

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการออกแบบตัวกรองเชิงเลข

MICROPROCESSOR APPLICATION FOR DIGITAL FILTER



โดย

นายเกรียงไกร สุทธินราธร เลขประจำตัว 38014032

นาย คงสิทธิ์ นิรัตน์กุล เลขประจำตัว 38014051

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สมศักดิ์ ชุมช่วย

เลขหม.....

เลขทะเบียน.....34023.....

วัน, เดือน, ปี.....1 ต.ค. 2542.....

ปริญญาานิพนธ์สำหรับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2541

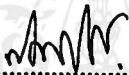
ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการออกแบบตัวกรองเชิงเลข

ผู้จัดทำ

1. นาย เกรียงไกร สุทธินราธร
2. นาย คงสิทธิ์ นิลรัตน์กุล


.....(อาจารย์ที่ปรึกษา)
(...ศ.ดร. สมศักดิ์ สุทธิ.....)

การประยุกต์ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการออกแบบตัวกรองเชิงเลข

MICROPROCESSOR APPLICATION FOR DIGITAL FILTER

นาย เกรียงไกร สุทธินราธร เลขประจำตัว 38014032

นาย คงสิทธิ์ นิลรัตนกุล เลขประจำตัว 38014051

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 รายละเอียดโดยย่อของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตงานที่ทำ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ความหมายของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	3
2.2 ข้อดีและข้อด้อยของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	4
2.2.1 ข้อดีของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	4
2.2.2 ข้อด้อยของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	5
2.3 ลำดับสัญญาณเวลาเชิงเต็มหน่วย	5
2.4 ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง	6
2.5 ระบบเวลาขึ้นยงเชิงเส้น	7
2.6 ผลการประสานเชิงเส้น	9
2.7 เสถียรภาพและเหตุการณ์ของระบบ	10
บทที่ 3 TMS320C50 DSK Starter Kit	11
3.1 โปรเซสเซอร์ TMS320C50	11
3.1.1 TMS320C50	11
3.1.2 ตำแหน่งขาและหน้าที่การทำงานของ TMS320C50	13
3.1.3 การจัดหน่วยความจำของ TMS320C50	20
3.1.4 โหมดการอ้างถึงหน่วยความจำ	22
3.2 โครงสร้างของ TMS320C50 DSK Starter Kit	24
3.2.1 ลักษณะทั่วไปของบอร์ด	24
3.2.2 การจัดหน่วยความจำในตระกูล 'C5X DSK	26
3.2.3 การต่อใช้งานและการสร้างโปรแกรมเพื่อใช้กับ DSK	28
บทที่ 4 ทฤษฎีและการออกแบบตัวกรองเชิงเลข	30
4.1 ตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัด	30
4.1.1 การออกแบบตัวกรองแบบ ไม่ป้อนกลับโดยใช้อนุกรมฟูรีเยอร์	31
4.1.2 การออกแบบตัวกรองแบบ ไม่ป้อนกลับโดยใช้วิธีหน้าต่าง	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.1.3 การออกแบบตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดที่ใช้ในการทดลอง	39
4.2 ตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์อนันต์	41
4.2.1 การออกแบบโดยใช้การแปลงอิมพัลส์ขึ้นขง	42
4.2.2 การออกแบบโดยใช้การแปลงเชิงเส้นคู่	43
4.2.3 การออกแบบตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์อนันต์ที่ใช้ในการทดลอง	45
บทที่ 5 การทดลอง	52
5.1 การทดลองสร้างตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัด	52
5.1.1 วิธีการทดลอง	52
5.1.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์	53
5.2 การทดลองสร้างตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์อนันต์	57
5.3 วิธีการทดลอง	59
บทที่ 6 ผลการทดลอง	62
6.1 ผลการทดลองของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดที่ได้จากโปรแกรม MATLAB	62
6.2 ผลการทดลองของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดที่ออกแบบได้จริง	67
6.3 ผลการทดลองของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์อนันต์ที่ได้จากโปรแกรม MATLAB	77
6.4 ผลการทดลองของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์อนันต์ที่ออกแบบได้จริง	78
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์	79
กิตติกรรมประกาศ	82
เอกสารอ้างอิง	83
ภาคผนวก	84

บทที่ 1

บทนำ

1.1 รายละเอียดโดยย่อของโครงการ

โครงการชิ้นนี้ได้ทำการนำไมโครโปรเซสเซอร์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างตัวกรองเชิงเลข (Digital Filter) ด้วยกันสองประเภทคือ ตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัด (Finite Impulse Response : FIR) และ ตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์อนันต์ (Infinite Impulse Response : IIR)

โดยในส่วนของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดนั้น เราได้ทำการทดลองสร้างโดยการออกแบบวิธีหน้าต่าง (Window) ต่างๆ ได้แก่ หน้าต่างแบบสี่เหลี่ยม, แบบฮาน, แบบแฮมมิง และแบบแบล็กแมน ทำการสร้างตัวกรองขึ้นทั้งสี่ชนิดคือ ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน, ตัวกรองความถี่สูงผ่าน, ตัวกรองแถบความถี่ช่วงผ่าน และ ตัวกรองช่วงลดทอนความถี่ นอกจากนี้ จะทำการเปรียบเทียบกันระหว่างตัวกรองที่ออกแบบด้วยวิธีเดียวกันแต่มีอันดับต่างกัน คือตัวกรองที่มี 21 อันดับ กับ 41 อันดับ ในการออกแบบตัวกรองทั้งหมดนี้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณจำลองผลที่น่าจะเป็น, คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรอง และ แสดงผลที่ทดลองได้

ส่วนของตัวกรองผลตอบสนองอนันต์นั้น ในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบสร้างตัวกรองแถบความถี่ช่วงผ่านอันดับสองขึ้น โดยทำการออกแบบจากวงจรอนาล็อก แล้วทำการแปลงแบบเชิงเส้นคู่ ซึ่งในการคิดค่าสัมประสิทธิ์นั้น จะใช้วิธีการประมาณค่าแบบ SAA (Small Angle Approximation) เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ จากนั้นใช้โปรแกรม MATLAB ในการแสดงผลของตัวกรองที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้

ไมโครโปรเซสเซอร์ที่เลือกใช้ในโครงการนี้คือ Digital Signal Processor (DSP) TMS320C50 ของ Texas instrument ซึ่งอยู่ภายในบอร์ด DSK Starter Kit เนื้อหาภายในปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งออกเป็นบทซึ่งจะขอกล่าวถึงรายละเอียดโดยย่อดังนี้ บทที่ 2 กล่าวถึงการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาเกี่ยวกับตัวบอร์ด (DSK Starter Kit), ตัวโปรเซสเซอร์ (TMS320C50) และตัวแปลงสัญญาณ (AIC : Analog Interface Circuit) บทที่ 4 กล่าวถึงทฤษฎีและการออกแบบตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดและอนันต์ บทที่ 5 เป็นส่วนของการทดลอง บทที่ 6 เป็นผลการทดลอง และบทที่ 7 จะเป็นการสรุปผลการทดลองและวิจารณ์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการใช้งานในด้านต่างๆได้
- 1.2.2 เพื่อสามารถออกแบบและสร้างตัวกรองเชิงเลขได้จริง ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการใช้งานด้านอื่นๆ

1.3 ขอบเขตของงานที่ทำ

1.3.1 ภาคการศึกษาที่ 1

ในภาคการศึกษาระนั้นได้ศึกษาทฤษฎีการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข , ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับตัวโปรเซสเซอร์ DSP56009EVM และการออกแบบสร้าง 10-Band Graphic Equalizer โดยใช้ DSP56009EVM ของ Motorola

1.3.2 ภาคการศึกษาที่ 2

หลังจากศึกษาเกี่ยวกับตัวโปรเซสเซอร์ในภาคการศึกษาที่ 1 แล้ว พบว่าข้อมูลเกี่ยวกับบอร์ด DSP56009EVM มีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะทำได้ อีกทั้งบอร์ดยังมีปัญหาในการใช้งาน จึงไม่สามารถใช้ได้ จึงทำการเปลี่ยนมาใช้โปรเซสเซอร์ TMS320C50 ของ Texas แทน โดยได้ทำการออกแบบและสร้างตัวกรองทั้งแบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดและอนันต์ขึ้น โดยทำการเปรียบเทียบตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดที่สร้างด้วยวิธีต่างกันและอันดับต่างกัน ดังได้กล่าวไปแล้ว และ ทำการออกแบบและสร้างตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์อนันต์อันดับสอง

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ต่อไปนี้เป็น ทฤษฎีและหลักการของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (Digital Signal Processing)

2.1. ความหมายของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

การประมวลผลสัญญาณโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้คือ

1. การประมวลผลสัญญาณเชิงอุปมาน (Analog Signal Processing)
2. การประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (Digital Signal Processing)

โดยในรายงานฉบับนี้เสนอถึงการทำงานของการทำงานของการประมวลผลสัญญาณแบบเชิงเลขเท่านั้น จึงขอกล่าวถึงเฉพาะรายละเอียดของการประมวลผลสัญญาณแบบเชิงเลขเท่านั้น ดังนี้

การประมวลผลสัญญาณแบบเชิงเลข หมายถึง กระบวนการทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณเวลาจริงซึ่งถูกสุ่มตัวอย่างที่ช่วงเวลาปกติ หลังจากนั้นก็ถูกทำให้เป็นเชิงเลข โดยเราสามารถยกตัวอย่างของงานในส่วนต่างๆที่นำเรื่องการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขไปใช้ได้ดังต่อไปนี้

- การกรองสัญญาณ (Filtering)
- การประสาน (Convolution) ซึ่งก็คือ การรวมกันระหว่างสัญญาณสองสัญญาณ
- การสัมพันธ์ (Correlation) ซึ่งก็คือ การเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณสองสัญญาณ
- การกรอง , การขยาย และ การแปลงสัญญาณ

ฟังก์ชันการทำงานทั้งหมดเหล่านี้ ที่ผ่านมามีส่วนใหญ่ออกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการแสดงถึงการใช้งานของวงจรเชิงอุปมานเสียส่วนใหญ่ ระยะเวลาตั้งแต่จะมีมีการนำเทคนิคของสารกึ่งตัวนำมาช่วยสร้างหน่วยการประมวลผล ซึ่งในการนี้จำเป็นที่จะต้องนำหลักการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขมาประยุกต์ใช้ด้วย

เมื่อประยุกต์ใช้การประมวลผลจริงต้องมีการเพิ่มส่วนของตัวแปลงสัญญาณเชิงอุปมานเป็นสัญญาณเชิงเลข (Analog-to-Digital [A/D] Converter) และส่วนของตัวแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นสัญญาณเชิงอุปมาน(Digital-to-Analog [D/A] Converter) โดยการประมวลผลในวงจรนี้เริ่มต้นโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำกัดแถบความถี่ของสัญญาณเข้าด้วยตัวกรองที่มีคุณสมบัติกันการเกิดปรากฏการณ์เอเลียซิง (Aliasing Effect คือ การเกิดความผิดเพี้ยนไปของสเปกตรัมของสัญญาณเดิมเนื่องจากช่วงห่างของสเปกตรัมของกลุ่มสัญญาณที่ถูกสุ่มตัวอย่างที่อยู่ติดกันมากระทบกัน) , การกำจัดสัญญาณนอกแถบความถี่ที่สามารถที่จะกลับมามีผลกระทบต่อแถบความถี่ที่ต้องการให้ผ่านไปได้ซึ่งถูกกำหนดโดยกระบวนการสุ่มตัวอย่าง สัญญาณที่ถูกสุ่มตัวอย่างแล้วจะถูกทำให้เป็นเชิงเลขด้วยตัวแปลงสัญญาณเชิงอุปมานเป็นสัญญาณเชิงเลข แล้วถูกส่งต่อไปยังส่วนประมวลผล

ตัวกรองที่ถูกสร้างขึ้นโดยใช้ส่วนประมวลผลสัญญาณแบบเชิงเลขนั้นจะการใช้การเขียนโปรแกรม ทำให้ตัวกรองแบบนี้สามารถสร้างเลียนแบบตัวกรองเชิงอุปมานได้ไม่ยากนัก

2.2 ข้อดีและข้อด้อยของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

การนำเอาระบบประมวลผลสัญญาณเชิงเลขมาใช้งานนั้นจะมีข้อดีเด่นอยู่ที่ความเที่ยงตรงและความแม่นยำในการประมวลผล แต่เนื่องจากการใช้ร่วมกับระบบประมวลผลสัญญาณเชิงอุปมานซึ่งมีการใช้กันอยู่อย่างมากในปัจจุบัน จึงเกิดข้อเสียเปรียบอยู่เหมือนกัน จึงขออธิบายถึงข้อดีและข้อด้อยของการประยุกต์ใช้งานได้ดังนี้

2.2.1 ข้อดีของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

1. เหมาะสำหรับใช้กับอุปกรณ์ที่มีข้อมูลอยู่ในรูปแบบของสัญญาณเชิงเลขอยู่แล้ว เนื่องจากสัญญาณหรือข้อมูลจากอุปกรณ์เหล่านี้ ถ้าหากต้องนำไปประมวลผลในระบบประมวลผลสัญญาณเชิงอุปมาน ก็จำเป็นต้องมี วงจรแปลงรูปแบบสัญญาณเชิงเลขเป็นเชิงอุปมาน [D/A] เพื่อแปลงสัญญาณเชิงเลขให้เป็นสัญญาณเชิงอุปมานก่อน หลังจากประมวลผลด้วยระบบประมวลผลเชิงอุปมานแล้ว ก็ต้องแปลงผลลัพธ์ที่เป็นสัญญาณเชิงอุปมานไปเป็นสัญญาณเชิงเลขด้วยวงจรแปลงรูปแบบสัญญาณเชิงอุปมานเป็นเชิงเลข [A/D] เพื่อส่งกลับไปยังอุปกรณ์เชิงเลขต่อไป ซึ่งจะเห็นว่าระบบมีความซับซ้อนมากขึ้น

2. อุปกรณ์ทางด้านเชิงเลขหรือดิจิทัล มีราคาถูก ขนาดเล็ก มีประสิทธิภาพและความแม่นยำแน่นอนสูง เพราะสามารถทำให้มีความละเอียดเท่าใดก็ได้ ไม่เหมือนกับการประมวลผลสัญญาณเชิงอุปมานที่คำนวณละเอียดมากไม่ได้ นอกจากนี้ชิ้นอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบของการประมวลผลสัญญาณเชิงอุปมานมีคุณสมบัติแปรค่าไปตามสภาวะแวดล้อมได้ทำให้ความแม่นยำและความเชื่อถือได้ของระบบประมวลผลสัญญาณเชิงอุปมานต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การรับและส่งข้อมูลหรือสัญญาณเชิงเลขทำได้แน่นอนกว่า เนื่องจากสัญญาณเชิงเลขมีแค่สองระดับ คือ ศูนย์ และ หนึ่ง เท่านั้น

4. การประมวลผลสัญญาณเชิงเลขทำได้ง่าย เนื่องจากขั้นตอนวิธีการประมวลผลสัญญาณประกอบด้วย การบวก การลบ การคูณ การหาร และการเลื่อนตัวเลขเท่านั้น

5. ระบบประมวลผลสัญญาณเชิงเลข สามารถทำเป็นแบบระบบแบ่งกันใช้เวลา (time-shared system) ได้ ทำให้สามารถทำงานพร้อมกันได้หลายช่องสัญญาณ

6. ระบบประมวลผลสัญญาณเชิงเลข มีความคล่องตัวสูง เนื่องจากสามารถทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณได้หลายแบบ

2.2.2 ข้อดีของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

1. ระบบการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขต้องมีสัญญาณสำหรับการซิงโครไนซ์ (Synchronize) การจัดเวลา (timing) และ การกำหนดกรอบ (framing) ของข้อมูลไว้ด้วย ถ้าหากสัญญาณเหล่านี้สูญหาย หรือ ผิดพลาด ไป การทำงานของระบบก็จะผิดพลาดไปด้วย

2. มีปัญหาการเชื่อมโยง (interfacing) กับระบบการประมวลผลสัญญาณเชิงอุปมาน

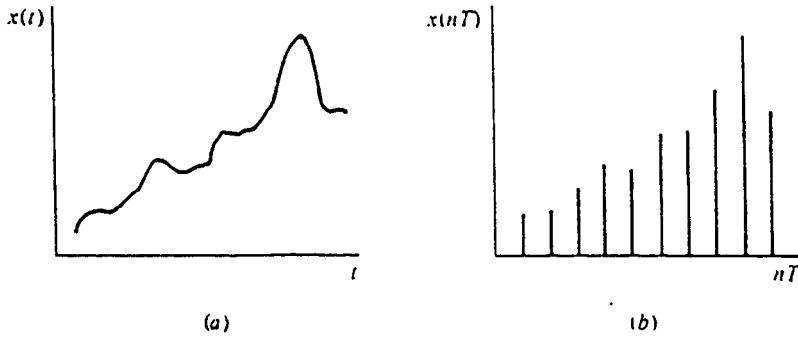
3. สัญญาณหรือข้อมูลเชิงเลขไม่ใช่สัญญาณตามธรรมชาติที่แท้จริง แต่ถูกสร้างขึ้นมา ดังนั้นการส่งสัญญาณชนิดนี้ไปในตัวกลางตามธรรมชาติทั่วไป ซึ่งมักมีแถบความถี่ปฏิบัติงาน (Bandwidth) จำกัด และยังมีผลตอบสนองเฟสไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear phase response) จึงอาจทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณได้

4. เนื่องจากเราต้องการออกแบบ ระบบประมวลผลสัญญาณเชิงเลขให้มีความคล่องตัวสูง และสามารถใช้งานได้หลายรูปแบบ ดังนั้นจึงทำให้การออกแบบระบบประมวลผลสัญญาณเชิงเลขมีความซับซ้อนมาก

5. แถบความถี่ปฏิบัติงานของระบบประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ต่ำกว่าแถบความถี่ปฏิบัติงานของระบบประมวลผลสัญญาณเชิงอุปมานมาก

2.3 ลำดับสัญญาณเวลาเชิงเต็มหน่วย (Discrete-Time Sequences)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 รูปแสดงรูปร่างของสัญญาณ

a) สัญญาณเวลาต่อเนื่อง b) สัญญาณเวลาเชิงเต็มหน่วย

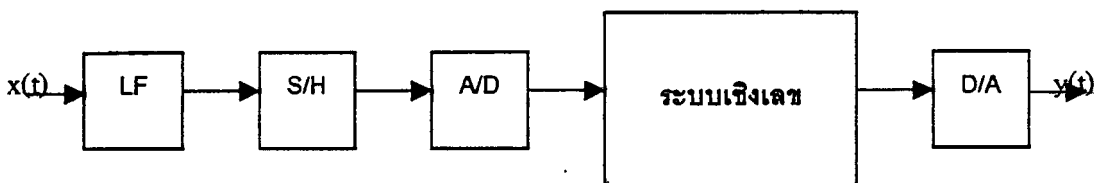
สัญญาณเวลาต่อเนื่องที่แทนได้ด้วยฟังก์ชัน $x(t)$ จะมีค่าอยู่ระหว่าง t_1 กับ t_2 โดยที่ t_1 มีค่า $\geq -\infty$ และ t_2 มีค่า $\leq \infty$ เมื่อเราทำการสุ่มตัวอย่างด้วยช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่าง (sampling interval) T วินาทีเท่ากัน จะได้สัญญาณเวลาเชิงเต็มหน่วยซึ่งแทนได้ด้วย ฟังก์ชัน $x(nT)$ โดยที่ n_1 มีค่า $\geq -\infty$ และ n_2 มีค่า $\leq \infty$ ซึ่งสามารถแทนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$x(n) = x(nT) = x(t) |_{t=nT} \quad : -\infty < n < \infty \quad \dots(2.1)$$

โดยที่ $n = 0, 1, 2, \dots$

2.4 ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Theory)

การนำสัญญาณเหล่านี้ไปประมวลผลในลักษณะการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หรือ การประมวลผลสัญญาณเชิงเต็มหน่วย (Discrete Signal Processing) ได้ ต้องนำไปผ่านระบบการประมวลผลตามรูปที่ 2.3 เสียก่อน ซึ่งตามรูปนั้นแสดงให้เห็นว่า วงจร S/H (Sampling and Hold) เป็นวงจรสุ่มตัวอย่างและคงค่าของสัญญาณไว้ เพื่อให้วงจรแปลงสัญญาณเชิงอุปมานเป็นเชิงเลขทำการแปลงกลับเป็นตัวเลขอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 2.2 ระบบการประมวลผลสัญญาณเชิงอุปมานโดยใช้ระบบประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

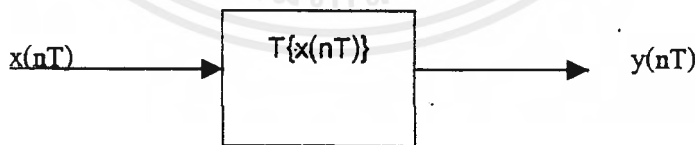
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในขั้นแรกของการเปลี่ยนจากสัญญาณเชิงอุปมานมาเป็นสัญญาณเชิงเลขนั้น ต้องทำการสุ่มตัวอย่างก่อนตามทฤษฎีการสุ่มตัวอย่างของแชนนอน (เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียข้อมูลสำคัญไป) ที่ว่า ถ้าหากเรามีสัญญาณเชิงอุปมาน $x(t)$ ที่ทำการแปลงฟูริเยอร์ หรือสเปกตรัมกำลังของมันมีแถบความถี่ปฏิบัติงานเท่ากับ f_0 แล้ว เราต้องทำการสุ่มตัวอย่างโดยใช้ความถี่ f_s มากกว่าหรือเท่ากับสองเท่าของ f_0 หรือ $f_s \geq 2 f_0$

โดยทั่วไปเราอาจสุ่มตัวอย่างด้วยค่าความถี่ $f_s = 2 f_0$ พอดี เราเรียกความถี่นี้ว่า ความถี่ไนควิสต์ (Nyquist frequency) และเรียกคาบเวลา $T_s = 1/2f_0$ นี้ว่า ช่วงเวลาสุ่มตัวอย่างไนควิสต์ (Nyquist interval)

2.5 ระบบเวลายืนยงเชิงเส้น (Linear Time Invariant System)

ระบบในการประมวลผลสัญญาณนั้นมีอยู่หลายแบบ แต่แบบที่จะนำมาพิจารณานั้นคือระบบเวลายืนยงเชิงเส้น (เรียกย่อๆว่า LTI) ซึ่งเป็นระบบที่มีตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (mathematical model) ไม่ซับซ้อน และการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของระบบจะทำได้ง่าย โดยปกติแล้วระบบในการประมวลผลสัญญาณนั้น หมายถึง ขั้นตอนวิธี หรือ กระบวนการที่ใช้ในการแปลงคุณสมบัติของลำดับสัญญาณอันหนึ่งไปเป็นลำดับสัญญาณอีกอันหนึ่ง และสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 2.4 โดยที่ให้ $x(nT)$ เป็นลำดับสัญญาณเข้า และ $y(nT)$ เป็นลำดับสัญญาณออก

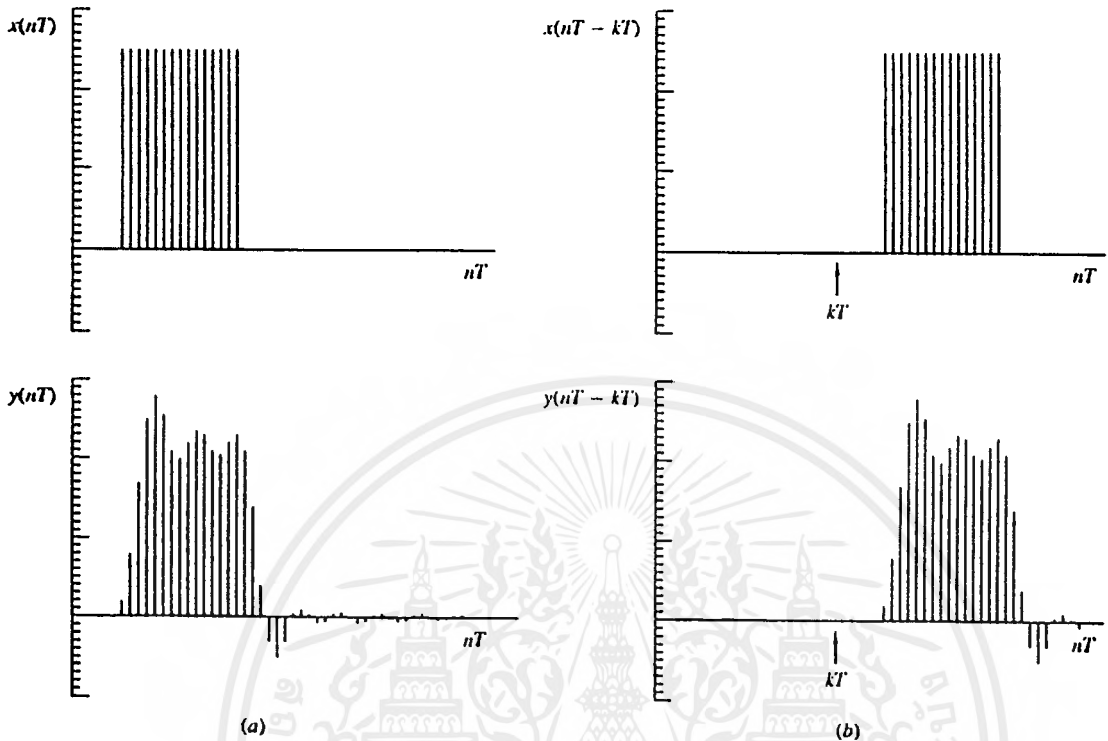


รูปที่ 2.3 รูปตัวต้นแบบเชิงคณิตศาสตร์ของระบบ

และทั้งสองลำดับสัญญาณมีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$y(nT) = T\{x(nT)\} \quad \dots(2.2)$$

ซึ่งมี $T\{.\}$ เป็นตัวดำเนินการ (operator) ที่ใช้ในขั้นตอนวิธีแบบต่างๆซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของวงจรหรือสมการระหว่างโปรแกรมกับวงจร



รูปที่ 2.4 รูปแสดงผลของเวลาขึ้นขง

a) ผลตอบสนองที่เวลาปกติ b) ผลตอบสนองเมื่อเวลาถูกหน่วงออกไป n_0 หรือ k วินาที

คุณสมบัติของระบบเวลายืนยงเชิงเส้น

1. ความเป็นเชิงเส้น (linearity) ระบบ $T\{.\}$ จะเป็นระบบเชิงเส้น (linear system) ก็ต่อเมื่อ

$$x_1(nT) \rightarrow y_1(nT) \text{ หรือ } T\{x_1(nT)\} = y_1(nT) \quad \dots(2.3)$$

$$\text{และ } x_2(nT) \rightarrow y_2(nT) \text{ หรือ } T\{x_2(nT)\} = y_2(nT) \quad \dots(2.4)$$

เพราะฉะนั้น ถ้ามีสัญญาณเข้า

$$a x_1(nT) + b x_2(nT) \rightarrow a y_1(nT) + b y_2(nT)$$

$$\text{หรือ } T\{a x_1(nT) + b x_2(nT)\} = a y_1(nT) + b y_2(nT) \quad \dots(2.5)$$

โดยที่ให้ค่า a และ b เป็นค่าคงตัวใดๆ

2. ความเป็นเวลายืนยง (Time Invariant) ระบบเวลาจะเป็นแบบขึ้นขง ก็ต่อเมื่อ

$$x(nT) \rightarrow y(nT) \text{ หรือ } T\{x(nT)\} = y(nT)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x(n-n_0)T \rightarrow y(n-n_0)T \quad \text{หรือ} \quad T\{x(n-n_0)T\} = y(n-n_0)T \quad \dots(2.6)$$

สำหรับทุกๆค่าของ n_0

ซึ่งก็หมายความว่า ผลตอบสนองของระบบจะไม่แปรหรือเปลี่ยนรูปร่างไปตามเวลาที่ป้อนสัญญาณกระตุ้น เช่น ถ้าป้อนสัญญาณกระตุ้นที่เวลาที่หน่วงออกไป n_0 วินาที ผลตอบสนองของระบบยังคงเหมือนกับผลตอบสนองของระบบที่ป้อนเวลา $n = 0$ เพียงแต่มีเวลาหน่วงออกไป n_0 วินาที เท่านั้น

2.6 ผลการประสานเชิงเส้น (Convolution Summation)

ผลตอบสนองของตัวกรองเชิงเลขค่อสัญญาณที่กล่าวมาแล้วสามารถแสดงในรูปของผลตอบสนองอิมพัลส์ของตัวกรองได้ โดยให้

$$x_k(nT) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x_k(nT) \quad \dots(2.7)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } x_k(nT) &= x(kT) & \text{เมื่อ } n &= k \\ &= 0 & \text{เมื่อ } n &\text{เป็นค่าอื่นๆ} \end{aligned}$$

แล้วได้

$$x_k(nT) = x(kT)\delta(nT-kT) \quad \dots(2.8)$$

เพราะฉะนั้น จึงได้

$$x(nT) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(kT)\delta(nT-kT) \quad \dots(2.9)$$

ดังนั้น ผลตอบสนองของระบบคือ

$$y(nT) = T\{x(nT)\} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(kT)T\{\delta(nT-kT)\} \quad \dots(2.10)$$

และหากเขียนแทนให้ $h(nT)$ เป็นผลตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse response) ของระบบ หรือ

$$h(nT) = T\{\delta(nT)\} \quad \dots(2.11)$$

ดังนั้นจึงเขียนได้เป็น

$$y(nT) = x(kT) h(nT-kT) \quad \dots(2.12a)$$

$$= h(kT) x(nT-kT) \quad \dots(2.12b)$$

ซึ่งทั้งสองสมการนี้มีชื่อเรียกเดียวกันว่า ผลรวมการประสาน และอาจเขียนได้เป็น

$$y(nT) = x(nT) * h(nT) \quad \dots(2.13)$$

2.7 เสถียรภาพและเหตุกาณ์ของระบบ

เสถียรภาพ (Stability) ระบบจะมีเสถียรภาพได้ก็ต่อเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขที่จำเป็นและเพียงพอ คือ สำหรับระยะเวลายื่นขงนี้จะเสถียรได้ก็ต่อเมื่อผลรวมของผลคอบสนองอิมพัลส์ของระบบมีค่าน้อยกว่าอนันต์ หรือตามสมการ

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n) < \infty \quad \dots(2.14)$$

เหตุกาณ์ (Causality) คือ ระบบจะสามารถใช้งานในระบบเวลาจริงได้ เมื่อมีการคำนวณหาสัญญาณออก $y(n)$ โดยสัญญาณออกนี้จะขึ้นอยู่กับลำดับ $x(n)$ และ $y(n)$ ที่ย้อนหลังไปเท่านั้น หรือขึ้นอยู่กับ $x(n)$ และ $y(n)$ เมื่อ $n \leq n_0$

ทั้งสองคุณสมบัติที่กล่าวถึงนี้ มีความสำคัญต่อการประมวลผลในทางปฏิบัติเป็นอย่างมาก และให้มั่นใจแล้วว่า เมื่อสร้างระบบการประมวลผลสัญญาณขึ้นมา ระบบสามารถทำงานได้ตามจุดประสงค์ ไม่เกิดการแกว่งกวัด (Oscillate) ของสัญญาณออก

บทที่ 3

TMS320C50 DSK Starter Kit

ภายในบทนี้จะขอกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับตัวฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดลองโดยแบ่งหัวข้อออกเป็น 3 หัวข้อใหญ่ๆด้วยกันคือ

1. โปรเซสเซอร์ TMS320C50
2. โครงสร้างของ TMS320C50 DSK Starter Kit

3.1 โปรเซสเซอร์ TMS320C50

TMS320C50 เป็นหนึ่งในโปรเซสเซอร์ที่ทำงานด้าน DSP (Digital Signal Processing) ภายในตระกูล TMS320C5x ซึ่งจะมีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์ เช่น TMS320C50 , TMS320C51 และ TMS320C53 โดยจะเป็นการนำเอาสถาปัตยกรรมของ 'C25 มาปรับปรุงให้ใช้งานได้ดีขึ้น ทั้งในด้านความเร็ว และ ความสะดวกสบายอื่นๆ

