}{7.667528 \times 10^{-14} s^2 + 3.916 \times 10^{-7} s + 1} \quad @ \tau = 0.5 \mu s$$

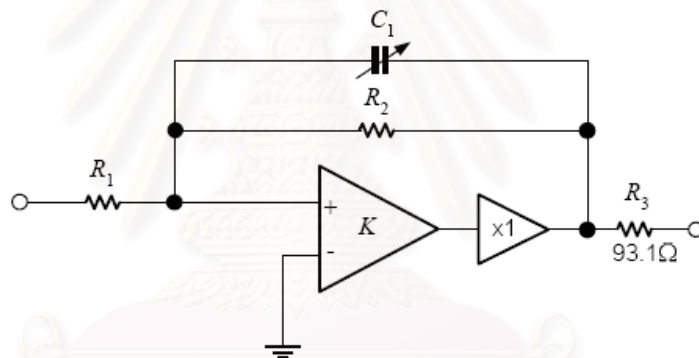
$$G_5(s) = \frac{1}{7.1700892 \times 10^{-13} s^2 + 1.1036 \times 10^{-6} s + 1} \quad @ \tau = 1.5 \mu s$$

$$G_8(s) = \frac{1}{2.39879564 \times 10^{-12} s^2 + 2.3852 \times 10^{-6} s + 1} \quad @ \tau = 3.0 \mu s$$

$$G_{11}(s) = \frac{1}{4.52076312 \times 10^{-12} s^2 + 3.0972 \times 10^{-6} s + 1} \quad @ \tau = 4.0 \mu s$$

### 3.1.3 การวิเคราะห์ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง

ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง  $G_c(t)$  มีรูปแบบดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง  $G_c(t)$

ในวงจรของอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ตำแหน่งสวิทช์เลือก Shaping time ต่าง ๆ พบว่าค่าของตัวเก็บประจุและตัวต้านทานในวงจรกรอง  $G_c(t)$  มีค่าดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าของตัวเก็บประจุและตัวต้านทานที่ Shaping time ต่าง ๆ ของตัวกรอง  $G_c(t)$

Parameters	Shaping time			
	0.5 $\mu$ s	1.5 $\mu$ s	3.0 $\mu$ s	4.0 $\mu$ s
$R_1$	3.379 k $\Omega$	3.379 k $\Omega$	3.379 k $\Omega$	3.379 k $\Omega$
$R_2$	7.32 k $\Omega$	7.32 k $\Omega$	7.32 k $\Omega$	7.32 k $\Omega$
$C_1$	33 pF	99 pF	183 pF	249 pF

จากการแปลงลาปลาซของตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass filter with gain) [11] จะได้สมการ

$$G_c(s) = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{R_2 C_1 s + 1} \dots\dots\dots(3.5)$$

แต่ในที่นี้จะคำนวณโดยการขยายแบบไม่กลับขั้ว จึงแทนเครื่องหมายลบด้วยเครื่องหมายบวก เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากตารางที่ 3.3 ลงสมการที่ (3.5) จะได้ฟังก์ชันตัวกรองที่ Shaping time ต่าง ๆ ดังนี้

$$G_3(s) = \frac{2.166321397}{2.4156 \times 10^{-7} s + 1} \quad @ \tau = 0.5 \mu s$$

$$G_6(s) = \frac{2.166321397}{7.2468 \times 10^{-7} s + 1} \quad @ \tau = 1.5 \mu s$$

$$G_9(s) = \frac{2.166321397}{1.33956 \times 10^{-6} s + 1} \quad @ \tau = 3.0 \mu s$$

$$G_{12}(s) = \frac{2.166321397}{1.82268 \times 10^{-6} s + 1} \quad @ \tau = 4.0 \mu s$$

จากการวิเคราะห์ฟังก์ชันของตัวกรองทั้งสามส่วนสามารถจัดรูปสมการของฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบที่ Shaping time ต่าง ๆ ดังนี้

$$G_{0.5}(s) = G_1(s) * G_2(s) * G_3(s) \quad @ \tau = 0.5 \mu s$$

$$G_{1.5}(s) = G_4(s) * G_5(s) * G_6(s) \quad @ \tau = 1.5 \mu s$$

$$G_{3.0}(s) = G_7(s) * G_8(s) * G_9(s) \quad @ \tau = 3.0 \mu s$$

$$G_{4.0}(s) = G_{10}(s) * G_{11}(s) * G_{12}(s) \quad @ \tau = 4.0 \mu s$$

เมื่อ  $G_{0.5}(s)$ ,  $G_{1.5}(s)$ ,  $G_{3.0}(s)$  และ  $G_{4.0}(s)$  เป็นฟังก์ชันตัวกรองของระบบแต่จรูปสัญญาณในอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ที่ Shaping time 0.5  $\mu s$ , 1.5  $\mu s$ , 3.0  $\mu s$  และ 4.0  $\mu s$  ตามลำดับ

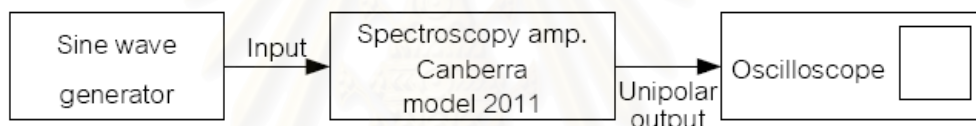
### 3.2 การทดสอบผลตอบสนองของความถี่

การทดสอบนี้ทำเพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองของความถี่ของวงจรรองในอุปกรณ์ขยายสัญญาณกับฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองที่วิเคราะห์จากวงจรรองของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของฟังก์ชันถ่ายโอนที่วิเคราะห์ได้

#### 3.2.1 การทดสอบหาผลตอบสนองความถี่ของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

การทดสอบหาผลตอบสนองความถี่ของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ Canberra รุ่น 2011 มีวิธีการทดสอบดังนี้

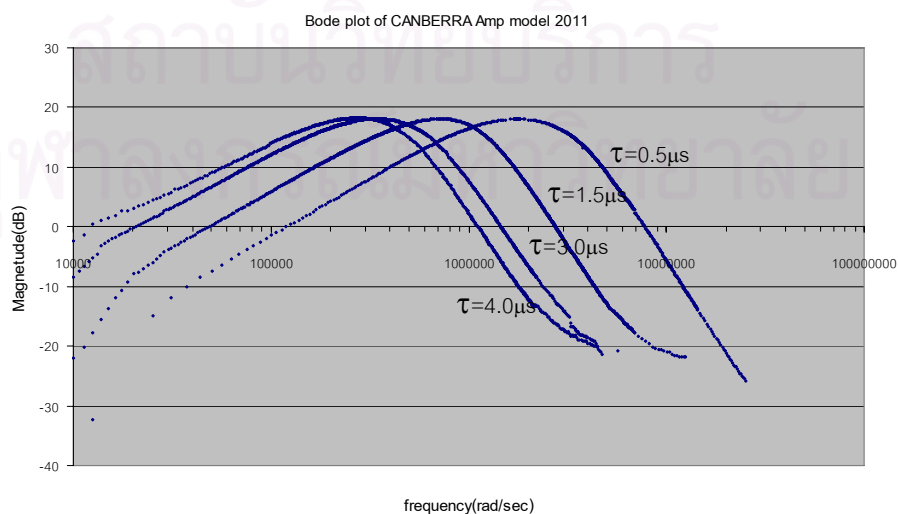
3.2.1.1 จัดอุปกรณ์ทดสอบตามแผนภาพรูปที่ 3.5 โดยปรับอพเพิตของ Sine wave generator ให้เป็นศูนย์ และเลือกช่องสัญญาณทางออกของอุปกรณ์ขยายที่ Unipolar output



รูปที่ 3.5 แผนภาพการจัดระบบทดสอบหาผลตอบสนองความถี่ของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

3.2.1.2 เลือก Shaping time ( $\tau$ ) จาก 0.5, 1.5, 3.0 และ 4.0  $\mu\text{s}$  แต่ละค่า  $\tau$  รับความถี่จาก Sine wave generator เพื่อหาความสัมพันธ์ของขนาดสัญญาณ และความถี่

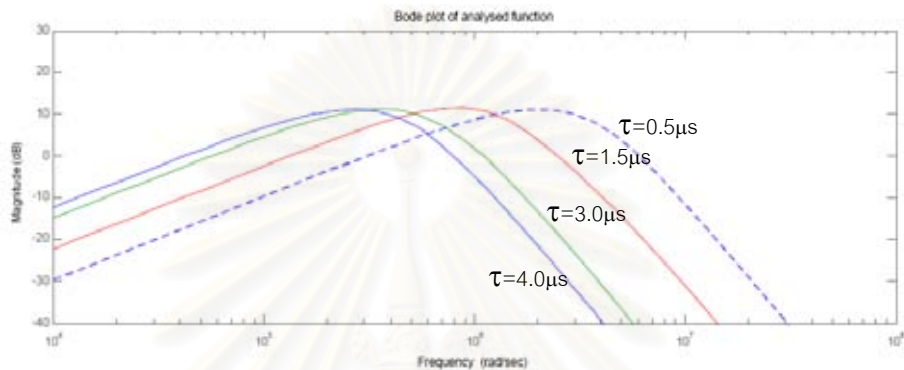
3.2.1.3 ผลของการตอบสนองความถี่ของระบบแต่งรูปสัญญาณแต่ละ Shaping time เป็นไปตามเส้นกราฟรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ผลตอบสนองความถี่ของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ Canberra รุ่น 2011

### 3.2.2 การทดสอบหาผลตอบสนองของความถี่จากฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรอง

ทดสอบผลตอบสนองของความถี่จากฟังก์ชันถ่ายโอน  $G_{0.5}(s)$ ,  $G_{1.5}(s)$ ,  $G_{3.0}(s)$  และ  $G_{4.0}(s)$  ด้วยโปรแกรม MATLAB ดังโปรแกรมในภาคผนวก ก.1 โดยสมมติค่า  $A=0$  และผลตอบสนองของตัวกรองที่ Shaping time ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ผลตอบสนองของความถี่จากฟังก์ชันตัวกรองที่วิเคราะห์ได้จากอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

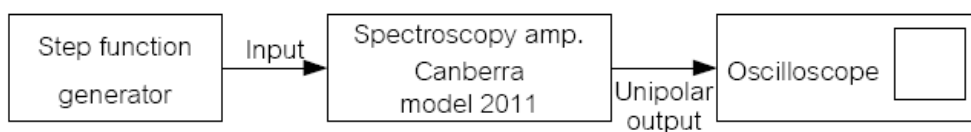
จากการทดสอบการตอบสนองของความถี่ทั้งสองวิธี พบว่าทั้งระบบแต่งรูปสัญญาณของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ และฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองมีค่าใกล้เคียงกันมาก กล่าวคือ ช่วงความถี่ต่ำมีความชันเส้นกราฟ 20 dB/decade ส่วนช่วงความถี่สูงมีความชันเส้นกราฟ -60 dB/decade และมีตำแหน่งจุดตอบสนองความถี่ตรงกัน

### 3.3 การทดสอบผลตอบสนองสัญญาณขั้นบันได

#### 3.3.1 การทดสอบหาผลตอบสนองสัญญาณขั้นบันไดของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

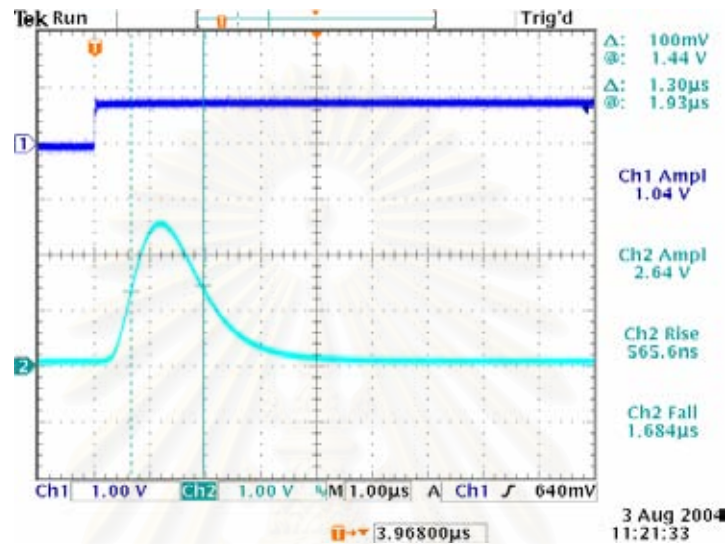
การทดสอบนี้ทำเพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองสัญญาณขั้นบันได (Step response) ระหว่างอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์กับฟังก์ชันของตัวกรองที่วิเคราะห์จากวงจรของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ โดยมีวิธีการวิเคราะห์ผลตอบสนองสัญญาณขั้นบันได ดังนี้

##### 3.3.1.1 จัดอุปกรณ์ตามแผนภาพรูปที่ 3.8

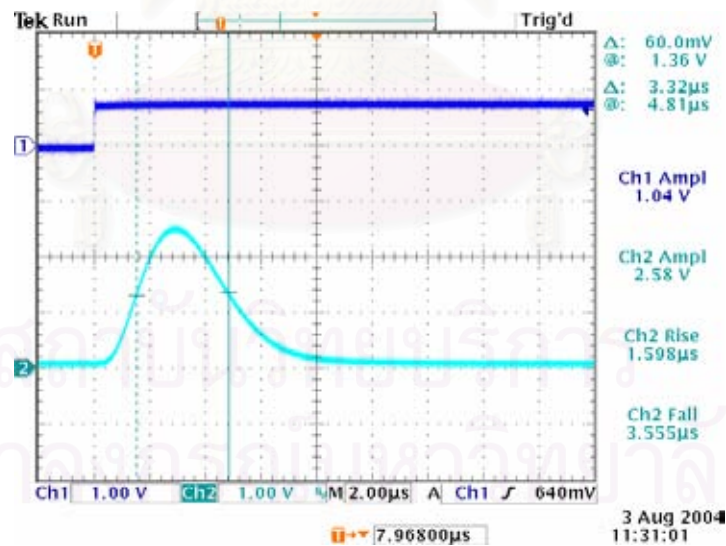


รูปที่ 3.8 แผนภาพการจัดระบบทดสอบหาผลตอบสนองสัญญาณขั้นบันไดของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

3.3.1.2 เลือก Shaping time ( $\tau$ ) จาก 0.5, 1.5, 3.0 และ 4.0  $\mu\text{s}$  แต่ละค่า  $\tau$  ทดลองป้อนสัญญาณขั้นบันไดขนาด 1 โวลต์ ได้ผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันไดดังรูปที่ 3.9 ก. ถึงรูปที่ 3.9 ง. ตามลำดับ

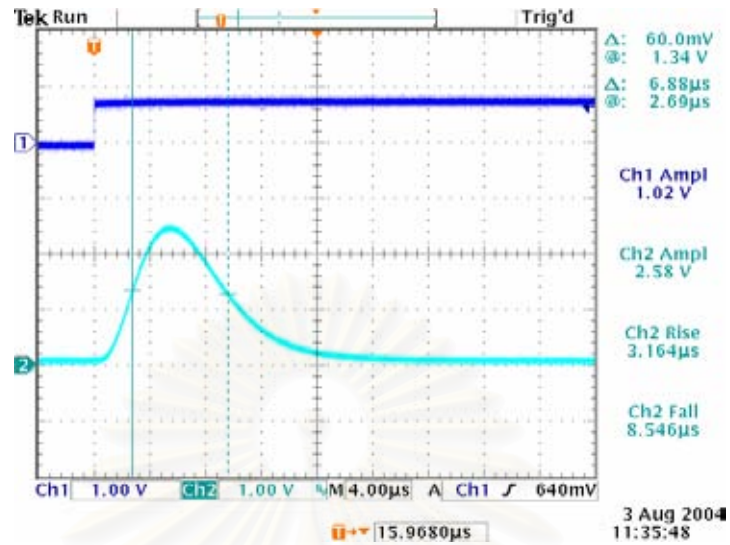


ก. Shaping time 0.5  $\mu\text{s}$

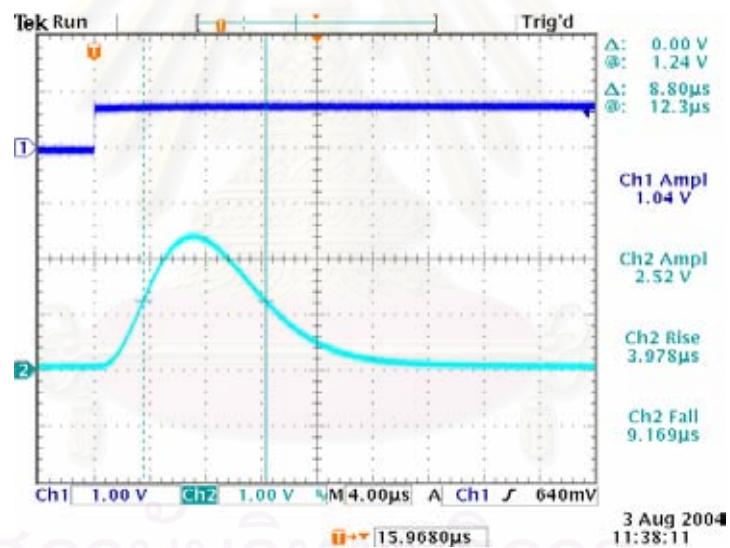


ข. Shaping time 1.5  $\mu\text{s}$

รูปที่ 3.9 ผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันไดของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ



ค. Shaping time 3.0 μs



ง. Shaping time 4.0 μs

รูปที่ 3.9 (ต่อ) ผลตอบสนองสัญญาณขั้นบันไดของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

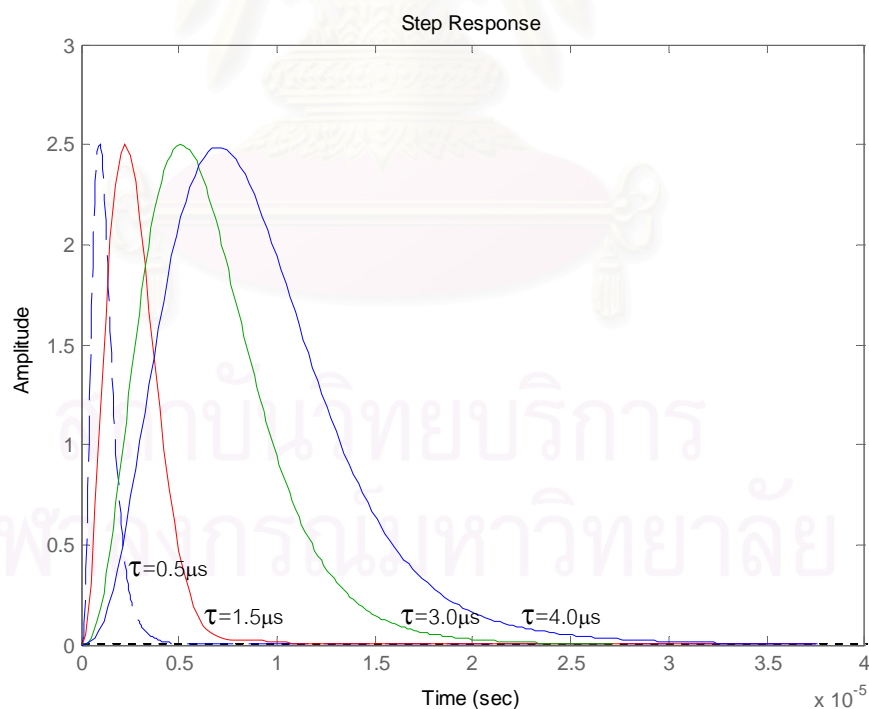
จากผลการทดสอบได้วิเคราะห์ และสรุปข้อมูลลักษณะสำคัญของสัญญาณพัลส์ จากผลตอบสนองสัญญาณขั้นบันไดที่ Shaping time ต่าง ๆ โดยใช้มาตรฐานการอ่านค่า Rise time, Fall time และความกว้างพัลส์ ได้ดังตารางที่ 3.4 เพื่อใช้เปรียบเทียบกับลักษณะสัญญาณที่ได้จากการทดสอบหาผลตอบสนองสัญญาณขั้นบันไดของฟังก์ชันถ่ายโอน

ตารางที่ 3.4 ลักษณะสำคัญของสัญญาณพัลส์จากผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันไดของอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ Canberra รุ่น 2011 ที่ Shaping time ต่าง ๆ

Parameters	Shaping time			
	0.5 $\mu$ s	1.5 $\mu$ s	3.0 $\mu$ s	4.0 $\mu$ s
Rise time ( $\mu$ s)	0.5656	1.598	3.164	3.978
Fall time ( $\mu$ s)	1.684	3.555	8.546	9.169
Time duration @ 50 % of amplitude level ( $\mu$ s)	1.3	3.32	6.88	8.80

### 3.3.2 การทดสอบหาผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันไดของฟังก์ชันถ่ายโอน

ทดสอบผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันไดจากฟังก์ชันถ่ายโอน  $G_{0.5}(s)$ ,  $G_{1.5}(s)$ ,  $G_{3.0}(s)$  และ  $G_{4.0}(s)$  ด้วยโปรแกรม MATLAB ดังโปรแกรมในภาคผนวก ก.2 โดยสมมติค่า  $A=0$  ผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันไดที่ Shaping time ต่าง ๆ ดังในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันไดจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่วิเคราะห์ได้จากอุปกรณ์ขยายสัญญาณ



จากผลการทดลองได้วิเคราะห์ และสรุปข้อมูลลักษณะที่สำคัญของสัญญาณพัลส์ตามผลตอบสนองของสัญญาณขึ้นบันไดที่ Shaping time ต่าง ๆ ด้วยวิธีอ่านค่าจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น โดยใช้มาตรฐานการอ่านเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1 ได้ผลของข้อมูลดังตารางที่ 3.5

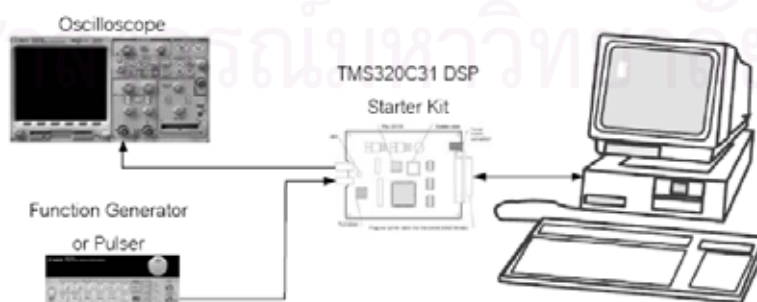
ตารางที่ 3.5 ลักษณะสำคัญของสัญญาณพัลส์จากผลตอบสนองของสัญญาณขึ้นบันไดจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่วิเคราะห์ได้ที่ Shaping time ต่าง ๆ

Parameters	Shaping time			
	0.5 $\mu$ s	1.5 $\mu$ s	3.0 $\mu$ s	4.0 $\mu$ s
Rise time ( $\mu$ s)	0.972	1.250	2.800	3.870
Fall time ( $\mu$ s)	1.778	2.720	7.090	9.570
Time duration @ 50 % of amplitude level ( $\mu$ s)	1.198	2.900	6.620	8.910