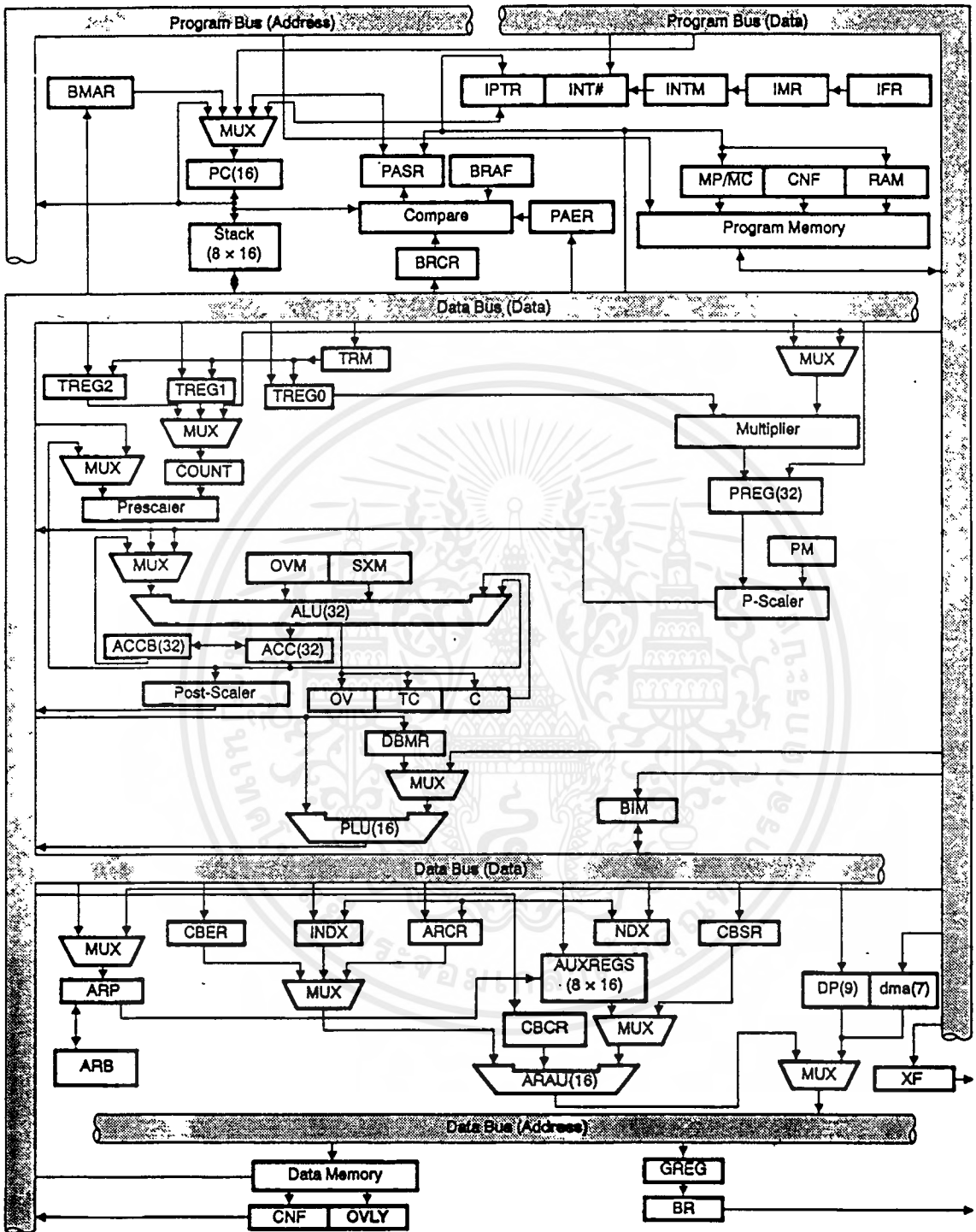
3.1.1 TMS320C50

1. มีแรมบนบอร์ด 10K เวิร์ด
2. ทำงานได้ด้วยความเร็วประมาณ 30-50 ns ต่อหนึ่งคำสั่ง
3. ใช้งานแทน 'C1X และ 'C2X ได้
4. มีแรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลขนาด 9K x 16 บิต
5. มีรอมขนาด 2K x 16 บิต สำหรับการบูตตอนเริ่มต้น
6. สามารถต่อหน่วยความจำภายนอกได้ถึง 224K x 16 บิต ซึ่งประกอบด้วย
หน่วยความจำขนาด 64K สำหรับเก็บ โปรแกรม , หน่วยความจำเก็บข้อมูลสำหรับ I/O อีก 64K และ อื่นๆอีก 64K
7. มี ALU (Arithmetic Logic Unit) ACC (Accumulator) และ ACCB (Accumulator buffer) ขนาด 32 บิต
8. มี PLU (Parallel Logic Unit) ขนาด 16 บิต
9. มีคำสั่งการคูณ 16 บิต ที่ทำงานใน 1 ไชเคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. มีรีจิสเตอร์ถึง 8 ตัว ในการคำนวณและเก็บค่า
11. มีสแต็ค (stack)
12. มีคำสั่งสำหรับการเลื่อนบิต (shift) ตั้งแต่ 0-16 บิต
13. มีการอ้างแอดเดรสแบบเซอร์คิวลาร์ (circular) โดยการใช้เซอร์คิวลาร์บัฟเฟอร์ (circular buffer)
14. มีคำสั่งสำหรับการทำซ้ำโดยเฉพาะคำสั่งสำหรับการเคลื่อนย้ายบล็อก ภายในคำสั่งเดียว
15. มีคำสั่งในการเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่างหน่วยความจำข้อมูลและหน่วยความจำโปรแกรม
16. มีพอร์ตอนุกรมที่มีการรับส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full duplex) สำหรับ 'C50 กับอุปกรณ์ตัวอื่นๆ
17. มี TDM (Time-division multiple) ของพอร์ตอนุกรม
18. สามารถกำหนดสัญญาณนาฬิกา โดยใช้ไทม์เมอร์ (Timer) และ เคาน์เตอร์ (Counter)
19. สามารถใช้ซอฟต์แวร์สั่งงานได้ทั้ง หยุด (stop) , เริ่ม (start) และ รีเซ็ต (reset)
20. มีพอร์ต I/O ได้ถึง 64 K และมี 16 ตำแหน่ง สำหรับการเข้าถึงหน่วยความจำ
21. ทำงานเป็นแบบไปป์ไลน์ (Pipeline)
22. สามารถผลิตสัญญาณนาฬิกา โดยการหารสัญญาณนาฬิกาที่จ่ายให้แก่ซีพียู

สถาปัตยกรรมของ TMS320C50 สร้างขึ้นเพื่อความเร็วในการทำงานด้าน DSP และเพื่อให้การทำงานของบัสไม่ขึ้นต่อกัน จึงทำการแยกบัสโปรแกรม และ บัสข้อมูลออกจากกัน โดยบัสโปรแกรมจะเป็นทางเข้าของรหัสคำสั่งและโอเพอเรนด์ของคำสั่ง ส่วนบัสข้อมูลจะเชื่อมต่อโดยตรงระหว่างหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลกับวงจรการทำงานประมวลผล เช่น ALU ซึ่งโครงสร้างนี้จะทำให้การคำนวณทางคณิตศาสตร์นั้นมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เช่น การเลื่อนบิต (shift) , การคูณ และคำสั่งทางลอจิก



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของ TMS320C50

3.1.2 ตำแหน่งและหน้าที่การทำงานของ TMS320C50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งขาและหน้าที่การทำงานของ TMS320C50 จะแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งขาและหน้าที่การทำงานของ TMS320C50

สัญญาณ	ขา	สถานะ	การทำงาน
Address and Data bus			
A15 (MSB)	77	I/O/Z	เป็นบัสแบบขนาน (Parallel Address Bus) ใช้สำหรับ ชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูล และหน่วยความ จำโปรแกรม หรือ I/O ภายนอก เมื่ออยู่ใน โหมด โหมด (hold mode) จะเป็นอิมพีแดนซ์สูง (high impedance) สัญญาณเหล่านี้ใช้เป็นอินพุต เมื่อ $\overline{\text{HOLDA}}$ และ $\overline{\text{BR}}$ ถูกขับ (drive) ให้มีสถานะต่ำ (low)
A14	76		
A13	75		
A12	74		
A11	73		
A10	72		
A9	64		
A8	63		
A7	62		
A6	61		
A5	60		
A4	59		
A3	58		
A2	57		
A1	56		
A0(LSB)	55		
D15(MSB)	6		เป็นบัสข้อมูลแบบขนาน (parallel data bus) ใช้ส่งข้อมูลระหว่างซีพียูหลัก (core cpu) กับหน่วย ความจำข้อมูล/โปรแกรมภายนอก หรืออุปกรณ์ I/O เมื่อ ไม่มีเอาต์พุตสัญญาณเหล่านี้จะเป็นอิมพีแดนซ์ สูง หรือเมื่อขา $\overline{\text{RS}}$ หรือ $\overline{\text{HOLD}}$ อยู่ในสถานะต่ำ (active low) และขา $\overline{\text{OFF}}$ เป็นสถานะต่ำ นอกจากนี้ ยังใช้สำหรับ DMA ภายนอกของแรม (single access RAM)
D14	7		
D13	8		
D12	9		
D11	10		
D10	11		
D9	12		
D8	13		
D7	23		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ	ขา	สถานะ	การทำงาน
D6	24		
D5	25		
D4	26		
D3	27		
D2	28		
D1	29		
D0	30		
กลุ่มสัญญาณควบคุมหน่วยความจำ			
$\overline{DS}$	89	O/Z	เลือกหน่วยความจำข้อมูล/โปรแกรม และ I/O ปกติมีสถานะสูง แต่เมื่อเป็นสถานะต่ำ จะเป็นการติดต่อภายนอก เมื่อ $\overline{OA}$ OFF อยู่ในสถานะต่ำ จะมีอิมพีแดนซ์สูง
$\overline{PS}$	90	I	
$\overline{IS}$	91		
READY	128		สัญญาณข้อมูลพร้อม (Data ready input) ใช้แสดงเมื่ออุปกรณ์ภายนอกส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว และเมื่อยังทำงานไม่เสร็จ (READY=0) จะต้องมีการรอ 1 cycle และเช็คขา READY อีกครั้ง ในสภาวะปกติขา READY จะทำงาน เมื่อมีสัญญาณ BR เข้ามา
R / $\overline{W}$	92	I/O/Z	สัญญาณอ่าน/เขียน (read/write signal) เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านเขียนข้อมูล เมื่ออยู่ในโฮลด์โหมด จะมีอิมพีแดนซ์สูง ถูกใช้ใน DMA ของแรมภายนอก เมื่อ $\overline{HOLDA}$ และ $\overline{IAQ}$ อยู่ในสถานะต่ำ ใช้แสดงทิศทางของบัสข้อมูล สำหรับ DMA อ่าน (read อยู่ในสถานะสูง)และ เขียน (write อยู่ในสถานะต่ำ)
$\overline{STRB}$	93	I/O/Z	สัญญาณสโตรบ (strob signal) ปกติมักอยู่ในสถานะสูง จะเป็นสถานะต่ำ เมื่อค่าของบัสภายนอกเป็นอิมพีแดนซ์สูง ใน โฮลด์โหมด เมื่อ $\overline{HOLDA}$ และ $\overline{IAQ}$ แอคทีฟ สัญญาณนี้จะใช้เลือกการเข้าถึงหน่วยความจำ
$\overline{RD}$	82		สัญญาณเลือกอ่าน (read select) ขานี้จะทำงานเมื่อมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ	ขา	สถานะ	การทำงาน
			การอ่าน จะต่อโดยตรงกับ OE ของอุปกรณ์ภายนอก สัญญาณนี้จะใช้อ่านค่าหน่วยความจำโปรแกรม/ข้อมูล และ I/O ภายนอก ทั้งหมดเป็นอิมพีแดนซ์สูงเมื่ออยู่ในโฮลด์โหมด
$\overline{\text{WE}}$	83	O/Z	สัญญาณเขียน (write enable) ขานี้จะใช้ในการเขียนค่าหน่วยความจำโปรแกรม/ข้อมูล และ I/O ภายนอก เมื่ออยู่ในโฮลด์โหมดจะมีอิมพีแดนซ์สูง
กลุ่มสัญญาณมัลติโปรเซสซิง(Multiprocessing)			
$\overline{\text{HOLD}}$	129	I	สัญญาณโฮลด์อินพุต (hold input) เป็นสัญญาณที่ใช้เพื่อแสดงว่ากำลังมีการติดต่อกับบัสตำแหน่ง บัสข้อมูล บัสควบคุม เมื่อถูกตอบรับ(acknowledge)โดย 'C5X จะอยู่ในสถานะอิมพีแดนซ์สูง
$\overline{\text{HOLDA}}$	108	O/Z	สัญญาณตอบรับสัญญาณโฮลด์ (hold acknowledge signal) ใช้แสดงว่าวงจรอยู่ในสถานะโฮลด์ (hold state) บัสตำแหน่ง,บัสข้อมูล,บัสควบคุมอยู่ในสถานะอิมพีแดนซ์สูง
$\overline{\text{BR}}$	94	I/O/Z	สัญญาณการขอใช้บัส (bus request signal) แสดงเมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูล สัญญาณจากขานี้ใช้กับหน่วยความจำที่ว่างได้ 32 Kword เมื่อ $\overline{\text{HOLDA}}$ อยู่ในสถานะต่ำสัญญาณจากขานี้ใช้กับ DMA ของแรมภายนอก BR จะมีสถานะต่ำเมื่อ มีการติดต่อกับแรมภายนอก
$\overline{\text{IAQ}}$	1	O/Z	สัญญาณรับคำสั่ง(instruction acquisition signal) จะแสดงสถานะต่ำเมื่อมีคำสั่งอยู่ในแอดเดรสบัส ใช้กับ DMA ของแรมภายนอกเมื่อ $\overline{\text{HOLDA}}$ อยู่ในสถานะต่ำ
$\overline{\text{BIO}}$	130	I	สัญญาณควบคุมการبرانซ์ (brance control input) ถ้าเป็นสถานะต่ำจะเป็นให้ทำคำสั่งที่เป็นเงื่อนไข สัญญาณนี้จะทำงานเมื่อมีการ fetch ที่เป็นเงื่อนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำหนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สัญญาณ	ขา	สถานะ	การทำงาน
XF	109	O/Z	สัญญาณติดต่อกาภายนอก (external flag output) ถูกเจ็ดให้เป็นสถานะสูงหรือสถานะต่ำโดยคำสั่งพิเศษหรือโดยโหลดค่าใน stare register (ST1) เมื่อมีการรีเจ็ดขานี้จะมีสถานะสูง
LACK	112	O/Z	สัญญาณตอบรับอินเตอร์รัพต์ (interrupt acknowledge signal) แสดงค่าเมื่อมีการรับค่าอินเตอร์รัพต์ และค่าโปรแกรมเคาท์เตอร์
การอินนิเชียไลซ์(Initialization), อินเตอร์รัพต์,และคำสั่งรีเจ็ด			
INT4	41	I	สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากผู้ใช้ภายนอก (external user interrupt input) กำหนดโดยรีจิสเตอร์ควบคุมอินเตอร์รัพต์(interrupt mask register) และบิตอินเตอร์รัพต์โหมด (interrupt mode bit) สามารถรีเจ็ดผ่าน รีจิสเตอร์บอกอินเตอร์รัพต์ (interrupt flag register)
INT3	40		
INT2	39		
INT1	38		
$\overline{\text{NMI}}$	42	I	สัญญาณนอน-มาสก์เอเบิลอินเตอร์รัพต์ (non-maskable interrupt) เป็นอินเตอร์รัพต์ภายนอกไม่สามารถควบคุมโดย INTM หรือ MR เมื่อ NMI ทำงานจะมีการอินเตอร์รัพต์
$\overline{\text{MP/MC}}$	5		ขาเลือกโหมดไมโครโปรเซสเซอร์/ไมโครคอมพิวเตอร์(microprocessor/microcomputer mode select pin) ถ้าเป็นสถานะต่ำ (microcomputer mode) จะทำให้โปรแกรมรอมภายในถูกส่งไปยังหน่วยความจำโปรแกรม (program memory space)
สัญญาณออสซิลเลเตอร์/ไทม์เมอร์ และ CLKIN 1/2			
CLKOUT1	110	O/Z	สัญญาณนาฬิกาส่งออก (master clock output signal หรือ CLKIN2 frequency) มีค่าไซเคิลเท่ากับอัตราแมชชีนไซเคิล (machine-cycle) ของซีพียู
CLKMD1	71	I	CLKMD1 CLKMD2
CLKMD2	103		0 0 สัญญาณนาฬิกาภายนอกเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ	ขา	สถานะ	การทำงาน
			สัญญาณนาฬิกาเข้าจากขา X2/CLKIN ทำให้ออสซิลเลเตอร์ (oscillator) ภายใน และ PLL disable 0 1 สำหรับตรวจสอบ 1 0 เป็นสัญญาณนาฬิกาอินพุต (input clock) สำหรับ CLKIN2 ทำให้ออสซิลเลเตอร์ภายในหยุดทำงาน และ PLL ทำงานแทน 1 1 เป็นสัญญาณนาฬิกาอินพุตสำหรับขา X2/CLKIN1 ทำให้ออสซิลเลเตอร์ภายในทำงาน และ PLL ภายในไม่ทำงาน
X2/CLKIN	122	O	ขาอินพุตสำหรับออสซิลเลเตอร์ภายใน (input pin to internal oscillator from crystal) ถ้าออสซิลเลเตอร์ภายในไม่ถูกใช้งาน สัญญาณนาฬิกาจะเป็นอินพุตของอุปกรณ์บนขานี้ แมชชีน ไซเคิลภายในเป็นครึ่งหนึ่งของอัตรา clock
X1	97		เป็นขาเอาต์พุตของออสซิลเลเตอร์ภายในสำหรับคริสตอล ถ้าไม่ใช้ออสซิลเลเตอร์ภายในจะไม่มีการต่อกับขานี้
CLKIN2	95		เป็นอินพุตสำหรับสัญญาณนาฬิกาสำหรับขับอัตราแมชชีน(machine rate)
TOUT	122		เอาต์พุตไทม์เมอร์ (timer output) ขานี้ให้สัญญาณพัลส์เมื่อไทม์เมอร์ภายใน (on -chip timer) นับถึง 0 ความกว้างพัลส์เท่ากับ CLKOUT 1 ไซเคิล
สัญญาณพอร์คอนุกรม			
CLKR CLKRT	46 126	I	เป็นขาที่รับสัญญาณนาฬิกาจากข้างนอกเพื่อกำหนดให้การรับข้อมูล (DR/TDR) เข้าไปเก็บไว้ที่ RSR (serial port receive shift regirter) แต่ถ้าขานี้ไม่ใช้สามารถใช้เป็นขาอินพุต ของ IN0 ของ SPC/TSPC รีจิสเตอร์ได้
CLKX	124	I/O/Z	เป็นขาที่แสดงสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ	ขา	สถานะ	การทำงาน
TCLKX	123	I/O/Z	กำหนดให้ DR/TDR ส่งข้อมูลไปที่ DX/TDX CLKX จะเป็นอินพุต ถ้า MCM บิตที่ทำการควบคุมพอร์ตอนุกรม(serial port control) มีค่าเป็นศูนย์ และอาจจะับความถี่เป็น CLKOUT1/4 เมื่อ MCM มีค่าเป็น 1 ถ้าขานี้ไม่ใช่สามารถที่จะทำเป็นอินพุตของบิต IN1 ของ SPC/TSPC รีจิสเตอร์
DR	43	I	เป็นขาเพื่อรับสัญญาณของข้อมูล ซึ่งเมื่อรับมาแล้วจะเก็บไว้ที่ RSR (serial port received shift register)
TDR	44	I	
DX	106	O/Z	เป็นขาเพื่อส่งสัญญาณข้อมูล ซึ่งข้อมูลจะส่งจาก XSR (serial port transmit shift register)
TDX	107	O/Z	
FSR	45	I	แสดงสัญญาณการพร้อมของเฟรม (Frame synchronization) สำหรับรับสัญญาณอินพุต TFSR จะเป็นได้ทั้งอินพุต / เอาท์พุตเมื่อพอร์ตอนุกรมอยู่ในโหมด TDM
TFSR/TADD	125	I/O/Z	
FSX	104	I/O/Z	แสดงสัญญาณการพร้อมของเฟรม (Frame Synchronization) สำหรับการส่งสัญญาณขานี้จะเลือกได้โดยทางซอฟต์แวร์ จะเป็นเอาท์พุตเมื่อ TSM ถูกเซ็ตให้เป็น 1
TFSX/TFRM	105	I/O/Z	
TCK	34	I	สัญญาณนาฬิกาตรวจสอบ JTAG (JTAG test clock) เป็นสัญญาณนาฬิกาแบบฟรีรันนิ่ง (free-running) ซึ่งมีค่าควิตซ์ไซเคิล 50% การเปลี่ยน TAP (test access port) ซึ่งเป็นอินพุตสัญญาณนาฬิกา จะควบคุม TAP รีจิสเตอร์คำสั่ง(instruction register) หรือเลือกการทดลองรีจิสเตอร์ข้อมูล (datd register) ที่ขอขาขึ้นของ TCK ในการเปลี่ยน TAP จะเป็นสัญญาณเอาท์พุตจะปรากฏที่ขอขาลงของ TCK
TDI	67	I	เป็นสัญญาณนาฬิกาเพื่อเลือกรีจิสเตอร์ในขอขาขึ้นของ TCK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TDO สัญญาณ	100 ขา	O/Z สถานะ	เป็นการทดสอบเอาต์พุตข้อมูลในขอบล่างของ การทำงาน
			TCK
TMS	31	I	เป็นการเลือกโหมดทดสอบ JTAG และเป็นสัญญาณ นาฬิกาอินพุตที่ทดสอบพอร์ต ตรวจสอบการเข้าถึง (test access port (TAP) จะทำงานที่ขอบขาขึ้นของ TCK
TRST	2	I	ทดสอบการรีเซ็ตจะเป็นสถานะสูง
EMU0	118	I/O/Z	ขาอิมูเลเตอร์ 1 /ขาการทำงานของเอาต์พุต (emulator pin1/ disable all output) จะทำงานที่สถานะเอาต์พุต
EMU1 / OFF	119		

3.1.3 การจัดหน่วยความจำของ TMS320C50

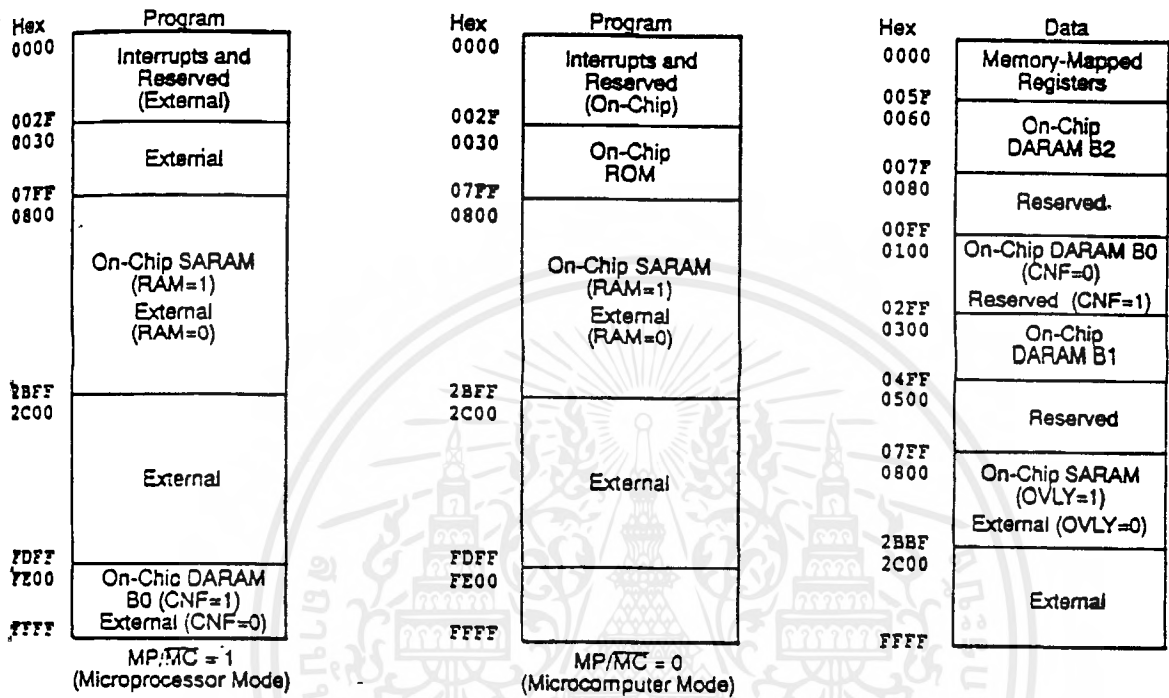
ในการเลือกหน่วยความจำของ TMS320C50 นั้นขึ้นอยู่กับวิธีการเชื่อมต่อ โดยสำหรับ program memory นั้น จะมีการเลือกโหมดของคอมพิวเตอร่ว่าจะใช้โหมดไมโครโปรเซสเซอร์หรือไม่โครคอมพิวเตอร์ นอกจากนั้นขึ้นอยู่กับค่าใน บิต CNF และ บิต RAM ว่ามีค่าเป็น 0 หรือ 1 สำหรับใน data memory จะขึ้นอยู่กับวิธีการเชื่อมต่อในบิต CNF และบิต OVLY สำหรับรายละเอียดของแต่ละส่วนและการเชื่อมต่อในแต่ละบิตเป็นดังนี้คือ

3.1.3.1 หน่วยความจำข้อมูล (Data memory)

สำหรับ TMS320C50 นี้จะมีการแยกหน่วยความจำข้อมูล (data memory) กับหน่วยความจำโปรแกรม(program memory) ออกจากกันซึ่งจะทำให้ความเร็วดีขึ้น สำหรับหน่วยความจำสามารถขยายได้ถึง 64K x 16 บิต ซึ่งสำหรับ 'C50 จะมีแรมบนชิพถึง 9K ซึ่งแรมจะเป็นแบบ SRAM (single-access RAM) และ DRAM (dual-access RAM) ขนาด 1056 เวิร์ด ซึ่งมีข้อดี คือ

- ทำงานได้รวดเร็วเนื่องจากทำงานโดยวิธีไปป์ไลน์
- ลดค่าใช้จ่ายในเรื่องการต่อหน่วยความจำภายนอก
- มีการปฏิบัติงานได้เร็วไม่มีการรอ
- ช่วยประหยัดไฟ ซึ่งถ้าให้การต่อหน่วยความจำภายนอกจะเปลืองกว่า

ต่อไปนี้จะเป็นการแสดงการจัดหน่วยความจำของ 'C50 ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การจัดหน่วยความจำข้อมูลใน TMS320C50

ในการกำหนดหน่วยความจำข้อมูลจะต้องมีการเซตค่าของบิตของรีจิสเตอร์ควบคุมหน่วยความจำ (Control state Register) ดังนี้

ตารางที่ 3.2 การเซตบิตรีจิสเตอร์ควบคุมหน่วยความจำเพื่อใช้หน่วยความจำข้อมูล

CNF	OVLY	DRAMB0	DRAMB1	DRAMB1	SRAM	off-Chip
0	0	100h-2FFh	300h-4FFh	60h-7Fh	-	800h-FFFh
0	1	100h-2FFh	300h-4FFh	60h-7Fh	800h-BFFh	C00h-FFFh
1	0	-	300h-4FFh	60h-7Fh	-	800h-FFFh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	1	-	300h-4FFh	60h-7Fh	800h-BFFh	C00h-FFFh
---	---	---	-----------	---------	-----------	-----------

3.1.3.2 หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory)

ในการใช้งานหน่วยความจำโปรแกรม สามารถขยายได้ถึง 64 K ซึ่ง ‘C50 มีรอม SRAM และ DRAM ซึ่งมีความเร็วสูง โดยไม่มีสถานะการรอ (wait state) ส่วนในการทำงานของ จีพียู ‘C50 สามารถใช้ร่วมกับรอมภายในขนาด 4K ซึ่งสามารถโปรแกรมจากโรงงาน มีความเร็วในการทำงานเต็มที่ ในการเลือกใช้จะต้องกำหนดที่ขาของ MP/MC หากขาดังกล่าวเป็นสถานะสูง ตำแหน่ง 4K แรกจะเป็นหน่วยความจำภายนอกชิพ แต่ถ้าเป็นสถานะต่ำ ตำแหน่ง 4K เวิร์ดแรกจะเป็นรอมภายในชิพการกำหนดสถานะของค่าต่างๆจะกำหนดดังนี้

ตารางที่3.3 การกำหนดค่าสำหรับใช้หน่วยความจำโปรแกรม

CNF	RAM	MP/MC	ROM	SRAM	DRAMB0	off-Chip
0	0	0	0000-1FFF	-	-	2000-FFFF
0	0	1	-	-	-	0000-FFFF
0	1	0	0000-1FFF	2000-23FF	-	2400-FFFF
0	1	1	-	2000-23FF	-	0000-1FFF 2400-FFFF
1	0	0	0000-1FFF	-	FE00-FFFF	2000-FDFF
1	0	1	-	-	FE00-FFFF	0000-FDFF
1	1	0	0000-1FFF	2000-23FF	FE00-FFFF	2400-FDFF
1	1	1	-	2000-23FF	FE00-FFFF	0000-FDFF 2400-FDFF

3.1.4 โหมดการอ้างถึงหน่วยจำ (Memory Addressing Mode)

‘C5X สามารถอ้างแอดเดรสได้ 64K เวิร์ด สำหรับหน่วยความจำโปรแกรม (program memory) และ 96K เวิร์ด สำหรับหน่วยความจำข้อมูล สำหรับวิธีในการอ้างแอดเดรส ทำได้ด้วยกัน 8 ทาง ดังนี้

1. การเข้าถึงข้อมูลโดยตรง (direct address bus, DAB) ในการอ้างถึงวิธีสเตอร์แบบนี้จะต้องมีรีจิสเตอร์สำหรับชี้เพจของข้อมูล โดยใช้ DP ในการชี้ DP (data page pointer) สามารถอ้างได้ 512 เพจ โดยแต่ละเพจมี 128 เวิร์ด

ตัวอย่าง ADD 01h เป็นคำสั่งในการนำข้อมูลที่ชี้ที่ตำแหน่ง 01h โดยมี DP บอกว่าชี้ที่
เพจใด นำมาบวกกับ ACC

2. โดยการเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำ (Memory map) จะเหมือนกับแบบแรกแต่จะใช้
เฉพาะเพจ 0 เท่านั้น

ตัวอย่าง LAMM PMST โดย PMST เป็นรีจิสเตอร์ เป็นการโหลดค่าใน PMST ลงไป
ใน ACC

3. โดยใช้ ออกซิลลารี รีจิสเตอร์ (Auxiliary register) โดยการอ้างแอดเดรสที่บรรจุใน AR0-
AR7 เช่น ADD* ซึ่ง ARP จะเป็นตัวบอกว่าเป็น AR ตัวที่เท่าใด ตัวอย่างเช่น

ARP	4	4
ARP	0302h	0302h
หน่วยความจำข้อมูล		
302h	2h	2h
ACC	2h	2h

จะเห็นว่าแอดเดรสที่ได้อยู่ใน AR4(0302h)

4. โดยการใช้รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register) ซึ่งเป็นการเอาแอดเดรสโดยตรงมาจาก
คำสั่งเลข เช่น

ADD # 0ffh เอาข้อมูลที่แอดเดรส Fffh มาบวกกับ ACC

โดยวิธีนี้จะทำได้แบบสั้น (short immediate) คือ ค่าแอดเดรส จะเป็น 00-FF

5. โดยการใช้ PC (program counter) จะเหมือนการใช้รีจิสเตอร์คำสั่ง แต่สามารถอ้างแบบยาว
(Long Immediate (0000-FFFF)) เช่น

ADD # 0FFFh

6. โดยเข้าถึงรีจิสเตอร์โดยตรง (Register Access) เป็นการใช้อรีจิสเตอร์ที่ทำงานโดยเฉพาะเช่น
TREG0, TREG1, TREG2, ARCR, DBMR ตัวอย่างคำสั่ง

ARL *,AR7

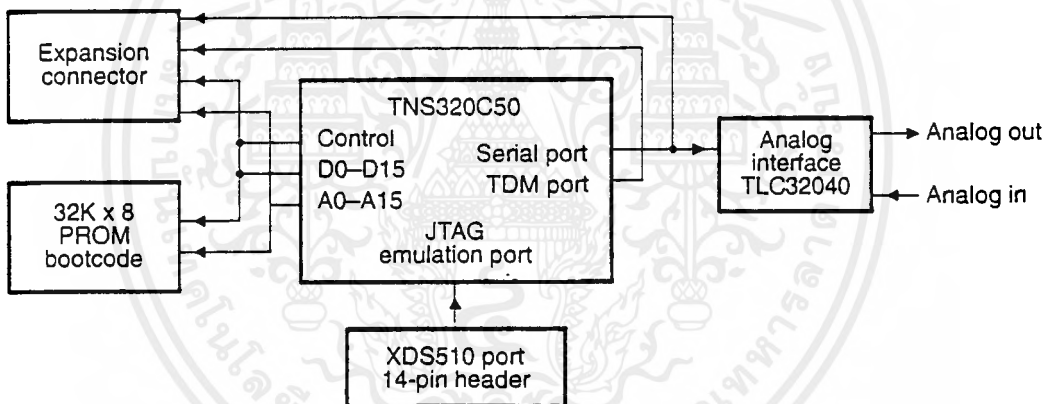
7. โดยใช้คำสั่งตัวที่ 2 เป็นตัวชี้แอดเดรส เช่น คำสั่ง BLDD # 02345h, 012h หมายถึงเอาข้อมูล
ที่ชี้ที่แอดเดรส 02345h ไปเก็บที่แอดเดรส 012h

8. โดยอ้างถึงหน่วยความจำเป็นบล็อก (Block Memory Address Register) ซึ่ง BMAR จะเป็น
ตัวชี้ข้อมูล ตัวอย่างเช่น BLDD BMAR, 012h

3.2 โครงสร้างของ TMS320C50 DSK Starter Kit

3.2.1 ลักษณะทั่วไปของบอร์ด

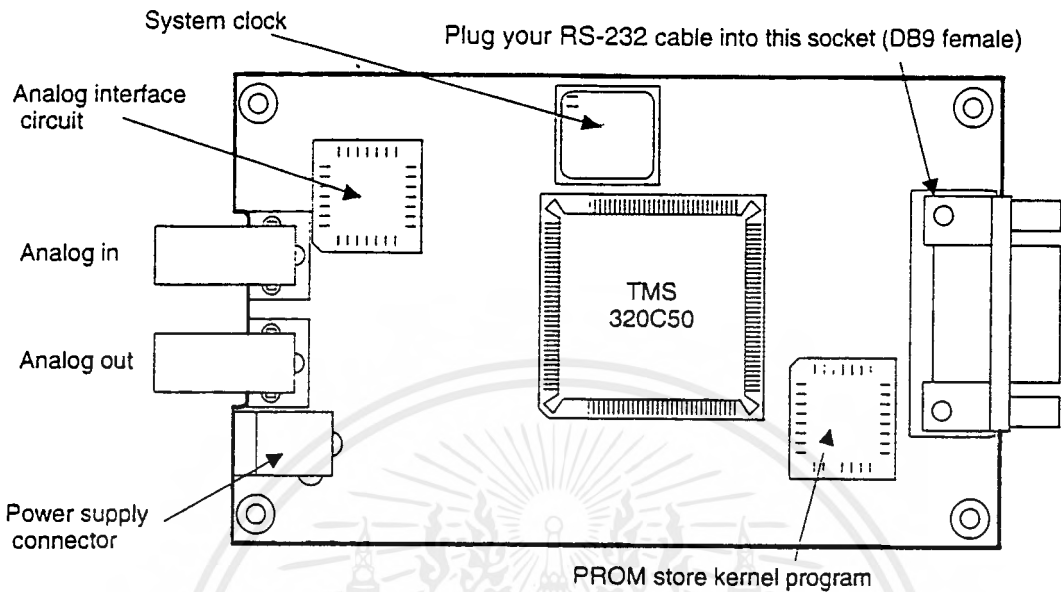
- ใช้โปรเซสเซอร์เบอร์ TMS320C50 ซึ่งจะมีลักษณะเป็น fixed-point DSP
- คำสั่งใช้เวลาประมาณ 50ns (instruction cycle time)
- 32 K byte PROM (Programable Read Only Memory)
- ใช้มาตรฐาน RCA คอนเนคเตอร์ สำหรับสัญญาณอนาล็อกอินพุตและเอาต์พุต เพื่อให้สามารถต่อเข้ากับออสซิลโลสโคป และ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ได้โดยตรง
- ในการติดต่อกับการควบคุม มีคอนเนคเตอร์ XDS510 ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตอนุกรม สามารถใช้ I/O บัสได้เพื่อสำหรับการออกแบบภายนอก