ผลเปรียบเทียบการตอบสนองของสัญญาณขึ้นบันไดระหว่างตารางที่ 3.4 และตารางที่ 3.5 พบว่าทั้งอุปกรณ์ขยายสัญญาณ และฟังก์ชันถ่ายโอนได้รูปของผลตอบสนองมีค่าใกล้เคียง โดยมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดร้อยละ 12.65 ที่ Shaping time 1.5  $\mu$ s สรุปได้ว่าฟังก์ชันถ่ายโอนที่วิเคราะห์สามารถนำไปใช้ในการออกแบบตัวกรองสัญญาณเชิงเลขได้

### 3.4 การพัฒนาโปรแกรมแต่งรูปสัญญาณพัลส์บนบอร์ดประมวลสัญญาณเชิงเลข TMS320C31 DSP starter kit

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้บอร์ดประมวลสัญญาณเชิงเลข TMS320C31 DSP starter kit ของบริษัท Texas Instruments โดยจัดอุปกรณ์ทดสอบดังรูปที่ 3.11 และดำเนินการทดลองดังนี้

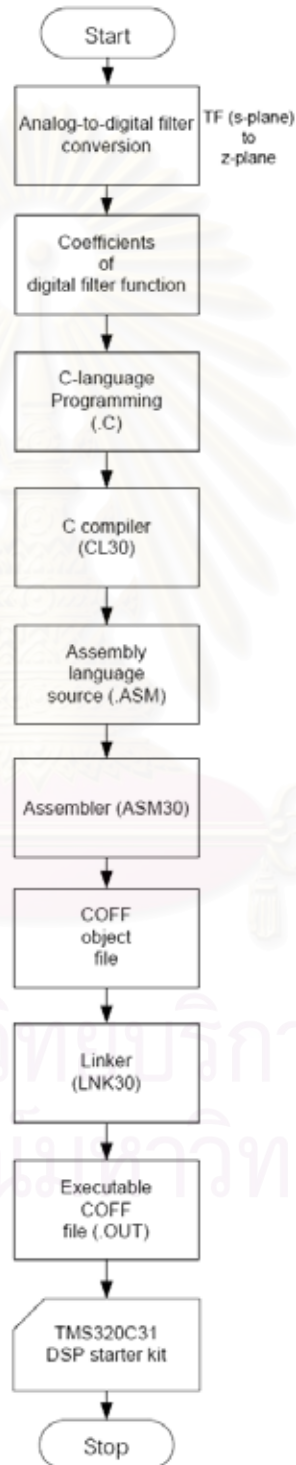


รูปที่ 3.11 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการแต่งรูปสัญญาณด้วยบอร์ด

TMS320C31 DSP starter kit

### 3.4.1 การพัฒนาโปรแกรมแต่งรูปสัญญาณพัลส์

การพัฒนาโปรแกรมมีการดำเนินการดังผังงาน (Flowchart) ในรูปที่ 3.12

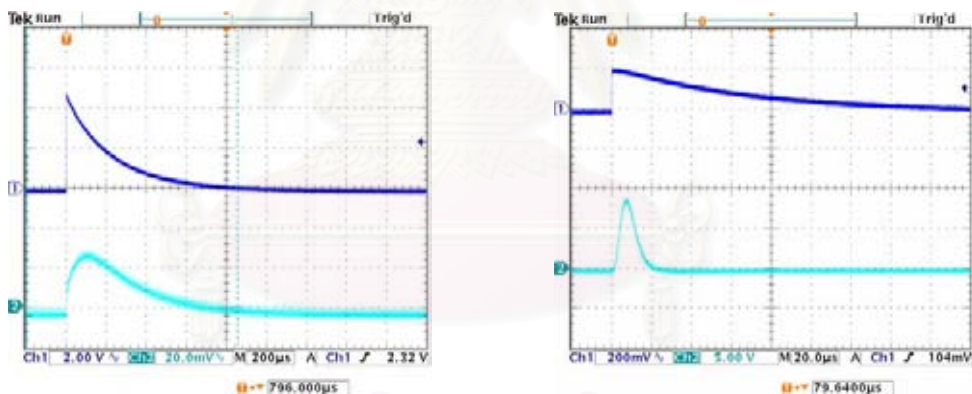


รูปที่ 3.12 ผังงานการพัฒนาโปรแกรมแต่งรูปสัญญาณด้วย TMS320C31 DSP starter kit

จากผังงานในรูปที่ 3.12 พัฒนาโปรแกรมแปลงฟังก์ชันถ่ายโอน  $G_{0.5}(s)$ ,  $G_{1.5}(s)$ ,  $G_{3.0}(s)$  และ  $G_{4.0}(s)$  ที่วิเคราะห์ได้ให้อยู่ในรูปของซีทรานสฟอร์ม (z-transform) โดยใช้ฟังก์ชันแปลงไบลิเนียร์ (Bilinear transform) ในโปรแกรม MATLAB ตามโปรแกรมในภาคผนวก ก.3 จะได้ผลลัพธ์เป็นสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเชิงเลข (Digital filter) นำค่าสัมประสิทธิ์นี้ไปเขียนสมการเชิงผลต่าง (Difference equation) ตั้งโปรแกรมภาษาซีในภาคผนวก ก.4 จากนั้นสร้าง Linker file และแปล (Compile) โปรแกรมภาษาซีให้เป็น Executable COFF file แล้วโหลด Executable COFF file ลง TMS320C31 DSP starter kit [12]

### 3.4.2 การทดสอบผลการแต่งรูปสัญญาณ

ทดลอง Run โปรแกรมบน TMS320C31 DSP starter kit แล้วบ่นสัญญาณพัลส์ จากพัลส์เซออร์ พบว่าสัญญาณที่วัดได้ไม่ถูกต้องเพราะไม่สอดคล้องกับผลที่ได้จากอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ ดังแสดงสัญญาณเปรียบเทียบในรูปที่ 3.13



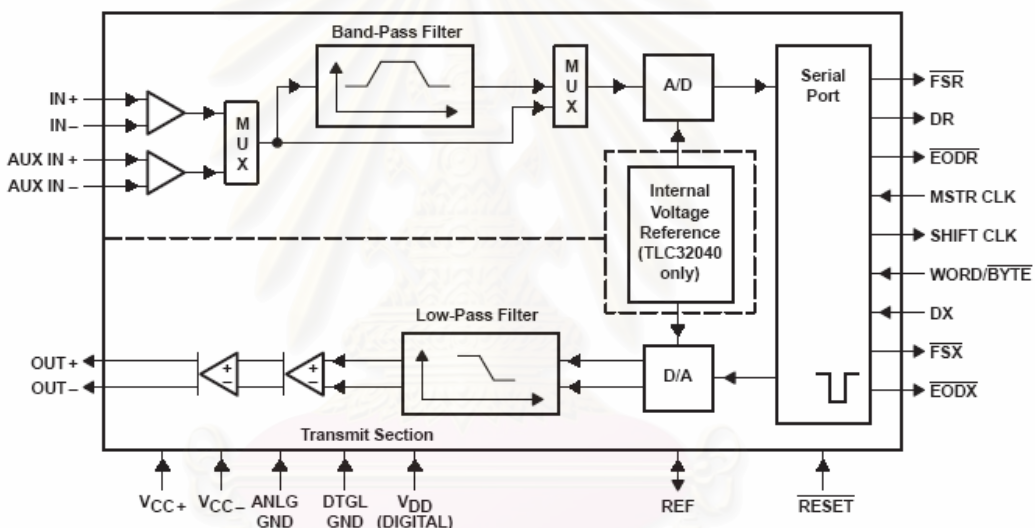
ก. สัญญาณจากบอร์ด TMS320C31

ข. สัญญาณจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์

รูปที่ 3.13 ผลการทดสอบการแต่งรูปสัญญาณด้วยบอร์ด TMS320C31 เปรียบเทียบกับสัญญาณจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ Canberra รุ่น 2011

ในการทดลองด้วยบอร์ด TMS320C31 DSP starter kit หลายครั้ง และหลายฟังก์ชัน เช่น การทดลองสร้างตัวกรองแถบความถี่ผ่าน (Band-pass filter) และทดสอบผลตอบสนองของความถี่ รูปคลื่นชานนี้ให้ผลถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ แต่ถ้าบ่นสัญญาณพัลส์จากพัลส์เซออร์ (Pulser) จะให้ผลในการแต่งรูปสัญญาณที่แตกต่างจากผลที่ได้จากอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดทางด้านเทคนิคของบอร์ด TMS320C31 DSP starter kit ภายในมีชิป TLC32040 ที่ทำ

หน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อสัญญาณแอนะล็อก (A/D และ D/A) มีอัตราการซักรหัสตัวอย่างสัญญาณได้สูงสุดเพียง 19,200 ตัวอย่างต่อวินาที จึงไม่สามารถเก็บข้อมูลของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ให้ได้รายละเอียดที่เพียงพอ นอกจากนี้ภายในชิปยังมีวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ดังรูปที่ 3.14 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขที่มีสมรรถนะสูงกว่า ด้วยการเลือกใช้แผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition ของบริษัท Advantech ซึ่งมีอัตราการซักรหัสตัวอย่างสัญญาณแอนะล็อกอินพุตสูงถึง 1,000,000 ตัวอย่างต่อวินาที มีอัตราสร้างสัญญาณแอนะล็อกกลับถึง 100,000 ตัวอย่างต่อวินาที และสามารถใช้โปรแกรม MATLAB ควบคุมการทำงานได้



รูปที่ 3.14 แผนภาพวงจรภายในชิป TLC32040 [12]

### 3.5 การพัฒนาอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขด้วยแผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition

#### 3.5.1 การติดตั้งอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข

3.5.1.1 ติดตั้งแผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition บนช่องเสียบ PCI ของเมนบอร์ดของคอมพิวเตอร์ จากนั้นติดตั้งโปรแกรมขับ (Device driver) และโปรแกรม MATLAB

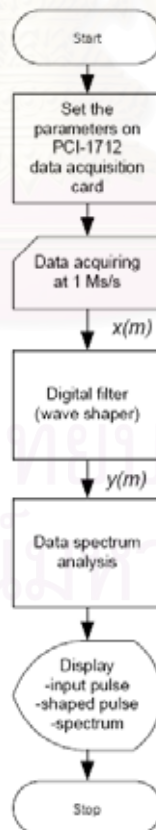
3.5.1.2 ออกแบบ และสร้างขั้วต่อสัญญาณอินพุต และเอาต์พุต เพื่อลดสัญญาณรบกวน โดยเลือกใช้กล่องอะลูมิเนียม ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 กล่องเชื่อมต่อสัญญาณ

### 3.5.2 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงาน

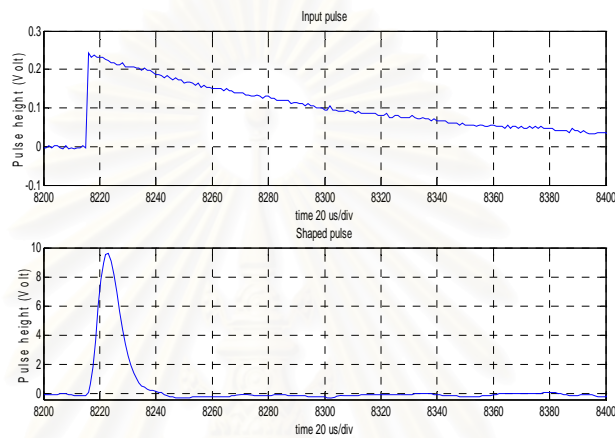
โปรแกรมควบคุมการแต่งรูปสัญญาณประกอบด้วย การตั้งค่าให้แผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition การชักตัวอย่างสัญญาณพัลส์ การแต่งรูปสัญญาณ และการแสดงผลสัญญาณพัลส์ ดังผังงานในรูปที่ 3.16 และโปรแกรมในภาคผนวก ก.5



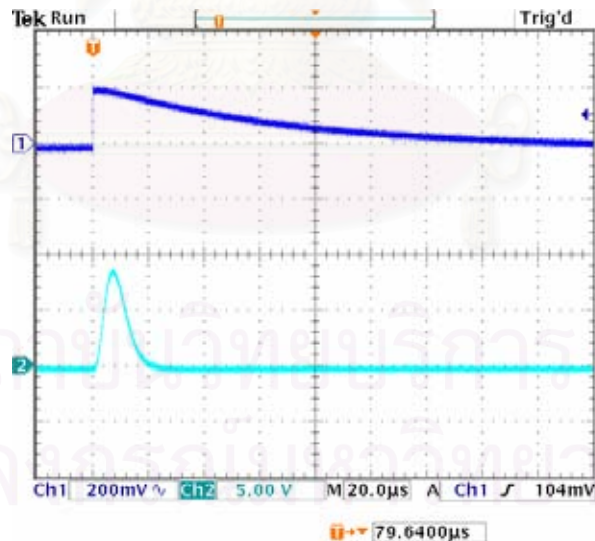
รูปที่ 3.16 ผังงานการพัฒนาโปรแกรมแต่งรูปสัญญาณด้วย PCI-1712 data acquisition และโปรแกรม MATLAB

### 3.5.3 การทดสอบผลการแต่งรูปสัญญาณ

จากการแต่งรูปสัญญาณด้วยโปรแกรมในภาคผนวก ก.5 โดยป้อนสัญญาณพัลส์ จากพัลส์เซอร์ขนาด 200 มิลลิโวลต์ พบว่าผลการแต่งรูปสัญญาณมีลักษณะดังรูปที่ 3.17 ก. ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปที่ได้จากตัวกรองแอนะล็อกในอุปกรณ์ขยายสัญญาณดังรูปที่ 3.17 ข.



ก. สัญญาณอินพุตและสัญญาณที่ถูกแต่งจากระบบประมวลสัญญาณเชิงเลข

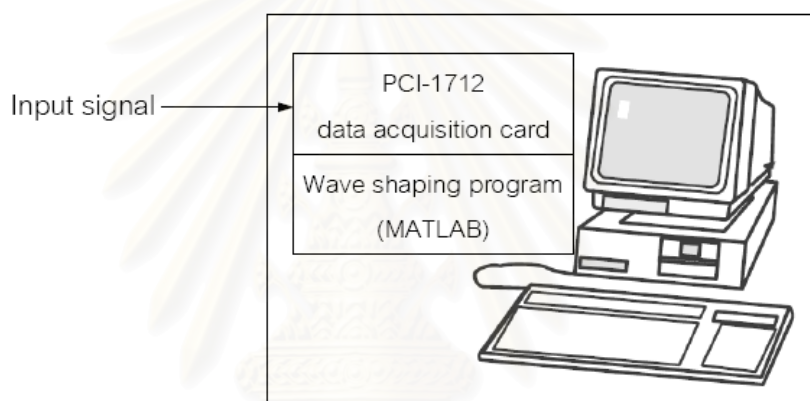


ข. สัญญาณที่แต่งรูปด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ Canberra รุ่น 2011

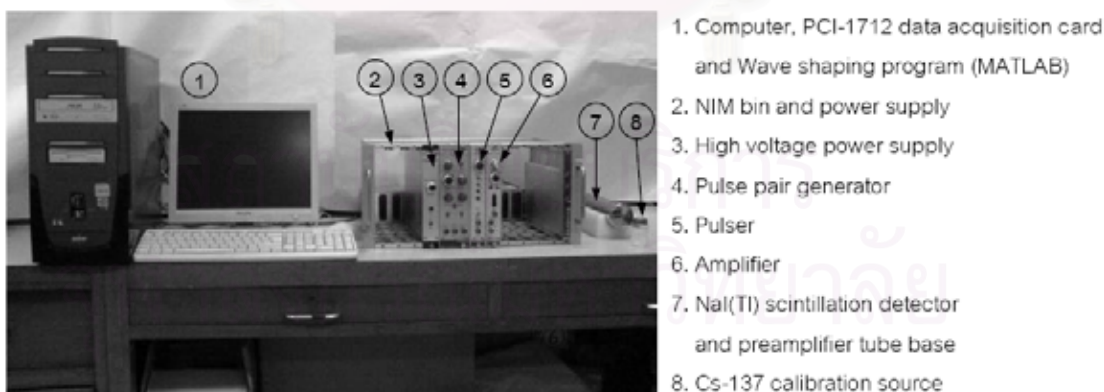
รูปที่ 3.17 ผลการทดสอบการแต่งรูปสัญญาณด้วยโปรแกรมฟังก์ชันตัวกรองที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับสัญญาณจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณ Canberra รุ่น 2011

เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณที่ถูกแต่งรูปในรูปที่ 3.17 ก. พบว่ามี Rise time 4.024  $\mu\text{s}$  และ Fall time 8.756  $\mu\text{s}$  ส่วนสัญญาณในรูปที่ 3.17 ข. มี Rise time 4.085  $\mu\text{s}$  และ Fall time 9.438  $\mu\text{s}$  ซึ่งรูปสัญญาณที่ถูกแต่งมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นโดยใช้แผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition จึงสามารถนำมาใช้ในการประมวลสัญญาณเชิงเลขได้

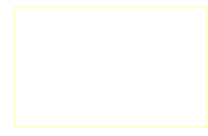
จากการพัฒนา ออกแบบ และทดสอบเบื้องต้น ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถแต่งรูปสัญญาณพัลส์ ด้วยวิธีการเชิงเลขบนโปรแกรม MATLAB ร่วมกับแผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition ซึ่งจัดระบบ ได้ดังรูปที่ 3.18 และรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18 ระบบประมวลสัญญาณเชิงเลข สำหรับกระบวนการแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์



รูปที่ 3.19 ภาพถ่ายชุดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบประมวลสัญญาณเชิงเลข



## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองแต่งรูปสัญญาณด้วยอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข

##### 4.1.1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดลอง

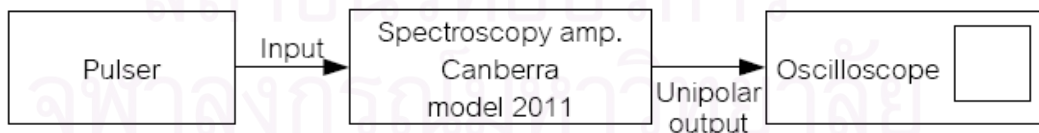
4.1.1.1 Mercury pulser	Canberra model 807
4.1.1.2 Amplifier	Canberra model 2011
4.1.1.3 NIM bin and power supply	Ortec model 4001C/4002A
4.1.1.4 อุปกรณ์แต่งรูปสัญญาณเชิงเลขที่พัฒนาขึ้น	
4.1.1.5 Oscilloscope	Tektronix TDS3034B
4.1.1.6 Coaxial cable and connectors	

##### 4.1.2 ขั้นตอนและผลการทดลอง

4.1.2.1 จัดอุปกรณ์ทดลองดังรูปที่ 4.1 เพื่อแสดงรูปสัญญาณจากระบบแต่งรูปสัญญาณในอุปกรณ์ขยายสัญญาณ โดยปรับสวิตช์ควบคุมของเครื่องมือดังนี้

Pulser: ปรับสวิตช์เลือก Polarity ให้เป็น POS  
ตั้งค่าความสูงของพัลส์ประมาณ 250 มิลลิโวลต์

Amplifier: เลือกโหมด Unipolar เลือกรับอินพุตแบบ POS  
ตั้งอัตราขยายให้ได้เอาต์พุตประมาณ 10 โวลต์

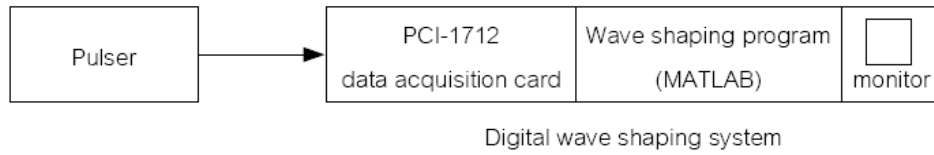


รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดระบบทดสอบการแต่งรูปสัญญาณด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

4.1.2.2 ปรับค่า Shaping time ที่ 4.0, 3.0, 1.5 และ 0.5  $\mu$ s และอ่านรูปสัญญาณด้วย Oscilloscope ได้ผลของสัญญาณดังรูปที่ 4.3 ก.1 ถึงรูปที่ 4.3 ง.1 ตามลำดับ

4.1.2.3 จัดอุปกรณ์ทดสอบดังรูปที่ 4.2 เพื่อแสดงรูปสัญญาณจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณเชิงเลขที่พัฒนาขึ้น โดยป้อนสัญญาณพัลส์ขนาด 250 มิลลิโวลต์จาก Pulser

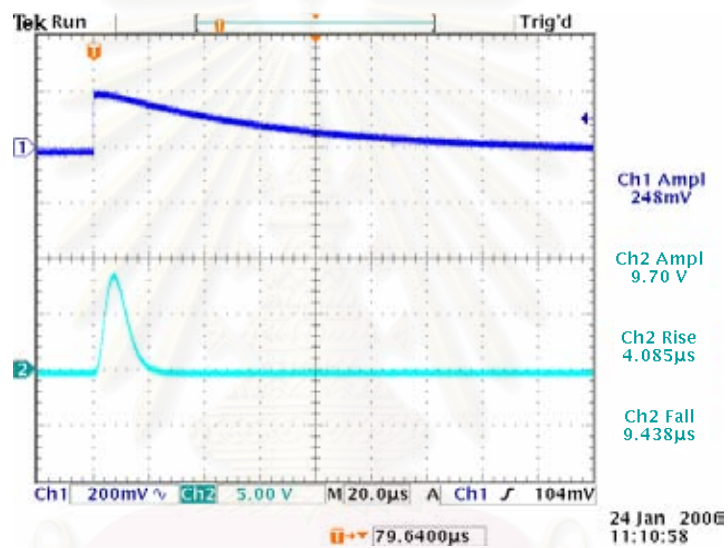




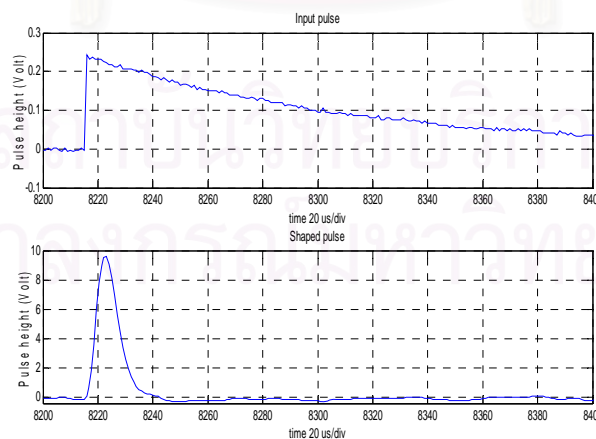
รูปที่ 4.2 แผนภาพการจักระบบทดสอบการแต่งรูปสัญญาณด้วยอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข

4.1.2.4 ปรับค่า Shaping time ที่ 4.0, 3.0, 1.5 และ 0.5  $\mu\text{s}$  ในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