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของ TMS320C5X DSK Starter Kit

รูปที่ 3.3 นี้ แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของบอร์ดซึ่งประกอบด้วย โฮสอินเตอร์เฟส , อนุาลอกอินเตอร์เฟส และ อิมูเลชันพอร์ท ทำให้สามารถติดต่อกับพีซีได้โดยผ่านทาง RS232 นอกจากนี้ ยังมี PROM ขนาด 32 Kbyte ที่ใช้เก็บคอร์เนลโปรแกรมไว้สำหรับบูต

ส่วนของอนาลอกอินเตอร์เฟสใช้ TLC32040 ซึ่งเป็นวงจรรินเตอร์เฟสสัญญาณอนาลอกที่มีคอนเนคเตอร์ 2 ตัว สำหรับอินพุตและเอาต์พุต



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของบอร์ด TMS320C50 DSK Starter Kit

3.2.1.1 วงจรส่วน CPU TMS320C50

ในที่นี้จะทำงานอยู่ในโหมดไมโครคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดให้ MP/MC อยู่ในสถานะต่ำ ซึ่งจะทำให้โปรแกรมภายใน ROM ถูกส่งไปยังหน่วยความจำโปรแกรม (program memory space) การติดต่อกับ RS232 จะต่อที่ขา BIO และ XF ซึ่ง BIO นี้จะเป็นสัญญาณควบคุมการبرانซ์ (branch control input) ส่วนสัญญาณ XF เป็นสัญญาณติดต่อกับภายนอก (external flag output) สัญญาณนาฬิกาของระบบจะใช้คริสตอลขนาด 40 Mhz ต่อเข้ากับ CLKIN และในส่วนของ CLKOUT1 จะต่อไปยัง TLC32040

สำหรับการติดต่อกับ PROM จะผ่านทางแอดเดรส A0-A14 และบัสข้อมูล D0-D7 ในการอ่านใช้ขา RD และ OE โดยการเลือกชิปที่ CE และ BR ในส่วนของแรมที่ใช้จะใช้แรมที่อยู่ภายในตัว TMS320C50

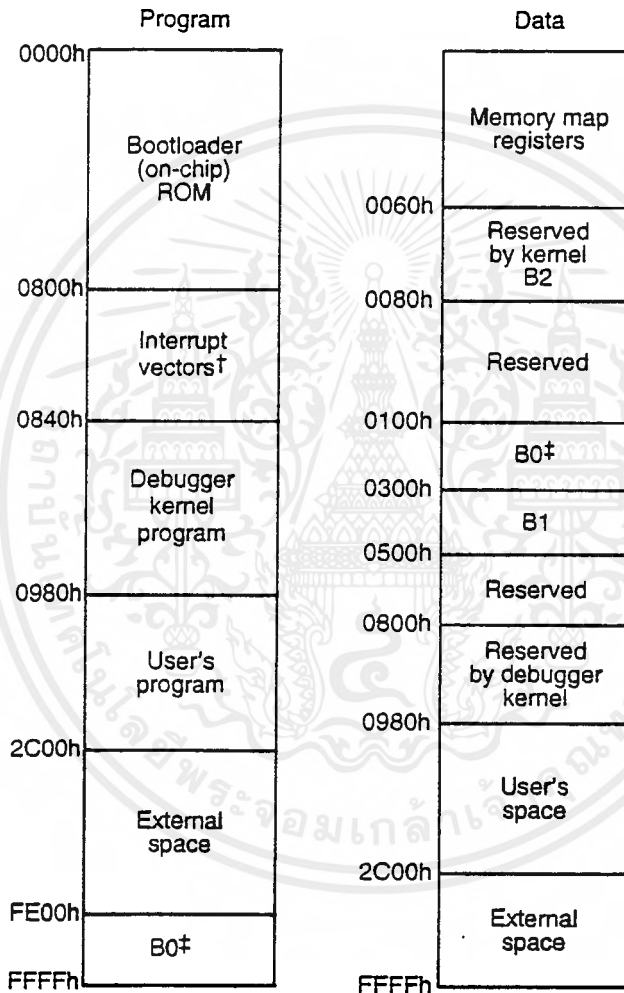
การติดต่อกับ TLC32040 จะติดต่อกับผ่านทางพอร์ตอนุกรม โดยจะรับข้อมูลผ่านการแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่ TLC32040 โดยรับข้อมูลทางขา DR เมื่อข้อมูลผ่านการประมวลผลแล้วจะถูกส่งกลับไปยัง AIC ทางขา DX

3.2.1.2 วงจรส่วนการติดต่อกับ RS232

ข้อมูลจากคอมพิวเตอร์จะทำการติดต่อกับตัวบอร์ดผ่านทางพอร์ตอนุกรม โดยข้อมูลจะเข้าที่ขา TX ผ่าน U7A75189 เพื่อเปลี่ยนสัญญาณ RS232 มาเป็นสัญญาณ TTL แล้วเข้า TMS320C50 ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแบ่งหน่วยความจำในตระกูล C5X จะแบ่งเป็น 4 ส่วนคือ

- Program Memory จะเป็นตัวที่จะเก็บคำสั่งที่จะปฏิบัติการ(executed)
- Local Data Memory ใช้เก็บข้อมูล(data) ที่ใช้ในคำสั่ง
- Global Data Memory
- Input/Output Space มีขนาด 64K ใช้ในการติดต่อ(interface)กับหน่วยความจำภายนอก



รูปที่ 3.6 หน่วยความจำภายใน C5X

จากรูปสามารถกำหนดหน่วยความจำที่ต้องการใช้งานได้ ในส่วนหน่วยความจำข้อมูลจะกำหนดที่ บิต CNF และ OVLY ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์สถานะ (status register) โดยในส่วนนี้จะแบ่งเป็น

- DRAM B0 (100h-2FFh)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

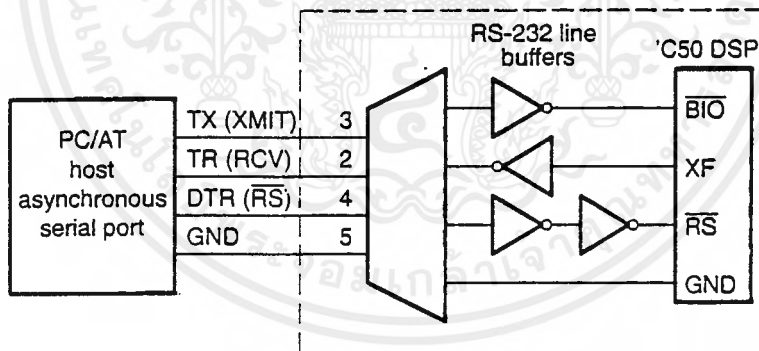
- DRAM B1 (300h-4FFh)
- DRAM B2 (60h-7Fh)
- SRAM (800h-BFFh)
- OFF-CHIP

สำหรับหน่วยความจำโปรแกรม สามารถขยายได้ถึง 64K การเลือกหน่วยความจำที่จะใช้งานจะกำหนดที่ บิต CNF , RAM , MP/MC หน่วยความจำส่วนนี้แบ่งเป็น

- ROM (0000-1fffh)
- SRAM (2000h-23FFh)
- DRAM B0 (FE00h-FFFFh)
- OFF-CHIP

3.2.3 การต่อใช้งานและการสร้างโปรแกรมเพื่อใช้กับ DSK

การต่อใช้งาน 'C5X กับ PC จะใช้ขา XF กับ BIO ซึ่งต่อผ่านพอร์ตคอนนุกรม RS232 ดังแสดงได้ดังรูป

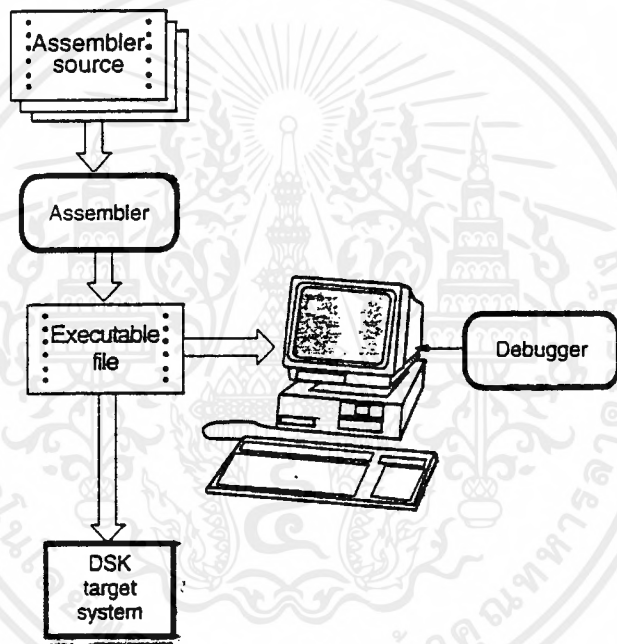


รูปที่ 3.7 การติดต่อระหว่าง DSK กับคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ต RS232

นอกจากนี้ DSK ยังมีแอสแซมเบอ์ และดีบั๊กเกอร์ ของมันเองซึ่งจะมีประโยชน์มาก เนื่องจากภาษาแอสแซมบลีที่ใช้ใน DSK นั้นจะสนับสนุนการทำงานด้านการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) และดีบั๊กเกอร์ก็มีความสามารถที่จะทำงานในแบบทีละขั้นและแบบเบรคพอยท์เพื่อช่วยในการแก้ไขโปรแกรม

การสร้างโปรแกรมเพื่อใช้กับ DSK

1. ทำการสร้างไฟล์หลัก (source file) สำหรับโปรแกรม
2. แปลงไฟล์หลักโดยใช้ DSK แอสเซมเบอร์
3. หากต้องการตรวจแก้ไขโปรแกรมโดยใช้ดีบั๊กเกอร์ก็ทำได้โดยใช้โปรแกรม dsk5d.exe ซึ่งให้มากับบอร์ดแล้ว



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรม

บทที่ 4

ทฤษฎีและการออกแบบตัวกรองเชิงเลข

ตัวกรองโดยทั่วไปนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทด้วยกัน คือ

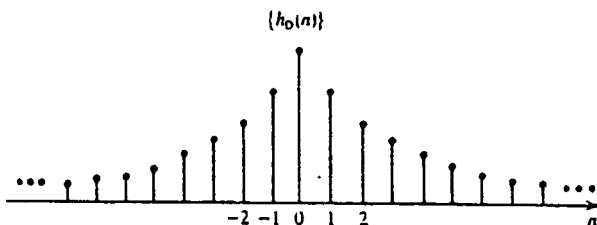
- ตัวกรองเชิงอุปมาน (Analog filter)
- ตัวกรองเชิงเลข (Digital filter)

โดยทั่วไปนั้น ตัวกรองเชิงเลขนี้ สามารถแบ่งย่อยออกได้อีกตามลักษณะของผลตอบสนองอิมพัลส์ของตัวกรอง ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของระบบเชิงเลข โดยจะแบ่งออกได้เป็นสองชนิดด้วยกัน คือ

- 2.1 ตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัด (Finite Impulse Response [FIR] Filter)
- 2.2 ตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์อนันต์ (Infinite Impulse Response [IIR] Filter)

4.1 ตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัด (Finite Impulse Response [FIR] Filter)

เป็นตัวกรองที่ผลตอบสนองอิมพัลส์ของมันมีลำดับที่มีค่าแตกต่างไปจากศูนย์ มีจำนวนพจน์คงที่ โดยทั่วไปมักจะเป็นตัวกรองแบบไม่มีการป้อนกลับของสัญญาณ ซึ่งตัวกรองที่ไม่มีการป้อนกลับสัญญาณนี้จะมีข้อดีอยู่ที่ สามารถออกแบบให้มีผลตอบสนองเฟสเป็นเชิงเส้นได้ง่าย และจะเสถียรเสมอ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในงานที่ผลตอบสนองเฟสมีความสำคัญมากๆ เช่น ในงานที่ต้องการให้ผลตอบสนองเฟสของสัญญาณเป็นเชิงเส้น เพื่อไม่ให้ลักษณะรูปคลื่นของสัญญาณ และเวลาในการเกิดสัญญาณผิดเพี้ยนไปได้ แต่ก็ไม่จำเป็นเสมอไปที่ตัวกรองที่มีผลตอบสนองอิมพัลส์แบบ FIR นี้จะต้องเป็นตัวกรองแบบไม่มีการป้อนกลับเชิงเลข เพราะได้มีนักวิจัยพิสูจน์มาแล้วว่า อาจสร้างโดยใช้ตัวกรองแบบป้อนกลับได้



รูปที่ 4.1 รูปแสดงลักษณะสัญญาณของผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบตัวกรองชนิดนี้มีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การออกแบบโดยใช้อนุกรมฟูริเยอร์ , การออกแบบโดยการสุ่มความถี่ (Frequency sampling method) และการออกแบบโดยใช้วิธีวินโดว์แบบต่างๆ เช่น วินโดว์สี่เหลี่ยม , วินโดว์แบบ ฮาน แฮมมิง และ แบบล็กแมน หรือ ใช้โคเชอร์วินโดว์ โดยจะขอกกล่าวถึงวิธีออกแบบแต่ละวิธี ดังนี้

4.1.1 การออกแบบตัวกรองแบบไม่ย้อนกลับโดยใช้อนุกรมฟูริเยอร์

ตัวกรองแบบไม่ย้อนกลับนี้สามารถเขียนได้ตามสมการของอนุกรมฟูริเยอร์ (Fourier series) ซึ่งในการคำนวณจะเห็นว่าความยาวของตัวกรองนั้นมีจำกัด ถ้าให้ $x(n)$ เป็นลำดับสัญญาณเข้า และให้ $y(n)$ เป็นลำดับสัญญาณออก เราสามารถเขียนสมการผลต่างสืบเนื่องได้ดังนี้

$$\begin{aligned} y(n) &= \sum_{k=-M}^M C_k x(n-k) \\ &= C_0 x(n) + \sum_{k=1}^M C_k x(n-k) + \sum_{k=1}^M C_k x(n-k) \\ &= C_0 x(n) + \sum_{k=1}^M \{C_{-k} x(n+k) + C_k x(n-k)\} \quad \dots(4.1) \end{aligned}$$

สมมติให้ $T = 1$ แล้วทำการแปลงแซดทรานสฟอร์มเพื่อเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนได้เป็น

$$\begin{aligned} H(z) &= C_0 + \sum_{k=1}^M \{C_{-k} z^k + C_k z^{-k}\} = \sum_{k=-M}^M C_k z^{-k} \\ \text{หรือ} \\ H(\omega) &= C_0 + \sum_{k=1}^M \{C_{-k} e^{j\omega k} + C_k e^{-j\omega k}\} = \sum_{k=-M}^M C_k e^{-j\omega k} \end{aligned}$$

ถ้าพิจารณากรณีตัวกรองสมมาตรคู่ หรือ $C_k = C_{-k}$

$$H(\omega) = C_0 + \sum_{k=1}^M C_k \{e^{j\omega k} + e^{-j\omega k}\} \quad \dots(4.2a)$$

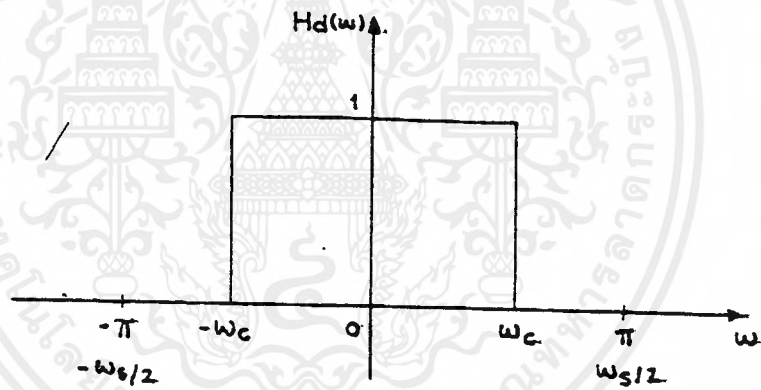
$$= C_0 + \sum_{k=1}^M 2C_k \{e^{j\omega k} + e^{-j\omega k}\} / 2 \quad \dots(4.2b)$$

$$H(\omega) = a_0 + \sum_{k=1}^M a_k \cos \omega k$$

โดยกำหนดให้ $a_0 = c_0$ และ $a_k = c_k$ และ $k > 0$

ผลที่ได้จากสมการ (4.2b) จะเห็นได้ว่า ตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขคณิตสมมาตรคู่ นั้นสามารถเขียนอธิบายได้ โดยใช้ อนุกรมฟูริเยร์ที่ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะพจน์โคไซน์เท่านั้น และค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูริเยร์ a_k จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองด้วย ในทำนองเดียวกัน เราอาจแสดงได้ว่าสำหรับตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขคณิตแบบปฏิสมมาตรคู่ สามารถเขียนแทนด้วยอนุกรมฟูริเยร์ที่มีเฉพาะพจน์ไซน์เท่านั้น และค่าสัมประสิทธิ์จะเป็นจำนวนจินตภาพเสมอ

โดยปกติแล้วการออกแบบตัวกรองสัญญาณนั้น กระทำโดยการทำการประมาณค่าให้ตัวกรองที่ออกแบบมีผลตอบสนองความถี่ใกล้เคียงกับผลตอบสนองอุดมคติ ดังรูปที่ 4.1 ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้



รูปที่ 4.2 ผลตอบสนองอุดมคติ

จากรูป ω_c เป็นค่าความถี่ตัด (Cut off frequency) จากผลตอบสนองอุดมคติ $H_d(\omega)$ สามารถกระจายให้อยู่ในพจน์ของโดเมนเวลา (Time domain) โดยการประยุกต์ใช้การแปลงฟูริเยร์ได้ดังนี้

$$H_d(\omega) = \sum_{-\infty}^{\infty} h_d(k) e^{-jk\omega} \quad \dots(4.3)$$

โดยในกรณีนี้ $h_d(k)$ หาได้จาก

$$h_d(k) = (1/2\pi) \int_{-\omega/2}^{\omega_c/2} H_d(\omega) e^{jk\omega} d\omega \quad \dots(4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการด้านบนจึงได้ว่า ผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขมีค่าเป็น

$$H_d(\omega) = \sum_{k=-M}^M C_k e^{-j k \omega T} \quad \dots(4.5)$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการกันแล้วจะเห็นว่า ผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองจะใกล้เคียงกับผลตอบสนองอุดมคติก็ต่อเมื่อ M มีค่าเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยาก จึงมีการตัดปลายอนุกรมฟูริเยร์ให้เหลือเท่าที่จำเป็นและจัดให้

$$C_k = h_d(k) \quad \dots(4.6)$$

โดยที่ $k = -M, \dots, 0, \dots, M$ ส่วนความยาวของตัวกรอง $N = (2M+1) = (n-1)/2$

จากผลตอบสนองแอมพลิจูด จะพบว่า ถ้า M หรือ N มีค่ามากจะมีผลทำให้

- 1.) ผลตอบสนองแอมพลิจูดใกล้เคียงผลตอบสนองอุดมคติมากขึ้น
- 2.) จำนวนลูกคลื่น (ripple) มากขึ้น โดยที่คาบของลูกคลื่นลดลง
- 3.) ผลตอบสนองแอมพลิจูดมีความคมมากขึ้น หรือบริเวณความถี่ที่ผลตอบสนองเปลี่ยนจากค่าหนึ่งเป็นค่าใกล้เคียงศูนย์ หรือที่เราเรียกว่า แถบเปลี่ยนสถานะ (Transition band) แคบลง

โดยทั่วไปในการออกแบบตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลข เราต้องการลดจำนวนลูกคลื่นให้น้อยที่สุด และให้มีช่วงแถบเปลี่ยนค่ากว้างขึ้น ดังนั้นในการออกแบบ จึงจำเป็นต้องเลือกอย่างใดอย่างหนึ่งสำหรับการออกแบบตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขโดยวิธีเขียนอนุกรมฟูริเยร์ อาจสรุปเป็นขั้นตอนการทำได้ดังนี้คือ

- 1.) กำหนดผลตอบสนองอุดมคติที่ต้องการโดยกำหนดความถี่คัทออฟ
- 2.) ทำการอินทิเกรตผลตอบสนองอุดมคติ เมื่อหาลำดับผลตอบสนองอิมพัลส์ $h_d(k)$
- 3.) เลือกให้สัมประสิทธิ์ $C_k = h_d(k)$

4.1.2 การออกแบบตัวกรองแบบไม่ป้อนกลับโดยใช้วิธีหน้าต่าง (Window)

ในวิธีนี้จะขอเริ่มพิจารณาจากสมการพื้นฐานก่อน โดยเริ่มจาก $H_d(\omega)$ แทนผลตอบสนองความถี่อุดมคติ และผลตอบสนองนี้สามารถเขียนแทนด้วยอนุกรมฟูริเยร์ (Fourier series) ขวอนันต์พจน์ซึ่งมีสมการคือ

$$H_d(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_d(n) e^{-j n \omega T} \quad \dots(4.7)$$

โดยที่ $h_d(n)$ หาได้จาก

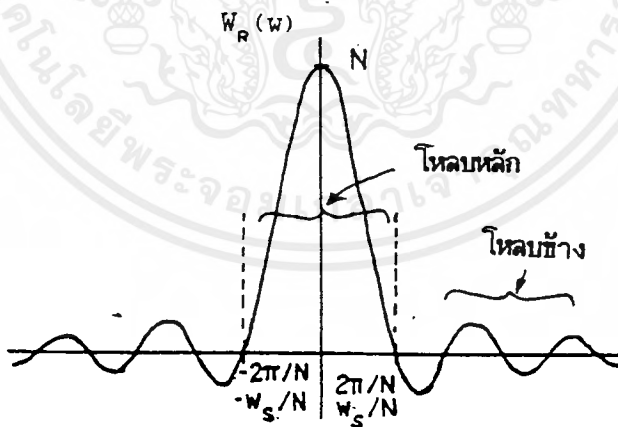
$$h_d(n) = (1/2\pi) \int_{-\pi}^{\pi} H_d(\omega) e^{j n \omega T} d\omega \quad \dots(4.8a)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 w_R(n) &= 1 & |n| \leq (N-1)/2 \\
 &= 0 & \text{otherwise}
 \end{aligned} \quad \dots(4.14)$$

ผลตอบสนองความถี่ของวินโดว์แบบนี้หาได้โดยการประยุกต์ใช้ผลการแปลงแซคซเข้ากับสมการแล้วทำการแทนค่าให้ $z = e^{j\omega T}$ เมื่อจัดรูปสมการใหม่ จะได้

$$\begin{aligned}
 W_R(\omega) &= \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} e^{-jn\omega T} \\
 &= \frac{\{e^{j\omega(N-1)T/2} - e^{-j\omega(N+1)T/2}\}}{\{1 - e^{-j\omega T}\}} \\
 &= \frac{\{e^{j\omega NT/2} - e^{-j\omega NT/2}\}}{\{e^{j\omega T/2} - e^{-j\omega T/2}\}} \\
 &= \frac{\sin(\omega NT/2)}{\sin(\omega T/2)}
 \end{aligned}$$



รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองแอมพลิจูดของวินโดว์สี่เหลี่ยม

จากรูปแสดงผลตอบสนองแอมพลิจูดของวินโดว์สี่เหลี่ยมซึ่งจะพบว่ามีคุณสมบัติดังนี้

1. ความกว้างของ Main Lobe มีค่า $4\pi/N$ และมีค่าขนาดเป็น N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$h_d(n) = (1/\omega_s) \int_{-\omega_s/2}^{\omega_s/2} H_d(\omega) e^{jn\omega T} d\omega \quad \dots(4.8b)$$

โดยที่ค่า ω_s นี้เป็นค่าความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง ในการออกแบบตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขที่ผ่าน มา เราพบว่าจะเกิดปัญหขึ้นสองประการด้วยกันคือ

ประการแรก เราต้องทำการตัดปลายของอนุกรม ให้มีจำนวนพจน์จำกัด หรือ

$$H_d(\omega) = \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} h_d(n) e^{-jn\omega T} \quad \dots(4.9)$$

ซึ่งผลลัพธ์ก็คือ ทำให้เกิดลูกคลื่นบนผลตอบสนองแอมพลิจูด

ประการที่สอง เมื่อตัดปลายของอนุกรมแล้ว ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เพราะผลตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse Response) เริ่มจากลำดับที่ $n = -(N-1)/2$ ซึ่งในระบบเวลาจริง ไม่สามารถสร้างลำดับที่เวลาเป็นลบได้ เราจึงทำการแก้ไขโดยการห่นวงผลตอบสนองอิมพัลส์ออกไปโดยเริ่มจากค่า $n = 0$ หรือ

$$H_d(\omega) = \sum_{n=0}^{(N-1)/2} h_d(n) e^{-jn\omega T} \quad \dots(4.10)$$

จะเห็นได้ว่าการตัดปลายอนุกรมฟูริเยร์ นั้น ก็คือ การที่เราเลือกให้

$$\begin{aligned} h(n) &= h_d(n) && ; 0 \leq n \leq N-1 \\ &= 0 && ; n \text{ กรณีอื่น} \end{aligned} \quad \dots(4.11)$$

ซึ่งสมการนี้ ถ้าหากเขียนอยู่ในรูปของสมการทั่วไปก็คือ การนำเอาลำดับ $h_d(n)$ มาคูณกับค่าลำดับจำกัด $w(n)$ หรือ

$$h(n) = h_d(n) w(n) \quad \dots(4.12)$$

โดยที่ $w(n)$ แทนลำดับของวินโดว์แบบต่างๆ สำหรับสมการที่ผ่านมานั้น เป็นแบบวินโดว์สี่เหลี่ยม (Rectangular window) ที่ลำดับ $w(n)$ มีคุณสมบัตินิยามได้เป็น

$$\begin{aligned} w_R(n) &= 1 && ; 0 \leq n \leq N-1 \\ &= 0 && ; n \text{ กรณีอื่น} \end{aligned} \quad \dots(4.13)$$

4.1.2.1 วินโดว์สี่เหลี่ยม (Rectangular window)

อาจนิยามโดยทั่วไปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อ N มีค่ามากขึ้นความกว้างของ Main lobe ลดลง

3. Side lobe มีการแกว่งโดยผ่านจุดศูนย์ทุกๆค่าความถี่ $2\pi/N$ และมีขนาดลดลงไปเรื่อยๆ และ $W_R(\omega) = 0$ ณ ค่าความถี่ $\omega = m\omega_s/N$ เมื่อ m เป็นค่าบวกและลบ ของ $1, 2, \dots$ ผลนี้แปลได้ว่า ถ้า N มีค่ามาก โพลข้างจะเข้ามารวมกันใกล้ความถี่ $\omega = 0$ มากขึ้น

4. ถ้านิยามให้พจน์ อัตราการุกคลื่น (Ripple Ratio) หรือ RR เป็น

$$RR = \frac{\text{ค่าขนาดสูงสุดของโพลข้าง}}{\text{ค่าขนาดสูงสุดของโพลหลัก}} \times 100 \quad \dots(4.15)$$

การที่เราเอาลำดับผลตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse Response) มาคูณกับลำดับของ วินโดว์ (Window) ซึ่งเป็นการปฏิบัติการใน Time domain เมื่อพิจารณาใน Frequency domain ก็เท่ากับเป็นการนำเอาผลตอบสนองความถี่ออกมาทำการคูณการประสาน กับ ผลตอบสนองความถี่ของ วินโดว์ หรือ

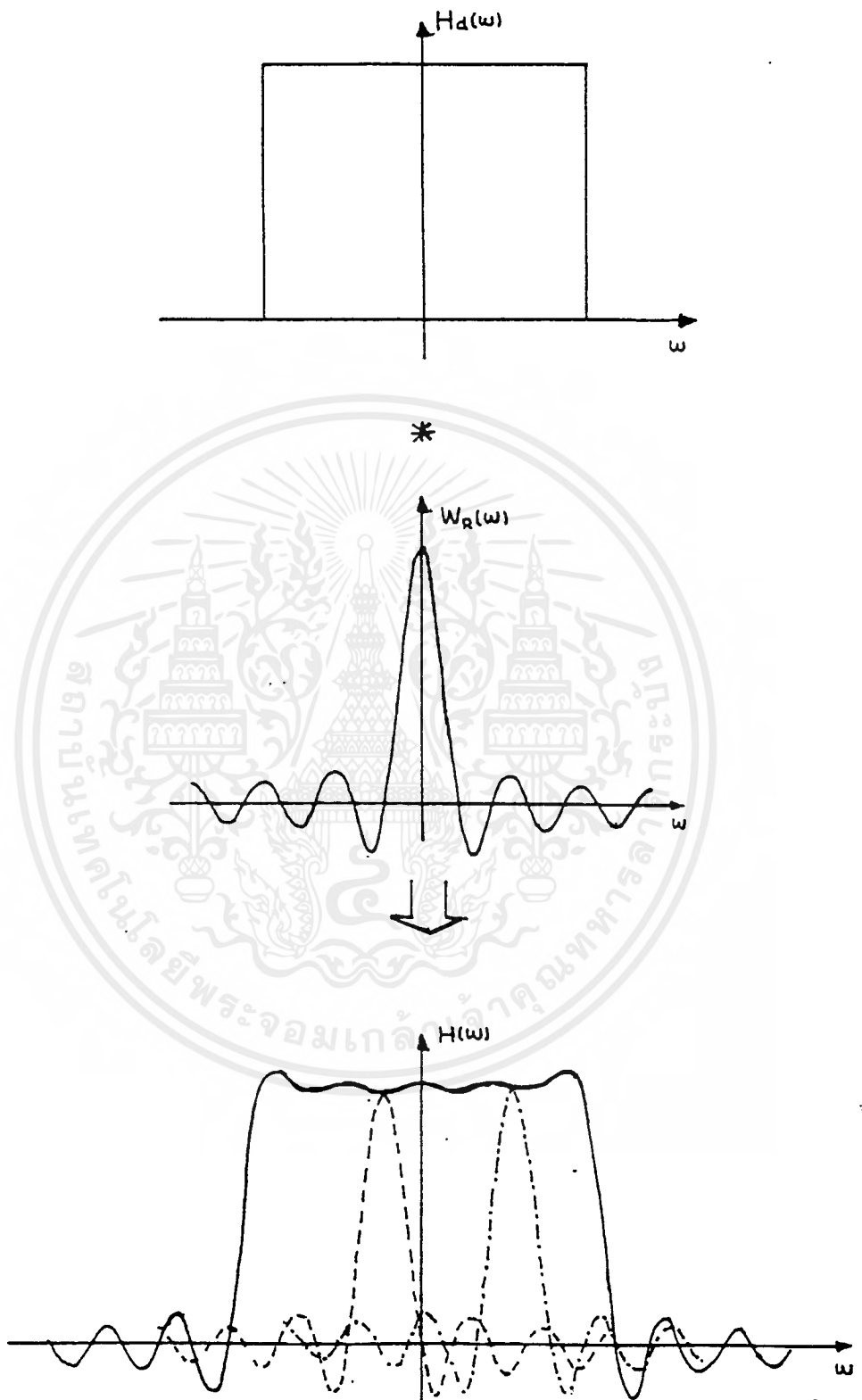
$$H(\omega) = (1/2\pi) \int_{-\pi}^{\pi} H_d e^{j\theta} \cdot W_R e^{j(\omega-\theta)} d\theta \quad \dots(4.16)$$

ผลของการประสานนี้จะอธิบายได้ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่า

1. ค่าความชันของโพลหลักของสเปกตรัมของวินโดว์ ทำให้เกิดแถบเปลี่ยนสถานะของผลตอบสนองความถี่ เพราะฉะนั้นแล้ว ถ้า N มาก ก็จะทำให้แถบเปลี่ยนสถานะแคบลง
2. การรบกวนบนผลตอบสนองความถี่ เป็นผลมาจาก โพลข้างของสเปกตรัมของวินโดว์ ดังนั้น ถ้าเลือก N ค่ามาก โพลข้างเลื่อนเข้าใกล้ความถี่ $\omega = 0$ มากขึ้น เป็นผลทำให้เกิดการรบกวนบนยอดของผลตอบสนองความถี่มากขึ้น

ด้วยผลทั้งสองประการนี้ เราจึงต้องหาวินโดว์ หรือดัดแปลงวินโดว์ที่เหลื้อมเพื่อให้มีคุณสมบัติ คือ งานของสัญญาณทั้งหมดไว้ให้ได้มากที่สุด

1. ให้โพลหลักของผลตอบสนองความถี่แคบ แต่ภายในโพลหลักสามารถครอบคลุมพลังงานของสัญญาณทั้งหมดไว้ให้ได้มากที่สุด
2. ให้ผลตอบสนองความถี่ของวินโดว์มีค่าขนาดของโพลข้างน้อย และมีค่าขนาดลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความถี่สูงขึ้น