ผลการแต่งรูปสัญญาณเป็นไปตามรูปที่ 4.3 ก.2 ถึงรูปที่ 4.3 ง.2 ตามลำดับ

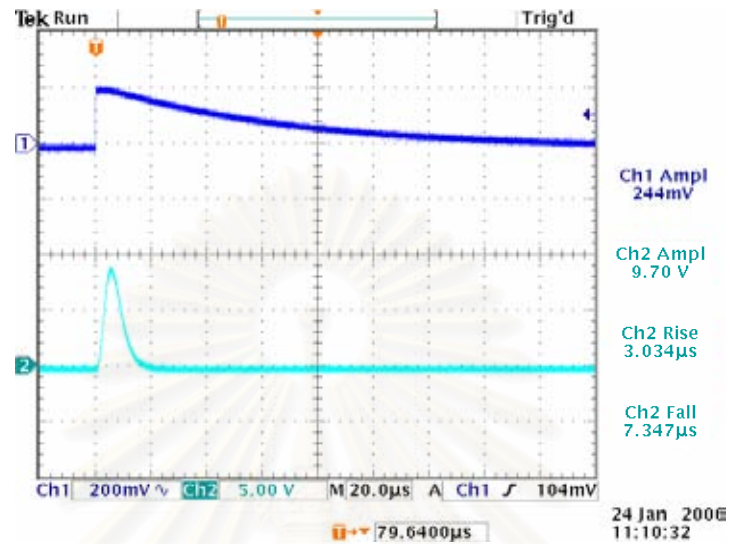


ก.1 รูปสัญญาณจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ Shaping time 4.0  $\mu\text{s}$

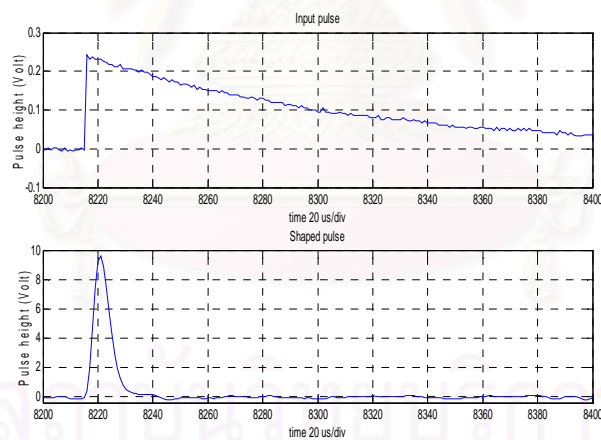


ก.2 รูปสัญญาณจากอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขที่ Shaping time 4.0  $\mu\text{s}$

รูปที่ 4.3 ผลเปรียบเทียบรูปสัญญาณที่ถูกแต่งที่ Shaping time ค่าต่าง ๆ

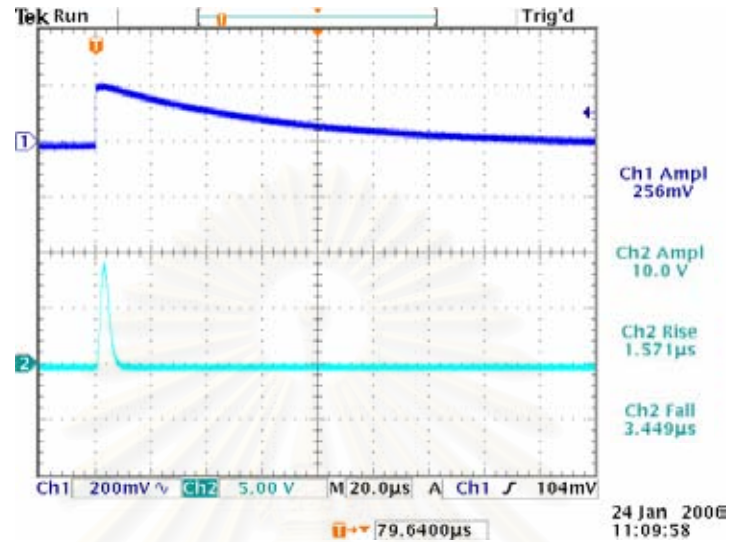


ข.1 รูปสัญญาณจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ Shaping time 3.0 µs

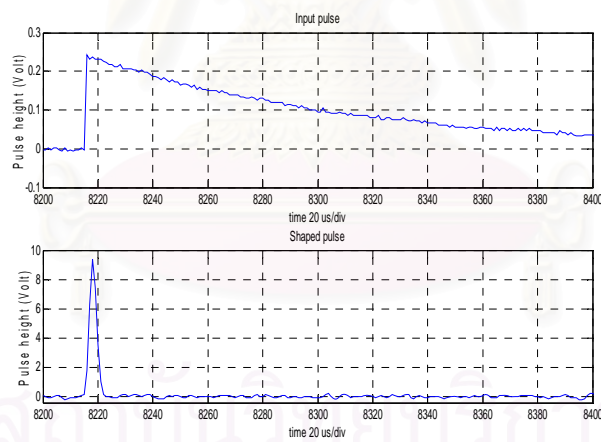


ข.2 รูปสัญญาณจากอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขที่ Shaping time 3.0 µs

รูปที่ 4.3 (ต่อ) ผลเปรียบเทียบรูปสัญญาณที่ถูกแต่งที่ Shaping time ค่าต่าง ๆ

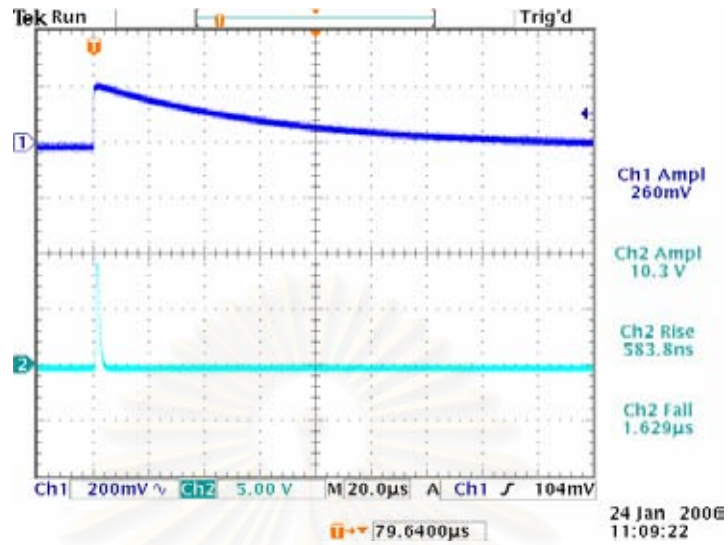


ค.1 รูปสัญญาณจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ Shaping time 1.5 µs

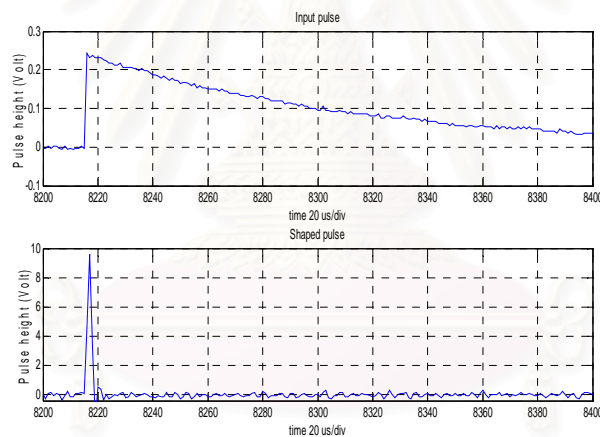


ค.2 รูปสัญญาณจากอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขที่ Shaping time 1.5 µs

รูปที่ 4.3 (ต่อ) ผลเปรียบเทียบรูปสัญญาณที่ถูกแต่งที่ Shaping time ค่าต่าง ๆ



ง.1 รูปสัญญาณจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ Shaping time 0.5  $\mu$ s



ง.2 รูปสัญญาณจากอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขที่ Shaping time 0.5  $\mu$ s  
รูปที่ 4.3 (ต่อ) ผลเปรียบเทียบรูปสัญญาณที่ถูกแต่งที่ Shaping time ค่าต่าง ๆ

4.1.2.5 ผลเปรียบเทียบรูปสัญญาณจากการแต่งรูปสัญญาณด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณ และรูปสัญญาณที่แต่งรูปจากอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข โดยพิจารณาที่ Rise time และ Fall time ระหว่างค่าเวลาในการแต่งรูปสัญญาณที่ 4.0, 3.0, 1.5 และ 0.5  $\mu$ s มีค่าใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.1 แต่ที่ค่าเวลาในการแต่งรูปสัญญาณ 0.5  $\mu$ s การชักตัวอย่างข้อมูลไม่เพียงพอ รูปสัญญาณจึงผิดเพี้ยน โดยมีพิกแหลม และฐานสัญญาณเกิด Undershoot และ Overshoot ดังรูปที่ 4.3 ง.2 เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.3 ง.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสำคัญของสัญญาณพัลส์ที่ Shaping time ต่าง ๆ

Parameters		Shaping time			
		4.0 $\mu$ s	3.0 $\mu$ s	1.5 $\mu$ s	0.5 $\mu$ s
Rise time ( $\mu$ s)	อุปกรณ์ขยายสัญญาณ	4.085	3.034	1.571	0.584
	อุปกรณ์ขยายสัญญาณเชิงเลข	4.024	2.988	2.012	*
Fall time ( $\mu$ s)	อุปกรณ์ขยายสัญญาณ	9.438	7.347	3.449	1.629
	อุปกรณ์ขยายสัญญาณเชิงเลข	8.756	6.509	2.751	*

หมายเหตุ \* ไม่สามารถอ่านข้อมูลได้

## 4.2 การทดลองผลตอบสนองของอัตรานับรังสี

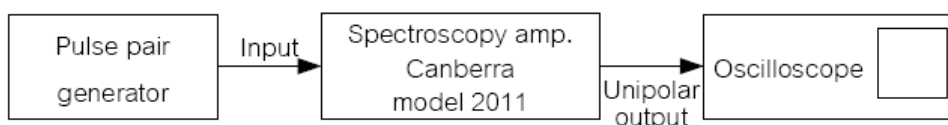
### 4.2.1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดลอง

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| 4.2.1.1 Pulse pair generator                    | Canberra model 1407P    |
| 4.2.1.2 Amplifier                               | Canberra model 2011     |
| 4.2.1.3 NIM bin and power supply                | Ortec model 4001C/4002A |
| 4.2.1.4 อุปกรณ์แต่งรูปสัญญาณเชิงเลขที่พัฒนาขึ้น |                         |
| 4.2.1.5 Oscilloscope                            | Tektronix TDS3034B      |
| 4.2.1.6 Coaxial cable and connectors            |                         |

### 4.2.2 ขั้นตอนและผลการทดลอง

4.2.2.1 จัดอุปกรณ์ทดสอบดังรูปที่ 4.4 เพื่อทดสอบอัตรานับรังสีด้วย Pulse pair generator ที่ 10 kcps โดยปรับสวิตช์ควบคุมเครื่องมือดังนี้

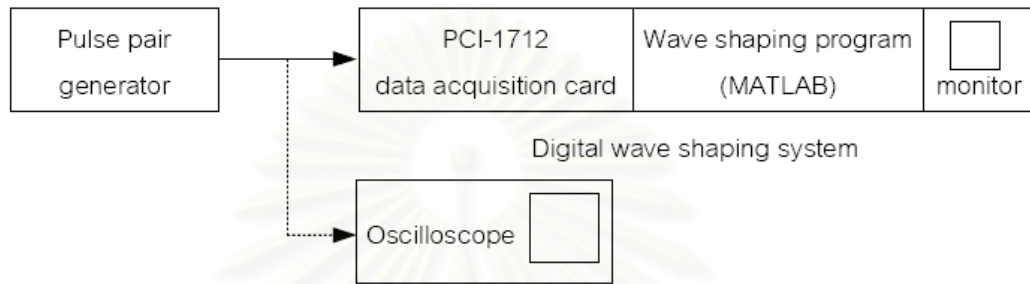
- Pulse pair generator: ปรับสวิตช์เลือก Polarity ให้เป็น POS  
ตั้งค่าความสูงของพัลส์ประมาณ 250 มิลลิโวลต์
- Amplifier: เลือกโหมด Unipolar เลือกรับอินพุตแบบ POS  
ตั้งอัตราขยายให้ได้เอาต์พุตประมาณ 10 โวลต์



รูปที่ 4.4 แผนภาพการจัดระบบทดสอบอัตรานับรังสีของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

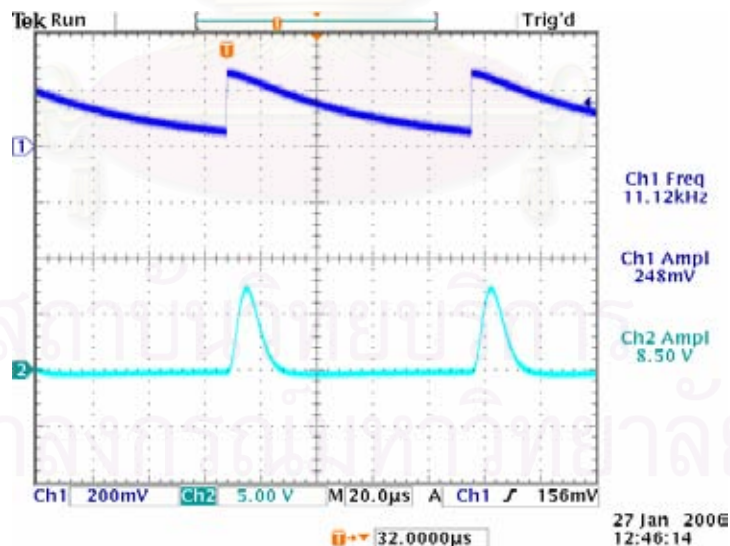
4.2.2.2 ปรับค่า Shaping time จาก 4.0, 3.0, 1.5 และ 0.5  $\mu\text{s}$  อ่านรูปสัญญาณด้วย Oscilloscope ได้ผลการตอบสนองสัญญาณดังรูปที่ 4.6 ก.1 ถึงรูปที่ 4.6 ง.1 ตามลำดับ

4.2.2.3 จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.5 และปรับตั้งเครื่องมือต่าง ๆ ดังข้อที่ 4.2.2.1



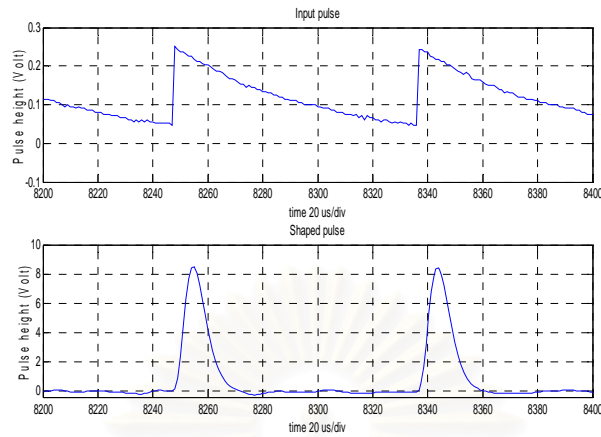
รูปที่ 4.5 แผนภาพการจัดระบบแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ด้วยอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข

4.2.2.4 ทดลองปรับอัตราพัลส์ที่ Pulse pair generator ให้มีค่าสูงสุดเท่าที่ระบบวัดจะตอบสนองได้ที่ค่า Shaping time 4.0, 3.0, 1.5 และ 0.5  $\mu\text{s}$  ในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น พบว่าผลการตอบสนองสัญญาณเป็นไปตามรูปที่ 4.6 ก.2 ถึงรูปที่ 4.6 ง.2 ตามลำดับ

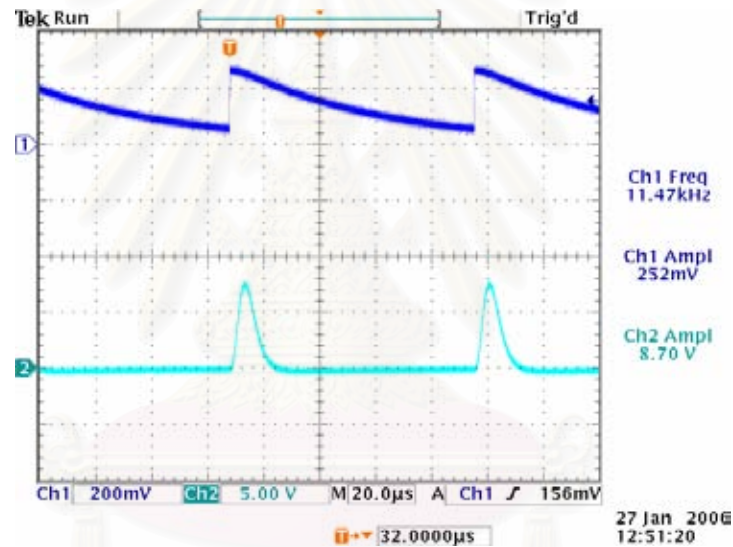


ก.1 รูปการตอบสนองอัตรานับรังสีจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ Shaping time 4.0  $\mu\text{s}$

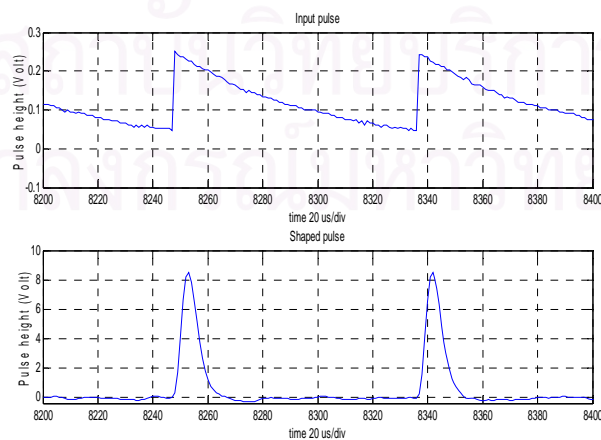
รูปที่ 4.6 ผลเปรียบเทียบการตอบสนองอัตรานับรังสีที่ Shaping time ค่าต่าง ๆ



ก.2 รูปการตอบสนองอัตรานับรังสีจากอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขที่ Shaping time 4.0  $\mu$ s

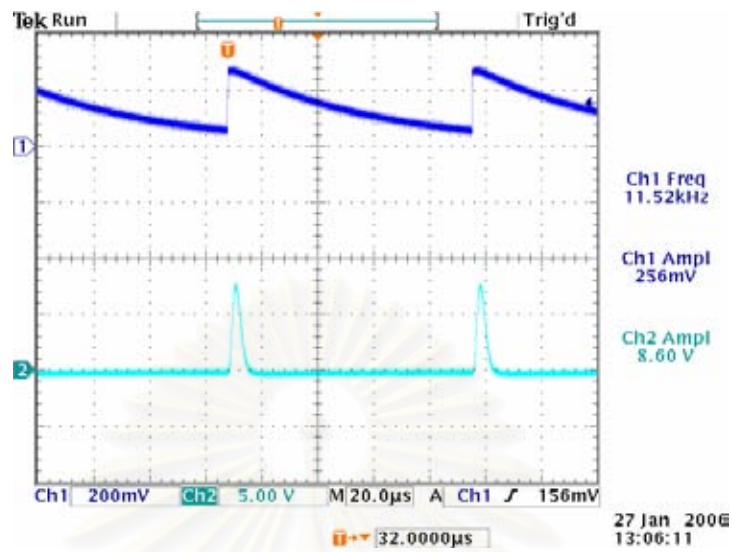


ข.1 รูปการตอบสนองอัตรานับรังสีจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ Shaping time 3.0  $\mu$ s

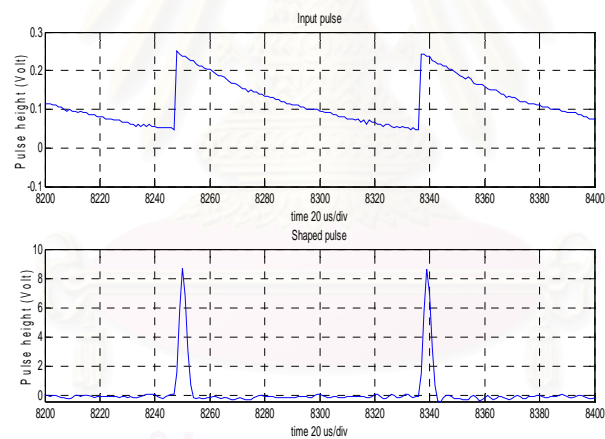


ข.2 รูปการตอบสนองอัตรานับรังสีจากอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขที่ Shaping time 3.0  $\mu$ s

รูปที่ 4.6 (ต่อ) ผลเปรียบเทียบการตอบสนองอัตรานับรังสีที่ Shaping time ค่าต่าง ๆ



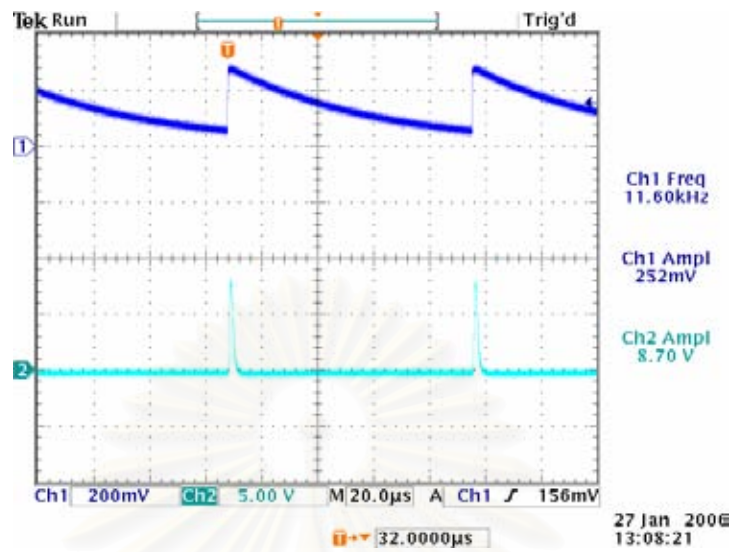
ค.1 รูปการตอบสนองอัตรานับรังสีจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ Shaping time 1.5 μs



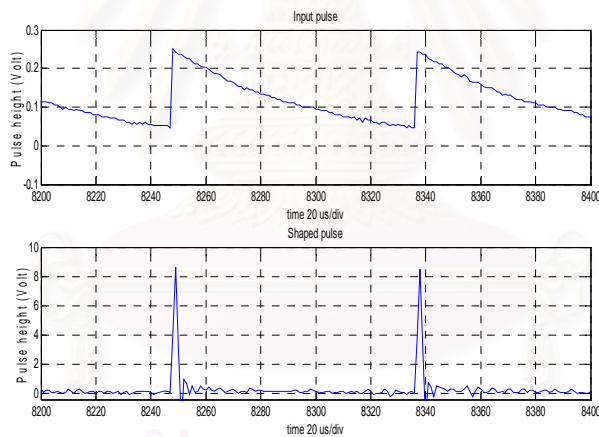
ค.2 รูปการตอบสนองอัตรานับรังสีจากอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขที่ Shaping time 1.5 μs

รูปที่ 4.6 (ต่อ) ผลเปรียบเทียบการตอบสนองอัตรานับรังสีที่ Shaping time ค่าต่าง ๆ





ง.1 รูปการตอบสนองอัตรานับรังสีจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ Shaping time 0.5  $\mu$ s



ง.2 รูปการตอบสนองอัตรานับรังสีจากอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขที่ Shaping time 0.5  $\mu$ s

รูปที่ 4.6 (ต่อ) ผลเปรียบเทียบการตอบสนองอัตรานับรังสีที่ Shaping time ค่าต่าง ๆ

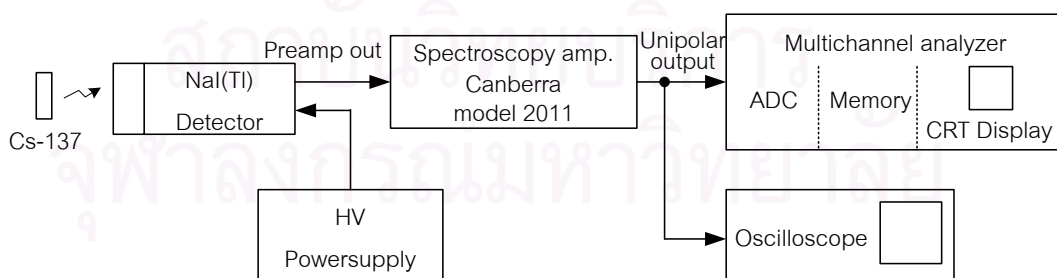
### 4.3 การทดสอบความสามารถในการแจกแจงพลังงานของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

#### 4.3.1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบ

4.3.1.1 Multichannel analyzer	Canberra series 35 MCA
4.3.1.2 Amplifier	Canberra model 2011
4.3.1.3 Mercury pulser	Canberra model 807
4.3.1.4 Pulse pair generator	Canberra model 1407P
4.3.1.5 NaI(Tl) scintillation detector	Ortec model 905-3
4.3.1.6 Preamplifier tube base	Ortec model 276
4.3.1.7 High voltage power supply	Ortec model 556
4.3.1.8 NIM bin and power supply	Ortec model 4001C/4002A
4.3.1.9 Cs-137 calibration source	
4.3.1.10 Oscilloscope	Tektronix TDS3034B
4.3.1.11 Coaxial cable and connectors	

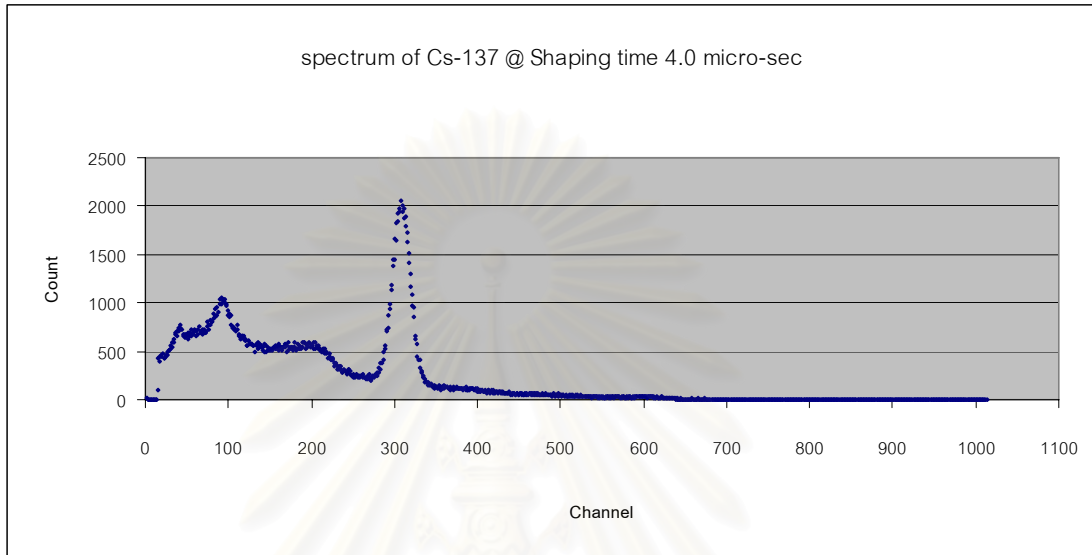
#### 4.3.2 ขั้นตอนและผลการทดสอบ

4.3.2.1 จัดอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานดังรูปที่ 4.7 โดยปรับเทียบพลังงาน 662 keV ให้เท่ากับแรงแดัน 3 โวลต์ และเครื่องวิเคราะห์สัญญาณพัลส์นี้ที่ช่องวิเคราะห์ 307 ของ MCA จากนั้นทดสอบการทำงานด้วย Cs-137 calibration source

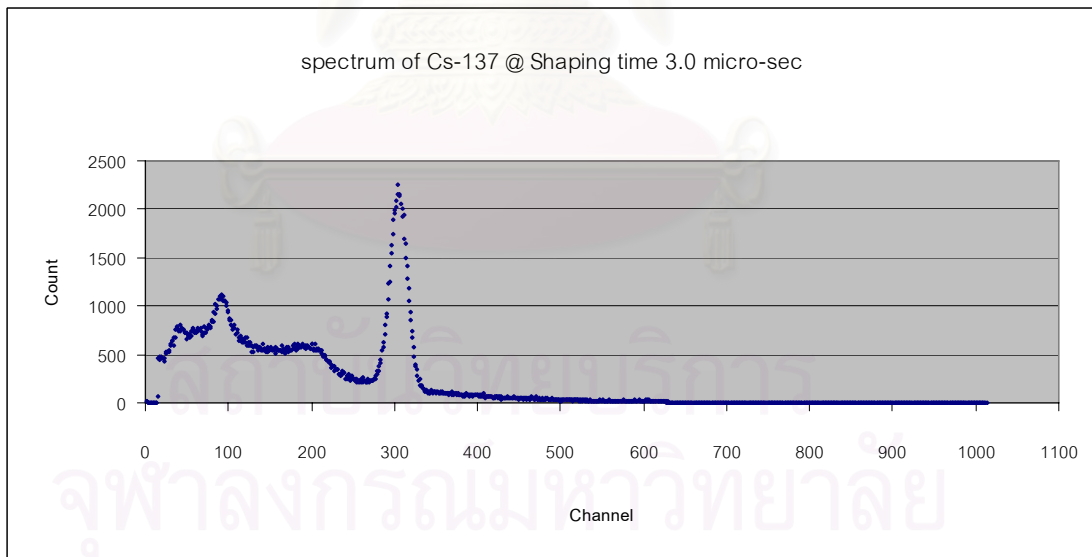


รูปที่ 4.7 แผนภาพการจัดอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงาน

4.3.2.2 ปรับค่า Shaping time จาก 4.0, 3.0, 1.5 และ 0.5  $\mu\text{s}$  ได้ผลวิเคราะห์ความสามารถในการแยกแยะพลังงานดังรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.2

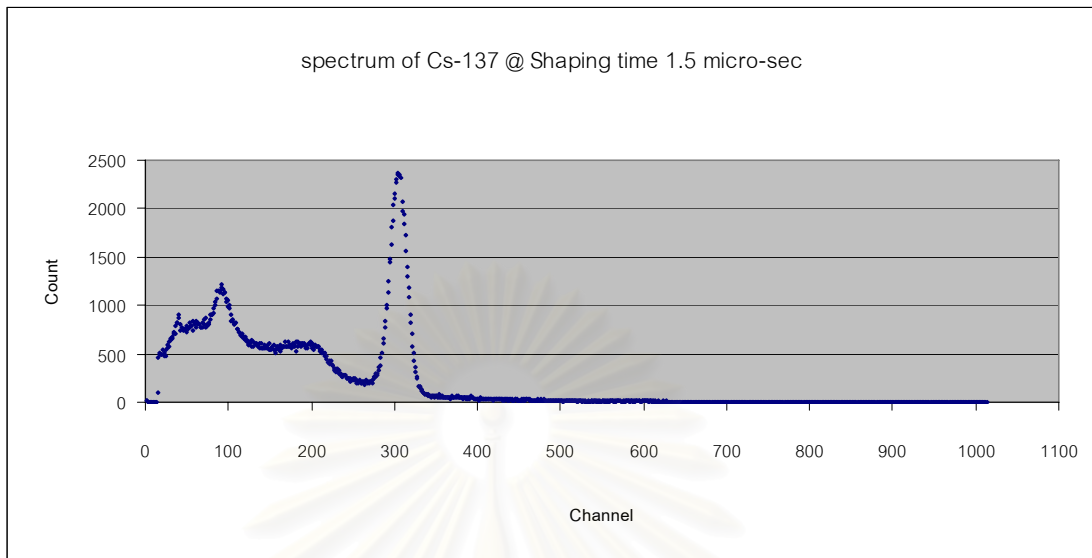
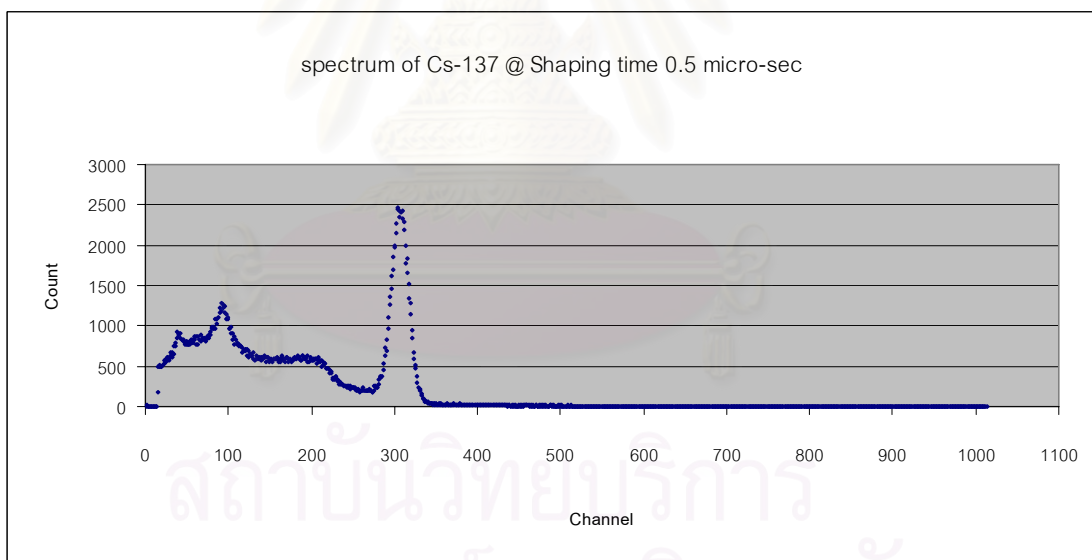


ก. Shaping time 4.0  $\mu\text{s}$



ข. Shaping time 3.0  $\mu\text{s}$

รูปที่ 4.8 สเปกตรัมของ Cs-137 จากอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงาน

ค. Shaping time 1.5  $\mu$ sง. Shaping time 0.5  $\mu$ s

รูปที่ 4.8 (ต่อ) สเปกตรัมของ Cs-137 จากอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงาน

ตารางที่ 4.2 ความสามารถในการแจกแจงพลังงานของระบบวิเคราะห์พลังงาน  
ที่ใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณ

Shaping time	FWHM (No of channel)	H (Peak position)	$R = \frac{FWHM}{H} \times 100\%$
4.0 $\mu$ s	27	308	8.77
3.0 $\mu$ s	26	307	8.47
1.5 $\mu$ s	25	304	8.22
0.5 $\mu$ s	25	305	8.19

#### 4.4 การทดสอบความสามารถในการแจกแจงพลังงานของอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลข ที่พัฒนาขึ้น

##### 4.4.1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบ

##### 4.4.1.1 ระบบประมวลสัญญาณเชิงเลขที่พัฒนาขึ้น

4.4.1.2 Mercury pulser Canberra model 807

4.4.1.3 Pulse pair generator Canberra model 1407P

4.4.1.4 NaI(Tl) scintillation detector Ortec model 905-3

4.4.1.5 Preamplifier tube base Ortec model 276

4.4.1.6 High voltage power supply Ortec model 556

4.4.1.7 NIM bin and power supply Ortec model 4001C/4002A

4.4.1.8 Cs-137 calibration source

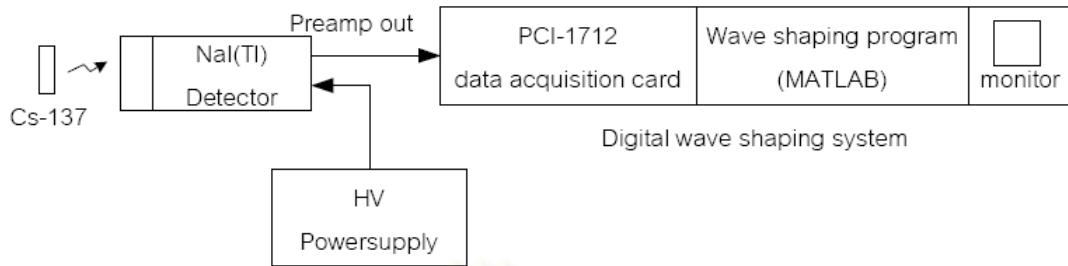
4.4.1.9 Oscilloscope Tektronix TDS3034B

4.4.1.10 Coaxial cable and connectors

##### 4.4.2 ขั้นตอนและผลการทดสอบ

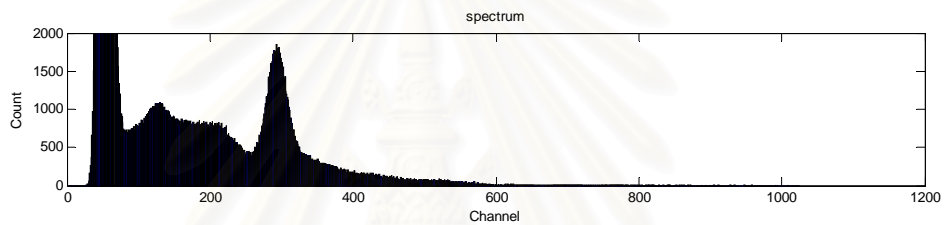
4.4.2.1 จัดอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานดังรูปที่ 4.9 โดยปรับเทียบพลังงานตามหัวข้อ

4.3.2.1 จากนั้นทดสอบการทำงานของระบบด้วย Cs-137 calibration source

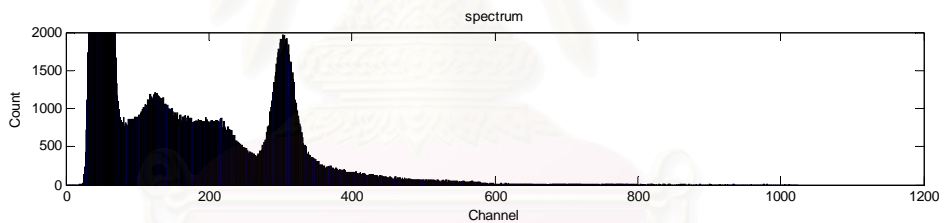


รูปที่ 4.9 แผนภาพการจัดอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานที่พัฒนาขึ้น

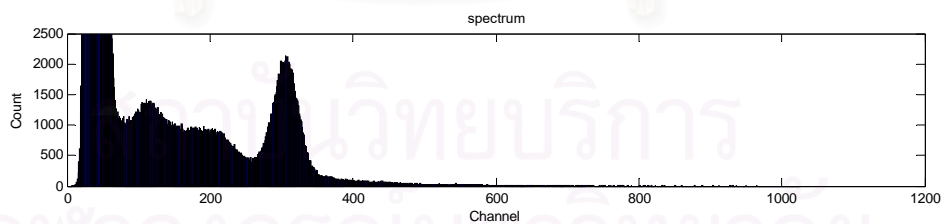
4.4.2.2 ปรับค่า Shaping time จาก 4.0, 3.0, 1.5 และ 0.5  $\mu\text{s}$  ในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น  
ผลวิเคราะห์ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน ดังรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.3



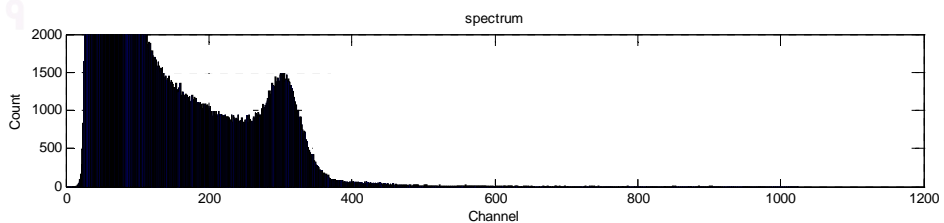
ก. Shaping time 4.0  $\mu\text{s}$



ข. Shaping time 3.0  $\mu\text{s}$



ค. Shaping time 1.5  $\mu\text{s}$



ง. Shaping time 0.5  $\mu\text{s}$

รูปที่ 4.10 สเปกตรัมของ Cs-137 จากอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการแจกแจงพลังงานของระบบประมวลสัญญาณเชิงเลข  
ที่พัฒนาขึ้น

Shaping time	FWHM (No of channel)	H (Peak position)	$R = \frac{FWHM}{H} \times 100\%$
4.0 $\mu$ s	28	306	9.15
3.0 $\mu$ s	31	307	10.09
1.5 $\mu$ s	31	306	10.13
0.5 $\mu$ s	*	*	*

หมายเหตุ \* ไม่สามารถอ่านค่า และคำนวณได้

4.4.2.3 ผลการทดสอบความสามารถในการวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขพบว่าคุณภาพยังไม่ดีเท่าที่ควร โดยที่ Shaping time 4.0, 3.0 และ 1.5  $\mu$ s ให้ผลวิเคราะห์สเปกตรัมที่มีความสามารถในการแจกแจงพลังงานทัดเทียมกับระบบที่ใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณในรูปที่ 4.7 ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณที่ซักรั่วอย่างจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้าไม่ละเอียดเพียงพอ และมีสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการกระเพื่อมของสัญญาณ ดังผลทดสอบในรูปที่ 4.3 ก.2 ถึงรูปที่ 4.3 ค.2 ส่วนรูปที่ 4.3 ง.2 นั้น มีรูปสัญญาณผิดเพี้ยน อันเป็นผลจากจำนวนจุดซักรั่วสัญญาณมีน้อยจุด จึงมีผลให้สเปกตรัมผิดเพี้ยนด้วย

#### 4.5 การทดสอบความเสถียรของระบบ

ทดสอบโดยเปิดใช้งานระบบประมวลสัญญาณเชิงเลขในการวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานบันทึกส่วนสูงสุด (Peak) ของสัญญาณที่ถูกแต่งรูปในช่วงเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีความเสถียร เนื่องจากส่วนสูงสุดของสัญญาณพัลส์ (Pulse height) มีขนาดดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความสูงของพัลส์ที่วัดได้จากระบบประมวลสัญญาณเชิงเลขที่พัฒนาขึ้น

Time (Hour)	Pulse height (V)
1	8.43205
2	8.43211
3	8.43209

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยการประยุกต์อุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขในกระบวนการแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ มีวิธีดำเนินการวิจัยโดยการวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอนจากวงจรอุปกรณ์ขยายสัญญาณสเปกโตรสโคปีของ Canberra รุ่น 2011 เฉพาะส่วนของวงจรแต่งรูปสัญญาณพัลส์ที่เป็นตัวกรองแอนะล็อก 3 ชนิดต่อเนื่องกัน ประกอบด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่านพร้อมการลบล้างโพสและซีโร ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง และตัวกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง จากนั้นได้พัฒนาโปรแกรมตรวจสอบความถูกต้องของฟังก์ชันถ่ายโอนที่วิเคราะห์ได้เปรียบเทียบกับ การทดสอบอุปกรณ์ขยายในด้านของผลตอบสนองความถี่ และผลตอบสนองสัญญาณขึ้นบันได ก่อนการออกแบบอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขด้วยเทคนิค 2 ชนิด คือ การใช้ตัวประมวลสัญญาณเชิงเลข TMS320C31 DSP starter kit และการใช้แผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition กับโปรแกรม MATLAB ผลการวิจัยพบว่า การแต่งรูปสัญญาณด้วยอุปกรณ์ประมวลสัญญาณ 2 ชนิด ให้ผลดังนี้

##### 5.1.1 อุปกรณ์แต่งรูปสัญญาณเชิงเลขจากตัวประมวลสัญญาณ TMS320C31 DSP starter kit

การทดสอบพบว่า อุปกรณ์ประมวลสัญญาณ TMS320C31 DSP starter kit มีข้อจำกัดของอัตราการซีกตัวอย่างสัญญาณต่ำ (19,200 ตัวอย่างต่อวินาที) ยังผลให้ข้อมูลที่ได้จากการซีกตัวอย่างสัญญาณไม่ละเอียดเพียงพอที่จะเป็นตัวแทนของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ นอกจากนี้ภายในชิป TLC32040 ยังมีวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน มีผลให้องค์ประกอบสัญญาณถูกจำกัดด้วยตัวกรองภายในชิป จึงทำให้ อุปกรณ์ประมวลสัญญาณดังกล่าวไม่สามารถแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ได้ตามต้องการ

##### 5.1.2 อุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขจากแผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition กับโปรแกรม MATLAB

การทดสอบอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขที่พัฒนาขึ้นจากแผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition กับโปรแกรม MATLAB ที่ Shaping time ค่าต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการแต่งรูป



สัญญาณด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณ Canberra รุ่น 2011 พบว่ารูปสัญญาณมี Rise time และ Fall time ใกล้เคียงกันระหว่าง Shaping time 4.0  $\mu\text{s}$  ลงมาถึง 1.5  $\mu\text{s}$  แต่ที่ Shaping time 0.5  $\mu\text{s}$  การชักตัวอย่างสัญญาณไม่เพียงพอ รูปสัญญาณที่ถูกแต่งรูปจึงผิดเพี้ยน ผู้วิจัยได้ทดลองหาค่า Shaping time ที่น้อยที่สุดที่ระบบสามารถแต่งรูปสัญญาณได้ พบว่ามีค่า 1.0  $\mu\text{s}$

5.1.2.1 ผลทดสอบการตอบสนองของอัตรานับรังสีของอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขที่พัฒนาขึ้น โดยใช้สัญญาณพัลส์จาก Pulse pair generator พบว่าระบบสามารถตอบสนองอัตรานับรังสี 10 kcps ได้โดยไม่มีสัญญาณพัลส์สูญหาย