รูปที่ 4.4 รูปแสดงวิธีปฏิบัติการทำวินโดว์ในโดเมนความถี่

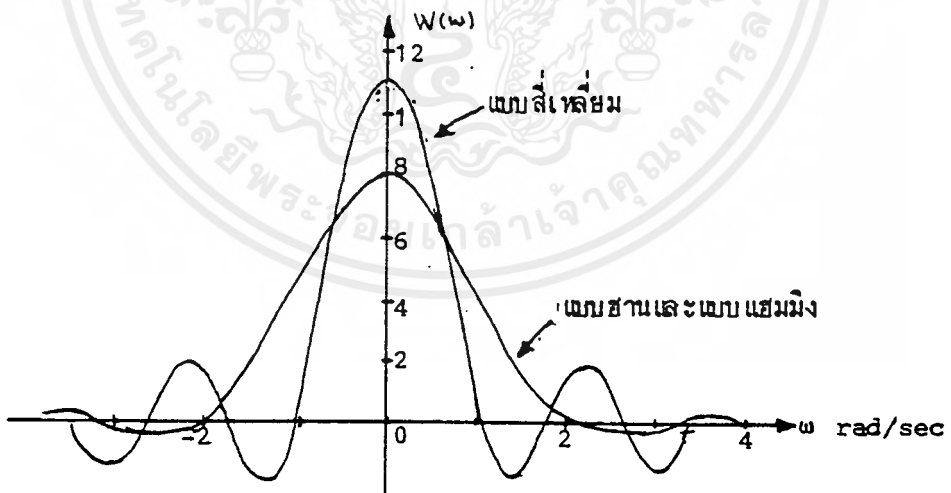
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2 วินโดว์แบบฮานและแฮมมิง (Hann and Hamming window)

วินโดว์แบบฮาน (Hann window) และ วินโดว์แบบแฮมมิง (Hamming window) สามารถเขียนเป็นสมการของลำดับได้ โดยให้ $T = 1$ วินาที คือ

$$\begin{aligned} W_H(n) &= \alpha + \{(1-\alpha)\cos(2\pi n / N - 1)\} \quad ; |n| \leq (N-1)/2 \\ &= 0 \quad ; n \text{ กรณีอื่น} \end{aligned} \quad \dots(4.17)$$

โดยที่แบบฮานวินโดว์ $\alpha = 0.5$ และ แบบแฮมมิงวินโดว์ $\alpha = 0.54$ ดังในรูปที่ 4.5 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบกันระหว่างสเปกตรัมความถี่ของวินโดว์สามแบบด้วยกันคือ วินโดว์แบบสี่เหลี่ยม, วินโดว์แบบฮาน และวินโดว์แบบแฮมมิง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่า วินโดว์แบบสี่เหลี่ยมนี้มีพลังงานนอกโหลบลึกอยู่มาก ส่วนในวินโดว์แบบฮาน และ แฮมมิง พลังงานได้ถ่ายเข้าไปในโหลบลึกได้มากเกือบ 99 %



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของ วินโดว์แบบสี่เหลี่ยม, แบบฮาน และแบบแฮมมิง กรณี $N = 11$

4.1.2.3 วินโดว์แบบแบล็กแมน

$$W_B(n) = 0.42 + 0.5 \cos\left(\frac{2n\pi}{N-1}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{4n\pi}{N-1}\right) \quad ; |n| \leq (N-1)/2$$

$$= 0 \quad ; n \text{ กรณีนอื่น} \quad \dots(4.18)$$

วินโดว์แบบนี้ให้คุณสมบัติที่ดีกว่าแบบฮานและแฮมมิง คือ สามารถถ่ายทอดพลังงานเข้าไปในโหนดหลักได้มากกว่า ดังได้แสดงคุณสมบัติเพื่อเป็นการเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของวินโดว์แบบต่างๆ

ชนิดของวินโดว์	Main lobe width	Ripple Ratio % N=31	Peak – Amp of Side lobe	Min – stopband att ⁿ (dB)
Rectangular	$2\omega_s/N$	21.80	-13	-21
Hann	$4\omega_s/N$	2.67	-31	-44
Hamming	$4\omega_s/N$	0.82	-41	-53
Blackman	$6\omega_s/N$	0.12	-57	-74

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของวินโดว์แบบต่างๆ เมื่อมีอันดับต่างกัน

Window	Ripple Ratio		
	N = 11	N = 21	N = 31
Rectangular	22.34	21.89	21.80
Hann	2.62	2.67	2.67
Hamming	1.47	0.93	0.82
Blackman	0.08	0.12	0.12

โดยที่ ω_s คือความถี่สุ่มตัวอย่าง

4.1.3 การออกแบบวงจรกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดที่ใช้ในการทดลอง

วิธีการออกแบบวงจรกรองที่ใช้ในการทดลองฉบับนี้ เป็นวิธีวินโดว์ โดยจะเริ่มดำเนินการออกแบบจากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน โดยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะมีลักษณะดังสมการ

$$\begin{aligned} H(e^{j\omega}) &= 1 & ; |\omega| \leq \omega_c \\ &= 0 & ; \omega_c \leq |\omega| \leq \omega_s/2 \end{aligned} \quad \dots(4.19)$$

การหาความสัมพันธ์ของผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรอง กับ ผลตอบสนองอิมพัลส์ของวงจรกรองทำได้โดยการอาศัยการกระจายของอนุกรมฟูรีเยอร์ คือ

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(nT) e^{-jn\omega T} \quad \dots(4.20)$$

และ

$$h(nT) = (1/\omega_s) \int_{-\omega_s/2}^{\omega_s/2} H(e^{j\omega}) e^{jn\omega T} d\omega \quad \dots(4.21)$$

เมื่อแทนค่าจากสมการผลตอบสนองความถี่อิมพัลส์ลงในสมการ จะได้

$$\begin{aligned} h(nT) &= (1/\omega_s) \int_{-\omega_c}^{\omega_c} e^{jn\omega T} d\omega \quad \dots(4.22) \\ &= \left(\frac{1}{n\pi} \right) \{ \sin(n\omega_c T) \} \quad ; n \neq 0 \\ &= (\omega_c / \pi) \quad ; n = 0 \end{aligned}$$

สมการนี้จึงเป็นสมการผลตอบสนองอิมพัลส์ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

วงจรกรองความถี่สูงผ่านนั้นก็คิดคำนวณมาจากสมการของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านนั่นเอง โดยสมการผลตอบสนองอิมพัลส์ของวงจรกรองความถี่สูงผ่านคือ

$$\begin{aligned} h(n) &= (1/\omega_s) \left\{ \int_{-\pi}^{-\omega_c} e^{jn\omega} d\omega + \int_{\omega_c}^{\pi} e^{jn\omega} d\omega \right\} \quad \dots(4.23) \\ &= -\left(\frac{1}{n\pi} \right) \{ \sin(n\omega_c) \} \quad ; n \neq 0 \\ &= 1 - (\omega_c / \pi) \quad ; n = 0 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการนี้จึงเป็นสมการผลตอบสนองอิมพัลส์ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

วงจรกรองแถบความถี่ผ่านนั้นคำนวณมาจากวงจรกรองความถี่ต่ำสองวงจรที่ความถี่คัทออฟต่างกัน (ω_{c1} , ω_{c2}) โดยจะมีสมการผลตอบสนองอิมพัลส์ดังนี้

$$\begin{aligned} h(n) &= \left\{ (1/\omega_s) \int_{\omega_{c1}}^{\omega_{c2}} e^{jn\omega} d\omega \right\} + \left\{ (1/\omega_s) \int_{-\omega_{c2}}^{-\omega_{c1}} e^{jn\omega} d\omega \right\} \quad \dots(4.24) \\ &= \left(\frac{1}{n\pi} \right) \{ \sin(n\omega_{c2}) \} - \left(\frac{1}{n\pi} \right) \{ \sin(n\omega_{c1}) \} \quad ; n \neq 0 \\ &= (\omega_{c2} / \pi) - (\omega_{c1} / \pi) \quad ; n = 0 \end{aligned}$$

วงจรกรองสททอนช่วงความถี่นั้นคำนวณมาจากวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน โดยจะมีสมการผลตอบสนองอิมพัลส์ดังนี้

$$\begin{aligned} h(n) &= (1/\omega_s) \left\{ \int_{-\pi}^{-\omega_{c2}} e^{jn\omega} d\omega + \int_{-\omega_{c1}}^{\omega_{c1}} e^{jn\omega} d\omega + \int_{\omega_{c2}}^{\pi} e^{jn\omega} d\omega \right\} \quad \dots(4.25) \\ &= \left(\frac{1}{n\pi} \right) \{ \sin(n\omega_{c1}) \} - \left(\frac{1}{n\pi} \right) \{ \sin(n\omega_{c2}) \} \quad ; n \neq 0 \\ &= 1 - \{ (\omega_{c2} / \pi) - (\omega_{c1} / \pi) \} \quad ; n = 0 \end{aligned}$$

4.2 ตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์อนันต์ (Infinite Impulse Response [IIR] Filter)

เป็นตัวกรองที่มีผลตอบสนองอิมพัลส์แบบไม่มีจำกัด หรือคือ มีลำดับของผลตอบสนองอิมพัลส์มีค่าอย่างไม่สิ้นสุด โดยทั่วไปตัวกรองชนิดนี้มักเป็นตัวกรองแบบที่มีการป้อนกลับของสัญญาณ ซึ่งจะมีการนำสัญญาณออกมาใช้ในการคำนวณสัญญาณออกลำดับถัดไป ดังนั้น การออกแบบตัวกรองชนิดนี้จะต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของตัวกรองด้วย การออกแบบตัวกรองชนิดนี้มีหลายวิธีด้วยกันแต่ละจะขอล่าเฉพาะ การออกแบบโดยใช้การแปลงตัวแปร เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติการแปลงตัวแปร

1. ตัวกรองเชิงเลข และ ตัวกรองเชิงอุปมาน

โดยทั่วไปมีฟังก์ชันถ่ายโอน ของ ตัวกรองป้อนกลับเชิงเลข สามารถเขียนได้คือ

$$H(Z) = N(Z^{-1}) / D(Z^{-1}) = \frac{\sum_{i=0}^M a_i Z^{-i}}{\sum_{i=0}^N b_i Z^{-i}} \quad \dots(4.26)$$

และหากเป็นตัวกรองเหตุกภาพ เราเขียนให้ $b_0 = 1$ หรือ

$$H(Z) = \frac{\sum_{i=0}^M a_i Z^{-i}}{\left\{ 1 + \sum_{i=1}^N b_i Z^{-i} \right\}} \quad \dots(4.27)$$

จากสองสมการนี้ ถ้าหากตอนแรกเราทำการแปลงตัวแปร Z^{-1} ด้วยตัวแปร S โดยตรงแล้วจะได้สมการที่คล้ายกัน ซึ่งเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองเชิงอุปมาน คือ

$$H(Z) = \frac{\sum_{i=0}^M a_i S^i}{\sum_{i=1}^N b_i S^i} \quad \dots(4.28)$$

ซึ่งทั้งสองสมการหลังนี้ ค่า $M \leq N$ เพื่อที่จะให้จำนวนโพล มากกว่าจำนวนซีโร เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดค่าขยายเป็นอนันต์ที่ค่าความถี่อนันต์

2. การส่งจากโดเมนเอส ไป โดเมนแซค

เราต้องการส่งค่าจากโดเมนหนึ่งไปยังอีกโดเมนหนึ่งโดยไม่ให้สัญญาณเกิดการบิดเบี้ยวไป และ เกิดเสถียรภาพในตัวกรองนั้น จึงต้องทำการส่งที่สอดคล้องตามเงื่อนไขสองประการดังต่อไปนี้

ก) เงื่อนไขที่ 1 การส่งข้ามโคเมนทำได้โดยที่ยังรักษาคุณสมบัติเชิงความถี่ของตัวกรองเชิงอุปมานไว้ เงื่อนไขมีอยู่ว่า “ ค่าบนแกนจินตภาพในระนาบเชิงซ้อน จะถูกส่งไปยังค่าบนเส้นรอบวงกลมหนึ่งหน่วย ในระนาบเชิงซ้อนแนช ” เขียนได้เป็น

$$\{S = j\omega | -\infty < \omega < \infty\} \rightarrow \{Z = \exp(j\theta) | -\pi < \theta \leq \pi\} \quad \dots(4.29)$$

ข) เงื่อนไขที่ 2 เป็นเงื่อนไขที่รักษาเสถียรภาพของวงจรกรองไว้ ซึ่งทำให้เราสามารถออกแบบตัวกรองเชิงเลขที่เสถียรได้ โดยเงื่อนไขมีอยู่ว่า “ ค่าบนด้านซ้ายทั้งหมดของ ระนาบเชิงซ้อนแนช จะถูกส่งเข้าไปยังบริเวณในวงกลมหนึ่งหน่วย ของระนาบเชิงซ้อนแนช ” หรือเขียนแทนสมการได้เป็น

$$\{S | R_0[S] < \phi\} \rightarrow \{Z | |Z| < 1\} \quad \dots(4.30)$$

4.2.1 การออกแบบโดยใช้การแปลงอิมพัลส์ยืนยง (Impulse-Invariance method)

วิธีการออกแบบแบบนี้เหมาะสำหรับการออกแบบตัวกรองที่ต้องการรักษาคุณสมบัติย่านความถี่ต่ำไว้ แต่จะไม่เหมาะกับตัวกรองที่ต้องการความถี่สูงหรือตัวกรองกำจัดแถบความถี่ โดยจะเป็นวิธีที่พยายามทำให้ผลตอบสนองอิมพัลส์ของตัวกรองเชิงเลข หรือ $h(n)$ นั้นมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับผลตอบสนองอิมพัลส์ของตัวกรองเชิงอุปมาน $h_a(t)$ ที่เป็นตัวต้นแบบ ซึ่งทำโดยการสุ่มตัวอย่างผลตอบสนองอิมพัลส์ของตัวกรองเชิงอุปมาน โดยใช้ความถี่สุ่มดังนี้

$$h(nT) = h_a(t) |_{t=nT} \quad \dots(4.31)$$

โดยที่ T เป็นค่าคาบเวลาของการสุ่มตัวอย่างสัญญาณ และให้ผลตอบสนองอิมพัลส์ในกรณีตัวกรองเหตุภาพเป็น

$$H(Z) = \sum_{n=0}^{\infty} h(n)Z^{-n} \quad \dots(4.32)$$

เมื่อเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปของเศษส่วนย่อย ในพจน์ของโพล P_i จะได้เป็น

$$H(S) = \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{(S + P_i)} \quad \dots(4.33)$$

โดยให้ $N > M \geq 0$, $b_a \neq 0$, $b_0 \neq 0$

เมื่อประยุกต์ใช้ผลการแปลงลาปลาซผกผัน กับสมการก่อนจะ ได้ผลตอบสนองอิมพัลส์ของตัวกรองเชิงอุปมาน คือ

$$h_a(t) = \sum_{i=1}^N C_i \exp(P_i t) u(t) \quad \dots(4.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $u(t)$ เป็นฟังก์ชันหนึ่งหน่วย

ดังนั้นเมื่อเราทำการกลุ่มตัวอย่างของผลตอบสนองอิมพัลส์ตามสมการ (4.31) จะได้เป็น ผลตอบสนองอิมพัลส์ของตัวกรองเชิงเลขเป็น

$$h(nT) = h_s(t)|_{t=nT} = \sum_{i=1}^N C_i \exp(nTP_i) u(nT) \quad \dots(4.35)$$

เมื่อทำการประยุกต์ใช้ผลการแปลงแซด เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองเชิงเลขจะได้เป็นสมการ

$$H(Z) = \sum_{i=1}^N C_i \sum_{n=0}^{\infty} \{ \exp(P_i T) Z^{-1} \}^n \quad \dots(4.36)$$

และอนุกรมในสมการ (4.36) สามารถเขียนแทนในรูปแบบปิดได้คือ

$$H(Z) = \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{C_i}{(1 - Z^{-1} \exp(P_i T))} \right\} \quad \dots(4.37)$$

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลจากสมการ (4.37) กับฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองเชิงอุปมานแล้ว เห็นได้ว่า เป็นการแปลงโดยทำการส่งให้

$$\frac{C_i}{(S + P_i)} \rightarrow \frac{C_i}{(1 - Z^{-1} \exp\{P_i\})} \quad \dots(4.38)$$

โดยที่ P_i เป็นค่าตำแหน่งโพลของตัวกรองเชิงอุปมาน ซึ่งตามผลของสมการ (4.38) เป็นการแทนตัวแปรโดยใช้ความสัมพันธ์

$$Z = \exp\{P_i T\} = \exp\{ST\} \quad \dots(4.39)$$

และเมื่อให้ $S = P_i$ ดังนั้นได้

$$S = (1/T) \ln Z \quad \dots(4.40)$$

ซึ่งสมการนี้จะใช้เป็นการแปลงตัวแปร ในการนำไปใช้ออกแบบ โดยผ่านวิธีการแปลงอิมพัลส์ขึ้นดังต่อไปนี้

4.2.2 การออกแบบโดยใช้วิธีการแปลงเชิงเส้นคู่ (Bilinear Transform)

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ในการทดลองของรายงานฉบับนี้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดในหลายๆ วิธีของการแปลงตัวแปร โดยจะคิดจากการประมาณค่าอินทิเกรตด้วยกฎการอินทิเกรตแบบสี่เหลี่ยม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คางหมู และทำการประมาณสมการเชิงอนุพันธ์ด้วยการใช้ผลต่างสืบเนื่องย้อนหลัง ดังจะแสดงให้เห็นได้ดังการพิจารณาวงจรเชิงอุปมานดังต่อไปนี้

สมมุติให้วงจรกรองเชิงอุปมานแบบโพลเดี่ยวนที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น

$$H(S) = \frac{b}{(S+a)} \quad \dots(4.41)$$

ซึ่งสมการเชิงอนุพันธ์ที่มีความสัมพันธ์กับสมการนี้เป็น

$$dy/dx = -ay + ax \quad \dots(4.42)$$

ถ้าหากเราทำการอินทิเกรตจากเวลา $t_1 = 0$ ถึงเวลา $t_2 = kT$ ทั้งสองข้างจะเขียนได้เป็น

$$\int_0^{kT} \frac{dy(t)}{dt} dt = -a \int_0^{kT} y(t) dt + b \int_0^{kT} x(t) dt$$

หรือ

$$y(kT) - y((k-1)T) = -a \int_{(k-1)T}^{kT} y(t) dt + b \int_{(k-1)T}^{kT} x(t) dt$$

จากนั้นทำการประมาณค่าการอินทิเกรตด้วย กฎการอินทิเกรตแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ได้

$$y(kT) - y((k-1)T) = - (aT/2) \{ y(kT) + y((k-1)T) \} + (aT/2) \{ x(kT) + x((k-1)T) \} \quad \dots(4.43)$$

เมื่อทำการแปลงแซคแล้ว จัดพจน์เพื่อเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนได้

$$H(Z) = Y(Z) / X(Z) = \frac{b}{\{(2/T)(\{1-Z^{-1}\} / \{1-Z^{-1}\}) + a\}} \quad \dots(4.44)$$

ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ระหว่างสมการ (4.41) กับสมการ (4.44) จะได้

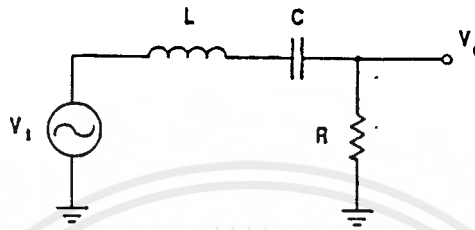
$$S = (2/T) (\{1-Z^{-1}\} / \{1+Z^{-1}\}) \quad \dots(4.45a)$$

และ

$$Z = (2+ST) / (2-ST) \quad \dots(4.45b)$$

4.2.3 การออกแบบวงจรกรองผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดที่ใช้ในการทดลอง

ในการออกแบบวงจรกรองในการทดลองสามารถแบ่งขั้นตอนการคิดได้หลายขั้นตอนโดยเริ่มจากการวิเคราะห์ตัวกรองก่อน ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวกรองพื้นฐานที่ใช้กันในวงจรกรองความถี่ช่วงผ่าน , Single – response pole , เป็นวงจรกรองแบบ IIR อันดับสอง (ถึงแม้ว่าจะมี 2 โพล เกิดขึ้นภายในวงกลม 1 หน่วยใน Z-plane แต่มีเพียงโพลเดียวที่อยู่ระหว่าง 0 และ π ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้งานได้)



รูปที่ 4.1 รูปวงจรกรองความถี่ผ่านอนาล็อกแบบ พาสซีฟ RCL

เพื่อที่จะออกแบบวงจรกรองดิจิทัล , เราต้องวิเคราะห์วงจรกรองความถี่ผ่านแบบอนาล็อกพาสซีฟ (RCL) ซึ่งสมมูลกัน จากรูปที่ 4.1 เราสามารถวิเคราะห์วงจร ได้โดยใช้ทฤษฎีการแบ่งแรงดัน (Voltage divider)

จากรูปวงจร 4.1 เราสามารถจะเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{R + j(\Omega L - 1/\Omega C)} \quad \dots(4.46a)$$

โดย $\Omega = 2\pi f$ และค่าอัตราขยาย (Gain) คือ แมกนิจูดของสมการ (4.46a)

$$G(\Omega) = \{1 + Q^2 \left(\frac{\Omega^2 - \Omega_0^2}{\Omega\Omega_0} \right)^2\}^{-1/2} \quad \dots(4.46b)$$

เมื่อ $\Omega_0 = (LC)^{-1/2}$ และ $Q = \Omega_0 L/R$ และมุมเฟส ϕ , หาโดยหาจากอัตราส่วนของส่วนจินตภาพกับส่วนจริงของฟังก์ชันถ่ายโอน :

$$\phi = \tan^{-1} \left\{ Q \left(\frac{\Omega_0^2 - \Omega^2}{\Omega\Omega_0} \right) \right\} \quad \dots(4.46c)$$

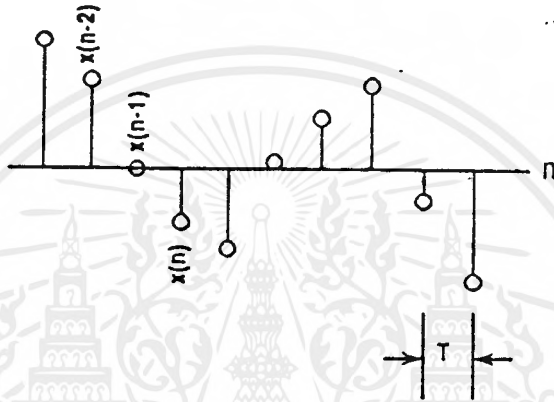
เปลี่ยนเป็น s-plane โดยการแทนสมการที่ (4.1a) ให้ $s = j\Omega$

$$\text{ได้} \quad H(s) = \frac{Rs}{Rs + Ls^2 + 1/C} \quad \dots(4.47)$$

ถ้าเราต้องการหาฟังก์ชันถ่ายโอนดิจิตอลในสมการ (4.47) เราอาจทำได้โดยใช้การแปลงเชิงเส้นคู่ (Bilinear Transform)

$$s = \frac{2}{T} \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) \quad \dots(4.48a)$$

ซึ่งค่า $z = e^{j\theta}$, $\theta = \omega T$ และ T คือ คาบของการสุ่มตัวอย่างดูในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รูปข้อมูลการสุ่มตัวอย่างมาตรฐาน, $x(n)$

จากสมการ (4.48a) เราสามารถหาความสัมพันธ์ของอนาลอกและดิจิตอลเป็น

$$\Omega = \frac{2}{T} \tan(\theta/2) \quad \dots(4.48b)$$

ให้สมการ (4.48a) แทนลงในสมการ (4.47) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ z

$$H(z) = \frac{\alpha(1-z^{-2})}{1/2 - \gamma z^{-1} + \beta z^{-2}} \quad \dots(4.49)$$

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ α , β , γ จะเกี่ยวข้องกับ R , C , L โดย

$$\alpha = \frac{RT/2}{T^2/2C + RT + 2L} \quad \dots(4.50a)$$

$$\beta = \frac{T^2/4C - RT/2 + L}{T^2/2C + RT + 2L} \quad \dots(4.50b)$$

$$\gamma = \frac{2L - T^2/2C}{T^2/2C + RT + 2L} \quad \dots(4.50c)$$

4.2.3.1 สมการผลต่างสืบเนื่อง (Difference Equation)

โดยทำการแปลงสมการ (4.49) ซึ่งเป็นตัวกรองแบบ IIR เป็นสมการผลต่างสืบเนื่องในโดเมนเวลาเชิงเต็มหน่วย (Discrete Time Domain) ถ้าอยู่ในรูปแบบนี้ เราสามารถทำตัวกรองนี้ให้สำเร็จได้โดยซอฟต์แวร์ โดยการนำการแปลงแซดผกผัน (Inverse z-transform; z^{-1}) มาใช้กับสมการที่ (4.4) ได้เป็น

$$Z^{-1}\{H(z)\} = Z^{-1}\{Y(z)/X(z)\} \quad \dots(4.51a)$$

$$Z^{-1}\{Y(z)[\frac{1}{2} - \gamma z^{-1} + \beta z^{-2}]\} = Z^{-1}\{X(z)[\alpha(1 - z^{-2})]\} \quad \dots(4.51b)$$

จากคุณสมบัติการหน่วงเวลาของการแปลงแซดสามารถแสดงได้ตามนี้คือ

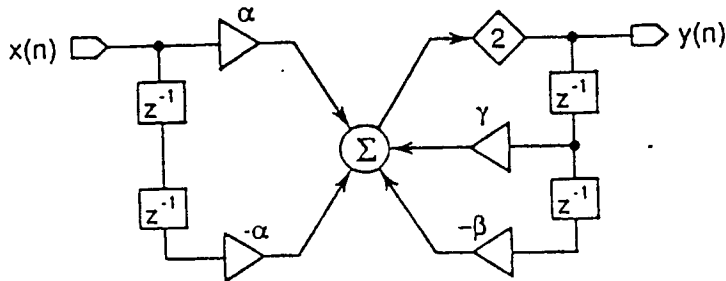
$$X(z) Z^{-m} = Z\{[x(n-m)]\} \quad \dots(4.52)$$

เมื่อ n เป็นดัชนีของเวลาเชิงเต็มหน่วย และ ใช้คุณสมบัติของสมการ (4.52) สามารถแปลงสมการ (4.51b) เป็น

$$y(n) = 2\{\alpha[x(n) - x(n-2)] + \gamma y(n-1) - \beta y(n-2)\} \quad \dots(4.53)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ α , β , γ ในสมการผลต่างสืบเนื่องสมการ (4.53) ใช้สำหรับการปรับผลตอบสนองของตัวกรอง ซึ่ง $x(n)$ เป็นข้อมูลที่ส่งมาในปัจจุบันแสดงเป็นทศนิยมที่มีค่าระหว่าง 1 และ -1, $x(n-1)$ เป็นข้อมูลก่อนหน้าข้อมูล $x(n)$, $x(n-2)$ เป็นข้อมูลที่มาก่อน $x(n-1)$ โดย n เป็นดัชนีของเวลา ซึ่งเกิดขึ้นตามคาบเวลาการสุ่มตัวอย่าง T ซึ่ง f_s (ความถี่การสุ่มตัวอย่าง) หาได้จาก $T = 1/f_s$ เช่น เวลาระหว่าง $x(n)$ กับ $x(n-2)$ คือ $2T$

ค่า $y(n)$ เหมือนกับค่าอินพุต $x(n)$ คือ $y(n)$ เป็นค่าของเอาต์พุตในปัจจุบัน, $y(n-1)$ เป็นข้อมูลเอาต์พุตก่อนหน้านี, $y(n-2)$ เป็นข้อมูลก่อนหน้า $y(n-1)$ ถึงแม้ว่าข้อมูลทางอินพุตจะเป็นทศนิยมที่มีค่าระหว่าง 1 ถึง -1 แต่ค่า $y(n)$ อาจเกิน 1 ได้ ถ้าเราไม่ทำการ scaling เพื่อป้องกันการเกิดโอเวอร์โฟลว์



รูปที่ 4.3 รูปแสดงบล็อกไดอะแกรมของเนตเวิร์ค

4.2.3.2 ผลตอบสนองของตัวกรองดิจิทัล

ค่า gain และผลตอบสนองเฟสสามารถคำนวณได้จากสมการ (4.49) โดยนิยามค่า gain ว่าเป็นค่าแมกนิจูดสัมบูรณ์ของ $H(z)$ ในวงจร RCL ค่า gain คือ อัตราส่วนระหว่างค่าความต้านทานกับแมกนิจูดของอิมพีแดนซ์เชิงซ้อนทั้งหมด และอัตราส่วนของส่วนจินตภาพกับส่วนจริงเท่ากับค่า tangent ของเฟส

ออยเลอร์ ได้ทำการคำนวณค่า gain, $G(\omega)$ และ เฟส, $\theta(\omega)$

$$e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta \quad \dots(4.54)$$

เปลี่ยนฟังก์ชันถ่ายโอนสมการ (4.49) เป็น

$$\begin{aligned} H(e^{j\theta}) &= \frac{\alpha(e^{j2\theta} - 1)}{\frac{1}{2}e^{j2\theta} - \gamma e^{j\theta} + \beta} \\ &= \frac{\alpha(\cos 2\theta - 1) + j \sin 2\theta}{(\frac{1}{2} \cos 2\theta - \gamma \cos \theta + \beta) + j(\frac{1}{2} \sin 2\theta - \gamma \sin \theta)} \end{aligned} \quad \dots(4.55)$$

ซึ่ง $\theta = \omega T$ ตัวอย่างเช่น $\theta = \pi/2$ จะสอดคล้องกับ ค่า $f = f_0/4$ (จาก $\omega = 2\pi f$ และ $T = 1/f_0$) ถ้าเราใช้ $f_0 = 10 \text{ kHz}$ เพราะฉะนั้น ถ้าค่า $\theta = \pi/2$ จะได้ค่าความถี่ของ 5 kHz

ค่า gain ของตัวกรองหาได้จากสูตรด้านล่างคือ

$$G(\omega) = [H(e^{j\theta}) H^*(e^{j\theta})]^{1/2} \quad \dots(4.56)$$

นำ สมการ (4.55) มา แทนในสมการ (4.56) ได้

$$G(\omega) = \frac{2\alpha \sin \theta}{\left\{ \left[\left(\frac{1}{2} - \beta \right) \sin \theta \right]^2 \left[\left(\frac{1}{2} - \beta \right) (\cos \theta - \cos \theta_0) \right]^2 \right\}^{1/2}} \quad \dots(4.57)$$

เมื่อ

$$\cos \theta_0 = r / \left(\frac{1}{2} + \beta \right) \quad \dots(4.58)$$

ที่ความถี่กลาง (θ_0) ค่า $G(\omega) = 1$ แทนค่าในสมการ (4.57) ได้

$$\alpha = \frac{1/4 - \beta/2}{\dots(4.59)}$$

เราสามารถหาการเลื่อนเฟสได้จากสมการ (4.55) โดยหาอัตราส่วนของส่วนจินตภาพต่อส่วนจริงของ $H(z)$

$$\tan \phi = \frac{\text{Im}[H(e^{j\theta})]}{\text{Re}[H(e^{j\theta})]} \quad \dots(4.60)$$

$$\tan \phi = \frac{\left(\frac{1}{2} + \beta \right) (\cos \theta - \cos \theta_0)}{\left(\frac{1}{2} - \beta \right) \sin \theta} \quad \dots(4.61)$$

แต่ในกรณีที่ $\theta < \pi/4$ เราสามารถที่จะทำการประมาณค่าเพื่อให้หาค่าของสมการได้ง่ายขึ้นได้

ดังนี้

$$\sin \theta \approx \theta \quad \dots(4.62)$$

และ

$$\cos \theta \approx 1 - (\theta^2/2) \quad \dots(4.63)$$

เมื่อนำไปแทนในสมการด้านบนจะได้เป็น

$$G_a(\omega) = \frac{G_0}{\left[1 + \left(\frac{\frac{1}{2} + \beta}{\frac{1}{2} - \beta} \right)^2 + \left(\frac{\theta_0^2 - \theta^2}{2\theta} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad \dots(4.64)$$

โดยการประมาณค่าที่กล่าวมานี้เรียกว่า การประมาณค่าแบบ SAA (Small Angle Approximation) ดังเกิดได้จากตัวอักษร a ที่ เป็น subscript นั้นจะเป็นตัวบอกว่ากำลังคิดด้วยวิธีนี้ อยู่ ซึ่ง SAA นี้จะมีค่าที่ประมาณได้ถูกต้องเมื่ออยู่ภายในมุม $\pi/4$ หรือ ความถี่ $f_s < f_s/8$

ค่า bandwidth ของตัวกรองสามารถพิจารณาได้จากค่าความถี่กลาง (θ_0) ซึ่งให้มี gain = G_0 ให้ θ_1 และ θ_2 เป็นความถี่คัทออฟและจะมี gain เท่ากับ $G_0/\sqrt{2}$ หรือ $20 \log(1/\sqrt{2})$ หรือมีค่าเท่ากับ -3 dB เพราะฉะนั้นค่า bandwidth ($\Delta\theta$) เท่ากับ $\theta_2 - \theta_1$ ซึ่ง $G(\theta_1) = G(\theta_2) = G_0/\sqrt{2}$ ถ้าเราต้องการให้ตัวกรองสมมาตร คือ ค่า θ_1 และ θ_2 สมมาตรกับความถี่กลางบน ความถี่ที่เป็นค่า log เราจะกำหนดให้ $\theta_1 = \theta_0/k$ และ $\theta_2 = \theta_0 k$

เพราะฉะนั้น ค่า Q ของตัวกรอง คือ

$$Q = \frac{\theta_0}{\Delta\theta} = \frac{\theta_0}{k\theta_0 - \theta_0/k} = \frac{k}{k^2 - 1} \quad \dots(4.65)$$

จากนั้น ทำการแทนค่า $\theta = \theta_1$ ลงในสมการ (4.64) จะได้ค่าเป็น

$$\left(\frac{1/2 + \beta_a}{1/2 - \beta_a} \right)^2 \left(\frac{\theta_1^2 - \theta_0^2}{2\theta_1} \right)^2 = 1 \quad \dots(4.66)$$

เอาสมการ (4.65) มาแทนในสมการ (4.66)

$$\frac{1/2 + \beta}{1/2 - \beta} = \frac{2}{\theta_0} \left(\frac{k}{k^2 - 1} \right) = \frac{2Q}{\theta_0} \quad \dots(4.67)$$

หลังจากนำไปแทนแล้วจะได้

$$\beta_a = \frac{Q - (\theta_0/2)}{2Q + \theta_0} \quad \dots(4.68)$$

แล้วจึงนำกลับเข้าไปแทนจนได้

$$\gamma = \left(\frac{1}{2} + \beta\right) \cos \theta_0 \quad \dots(4.69)$$

$$\alpha = \frac{\left(\frac{1}{2}\right) - \beta}{2} \quad \dots(4.70)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลอง

5.1 การทดลองสร้างตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัด

5.1.1 วิธีการทดลอง

ในการทดลองสร้างตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดนี้ เราทำการทดลองหลายส่วนด้วยกัน เริ่มจากการสร้างผลตอบสนองอุดมคติของวงจรกรองที่ต้องการขึ้นก่อนเพื่อเป็นต้นแบบในการทำนายผลการทดลองของตัวกรองที่ควรได้ จากนั้น จึงทำการคิดคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดขึ้นมาแล้วทำการนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้นั้น ไปป้อนใส่ในโปรแกรมควบคุมการทำงานของ TMS320C50 เพื่อเป็นข้อมูลของการสร้างตัวกรองต่อไป

โดยในการสร้างตัวกรองนั้น ได้ทำการทดลองสร้างตัวกรองขึ้นหลายชนิดด้วยกันซึ่งประกอบด้วยตัวกรอง 4 แบบคือ

1. ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Lowpass Filter)
2. ตัวกรองความถี่สูงผ่าน (Hpass Filter)
3. ตัวกรองช่วงความถี่ผ่าน (Bandpass Filter)
4. ตัวกรองช่วงลดทอนความถี่ (Bandstop Filter)

ในแต่ละวงจรจะทำการออกแบบให้มีอันดับ (order) ต่างกัน คือ 21 อันดับ และ 41 อันดับ เพื่อเปรียบเทียบผลกัน นอกจากนั้น ก็เป็นการประยุกต์การออกแบบด้วยวิธีวินโดว์แบบต่างๆเข้ากับวงจรกรองชนิดต่างๆ วิธีวินโดว์ที่ถูกนำมาเปรียบเทียบกันก็คือ

1. วินโดว์สี่เหลี่ยม
2. วินโดว์แบบฮาน
3. วินโดว์แบบแฮมมิง
4. วินโดว์แบบแบล็กแมน

ส่วนของการแสดงผล จะนำเอาค่าที่อ่านได้ที่ความถี่ต่างๆมาพล็อตออกเป็นกราฟด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อให้เห็นข้อแตกต่างเมื่อเทียบกับผลตอบสนองอุดมคติ

5.1.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์

ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองนี้จะทำการคำนวณออกมาได้โดยใช้สมการในบทที่ 4 และเพื่อให้การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์นั้นสะดวกและรวดเร็วขึ้น จึงได้ทำการนำโปรแกรม MATLAB มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองเหล่านั้น ซึ่งก็คือ เปรียบเทียบผลที่ได้จากตัวกรองอันดับเดียวกันแต่ใช้วิธีวินโดว์ต่างกัน และ การเปรียบเทียบความแตกต่างกันของตัวกรองชนิดต่างๆ ที่มีอันดับต่างกัน หลังจากโปรแกรม MATLAB ทำการคำนวณเสร็จแล้ว เราก็จะนำผลที่ได้ไปใช้งานจริงกับ TMS320C50 แล้ววัดค่าความถี่ที่ผ่านมาได้ก่อนจะนำมาพล็อตออกเป็นกราฟด้วยโปรแกรม MATLAB อีกครั้ง

ในส่วนของการหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองโดยใช้วิธีวินโดว์แบบต่าง ๆ นั้นจะแสดงได้จากสมการ

$$h(n) = h_d(n) w(n)$$

$w(n)$ นั้นแทนลำดับของวินโดว์แบบต่างๆ โดยแต่ละวินโดว์มีคุณสมบัติดังนี้

แบบวินโดว์สี่เหลี่ยม (Rectangular window)

$$\begin{aligned} w_R(n) &= 1 && ; 0 \leq n \leq N-1 \\ &= 0 && ; n \text{ กรณีอื่น} \end{aligned}$$

แบบวินโดว์ฮานและแฮมมิง (Hann and Hamming window)

$$\begin{aligned} W_H(n) &= \alpha + \{(1-\alpha)\cos(2\pi n / N - 1)\} && ; |n| \leq (N-1)/2 \\ &= 0 && ; n \text{ กรณีอื่น} \end{aligned}$$

โดยที่แบบฮานวินโดว์ $\alpha = 0.5$ และ แบบแฮมมิงวินโดว์ $\alpha = 0.54$

แบบวินโดว์แบล็กแมน (Blackman window)

$$\begin{aligned} W_B(n) &= 0.42 + 0.5\cos\left(\frac{2n\pi}{N-1}\right) + 0.08\cos\left(\frac{4n\pi}{N-1}\right) && ; |n| \leq (N-1)/2 \\ &= 0 && ; n \text{ กรณีอื่น} \end{aligned}$$

โปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการคำนวณ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัด

$M = 21;$ (ในการออกแบบ สามารถเลือกอันดับได้ตามต้องการ)
 $n = [0:1:M-1];$
 $wc = 0.4 * \pi;$ (เลือกความถี่คัทออฟ ถ้าเป็นตัวกรองชนิดช่วงความถี่ผ่านหรือช่วง ลดทอนความถี่ จะต้องมี $wc1$ และ $wc2$ สองค่า)

```
hd = ideal_lp(wc,M);
w = (blackman(M));
h = hd .* w;
[db,mag,pha,grd,w] = freqz_m(h,[1]);
% plots
plot(w/pi,db);
title('Magnitude response of 21 tap lowpass FIR blackman window(fc = 2 KHz)')
grid;
axis([0 1 -100 10]); xlabel('frequency in pi units')
ylabel('Decibels')
set(gca,'XTickMode','manual','XTick',[0,0.4,1])
set(gca,'YTickMode','manual','YTick',[-50,0])
set(gca,'YTickLabelMode','manual','YTickLabels',{'50'; '0'})
```

โดยในโปรแกรมนี้นี้ฟังก์ชัน ซึ่งต้องสร้างเพิ่มเติมได้แก่ `freqz_m` และ `ideal_lp`

```
function hd = ideal_lp(wc,M); (เป็นฟังก์ชันในการคำนวณ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรอง
alpha = (M-1)/2; ความถี่ต่ำผ่าน)
n = [0:1:(M-1)];
m = n-alpha+eps;
hd = sin(wc*m) / (pi*m);
```

```
function [db,mag,pha,grd,w]=freqz_m(b,a); (เป็นฟังก์ชันในการคำนวณ ค่าแอมพลิจูด
[H,w] = freqz(b,a,1000,'whole'); ซึ่งใช้ในการพล็อตกราฟ)
```

```
H = (H(1:1:501))'; w = (w(1:1:501))';
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
mag = abs(H);
db = 20*log10((mag+eps)/max(mag));
pha = angle(H);
grd = grpdelay(b,a,w);
```

การคำนวณค่า hd นั้นถ้าหากเป็น วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะมีค่าเป็น

```
hd = ideal_lp(wc,M);
```

วงจรกรองความถี่สูงผ่านจะมีค่าเป็น

```
hd = ideal_lp(pi,M)-ideal_lp(wc,M);
```

วงจรกรองช่วงความถี่ผ่าน hd มีค่าเป็น

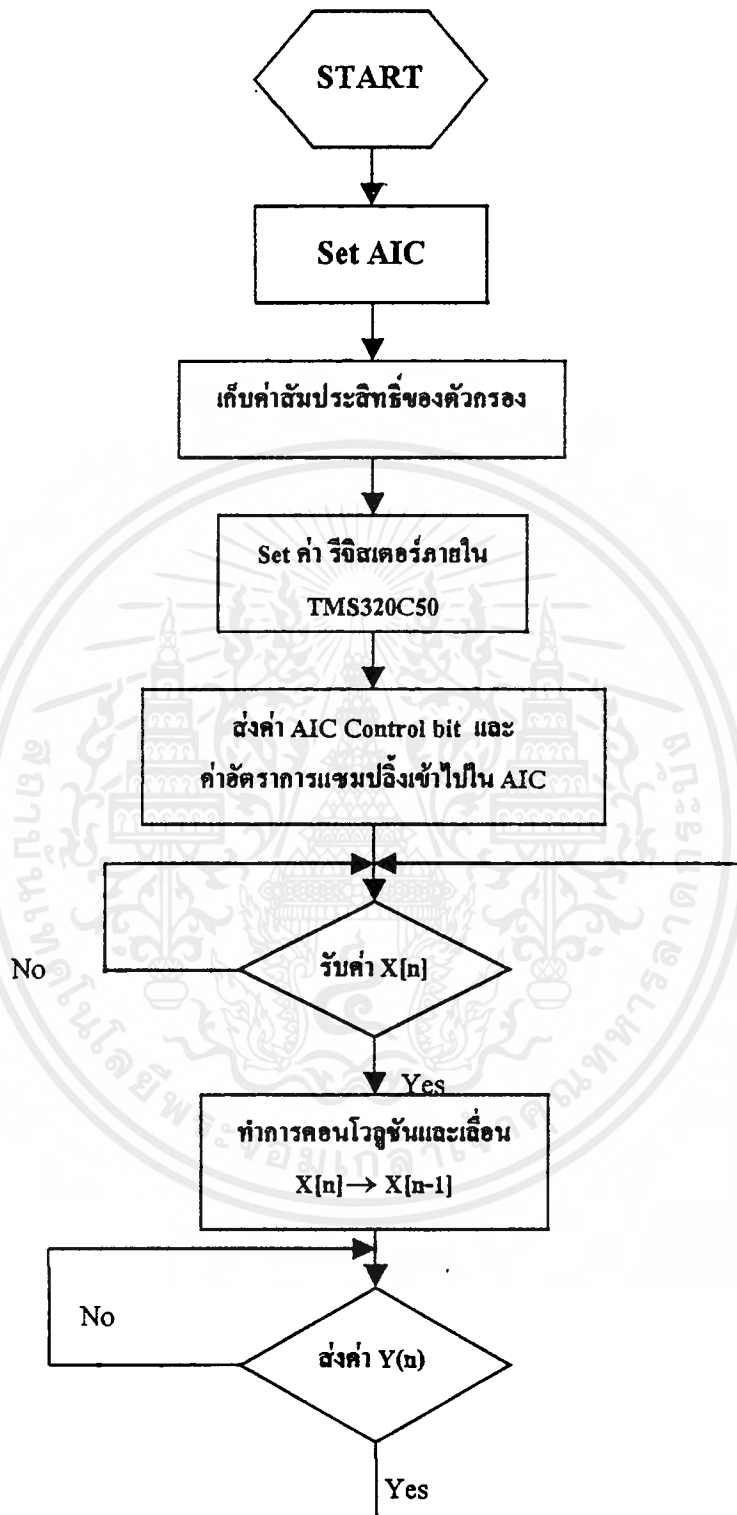
```
hd = ideal_lp(wc2,M) - ideal_lp(wc1,M);
```

วงจรกรองช่วงลดทอนความถี่ hd มีค่าเป็น

```
hd = ideal_lp(wc1,M) + ideal_lp(pi,M) - ideal_lp(wc2,M);
```

ส่วนชนิดของวินโดว์ สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยใช้ฟังก์ชันต่อไปนี้

```
-วินโดว์สี่เหลี่ยม ให้ w=(boxcar(M));
-ฮานนิงวินโดว์ ให้ w=(hanning(M));
-แฮมมิงวินโดว์ ให้ w=(hamming(M));
-แบล็กแมนวินโดว์ ให้ w=(blackman(M));
```



รูปที่ 5.1 Flow chat แสดงการทำงานของ FIR Filter

5.2 การทดลองสร้างตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์อนันต์

ในโครงการนี้ได้ทำการทดลองสร้างตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์อนันต์อันดับสอง โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้จากสมการที่กล่าวถึงไปแล้วในบทที่แล้ว ซึ่งเป็นการประมาณค่าแบบ SAA (Small Angle Approximation)

การหาค่าสัมประสิทธิ์นั้นเริ่มจากสมการ

$$\beta_a = \frac{Q - (\theta_0 / 2)}{2Q + \theta_0}$$

ให้ความถี่คัทออฟ (f_0) เท่ากับ 1 kHz จะได้ $\theta_0 = 2\pi f_0 / f_s$ แทนค่า Q ด้วย 1.4 จะได้

$$\begin{aligned}\beta_a &= \frac{1.4 - \{[2\pi(1,000) / 10,000] / 2\}}{2(1.4) + [2\pi(1,000) / 10,000]} \\ &= 0.317932\end{aligned}$$

นำไปคำนวณหาค่า $\gamma_a = \left(\frac{1}{2} + \beta_a\right) \cos \theta_0$

$$= 0.664154$$

$$\begin{aligned}\alpha_a &= \frac{\{(\frac{1}{2}) - \beta_a\}}{2} \\ &= 0.091034\end{aligned}$$

หลังจากได้ค่า β_a , γ_a , α_a แล้วจึงนำกลับไปแทนในสมการผลต่างสืบเนื่อง ซึ่งเป็นโครงสร้างของตัวกรองป้อนกลับเชิงเลขเป็นแบบโดยตรง 1 (Direct – form I) หลังจากนั้นเราทำการแปลงโครงสร้างของตัวกรองนี้ไปเป็นแบบโดยตรง 2 (Direct – form II) เนื่องจากโครงสร้างแบบหลังนี้มีข้อดีกว่าแบบโดยตรง 1 เพราะจะใช้หน่วยความจำ (Memory) ในการเก็บข้อมูลน้อยกว่า ข้อแตกต่างของโครงสร้างทั้งสองก็คือ

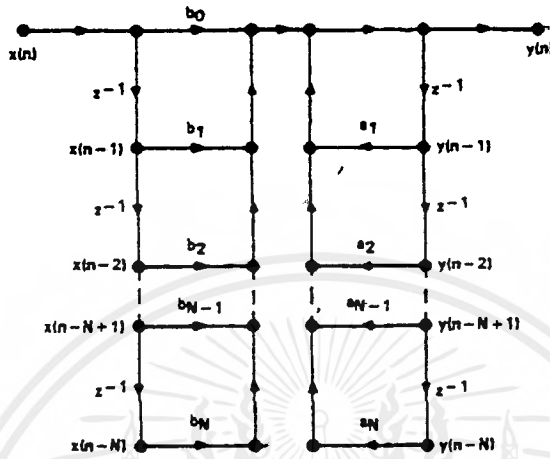
โครงสร้างของตัวกรองแบบโดยตรง 1 (Direct – form I)

ต้องเก็บข้อมูลทั้งรูปของ $x(n-1)$, $x(n-2)$, ...

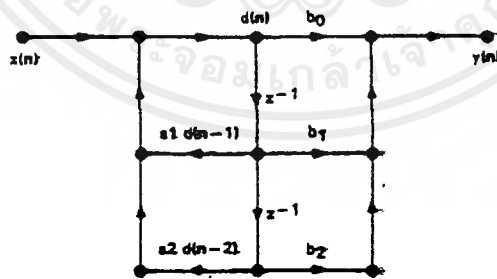
ส่วนโครงสร้างของตัวกรองแบบโดยตรง 2 (Direct – form II)

จะเก็บข้อมูลอยู่ในรูปของ $d(n-1)$, $d(n-2)$, ... ซึ่งจะประหยัดหน่วยความจำมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 โครงสร้างตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์อันดับแบบโดยตรง 1



รูปที่ 5.3 โครงสร้างตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์อันดับที่สองแบบโดยตรง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการผลต่างสืบเนื่องของโครงสร้างของตัวกรองป้อนกลับเชิงเลขแบบโดยตรง 1 จะได้

$$y(n) = 2\{\alpha x(n) - \alpha x(n-2)\} + \gamma y(n-1) - \beta y(n-2)$$

และสมการของโครงสร้างแบบโดยตรง 2 คือ

$$d(n) = x(n) + d(n-1)a_1 + d(n-2)a_2$$

$$y(n) = d(n)b_0 + d(n-1)b_1 + d(n-2)b_2$$

เราจะแก้สมการออกมาได้ค่า

$$b_0/2 = 0.091034 = \alpha$$

$$b_1/2 = 0$$

$$b_2/2 = -0.091034 = -\alpha$$

$$a_1/2 = 0.664154 = \gamma$$

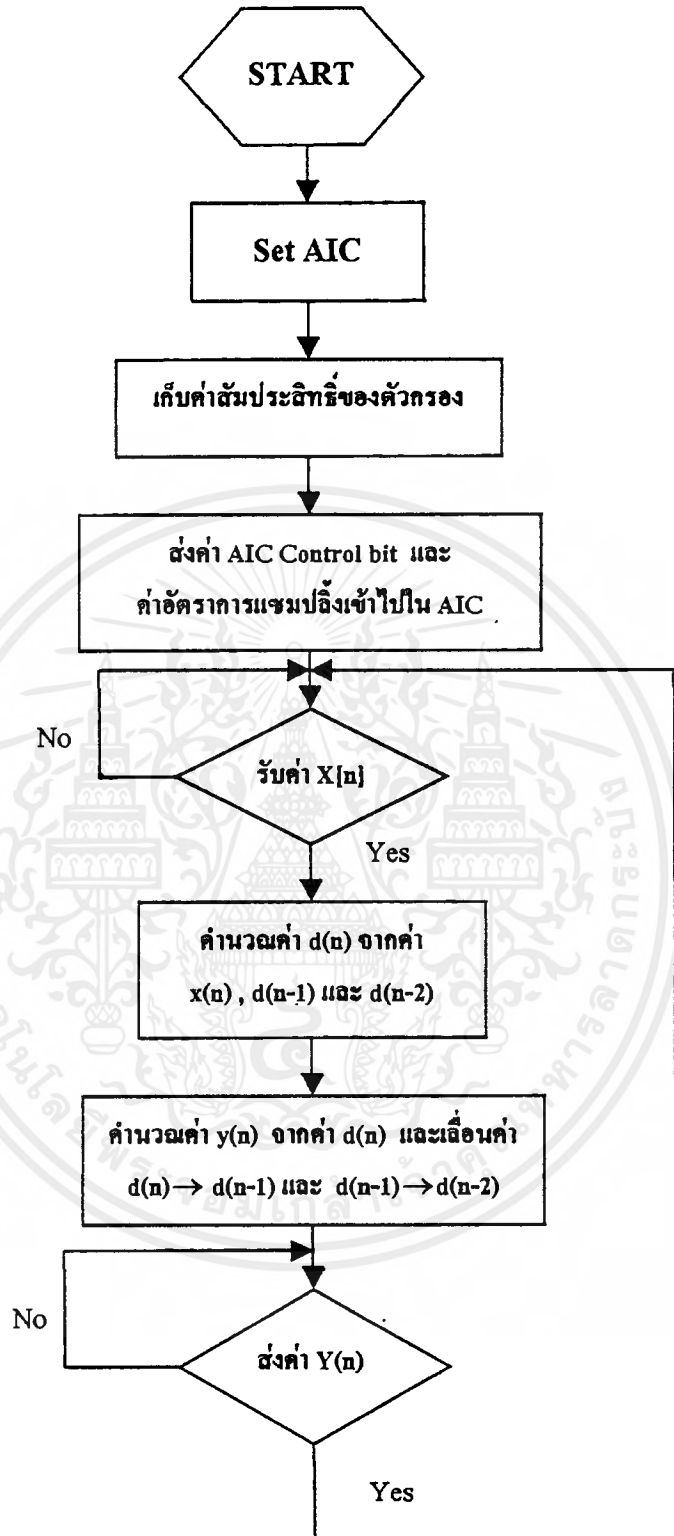
$$a_2/2 = -0.317932 = -\beta_a$$

5.3 วิธีการทดลอง



รูปที่ 5.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงวิธีการทดลอง

วิธีการทดลองก็เริ่มจากการป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ขนาด 1 V_{pp} ที่ความถี่ที่ต้องการวัดเข้าที่ตัวบอร์ดแล้วทำการรันโปรแกรมที่ต้องการที่ป้อนค่าสัมประสิทธิ์เข้าไปแล้ว จากนั้นจึงวัดผลที่ได้หลังจากสัญญาณผ่านการทำงานของบอร์ดด้วยออสซิลโลสโคปอีกครั้ง ก่อนนำค่ามาแสดงผลด้วยโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 5.5 Flow chat แสดงการทำงานของ IIR Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

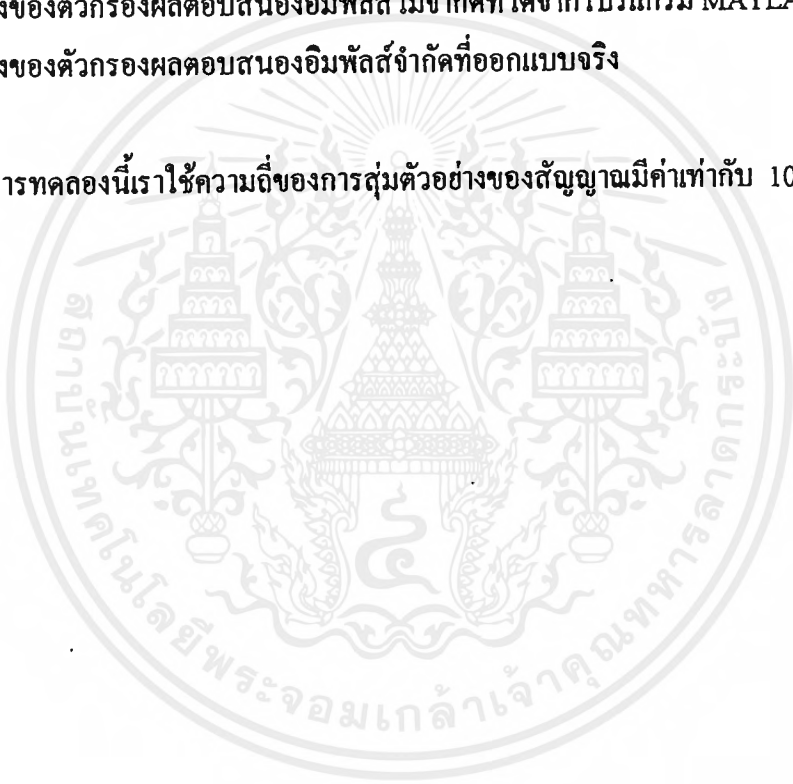
บทที่ 6

ผลการทดลอง

ในส่วนของบทที่ 6 นี้จะกล่าวถึงผลการทดลองซึ่งแสดงออกมาในรูปภาพ ซึ่งจะขอแบ่งผลการทดลองออกเป็นสี่หัวข้อใหญ่ๆ ดังนี้

- 6.1 ผลการทดลองของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดที่ได้จากโปรแกรม MATLAB
- 6.2 ผลการทดลองของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดที่ออกแบบจริง
- 6.3 ผลการทดลองของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดที่ได้จากโปรแกรม MATLAB
- 6.4 ผลการทดลองของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดที่ออกแบบจริง

โดยในการทดลองนี้เราใช้ความถี่ของการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณมีค่าเท่ากับ 10 kHz

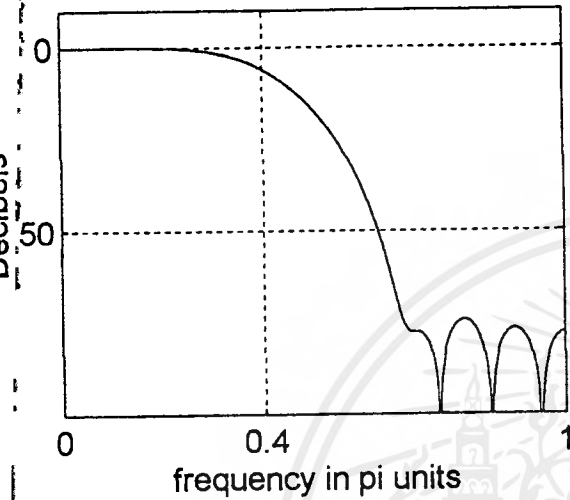


6.1 ผลการทดลองของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดที่ได้จากโปรแกรม MATLAB

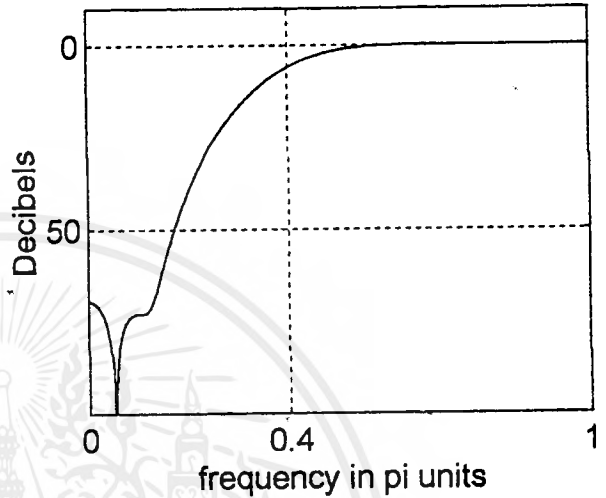
ในการทดลองนี้ ตัวกรองความถี่ต่ำและสูงผ่านจะมีความถี่คัทออฟ 2 kHz ($\omega = 0.4\pi$)

ตัวกรองช่วงความถี่ผ่านและช่วงลทอนความถี่จะมีความถี่คัทออฟที่ 2, 3 kHz ($\omega = 0.4\pi, 0.6\pi$)

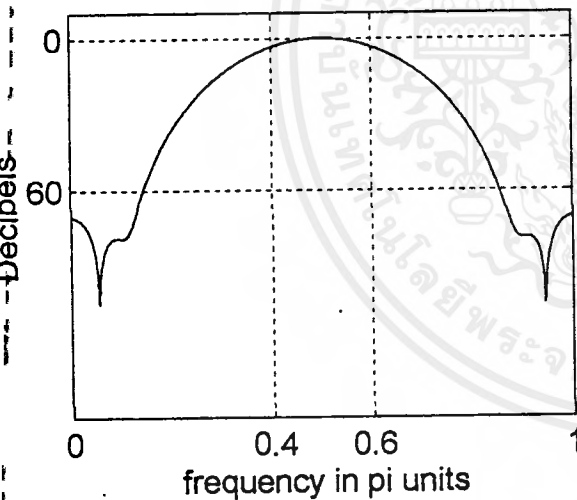
Magnitude response of 21 tap lowpass and



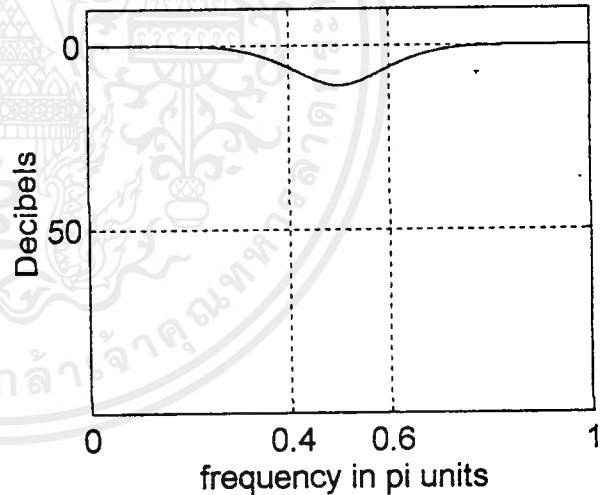
highpass FIR blackman window($f_c = 2$ KHz)



Magnitude Response of 21 tap bandpass and

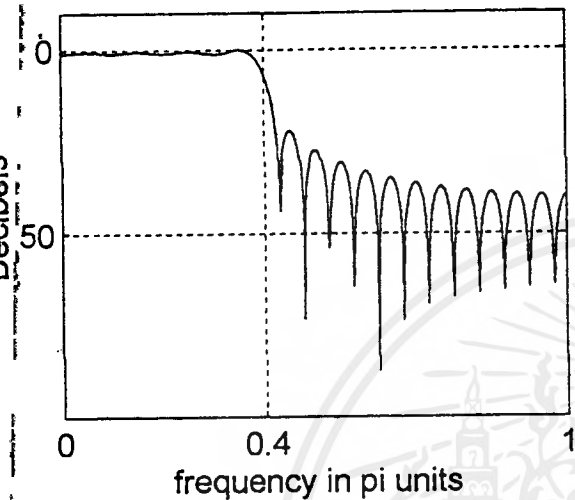


bandstop FIR blackman window($f_c = 2 - 3$ KHz)

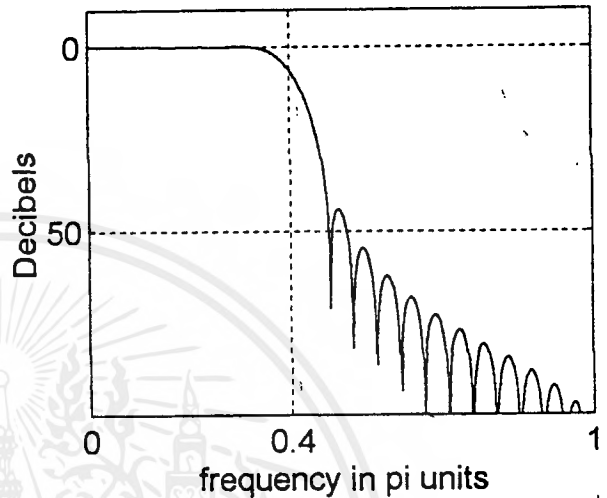


รูปที่ 6.1 ผลตอบสนองของแอมพลิจูดของตัวกรอง 21 อันดับทั้งสี่ชนิด (วินโดว์แบบแบล็กแมน)

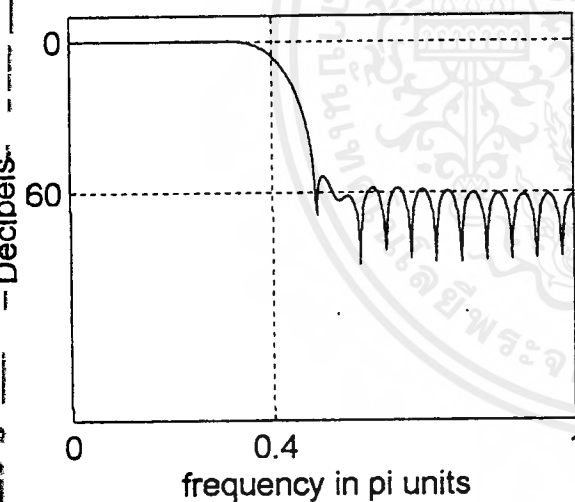
Magnitude Response of 41 tap rectangular and



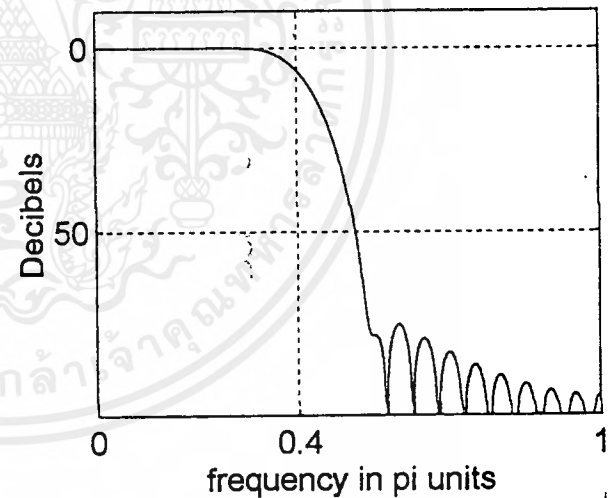
han window (lowpass FIR fc = 2 KHz)



Magnitude Response of 41 tap hamming and

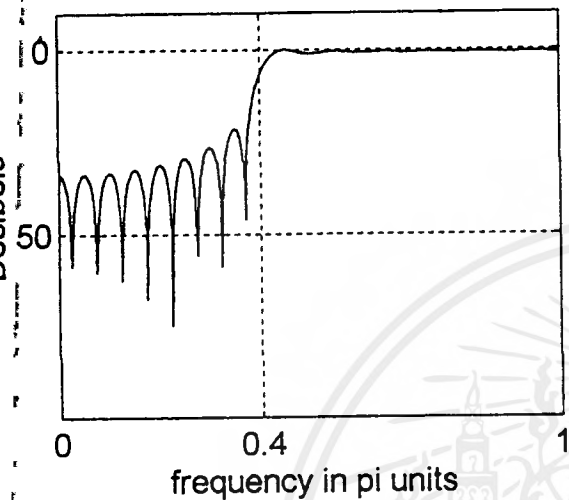


blackman window (lowpass FIR fc = 2 KHz)

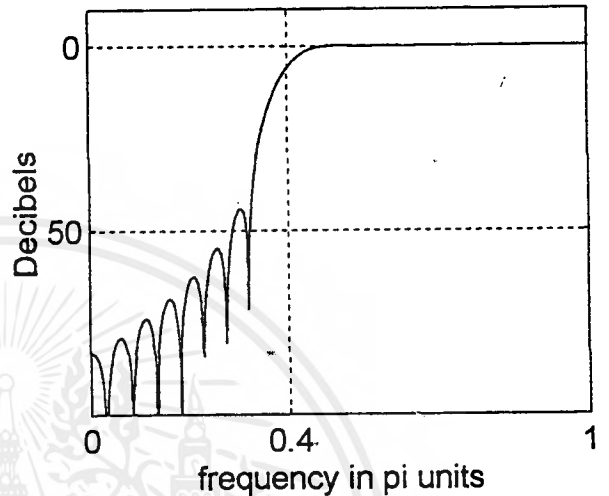


รูปที่ 6.2 ผลตอบสนองแอมพลิจูดของตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน 41 อันดับของวินโดวทั้งสี่ชนิด

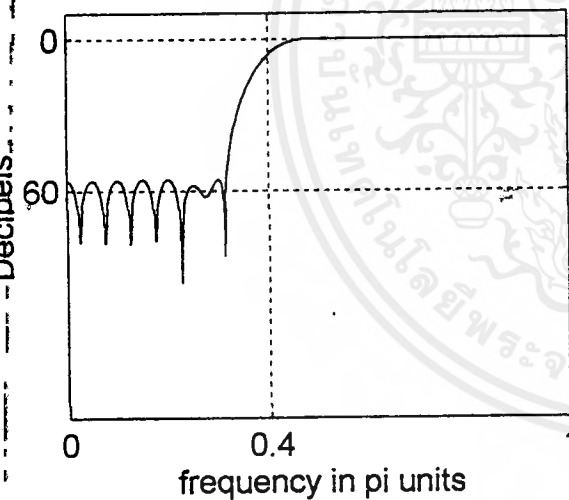
Magnitude Response of 41 tap rectangular and