5.1.2.2 ผลทดสอบความสามารถในการแจกแจงพลังงานของระบบวิเคราะห์พลังงานด้วยอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขที่พัฒนาขึ้นพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถวิเคราะห์พลังงานได้ โดยมีความสามารถในการแจกแจงพลังงานตัดเทียบระบบแอนะล็อกที่ Shaping time 1.5  $\mu\text{s}$  ถึง 4.0  $\mu\text{s}$  ส่วนที่ Shaping time 0.5  $\mu\text{s}$  ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลมีอัตราชักตัวอย่างเพียง 1,000,000 ตัวอย่างต่อวินาที ทำให้ข้อมูลสัญญาณยังไม่ละเอียดพอ อีกประการหนึ่งพบว่าข้อมูลเชิงเลขที่รับเข้ามีการกระเพื่อม (Fluctuate) ซึ่งเกิดได้จากรูปสัญญาณ (Input pulse) ซึ่งอาจเกิดจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิงภายในเครื่องคอมพิวเตอร์จ่ายแรงดันที่ไม่เรียบพอ และมีสัญญาณรบกวนดังในรูปที่ 4.6 ก.2 จึงปรากฏสัญญาณรบกวนจากการกระเพื่อมของฐานสัญญาณ เมื่อนำความสูงนี้ไปวิเคราะห์แจกแจงพลังงาน จึงทำให้ความสามารถในการแจกแจงพลังงานต่ำกว่าระบบแอนะล็อก

5.1.2.3 ผลทดสอบความเสถียรของอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขที่พัฒนาขึ้น โดยบันทึก และเปรียบเทียบตำแหน่งพีคพลังงานที่วิเคราะห์ในช่วงเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าอุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขที่พัฒนาขึ้นมีความเสถียร เนื่องจากส่วนสูงสุดของสัญญาณที่ถูกแต่งรูปคงที่ ณ ตำแหน่งวิเคราะห์พลังงาน

## 5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.2.1 ระบบประมวลสัญญาณเชิงเลขที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB ร่วมกับแผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition ของบริษัท Advantech สามารถแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ได้ โดยให้รูปสัญญาณใกล้เคียงกับกระบวนการแต่งรูปสัญญาณด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

Canberra รุ่น 2011 จากการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นพบว่าสามารถเลือก Shaping time ต่อเนื่อง จากค่า 1.0  $\mu\text{s}$  ไปถึงมากกว่า 4.0  $\mu\text{s}$

5.2.2 การพัฒนาโปรแกรมการแต่งรูปสัญญาณด้วยโปรแกรม MATLAB กับแผ่นวงจร PCI-1712 data acquisition สามารถใช้ประมวลผลข้อมูลเชิงเลขได้สูงสุดประมาณ 10,000,000 ตัวอย่าง ถ้าต้องการตัวอย่างข้อมูลเชิงเลขที่มากกว่านี้ จะต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง เช่น หน่วยความจำหลักมีขนาดความจุสูง ซีพียูมีความเร็วประมวลผลสูง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ ในด้านเวลา เนื่องจากการประมวลผลดังกล่าวจะทำให้ทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์มาก

5.2.3 การประมวลผลสัญญาณเชิงเลขในการวิจัยนี้พัฒนาการแต่งรูปสัญญาณจากฟังก์ชัน ถ่ายโอนของตัวกรองที่วิเคราะห์ได้จากวงจรของอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ใช้อ้างอิง จึงใช้ คุณสมบัติของตัวกรองในอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ศึกษาไม่ได้เลือกการออกแบบตัวกรองดิจิทัล ระบบจึงไม่สามารถกำหนดหน้าตาตอบสนองย่านความถี่ของตัวกรอง เพื่อลดการรบกวนจากการกระเพื่อมของสัญญาณ

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 จากการวิจัยพบว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยมีข้อจำกัดในด้านอัตราซีกตัวอย่างสัญญาณ และความเร็วในการประมวลผลสัญญาณ โดยปกติไอซีประมวลผลสัญญาณเชิงเลขจะมีความเร็วสูง ในการอ่าน แปลความหมาย และปฏิบัติตามคำสั่ง แต่อุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล บนแผ่นวงจรมีอัตราซีกตัวอย่างสัญญาณต่ำ ทำให้ข้อมูลเริ่มต้นไม่ละเอียดพอ หากต้องการ แผ่นวงจรที่มีอัตราซีกตัวอย่างสัญญาณสูงอาจต้องใช้งบประมาณในการวิจัยสูงด้วย

5.3.2 ควรศึกษา และพัฒนาอุปกรณ์อื่นที่สามารถโปรแกรมฟังก์ชันเชิงเลข เพื่อประมวลผล สัญญาณ เช่น FPGA เป็นต้น

5.3.3 จากการวิจัยพบว่าลักษณะรูปสัญญาณที่ถูกแต่งรูปด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นมีค่าใกล้เคียง กับรูปสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ในการพัฒนาต่อไปควรปรับสัมประสิทธิ์ของ ฟังก์ชันถ่ายโอน หรือออกแบบตัวกรองเชิงเลขที่ให้ผลของรูปสัญญาณที่ถูกแต่งรูปมีค่าเท่าหรือ ใกล้เคียงกับอุปกรณ์ขยายสัญญาณมากที่สุด ซึ่งเป็นข้อดีของอุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่สามารถปรับเปลี่ยนฟังก์ชันการกรองได้ ควรพัฒนาต่อไป จะทำให้สามารถนำอุปกรณ์ประมวลผล สัญญาณเชิงเลขนี้ใช้กับหัววัดรังสีได้หลายชนิดขึ้น

5.3.4 การออกแบบระบบการแปลงรูปสัญญาณพัลส์คววรีใช้ขั้นตอนวิธี (Algorithm) แบบเวลาจริง (Real time) เพื่อให้ระบบมีสมรรถนะสูง ระบบประมวลสัญญาณได้เร็ว แสดงรูปสัญญาณได้ต่อเนื่อง และสามารถนำไปใช้งานได้ดีขึ้น

5.3.5 การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ประมวลสัญญาณเชิงเลขในกระบวนการแปลงรูปสัญญาณพัลส์ นิวเคลียร์อาจทดลองใช้โปรแกรมภาษาอื่นในการเขียนโปรแกรมควบคุมการแปลงรูปสัญญาณ เช่น ภาษาวิซวลซีพลัสพลัส (Visual C++) ภาษาวิซวลเบสิก (Visual Basic) ภาษาเดลไฟ (Inprise Delphi) ภาษาซีพลัสพลัสบิวเดอร์ (Inprise C++ Builder) เป็นต้น โดยสร้างเป็นส่วนต่อประสาน กราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface ; GUI) นอกจากนี้ อาจเขียนโปรแกรมระบบแปลงรูป สัญญาณรวมกับโปรแกรมส่วนวิเคราะห์หีสเปกตรัมให้ทำงานคล้าย MCA แบบเวลาจริง



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

1. พยุง เดชอยู่ และคณะ. 2545. งานวิจัยเรื่องการสร้างตัวกรองความถี่ชนิดแบนด์แคปโดยใช้คาถมาลฟิลเตอร์บนตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
2. สายน้ำฝน หอมจันทร์ และคณะ. 2545. งานวิจัยเรื่องการสร้างตัวกรองแบบหลายความถี่ผ่าน. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
3. Jordanov, V. T., and Knoll, G. F. 1994. Digital synthesis of pulse in real time for high resolution radiation spectroscopy. Nuclear instrument & method in physics research : 337-345.
4. Simoes, J. B., Simoes, P. C. P. S., and Correia, C. M. B.A. 1995. Nuclear spectroscopy pulse height analysis base on digital signal processing techniques. IEEE transaction on nuclear science. 42, 4 : 700-704.
5. Nicholson, P. W. 1974. Nuclear electronics. London : John Wiley & Sons.
6. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. (ม.ป.ป.). เอกสารประกอบการสอนวิชา การตรวจวัดรังสีนิวเคลียร์และอุปกรณ์นิวเคลียร์. (ม.ป.ท. : ม.ป.ป.). (อัดสำเนา)
7. พรชัย ภววงษ์ศักดิ์. การประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเบื้องต้น Revision 1.0 [online]. Available from : <http://www.ee.mut.ac.th/home/pornchai> [2003, December 12]
8. มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. 2543. คู่มือการใช้งาน Matlab ฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร : อินโฟเพรส.
9. สุมาลี อุณหวนิชย์. 2545. ระบบควบคุม (Control system). กรุงเทพมหานคร : ว. เพ็ชรสกุล.
10. Shani, G. 1996. Electronics for radiation measurement vol. 1. FL : CRC press.
11. Franco, S. 2002. Design with operational amplifiers and analog integrated circuit. 3 rd ed. NY : McGrall-Hill.
12. Chassaing, R. 1999. Digital signal processing laboratory experiments using C and the TMS320C31 DSK. NY : Wiley-Interscience.
13. Advantech. 2000. User's manual PCI-1712/1712L. 2 nd ed. Taiwan : Addison-Wesley.
14. Canberra. n.d. Spectroscopy amplifier model 2011 instruction manual. CT : n.p.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก  
โปรแกรมต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก.1

## โปรแกรมทดสอบผลตอบสนองของความถี่ที่ Shaping time ค่าต่างๆ

```

close all;
clear all;
t=(0:0:0);
%*****
%Transfer Function @ shaping time 0.5 us
sys1=tf([2.518 0.1],[1 1655323.845]);
sys2=tf([1],[7.667528e-14 3.916e-7 1]);
sys3=tf([2.166321397],[2.4156e-7 1]);
%Calculate all Transfer Function @ shaping time 0.5 us
sys0p5 = sys1*sys2*sys3
%*****
%Transfer Function @ shaping time 1.5 us
sys4=tf([2.447 0.1],[1 692818.0901]);
sys5=tf([1],[7.1700892e-13 1.1036e-6 1]);
sys6=tf([2.166321397],[2.4156e-7 1]);
%Calculate all Transfer Function @ shaping time 1.5 us
sys1p5 = sys4*sys5*sys6
%*****
%Transfer Function @ shaping time 3.0 us
sys7=tf([2.816 0.1],[1 338033.5354]);
sys8=tf([1],[2.39879564e-12 2.3852e-6 1]);
sys9=tf([2.166321397],[1.33956e-6 1]);
%Calculate all Transfer Function @ shaping time 3.0 us
sys3p0 = sys7*sys8*sys9
%*****
%Transfer Function @ shaping time 4.0 us
sys10=tf([2.668 0.1],[1 237990.9373]);
sys11=tf([1],[4.52067312e-12 3.0972e-6 1]);
sys12=tf([2.166321397],[1.82268e-6 1]);
%Calculate all Transfer Function @ shaping time 4.0 us
sys4p0 = sys10*sys11*sys12
%*****
%Bode Plot
bode (sys0p5,'--',sys1p5,'r',sys3p0,'g',sys4p0,'b',t);

```

## ภาคผนวก ก.2

โปรแกรมทดสอบผลตอบสนองของสัญญาณขั้นบันไดที่ Shaping time ค่าต่างๆ

```

close all;
clear all;
t=(0:0:0);
%*****
%Transfer Function @ shaping time 0.5 us
sys1=tf([2.518 0.1],[1 1655323.845]);
sys2=tf([1],[7.667528e-14 3.916e-7 1]);
sys3=tf([2.166321397],[2.4156e-7 1]);
%Calculate all Transfer Function @ shaping time 0.5 us
sys0p5 = sys1*sys2*sys3
%*****
%Transfer Function @ shaping time 1.5 us
sys4=tf([2.447 0.1],[1 692818.0901]);
sys5=tf([1],[7.1700892e-13 1.1036e-6 1]);
sys6=tf([2.166321397],[2.4156e-7 1]);
%Calculate all Transfer Function @ shaping time 1.5 us
sys1p5 = sys4*sys5*sys6
%*****
%Transfer Function @ shaping time 3.0 us
sys7=tf([2.816 0.1],[1 338033.5354]);
sys8=tf([1],[2.39879564e-12 2.3852e-6 1]);
sys9=tf([2.166321397],[1.33956e-6 1]);
%Calculate all Transfer Function @ shaping time 3.0 us
sys3p0 = sys7*sys8*sys9
%*****
%Transfer Function @ shaping time 4.0 us
sys10=tf([2.668 0.1],[1 237990.9373]);
sys11=tf([1],[4.52067312e-12 3.0972e-6 1]);
sys12=tf([2.166321397],[1.82268e-6 1]);
%Calculate all Transfer Function @ shaping time 4.0 us
sys4p0 = sys10*sys11*sys12
%*****
% Step response
step (sys0p5,'--',sys1p5,'r',sys3p0,'g',sys4p0,'b',t);
%*****

```



ภาคผนวก ก.3  
โปรแกรมแปลงไบลิเนียร์

```
%Program of bilinear transform
%Transfer Function
n=[5.307 1.1e005];
d=[1.732e-019 1.104e-012 2.027e-006 1.932 6.928e005];
%Sampling Rate
T=0.5e-4;
Fs=1/T;
%z-transform or Bilinear transform
[b,a]=bilinear(n,d,Fs);
h = freqz(n,d,Fs);
h = abs(h);
plot(h);
fprintf('float b=%.10f, \n',b)
fprintf('float a=%.10f, \n',a)
```



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก.4

โปรแกรมภาษาซี สำหรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์ด้วยบอร์ดประมวลสัญญาณเชิงเลข

TMS320C31 DSK starter kit

```

/*      IIR Filter Direct form I order-4      */
#include "c:\c3xtools\dsk_lab\ch3\aiccommc.c" /*AIC comm routines      */
#include "c:\c3xtools\INCLUDE\math.h"      /*math library function      */
int AICSEC[4] = {0x0A14,0x1,0x3E4E ,0x67}; /*AIC config data      */
void iir(void)
{
    int result,x0; /*declare variable      */
    float y4=0.1 , y3=0.1 , y2=0.1, y1=0.1, y0;
    float x4 , x3 , x2 ,x1;
float a1=3.7828270996, a2=5.3663652080, a3=3.3834999049, a4=0.7999709694;
float b0=0.4167085279, b1=1.1178773889, b2=0.8533809992, b3=0.0199639434 ,
b4=-0.1322481948;
    while(1)
    {
        x0=UPDATE_SAMPLE(result);
        y0 = x0*b0 + x1*b1 + x2*b2 + x3*b3 + x4*b4 - a1*y1 - a2*y2 - a3*y3 - a4*y4;
        y4=y3;
        y3=y2;
        y2=y1;
        y1=y0;
        x4=x3;
        x3=x2;
        x2=x1;
        x1=x0;
        result = (int)(y0);
    }
}
main()
{
    AICSET(); /*initialize AIC      */
    iir(); /*call iir function      */
}

```

ภาคผนวก ก.5  
โปรแกรมแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์

```

%*****
%Program : Nuclear pulse wave shaping
%Data acquisition card : Advantech PCI-1712
%Software : MATLAB 7 (R14)
%*****

    clf;
    close all;
    clear all;
    disp('*****')
    disp('*   Department of Nuclear Technology   *')
    disp('*           Chulalongkorn University           *')
    disp('*   Program : Nuclear pulse wave shaping   *')
    disp('* Data acquisition card : Advantech PCI-1712 *')
    disp('*           Software : MATLAB 7 (R14)           *')
    disp('*****')
    hold on

%*****
%Decaration variable
%*****
    initial_volts = 0;
    vpch = 0.009765625; %Voltage per channel
    maxi = 1;
    channel = 1024;
    Preset_time = 0;
    Preset_time = input('Preset time is (must <=10): ');
    NO_OF_SAMPLE = Preset_time*1000000;

```

```

%*****
%clear data in all 1024 channel
%*****
cnt(1) = 0;
for g = 2:1:channel
    cnt(g) = cnt(1);
end
%*****
%Initial the pulse height for each channel
%*****
wndw(1) = initial_volts;
for h = 2:1:channel+1
    wndw(h) = wndw(h-1) + vpch;
end
%*****
%Get nuclear pulse or input signal
%*****
ai = analoginput('advantech',0);
addchannel(ai,0);
set(ai,'SampleRate',AI_SAMPLING_RATE)
set(ai,'SamplesPerTrigger',NO_OF_SAMPLE)
start(ai)
data = getdata(ai);
%*****
%plot an input signal
%*****
subplot(3,1,1);
plot(data),grid on
axis([8200 8400 -0.1 1]);
title('Input pulse');

```

```

xlabel('time 20 us/div');
ylabel('Pulse height (Volt)');
delete(ai)
clear ai
%*****
% Select the transfer function from circuit of amp 2011
%*****
shaping_time = 0;
shaping_time = input('shaping time is 0.5,1.5, 3 or 4: ','s');
response = lower(shaping_time);
switch response
    case '0.5'
        %Wave Shaping 0.5 us
        n=[5.455 2.1e005];
        d=[1.852e-020 2.019e-013 9.167e-007 2.048 1.655e006];
    case '1.5'
        %Wave Shaping 1.5 us
        n=[5.307 6.6e004];
        d=[1.732e-019 1.104e-012 2.027e-006 1.932 6.928e005];
    case '3'
        %Wave Shaping 3.0 us
        n=[6.1 1e005];
        d=[3.213e-018 6.68e-012 5.616e-006 2.259 3.38e005 ];
    case '4'
        %Wave Shaping 4.0 us
        n=[5.78 1e005];
        d=[8.24e-018 1.213e-011 7.339e-006 2.171 2.38e005];
end

```

```

%*****
% Set the voltage gain
%*****
Gain = 1;
Gain = input('The gain is: ');
%*****
%Bilinear transform
%*****
T=0.000001;
Fs=1/T;          %Sampling frequency
[b,a]=bilinear(n,d,Fs);
y = filter(b,a,data);
y = y*Gain;
%*****
%Plot Shaped pulse
%*****
subplot(3,1,2);
plot (y),grid on
axis([8200 8400 -0.4 10]);
title('Shaped pulse');
xlabel('time 20 us/div');
ylabel('Pulse height (Volt)');
%*****
%Find the peaking amplitude of shaped pulse
%*****
z(maxi)= -1.0;    %Initial maximum value of Pulse Height
c = [0];
for m = 1:1:NO_OF_SAMPLE-2
    if y(m,1) >= z(maxi) & y(m+2,1) <= z(maxi) %& y(m,1) > 1.1
        z(maxi) = y(m,1);
    end
end

```

```

%*****
%Count the number of peaking amplitude for the channel
%*****
    for k = 10:1:channel
        if z(maxi) >= wndw(k) & z(maxi) < wndw(k+1)
            cnt(1,k) = cnt(1,k)+1;
        else
            a = a +1;
        end
    end
else
    z(maxi) = y(m,1);
end
end

%*****
%Plot Spectrum
%*****
    xx = [1:1:channel];
    yy = [cnt(1) cnt(2) cnt(3) cnt(4) cnt(5) cnt(6) cnt(7) cnt(8) cnt(9) cnt(10) cnt(11)
cnt(12) cnt(13) cnt(14) cnt(15) cnt(16) cnt(17) cnt(18) cnt(19) cnt(20) cnt(21) cnt(22)
cnt(23) cnt(24) cnt(25) cnt(26) cnt(27) cnt(28) cnt(29) cnt(30) cnt(31) cnt(32) cnt(33)
cnt(34) cnt(35) cnt(36) cnt(37) cnt(38) cnt(39) cnt(40) cnt(41) cnt(42) cnt(43) cnt(44)
cnt(45) cnt(46) cnt(47) cnt(48) cnt(49) cnt(50) cnt(51) cnt(52) cnt(53) cnt(54) cnt(55)
cnt(56) cnt(57) cnt(58) cnt(59) cnt(60) cnt(61) cnt(62) cnt(63) cnt(64) cnt(65) cnt(66)
cnt(67) cnt(68) cnt(69) cnt(70) cnt(71) cnt(72) cnt(73) cnt(74) cnt(75) cnt(76) cnt(77)
cnt(78) cnt(79) cnt(80) cnt(81) cnt(82) cnt(83) cnt(84) cnt(85) cnt(86) cnt(87) cnt(88)
cnt(89) cnt(90) cnt(91) cnt(92) cnt(93) cnt(94) cnt(95) cnt(96) cnt(97) cnt(98) cnt(99)
cnt(100) cnt(101) cnt(102) cnt(103) cnt(104) cnt(105) cnt(106) cnt(107) cnt(108)
cnt(109) cnt(110) cnt(111) cnt(112) cnt(113) cnt(114) cnt(115) cnt(116) cnt(117)