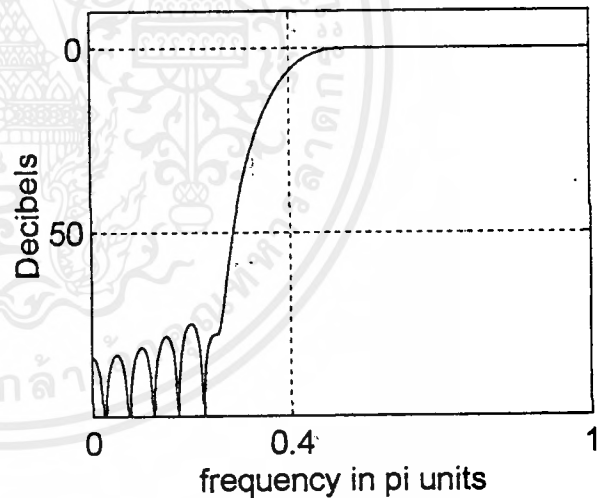
han window (highpass FIR $f_c = 2$ KHz)



Magnitude Response of 41 tap hamming and

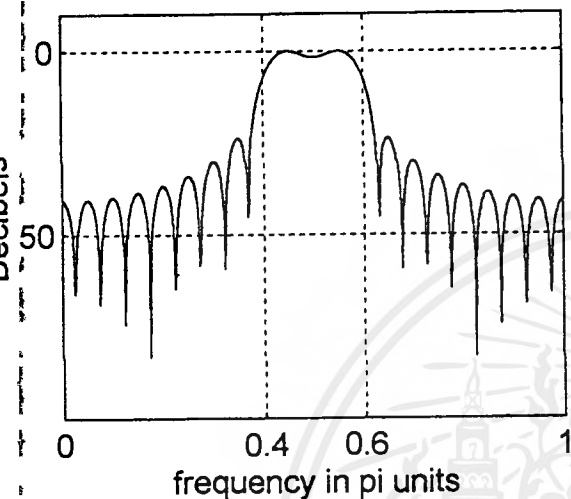
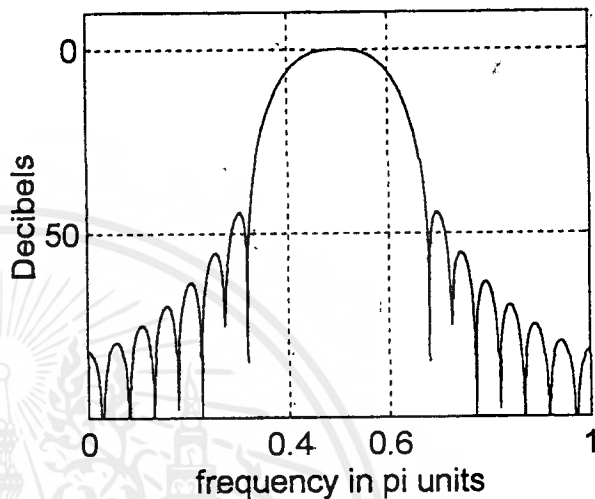


blackman window (highpass FIR $f_c = 2$ KHz)

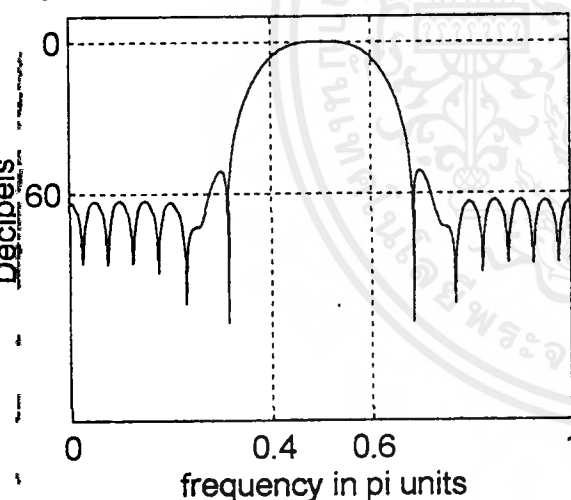
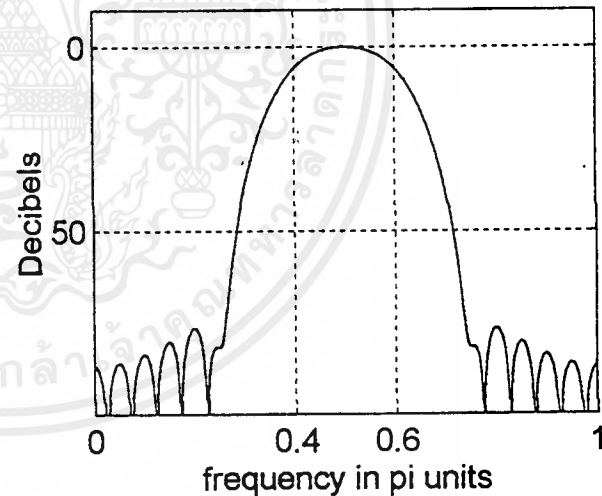


รูปที่ 6.3 ผลตอบสนองแอมพลิจูดของตัวกรองความถี่สูงผ่าน 41 อันดับของวินโดวโค้งทั้งสี่ชนิด

Magnitude Response of 41 tap rectangular and

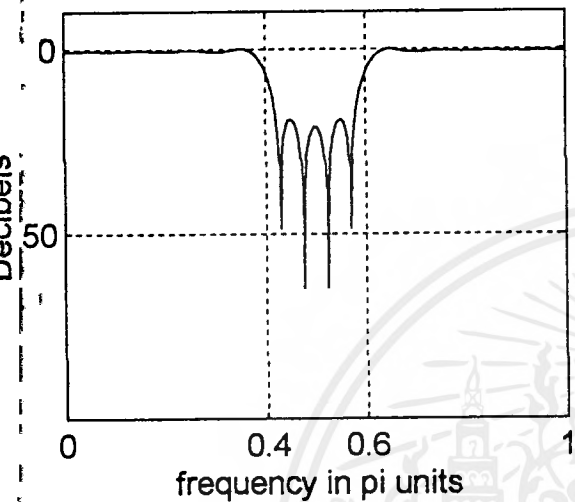
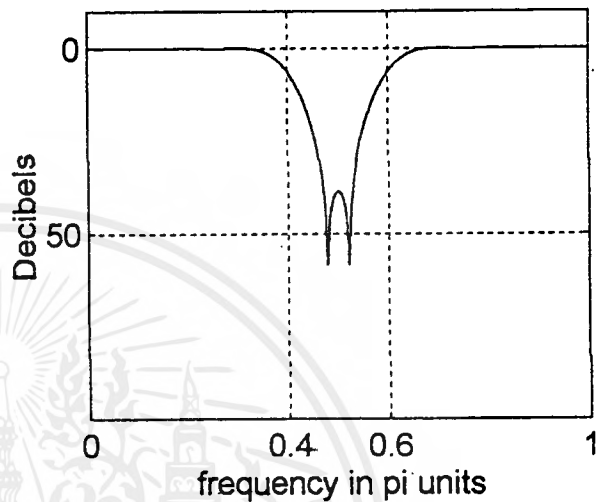
han window (bandpass FIR $f_c = 2 - 3$ KHz)

Magnitude Response of 41 tap hamming and

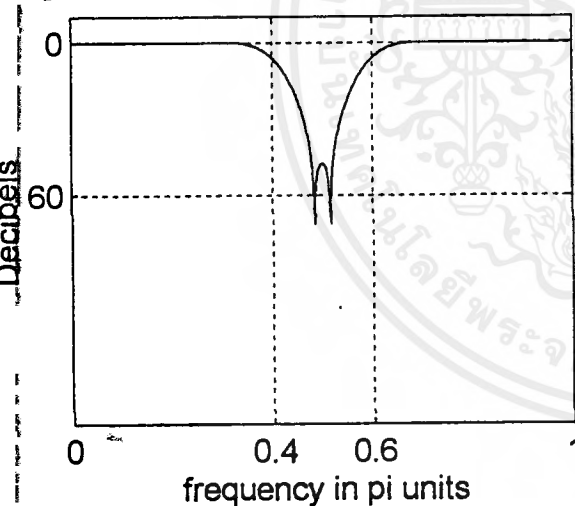
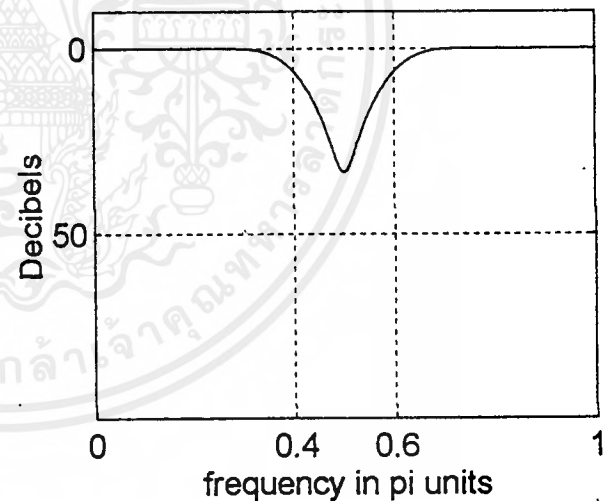
blackman window (bandpass FIR $f_c = 2 - 3$ KHz)

รูปที่ 6.4 ผลตอบสนองแอมพลิจูดของตัวกรองช่วงความถี่ผ่าน 41 อันดับของวินโดวทั้งสี่ชนิด

Magnitude Response of 41 tap rectangular and

han window (bandstop FIR $f_c = 2 - 3$ KHz)

Magnitude Response of 41 tap hamming and

blackman window (bandstop FIR $f_c = 2 - 3$ KHz)

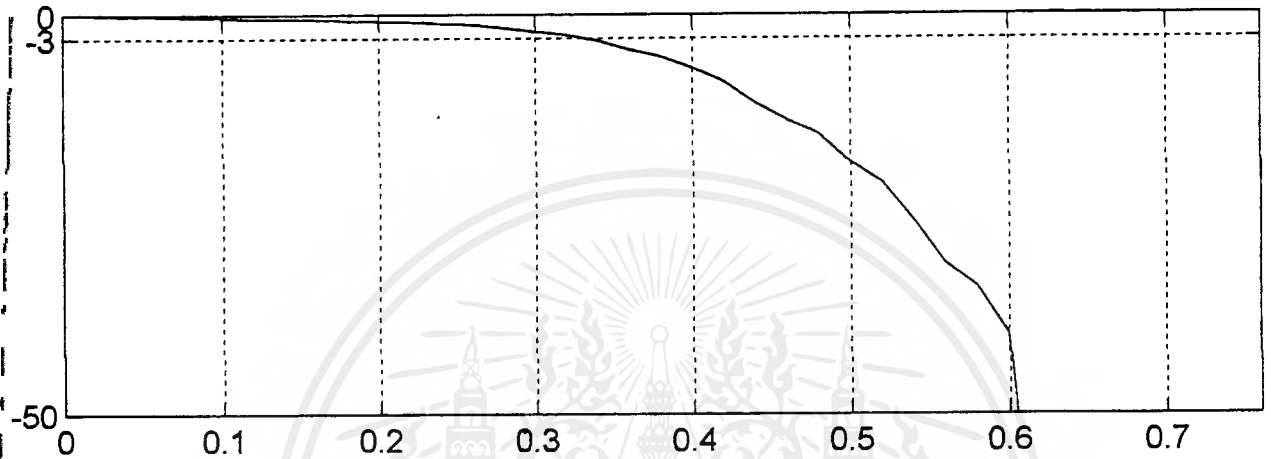
รูปที่ 6.5 ผลตอบสนองแอมพลิจูดของตัวกรองช่วงถลอกความถี่ 41 อันดับของวินโดวทั้งสี่ชนิด

6.2 ผลการทดลองของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดที่ออกแบบจริง

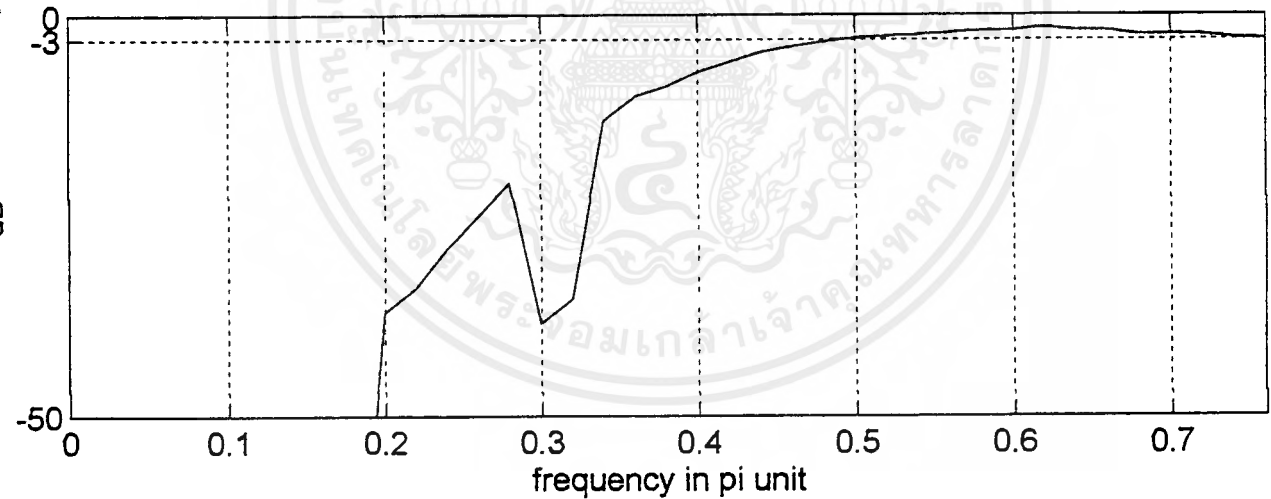
โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้จากโปรแกรม MATLAB มาทำการประยุกต์ใช้จริงบน

TMS320C50

Magnitude response of 21 tap FIR lowpass blackman window

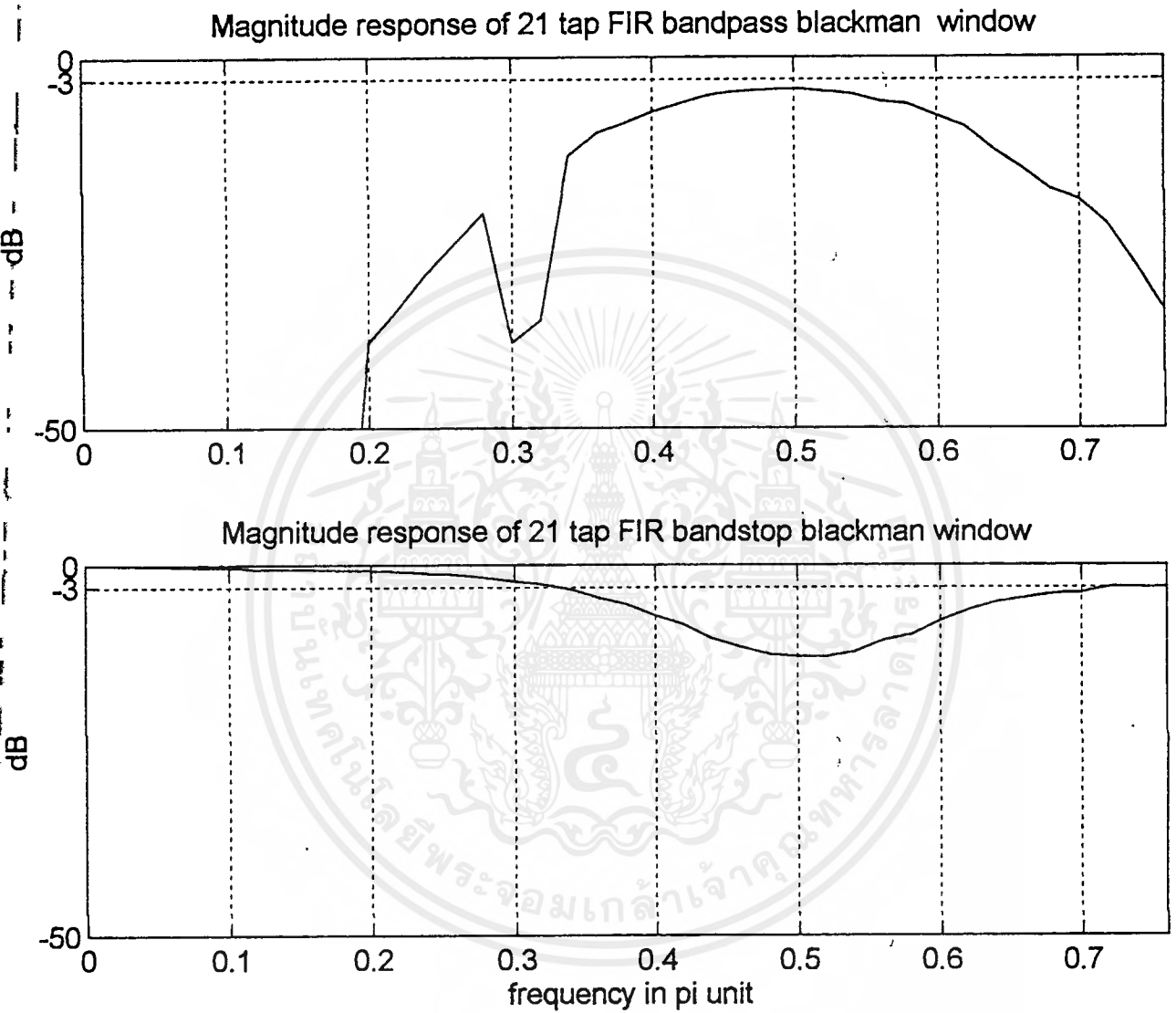


Magnitude response of 21 tap FIR highpass blackman window



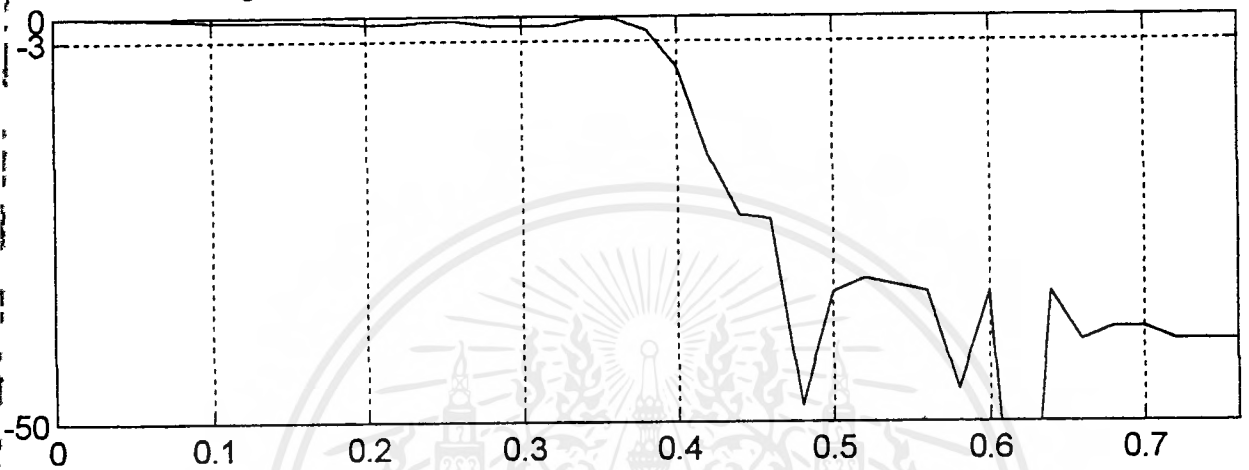
รูปที่ 6.6 ผลตอบสนองแอมพลิจูดของตัวกรองความถี่ต่ำและความถี่สูงผ่าน 21 อันดับ
(วินโดว์แบบแบล็กแมน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

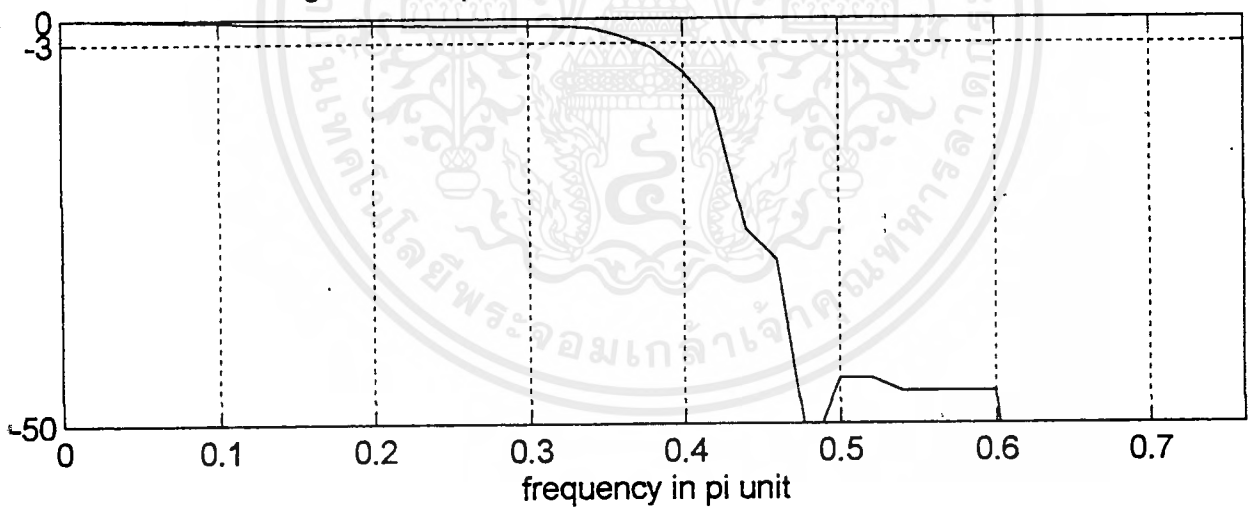


รูปที่ 6.7 ผลตอบสนองแอมพลิจูดของตัวกรองช่วงความถี่ผ่านและช่วงกีดทอนความถี่ 21 อันดับ
(วินโดว์แบบแบล็กแมน)

Magnitude response of 41 tap FIR lowpass rectangular window

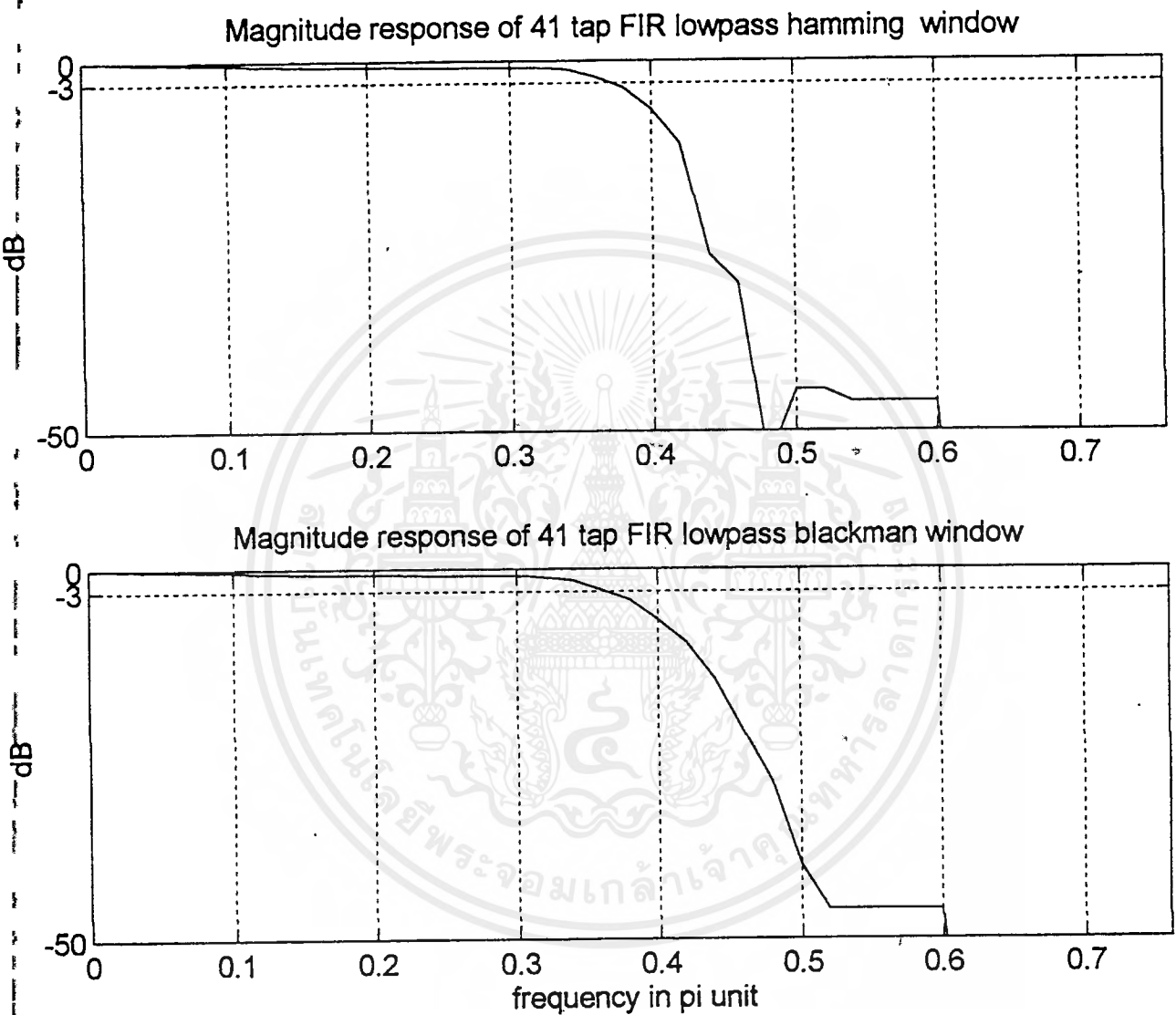


Magnitude response of 41 tap FIR lowpass han window



รูปที่ 6.8 ผลตอบสนองแอมพลิจูดของตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน 41 อันดับ
(วินโดว์แบบสี่เหลี่ยมกับแบบฮานนิง)

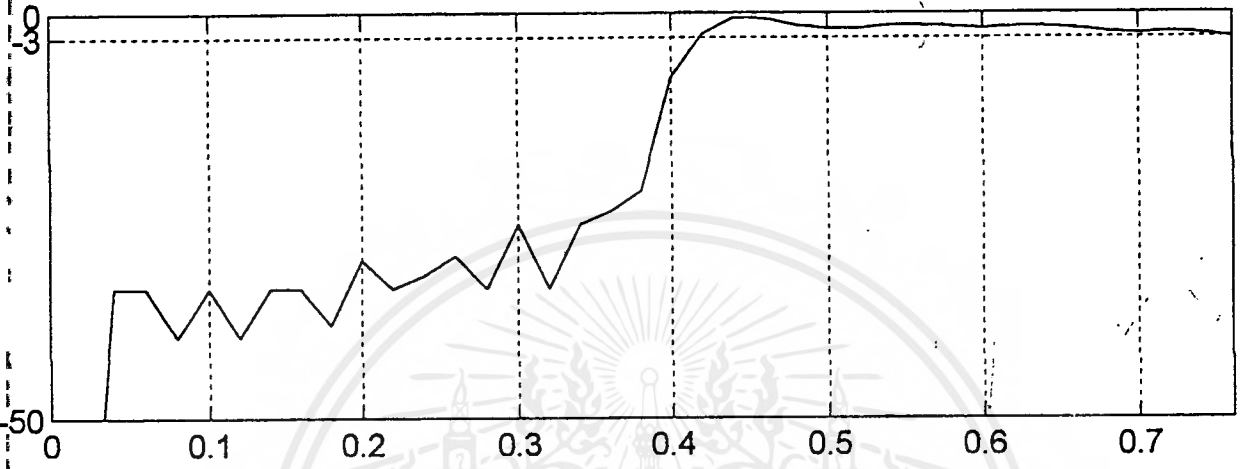
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



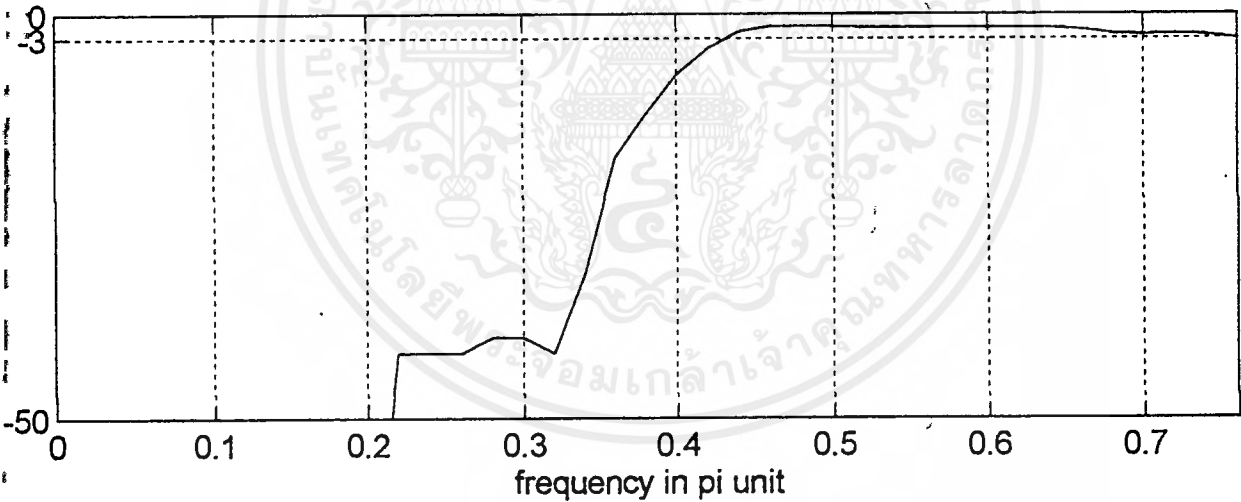
รูปที่ 6.2 ผลตอบสนองแอมพลิจูดของตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน 41 อันดับ
(วินโดว์แบบแฮมมิงกับแบบแบล็กแมน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Magnitude response of 41 tap FIR highpass rectangular window

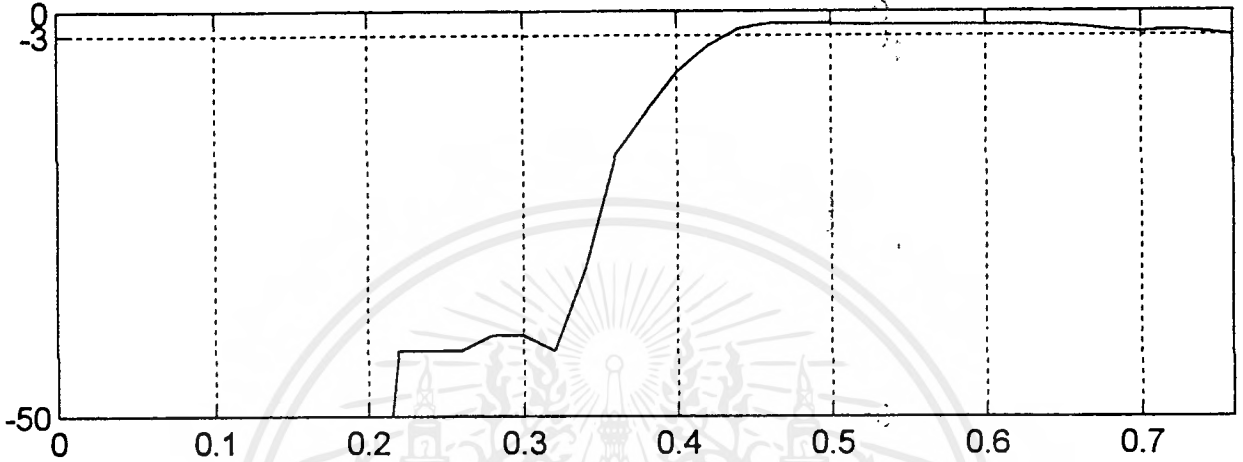


Magnitude response of 41 tap FIR highpass han window

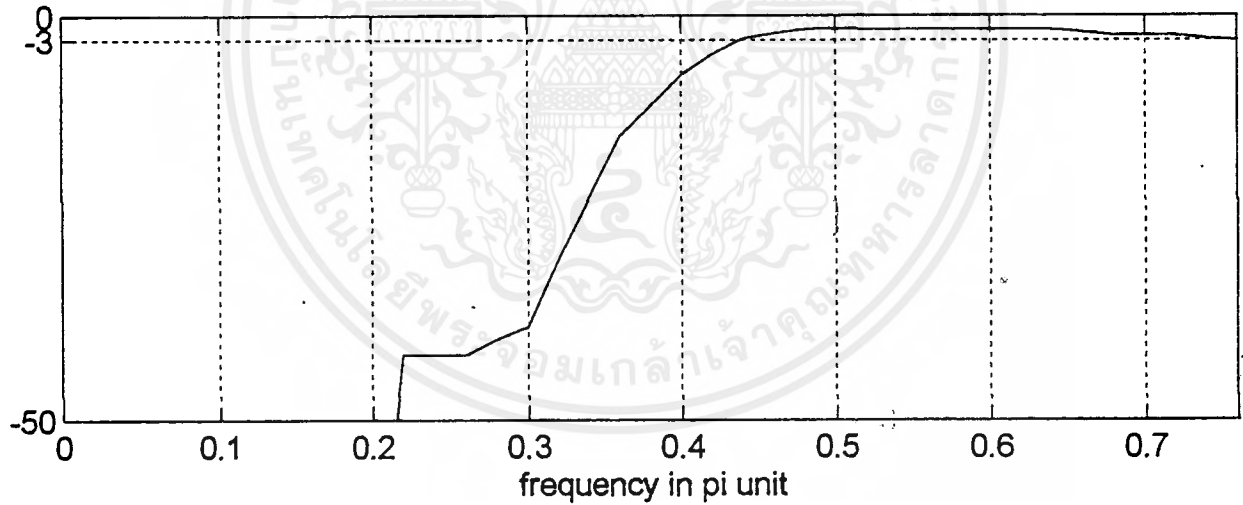


รูปที่ 6.10 ผลตอบสนองแอมพลิจูดของตัวกรองความถี่สูงผ่าน 41 อันดับ
(วินโดว์แบบสี่เหลี่ยมกับแบบฮานนิง)