```

cnt(118) cnt(119) cnt(120) cnt(121) cnt(122) cnt(123) cnt(124) cnt(125) cnt(126)  
cnt(127) cnt(128) cnt(129) cnt(130) cnt(131) cnt(132) cnt(133) cnt(134) cnt(135)  
cnt(136) cnt(137) cnt(138) cnt(139) cnt(140) cnt(141) cnt(142) cnt(143) cnt(144)  
cnt(145) cnt(146) cnt(147) cnt(148) cnt(149) cnt(150) cnt(151) cnt(152) cnt(153)  
cnt(154) cnt(155) cnt(156) cnt(157) cnt(158) cnt(159) cnt(160) cnt(161) cnt(162)  
cnt(163) cnt(164) cnt(165) cnt(166) cnt(167) cnt(168) cnt(169) cnt(170) cnt(171)  
cnt(172) cnt(173) cnt(174) cnt(175) cnt(176) cnt(177) cnt(178) cnt(179) cnt(180)  
cnt(181) cnt(182) cnt(183) cnt(184) cnt(185) cnt(186) cnt(187) cnt(188) cnt(189)  
cnt(190) cnt(191) cnt(192) cnt(193) cnt(194) cnt(195) cnt(196) cnt(197) cnt(198)  
cnt(199) cnt(200) cnt(201) cnt(202) cnt(203) cnt(204) cnt(205) cnt(206) cnt(207)  
cnt(208) cnt(209) cnt(210) cnt(211) cnt(212) cnt(213) cnt(214) cnt(215) cnt(216)  
cnt(217) cnt(218) cnt(219) cnt(220) cnt(221) cnt(222) cnt(223) cnt(224) cnt(225)  
cnt(226) cnt(227) cnt(228) cnt(229) cnt(230) cnt(231) cnt(232) cnt(233) cnt(234)  
cnt(235) cnt(236) cnt(237) cnt(238) cnt(239) cnt(240) cnt(241) cnt(242) cnt(243)  
cnt(244) cnt(245) cnt(246) cnt(247) cnt(248) cnt(249) cnt(250) cnt(251) cnt(252)  
cnt(253) cnt(254) cnt(255) cnt(256) cnt(257) cnt(258) cnt(259) cnt(260) cnt(261)  
cnt(262) cnt(263) cnt(264) cnt(265) cnt(266) cnt(267) cnt(268) cnt(269) cnt(270)  
cnt(271) cnt(272) cnt(273) cnt(274) cnt(275) cnt(276) cnt(277) cnt(278) cnt(279)  
cnt(280) cnt(281) cnt(282) cnt(283) cnt(284) cnt(285) cnt(286) cnt(287) cnt(288)  
cnt(289) cnt(290) cnt(291) cnt(292) cnt(293) cnt(294) cnt(295) cnt(296) cnt(297)  
cnt(298) cnt(299) cnt(300) cnt(301) cnt(302) cnt(303) cnt(304) cnt(305) cnt(306)  
cnt(307) cnt(308) cnt(309) cnt(310) cnt(311) cnt(312) cnt(313) cnt(314) cnt(315)  
cnt(316) cnt(317) cnt(318) cnt(319) cnt(320) cnt(321) cnt(322) cnt(323) cnt(324)  
cnt(325) cnt(326) cnt(327) cnt(328) cnt(329) cnt(330) cnt(331) cnt(332) cnt(333)  
cnt(334) cnt(335) cnt(336) cnt(337) cnt(338) cnt(339) cnt(340) cnt(341) cnt(342)  
cnt(343) cnt(344) cnt(345) cnt(346) cnt(347) cnt(348) cnt(349) cnt(350) cnt(351)  
cnt(352) cnt(353) cnt(354) cnt(355) cnt(356) cnt(357) cnt(358) cnt(359) cnt(360)  
cnt(361) cnt(362) cnt(363) cnt(364) cnt(365) cnt(366) cnt(367) cnt(368) cnt(369)  
cnt(370) cnt(371) cnt(372) cnt(373) cnt(374) cnt(375) cnt(376) cnt(377) cnt(378)  
cnt(379) cnt(380) cnt(381) cnt(382) cnt(383) cnt(384) cnt(385) cnt(386) cnt(387)



cnt(388) cnt(389) cnt(390) cnt(391) cnt(392) cnt(393) cnt(394) cnt(395) cnt(396)  
cnt(397) cnt(398) cnt(399) cnt(400) cnt(401) cnt(402) cnt(403) cnt(404) cnt(405)  
cnt(406) cnt(407) cnt(408) cnt(409) cnt(410) cnt(411) cnt(412) cnt(413) cnt(414)  
cnt(415) cnt(416) cnt(417) cnt(418) cnt(419) cnt(420) cnt(421) cnt(422) cnt(423)  
cnt(424) cnt(425) cnt(426) cnt(427) cnt(428) cnt(429) cnt(430) cnt(431) cnt(432)  
cnt(433) cnt(434) cnt(435) cnt(436) cnt(437) cnt(438) cnt(439) cnt(440) cnt(441)  
cnt(442) cnt(443) cnt(444) cnt(445) cnt(446) cnt(447) cnt(448) cnt(449) cnt(450)  
cnt(451) cnt(452) cnt(453) cnt(454) cnt(455) cnt(456) cnt(457) cnt(458) cnt(459)  
cnt(460) cnt(461) cnt(462) cnt(463) cnt(464) cnt(465) cnt(466) cnt(467) cnt(468)  
cnt(469) cnt(470) cnt(471) cnt(472) cnt(473) cnt(474) cnt(475) cnt(476) cnt(477)  
cnt(478) cnt(479) cnt(480) cnt(481) cnt(482) cnt(483) cnt(484) cnt(485) cnt(486)  
cnt(487) cnt(488) cnt(489) cnt(490) cnt(491) cnt(492) cnt(493) cnt(494) cnt(495)  
cnt(496) cnt(497) cnt(498) cnt(499) cnt(500) cnt(501) cnt(502) cnt(503) cnt(504)  
cnt(505) cnt(506) cnt(507) cnt(508) cnt(509) cnt(510) cnt(511) cnt(512) cnt(513)  
cnt(514) cnt(515) cnt(516) cnt(517) cnt(518) cnt(519) cnt(520) cnt(521) cnt(522)  
cnt(523) cnt(524) cnt(525) cnt(526) cnt(527) cnt(528) cnt(529) cnt(530) cnt(531)  
cnt(532) cnt(533) cnt(534) cnt(535) cnt(536) cnt(537) cnt(538) cnt(539) cnt(540)  
cnt(541) cnt(542) cnt(543) cnt(544) cnt(545) cnt(546) cnt(547) cnt(548) cnt(549)  
cnt(550) cnt(551) cnt(552) cnt(553) cnt(554) cnt(555) cnt(556) cnt(557) cnt(558)  
cnt(559) cnt(560) cnt(561) cnt(562) cnt(563) cnt(564) cnt(565) cnt(566) cnt(567)  
cnt(568) cnt(569) cnt(570) cnt(571) cnt(572) cnt(573) cnt(574) cnt(575) cnt(576)  
cnt(577) cnt(578) cnt(579) cnt(580) cnt(581) cnt(582) cnt(583) cnt(584) cnt(585)  
cnt(586) cnt(587) cnt(588) cnt(589) cnt(590) cnt(591) cnt(592) cnt(593) cnt(594)  
cnt(595) cnt(596) cnt(597) cnt(598) cnt(599) cnt(600) cnt(601) cnt(602) cnt(603)  
cnt(604) cnt(605) cnt(606) cnt(607) cnt(608) cnt(609) cnt(610) cnt(611) cnt(612)  
cnt(613) cnt(614) cnt(615) cnt(616) cnt(617) cnt(618) cnt(619) cnt(620) cnt(621)  
cnt(622) cnt(623) cnt(624) cnt(625) cnt(626) cnt(627) cnt(628) cnt(629) cnt(630)  
cnt(631) cnt(632) cnt(633) cnt(634) cnt(635) cnt(636) cnt(637) cnt(638) cnt(639)  
cnt(640) cnt(641) cnt(642) cnt(643) cnt(644) cnt(645) cnt(646) cnt(647) cnt(648)  
cnt(649) cnt(650) cnt(651) cnt(652) cnt(653) cnt(654) cnt(655) cnt(656) cnt(657)

cnt(658) cnt(659) cnt(660) cnt(661) cnt(662) cnt(663) cnt(664) cnt(665) cnt(666)  
cnt(667) cnt(668) cnt(669) cnt(670) cnt(671) cnt(672) cnt(673) cnt(674) cnt(675)  
cnt(676) cnt(677) cnt(678) cnt(679) cnt(680) cnt(681) cnt(682) cnt(683) cnt(684)  
cnt(685) cnt(686) cnt(687) cnt(688) cnt(689) cnt(690) cnt(691) cnt(692) cnt(693)  
cnt(694) cnt(695) cnt(696) cnt(697) cnt(698) cnt(699) cnt(700) cnt(701) cnt(702)  
cnt(703) cnt(704) cnt(705) cnt(706) cnt(707) cnt(708) cnt(709) cnt(710) cnt(711)  
cnt(712) cnt(713) cnt(714) cnt(715) cnt(716) cnt(717) cnt(718) cnt(719) cnt(720)  
cnt(721) cnt(722) cnt(723) cnt(724) cnt(725) cnt(726) cnt(727) cnt(728) cnt(729)  
cnt(730) cnt(731) cnt(732) cnt(733) cnt(734) cnt(735) cnt(736) cnt(737) cnt(738)  
cnt(739) cnt(740) cnt(741) cnt(742) cnt(743) cnt(744) cnt(745) cnt(746) cnt(747)  
cnt(748) cnt(749) cnt(750) cnt(751) cnt(752) cnt(753) cnt(754) cnt(755) cnt(756)  
cnt(757) cnt(758) cnt(759) cnt(760) cnt(761) cnt(762) cnt(763) cnt(764) cnt(765)  
cnt(766) cnt(767) cnt(768) cnt(769) cnt(770) cnt(771) cnt(772) cnt(773) cnt(774)  
cnt(775) cnt(776) cnt(777) cnt(778) cnt(779) cnt(780) cnt(781) cnt(782) cnt(783)  
cnt(784) cnt(785) cnt(786) cnt(787) cnt(788) cnt(789) cnt(790) cnt(791) cnt(792)  
cnt(793) cnt(794) cnt(795) cnt(796) cnt(797) cnt(798) cnt(799) cnt(800) cnt(801)  
cnt(802) cnt(803) cnt(804) cnt(805) cnt(806) cnt(807) cnt(808) cnt(809) cnt(810)  
cnt(811) cnt(812) cnt(813) cnt(814) cnt(815) cnt(816) cnt(817) cnt(818) cnt(819)  
cnt(820) cnt(821) cnt(822) cnt(823) cnt(824) cnt(825) cnt(826) cnt(827) cnt(828)  
cnt(829) cnt(830) cnt(831) cnt(832) cnt(833) cnt(834) cnt(835) cnt(836) cnt(837)  
cnt(838) cnt(839) cnt(840) cnt(841) cnt(842) cnt(843) cnt(844) cnt(845) cnt(846)  
cnt(847) cnt(848) cnt(849) cnt(850) cnt(851) cnt(852) cnt(853) cnt(854) cnt(855)  
cnt(856) cnt(857) cnt(858) cnt(859) cnt(860) cnt(861) cnt(862) cnt(863) cnt(864)  
cnt(865) cnt(866) cnt(867) cnt(868) cnt(869) cnt(870) cnt(871) cnt(872) cnt(873)  
cnt(874) cnt(875) cnt(876) cnt(877) cnt(878) cnt(879) cnt(880) cnt(881) cnt(882)  
cnt(883) cnt(884) cnt(885) cnt(886) cnt(887) cnt(888) cnt(889) cnt(890) cnt(891)  
cnt(892) cnt(893) cnt(894) cnt(895) cnt(896) cnt(897) cnt(898) cnt(899) cnt(900)  
cnt(901) cnt(902) cnt(903) cnt(904) cnt(905) cnt(906) cnt(907) cnt(908) cnt(909)  
cnt(910) cnt(911) cnt(912) cnt(913) cnt(914) cnt(915) cnt(916) cnt(917) cnt(918)  
cnt(919) cnt(920) cnt(921) cnt(922) cnt(923) cnt(924) cnt(925) cnt(926) cnt(927)

```
cnt(928) cnt(929) cnt(930) cnt(931) cnt(932) cnt(933) cnt(934) cnt(935) cnt(936)
cnt(937) cnt(938) cnt(939) cnt(940) cnt(941) cnt(942) cnt(943) cnt(944) cnt(945)
cnt(946) cnt(947) cnt(948) cnt(949) cnt(950) cnt(951) cnt(952) cnt(953) cnt(954)
cnt(955) cnt(956) cnt(957) cnt(958) cnt(959) cnt(960) cnt(961) cnt(962) cnt(963)
cnt(964) cnt(965) cnt(966) cnt(967) cnt(968) cnt(969) cnt(970) cnt(971) cnt(972)
cnt(973) cnt(974) cnt(975) cnt(976) cnt(977) cnt(978) cnt(979) cnt(980) cnt(981)
cnt(982) cnt(983) cnt(984) cnt(985) cnt(986) cnt(987) cnt(988) cnt(989) cnt(990)
cnt(991) cnt(992) cnt(993) cnt(994) cnt(995) cnt(996) cnt(997) cnt(998) cnt(999)
cnt(1000) cnt(1001) cnt(1002) cnt(1003) cnt(1004) cnt(1005) cnt(1006) cnt(1007)
cnt(1008) cnt(1009) cnt(1010) cnt(1011) cnt(1012) cnt(1013) cnt(1014) cnt(1015)
cnt(1016) cnt(1017) cnt(1018) cnt(1019) cnt(1020) cnt(1021) cnt(1022) cnt(1023)
cnt(1024)];
subplot(3,1,3);
bar(yy);grid on
title('Spectrum');
xlabel('Channel');
ylabel('Count');
%*****
```

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 1. Introduction

Thank you for buying the Advantech PCI-1712/1732 PCI card. The PCI-1712/1732 is a powerful high-speed multifunction DAS card for PCI bus. It features a 1MHz 12-bit A/D converter, an on-board FIFO buffer (storing up to 1K samples for A/D, and up to 32K samples for D/A conversion). The PCI-1712/1732 provides a total of up to 16 *single-ended* or 8 *differential A/D input channels* or a mixed combination, 2 *12-bit D/A output channels*, 16 *digital input/output channels*, and 3 *10MHz 16-bit multifunction counter channels*. PCI-1712/1732 provides specific functions for different user requirements:

**PCI-1712 1 MS/s High-Speed Multifunction Card**

**PCI-1732 1 MS/s High-Speed Multifunction Card w/o analog output**

The following sections of this chapter will provide further information about features of the DAS card, a Quick Start for installation, together with some brief information on software and accessories for the PCI-1712/1732 card.

### 1.1 Features

The Advantech PCI-1712/1732 provides users with the most requested measurement and control functions as seen below:

- PCI-bus mastering for data transfer
- 16 single-ended or 8 differential or combination analog inputs
- 12-bit A/D converter, with up to 1 MHz sampling rate
- Pre-, post-, about- and delay-trigger data acquisition modes for analog input channels
- Programmable gain for each analog input channel
- Automatic channel/gain/SD/BU scanning
- On-board FIFO buffer storing up to 1K samples for A/D and 32K samples for D/A
- Two 12-bit analog output channels with continuous waveform output function
- Auto calibration for analog input and output channels
- 16 digital Input and output channels
- Three 16-bit programmable multifunction counters/timers on 10MHz clock.

The Advantech PCI-1712 offers the following main features:

## 3. Signal Connections

---

### 3.1 Overview

---

Maintaining proper signal connections is one of the most important factors to ensure that your application system is sending and receiving data correctly. A good signal connection can avoid unnecessary and costly damage to your PC and other hardware devices. This chapter provides useful information about how to connect input and output signals to the PCI-1712/1732 via the I/O connector.

### 3.2 I/O Connector

---

The I/O connector on the PCI-1712/1732 is a 68-pin connector that enables you to connect to accessories with the PCL-10168 shielded cable.

**Note:**

- The PCL-10168 shielded cable is especially designed for the PCI-1712/1732 to reduce noise in the analog signal lines. Please refer to *Section 1.3 Accessories*.

**Pin Assignment**

Figure 3-1 shows the pin assignments for the 68-pin I/O connector on the PCI-1712/1732, and table 3-1 lists the detailed illustration of the pins.

**Note:**

- The three ground references AIGND, AOGND, and DGND should be used discreetly each according to its designated purpose.

Chapter 3

AIO	60	34	AI1
AI2	67	33	AI3
AI4	66	32	AI5
AI6	65	31	AI7
AI8	64	30	AI9
AI10	63	29	AI11
AI12	62	28	AI13
AI14	61	27	AI15
AI_GND	60	26	ANA_TRG
AO0_REF*	59	25	AO1_REF*
AO0_OUT*	58	24	AO1_OUT*
AO_GND*	57	23	AO_GND*
AL_CLK*	56	22	AL_TRG*
DGND	55	21	DGND
AO_CLK*	54	20	AO_TRG*
CNT0_CLK	53	19	CNT0_GATE
CNT0_OUT	52	18	DGND
CNT1_CLK	51	17	CNT1_GATE
CNT1_OUT	50	16	DGND
CNT2_CLK	49	15	CNT2_GATE
CNT2_OUT	48	14	DGND
DIO0	47	13	DIO1
DIO2	46	12	DIO3
DIO4	45	11	DIO5
DIO6	44	10	DIO7
DGND	43	9	DGND
DIO8	42	8	DIO9
DIO10	41	7	DIO11
DIO12	40	6	DIO13
DIO14	39	5	DIO15
DGND	38	4	DGND
AL_TRG_OUT	37	3	AL_TRG_OUT
NC	36	2	NC
+12V	35	1	+5V

Figure 3-1: I/O connector pin assignments for the PCI-1712/1732

\*: Pins 20, 22~25, 54, 56~59 are not defined on PCI-1732

## I/O Connector Signal Description

Signal Name	Reference	Direction	Description
AI<0...15>	AIGND	Input	<b>Analog Input Channels 0 through 15.</b> Each channel pair, AI<i, i+8> (i = 0...7), can be configured as either one differential input or two single-ended inputs.
AIGND	-	-	<b>Analog Input Ground.</b> These pins are the reference points for single-ended measurements and the bias current return point for differential measurement. All three ground references ? AIGND, AOGND and DGND ? are connected together on the PCI-1712 card.
AO0_REF	AOGND	Input	<b>Analog Channel 0 Output External Reference.</b> This is the external reference input for the analog output channel 0 circuitry.
AO1_REF	AOGND	Input	<b>Analog Channel 1 Output External Reference.</b> This is the external reference input for the analog output channel 1 circuitry.
ANA_TRG	AIGND	Input	<b>Analog threshold Trigger.</b> This pin is the analog input threshold trigger input.
AO0_OUT	AOGND	Output	<b>Analog Channel 0 Output.</b> This pin supplies the voltage output of analog output channel 0.
AO1_OUT	AOGND	Output	<b>Analog Channel 1 Output.</b> This pin supplies the voltage output of analog output channel 1.
AI_CLK	DGND	Input	<b>Analog Input external clock input.</b> This is the external clock input for the analog input.
AI_TRG	DGND	Input	<b>Analog Input TTL Trigger.</b> This is the TTL trigger for analog trigger.
AOGND	-	-	<b>Analog Output Ground.</b> The analog output voltages are referenced to these nodes. All three ground references ? AIGND, AOGND, and DGND ? are connected together on your PCI-1712 card.

Table 3-1: I/O Connector Signal Description (Part 1)

Chapter 3

Signal Name	Reference	Direction	Description
DIO<0..15>	DGND	Input	<b>Digital Input / Output signals.</b> These pins are digital input / output channel 0 to 15
AI_CLK	DGND	Input	<b>Analog Input external clock input.</b> This is the external clock input for the analog input.
AI_TRG	DGND	Input	<b>Analog Input TTL Trigger-</b> This is the TTL trigger for analog trigger.
AI_CLK_OUT	DGND	Output	<b>Analog Input Clock Output.</b> This pin pulses once for each pacer clock. This signal serves as a synchronous signal for application. The low-to-high edge start A/D conversion.
AI_TRG_OUT	DGND	Output	<b>Analog Input Trigger Output.</b> This pin outputs the analog input trigger signal. The low-to-high edge indicates the trigger event.
DGND	-	-	<b>Digital Ground.</b> This pin supplies the reference for the digital signals at the I/O connector as well as the +5VDC supply. All three ground references ? AIGND, AOGND, and DGND ? are connected together on your PCI-1712 card.

Table 3-1: I/O Connector Signal Description (Part 2)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Signal Name	Reference	Direction	Description
CNT0_CLK	DGND	Input	<b>Counter 0 Clock Input.</b> This pin is the counter 0 external clock input (up to 10MHz), counter 0 clock can be either internal set by software.
CNT0_GATE	DGND	Input	<b>Counter 0 Gate Input.</b> This pin is for counter 0 gate control, see 82C54 data sheet for detailed information.
CNT0_OUT	DGND	Output	<b>Counter 0 Output.</b> This pin is counter 0 output, see 82C54 data sheet for detailed information.
CNT1_CLK	DGND	Input	<b>Counter 1 Clock Input.</b> This pin is the counter 1 external clock input (up to 10MHz), counter 1 clock can be either internal set by software.
CNT1_GATE	DGND	Input	<b>Counter 1 Gate Input.</b> This pin is for counter 1 gate control, see 82C54 data sheet for detailed information.
CNT1_OUT	DGND	Output	<b>Counter 1 Output.</b> This pin is counter 1 output, see 82C54 data sheet for detailed information.
CNT2_CLK	DGND	Input	<b>Counter 2 Clock Input.</b> This pin is the counter 2 external clock input (up to 10MHz), counter 2 clock can be either internal set by software.
CNT2_GATE	DGND	Input	<b>Counter 2 Gate Input.</b> This pin is for counter 2 gate control, see 82C54 data sheet for detailed information.
CNT2_OUT	DGND	Output	<b>Counter 2 Output.</b> This pin is counter 2 output, see 82C54 data sheet for detailed information.
+12V	DGND	Output	<b>+12 VDC Source.</b> This pin is +12V power supply.
+5V	DGND	Output	<b>+5 VDC Source.</b> This pin is +5 V power supply.
NC	-	-	<b>No Connection.</b> These pins serve no connection.

Table 3-1: I/O Connector Signal Description (Part 3)

### 3.3 Analog Input Connections

The PCI-1712/1732 supports either 16 single-ended or 8 differential analog inputs. Each individual input channel is software-selected.

#### Single-ended Channel Connections

The single-ended input configuration has only one signal wire for each channel, and the *measured voltage* ( $V_m$ ) is the voltage of the wire as referenced against the common ground.

A signal source without a local ground is also called a “floating source”. It is fairly simple to connect a single-ended channel to a floating signal source. In this mode, the PCI-1712/1732 provides a reference ground for external floating signal sources.

Figure 3-2 shows a single-ended channel connection between a floating signal source and an input channel on the PCI-1712/1732.

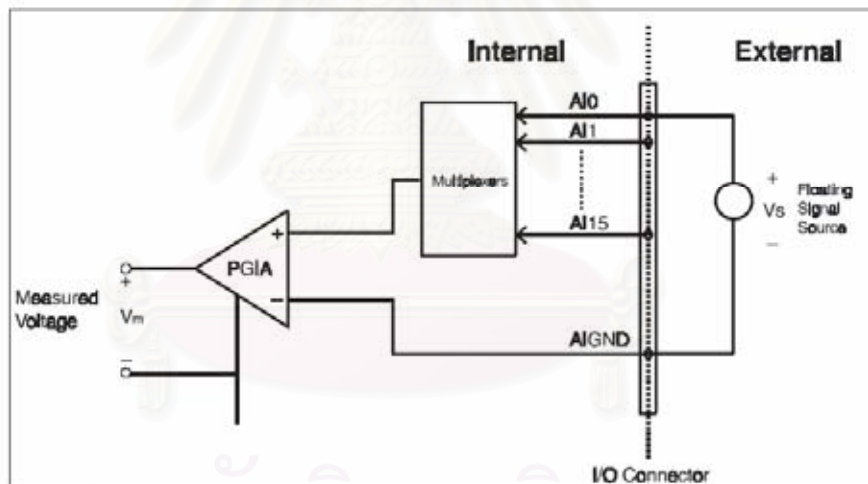


Figure 3-2: Single-ended input channel connection

#### Differential Channel Connections

The differential input channels operate with two signal wires for each channel, and the voltage difference between both signal wires is measured. On the PCI-1712/1732, when all channels are configured to differential input, up to 8 analog channels are available.

If one side of the signal source is connected to a local ground, the signal source is ground-referenced. Therefore, the ground of the signal source and the ground of the card will not be exactly of the

same voltage. The difference between the ground voltages forms a common-mode voltage ( $V_{cm}$ ).

To avoid the ground loop noise effect caused by common-mode voltages, you can connect the signal ground to the Low input. Figure 3-3 shows a differential channel connection between a ground-reference signal source and an input channel on the PCI-1712/1732. With this connection, the PGIA rejects a common-mode voltage  $V_{cm}$  between the signal source and the PCI-1712/1732 ground, shown as  $V_{cm}$  in Figure 3-3.

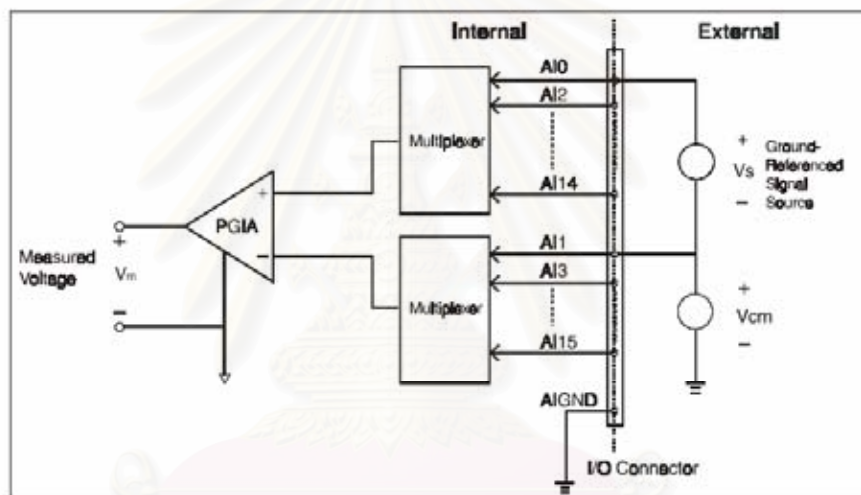


Figure 3-3: Differential input channel connection - ground reference signal source

If a floating signal source is connected to the differential input channel, the signal source might exceed the common-mode signal range of the PGIA, and the PGIA will be saturated with erroneous voltage-readings. You must therefore reference the signal source against the AIGND.