Magnitude response of 41 tap FIR highpass hamming window

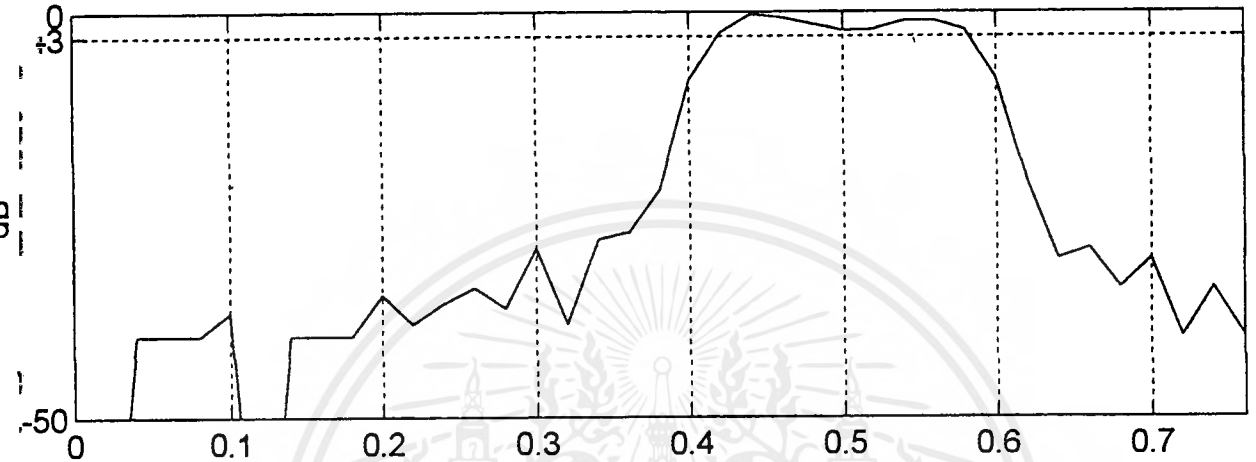


Magnitude response of 41 tap FIR highpass blackman window

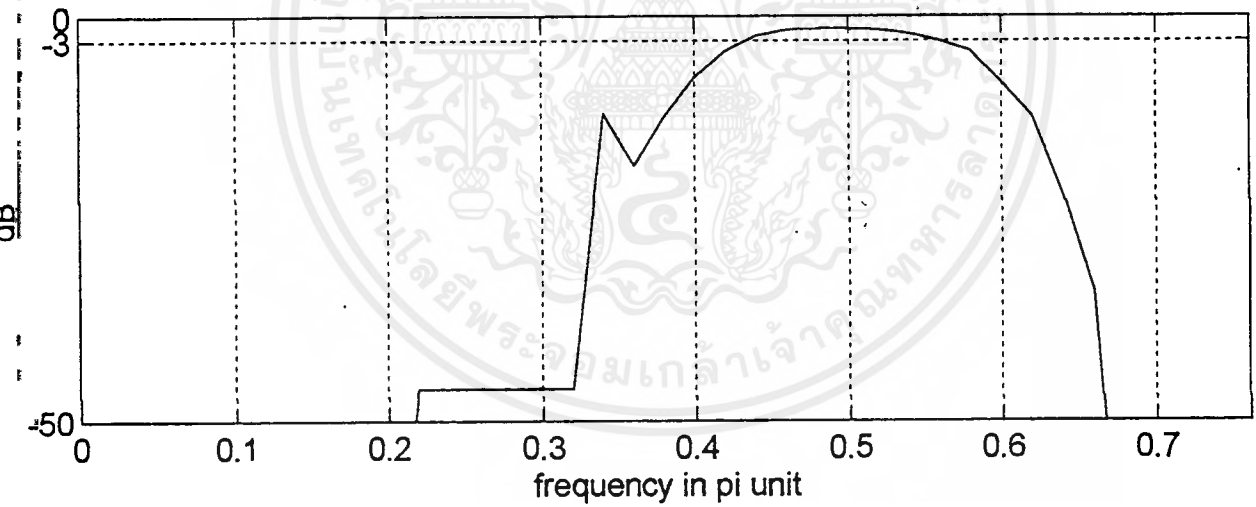


รูปที่ 6.11 ผลตอบสนองแอมพลิจูดของตัวกรองความถี่สูงผ่าน 41 อันดับ
(วินโดว์แบบแฮมมิงกับแบบแบล็กแมน)

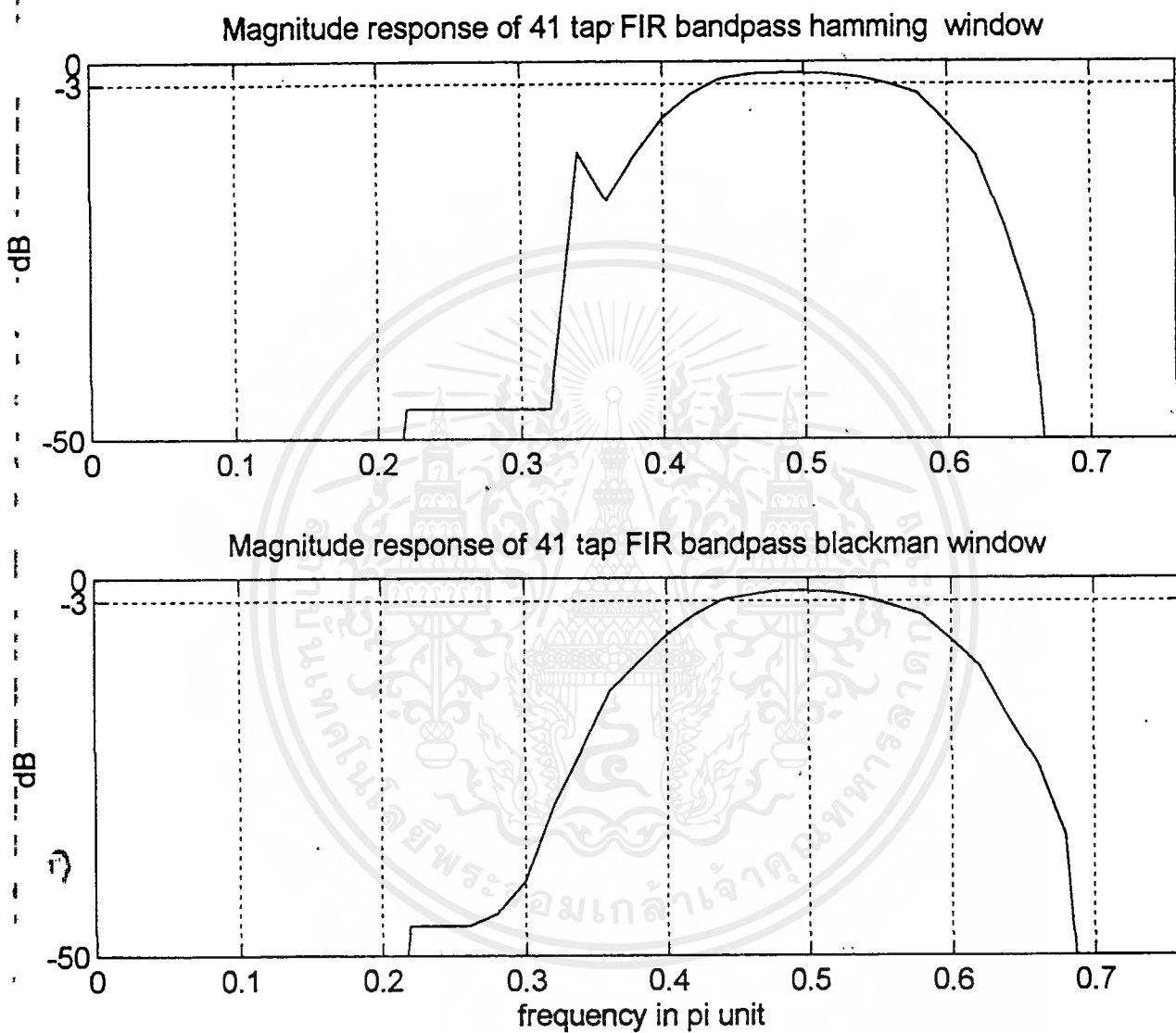
Magnitude response of 41 tap FIR bandpass rectangular window



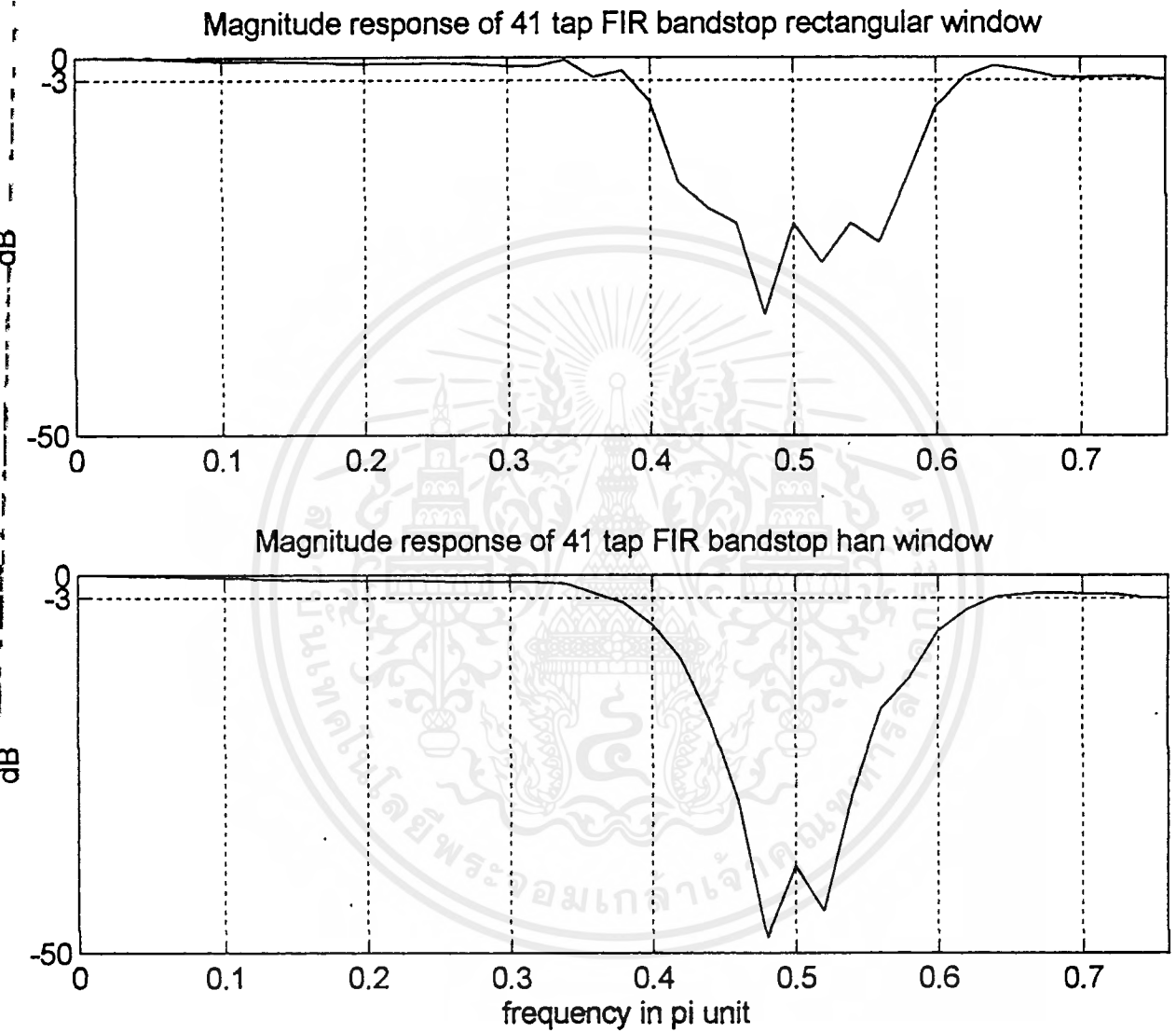
Magnitude response of 41 tap FIR bandpass han window



รูปที่ 6.12 ผลตอบสนองแอมพลิจูดของตัวกรองช่วงความถี่ผ่าน 41 อันดับ
(วินโดว์แบบสี่เหลี่ยมกับแบบฮานนิง)

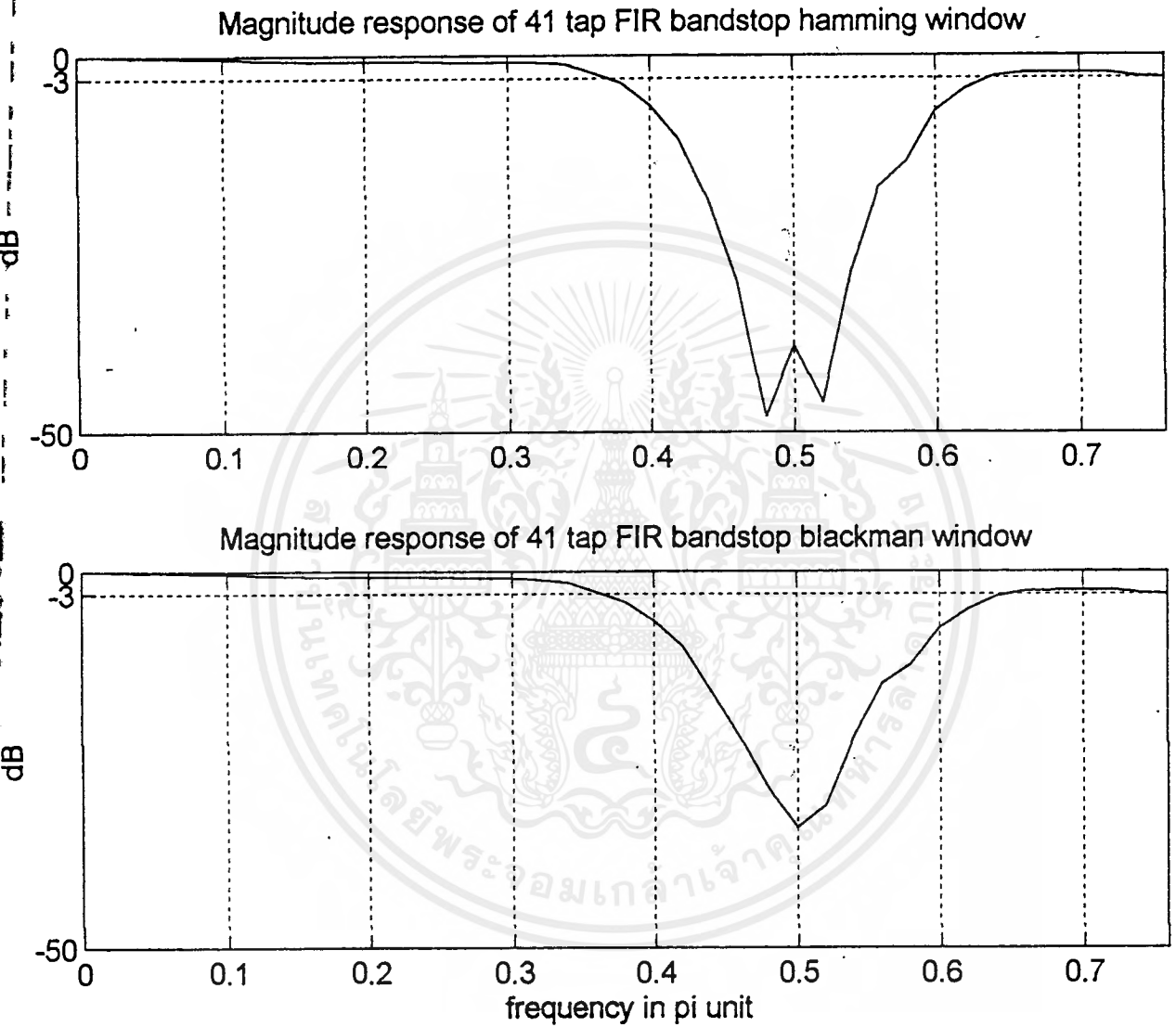


รูปที่ 6.13 ผลตอบสนองของแอมพลิจูดของตัวกรองช่วงความถี่ผ่าน 41 อันดับ
(วินโดว์แบบแฮมมิงกับแบบแบล็กแมน)



รูปที่ 6.14 ผลตอบสนองแอมพลิจูดของตัวกรองช่วงลดทอนความถี่ 41 อันดับ
(วินโดว์แบบสี่เหลี่ยมกับแบบฮานนิง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

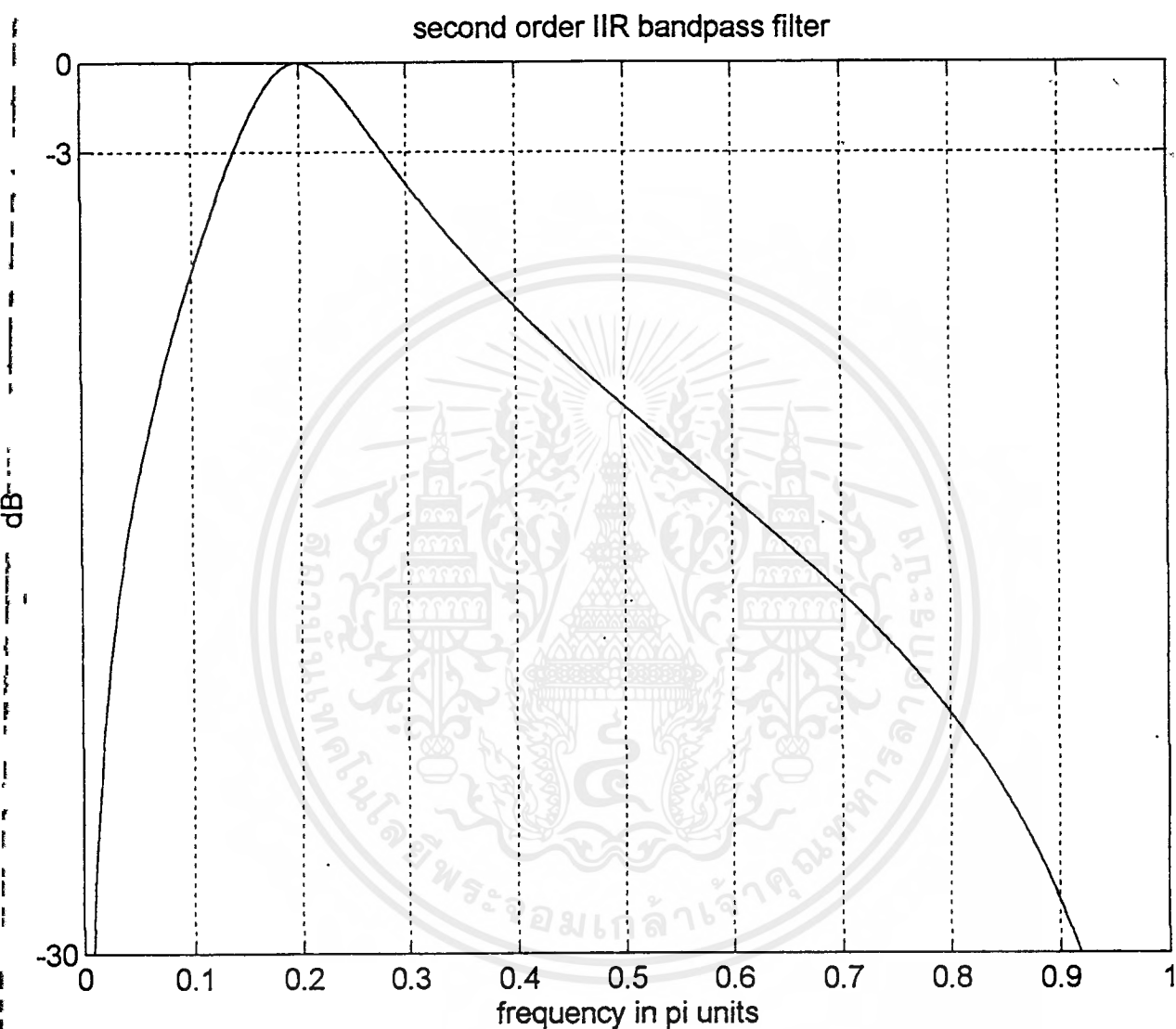


รูปที่ 6.15 ผลตอบสนองแอมพลิจูดของตัวกรองช่วงลดทอนความถี่ 41 อันดับ
(วินโดว์แบบแฮมมิงกับแบบแบล็กแมน)

6.3 ผลการทดลองของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดที่ได้จากโปรแกรม

MATLAB

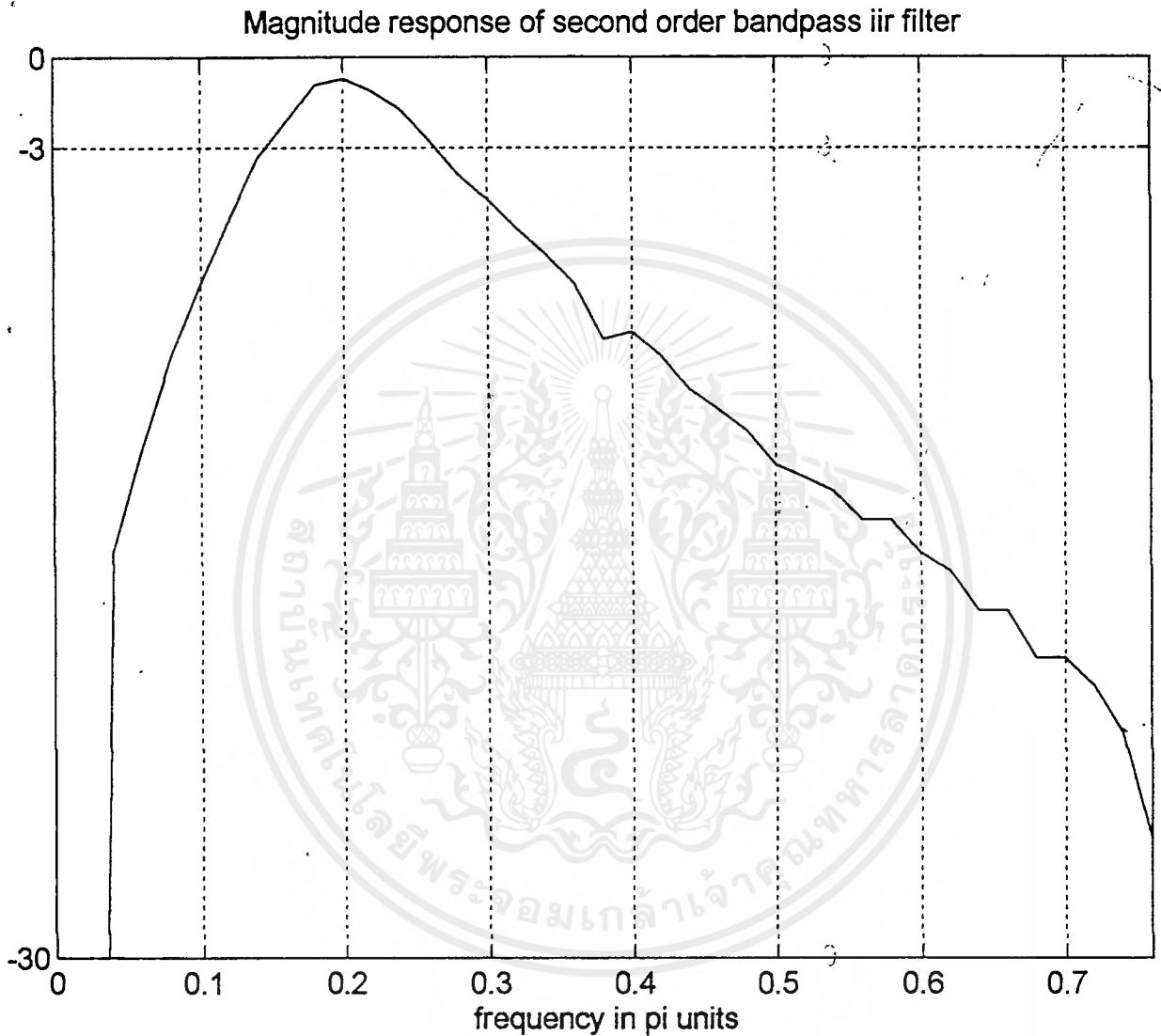
ในการทดลองนี้ออกแบบให้ความถี่ศูนย์กลางเท่ากับ 1 kHz ($\omega = 0.2\pi$)



รูปที่ 6.16 ผลตอบสนองของตัวกรองช่วงความถี่ผ่านอันดับสองจากโปรแกรม MATLAB

6.4 ผลการทดลองของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดที่ออกแบบจริง

โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้จากโปรแกรม MATLAB ในหัวข้อ 6.3 มาทำการ
ประยุกต์ใช้จริงบน TMS320C50



รูปที่ 6.17 ผลตอบสนองของตัวกรองช่วงความถี่ผ่านอันดับสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์

ผลการทดลองของฟิลเตอร์แต่ละชนิดสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ดังนี้

ตารางที่7.1 ตารางเปรียบเทียบจุดคัทออฟที่ได้จากการออกแบบกับที่ได้จากการทดลองของตัวกรอง

ผลตอบสนองอิมพัลส์แบบจำกัด

ชนิดของฟิลเตอร์ , อันดับ และ หน้าต่างที่ทดลอง	จุดคัทออฟที่ออกแบบ (kHz)	จุดคัทออฟที่ได้จากการทดลอง (kHz)
Lowpass 21 tap Blackman	2	1.7
Hipass 21 tap Blackman	2	2.4
Bandpass 21 tap Blackman	2 - 3	ไม่สามารถหาคัทออฟได้
Bandstop 21 tap Blackman	2 - 3	
Lowpass 41 tap Rectangular	2	1.9
Lowpass 41 tap Hanning	2	1.85
Lowpass 41 tap Hamming	2	1.85
Lowpass 41 tap Blackman	2	1.8
Hipass 41 tap Rectangular	2	2.1
Hipass 41 tap Hanning	2	2.15
Hipass 41 tap Hamming	2	2.15
Hipass 41 tap Blackman	2	2.15
Bandpass 41 tap Rectangular	2 - 3	2.1 - 2.9
Bandpass 41 tap Hanning	2 - 3	2.15 - 2.8
Bandpass 41 tap Hamming	2 - 3	2.15 -2.8
Bandpass 41 tap Blackman	2 - 3	2.15 -2.75
Bandstop 41 tap Rectangular	2 - 3	1.9 - 3.1
Bandstop 41 tap Hanning	2 - 3	1.85 - 3.15
Bandstop 41 tap Hamming	2 - 3	1.85 - 3.15
Bandstop 41 tap Blackman	2 - 3	1.8 - 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในตารางที่เปรียบเทียบไว้ด้านบน พบว่าจุดคัทออฟของตัวกรองต่างๆมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากที่ได้ออกแบบไว้ อาจเนื่องมาจากค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ยังมีความละเอียดไม่มากนัก นอกจากนี้ยังพบว่าในการทดลองยังมีความแตกต่างกันระหว่างตัวกรองที่มีอันดับไม่เท่ากันคือ 21 อันดับ และ 41 อันดับ ซึ่งจะสรุปได้ว่า ตัวกรองที่มีอันดับน้อยกว่านั้นจะให้ผลการทดลองออกมามีความคลาดเคลื่อนมากกว่า เนื่องจากตัวกรองที่มีค่าอันดับมากกว่าจะมีแถบเปลี่ยนสถานะที่แคบกว่านั่นเอง

ตารางที่ 7.2 แสดงการเปรียบเทียบค่า Ripple ratio ของวินโดว์แบบต่างๆ

วินโดว์	Ripple ratio
สี่เหลี่ยม	มากที่สุด
ฮานนิง	ปานกลาง
แฮมมิง	ปานกลาง
แบล็กแมน	น้อยที่สุด

แต่จากผลการทดลองจริงจะเห็นความแตกต่างของค่า Ripple ratio ของวินโดว์แบบสี่เหลี่ยมเท่านั้นที่เด่นชัดที่สุดคือมี Ripple ratio มากที่สุดเพราะมี โหลบข้าง (Side lobe) มากที่สุด ส่วนในวินโดว์แบบฮานนิง , แฮมมิง และ แบล็กแมนจะมีขนาดของโหลบข้างน้อยกว่าวินโดว์แบบสี่เหลี่ยมมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบกันเองจะเห็นความแตกต่างได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองที่ได้ยังพบว่า ยังไม่สามารถเห็นความแตกต่างระหว่างกันของวินโดว์แบบต่างๆได้อย่างชัดเจนนัก เนื่องจากเมื่อเราพิจารณาจากผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม MATLAB จะเห็นได้ว่า ค่าโหลบข้างของวินโดว์แบบฮานนิง , แฮมมิง และแบล็กแมนจะมีค่าน้อยกว่า -50 dB ถือว่าน้อยมาก ทำให้ยากต่อการวัดค่าให้ได้ถูกต้องแน่นอน

ตารางที่ 7.3 ตารางเปรียบเทียบความถี่กลางที่ได้จากการออกแบบกับที่ได้จากการทดลองของตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์แบบอนันต์

ชนิดของฟิลเตอร์	ค่าความถี่กลางที่ออกแบบ (kHz)	ค่าความถี่กลางที่ได้จากการ ทดลอง (kHz)
Second-order bandpass	1	1

ตารางที่ 7.4 ตารางเปรียบเทียบจุดคutoffที่ได้จากการออกแบบกับที่ได้จากการทดลองของตัวกรอง
ผลตอบสนองอิมพัลส์แบบอนันต์

ชนิดของฟิลเตอร์	จุดคutoffที่ออกแบบ (Hz)	จุดคutoffที่ได้จากการทดลอง (Hz)
Second-order bandpass	705 - 1419	700 - 1400

จากการทดลองพบว่า ผลที่ได้จากการทดลองสร้างตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์แบบอนันต์นั้น จะมีค่าใกล้เคียงค่าที่ได้จากผลการจำลองตัวกรองได้จากการใช้โปรแกรม MATLAB มากทีเดียว แต่มีข้อเสียอยู่คือการประมาณค่าด้วยวิธี Small angle approximation นี้ จะทำได้เฉพาะเมื่อความถี่คutoffมีค่าต่ำเท่านั้น

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ เมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับที่ออกแบบไว้ตอนแรกแล้วพบว่ามีความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองเกิดขึ้น เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้จาก MATLAB มีค่าทศนิยมเพียง 4 ตำแหน่งเท่านั้น ซึ่งอาจทำให้ผลที่ได้มีความผิดพลาดไปบ้าง แต่ก็ถือว่ายังได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

1

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่อง “ การประยุกต์ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการออกแบบตัวกรองเชิงเลข ” สามารถทำงานสำเร็จด้วยดีได้ก็เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาที่ช่วยเหลือในการให้ความรู้และข้อมูลต่าง , อาจารย์ทุกท่านซึ่งกรุณาช่วยให้คำปรึกษา ให้ยืมหนังสือเพื่อศึกษาค้นคว้าข้อมูลและกรุณาตอบคำถามเป็นอย่างดี , พี่ๆร่วมอาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งให้ทั้งกำลังใจและความรู้ใหม่ๆ รวมทั้ง เพื่อนๆทุกคนที่ช่วยเหลือในการให้ข้อมูลและกำลังใจในการทำงาน ทางผู้จัดทำจึงขอถือโอกาสนี้แสดงความขอบคุณมายัง อาจารย์ สมศักดิ์ ชุ่มช่วย , อาจารย์ทุกท่าน , พี่ๆและเพื่อนๆทุกคนด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ศ.ดร. วัลลภ สุระกำพลธร, “การประมวลผลสัญญาณเชิงเลข”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 384 หน้า, 2533
2. ศศ.นท.ดร. สุธรรม ศรีเกษม, น.ป. เมธินทร์ ทรงชัยกุล, ร.อ. สง่า ศรีสุภปริดา, “MATLAB เพื่อแก้ปัญหาวิศวกรรม”, ศรีอนันต์การพิมพ์ จำกัด, 360 หน้า, 2521
3. Roman Kuc, “Introduction to Digital Signal Processing”, McGraw-Hill, 474p., 1982
4. Andreas Antoniou, “Digital Filters”, McGraw-Hill, 689p., 1993
5. Nasir Ahmed, “Discrete-Time Signals and Systems”, Reston Publishing Company, 398p., 1983
6. Vinay K. Ingle and John G. Proakis, “Digital Signal Processing using MATLAB V.4”, PWS Publishing company, 420p., 1997
7. Texus Instruments Incorporated, “TMS320C5x User’s Guide”, 1993
8. Texus Instruments Incorporated, “TMS320C5x DSP Starter Kit User’s Guide”, 1996
9. AI Lovrich and Ray Simar Jr., “Implementation of FIR/IIR Filters with the TMS320C10 / TMS320C20”, Texus Instruments Incorporated, 1989
10. Motorola, “Implementation of IIR/FIR Filters with Motorola's DSP56000 Digital signal Processor”, 1995