Figure 3-4 shows a differential channel connection between a floating signal source and an input channel on the PCI-1712/1732. In this figure, each side of the floating signal source is connected through a resistor to the AIGND. This connection can reject the common-mode voltage between the signal source and the PCI-1712/1732 ground.

Chapter 3

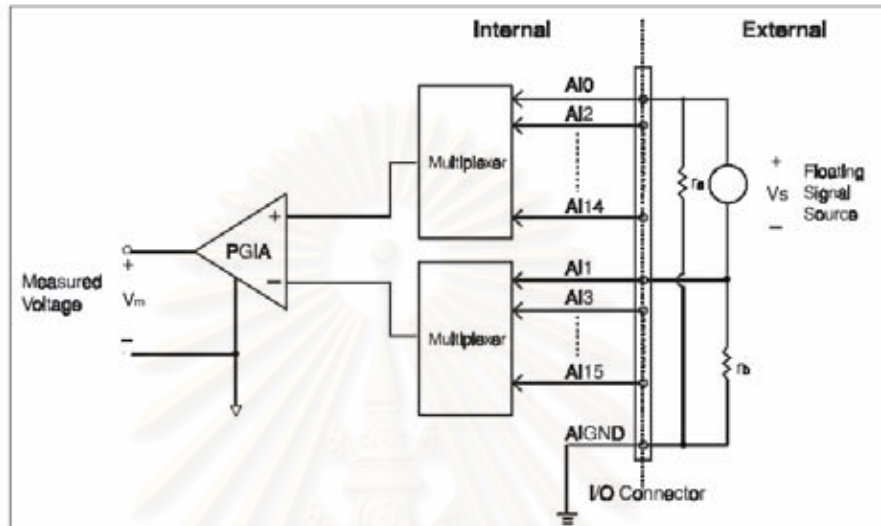
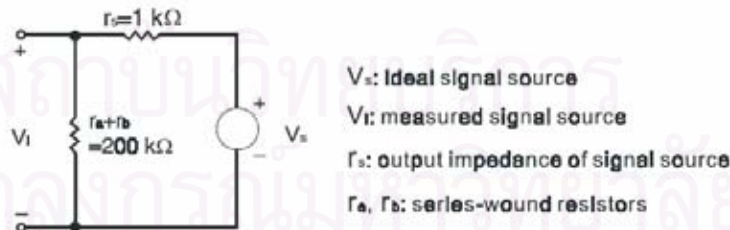


Figure 3-4: Differential input channel connection - floating signal source

However, this connection has the disadvantage of loading the source down with the series combination (sum) of the two resistors. For  $r_s$  and  $r_b$ , for example, if the input impedance  $r_s$  is 1 k $\Omega$ , and each of the two resistors is 100 k $\Omega$ , then the resistors load down the signal source with 200 k $\Omega$  (100 k $\Omega$  + 100 k $\Omega$ ), resulting in a -0.5% gain error. The following gives a simplified representation of the circuit and calculating process.



$$V_i = \frac{r_a + r_b}{r_s + r_a + r_b} V_s = \frac{200}{1 + 200} V_s = \frac{200}{201} V_s$$

$$\text{Gain error} = \frac{V_i - V_s}{V_s} = -\frac{1}{201} = -0.5\%$$

### 3.4 Analog Output Connections

The PCI-1712 provides two D/A output channels, **AO0\_OUT** and **AO1\_OUT**. Users may use the PCI-1712 internally-provided precision +5V (+10V) reference to generate 0 ~ +5 V and 0 ~ +10 V unipolar D/A output range; or to generate -5 ~ +5 V and -10 ~ +10 V for bipolar output range.

Users may also set D/A output range through external references, **AO0\_REF** and **AO1\_REF**. The external reference input range is 0~10 V. For example, connecting with an external reference of +7 V will generate 0 ~ +7 V D/A output for *unipolar*; and -7 ~ +7 V for *bipolar*.

Figure 3-5 shows how to make analog output and external reference input connections on the PCI-1712.

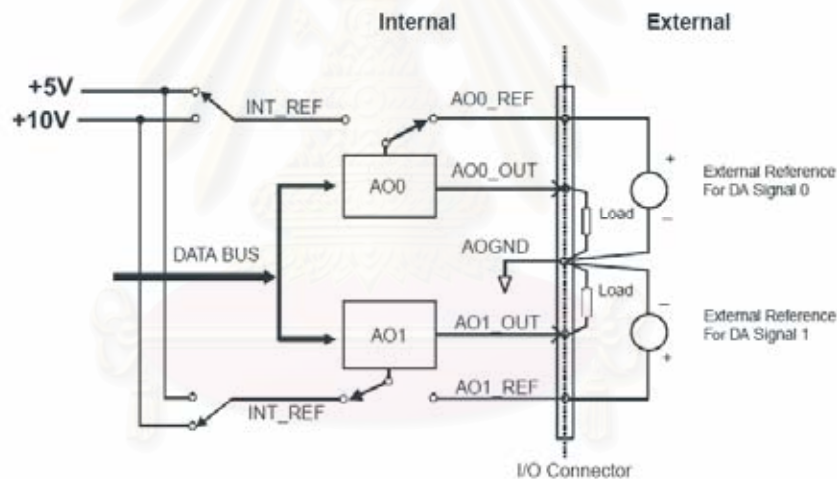


Figure 3-5: Analog output connections

### 3.5 Field Wiring Considerations

---

When you use the PCI-1712/1732 to acquire data from outside, noises in the environment might significantly affect the accuracy of your measurements if due cautions are not taken. The following measures will be helpful to reduce possible interference running signal wires between signal sources and the PCI-1712/1732.

- The signal cables must be kept away from strong electromagnetic sources such as power lines, large electric motors, circuit breakers or welding machines, since they may cause strong electromagnetic interference. Keep the analog signal cables away from any video monitor, since it can significantly affect data acquisition system.
- If the cable travels through area with significant electromagnetic interference, you should adopt individually shielded, twisted-pair wires as the analog input cable. This type of cable have its signal wires twisted together and shielded with a metal mesh. The metal mesh should only be connected to one point at the signal source ground.
- Avoid running the signal cables through any conduit that might have power lines in it.
- If you have to place your signal cable parallel to a power line that has a high voltage or high current running through it, try to keep a safe distance between them. Or you should place the signal cable at right angle to the power line to minimize the undesirable effect.
- The signals transmitted on the cable will be directly affected by the quality of the cable. In order to ensure best signal quality, we recommend that you use the PCL-10168 shielded cable.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## A. Specification

### Analog Input:

Channels	16 single-ended or 8 differential or combination					
Resolution	12-bit					
FIFO Size	1K samples					
Max. Transfer Rate	Multi-channel, single gain: 1 MS/s Multi-channel, multi-gain: 600 kS/s Multi-channel, multi-gain, unipolar/bipolar: 400 kS/s					
Conversion Time	500 ns					
Input range and Gain List	Gain	0.5	1	2	4	8
	Unipolar	N/A	0~10	0~5	0~2.5	0~1.25
	Bipolar	± 10	± 5	± 2.5	± 1.25	± 0.625
Drift	Gain	0.5	1	2	4	8
	Zero( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )	± 80	± 30	± 30	± 30	± 30
	Gain(ppm/ $^\circ\text{C}$ )	± 30	± 30	± 30	± 30	± 30
Small Signal Bandwidth for PGA	Gain	0.5	1	2	4	8
	Bandwidth	4.0 MHz	4.0 MHz	2.0 MHz	1.5 MHz	0.65 MHz
Common mode voltage	± 11 V max. (operational)					
Max. Input voltage	± 20 V					
Input Protect	30 Vp-p					
Input Impedance	100 M $\Omega$ /10pF(Off); 100 M $\Omega$ /100pF(On)					
Trigger Mode	Software, on-board programmable pacer or external, pre-trigger, post-trigger, delay-trigger, about-trigger					
Accuracy	DC					
	DNLE: ± 1LSB					
	INLE: ± 1LSB					
	Offset error < 1LSB					
	Gain	0.5	1	2	4	8
	Gain error (% FSR)	0.15	0.03	0.03	0.05	0.1
AC	SNR: 68 dB					
	ENOB: 11 bits					
	THD: -75 dB typical					
External TTL Trigger Input	Low	0.8 V max.				
	High	2.0 V min.				
External Analog Trigger Input	Range	-10 V to + 10 V				
	Resolution	8-bit				
	Impedance	100 M $\Omega$ /100 pF typical				
Clock Output	Low	0.5 V max. @+24 mA				
	High	2.4 V min. @-15 mA				
Trigger Output	Low	0.5 V max. @+24 mA				
	High	2.4 V min. @-15 mA				

## APPENDIX A

### Analog Output: (PCI-1712 only)

Channels	2	
Resolution	12-bit	
FIFO Size	32K samples	
Operation mode	Single output, continuous output, waveform output	
Output Range (Internal & External Reference)	Using Internal Reference	0~+5V, 0~+10 V, -5~+5V, -10~+10V
	Using External Reference	0 ~ +x V @ +x V (-10 ≤ x ≤ 10) -x ~ +x V @ +x V (-10 ≤ x ≤ 10)
Accuracy	Relative	± 1 LSB
	Differential Non-linearity	± 1 LSB (monotonic)
Offset	< 1 LSB	
Slew Rate	20V/μs	
Drift	10 ppm/°C	
Driving Capability	± 10mA	
Max. Transfer Rate	Single Channel: 1 MS/s max. for FSR Dual Channel: 500 kS/s max. for FSR	
Output Impedance	0.1Ω max.	
Digital Rate	5 MHz	
Settling Time	2μs (to ±1/2 LSB of FSR)	
External Clock Input	Low	0.8 V max.
	High	2.0 V min.
External TTL Trigger Input	Low	0.8 V max.
	High	2.0 V min.

### Digital Input /Output:

Input Channels	16 (bi-directional)	
Number of ports	2	
Input Voltage	Low	0.8 V max.
	High	2.0 V min.
Output Voltage	Low	0.5 V max. @ +24 mA (sink)
	High	2.4 V min. @ -15 mA (source)



**Counter/Timer:**

Channels	3	
Resolution	16-bit	
Compatibility	TTL level	
Base Clock	10 MHz, 1MHz, 100kHz, 10kHz	
Max. Input Frequency	10 MHz	
Clock Input	Low	0.8 V max.
	High	2.0 V min.
Gate Input	Low	0.8 V max.
	High	2.0 V min.
Counter Output	Low	0.5 V max.@+24 mA
	High	2.4 V min.@-15 mA

**General:**

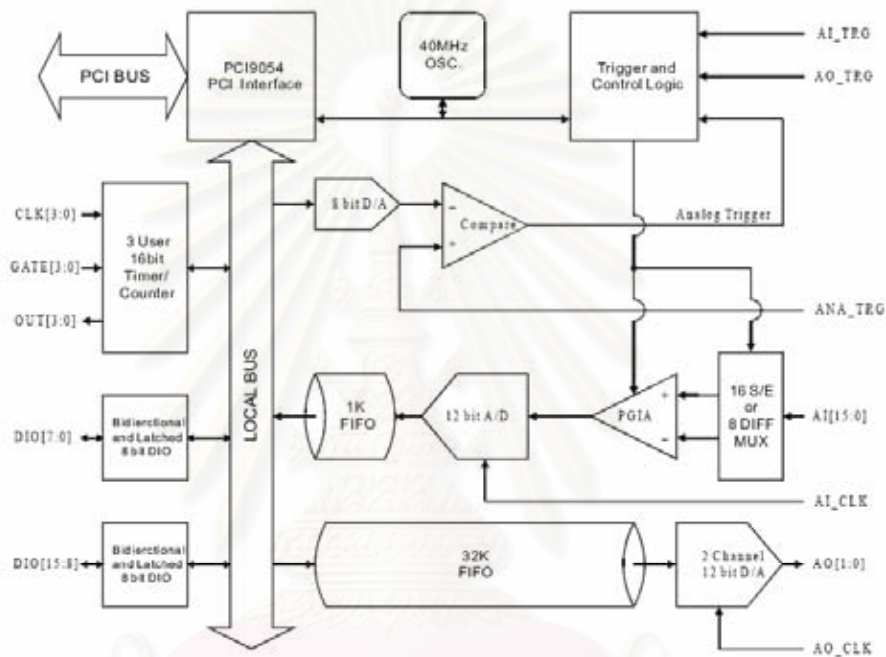
I/O Connector Type	68-pin SCSI-II female	
Dimensions	175 mm x 100 mm (6.9" x 3.9")	
Power Consumption	Typical	+5 V @ 850 mA +12 V @ 600 mA
	Max.	+5 V @ 1 A +12 V @ 700m A
Temperature	Operation	0~+60° C (32~140° F) (refer to IEC 68-2-1,2)
	Storage	-20~+85° C (-4~185° F)
Relative Humidity	5~95%RH non-condensing (refer to IEC 68-2-3)	
Certification	CE certified	

**Note:**

- The sampling rate depends on the computer hardware architecture and software environment. The rates may vary due to programming language, code efficiency, CPU utilization and so on.

## B. Block Diagram

Block Diagram



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## C. Screw-terminal Board

### C. 1 Introduction

The PCLD-8712 Screw-terminal Board provides convenient and reliable signal wiring for the PCI-1712/1732 of which has a 68-pin SCSI-II connector. Due to its special PCB layout you can install passive components to construct your own signal-conditioning circuits. The user can easily construct a low-pass filter, attenuator or current shunt converter by adding resistors and capacitors on board's circuit pads.

### C. 2 Features

- Low-cost screw-terminal board for the PCI-1712/1732 with 68-pin SCSI-II connector.
- Reserved space for signal-conditioning circuits such as low-pass filter, voltage attenuator and current shunt.
- Industrial-grade screw-clamp terminal blocks for heavy-duty and reliable connections.
- DIN-rail mounting case for easy mounting.
- Dimensions: 169 mm (W) x 112mm (L) x 51mm (H) (6.7" x 4.4" x 2.0")

### C. 3 Board Layout



Figure C-1: PCLD-8712 board layout

## APPENDIX C

CN1: 68-pin SCSI-II connector for connection with the PCI-1712

CN2: 20-pin connector for digital I/O

### C.4 Pin Assignment

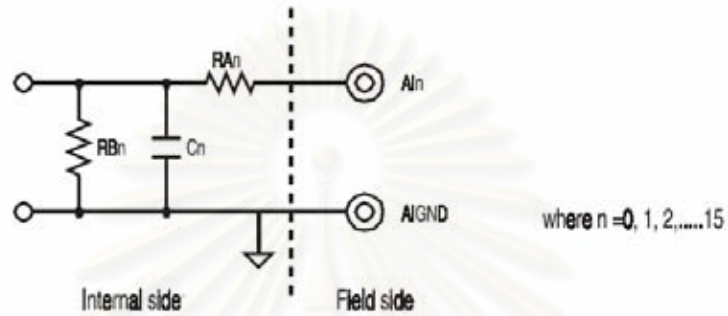
---

CN2			
DIO 0	1	2	DIO 1
DIO 2	3	4	DIO 3
DIO 4	5	6	DIO 5
DIO 6	7	8	DIO 7
DIO 8	9	10	DIO 9
DIO 10	11	12	DIO 11
DIO 12	13	14	DIO 13
DIO 14	15	16	DIO 15
DGND	17	18	DGND
+5 V	19	20	+12 V

Figure C-2: CN2 pin assignments for the PCLD-8712

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### C.5 Single-ended Connections



- a) Straight-through connection  
(factory setting)

$R_{An} = 0 \Omega$  (short)

$R_{Bn} = \text{none}$

$C_n = \text{none}$

- b) 1.6 kHz (3dB) low pass filter

$R_{An} = 10 \text{ k} \Omega$

$R_{Bn} = \text{none}$

$C_n = 0.01 \mu\text{F}$

$$f_{3dB} = \frac{1}{2\pi R_{An} C_n}$$

- c) 10 : 1 voltage attenuator:

$R_{An} = 9 \text{ k} \Omega$

$R_{Bn} = 1 \text{ k} \Omega$

$C_n = \text{none}$

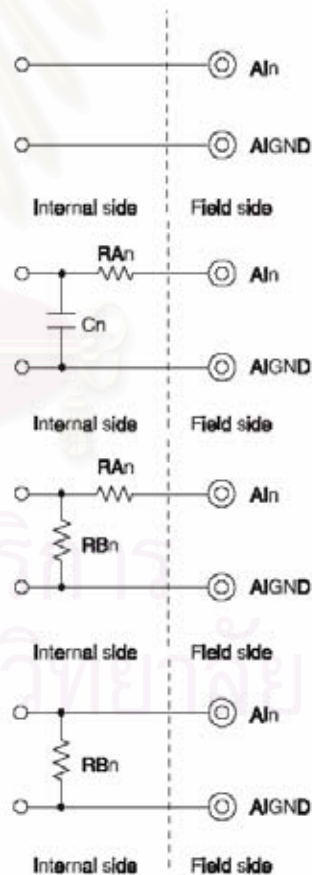
$$\text{Attenuation} = \frac{R_{Bn}}{R_{An} + R_{Bn}}$$

- d) 4 ~ 20 mA to 1 ~ 5 V<sub>DC</sub> signal converter:

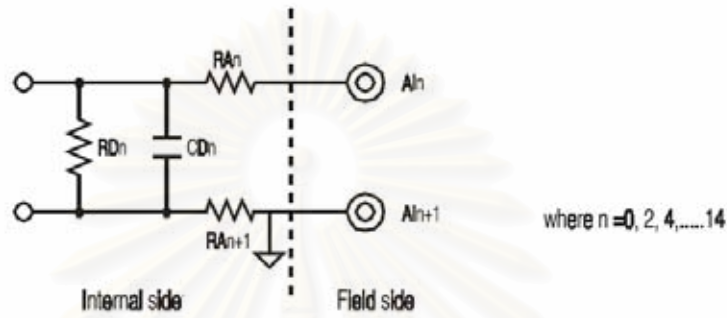
$R_{An} = 0 \Omega$  (short)

$R_{Bn} = 250 \Omega$  (0.1% precision resistor)

$C_n = \text{none}$



### C.6 Differential Connections



a) Straight-through connection (factory setting):

- $R_{An} = 0 \Omega$  (short)
- $R_{An+1} = 0 \Omega$  (short)
- $R_{Dn} = \text{none}$
- $C_{Dn} = \text{none}$

b) 1.6 kHz (3dB) low pass filter

- $R_{An} = 5 \text{ k}\Omega$
- $R_{An+1} = 5 \text{ k}\Omega$
- $R_{Dn} = \text{none}$
- $C_{Dn} = 0.01 \mu\text{F}$
- $f_{3dB} = \frac{1}{2\pi(R_{An}+R_{An+1})C_{Dn}}$

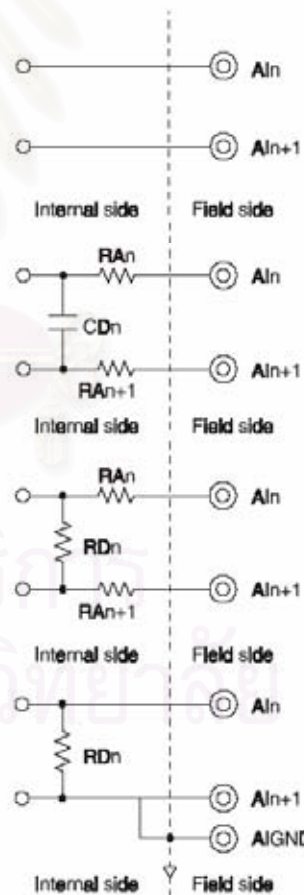
c) 10 : 1 voltage attenuator:

- $R_{An} = 4.5 \text{ k}\Omega$
- $R_{An+1} = 4.5 \text{ k}\Omega$
- $R_{Dn} = 1 \text{ k}\Omega$
- $C_n = \text{none}$
- $\text{Attenuation} = \frac{R_{Dn}}{R_{An}+R_{An+1}+R_{Dn}}$

d) 4 ~ 20 mA to 1 ~ 5 V<sub>DC</sub> signal converter:

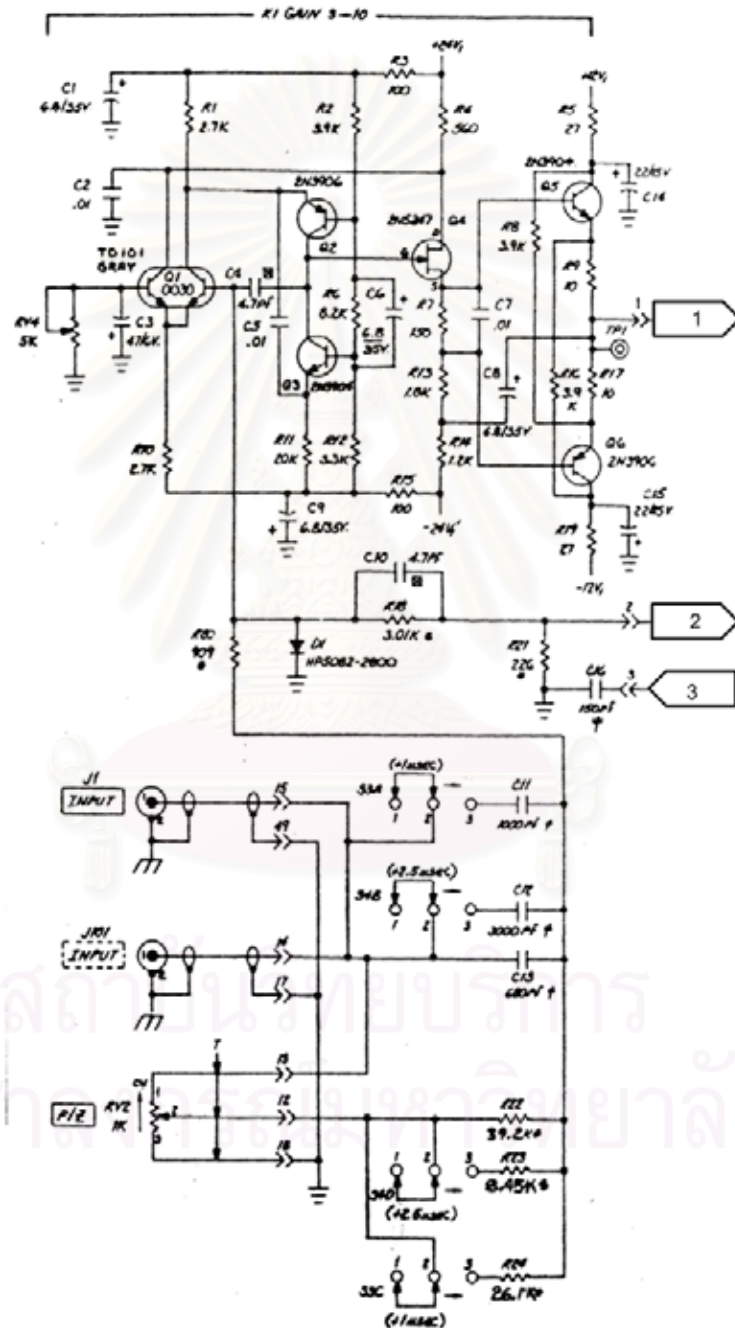
- $R_{An} = 0 \Omega$  (short)
- $R_{An+1} = 0 \Omega$  (short)
- $R_{Dn} = 250 \Omega$  (0.1% precision resistor)
- $C_{Dn} = \text{none}$