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This is a matlab program for plotting magnitude response of iir bandpass filter

```
Nb=[0.091034308 , 0 , -0.091034308];  
Db=[0.5, -0.664139097, 0.317931383];  
[Tzb,wb] = freqz(Nb,Db,1000);  
a=20*log10(abs(Tzb));  
plot(wb/pi,a);axis([0 1 -30 0]);  
grid  
title('second order IIR bandpass filter');  
xlabel('frequency in pi units');  
ylabel('dB');  
set(gca,'YTickMode','manual','YTick',[-30,-3,0]);
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIR FILTER

; This program uses a 21 tap FIR filter to implement a LOWPASS,
; HIGHPASS BANDPASS, BANDSTOP filter BLACKMAN filter windowing
; was used when calculating the filter's coefficients.

LOWPASS FILTER

.MMREGS

.ds 0f00h

TA .word 16 ;

RA .word 16 ; This set up of AIC registers give
; a sampling freq of 10,081 Hz

TB .word 31 ;

RB .word 31 ;

AIC_CTR .word 08h

OUTPUT .word 0

; Lowpass filter Coefficient fcut=2K

h0 .word 0

h1 .word -10

h2 .word -31

h3 .word 89

h4 .word 332

h5 .word 0

h6 .word -1264

h7 .word -1408

h8 .word 2603

h9 .word 9526

h10 .word 13107

h11 .word 9526

h12 .word 2603

h13 .word -1408

h14 .word -1264

h15 .word 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h16 .word 332
h17 .word 89
h18 .word -31
h19 .word -10
h20 .word 0

XN .word 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 ; 20 data locations for 20
XN1 .word 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 ; stage delay line
XNLAST .word 0;

.ps 0080ah
rint: B RECEIVE
xint: B TRANSMIT

.ps 0a00h

.entry ;

SETC INTM

LDP #0

OPL #0834h,PMST

LACC #0

SAMM CWSR

SAMM PDWSR

SETC SXM ;SXM MUST BE SET

SPLK #022h,IMR ;This turns on receive interrupt only

CALL AICINIT ;

SPLK #12h,IMR

CLRC OVM

SPM 0 ;

CLRC INTM ;

WAIT: ; a main program would go here

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B WAIT ;

RECEIVE:

LDP #XN

CLRC INTM ; ENABLE INTERRUPTS FOR DEBUGGING DSK

LAMM DRR ; load accumulator with word received
from AIC

SACL XN ; store the value of received word
to a variable

LAR AR0,#XNLAST ; load AR0 with address of last delay
element

ZAP ; ZERO ACC AND PRODUCT REGISTERS

MAR *,AR0 ; AR0 is the current AR register.

RPT #20 ; Repeat the next instruction 20 times
through

MACD #h0,*- ; the complete coeff table.

APAC ; Accumulate last product

SACH OUTPUT,1 ; ACC -> OUTPUT. Get rid of xtra

LACC OUTPUT ; sign bit

SFL

AND #0ffch ; Two LSB's must be zero for AIC

SAMM DXR ; write output word to transmit register

RETE ;

TRANSMIT:

RETE

; DESCRIPTION: This routine initializes the 'C50 serial port *

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and the TLC320C40's (AIC) TA,RA,TB,RB and
control registers

AICINIT: SPLK #20h,TCR ; To generate 10 MHz from Tout

SPLK #01h,PRD ; for AIC master clock

MAR *,AR0

LACC #0008h ; Non continuous mode

SACL SPC ; FSX as input

LACC #00c8h ; 16 bit words

SACL SPC

LACC #080h ; Pulse AIC reset by setting it low

SACH DXR

SACL GREG

LAR AR0,#0FFFFh

RPT #10000 ; and taking it high after 10000

LACC *,0,AR0 ; cycles(.5ms at 50ns)

SACH GREG

;

LDP #TA ;

SETC SXM ;

LACC TA,9 ; Initialize TA and RA register

ADD RA,2 ;

CALL AIC_2ND ;

;

LDP #TB

LACC TB,9 ; Initialize TB and RB register

ADD RB,2 ;

ADD #02h ;

CALL AIC_2ND ;

;

LDP #AIC_CTR

LACC AIC_CTR,2 ; Initialize control register

ADD #03h ;

CALL AIC_2ND ;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RET ;

AIC_2ND:

LDP #0 ; Data page point is 0 (MM regs)

SACH DXR ; send ACChi 00

CLRC INTM ; enable interrupts

IDLE ; wait for interrupt

ADD #6h,15 ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX

XXXX XXXX b

SACH DXR ; send ACChi to initiate

secondary protocol

IDLE ; wait for interrupt

SACL DXR ; send the T register data

IDLE ; wait for interrupt

LACL #0 ; clear ACClo

SACL DXR ; send another to make sure 1st

word got sent

IDLE ; wait for interrupt

SETC INTM

RET ;

.END



HIGHPASS FILTER

.ds 0f06

;Highpass filter Coefficient fcut=2K

h0	.word	0
h1	.word	10
h2	.word	31
h3	.word	-89
h4	.word	-332
h5	.word	0
h6	.word	1264
h7	.word	1408
h8	.word	-2603
h9	.word	-9526
h10	.word	19661
h11	.word	-9526
h12	.word	-2603
h13	.word	1408
h14	.word	1264
h15	.word	0
h16	.word	-332
h17	.word	-89
h18	.word	31
h19	.word	10
h20	.word	0

; BANDPASS FILTER

.ds 0f06

;Bandpass filter Coefficient ficut=2K fncut=3K

h0 .word 0

h1 .word 0

h2 .word 62

h3 .word 0

h4 .word -664

h5 .word 0

h6 .word 2529

h7 .word 0

h8 .word -5207

h9 .word 0

h10 .word 6554

h11 .word 0

h12 .word -5207

h13 .word 0

h14 .word 2529

h15 .word 0

h16 .word -664

h17 .word 0

h18 .word 62

h19 .word 0

h20 .word 0

BANDSTOP FILTER

.ds 0f06h

;Bandstop filter Coefficient flcut=2K fhcut=3K

h0	.word	0
h1	.word	0
h2	.word	-62
h3	.word	0
h4	.word	664
h5	.word	0
h6	.word	-2529
h7	.word	0
h8	.word	5206
h9	.word	0
h10	.word	26214
h11	.word	0
h12	.word	5206
h13	.word	0
h14	.word	-2529
h15	.word	0
h16	.word	664
h17	.word	0
h18	.word	-62
h19	.word	0
h20	.word	0



FIR FILTER

;This program uses a 41 tap FIR filter to implement LOWPASS,HIGHPASS,
;BANDPASS,BANDSTOP filter.RECTANGULAR,HAN,HAMMING,BLACKMAN filter
;windowing was used when calculating the filter coefficients.

LOWPASS (RECTANGULAR WINDOW)

.MMREGS

.ds 0f00h

TA .word 16 ;
RA .word 16 ; This set up of AIC registers give
; a sampling freq of 10,081 Hz
;
TB .word 31 ;
RB .word 31 ;
AIC_CTR .word 08h
OUTPUT .word 0
TEMP .word 0 ; location of TEMPorary storage
TEMP1 .word 0 ;
seed .word 07e6dh ; seed for random noise generator

;Lowpass filter Coefficient fcut=2K

H0 .word 0
H1 .word -321
H2 .word -551
H3 .word -583
H4 .word -383
H5 .word 0
H6 .word 439
H7 .word 763
H8 .word 826
H9 .word 557
H10 .word 0
H11 .word -682
H12 .word -1239

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H13 .word -1416
H14 .word -1022
H15 .word 0
H16 .word 1534
H17 .word 3306
H18 .word 4961
H19 .word 6131
H20 .word 6554
H21 .word 6131
H22 .word 4961
H23 .word 3360
H24 .word 1534
H25 .word 0
H26 .word -1022
H27 .word -1416
H28 .word -1239
H29 .word -682
H30 .word 0
H31 .word 557
H32 .word 826
H33 .word 763
H34 .word 439
H35 .word 0
H36 .word -383
H37 .word -583
H38 .word -551
H39 .word -321
H40 .word 0

XN .word 0,0,0,0,0,0,0,0,0 ; 40 data locations for 40

XN1 .word 0,0,0,0,0,0,0,0,0 ; stage delay line

XN2 .word 0,0,0,0,0,0,0,0,0 ;

XN3 .word 0,0,0,0,0,0,0,0,0 ;

XNLAST .word 0;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
.ps 0080ah
rint: B RECEIVE
xint: B TRANSMIT
```

```
.ps 0a00h
.entry ;
;_____
```

```
SETC INTM
LDP #0
OPL #0834h,PMST
LACC #0
SAMM CWSR
SAMM PDWSR
SETC SXM ; SXM MUST BE SET
SPLK #022h,IMR ; This turns on receive interrupt only

CALL AICINIT ;
SPLK #12h,IMR
CLRC OVM
SPM 0 ;
CLRC INTM ;
```

```
WAIT: ; a main program would go here
B WAIT ;
```

RECEIVE:

```
LDP #XN
CLRC INTM ; ENABLE INTERRUPTS FOR DEBUGGING
DSK PURPOSES
LAMB DRR ; load accumulator with word
received from AIC
SACL XN ; store the value of received word
to a variable
```

LAR AR0,#XNLAST ; load AR0 with address of last

delay element

ZAP ; ZERO ACC AND PRODUCT REGISTERS

MAR *,AR0 ; AR0 is the current AR register.

RPT #40 ;Repeat the next instruction 40times

; through the complete coeff table

MACD #h0,*- ;.

APAC ; Accumulate last product

SACH OUTPUT,1 ; ACC -> OUTPUT. Get rid of

xtra sign bit.

LACC OUTPUT

SFL

AND #0fffh ; Two LSB's must be zero for AIC

SAMM DXR ; write output word to transmit

RETE ; register

TRANSMIT:

RETE

; DESCRIPTION: This routine initializes the 'C50 serial port *

; and the TLC320C40's (AIC) TA,RA,TB,RB and *

; control registers *

AICINIT: SPLK #20h,TCR ; To generate 10 MHz from Tout

SPLK #01h,PRD ; for AIC master clock

MAR *,AR0

LACC #0008h ; Non continuous mode

SACL SPC ; FSX as input

LACC #00c8h ; 16 bit words

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SACL SPC
LACC #080h ; Pulse AIC reset by setting it low
SACH DXR
SACL GREG
LAR AR0,#0FFFFh
RPT #10000 ; and taking it high after 10000
LACC *,0,AR0 ; cycles
SACH GREG
;_____
LDP #TA ;
SETC SXM ;
LACC TA,9 ; Initialize TA and RA register
ADD RA,2 ;
CALL AIC_2ND ;
;_____
LDP #TB
LACC TB,9 ; Initialize TB and RB register
ADD RB,2 ;
ADD #02h ;
CALL AIC_2ND ;
;_____
LDP #AIC_CTR
LACC AIC_CTR,2 ; Initialize control register
ADD #03h ;
CALL AIC_2ND ;
RET ;

```

AIC_2ND:

```

LDP #0 ; Data page point is 0 (MM regs)
SACH DXR ; send ACChi 00
CLRC INTM ; enable interrupts
IDLE ; wait for interrupt
ADD #6h,15 ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX
XXXX XXXX b
SACH DXR ; send ACChi to initiate secondary

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

protocol

```
IDLE          ; wait for interrupt
SACL DXR      ; send the T register data
IDLE          ; wait for interrupt
LACL #0       ; clear ACClo
SACL DXR      ; send another to make sure 1st
              ; word got sent
IDLE          ; wait for interrupt
SETC INTM
RET           ;
.END
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOWPASS(HAN WINDOW)

.ds 0f06

;Lowpass filter Coefficient fcut=2K

h0 .word 0
h1 .word -12
h2 .word -17
h3 .word 31
h4 .word 83
h5 .word 0
h6 .word -177
h7 .word -150
h8 .word 199
h9 .word 417
h10 .word 0
h11 .word -674
h12 .word -523
h13 .word 657
h14 .word 1342
h15 .word 0
h16 .word -2265
h17 .word -1942
h18 .word 2997
h19 .word 9864
h20 .word 13107
h21 .word 9864
h22 .word 2997
h23 .word -1942
h24 .word -2265
h25 .word 0
h26 .word 1342
h27 .word 657
h28 .word -523
h29 .word -674



h30	.word	0
h31	.word	417
h32	.word	199
h33	.word	-150
h34	.word	-177
h35	.word	0
h36	.word	83
h37	.word	31
h38	.word	-17
h39	.word	-12
h40	.word	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOWPASS(HAMMING WINDOW)

```
.ds 0f06
;Lowpass filter Coefficient fcut=2K
h0 .word 0
h1 .word -45
h2 .word -35
h3 .word 47
h4 .word 104
h5 .word 0
h6 .word -191
h7 .word -156
h8 .word 203
h9 .word 422
h10 .word 0
h11 .word -675
h12 .word -523
h13 .word 656
h14 .word 1340
h15 .word 0
h16 .word -2262
h17 .word -1941
h18 .word 2996
h19 .word 9864
h20 .word 13107
h21 .word 9864
h22 .word 2996
h23 .word -1941
h24 .word -2262
h25 .word 0
h26 .word 1340
h27 .word 656
h28 .word -523
h29 .word -675
```



h30	.word	0
h31	.word	422
h32	.word	203
h33	.word	-156
h34	.word	-191
h35	.word	0
h36	.word	104
h37	.word	47
h38	.word	-35
h39	.word	-45
h40	.word	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOWPASS(BLACKMAN WINDOW)

.ds 0f06

;Lowpass filter Coefficient fcut=2K

h0	.word	0
h1	.word	-1
h2	.word	-3
h3	.word	8
h4	.word	25
h5	.word	0
h6	.word	-72
h7	.word	-69
h8	.word	103
h9	.word	240
h10	.word	0
h11	.word	-465
h12	.word	-391
h13	.word	525
h14	.word	1139
h15	.word	0
h16	.word	-2106
h17	.word	-1865
h18	.word	2944
h19	.word	9820
h20	.word	13107
h21	.word	9820
h22	.word	2944
h23	.word	-1865
h24	.word	-2106
h25	.word	0
h26	.word	1139
h27	.word	525
h28	.word	-391
h29	.word	-465

h30	.word	0
h31	.word	240
h32	.word	103
h33	.word	-69
h34	.word	-72
h35	.word	0
h36	.word	25
h37	.word	8
h38	.word	-3
h39	.word	-1
h40	.word	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HIGHPASS(RECTANGULAR WINDOW)

.ds 0f06

;Highpass filter Coefficient fcut=2K

h0	.word	0
h1	.word	522
h2	.word	341
h3	.word	-361
h4	.word	-620
h5	.word	0
h6	.word	709
h7	.word	472
h8	.word	-511
h9	.word	-902
h10	.word	0
h11	.word	1102
h12	.word	766
h13	.word	-876
h14	.word	-1653
h15	.word	0
h16	.word	2480
h17	.word	2044
h18	.word	-3065
h19	.word	-9920
h20	.word	19661
h21	.word	-9920
h22	.word	-3065
h23	.word	2044
h24	.word	2480
h25	.word	0
h26	.word	-1653
h27	.word	-876
h28	.word	766
h29	.word	1102



h30	.word	0
h31	.word	-902
h32	.word	-511
h33	.word	472
h34	.word	709
h35	.word	0
h36	.word	-620
h37	.word	-361
h38	.word	341
h39	.word	522
h40	.word	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HIGHPASS(HAN WINDOW)

.ds 0f06

;Highpass filter Coefficient fcut=2K

h0	.word	0
h1	.word	12
h2	.word	17
h3	.word	-31
h4	.word	-83
h5	.word	0
h6	.word	177
h7	.word	150
h8	.word	-199
h9	.word	-417
h10	.word	0
h11	.word	674
h12	.word	523
h13	.word	-657
h14	.word	-1342
h15	.word	0
h16	.word	2265
h17	.word	1942
h18	.word	-2997
h19	.word	-9864
h20	.word	19661
h21	.word	-9864
h22	.word	-2997
h23	.word	1942
h24	.word	2265
h25	.word	0
h26	.word	-1342
h27	.word	-657
h28	.word	523
h29	.word	674



h30	.word	0
h31	.word	-417
h32	.word	-199
h33	.word	150
h34	.word	177
h35	.word	0
h36	.word	-83
h37	.word	-31
h38	.word	17
h39	.word	12
h40	.word	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HIGHPASS(HAMMING WINDOW)

.ds 0f06

;Highpass filter Coefficient fcut=2K

h0	.word	0
h1	.word	45
h2	.word	35
h3	.word	-47
h4	.word	-104
h5	.word	0
h6	.word	191
h7	.word	156
h8	.word	-203
h9	.word	-422
h10	.word	0
h11	.word	675
h12	.word	523
h13	.word	-656
h14	.word	-1340
h15	.word	0
h16	.word	2262
h17	.word	1941
h18	.word	-2996
h19	.word	-9864
h20	.word	19661
h21	.word	-9864
h22	.word	-2996
h23	.word	1941
h24	.word	2262
h25	.word	0
h26	.word	-1340
h27	.word	-656
h28	.word	523
h29	.word	675

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h30	.word	0
h31	.word	-422
h32	.word	-203
h33	.word	156
h34	.word	191
h35	.word	0
h36	.word	-104
h37	.word	-47
h38	.word	35
h39	.word	45
h40	.word	0



HIGHPASS(BLACKMAN WINDOW)

.ds 0f06

;Hipass filter Coefficient fcut=2K

h0	.word	0
h1	.word	1
h2	.word	3
h3	.word	-8
h4	.word	-25
h5	.word	0
h6	.word	72
h7	.word	69
h8	.word	-103
h9	.word	-240
h10	.word	0
h11	.word	465
h12	.word	391
h13	.word	-525
h14	.word	-1139
h15	.word	0
h16	.word	2106
h17	.word	1865
h18	.word	-2944
h19	.word	-9820
h20	.word	19661
h21	.word	-9820
h22	.word	-2944
h23	.word	1865
h24	.word	2106
h25	.word	0
h26	.word	-1139
h27	.word	-525
h28	.word	391
h29	.word	465

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h30	.word	0
h31	.word	-240
h32	.word	-103
h33	.word	69
h34	.word	72
h35	.word	0
h36	.word	-25
h37	.word	-8
h38	.word	3
h39	.word	1
h40	.word	0



BANDPASS(RECTANGULAR WINDOW)

.ds 0f06

;Bandpass filter Coefficient ficut=2K ficut= 3K

h0	.word	0
h1	.word	0
h2	.word	681
h3	.word	0
h4	.word	-1240
h5	.word	0
h6	.word	1417
h7	.word	0
h8	.word	-1022
h9	.word	0
h10	.word	0
h11	.word	0
h12	.word	1533
h13	.word	0
h14	.word	-3307
h15	.word	0
h16	.word	4960
h17	.word	0
h18	.word	-6131
h19	.word	0
h20	.word	6554
h21	.word	0
h22	.word	-6131
h23	.word	0
h24	.word	4960
h25	.word	0
h26	.word	-3307
h27	.word	0
h28	.word	1533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h29	.word	0
h30	.word	0
h31	.word	0
h32	.word	-1022
h33	.word	0
h34	.word	1417
h35	.word	0
h36	.word	-1240
h37	.word	0
h38	.word	681
h39	.word	0
h40	.word	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BANDPASS(HAN WINDOW)

.ds 0f06

;Bandpass filter Coefficient flcut=2K fhcut=3K

h0	.word	0
h1	.word	0
h2	.word	34
h3	.word	0
h4	.word	-166
h5	.word	0
h6	.word	354
h7	.word	0
h8	.word	-397
h9	.word	0
h10	.word	0
h11	.word	0
h12	.word	1046
h13	.word	0
h14	.word	-2684
h15	.word	0
h16	.word	4529
h17	.word	0
h18	.word	-5995
h19	.word	0
h20	.word	6554
h21	.word	0
h22	.word	-5995
h23	.word	0
h24	.word	4529
h25	.word	0
h26	.word	-2684
h27	.word	0
h28	.word	1046
h29	.word	0

h30	.word	0
h31	.word	0
h32	.word	-397
h33	.word	0
h34	.word	354
h35	.word	0
h36	.word	166
h37	.word	0
h38	.word	34
h39	.word	0
h40	.word	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BANDPASS(HAMMING WINDOW)

.ds 0f06h

;Bandpass filter Coefficient fcut=2K fncut=3K

h0	.word	0
h1	.word	0
h2	.word	70
h3	.word	0
h4	.word	-208
h5	.word	0
h6	.word	382
h7	.word	0
h8	.word	-407
h9	.word	0
h10	.word	0
h11	.word	0
h12	.word	1046
h13	.word	0
h14	.word	-2680
h15	.word	0
h16	.word	4524
h17	.word	0
h18	.word	-5993
h19	.word	0
h20	.word	6554
h21	.word	0
h22	.word	-5993
h23	.word	0
h24	.word	4524
h25	.word	0
h26	.word	-2680
h27	.word	0
h28	.word	1046
h29	.word	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h30	.word	0
h31	.word	0
h32	.word	-407
h33	.word	0
h34	.word	382
h35	.word	0
h36	.word	-208
h37	.word	0
h38	.word	70
h39	.word	0
h40	.word	0



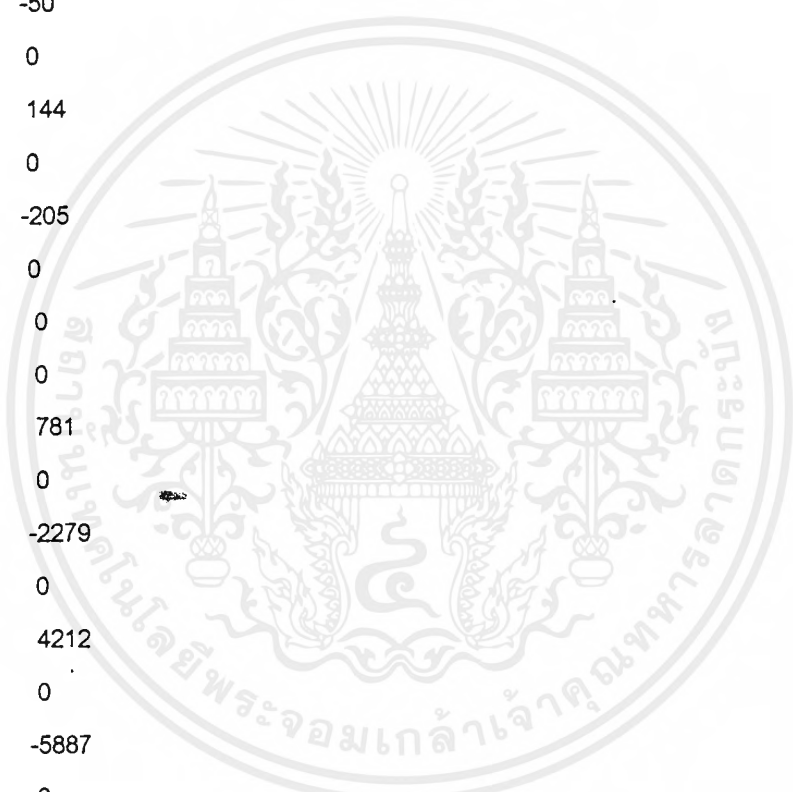
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BANDPASS(BLACKMAN WINDOW)

.ds 0f06h

;Bandpass filter Coefficient flcut=2K fhcut= 3K

h0	.word	0'
h1	.word	0
h2	.word	6
h3	.word	0
h4	.word	-50
h5	.word	0
h6	.word	144
h7	.word	0
h8	.word	-205
h9	.word	0
h10	.word	0
h11	.word	0
h12	.word	781
h13	.word	0
h14	.word	-2279
h15	.word	0
h16	.word	4212
h17	.word	0
h18	.word	-5887
h19	.word	0
h20	.word	6554
h21	.word	0
h22	.word	-5887
h23	.word	0
h24	.word	4212
h25	.word	0
h26	.word	-2279
h27	.word	0
h28	.word	781



h29	.word	0
h30	.word	0
h31	.word	0
h32	.word	-205
h33	.word	0
h34	.word	144
h35	.word	0
h36	.word	-50
h37	.word	0
h38	.word	6
h39	.word	0
h40	.word	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BANDSTOP(RECTANGULAR WINDOW)

.ds 0f06h

;Bandstop filter Coefficient flcut=2K fhcut=3K

h0	.word	0
h1	.word	0
h2	.word	-681
h3	.word	0
h4	.word	1240
h5	.word	0
h6	.word	-1417
h7	.word	0
h8	.word	1022
h9	.word	0
h10	.word	0
h11	.word	0
h12	.word	-1533
h13	.word	0
h14	.word	3307
h15	.word	0
h16	.word	-4960
h17	.word	0
h18	.word	6131
h19	.word	0
h20	.word	26214
h21	.word	0
h22	.word	6131
h23	.word	0
h24	.word	-4960
h25	.word	0
h26	.word	3307
h27	.word	0
h28	.word	-1533



h29	.word	0
h30	.word	0
h31	.word	0
h32	.word	1022
h33	.word	0
h34	.word	-1417
h35	.word	0
h36	.word	1240
h37	.word	0
h38	.word	-681
h39	.word	0
h40	.word	0



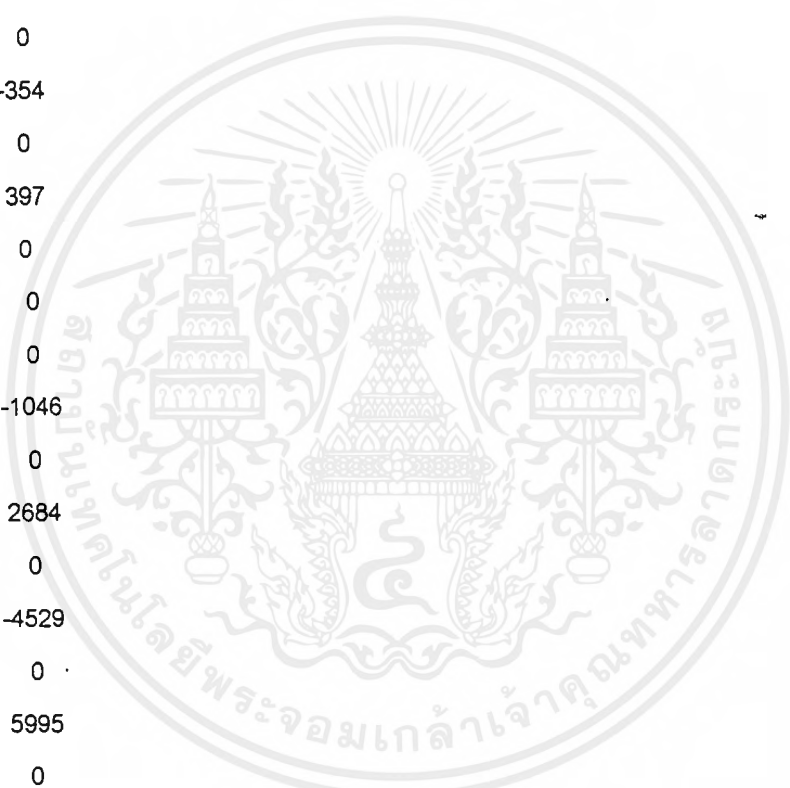
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

; BANDSTOP(HAN WINDOW)

.ds 0f06h

;Bandstop filter Coefficient flcut=2K fhcut= 3K

h0	.word	0
h1	.word	0
h2	.word	-34
h3	.word	0
h4	.word	166
h5	.word	0
h6	.word	-354
h7	.word	0
h8	.word	397
h9	.word	0
h10	.word	0
h11	.word	0
h12	.word	-1046
h13	.word	0
h14	.word	2684
h15	.word	0
h16	.word	-4529
h17	.word	0
h18	.word	5995
h19	.word	0
h20	.word	26214
h21	.word	0
h22	.word	5995
h23	.word	0
h24	.word	-4529
h25	.word	0
h26	.word	2684
h27	.word	0
h28	.word	-1046



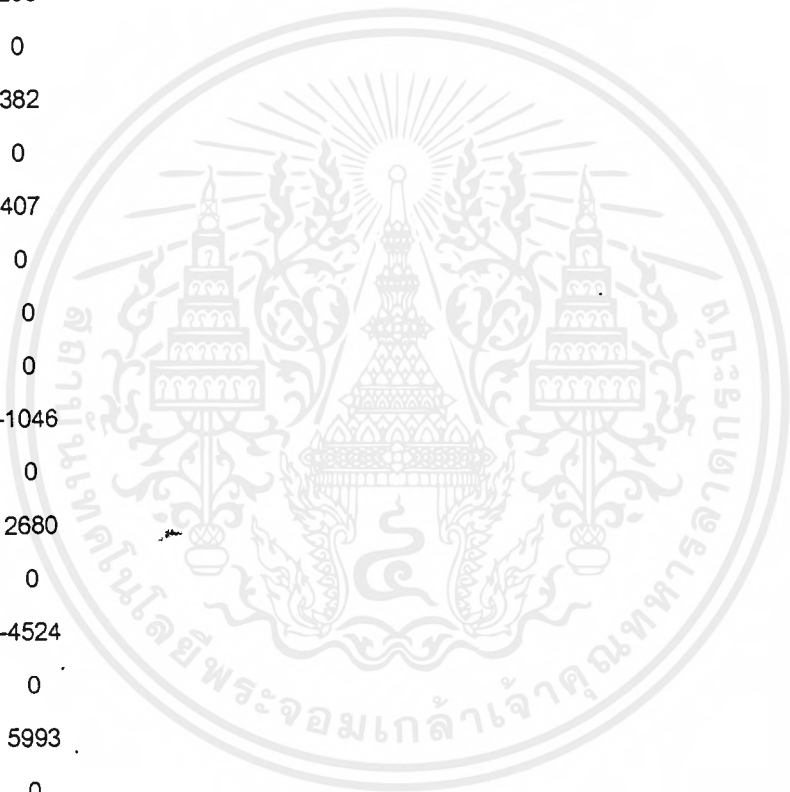
h29	.word	0
h30	.word	0
h31	.word	0
h32	.word	397
h33	.word	0
h34	.word	-354
h35	.word	0
h36	.word	166
h37	.word	~ 0
h38	.word	-34
h39	.word	0
h40	.word	0



BANDSTOP(HAMMING WINDOW)

```
.ds 0f06h
;Bandstop filter Coefficient flcut=2K fhcut= 3K
```

h0	.word	0
h1	.word	0
h2	.word	-70
h3	.word	0
h4	.word	208
h5	.word	0
h6	.word	-382
h7	.word	0
h8	.word	407
h9	.word	0
h10	.word	0
h11	.word	0
h12	.word	-1046
h13	.word	0
h14	.word	2680
h15	.word	0
h16	.word	-4524
h17	.word	0
h18	.word	5993
h19	.word	0
h20	.word	26214
h21	.word	0
h22	.word	5993
h23	.word	0
h24	.word	-4524
h25	.word	0
h26	.word	2680
h27	.word	0
h28	.word	-1046



h29	.word	0
h30	.word	0
h31	.word	0
h32	.word	407
h33	.word	0
h34	.word	-382
h35	.word	0
h36	.word	218
h37	.word	0
h38	.word	-70
h39	.word	0
h40	.word	0



BANDSTOP(BLACKMAN WINDOW)

```
.ds 0f06h
;Bandstop filter Coefficient flcut=2K fhcut= 3K
```

h0	.word	0
h1	.word	0
h2	.word	-6
h3	.word	0
h4	.word	50
h5	.word	0
h6	.word	-144
h7	.word	0
h8	.word	205
h9	.word	0
h10	.word	0
h11	.word	0
h12	.word	-781
h13	.word	0
h14	.word	2279
h15	.word	0
h16	.word	-4212
h17	.word	0
h18	.word	5887
h19	.word	0
h20	.word	26214
h21	.word	0
h22	.word	5887
h23	.word	0
h24	.word	-4212
h25	.word	0
h26	.word	2279
h27	.word	0
h28	.word	-781

h29	.word	0
h30	.word	0
h31	.word	0
h32	.word	205
h33	.word	0
h34	.word	-144
h35	.word	0
h36	.word	50
h37	.word	0
h38	.word	-6
h39	.word	0
h40	.word	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BANDPASS IIR FILTER

.MMREGS

.ds 0f00h

TA .word 16 ;

RA .word 16 ; This set up of AIC registers give
; a sampling freq of 10,081 Hz

TB .word 31 ;

RB .word 31 ;

AIC_CTR .word 08h

;Filter Coefficient fcenter =1 KHz

A1 .word 21763

A2 .word -10418

B0 .word 2983

B1 .word 0

B2 .word -2983

XN .word 0

YN .word 0

DN .word 0

DNM1 .word 0

DNM2 .word 0

.ps 0080ah

rint: B RECEIVE

xint: B TRANSMIT

.ps 0a00h

.entry ;

;

SETC INTM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LDP #0
OPL #0834h,PMST
LACC #0
SAMM CWSR
SAMM PDWSR
SETC SXM ; SXM MUST BE SET
SPLK #022h,IMR ;This turns on receive interrupt only

CALL AICINIT ;
SPLK #12h,IMR
CLRC OVM
SPM 0 ;
CLRC INTM ;

WAIT: ; a main program would go here
B WAIT ;

RECEIVE:

LDP #XN
CLRC INTM ; enable interrupts for debugging
; dsk purposes
LAMM DRR ; load accumulator with word
; received from AIC
SACL XN ; store in XN
ZAP

LT DNM1
MPY A1

LTA DNM2
MPY A2
APAC

SFL ;because in the difference equation
;(direct formI) the real value of
;the coefficient is $2*A1, 2*A2$

ADD XN,15

SACH DN,1 ; store value of d(n) in DN

ZAP

MPY B2

LTD DNM1 ;load data in d(n-1) to d(n-2)

MPY B1

LTD DN ;load data in d(n) to d(n-1)

MPY B0

APAC

SFL ;because in the difference equation

; (direct formI)

;the real value of the coefficient

;is $2*B0, 2*B1, 2*B2$

SACH YN,1

LACC YN

SFL

AND #0fffch ; Two LSB's must be zero for AIC

SAMM DXR ; write output word to transmit

RETE ; register

TRANSMIT:

RETE

; DESCRIPTION: This routine initializes the 'C50 serial port *
; and the TLC320C40's (AIC) TA,RA,TB,RB and *
; control registers *

AICINIT: SPLK #20h,TCR ; To generate 10 MHz from Tout

SPLK #01h,PRD ; for AIC master clock

MAR *,AR0

LACC #0008h ; Non continuous mode

SACL SPC ; FSX as input

LACC #00c8h ; 16 bit words

SACL SPC

LACC #080h ; Pulse AIC reset by setting it low

SACH DXR

SACL GREG

LAR AR0,#0FFFFh

RPT #10000 ; and taking it high after 10000 cycles

LACC *,0,AR0 ; (.5ms at 50ns)

SACH GREG

;

LDP #TA ;

SETC SXM ;

LACC TA,9 ; Initialize TA and RA register

ADD RA,2 ;

CALL AIC_2ND ;

;

LDP #TB

LACC TB,9 ; Initialize TB and RB register

ADD RB,2 ;

ADD #02h ;

CALL AIC_2ND ;

;

LDP #AIC_CTR

LACC AIC_CTR,2 ; Initialize control register

ADD #03h ;

CALL AIC_2ND ;

RET ;

AIC_2ND:

LDP #0 ; Data page point is 0 (MM regs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SACH DXR      ; send ACChi 00
CLRC INTM     ; enable interrupts
IDLE          ; wait for interrupt
ADD #6h,15    ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX
                ;XXXX XXXX b
SACH DXR      ; send ACChi to initiate
                ; secondary protocol
IDLE          ; wait for interrupt
SACL DXR      ; send the T register data
IDLE          ; wait for interrupt
LACL #0       ; clear ACClo
SACL DXR      ; send another to make sure 1st
                ; word got sent
IDLE          ; wait for interrupt
SETC INTM
RET
.END

```