3. Calculations

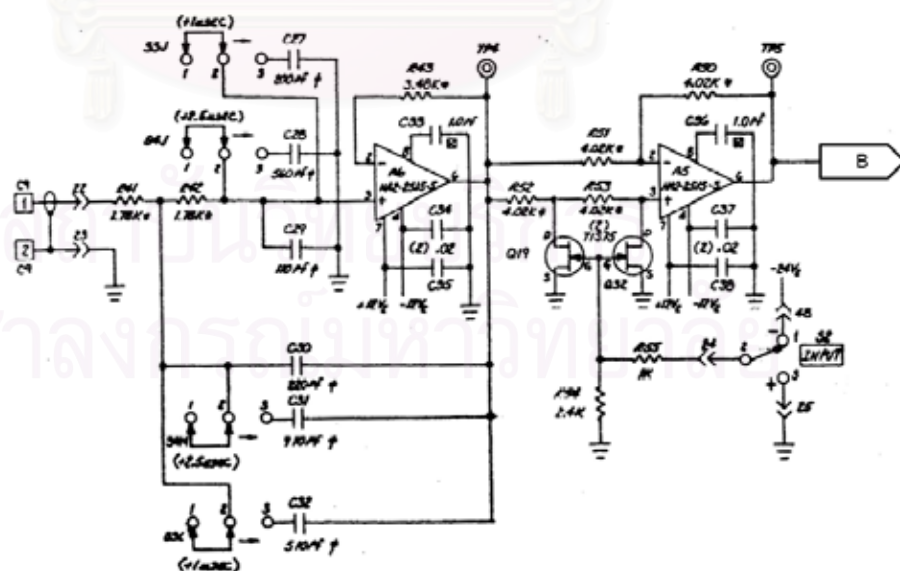
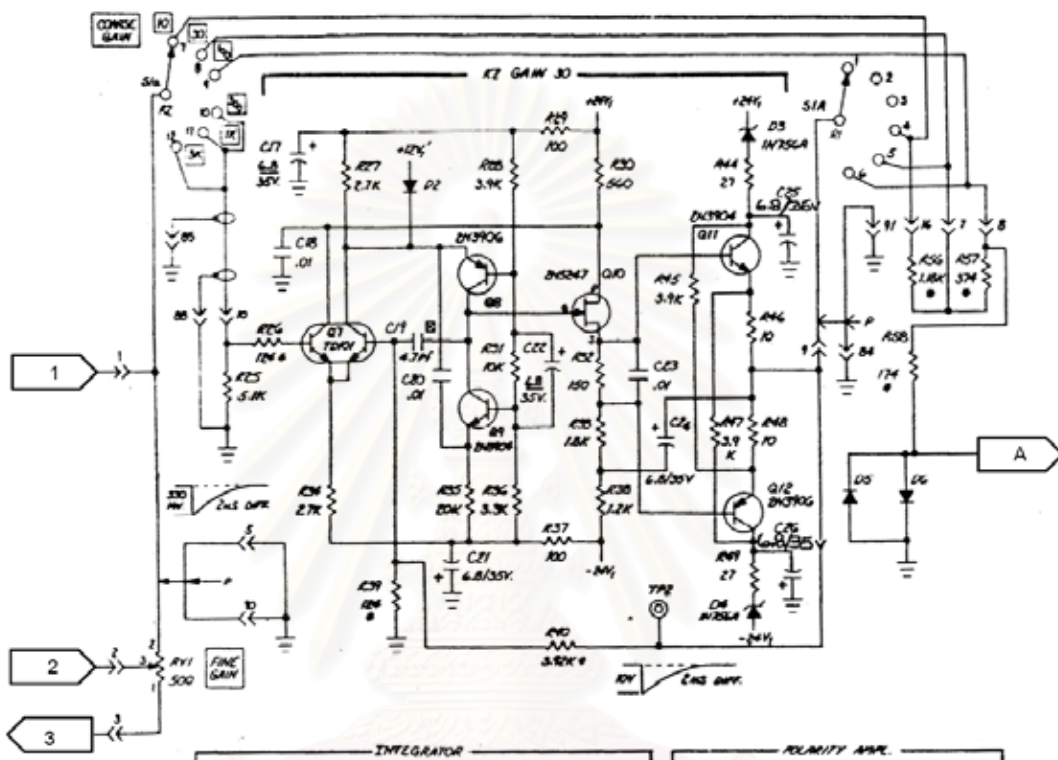


ภาคผนวก ค

วงจรของอุปกรณ์ขยายสเปกโตรสโคปี Canberra รุ่น 2011 [14]

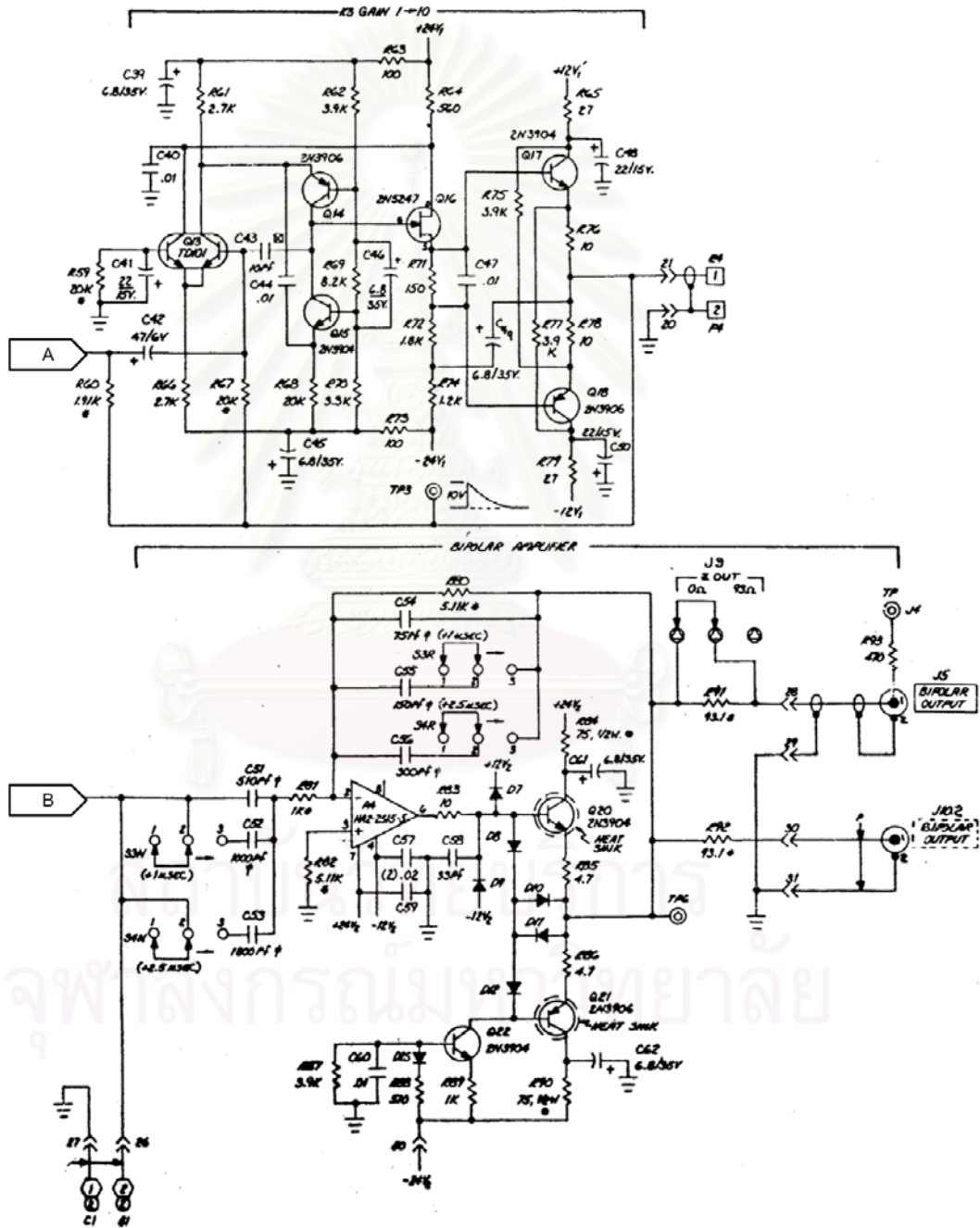


SCHEMATIC ; SPECTROSCOPY AMPLIFIER MODEL 2011 [Page 1 of 6]

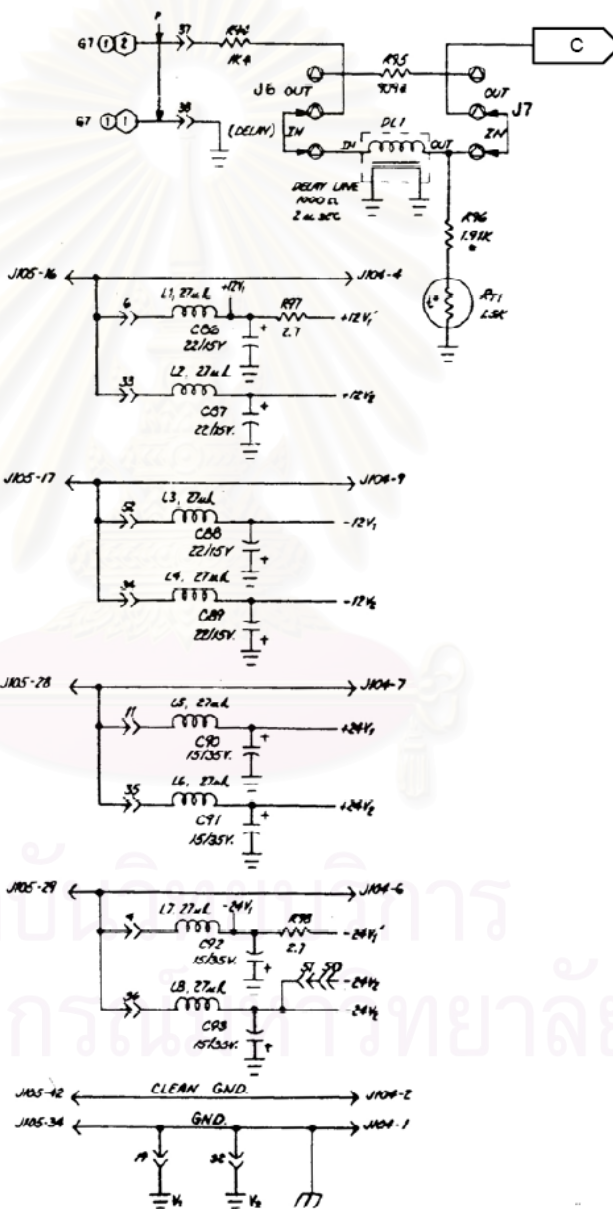


SCHEMATIC ; SPECTROSCOPY AMPLIFIER MODEL 2011 [Page 2 of 6]

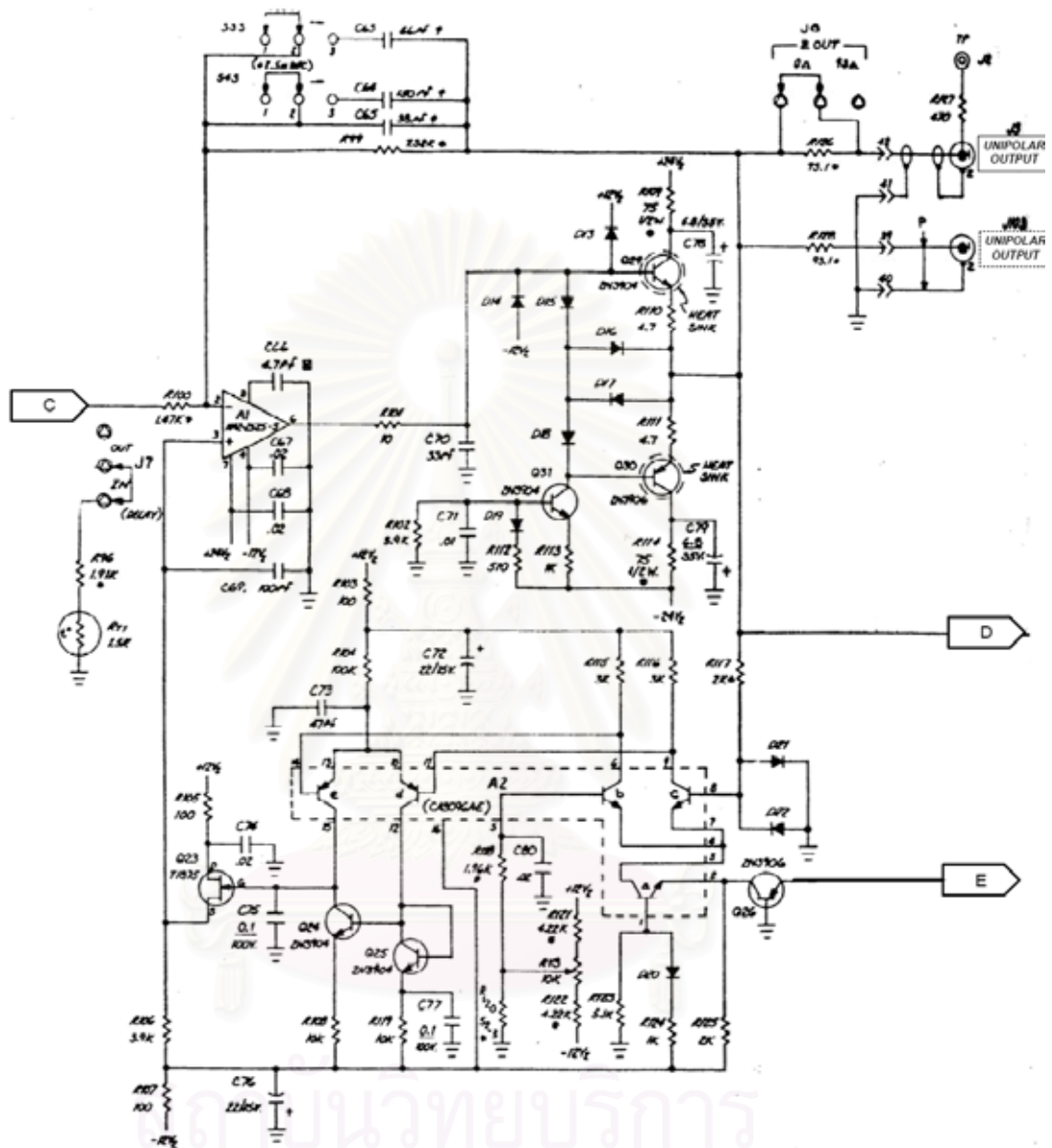




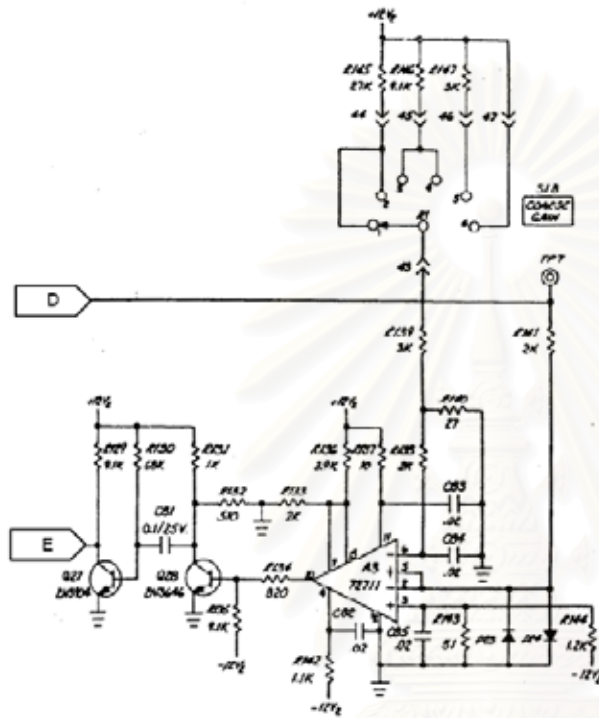
SCHEMATIC ; SPECTROSCOPY AMPLIFIER MODEL 2011 [Page 3 of 6]



SCHMATIC ; SPECTROSCOPY AMPLIFIER MODEL 2011 [Page 4 of 6]

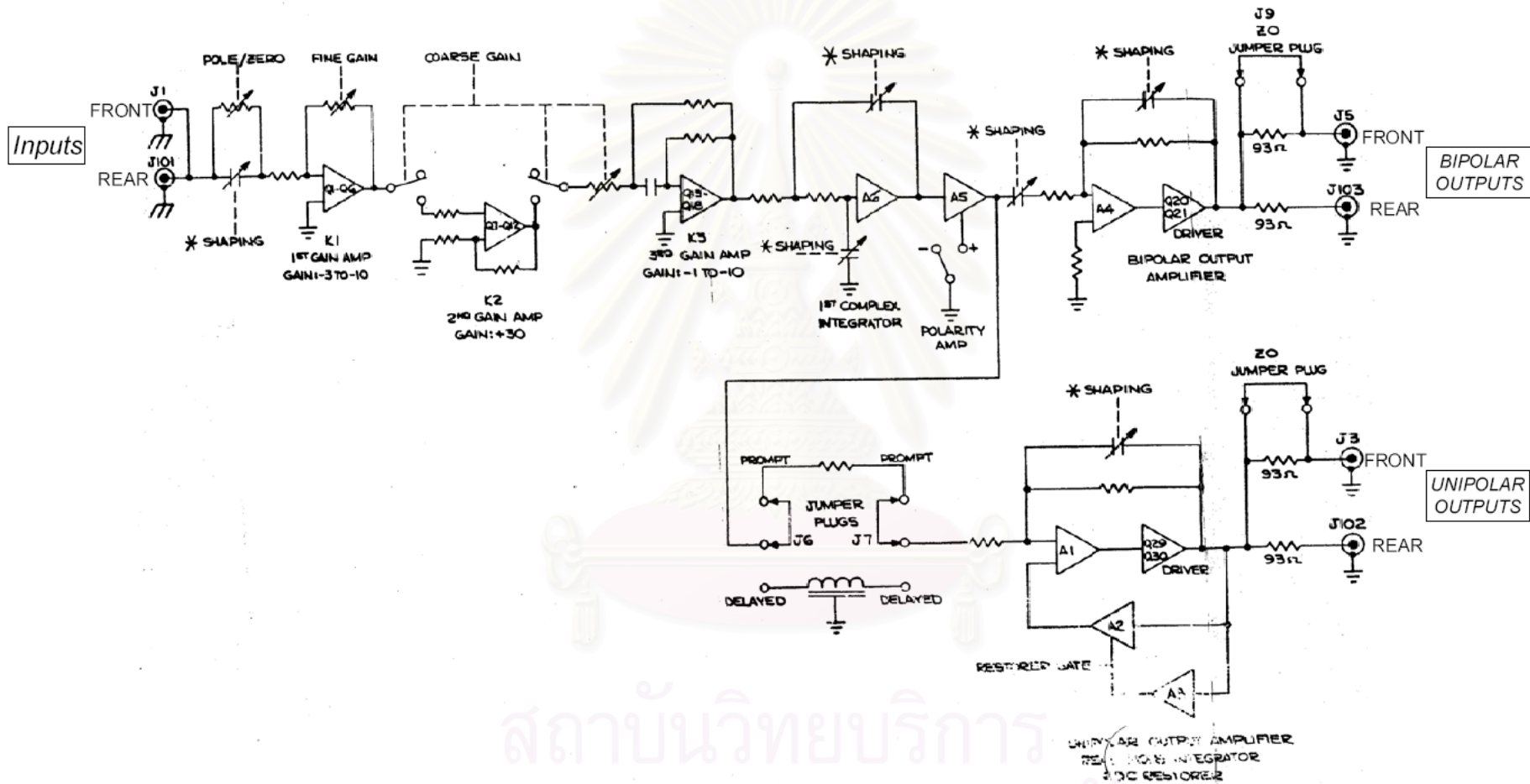


SCHMATIC ; SPECTROSCOPY AMPLIFIER MODEL 2011 [Page 5 of 6]



- NOTES:
1. THERE ARE NO 4-WAY TIES ON THIS SCHEMATIC.
  2. UNLESS NOTED ALL COORDINATES ARE IN CHIPS, UNW, 1 8X.
  3. UNLESS NOTED ALL CAPACITORS ARE IN pF.
  4. ALL UNMARKED DIODES ARE 1N4148.
  5. \* - INDICATES PHECO RESISTOR.
  6. # - INDICATES MICR CAPACITOR.
  7. @ - INDICATES VEM RESISTOR.
  8. [Symbol] - INDICATES FEASIBLE CONNECTION INDICATES CONT. NO. & PIN NO.
  9. [Symbol] - INDICATES WIRE #1 ON PG AND # 2 ON PG.
  10. [Symbol] - NET INDICATES INTER-SHEET CONNECTION. REF. NO.
  11. [Symbol] - INDICATES MOUNT. SH. NO. APPEND. ON. INDICATES COORDINATES. REF. IS FOUND. #1.
  12. [Symbol] - SQUARE INDICATES CONNECTION ON SAME SHEET. REF. NO. INDICATES COORDINATES. REF. IS FOUND. #1.
  13. [Symbol] - INDICATES PLATED WIRE.
  14. [Symbol] - INDICATES TWISTED PAIR.
  15. [Symbol] - COAX.
  16. [Symbol] - SHIELD.
  17. [Symbol] - INDICATES PCB LAMINATE.
  18. [Symbol] - INDICATES CARBON SOCKET.

LAST COMPONENT REF. NO.	
RESISTOR	R101
CAPACITOR	C101
DIODE	D101
TRANSISTOR	Q101
INT. CKT.	IC101
TEST PT.	TP101
INDICATOR	IS
TRAP/PL. OSC.	PO
VAC. OSC.	VO
DELAY LINE	DL1



สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 BLOCK DIAGRAM; SPECTROSCOPY AMPLIFIER MODEL 2011

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายบรรพต กำคำ เกิดเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม พุทธศักราช 2519 สถานที่เกิดจังหวัดลำปาง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปีการศึกษา 2540 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2545 ปัจจุบันรับราชการ ตำแหน่ง อาจารย์ 1 ระดับ 5 สังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย