สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

DIGITAL SIGNAL PROCESSING TRAINING SET

ชื่อนักศึกษา 1. นายพงษ์นรินทร์ สุวราณรักษ์ รหัสประจำตัว 39031320

2. นายราเมศ อยู่สวัสดิ์ รหัสประจำตัว 39031323

3. นางสาวรุ่งทิวา เรืองศรีศุภพงศ์ รหัสประจำตัว 39031324

4. นายสมชาย ขันอ้าย รหัสประจำตัว 39031330

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

1. อาจารย์วรวิทย์ สมหา
2. อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล
3. อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

TO30130

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1.อาจารย์กิติพงค์ มะโน	
2.อาจารย์วรวิทย์ สมหา	
3.อาจารยประเสริฐ เคนพันค้อ	
4.อาจารย์อำพล ทองระอา	
5.อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล	

วันเดือนปีที่สอบ วันที่ 12 ธันวาคม 2540 เวลา 10.00 น ถึง 21.00 น

สถานที่สอบ ห้อง ค.301 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ได้รับรองแล้ว

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 9 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....30130.....
วัน, เดือน, ปี - 8 ธ.ค. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

DIGITAL SIGNAL PROCESSING TRAINING SET

นายพงษ์นรินทร์ สุวราณรักษ์

นายราเมศ อยู่สวัสดิ์

นางสาวรุ่งทิวา เรืองศรีศุภพงศ์

นายสมชาย ขันอ้าย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

DIGITAL SIGNAL PROCESSING TRAINING SET

ผู้จัดทำ

1. นายพงษ์นรินทร์ สุวราณรักษ์
2. นายราเมศ อยู่สวัสดิ์
3. นางสาวรุ่งทิวา เรืองศรีศุภพงศ์
4. นายสมชาย ขันอ้าย

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....

(อาจารย์วรวิทย์ สมหา)

ลงนาม.....

(อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล)

ลงนาม.....

(อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

DIGITAL SIGNAL PROCESSING TRAINING SET

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) เบอร์TMS-320C50
2. เพื่อออกแบบและสร้างชุดฝึกของตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) เบอร์TMS-320C50
3. เพื่อออกแบบและสร้างใบงานการทดลองของ ตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) เบอร์TMS-320C50
4. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมบนชิพตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) เบอร์TMS-320C50
5. เพื่อนำชุดฝึกทดลองตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) ที่สร้างไปใช้งานได้จริง
6. เพื่อให้นักศึกษาสามารถเข้าใจในบทเรียนวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจหลักการทำงานของตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) เบอร์TMS-320C50
2. สามารถเข้าใจการเขียนโปรแกรมควบคุมตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) เบอร์ TMS-320C50
3. ได้ชุดฝึกและใบงานที่ใช้งานได้จริง
4. สามารถนำชุดฝึกไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน
5. สามารถทำให้นักศึกษาเข้าใจบทเรียนของวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขได้ง่ายขึ้น
6. สามารถเข้าใจการทำงานของชุดฝึกตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) เบอร์TMS-320C50 ได้จากคู่มือ
7. เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

นายพงษ์นรินทร์ สุวราณรักษ์
นายราเมศ อยู่สวัสดิ์
นางสาวรุ่งทิวา เรืองศรีศุภพงศ์
นายสมชาย ขันอ้าย

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์วรวิทย์ สมหา
อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล
อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข โดยการใช้ชิพประมวลผลสัญญาณเชิงเลขเบอร์ TMS320C50 ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการเรียนการสอนของวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข และจำเป็นต้องศึกษาภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติให้สอดคล้องกัน เพื่อให้เกิดความเข้าใจในวิชานี้ยิ่งขึ้น ทางผู้จัดทำจึงได้จัดทำใบงานการทดลองการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ซึ่งประกอบไปด้วยชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข โดยมีใบงานการทดลองจำนวน 8 ใบงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIGITAL SIGNAL PROCESSING TRAINING SET

MR.PONGNARIN SUVARANARUK
MR.RAMATE YUSAWAT
MISSROONGTIWA RAUNGSRESUPAPONG
MR.SOMCHAI KHANAI

ADVISORS

MR.WORAWIT SOMHA
MR.PAIBOON PONGWONGTRAGULL
MR.SURAPONG SIRIPONGDEE

1997

ABSTRACT

This thesis presents the Digital Signal Processing Training Set using TMS320C50, Digital Signal Processing, is a part of studing and teaching in Digital Signal Processing subject. It is neccessary to learn the theory and expriment part for the original understanding in this subject so well. The staffs build the laboratory of Digital Signal Processing subject which has 8 laboratories

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้น ทางกลุ่มผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 3 ท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์วรวิทย์ สมหา ที่ได้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนการเขียนโปรแกรม รวมทั้งอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านและพี่อิศราวุฒิ ชัยคีรี และคณะ รวมทั้งเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์เป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 ลักษณะโครงสร้างของ TMS320C50	3
2.3 สถาปัตยกรรมของ TMS320C50	4
2.4 ขาของ TMS320C50	5
2.5 การอ้างถึงตำแหน่งข้อมูล	5
2.6 การควบคุม การนำข้อมูลเข้าและส่งออก	6
2.7 การจัดหน่วยความจำ	7
2.8 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณ	8
2.9 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลและวงจร แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก	9
2.10 ทฤษฎีของการสุ่มข้อมูล	10
2.11 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	10
2.11.1 A/D แบบเซอร์โว	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.11.2 A/D แบบ ดูอัล-สโลป อินทีเกรต	11
2.11.3 A/D แบบ ดูอัล-สโคป อินทีเกรต	11
2.11.4 A/D แบบคอมพาราเตอร์ ขนาน	11
2.12 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก	11
2.13 การเขียนโปรแกรมและคำสั่ง	12
2.13.1 การกำหนดสถานะเริ่มต้นสำหับ TMS320C50	12
2.13.2 การเขียนโปรแกรมทางด้านคณิตศาสตร์และลอจิก	13
2.13.3 คำสั่งของ TMS320C50 ที่สำคัญ	14
2.14 การแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย	16
2.14.1 นิยามของการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย	17
2.14.2 คุณสมบัติบางประการของ DFT	22
2.14.3 คุณสมบัติเชิงเส้น	22
2.14.4 คุณสมบัติสังยุคเชิงซ้อน	22
2.14.5 คุณสมบัติการประสาน	22
2.14.6 คุณสมบัติสหสัมพันธ์	24
2.14.7 ทฤษฎีของปาร์เซอวาล	24
2.14.8 คุณสมบัติตั้งฉาก	25
2.14.9 การใช้ DEF ในการคำนวณ IDFT	27
2.14.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง DFT และการแปลงแซด	28
2.14.11 สหสัมพันธ์ และการประสานในรูปของเมตริกซ์	29
2.14.12 DFT ในมิติ r	30
2.15 การใช้งานตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) ในการสร้างสัญญาณ	31
2.15.1 วิธีการอ่านค่าโดยตรงจากตาราง	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.15.2 วิธีประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น	32
2.16 Fast Fourier Transform(FFT)	35
2.16.1 หลักการเบื้องต้นของ FFT	35
2.16.2 ขั้นตอนวิธีการลดทอนทางเวลา	40
2.17 ทฤษฎีของตัวกรองเชิงเลข	45
2.17.1 การกรองเชิงเลข	46
2.17.2 ตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลข	48
2.17.3 โครงสร้างของวงจรกรองเชิงเลข	52
2.17.4 โครงสร้างของวงจรกรองไม่ป้อนกลับ	53
2.17.5 โครงสร้าง แบบโดยตรง	53
2.18 ตัวกรองป้อนกลับเชิงเลข	55
2.18.1 การอินทิเกรตเชิงเลข	55
2.18.2 ตัวกรองป้อนกลับเชิงเลขทั่วไป	58
2.18.3 โพล และ ซีโรของฟังก์ชั่นถ่ายโอน	59
2.18.4 เสถียรภาพของตัวกรองป้อนกลับเชิงเลข	60
2.19 ทฤษฎีตัวกรองความถี่ปรับค่าได้	61
2.20 หลักการเบื้องต้นของสัญญาณ DTMF	65
2.20.1 การเข้ารหัส DTMF	65
2.20.2 การถอดรหัส DTMF	65
บทที่ 3 การสร้างและการออกแบบ	**67**
3.1 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์	67
3.1.1 วิธีสร้างฮาร์ดแวร์	67
3.2 การออกแบบทางด้านซอฟท์แวร์	69
3.2.1 Discrete Fourier Transform(DFT)	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.2.2 Signal Generator	70
3.2.3 Fast Fourier Tranform(FFT)	71
3.2.4 วงจรกรองแบบไอไออาร์ (IIR)	73
3.2.5 วงจรกรองแบบเอฟไออาร์	81
3.2.6 Adaptive filter	91
บทที่ 4 ผลการทดลองและทดสอบ	**95**
4.1 การทดลองการทำงานชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	97
4.1.1 Signal Generator	97
4.1.2 Discrete Fourier Transform	100
4.1.3 IIR Digital Filter	101
4.1.4 FIR Digital Filter	103
4.1.5 Adaptive Filter	106
4.1.6 Fast Fourier Tranform(FFT)	111
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไข และการพัฒนา	**116**
5.1 บทสรุป	116
5.2 ปัญหาที่พบ	116
5.2.1 ปัญหาในส่วนของฮาร์ดแวร์	116
5.2.2 ปัญหาในส่วนของซอฟต์แวร์	117
5.3 แนวทางในการพัฒนา	117
ภาคผนวก ก ใบงานในการทดลอง	**118**
ภาคผนวก ข เฉลยใบงานในการทดลอง	**204**
ภาคผนวก ค วงจรและลายวงจรพิมพ์	**295**
บรรณานุกรม	**301**
ประวัติผู้แต่ง	**302**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิค	34
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิค (ต่อ)	35
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติสเปคตรัมของหน้าต่างจำนวน N ค่า	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะขาภายนอกของ TMS320C50	6
รูปที่ 2.2 ลักษณะการจัดพื้นที่หน่วยความจำของ TMS320C50	8
รูปที่ 2.3 ระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลทางดิจิตอล	9
รูปที่ 2.4 สเปกตรัมของสัญญาณที่มีแถบความถี่ปฏิบัติงานจำกัด	19
รูปที่ 2.5 ลำดับสัญญาณที่ทำการซุ่มตัวอย่างจากฟังก์ชั่นต่อเนื่อง	21
รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงเวกเตอร์และผลรวมของเวกเตอร์	27
รูปที่ 2.7 การสร้างสัญญาณโดยวิธีการอ่านค่าโดยตรงจากตาราง	31
รูปที่ 2.8 การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น	33
รูปที่ 2.9 กราฟการไหลเวียนของ FFT	40
รูปที่ 2.10 หน่วยผีเสื้อของการคำนวณตามขั้นตอนวิธีการลดทอนทางเวลา	43
รูปที่ 2.11 กราฟการไหลของสัญญาณ 8 จุด	43
รูปที่ 2.12 วิธีแบบ DIT สำหรับ FFT แบบ 8 จุด	44
รูปที่ 2.12 วิธีแบบ DIT สำหรับ DFT แบบ 8 จุด (ต่อ)	44
รูปที่ 2.13 การสลับตำแหน่งของลำดับ X(n) ด้วยการผันบิต	45
รูปที่ 2.14 ตัวกรองเชิงเลขที่เขียนจากสมการการประมาณค่า	49
รูปที่ 2.15 การหาเส้นโค้งที่เหมาะสม	50
รูปที่ 2.16 ผลตอบสนองของความถี่ของตัวกรอง	51
รูปที่ 2.17 ตัวกรองเชิงเลขของสมการ	51
รูปที่ 2.18 เปรียบเทียบผลตอบสนองทางความถี่	52
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขแบบโดยตรง	54
รูปที่ 2.20 การทำงานของชิฟต์รีจีสเตอร์เชิงอุปมาน	54
รูปที่ 2.21 แผนภาพวงจรกรองเชิงเลข	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันพบว่าได้มีการนำระบบการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) มาประยุกต์ในการใช้งานหรือนำไปใช้งานจริงในงานประเภทต่างๆ มากขึ้น เช่น ในเครื่องดนตรีประเภทสังเคราะห์เสียง (Synthesizer) ในการ์ดเสียง (Sound Card) ชุดเสียงของวีดีโอเกมส์ ในระบบเครื่องเสียง (Audio System) เช่น อีควอไลเซอร์ (Equalizer) ได้มีการนำชิพ (Chip) ซึ่งเป็นตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) เข้ามาใช้เป็นตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลขแทนระบบแอนะลอก (Analog) ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่ามาก

เนื่องจากปัจจุบันพบว่าสถานศึกษาต่างๆ ได้มีการนำเอาระบบประมวลผลสัญญาณเชิงเลขมาเป็นส่วนหนึ่งของบทเรียน ยังไม่มีชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) มาช่วยในการสอน เพื่อให้นักศึกษาได้เข้าใจบทเรียนได้ง่ายยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้จัดทำชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) ขึ้น

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

สร้างชุดฝึกปฏิบัติการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข และออกแบบใบงานการทดลองได้ไม่ต่ำกว่า 6 ใบงานตามรายชื่อดังนี้

- Discrete Fourier Transform (DFT)
- Signal Generator
- DTMF Encoder
- DTMF Decoder
- Fast Fourier Transform (FFT)
- Finite Impulse Response Digital Filter (FIR)
- Infinite Impulse Response Digital Filter (IIR)
- Adaptive Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาที่สำคัญดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ประกอบด้วยเนื้อหาในทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับใบงานการทดลองทั้ง 6 ใบงาน ซึ่งทำให้ผู้อ่านได้มีความรู้ความเข้าใจที่เป็นพื้นฐานเสียก่อน อันจะเป็นประโยชน์ต่อการทำความเข้าใจกับวงจรที่ใช้งานได้จริง

บทที่ 3 การออกแบบการสร้างและการทำงานของชุดฝึกปฏิบัติการเชิงเลข โดยกล่าวถึงโครงสร้างของฮาร์ดแวร์และการออกแบบฮาร์ดแวร์ และการออกแบบใบงานการทดลอง รวมทั้งหลักการทำงานในส่วนต่างๆ ของฮาร์แวร์ ซึ่งทำให้ผู้อ่านมีความเข้าใจการทำงานโดยรวมของโครงงานนี้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองกล่าวถึงขั้นตอนการทดลอง และการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ของโครงงานนี้ ซึ่งประกอบด้วย 6 ใบงานการทดลอง เพื่อตรวจสอบว่าโครงงานนี้สามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่

บทที่ 5 บทสรุปปัญหาแนวทางแก้ไขและพัฒนาเป็นการสรุปผลการทำงาน และได้เสนอแนะแนวทางการแก้ไข และแนวทางในการพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการเชิงเลขรวมทั้งใบงานการทดลอง ให้มีประสิทธิภาพ และการใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

ในภาคผนวกแสดงรายละเอียดของใบงานการทดลอง และรายการอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้จัดทำโครงงานดังนี้

ภาคผนวก ก ใบงานการทดลอง

ภาคผนวก ข เฉลยใบงานการทดลอง

ภาคผนวก ค วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ในบทนี้เป็นทฤษฎีและหลักการ ที่นำมาใช้ประกอบการสร้างโครงงาน โดยประกอบด้วยลักษณะโครงสร้างของ TMS-320C50, สถาปัตยกรรมของ TMS-320C50, วงจรแปลงสัญญาณสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก, การแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย, การใช้งานตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลขในการสร้างสัญญาณ, ทฤษฎีของตัวกรองเชิงเลข, ทฤษฎีตัวกรองความถี่ปรับค่าได้, หลักการเบื้องต้นของ DTMF ซึ่งจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

2.2 ลักษณะโครงสร้างของ TMS-320C50

1. รอบการทำงานของคำสั่งใช้เวลา 35-50 นาโนวินาที
2. ซอร์สโค้ดเข้ากันได้กับ 'C1x และ 'C2x
3. ทำคำสั่งได้ 28.6 ล้านคำสั่งต่อวินาที (MIPS)
4. มีหน่วยความจำข้อมูลภายในชิพ (RAM) 9 กิโลเวิร์ด
5. มีหน่วยความจำโปรแกรม (ROM) 2 กิโลเวิร์ด
6. มีทางเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูล 2 ทาง ภายในชิพ (RAM) 1056 เวิร์ด
7. มีพื้นที่หน่วยความจำภายนอก 224 กิโลเวิร์ด
8. หน่วยประมวลผลคณิตศาสตร์ (ALU) , แอคคิวมูเลเตอร์ (ACC) และ บัฟเฟอร์ มีขนาด 32 บิต
9. หน่วยลอจิกขนานมีขนาด 16 บิต
10. การคูณเป็นแบบขนานขนาด 16 X 16 บิต ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็น 32 บิต
11. คูณเลขโดยใช้สัญญาณนาฬิกาหนึ่งรอบการทำงาน
12. มีรีจิสเตอร์ช่วย จำนวน 8 ตัว
13. เพิ่มฮาร์ดแวร์สแตคขึ้นถึง 8 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. มีตัวเลื่อนบิต (Shifter) แบบขนาน 16 บิต และ 64 บิตในการเลื่อนข้อมูล
15. มีการทวนคำสั่งที่เป็นคำสั่งเดี่ยว และทวนรหัสโปรแกรมหรือข้อมูลเป็นบล็อก
16. มีการจัดการโปรแกรมหรือข้อมูลไปไว้ในบล็อกหน่วยความจำที่ดีกว่า
17. มีพอร์ตอนุกรมแบบเข้าจังหวะ (Synchronous) 2 ทาง (Full Duplex) สำหรับติดต่อกับพอร์ตอนุกรมกับอุปกรณ์อื่นๆ
18. มีพอร์ตอินพุต เอาต์พุต แบบขนานทั้งหมด 64 กิโลตำแหน่งและมี 16 พอร์ต อยู่ในพื้นที่หน่วยความจำ
19. มีโปรแกรม Wait-State เพื่อใช้ในการติดต่อกับอุปกรณ์ หรือหน่วยความจำภายนอกที่ทำงานช้ากว่า
20. ปฏิบัติงานแบบ 4 ไปป์ไลน์ มีตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในชิพ
21. โหมดการอ้างข้อมูลแบบชี้ตำแหน่ง (Index-Addressing)
22. ใช้เทคโนโลยีแบบ CMOS
23. ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ มี 132 ขา

2.3 สถาปัตยกรรมของ TMS-320C50

โครงสร้างส่วนสำคัญของตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) เบอร์ TMS-320C50 ประกอบด้วยส่วนสำคัญสามส่วนคือ

1. หน่วยประมวลผลกลาง (CPU)
2. หน่วยความจำ (Memory)
3. วงจรอินเตอร์เฟสกับอุปกรณ์ภายนอก

TMS-320C50 เป็นโปรเซสเซอร์ที่ใช้สำหรับในการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ซึ่งจะมีลักษณะการทำงาน คล้ายคลึงกับ TMS-320C25 และ ใช้สถาปัตยกรรมแบบเดียวกัน คือ สถาปัตยกรรมแบบ "ฮาวาร์ด" โดยจะแบ่งโครงสร้างของหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วน แยกจากกัน คือหน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูล ซึ่งจะทำให้การทำงานต่างๆ เป็นไปด้วยความเร็วสูง นอกจากนั้น ยังสามารถทำการโอนย้ายข้อมูลระหว่างกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์นั้น จะทำการคำนวณโดยใช้เลขแบบ ทูคอมพลีเมนท์ โดยใช้ ALU ซึ่งเป็นหน่วยกระทำทางคณิตศาสตร์ และลอจิกจะใช้ตัวกระทำขนาด 16 บิตเวิร์ด และแอคคิวมูเลเตอร์ขนาด 32 บิต

2.4 ขาของ TMS-320C50

ชิพประมวลสัญญาณเชิงเลขเบอร์ TMS-320C50 จะมีลักษณะเป็นการบรรจุมีขาต่างๆ 132 ขา รอบๆ ทั้งสี่ด้าน (Quad Flat Pack Package QFP) ซึ่งแต่ละขามีความสัมพันธ์กัน ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ในระบบสื่อสารและรวมถึงระบบอิเล็กทรอนิกส์ จากรูปจะแสดงด้านบนของเพ็กเกจ ดังรูปที่ 2.1 จากลักษณะโครงสร้างของการจัดวางตำแหน่งขาจะเห็นว่าลักษณะการวางขามีการออกแบบตลอดจนจัดทำขึ้นเพื่อ ให้เหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะการบัดกรีแบบยึดติดพื้นผิว ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องมือในการบัดกรีชนิดพิเศษ โดยจะใช้เครื่องมือในบัดกรีแบบปกติธรรมดาไม่ได้ ซึ่งหากจำเป็นต้องใช้งานชิพนี้ ผู้จัดทำโครงงานขอเสนอแนะใช้บอร์ดสำเร็จรูปที่บัดกรีไว้แล้วจะเป็นการสะดวกกว่า ทั้งนี้เพราะบอร์ดสำเร็จรูปมีการบัดกรีและเชื่อมต่อออกเป็นจุดต่อขนาดใหญ่พอที่จะทำการบัดกรีได้สะดวก หรืออาจเลือกใช้ชิพที่จัดวางขาในลักษณะสองแถวคู่ ซึ่งสามารถติดตั้งลงบนขารองรับไอซีทั่วไปได้แต่จะมีขนาดใหญ่

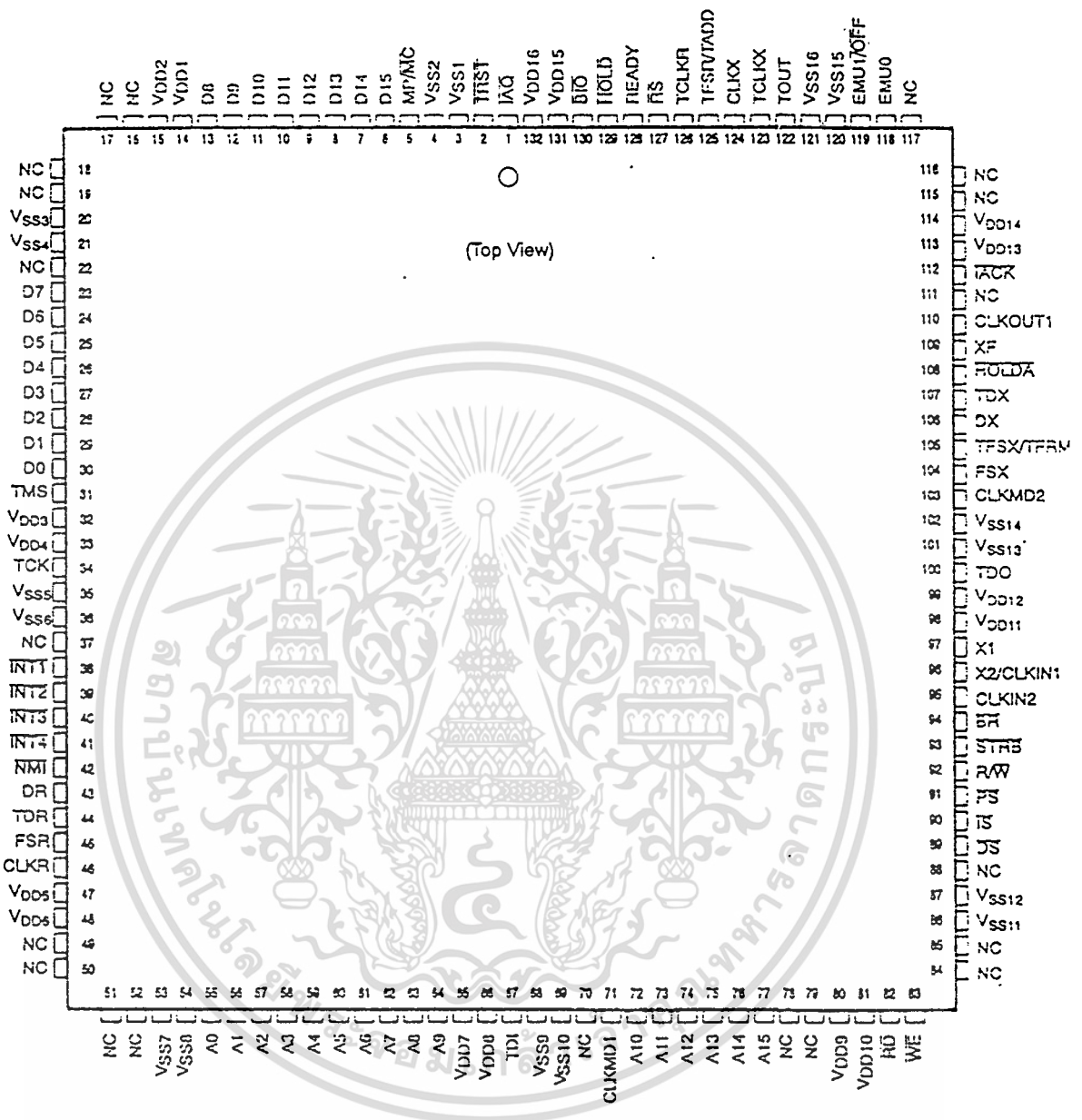
2.5 การอ้างถึงตำแหน่งข้อมูล

TMS-320C5X สามารถอ้างหน่วยความจำของโปรแกรมได้ถึง 64 กิโลเวิร์ดและอ้างหน่วยความจำข้อมูล 96 กิโลเวิร์ด มีโหมดการอ้างถึงตำแหน่งข้อมูล 8 โหมด โหมดที่สำคัญมี 6 โหมด คือ

1. การอ้างตำแหน่งโดยตรง (Direct Addressing Mode)
2. การอ้างตำแหน่งโดยอ้อม (Indirect Addressing Mode)
3. การอ้างตำแหน่งแบบทันที (Immediate Addressing Mode)
4. การอ้างตำแหน่งรีจิสเตอร์ (Dedicated Register Mode)
5. การอ้างตำแหน่งผังหน่วยความจำรีจิสเตอร์ (Memory-Mapped register Addressing Mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การอ้างตำแหน่งแบบแฝง (Circular Addressing Mode)



รูปที่ 2.1 ลักษณะขาภายนอกของ TMS-320C50

2.6 การควบคุมการนำข้อมูลเข้าและส่งออก (Peripheral Control)

ใน 'C50 มีคอนเนกเตอร์เชื่อมต่อกับ CPU ได้แก่ พอร์ตอนุกรม, พอร์ตอนุกรม TDM, ไทม์เมอร์,ซอฟต์แวร์โปรแกรมสถานะการคอย, อินพุต-เอาต์พุตพอร์ต, การหารโดยใช้สัญญาณนาฬิกาหนึ่งลูก(Devided by One Clock) และขา XF กับ BIO โดยอุปกรณ์เชื่อมต่อเหล่านี้ สามารถควบคุมได้โดยตรงจากรีจิสเตอร์ที่เก็บผังหน่วยความจำไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

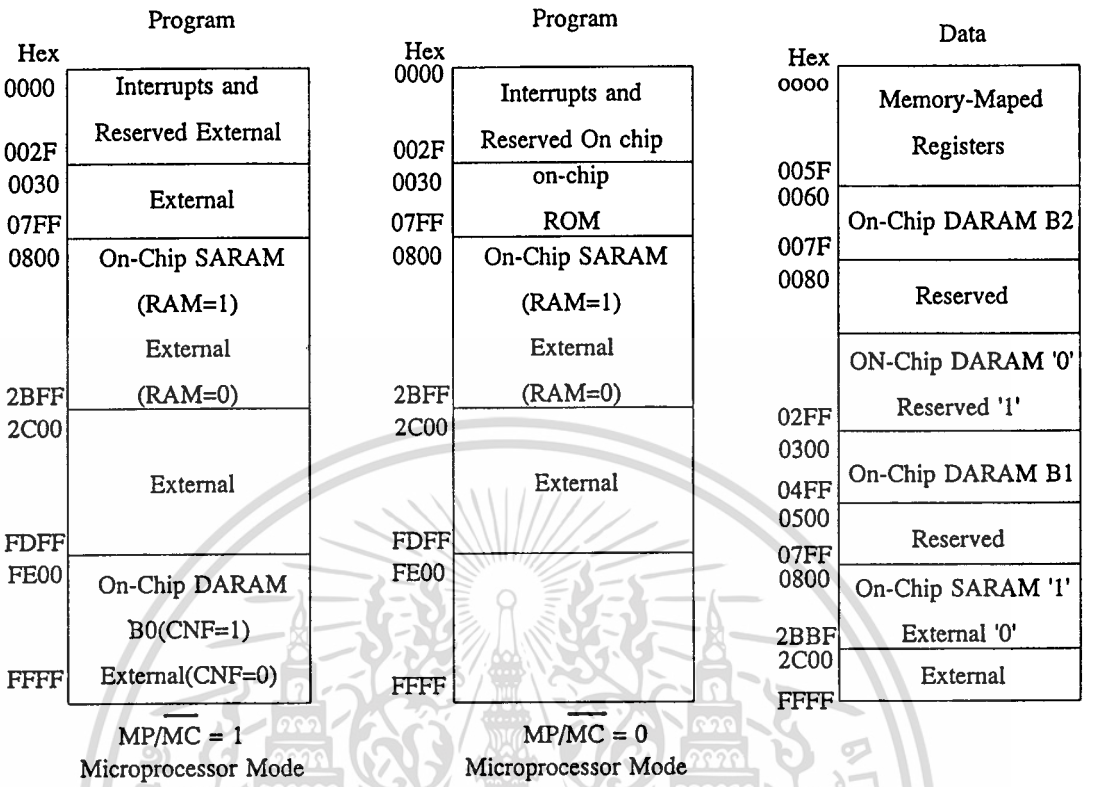
2.7 การจัดหน่วยความจำ

ในตัว TMS-320C50 มีหน่วยความจำความเร็วสูงขนาด 1,056 เวิร์ด โดยที่แต่ละเวิร์ดมีขนาด 16 บิต และมีรอมภายในขนาด 256 เวิร์ด สามารถอ้างอิงหน่วยความจำภายนอกได้ถึง 224 กิโลเวิร์ด แบ่งเป็นหน่วยความจำข้อมูล, หน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำอินพุต เอาต์พุต (I/O) อย่างละ 64 กิโลเวิร์ด นอกนั้นอีก 32 กิโลเวิร์ด สำหรับใช้งานทั่วๆไป ส่วน ALU (Arithmetic Logic Unit), แอคคิวมูเลเตอร์ (ACC) และแอคคิวมูเลเตอร์บัฟเฟอร์ (ACCB) มีขนาด 32 บิต ที่สามารถคูณเลขขนาด 32 บิตได้ภายใน 1 รอบคำสั่ง ทั้งนี้เนื่องจาก ตัว ALU มีวงจรคูณแบบ 16x16 บิต แบ่งเป็นอินพุต 16 ช่อง และเอาต์พุต 16 ช่อง วงจรติดต่อหน่วยความจำร่วม (Global Data Memory Interface)

ตัว TMS-320C26 สามารถต่อใช้งานเพียงตัวเดียวหรือ จะต่อใช้งานขนานกันหลายตัวที่เรียกว่าเป็นระบบ Multi-Processor System ก็ได้

ในการใช้งานกับหน่วยความจำภายนอกตัวชิพจะทำงานได้ช้ามาก จึงได้เน้นให้ใช้หน่วยความจำแบบภายในชิพเป็นที่เก็บโปรแกรมแทน ในการใช้งานให้ดาวน์โหลดโปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอกมาเก็บในชิพ แล้วจึงรันโปรแกรมทำงาน โดย TMS-320C50 ได้เพิ่มคำสั่ง "Block Transfer" ที่ใช้ในการโหลดข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกมาทีละบล็อก แล้วมาเก็บไว้ในแรมของชิพ วิธีการนี้จะช่วยให้การทำงานเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

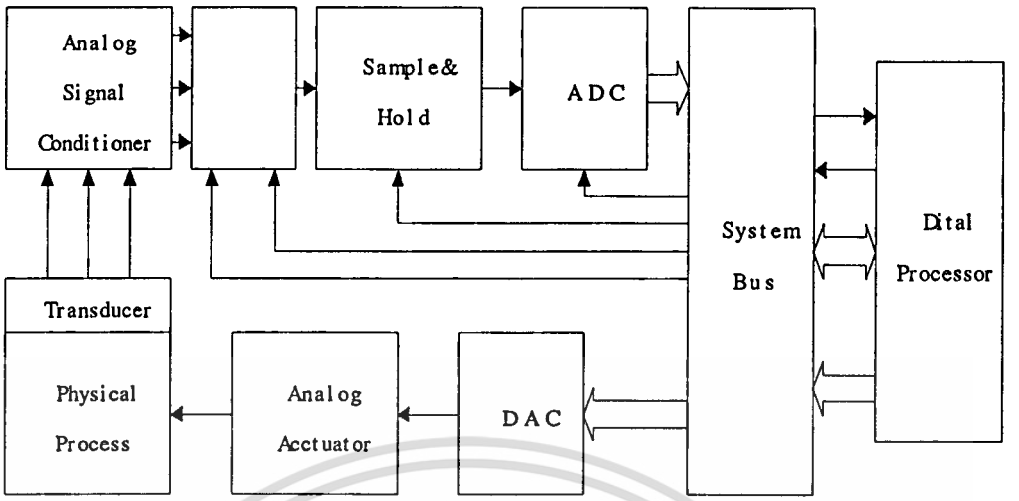


รูปที่ 2.2 ลักษณะการจัดพื้นที่หน่วยความจำของ TMS-320C50

2.8 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณ (Data Acquistion and Conversion)

ในอดีตรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าโดยมากมักจะอยู่ในรูปสัญญาณแอนะลอก การนำเอาสัญญาณไฟฟ้ามาประมวลผล เพื่อให้เกิดรูปแบบที่ต้องการนั้น ต้องใช้อุปกรณ์ทางแอนะลอก แต่ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีทางด้านดิจิตอล ก้าวหน้าไปมาก ทำให้การประมวลผลสัญญาณทางดิจิตอล สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการแปลงรูปแบบสัญญาณ (Conversation) จึงมีความจำเป็นในการแปลง สัญญาณแอนะลอกที่มีอยู่แล้วให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยอุปกรณ์การแปลงสัญญาณ แอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และจะถูกประมวลผลโดยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลเช่น คอมพิวเตอร์ เป็นต้น จากผลลัพธ์ที่ได้อาจถูกนำมาแสดงผลโดยตรงเลย หรืออาจถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณแอนะลอกที่ใช้งานได้ การที่จะแปลงสัญญาณดิจิตอลกลับไปเป็นสัญญาณแอนะลอกนั้น สามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก สำหรับระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลทางดิจิตอลแสดงดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลทางดิจิตอล

จากรูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในลักษณะใดๆ ก็ตาม เช่น อุณหภูมิ, ความดันและความเร็ว จะถูกเปลี่ยนให้มาเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบแอนะลอก โดยเป็นการใช้ทรานสดิวเซอร์ ทฤษฎีการสุ่มที่มีรูปแบบเหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพนั้นๆ จากนั้นสัญญาณทางไฟฟ้าก็จะถูกปรับให้อยู่ในรูปแบบ และขนาดที่เหมาะสมก่อน โดยวงจรต่างๆเช่น วงจรขยาย หรือวงจรกรองสัญญาณ เป็นต้น วงจรแซมเปิลแอนด์โฮลด์ จะสุ่มขนาดของสัญญาณ แอนะลอกมาแล้วจะทำการโฮลด์สัญญาณนั้นไว้ชั่วขณะ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (ADC) แล้วข้อมูลทางดิจิตอลจะถูกส่งต่อไปยังบัสของระบบ จากนั้นตัวโปรเซสเซอร์ จะทำการประมวลผลข้อมูล แล้วเปลี่ยนผลลัพธ์ข้อมูลกลับมา เพื่อควบคุมกิจการทางกายภาพของระบบ

2.9 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

การติดต่อระหว่างมนุษย์ส่วนมากจะใช้สัญญาณต่อเนื่องเป็นสัญญาณติดต่อกัน แต่ว่าการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์จะใช้สัญญาณเป็นช่วงดิจิตอลเป็นสัญญาณในการทำงาน ดังนั้นถ้าเราต้องการที่จะให้คอมพิวเตอร์ช่วยเราทำงานแล้ว เราจึงต้องเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกที่เราใช้อยู่ให้ไปเป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อให้คอมพิวเตอร์ หรือเครื่องประมวลสัญญาณ ดิจิตอลรับรู้ได้ เมื่อประมวลสัญญาณ เสร็จก็จะส่งข้อมูลออกมาเป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งเป็นเรื่องยุ่งยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เราจะเข้าใจในข้อมูลนั้น ดังนั้นจึงเปลี่ยนข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณแอนะลอกเพื่อให้มนุษย์เข้าใจในข้อมูลนั้น ดังนั้นพอสรุปได้ว่าการเปลี่ยนสัญญาณ แอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก ซึ่งเป็นการประสานโลกของ คอมพิวเตอร์เข้ากับโลกของมนุษย์ เพื่อให้มนุษย์ได้ใช้คอมพิวเตอร์ได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้นการเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล (ADC) หรือเรียก A/D ในทำนองเดียวกัน ในการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณแอนะลอก (DAC) เรียกย่อๆ ว่า D/A

2.10 ทฤษฎีของการสุ่มข้อมูล (Sampling)

ในการสุ่มข้อมูลนั้น สัญญาณแอนะลอกจะถูกสุ่มเป็นระยะคงที่ กลุ่มของสัญญาณที่สุ่มจะแทนด้วยความเร็วสูง ซึ่งเกิดจากการตัดต่อสัญญาณแอนะลอกด้วยระยะเวลาอันสั้น ผลของการสุ่มด้วยความเร็วจะเหมือนกับการคูณขบวนสัญญาณพัลซ์ กับสัญญาณแอนะลอก ซึ่งจะได้สัญญาณที่มอดูเลต (Modulated Signal) ระหว่างขบวนพัลซ์กับสัญญาณแอนะลอก

อัตราการสุ่มสัญญาณ หรือความถี่ของการสุ่มสัญญาณควรจะมีค่าเท่าใด ที่ข้อมูลที่สุ่มได้นี้จะเป็นตัวแทนที่ดีของสัญญาณต่อเนื่องนั้น คำตอบคือขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณแอนะลอกและจากทฤษฎีของการสุ่ม (Nyquist Theorem) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า “ถ้าสัญญาณต่อเนื่องที่ความถี่ฮาร์โมนิค (Hamonic Frequency) ไม่เกินความถี่ฟันดาเมนทอลแล้วสัญญาณดังกล่าวจะสามารถเปลี่ยน กลับมาเช่นเดิม โดยไม่สูญเสียรายละเอียด หรือผิดเพี้ยนไป ถ้าอัตราการสุ่มมากกว่า 2f”

2.11 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

การเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอก เป็นสัญญาณดิจิตอล A/D มีขบวนการอยู่หลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียรวมทั้งราคาที่แตกต่างกันไป ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้ ได้ใช้บอร์ด DSK มีชิพแปลงสัญญาณ A/D และ D/A เบอร์ TLC32040C อยู่ในตัว จึงขอกล่าววิธีแปลงสัญญาณอย่างคร่าวๆ ซึ่งมีหลักการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1 A/D แบบ เซอร์โว (Servo)

เป็นแบบที่ง่ายและราคาถูกที่สุด แต่การทำงานไม่เที่ยงตรง อันเนื่องมาจาก อุณหภูมิ เวลา และ ความไวในการรับสัญญาณอินพุต

2.11.2 A/D แบบ ดูอัล-สโลป อินทีเกรต (Dual-Slope Intergrator)

เป็นแบบที่มีความละเอียดถูกต้องสูง ราคาค่อนข้างแพง ทางด้านอุณหภูมิมีผลน้อย แต่มีความเร็วในการทำงานต่ำ

2.11.3 A/D แบบ ซัคเซสซีพ-แอพพร๊อกซิเมชั่น (Successive-Approximation)

เป็นแบบที่ใช้งานกันทั่วไป และเป็นแบบซึ่งทำงานได้อย่างรวดเร็วมีความถูกต้องสูง แต่การสร้างวงจรนั้นต้องใช้ D/A

2.11.4 A/D แบบคอมพาราเตอร์ ขนาน (Parallel-Comparator)

เป็นแบบที่มีความเร็วในการท แต่ราคาก็สูงที่สุดในบรรดา A/D ทุกชนิด หลักการทำงานไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่ต้องใช้ส่วนประกอบอื่นค่อนข้างมาก

2.12 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก

การเปลี่ยน D/A โดยทั่วไปจะสามารถแบ่งตาม ตัวต้านทาน ที่ต่ออยู่สองแบบ คือ

1. แบ่งตามน้ำหนักที่อินพุต (Binary Weighted Resistor Ladder)

ในการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลของเลขไบนารีให้เป็นแรงดันแอนะลอกนั้น จะต้องใช้แรงดันค่าหนึ่งสำหรับหนึ่งบิตของเลขไบนารีที่เข้ามา ค่าแรงดันที่ตำแหน่งบิตจะเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักไบนารี ของบิตนั้นๆ

2. R-2R แลดเดอร์ D/A

เป็นอีกแบบหนึ่งซึ่งจะแก้ปัญหาในการหาความต้านทานซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันมากๆ ให้เป็นวงจรที่ใช้ค่าความต้านทานต่างกันเพียง 2 ค่าเท่านั้น โดยการต่อวงจรที่เรียกว่า R-2R Network หรือ R-2R Ladder สัญญาณอินพุต แต่ละบิตที่ป้อนเข้าวงจร จะทำให้เอาต์พุตที่ได้เปลี่ยนแปลงไป D/A R-2R Ladder เป็นแบบที่ใช้ในการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 การเขียนโปรแกรมและคำสั่ง

2.13.1 การกำหนดสถานะเริ่มต้นสำหรับ TMS-320C50

ทุกครั้งที่มีการใช้งาน TMS-320C50 จำเป็นต้องมีการกำหนดสถานะเริ่มต้น (initialize) ตัวซีพียูก่อนเสมอ ซึ่งต้องทำการเตรียมสภาวะของ โปรเซสเซอร์ให้พร้อม โดยปกติจะทำไว้เมื่อเกิดการรีเซต ซึ่งการรีเซตของ TMS-320C50 จะเกิดขึ้นเมื่อขา $\overline{RS}$ อยู่ในสถานะต่ำ ซึ่งจะทำให้ IPTR (interrupt pointer) ซึ่งอยู่ใน PMST (processor mode status register) เกิดการเคลียร์ทำให้เกิดการแมปเวกเตอร์ไปที่ page 0 ในการเกิด interrupt นั้น เมื่อรีเซตจะทำให้ disable

ในการกำหนดสถานะเริ่มต้นสำหรับโปรเซสเซอร์นั้นจะประกอบด้วย

- การ Map หน่วยความจำ และ รีจิสเตอร์ควบคุม
- การเซต โครงสร้างของ อินเตอร์รัพต์
- โหมดควบคุมต่างๆ (OVM, SXM, PM, AVIS, NDX, TRM)
- การควบคุมหน่วยความจำ (Auxiliary register) และ ตัวชี้รีจิสเตอร์ช่วย
- กำหนดตัวชี้เพจข้อมูล (Data page pointer : DP)

การกำหนดค่าใน PMST (Processor mode status register)

ค่า IPTR เราจะกำหนดที่ IPTR = 1000B หรือเป็นเพจที่ 1 ซึ่งตรงกับโปรแกรมตำแหน่ง 0800h ส่วนการกำหนดการใช้ RAM ภายใน จะต้องใช้ RAM 9K ซึ่งอยู่ในชิป กำหนด RAM, OVLY เป็น "1" RAM ที่ใช้จะเป็น SARAM โดยที่หน่วยความจำโปรแกรมอยู่ที่ 0800h-2BFFh และหน่วยความจำข้อมูลอยู่ที่ 0800h-2BFFh

ในส่วนของการกำหนดอินเตอร์รัพต์เวกเตอร์ (interrupt vector) ในโครงการนี้ มีการกำหนดดังนี้

- Reset 0800h การรีเซตภายนอก
- $\overline{INT}$ 0802h สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากผู้ใช้ภายนอกหมายเลข 1
- $\overline{INT2}$ 0803h สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากผู้ใช้ภายนอกหมายเลข 2
- $\overline{INT3}$ 0804h สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากผู้ใช้ภายนอกหมายเลข 3
- TINT 0808h สัญญาณอินเตอร์รัพต์ไทม์เมอร์ภายนอก
- RINT 080Ah สัญญาณอินเตอร์รัพต์สำหรับการรับค่าจากพอร์ตอนุกรม
- XINT 080Ch สัญญาณอินเตอร์รัพต์สำหรับการส่งค่าให้พอร์ตอนุกรม
- $\overline{INT4}$ 0812h สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากผู้ใช้ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- TRAP 0822h คำสั่งซอฟท์แวร์แทรป (Software trap instrucion)

- NMI 0824h นอนมาสเคเบิ้ลอินเตอร์รัพต์ (Nonmaskable interrupt)

ก่อนการใช้อินเตอร์รัพท์จะต้องไม่ mask อินเตอร์รัพท์ ตัวนั้นๆ โดยใช้คำสั่ง clrc INTM ส่วน IMM จะแอคทีฟที่ "1"

ตัวอย่าง

```
setc    INTM  ; กำหนด INT , XING
SPLK  #013h  ; RINT แอคทีฟ
clrc    INTM  ;
```

ในโครงการนี้ใช้ INT2, RINT , XINT แอคทีฟ

2.13.2 การเขียนโปรแกรมทางด้านคณิตศาสตร์และลอจิก (Logic and Arithmetic Operations)

TMS-320C50 มีPLU (Parallel Logic Unit) ซึ่งจะเป็นการกระทำทางลอจิกที่มีความเร็วมาก ในส่วนนี้มีรีจิสเตอร์ซึ่งใช้ในการประมวลผล ประกอบไปด้วย

1. สเกลลิงชิฟเตอร์ (scaling shifter)16 บิต
2. ตัวคูณแบบขนาน 16 X 16 บิต
3. อริธเมติก ลอจิก ยูนิต (arithmetic logic unit: ALU) 32 บิต
4. แอคคิวมูเลเตอร์ (accumulator : ACC) 32 บิต
5. แอคคิวมูเลเตอร์บัฟเฟอร์ (accumulator buffer : ACCB) 32 บิต

ซึ่งมีประสิทธิภาพในการประมวลผล ทางด้าน คณิตศาสตร์ และ ลอจิก ที่จำเป็นในการใช้งานทางด้านการประมวลผล ทางดิจิตอล

การใช้สเกลลิงชิฟเตอร์ (scaling shifter) โปรเซสเซอร์ตัวนี้สามารถประมวลผลแล้วทำการเลื่อนบิตได้ ทำให้สะดวกสำหรับการคูณในรูป ตัวอย่างเช่น

```
LACC  #0111h, 8
```

ซึ่งเป็นการโหลดค่าเข้า ACC ด้วยค่า 01111h แต่จะเลื่อนไป 8 bit ผลคือ

ACC = 0111100000000B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.3 คำสั่งของ TMS-320C50 ที่สำคัญ

ในการใช้งานของโปรเซสเซอร์เบอร์TMS-320C50 จะต้องเขียนโปรแกรมเป็นภาษาแอสเซมบลีจึงจำเป็นต้องทราบคำสั่งและวิธีใช้ซึ่งมีอยู่มากมาย สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. คำสั่งที่เกี่ยวกับแอคคิวมูเลเตอร์และหน่วยความจำซึ่งเป็นคำสั่งที่ใช้บ่อย และสำคัญ

LACC โหลด ACC โดยการชิฟต์เข้ามา

LACL โหลดค่าเข้ามาในเวิร์ดต่ำของ ACC

ซึ่งคำสั่งเป็นการนำค่ามาเก็บไว้ที่แอคคิวมูเลเตอร์ซึ่งมีขนาด 32 bit จะมีทั้งนำมาเก็บทั้ง 32 bit หรือขนาด 16 bit คำสั่งจะอำนวยความสะดวกในการใช้งานเพราะมีการเลื่อนข้อมูลเข้ามาด้วย

SACH เก็บค่าในเวิร์ดสูงของ ACC โดยการชิฟต์เข้ามา

SACL เก็บค่าในเวิร์ดต่ำของ ACC โดยการชิฟต์เข้ามา

จะตรงข้ามกับคำสั่งที่ผ่านมา ซึ่งจะมีทั้ง 32 บิต และ 16 บิต ส่วนอีกคำสั่งหนึ่งเป็นการติดต่อระหว่าง ACC กับ เมมโมรีรีจิสเตอร์แมป (memory register map) คือ

SAMM ส่งค่า ACCL ไปยังเมมโมรีแมปรีจิสเตอร์

LAMM โหลด ACC ด้วยค่าในเมมโมรีแมปรีจิสเตอร์

2. คำสั่งเกี่ยวกับ รีจิสเตอร์ช่วย และ เพจข้อมูล

LAR โหลด AR

LDP โหลดเพจข้อมูล

MAR ขยายรีจิสเตอร์ช่วย (Modify Auxiliary register)

ซึ่งมีรีจิสเตอร์ช่วย ถึง 8 ตัวคือ ARO - AR7 ในการใช้งานจะต้องกำหนด ARP (Auxiliary Register Pointer) ด้วย ส่วนในการกำหนดเพจ ของข้อมูลมีทั้งหมด 512 เพจ เพจละ 128 เวิร์ด ซึ่งจะกล่าวในเรื่องหน่วยความจำอีกครั้งหนึ่ง

3. คำสั่งเกี่ยวกับ พาราลเลลลอจิกยูนิต (Parallel Logic Unit)

TMS-320C50 มีคำสั่งเกี่ยวกับ logic ซึ่งจำเป็นในการใช้งานถึงระดับบิต ที่สำคัญ คือ

SPLK เก็บค่าลงบนหน่วยความจำข้อมูล

ซึ่งเป็นคำสั่งการเก็บค่าลงบนหน่วยความจำข้อมูล ซึ่งกระทำในระดับบิต ส่วนมากจะใช้ในการควบคุมบิตต่าง ๆ ในรีจิสเตอร์ ที่จำเป็นไม่ว่าจะเป็น PMST (Processor mode status register) , IMR (Interrupt mask register) , BRCR (Block repeat countor register) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คำสั่งในการคูณ

ในการประมวลผลการคูณมีความจำเป็นอย่างมาก TMS-320C50 จึงมีคำสั่งที่ใช้รองรับเกี่ยวกับการประมวลผลทางดิจิตอลไว้มาก ไม่ว่าจะเป็นการคอนโวลูชัน (convolution) และคอร์รีเลชัน (correlation)

LT โหลด TREGO

MACD การคูณ / แอคคิวมูเลต (accumulate) โดยชิฟต์ข้อมูล

ZPR Zero product register

คำสั่ง MACD เป็นการคูณแล้วเลื่อนข้อมูลไปในตัวซึ่งสะดวกในการทำ คอนโวลูชัน

5. คำสั่งสำหรับการกระโดด

B กระโดดโดยไม่มีเงื่อนไข

BANZ กระโดด ถ้า ARX = 0

BCND กระโดดโดยมีเงื่อนไข

CALL เรียกโดยไม่มีเงื่อนไข

RETI รีเทอร์นอินเตอร์รัพต์ (Return interrupt)

RET รีเทอร์น (Return)

จะเห็นว่าคำสั่ง BCND (Branch condition) จะเป็นคำสั่งสำคัญเพราะมีเงื่อนไขมากดังนี้

ACC = 0 EQ

ACC **0 NEQ

ACC < 0 LT

ACC ≤ 0 LEQ

ACC > 0 GT

ACC ≥ 0 GEQ

C = 0 NC

C = 1 C

OV = 0 NOV

OV = 1 OV

$\overline{BIO}$ low BIO

TC = 0 NTC

TC = 1 TC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Uncondition UNC

6. คำสั่งเกี่ยวกับการควบคุมระบบ

จากที่ได้กล่าวในพาราลเลลลอจิกยูนิต (Parallel Logic Unit) ซึ่งกระทำระดับบิตจำเป็นสำหรับการควบคุมระบบแล้ว ยังมีคำสั่งซึ่งเจาะจงระดับบิต มากขึ้น ดังนี้

SETC เซตบิต

CLRC เคลียร์บิต

BIT ทดสอบบิต

ซึ่งคำสั่ง BIT จะใช้มากเพราะมีเงื่อนไขหลายอย่างเช่น BIT 0h, 15 เลข 15 จะเป็นตัวกำหนดบิต ซึ่งมีได้ตั้งแต่ 0 ถึง 15 นั้น หมายถึง เราจะทดสอบบิตได้ทุกบิตทุกตำแหน่งในหน่วยความจำด้วย

2.14 การแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย (Discrete Fourier Transform : DFT)

เนื่องจากผลการแปลงฟูริเยอร์เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่มีประโยชน์ โดยเฉพาะในการวิเคราะห์และศึกษาระบบทางอิเล็กทรอนิกส์ และการมีวิธีการคำนวณการแปลงที่มีประสิทธิภาพ และเหมาะสมที่ใช้ในการคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์จึงเป็นสิ่งที่จำเป็น ทว่าในนิยามของการแปลงฟูริเยอร์ที่กล่าวมา การคำนวณเป็นการหาค่าอินทิกรัล ซึ่งอาจหาคำตอบได้หรือไม่ได้ ขึ้นกับลักษณะของฟังก์ชั่น และการคำนวณหาค่าอินทิกรัล เช่น สมการที่ (2.1) และ (2.2) โดยใช้คอมพิวเตอร์จะเป็นการทำการวนรอบเพื่อหาคำตอบ ซึ่งใช้เวลาในการคำนวณนานและไม่แน่ว่าจะมีการลู่เข้าของคำตอบหรือไม่ ในทางกลับกัน ถ้าหากเราสามารถมีการแปลงแบบใหม่ที่การคำนวณ ใช้อนุกรมจำกัดให้ค่าใกล้เคียงกับการแปลงเดิม แต่ใช้เวลาในการคำนวณน้อย การแปลงใหม่นี้จะเป็นประโยชน์อย่างมาก การแปลงที่จะกล่าวถึงเรียกว่า การแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย ซึ่งจะได้แสดงให้เห็นต่อไปว่า นอกจากเป็นประโยชน์สำหรับการคำนวณ การแปลงฟูริเยอร์แล้วยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณผลประสานหรือผลการสหสัมพันธ์ ได้ด้วย

$$X(t) = (1/2\pi) \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \exp(-jwt)\ dw \qquad (2.1)$$

$$X(w) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \exp(-jwt)\ dt \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.14.1 นิยามของการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย

ถ้าให้ $X_p(t)$ เป็นฟังก์ชั่นต่อเนื่องและมีคุณสมบัติเป็นคาบ โดยที่คาบเป็น T_p หรือเขียนได้ว่า

$$X_p(t) = X_p(t + mT_p) \tag{2.3}$$

โดยที่ m เลขเป็นจำนวนเต็มใดๆ ในเชิงคณิตศาสตร์ฟังก์ชั่นแบบนี้อาจเขียนแทนได้ด้วยอนุกรมฟูริเยอร์ได้ดังนี้

$$X_p(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_p(k) \exp(j2\pi k f_o t) \tag{2.4}$$

โดยที่ $f_o = 1/T_p$ ซึ่งเป็นค่าความถี่หลักมูลและการเขียนแทนนี้เป็นจริงสำหรับในช่วง $\phi < t < T_p$ ส่วนสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูริเยอร์ $X_p(k)$ จะหาได้จาก

$$X_p(k) = (1/T_p) \int_0^{T_p} X_p(t) \exp(-j2\pi k f_o t)\, dt \tag{2.5}$$

การเขียนสมการที่ (2.3) และ (2.5) ถึงแม้ว่า $X_p(t)$ เป็นค่าจริงและ $X_p(k)$ เป็นค่าเชิงซ้อน แต่โดยทั่วไปแล้วไม่ได้จำกัดว่าต้องเป็นเช่นนี้เสมอไป $X_p(t)$ อาจเป็นค่าเชิงซ้อน และ $X_p(t)$ เป็นค่าจริงหรือเป็นค่าเชิงซ้อนทั้งคู่ก็ได้ ข้อที่น่าสังเกตก็คือ $X_p(t)$ เป็นฟังก์ชั่นแบบต่อเนื่องและสเปกตรัมของมันมีค่าเป็น ฟังก์ชั่นเต็มหน่วย

มาดูว่าอนุกรมฟูริเยอร์เป็นอย่างไร ถ้าหากเราทำการสุ่ม สัญญาณแบบต่อเนื่องและเป็นคาบ Xp (t) การที่จะทำการสุ่มสัญญาณได้นั้น โดยสัญญาณต้องมีแถบความถี่ปฏิบัติงานที่แน่นอน (ถ้าหากสัญญาณนั้นๆ ไม่มีแถบความถี่ปฏิบัติงานหรือมีแต่กว้างมาก เราอาจทำการกำหนดแถบความถี่ปฏิบัติงานของมันได้โดยการป้อนผ่าน วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำเสียก่อน) ถ้าสมมุติให้แถบความถี่ปฏิบัติงาน เป็น f_i หรือให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30130

$$X_p(k) = \phi \quad \text{เมื่อ} \quad |k| > k_1$$

โดยที่ k1 เป็นเลขจำนวนเต็มใดๆ ที่ทำให้ได้ความสัมพันธ์ของความถี่เป็น

$$k_1 \cdot f_o = f_1$$

กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ เรากำหนดให้สเปกตรัมของความถีที่เกินค่า f1 มีค่าแอมปลิจูดเป็นศูนย์ ดังแสดงในรูป 2.4 (b) โดยอาศัยทฤษฎีของการสุ่มตัวอย่างสัญญาณที่กล่าวไว้ว่า ค่าความถี่ของสัญญาณสุ่มตัวอย่างอย่างน้อยที่สุดต้องเป็น 2 เท่าของแถบความถี่ปฏิบัติงาน หรือในกรณีนี้ต้องเท่ากับ $2f_1$ เพราะฉะนั้น ช่วงเวลาสุ่มตัวอย่าง T ที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างสัญญาณนี้มีค่าเท่ากับ

$$T = 1/2f_1 = 1/2k_1 f_o = T_p/2k_1$$

และถ้าให้ในหนึ่งคาบ ของสัญญาณเราทำการสุ่มออกเป็น N ช่วงด้วยกันทำให้ได้ว่า $2k_1 = N$ ดังนั้นสัญญาณ $X_p(t)$ ที่อยู่ในช่วง $\phi < t < T_p$ เมื่อถูกสุ่มออกเป็น N ช่วงนี้สามารถเขียนสมการแทนได้เป็น

$$x(t/T) = \sum_{n=0}^{N-1} x_p(t/T) \cdot \delta((t/T)-n) \qquad (2.6)$$

โดยที่ t/T เป็นเวลาบรรทัดฐานหรือเวลานอร์แมไลซ์ (normalized time) ซึ่งนิยามในช่วง $\phi \le t < T_p$ หรือ $\phi \le t/T < N$ เนื่องจากสัญญาณ x (t/T) ใน (2.6) เป็นสัญญาณแบบเป็นคาบเช่นกัน ดังนั้นจึงอาจหาสัมประสิทธิ์ฟูริเยอร์ของมันได้คือ

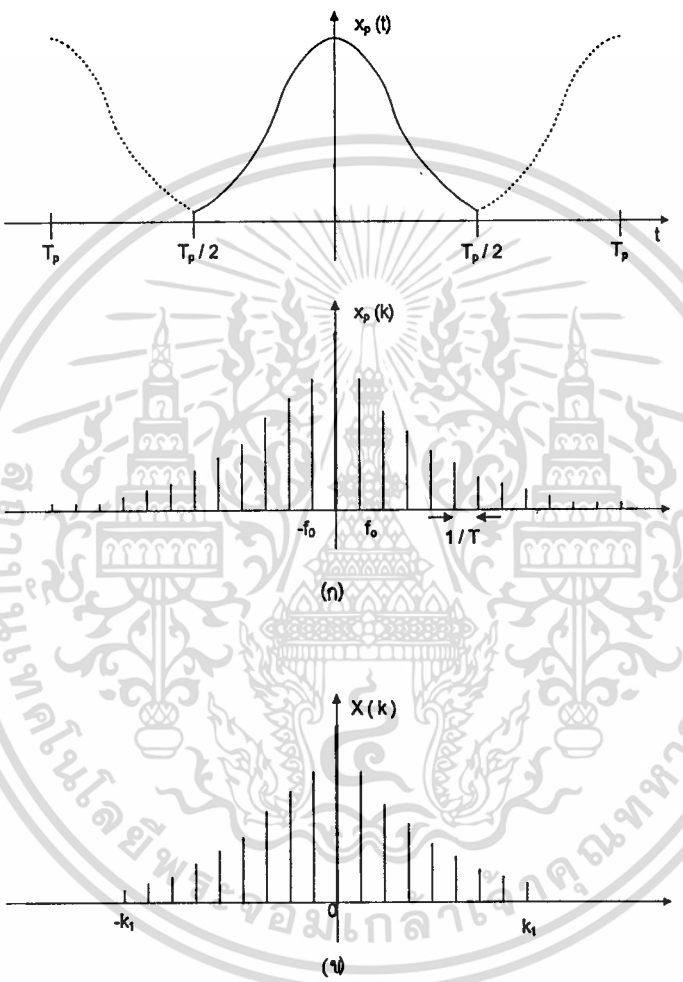
$$X(k) = (1/N) \int_0^{N-1} x(t/T) \cdot \exp\{(-j2\pi k/N) \cdot (t/T)\}\, d(t/T)$$

และเมื่อแทนค่า x (t/T) จาก (2.6) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X(k) = (1/N) \int_0^{N-1} \left\{ \sum_{n=0}^{N-1} xp(t/T) \cdot \delta(t/T-n) \right.$$

$$\left. \cdot \exp\{(-j2\pi k/N) \cdot (t/T)\} \cdot d(t/T) \right\}$$



รูปที่ (2.4) สเปกตรัมของสัญญาณที่มีแถบความถี่ปฏิบัติงานจำกัด

(ก) สัญญาณเป็นคาบและสเปกตรัมของมัน

(ข) สเปกตรัมเมื่อจำกัดแถบความถี่ปฏิบัติงาน

และจากคุณสมบัติของอิมพัลส์ $\delta(t_o)$ ที่นิยามว่า

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t/T) \cdot \delta((t/T)-n) \cdot d(t/T) = f(n)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นทำให้ได้

$$X'(k) = (1/N) \sum_{n=0}^{N-1} x_p(n) \cdot \exp\{-j2\pi kn/N\}$$

และโดยความจริงแล้วที่จุดที่ทำการสุ่มสัญญาณ สัญญาณที่สุ่มมา x (n) มีค่าเท่ากับ x_p (n) ดังนั้น

$$X'(k) = (1/N) \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \exp\{-j2\pi kn/N\} \quad (2.7)$$

แต่โดยทั่วไปจะนิยามให้

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \exp\{-j2\pi kn/N\} \quad (2.8)$$

สมการนี้มีชื่อเรียกว่าเป็นการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย หรือ DFT ของลำดับสัญญาณ x (n) [8] สำหรับการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วยผกผัน (Inverse Discrete Fourier Transform หรือ IDFT) สามารถหาได้จากสมการที่ (2.4) โดยการแทนให้ t = nT และ x_p (t) = x (n) และจาก (2.7) และ (2.8) จะได้ว่า

$$x(n) = (1/N) \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \cdot \exp\{j2\pi kn/N\} \quad (2.9)$$

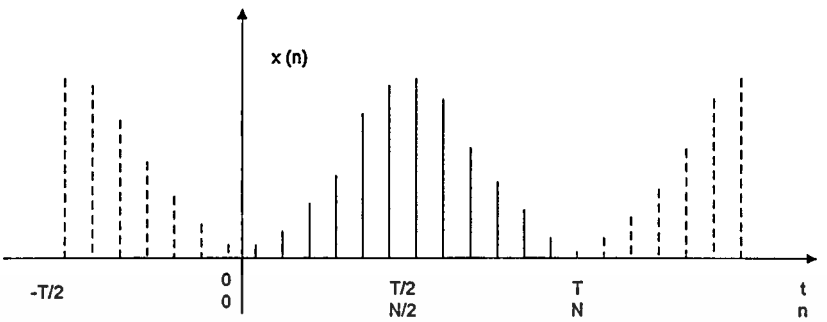
โดยที่ลำดับสัญญาณและลำดับของสเปกตรัมต้องมีคุณสมบัติความเป็นคาบด้วย หรือ

$x(n) = x(n + mN)$ เมื่อ N เป็นเลขจำนวนเต็มใด ๆ

$x(k) = X(k + mN)$ เมื่อ m เป็นเลขจำนวนเต็มใด ๆ

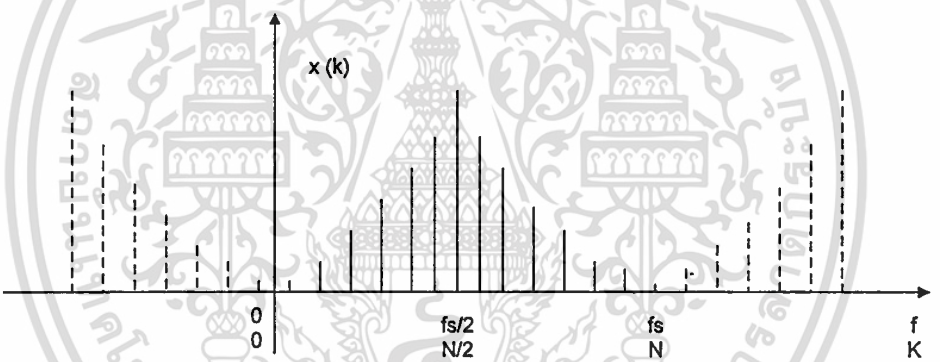
คุณสมบัติความเป็นคาบของลำดับ x (n) นั้นมาจากสมมุติฐานตอนแรกที่เราทำการสุ่มสัญญาณที่เป็นคาบ ส่วนคุณสมบัติความเป็นคาบ X (k) เป็นผลมาจากว่าสัญญาณที่ถูกสุ่มตัวอย่างมาสเปกตรัมของมันมีความเป็นคาบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$X(k) = 1/N \sum_{n=0}^{N-1} x(n)\, e^{-j2\pi nk/N}$$

(ก)



$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k)\, e^{j2\pi nk/N}$$

(ข)

รูปที่ 2.5 (ก) ลำดับสัญญาณที่ทำการสุ่มตัวอย่างจากฟังก์ชั่นต่อเนื่อง และเป็นคาบ
(ข) สเปกตรัมของรูป (ก)

กล่าวโดยสรุปคือ จากที่ทำการสุ่มฟังก์ชั่นเป็นคาบและต่อเนื่อง x_p (t) ออกเป็นฟังก์ชั่นเต็มหน่วย จำนวน N ลำดับด้วยกัน สเปกตรัมของลำดับเต็มหน่วยนี้หาได้โดยใช้สมการที่ (2.8) และเมื่อทำการเปรียบเทียบสเปกตรัมของลำดับเต็มหน่วยกับสเปกตรัมของฟังก์ชั่นต่อเนื่องตัวต้นแบบ ในช่วง $\phi < k < N-1$ แล้วปรากฏว่าเท่ากันทุกประการ ต่างไปแต่ว่าสเปกตรัมของลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เต็มหน่วยมีคุณสมบัติความเป็นคาบด้วย ซึ่งผลนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 (ข) ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของการคำนวณสเปกตรัมโดยใช้สมการที่ (2.8) ก็คือ สมการนี้เหมาะเป็นอย่างยิ่งที่จะใช้ในคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการคำนวณมีค่าแน่นอน

2.14.2 คุณสมบัติบางประการของ DFT

เนื่องจากการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วยมีพัฒนาการมาจากการแปลงฟูริเยอร์ ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติเหมือนกับการแปลงฟูริเยอร์ ซึ่งเราจะกล่าวถึงคุณสมบัติที่สำคัญ รวมทั้งคุณสมบัติบางประการที่ช่วยทำให้เกิดพัฒนาการของการแปลงฟูริเยอร์แบบอื่นๆ ดังเช่น ในการแปลงเชิงทฤษฎีจำนวน เป็นต้น

2.14.3 คุณสมบัติเชิงเส้น

ถ้าให้ X (k) เป็นการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วยของ x (m) และ y (k) เป็นการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วยของ y (m) และถ้า z (m) = ax (m) + by (m) ดังนั้นการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย Z (k) จะเป็น

$$Z(k) = aX(k) + by(k) \qquad (2.10)$$

2.14.4 คุณสมบัติสังยุคเชิงซ้อน

ถ้าให้ x (0), x (1),...., x (N-1) เป็นลำดับของค่าจริงและ N เป็นเลขจำนวนเต็มบวกที่เป็นคู่ ถ้า X (k) เป็นการแปลงฟูริเยอร์เต็มหน่วย ของ x (m) ดังนั้น

$$X\{(N/2) + \ell\} = X^{*}\{(N/2)-\ell\} \quad ; \quad \ell = 0,1,....,N/2 \qquad (2.11)$$

เมื่อ X^{*} หมายถึงค่าสังยุคเชิงซ้อนของ X

2.14.5คุณสมบัติการประสาน

ถ้าให้ x (m) และ y (m) เป็นลำดับค่าจริงคู่หนึ่งที่มีคาบเป็น N และให้ X (k) กับ Y (k) เป็น DFT ของลำดับทั้งสองตามลำดับ ดังนั้นผลการประสาน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$z(m) = x(m) * y(m)$$

$$= (1/N) \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cdot y(m-k) \qquad ; m = 0,1,...,N-1 \qquad (2.12)$$

ซึ่งจะมี DFT เป็น

$$Z(k) = X(k) \cdot Y(k) \qquad (2.13)$$

ผลตามสมการที่ (2.12) และ (2.13) ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการคำนวณหาผลการประสานของลำดับที่มีความยาวมาก (long sequence) ทั้งนี้เพราะการคำนวณผลการประสานของลำดับยาวโดยตรงจากสมการที่ (2.12) เราต้องทำการคูณสัญญาณจำนวนมากครั้ง ซึ่งการคูณค่าสัญญาณนี้เป็นกระบวนการที่สิ้นเปลืองเวลามากกว่าการบวกมากผลของสมการที่ (2.13) ทำให้เราสามารถคำนวณผลการประสานโดยทางอ้อมได้ โดยในเบื้องแรกจะแปลงลำดับ x (m) และ y (m) ไปในโดเมนความถี่ X (k) และ Y (k) ตามลำดับ จากนั้นทำการคูณกันในโดเมนความถี่แล้วทำการหาค่า ผลการแปลงผกผัน หรือ IDFT เพื่อให้ได้ลำดับ z (m) หรือ เขียนเป็นสมการได้คือ

$$z(m) = IDFT\ [Z(k)] = IDFT\ [X(k) \cdot Y(k)] \qquad (2.14)$$

โดยที่

$$z(m) = (1/N) \sum_{K=0}^{N-1} x(n)\ y\ [(m-n)\ \text{mod}\ N] \qquad (2.15)$$

ซึ่งเครื่องหมาย [(m-n) mod N] หมายถึง เศษเหลือจากการหารพจน์ (m-n) ด้วย N การทำตามขั้นตอนโดยวิธีอ้อมนี้ดูแล้วอาจเสียเวลามาก แต่ในปัจจุบันเรามีขั้นตอนวิธีที่เรียกว่าการแปลงฟาสท์ฟูริเยอร์ หรือ FFT ที่สามารถคำนวณหา DFT และ IDFT ได้อย่างรวดเร็วมากจึงทำให้การคำนวณหาผลการประสานนิยมใช้วิธีอ้อมตามสมการที่ (2.14) มากขึ้น

อย่างไรก็ตามการคำนวณผลการประสานโดยใช้ DFT มีข้อควรระวังในการประยุกต์ใช้คือ เนื่องจาก DFT มักประยุกต์ใช้กับลำดับ x (n) หรือ y (n) ที่มีคุณสมบัติเป็นคาบและผลการแปลงผกผันของมันก็มีคุณสมบัติเป็นคาบด้วยดังสมการที่ (2.15) ซึ่งผลการประสานที่มีคุณสมบัติความเป็นคาบนี้มีชื่อเรียกว่า การประสานวัฏจักร (cyclic convolution) ดังนั้นการนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFT ไปช่วยคำนวณผลประสานของลำดับที่มีคุณสมบัติไม่เป็นคาบ หรือเรียกว่า การประสานเชิงเส้น โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าถูกต้องอาจทำได้โดยการ เติมลำดับศูนย์ เข้ากับลำดับสัญญาณ x (n) และ y (n) ให้มีจำนวนศูนย์มากพอเพียง จนคุณสมบัติความเป็นคาบตาม สมการที่ (2.15) ไม่มีผลต่อการคำนวณ

2.14.6คุณสมบัติสหสัมพันธ์

ให้ x (m) และ y (m) เป็นลำดับค่าจริงคู่หนึ่งที่มีคาบ N และมี DFT เป็น X (k) และ Y (k) ตามลำดับ ดังนั้น สหสัมพันธ์ (correlation) ของลำดับทั้งสองคือ

$$z(m) = (1/N) \sum_{n=0}^{N-1} x(k) \cdot y(m+k) \quad ; \quad m = 0,1,..., N-1 \qquad (2.16)$$

ซึ่งมี DFT เป็น

$$Z(k) = X^{*}(k) \cdot Y(k) \qquad (2.17)$$

2.14.7 ทฤษฎีของปาร์เซอวาล

ขอเริ่มโดยสมมุติให้ฟังก์ชั่นของเวลา x (n) และ y (n) ที่มี DFT เป็น X (k) และ Y (k) ตามลำดับ และเพื่อความสะดวกจะเขียนแทนโดยให้ $w = \exp\{j2\pi/N\}$ ดังนั้นจะได้

$$y(n) = (1/N) \sum_{k=0}^{N-1} Y(k) \cdot W^{nk} \quad , \quad k = 0,1,..., N-1$$

ทำให้ $$y^{*}(n) = (1/N) \sum_{k=0}^{N-1} y^{*}(k) \cdot W^{-nk}$$

ด้วย โดยที่ * แสดงถึงค่าสังยุค

ค่าผลรวมของผลคูณของลำดับ x (n) และ y* (n) หาได้จาก

$$\sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot y^{*}(n) = (1/N) \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} Y^{*}(k) . W^{-nk} \right\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= (1/N) \sum_{n=0}^{N-1} y^*(k) \cdot \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot w^{-nk}$$

$$= (1/N) \sum_{n=0}^{N-1} X(k) \cdot Y^*(k)$$

จากการพิสูจน์มาตามลำดับนี้ถ้าเราเลือกให้ $y(n) = x(n)$ และเนื่องจาก $x(n).x^*(n) = |x(n)|^2$ ดังนั้นทำให้

$$\sum_{n=0}^{N-1} |x(n)|^2 = = (1/N) \sum_{n=0}^{N-1} |x(n)|^2 \quad \ldots \qquad (2.18)$$

สมการสุดท้ายนี้มีชื่อเรียกว่า ทฤษฎีของปาร์เซอวาล ทฤษฎีนี้แสดงความสัมพันธ์ว่า ผลรวมของกำลังงานของฟังก์ชั่นเต็มหน่วยในโดเมนเวลา จะเท่ากับผลรวมของกำลังงานของแต่ละความถี่ที่ (โดยไม่คำนึงถึงค่าเฟส) กระจายอยู่ในสเปกตรัมของความถี่

2.14.8 คุณสมบัติเชิงตั้งฉาก (Orthogonality)

คุณสมบัติเชิงตั้งฉาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญเป็นอย่างยิ่ง มีว่า

$$\sum_{m=0}^{N-1} W^{m(n+p)} = \sum_{m=0}^{N-1} W^{mn} \cdot W^{mp}$$

$$= N \quad \text{ถ้า } n \,(\text{mod } N) = -p \quad \text{หรือ} \quad n = -p \qquad (2.19)$$

$$= 0 \quad \text{ถ้า } n \,(\text{mod } N) \neq -p \quad \text{หรือ} \quad n \neq -p$$

โดยที่พจน์ $n \,(\text{mod } N) = a$ นั้น หมายถึงว่า n ถูกหารด้วย N ไปเรื่อยๆ จนในที่สุดมีเศษเหลือเท่ากับ a ตัวอย่างเช่น $12 \,(\text{mod } 5) = 2$ เป็นต้นกล่าวอีกนัยหนึ่งความหมายของพจน์นี้ก็คือ

$n = bN + a$ เมื่อ b เป็นเลขจำนวนเต็มใดๆ

การพิสูจน์ เงื่อนไขที่ 1 นั้นทำได้โดยเมื่อ $n \,(\text{mod } N) = -p$ หรือ $n = bN - p$ ทำให้

$$W^{mn} \cdot W^{mp} = W^{mbN}$$

$$= \exp(j2\pi mbN/N) = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแทนค่ากลับเข้าไป ทำให้ผลรวมของ 1 ที่บวกกัน N ครั้ง ย่อมเท่ากับ N หรือ

$$\sum_{m=0}^{N-1} W^{mn} \cdot W^{mp} = \sum_{m=0}^{N-1} W^{mbN} = \sum_{m=0}^{N-1} 1 = N$$

สำหรับการพิสูจน์เงื่อนไขที่ 2 ทำได้เช่นเดียวกัน แต่คราวนี้

$$W^{mn} \cdot W^{mp} = W^{mC} = \exp(j2\pi mC/N)$$

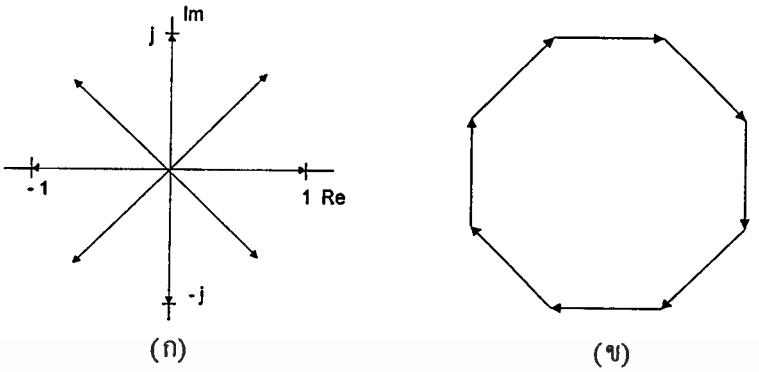
โดยที่ C เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าไม่เป็น 0 หรือ ไม่เท่ากับพหุคูณของ N ซึ่งทำให้

$$W^{mC} \neq 1$$

ทีนี้มาดูคุณสมบัติของ W ซึ่งเป็นรากของหนึ่งที่มีอันดับ N (N^{th} roots of unity) และสามารถเขียนแทนได้ด้วยแผนภาพของเวกเตอร์ได้ดังรูปที่ 3.1.3 ซึ่งเป็นแผนภาพสำหรับ N = 8 แผนภาพของเวกเตอร์ยังคงมีลักษณะเหมือนเดิมถึงแม้ กำลังของพจน์ W จะเป็น mC ก็ตาม เมื่อนำเวกเตอร์เหล่านี้มารวมกันผลรวมจะเป็นศูนย์

แนวคิดของคุณสมบัติเชิงตั้งฉากนี้มีความสำคัญ ดังตัวอย่างที่แสดงว่า การแปลงใดที่มีคุณสมบัติความตั้งฉากมันก็จะมีการแปลงผกผันด้วย ผลการแปลงเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหา DFT หรือผลการแปลงผกผันได้เช่นเดียวกัน ซึ่งแนวความคิดนี้ทำให้เกิดการพัฒนาการของการแปลงเชิงทฤษฎีจำนวน (Number Theoretic Transform : NTT) [9-11] เช่น การแปลงเชิงจำนวน (Fermat Number Transform : FNT) [12] การแปลงเชิงจำนวนแฟร์มาต์ (Mersenne Number Transforms : MNT) [13] การแปลงพีแอดิค (p-adic transform) [14] หรือ การแปลงโคไซน์เชิงเลข (Digital cosine transform) [15] เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 2.6 (ก) แผนภาพแสดงเวกเตอร์ W

(ข) ผลรวมของมัน

2.14.9 การใช้ DEF ในการคำนวณ IDFT

จากสมการในการคำนวณ DFT ถ้าเราให้ $W = \exp\{j2\pi/N\}$ และเขียนกระจายเป็นแต่ละเทอมได้

$$X(k) = [\,x(0).W^{0} + x(1)W^{-1k} + \ldots + x(N-2).W^{-(N-2)k} + x(N-1).W^{-(N-1)k}\,]$$

จากนั้นเขียนกลับอันดับโดยเริ่มจากท้ายไปหน้า

$$X(k) = [\,x(N-1).W^{-(N-1)k} + x(N-2).W^{-(N-2)k} + \ldots + x(0).W^{0}\,]$$

$$= [\,x(N-1).W^{-Nk}.W^{+k} + x(N-2).W^{-Nk}.W^{+2k} + \ldots + x(0).W^{-nk}.W^{+Nk}]$$

เพราะว่าพจน์ $W^{-Nk} = \exp(-j2\pi k) = 1$ เมื่อ k เป็นจำนวนเต็ม

เพราะฉะนั้นถ้าเขียนโดยย้ายพจน์ x(0) เพียงพจน์เดียวมาไว้ข้างหน้าจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X(k) = [x(0) \cdot W^{0} + x(N-1) \cdot W^{+k} + \ldots + x(1)\ W^{+(n-1)k}] \qquad (2.20)$$

ซึ่งทางด้านขวาของสมการข้างบนนี้ ก็คือรูปแบบของสมการของIDFT (ดูสมการที่ (2.9) เพื่อเปรียบเทียบ)

ดังนั้น สมการนี้บอกเราว่า ถ้าหากมีโปรแกรมหรือวงจรที่ใช้สำหรับคำนวณ DFT แล้ว โปรแกรมหรือวงจรนั้นก็สามารถใช้ คำนวณ IDFT ได้ เพียงแต่ต้องจัดเรียงลำดับของข้อมูลใหม่ โดยให้ x (0) ยังอยู่ที่เดิมแล้วทำการสลับตำแหน่งเช่นของ x (1) กับ X (N-1) ,X (2) กับ X(N-2) ,... ไปตามลำดับ และต้องไม่ลืมว่าการหา IDFT เราต้องการหารลำดับทั้งหมดด้วยค่า N ด้วย

2.14.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง DFT และการแปลงแซด

สมมุติว่าถ้ามี ลำดับยาวจำกัด x(n) ที่นิยามเฉพาะค่าในช่วง

$$X(n) = Xp(n) \qquad \text{สำหรับ } 0 < n < N-1$$
$$= 0 \qquad \text{สำหรับ } n \text{ ค่าอื่นๆ}$$

โดยให้ $X_p(n)$ เป็นลำดับสัญญาณที่มีคุณสมบัติเป็นคาบ และมีช่วงของคาบยาวเท่ากับ N ลำดับสังเกตุว่า x (n) มีค่าเฉพาะในคาบเดียวของ $x_p(n)$ เพราะฉะนั้นการแปลงแซดของ x (n) คือ

$$X(Z) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)\ Z^{-n}$$

เมื่อทำการหาค่าของ $X_p(Z)$ ที่จุดต่างๆ บนเส้นรอบวงของวงกลมหนึ่งหน่วยของระนาบแซดด้วยค่า $Z = \exp(j2\pi k/N)$ และด้วยมุมที่ห่างกันเท่ากับ $2\pi k/N$ จะได้

$$x(Z)\Big|_{Z = \exp(j2\pi k/N)} = X\{\exp(j2\pi k/N)\}$$
$$= \sum_{n=0}^{N-1} x(n)\ \exp(-j2\pi kn/N) \qquad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากสมการที่ (2.21) เมื่อกำหนดให้ $x_p(n) = x(n)$ ในช่วง $0 < n < N-1$ หา DFT ได้

$$X_p(k) = X\{\exp(j2\pi k/N)\} \qquad (2.22)$$

ผลแสดงให้เห็นว่าสมการที่ (2.21) เท่ากับ (2.22) นั่นคือ ทำให้สรุปได้ว่าสัมประสิทธิ์ของ DFT ของลำดับยาวจำกัดนั้นก็คือ ผลการแปลงแซดของลำดับนั้นที่ทำการหารอบจุดที่ห่างเท่าๆ กัน N จุดรอบวงกลมหนึ่งหน่วย นั่นเอง

2.14.11 สหสัมพันธ์ และการประสานในรูปของเมตริกซ์

ให้ x (m) และ y (m) เป็นลำดับคาบ N คู่หนึ่งดังนั้น เช่นที่เรากล่าวมาก่อนหน้าแล้วว่าสหสัมพันธ์และผลการประสานของลำดับทั้งสองมีนิยามเป็น

$$\hat{Z}(m) = (1/N) \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot y(m+n)$$

และ

$$Z(m) = (1/N) \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot y(m-n)$$

ตามลำดับ เพื่อความสะดวกขอให้พิจารณากรณี N = 3 ดังนั้นค่าสหสัมพันธ์ ทั้งหมดคือ

$$\hat{Z}(0) = (1/3)\,[x(0)\,y(0) + x(1)\,y(1) + x(2)\,y(2)]$$
$$\hat{Z}(1) = (1/3)\,[x(0)\,y(1) + x(1)\,y(2) + x(2)\,y(0)]$$
$$\hat{Z}(2) = (1/3)\,[x(0)\,y(2) + x(1)\,y(0) + x(2)\,y(1)]$$

เขียนในรูปเมตริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} \hat{Z}(0) \\ \hat{Z}(1) \\ \hat{Z}(2) \end{bmatrix} = (1/3) \begin{bmatrix} x(0) & x(1) & x(2) \\ x(2) & x(0) & x(1) \\ x(1) & x(2) & x(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(0) \\ y(1) \\ y(2) \end{bmatrix} \qquad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกัน ผลการประสานงาน ทั้งหมดเขียนได้คือ

$$Z(0) = (1/3)\,[x(0).y(0) + x(1).y(2) + x(2).y(1)]$$
$$Z(1) = (1/3)\,[x(0).y(1) + x(1).y(0) + x(2).y(2)]$$
$$Z(0) = (1/3)\,[x(0).y(2) + x(1).y(1) + x(2).y(0)]$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} Z(0) \\ Z(1) \\ Z(2) \end{bmatrix} = (1/3) \begin{bmatrix} x(0) & x(1) & x(2) \\ x(1) & x(2) & x(0) \\ x(2) & x(0) & x(1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(0) \\ y(2) \\ y(1) \end{bmatrix} \qquad (2.24)$$

จากรูปแบบของตัวอย่างทั้งสอง ถ้าในกรณี N ทั่วๆ ไป เมตริกซ์ที่ใช้เขียนแทนปฏิบัติการทั้งสองย่อมสร้างได้ไม่ยาก และการเขียนที่แสดงมานี้แสดงความสัมพันธ์ว่า การคำนวณค่า DFT สามารถเปลี่ยนไปเป็นการคำนวณ การประสานวัฏจักร และ สหสัมพันธ์ได้ โดยการจัดระเบียบข้อมูลเสียใหม่ โดยเหตุนี้วิธีการใดที่ช่วยคำนวณ ผลการประสานได้เร็ว ย่อมช่วยคำนวณ DFT ได้เร็วด้วย

2.14.12 DFT ในมิติ r

นิยามของ DFT ใน 1 (หนึ่ง) มิติสามารถขยายไปในมิติที่ r ได้ไม่ยาก กล่าวคือเรานิยม DFT ของลำดับ $\{x(m_1, m_2, ..., mr)\}$; เมื่อ $0 < m_1 < (N_1-1)$ เป็น

$$X(k_1, k_2, \ldots, k_r) = (1/N_1 . N_2 \ldots Nr) \left\{ \sum_{m_1=0}^{N-1} \sum_{mr=0}^{N-1} \cdots \sum x(m_1, \ldots, mr) \right.$$

$$. (W_{n1})^{k1m1} \ldots (W_{nr})^{krmr} \qquad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 การใช้งาน DSP ในการสร้างสัญญาณ (DSP Signal Generation)

ในการประมวลผลสัญญาณนั้น การสร้างสัญญาณซายน์ (sinusoidal signal) มักจะนำมาใช้เสมอ ในอดีตการการสร้างสัญญาณจะถูกสร้างมาจากวงจรแอนะลอก แต่เมื่อมีการใช้การประมวลผลสัญญาณแบบดิจิตอลมากขึ้น จึงใช้การสร้างสัญญาณโดยใช้ DSP แทน ซึ่งจะทำให้ได้ความถูกต้องสูง,มีความคงที่สูง และ การลดทอนต่ำ รวมทั้งยังสามารถใช้ได้ในย่านความถี่กว้างอีกด้วย

การสร้างสัญญาณในที่นี้ จะเป็นการสร้างสัญญาณซายน์ (sinusoidal signal), สัญญาณสี่เหลี่ยม (square wave), สัญญาณสามเหลี่ยม (triangle wave) มีวิธีการสร้างสัญญาณอยู่ 2 วิธี

1. วิธีอ่านค่าจากตาราง (table Lookup)

เป็นวิธีที่ใช้การอ่านค่าจากตาราง จึงทำให้เร็ว แต่จะเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูงนัก

2. วิธีประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น (Linear Interpolation)

เป็นวิธีที่ทำให้เกิดความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิค (harmonic distortion) น้อยมาก แต่จะใช้เวลามากกว่าวิธีแรกเนื่องจากซับซ้อนกว่า และยังใช้หน่วยความจำที่มากกว่าด้วย เนื่องจากต้องมีตาราง 2 ตาราง คือ ตารางที่เก็บค่าของสัญญาณ และตารางสำหรับเก็บค่าความชัน เพื่อให้สามารถนำมาใช้ในการคำนวณได้

2.15.1 วิธีการอ่านค่าโดยตรงจากตาราง (Direct Table Lookup)

ค่าของสัญญาณที่มุมต่างๆ เช่น สัญญาณซายน์ที่ห่างเท่าๆ กันบนวงกลมหนึ่งหน่วย (unit circle) จะถูกเก็บไว้ในตาราง ซึ่งจะมีรูปแบบคือ

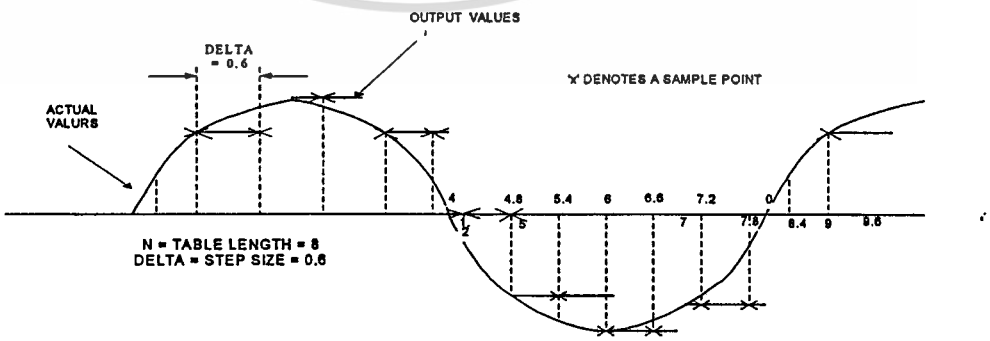


Figure 1. Direct Table Lookup

รูปที่ 2.7 การสร้างสัญญาณโดยวิธีอ่านค่าโดยตรงจากตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.7 ค่าของสัญญาณที่จุด 1 ถึง 8 จะถูกเก็บไว้ในตาราง สัญญาณจะถูกสร้างได้โดยการเลือกอ่านค่าจากตารางให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการ และจะวนอ่านไปเรื่อยๆ อันจะทำให้ได้ค่าลำดับของสัญญาณซายน์ ในรูปที่ 2.7 จะเห็นว่า การอ่านจะมีขนาดห่างระหว่างการอ่านแต่ละครั้งเท่ากับ 0.6 ค่าที่ได้ จะเป็นค่าประมาณ

วิธีนี้ จึงกล่าวได้ว่า มีความผิดพลาดค่อนข้างสูง เพราะการใช้การประมาณค่า ดังนั้นการใช้วิธีนี้จึงไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควรเพราะ จะได้สัญญาณที่ดีก็ต่อเมื่อช่วงห่างระหว่างการอ่านแต่ละครั้ง เป็นค่าที่ตรงกับในตาราง เช่น อ่านได้ตรงกับจุดที่ 0 , 1 , 2 , 3 ,..., ไปเรื่อยๆโดยไม่ต้องมีการประมาณ นั่นคือ ให้ช่วงการอ่านค่าจากตารางแต่ละครั้ง เท่ากับ t แล้ว เราสามารถกำหนดความถี่ของสัญญาณที่สร้างได้โดยใช้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$f = DELTA/(t*N)$$

ความถี่สูงสุดที่สามารถสร้างได้ ขึ้นกับกฎของ Nyquist คือ ในแต่ละคาบของสัญญาณจะต้องมีการแซมเปิลไม่น้อยกว่า 2 ครั้ง คือ $DELTA \leq N/2$

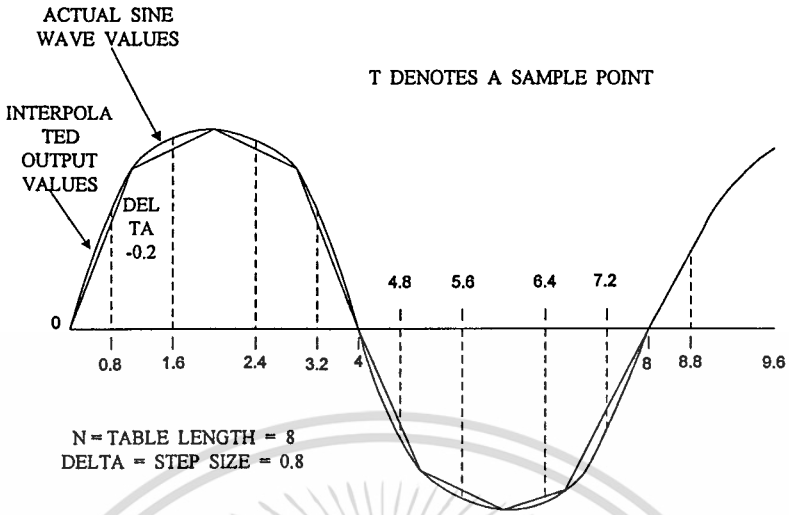
ความถี่ของสัญญาณที่สร้างได้จากรูปที่ 1 สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ข้างต้น คือ $DELTA = 0.6$, $N = 8$ และหาอัตราแซมปลิ้งค่าจากตารางเท่ากับ 8 กิโลเฮิรตซ์ จะได้ $t = 0.000125$ วินาที ดังนั้นความถี่ของสัญญาณที่สร้างได้คือ 600 Hz

วิธีที่จะช่วยลดความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิค (Harmonic Distortion) ได้คือ เลือกใช้ DELTA ที่เป็นจำนวนเต็ม และการใช้วิธีการอ่านค่าจากตารางโดยตรง (Direct Table Lookup) นี้มีข้อผิดพลาดได้ จึงมีวิธีที่ดีกว่า คือ วิธีการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น (Linear Interpolation)

2.15.2 วิธีประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น (Linear Interpolation)

เป็นวิธีที่มีความผิดพลาดจากการที่ต้องปัดค่าในการอ่านค่าจากตารางน้อยกว่าวิธีแรก เพราะ เป็นวิธีที่ใช้การประมาณค่าโดยสมมติว่าแต่ละค่าในตารางห่างกันเป็นเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น

จากรูปจะเห็นว่า ถึงแม้ว่าจะอ่านค่าจากตารางได้ไม่ตรง คือ ค่าที่อ่านได้ไปตกอยู่ระหว่างค่าสองค่าในตารางที่ 2.1 ก็จะประมาณได้โดยการให้แต่ละจุดของสัญญาณในตารางถูกเชื่อมกันอยู่ด้วยเส้นตรง และโดยการใช้การคำนวณหาจุดบนเส้นตรง ก็จะทำให้ได้ค่าประมาณที่อ่านได้ ณ จุดนั้นๆ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับสัญญาณจริงๆ มาก จึงทำให้ความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิค น้อยลง

การประมาณเชิงเส้นนี้ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\sin(360(I+D) \cong \sin(360/N) + D*\{\sin(360(I+1)/N) - \sin(360I/N)\}$$

$$= S[I] + D*\{S[I+1]-S[I]\}$$

เมื่อ N คือขนาดของตาราง

I คือจำนวนเต็มในช่วง 0 ถึง N-1

D คือค่าที่เป็นจุดทศนิยมในช่วง 0 ถึง 1

อันจะเห็นว่า S[I+1]-S[I] ก็คือค่าความชันของเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดสองจุดนั้นเอง ในการใช้ TMS-320C50 สร้างสัญญาณโดยวิธีนี้นั้น เราจะใช้ตาราง 2 ตาราง ตารางหนึ่งสำหรับเก็บค่าของสัญญาณ และอีกตารางหนึ่ง สำหรับเก็บค่าความชัน ความถี่ของสัญญาณที่สร้างขึ้นก็สามารถหาได้โดยวิธีการเดียวกับวิธีแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถแสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิธีมีค่าความเพี้ยนของฮาร์โมนิคต่างกันได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิค

Table Length ; 32 DELTA	วิธีการอ่านโดยตรงจากตาราง THD	วิธีประมาณเชิงเส้น THD
2.00	0.00000024	0.00000024
2.25	0.00300893	0.00169343
2.50	0.00240751	0.00135476
2.75	0.00300917	0.00169379
3.00	0.00000024	0.00000024
8.25	0.00300924	0.00169361
11.625	0.00315807	0.00177808
Table Length ; 64		
2.00	0.00000048	0.00000048
2.25	0.00075269	0.00018884
2.50	0.00060219	0.00015055
2.75	0.00075239	0.00018771
3.00	0.00000018	0.00000018
8.25	0.00075204	0.00018806
11.625	0.00079078	0.00019815

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1(ต่อ) เปรียบเทียบความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิค

Table Length ; 128		
2.00	0.00000054	0.00000054
2.25	0.00018859	0.00000054
2.50	0.00015080	0.00000012
2.75	0.00018835	0.00000101
3.00	0.00000012	0.00000012
8.25	0.00018889	0.00000006
11.625	0.00020128	0.00000155

2.16 (Fast Fourier Transform หรือ FFT)

2.16.1 หลักการเบื้องต้นของ FFT

จากสมการการแปลง DFT สำหรับลำดับ X (m) ที่ยาว N จุด สามารถนิยามได้ดังนี้คือ

$$X(k) = \sum_{m=0}^{N-1} x(m) \cdot W^{mk} \qquad k, m = 0, 1, ..., N-1 \qquad (2.27)$$

โดย จำนวนเชิงซ้อน $W = \exp(-j2\pi / N)$ ในทางวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ลำดับ x (m) มักจะเกี่ยวข้องกับสัญญาณในโดเมนเวลา ส่วน X (k) เกี่ยวข้องกับสัญญาณในโดเมนความถี่ หรือเรียกว่า สเปกตรัมของสัญญาณ สำหรับการเขียนสมการที่ (2.27) นั้นการคำนวณหา DFT จะต้องมีพจน์ 1/N ประกอบอยู่ด้วยเสมอ แต่ในที่นี้ละไว้เพื่อสะดวกในการอธิบาย

ตัวอย่างเช่น พิจารณาสำหรับกรณี N = 4 จะเขียนสมการได้ดังนี้

$$X(0) = x(0)W^0 + x(1)W^0 + x(2)W^0 + x(3)W^0$$
$$X(0) = x(0)W^0 + x(1)W^1 + x(2)W^2 + x(3)W^3$$
$$X(0) = x(0)W^0 + x(1)W^2 + x(2)W^4 + x(3)W^6$$
$$X(0) = x(0)W^0 + x(1)W^3 + x(2)W^6 + x(3)W^9 \qquad (2.28\ ก)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (2.27) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ matrix ได้คือ

$$\{X\} = \{A\}*\{X\}$$

โดยที่ {X} และ {x} เป็นเวคเตอร์แนวตั้ง (column vector) ที่ประกอบด้วยลำดับ X (k) และ X (m) ตามลำดับจำนวน N ลำดับ และ {A} เป็นเมตริกซ์จตุรัส (square matrix) ขนาด N * N ที่มีสมาชิกเป็นจำนวนเชิงซ้อน W^{mk}

$$\begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W^0 & 0 & 0 & 0 \\ W^0 & 1 & 2 & 3 \\ W^0 & 2 & 4 & 6 \\ W^0 & 3 & 6 & 9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ x(2) \\ x(3) \end{bmatrix} \qquad (2.28 \text{ ข})$$

การคำนวณจากสมการที่ (2.28 ข) โดยตรง สังเกตเห็นได้ว่า ต้องใช้จำนวนเชิงซ้อน 4 * 4 หรือ 16 ครั้ง และต้องทำการบวกจำนวนเชิงซ้อนอีก N(N-1) = 4 (4-1) =12 ครั้ง

หลักการสำคัญประการหนึ่งของ Fast Fourier Transform หรือ FFT ที่ลดจำนวนครั้งในการคูณจำนวนเชิงซ้อนได้ โดยอาศัยคุณสมบัติของความเป็นคาบของจำนวนเชิงซ้อน W คือ

$$W^{mk} = W^{[mk \bmod (n)]} \qquad (2.29)$$

ซึ่ง [mk mod (N)] หมายถึง ส่วนที่เหลือหลังจากการหารพจน์ mk ด้วย N โดยอาศัยคุณสมบัติความเป็นคาบนี้ ทำให้สมการที่ (2.27) อาจเขียนได้เป็น

$$\begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 9 & 2 \\ 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ x(2) \\ x(3) \end{bmatrix} \qquad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติความเป็นคาบ ทำให้เราสามารถแยกตัวประกอบ ของเมตริกซ์ {A} ออกเป็นเมตริกซ์ย่อยหลายเมตริกซ์คูณกัน และสมาชิกภายในเมตริกซ์ย่อยให้มีค่าเป็น"0" มากที่สุด วิธีการแยกตัวประกอบไม่ อาจจะกระทำโดยตรงจาก {A} แต่จะมีการสลับตำแหน่งหรือจัดกลุ่มของเมตริกซ์ (อาจเป็นการสลับสมาชิกตามแนวตั้ง หรือสมาชิกตามแนวนอนอย่างใดอย่างหนึ่งและการสลับทั้งสองแบบจะให้ผลต่างกัน) ด้วยวิธีการของการผันกลับบิต (bit reversed) และเมตริกซ์ หลังจัดการสลับแถวแล้วจะนำมาแยกตัวประกอบอีกครั้งหนึ่ง

ในที่นี้จะขออธิบายวิธีการแยกตัวประกอบ ด้วยการเขียนแทนดรรชนี k และ m จะมีค่าได้เพียง 0 , 1 , 2 และ 3 เท่านั้น เพราะฉะนั้นสามารถแทนตัวเลข 4 ฐานสิบได้ด้วยตัวเลขฐานสอง 2 หลัก คือ

$$k = (k_1 , k_2) , \qquad m = (m_1 , m_0) \tag{2.31}$$

โดยที่ k_1 , k_2 , m_1 และ m_0 เป็นเลขโดดที่มีค่าได้แค่ 0 หรือ 1 เท่านั้น สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$k = 2k_1 + k_0 , \quad m = 2m_1 + m_0 \tag{2.32}$$

เมื่อนำค่าดรรชนี k และ m นี้ไปแทนลงในสมการที่ (2.27) ทำให้ได้

$$X(k_1 , k_0) = \sum_{m_0=0}^{1} \sum_{m_1=0}^{1} X(m_1, m_0) . W^{(2m1+m0).(2k1+k0)} \tag{2.33}$$

จากคุณสมบัติความเป็นคาบของ W ทำให้ได้ความสัมพันธ์

$$\begin{aligned} W^{(2m1+m0).(2k1+k0)} &= W^{(2k1+k0)2m1} . W^{(2k1+k0)m0} \\ &= W^{4m1k1} . W^{2m1k0} . W^{(2k1+k0)m0} \\ &= W^{2m1k0} . W^{(2k1+k0)m0} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $W^{4m1k1} = 1$ เพราะฉะนั้นเขียนสมการที่ (2.33) ได้ใหม่เป็น

$$X(k_1, k_0) = \sum_{m=0}^{1}{}_{0} \{ \sum_{m=0}^{1}{}_{1} X(m_1, m_0) \cdot W^{(2m1k0)} \} W^{(2k1+k0)m0}$$

$$= \sum_{m=0}^{1}{}_{0} \{ X_1(k,m) \} \cdot W^{(2k+k0)m0} \qquad (2.34\ \text{ก})$$

โดยการสมมติให้ตัวแปร $x_1(k_0,m_0)$ เป็นการคำนวนระหว่างกลางผลจากสมการที่ (5.1.8) อาจเขียนเป็นสมการเมตริกซ์ได้คือ

$$\begin{matrix} (k_1, k_0) \\ X(0,0) \\ X(1,0) \\ X(0,1) \\ X(1,1) \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & {}^{0} & 0 & 0 \\ 1 & {}^{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & & {}^{1} \\ 0 & 0 & & {}^{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & {}^{0} & 0 \\ 0 & 0 & & {}^{0} \\ 1 & 0 & {}^{2} & 0 \\ 0 & 0 & & {}^{2} \end{bmatrix} \begin{matrix} (m_1, m_0) \\ X(0,0) \\ X(0,1) \\ X(1,0) \\ X(1,1) \end{matrix} \qquad (2.34\ \text{ข})$$

โดยที่ผลจากการคำนวณระหว่างกลาง และผลลัพธ์สามารถหาได้ตามลำดับ

$$\begin{matrix} (k_1, k_0) \\ X(0,0) \\ X(0,1) \\ X(1,0) \\ X(1,1) \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & {}^{0} & 0 \\ 0 & & 0 & {}^{0} \\ 1 & 0 & {}^{2} & 0 \\ 0 & & 0 & {}^{2} \end{bmatrix} \begin{matrix} (m_1, m_0) \\ X(0,0) \\ X(0,1) \\ X(1,0) \\ X(1,1) \end{matrix} \qquad (2.35\ \text{ก})$$

และค่า DFT ของลำดับสัญญาณจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{matrix} (k_1, k_0) \\ X(0,0) \\ X(1,0) \\ X(0,1) \\ X(1,1) \end{matrix} \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & & 1 \\ 0 & 0 & & 3 \end{bmatrix} \begin{matrix} (m_1, m_0) \\ X(0,0) \\ X(0,1) \\ X(1,0) \\ X(1,1) \end{matrix} \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \end{bmatrix} \qquad (2.35\ \text{ข})$$

ผลที่ได้จากสมการที่ (2.34 ข) ซึ่งเป็นสมการแยกตัวประกอบของ {A} นี้จะเห็นว่า สมาชิกตามแนวนอนของเมตริกซ์ที่ได้จากการแยกตัวประกอบ 2 ตัวเท่านั้น ที่มีค่าไม่เป็นศูนย์และในสองตัวนี้มีสมาชิกตัวหนึ่งมีค่าเป็นหนึ่งเสมอส่วนอีกตัวหนึ่งก็จะเป็นจำนวนเชิงซ้อนแต่ถ้าพิจารณาการคูณเมตริกซ์ย่อยแต่ละเมตริกซ์ของสมการที่ (2.35ก) จะเห็นว่าต้องการการคูณจำนวนเชิงซ้อนเพียง N = 4 โดยที่ N อยู่ในรูปของสองยกกำลังใดๆ (N = 2) และถ้าลองเขียนสมการที่ (2.33) สำหรับกรณีนี้ สามารถเขียนเป็นสมการย่อยได้ $\log_2 N = \log_4 2 = 2$ สมการ คือ (2.35 ก) และ (2.35 ข) เพราะฉะนั้นด้วยวิธีการนี้จำนวนครั้งของการคูณจำนวนเชิงซ้อนจึงมีเท่ากับ $N \log_2 N = 8$ ครั้ง และบวกจำนวนเชิงซ้อน 8 ครั้ง ซึ่งจำนวนนี้น้อยกว่ากรณีคำนวณโดยตรง ซึ่งใช้จำนวนเชิงซ้อน 16 ครั้ง และบวกจำนวนเชิงซ้อนอีก 12 ครั้ง ดังนั้นจะเห็นว่าการแยกการคำนวณ DFT เป็นเมตริกซ์ย่อยดังสมการที่ (2.34 ข) จะทำให้จำนวนครั้งในการคูณจำนวนเชิงซ้อน น้อยลง จำนวนเชิงซ้อนจะลดลงไปได้อีกดังนี้

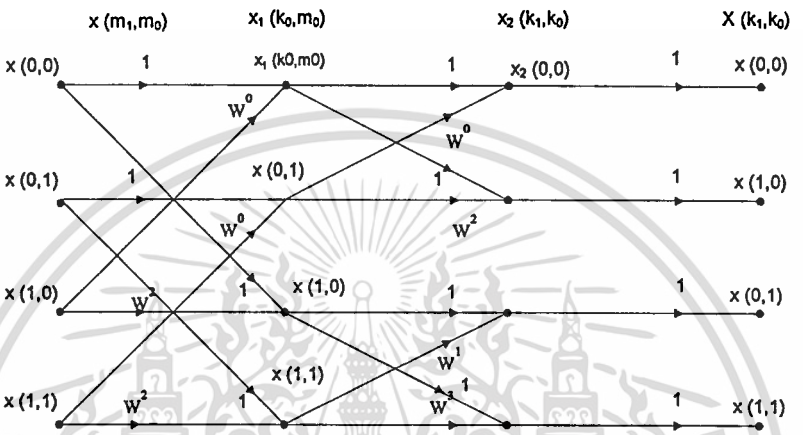
$$x_1(0,0) = x(0,0) + W^0 \cdot x(1,0) = x(0,0) + W^0 \cdot x(1,0)$$
$$x_1(1,0) = x(0,0) + W^2 \cdot x(1,0) = x(0,0) - W^0 \cdot x(1,0)$$

ผลจากคุณสมบัติของจำนวนเชิงซ้อน $W^2 = -W^0$ ทำให้การคำนวณ $x_1(0,0)$ และ $x_1(0,1)$ ต้องการการคูณจำนวนเชิงซ้อนเพียงครั้งเดียวเท่านั้น ซึ่งทำได้โดยการคำนวณพจน์ $W^0 \cdot x(1,0)$ ก่อน แล้วนำไปบวกและลบกับพจน์ $x(0,0)$ เพื่อให้ได้ลำดับ $x_1(0,0)$ และ $x_1(1,0)$ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามสำหรับกรณีทั่วๆ ไป อาจกล่าวได้ว่าจำนวนครั้งในการคำนวณ DFT ขนาด N จุด โดยใช้ FFT ใช้การคูณจำนวนเชิงซ้อนเพียง $N \log_2 N$ ครั้ง

ลำดับการคำนวณของ FFT ตามสมการที่ (2.34) เป็นผลงานที่เสนอโดย คูลีย์ และทูคีย์ ต่อมาก็ได้มีผู้เสนอวิธีการคำนวณ FFT แบบอื่นขึ้นมา ผลงานเหล่านี้หลักการใหญ่แล้วเหมือนกันต่างกันเพียงวิธีการในรายละเอียดย่อยเท่านั้น ในรูปที่ 2.9 เป็นกราฟการไหลที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนแสดงวิธีการคำนวณของ FFT ตามสมการที่ (2.35) โดยที่หัวลูกศรชี้ทิศทางการคำนวณ ส่วนตัวอักษรกำกับเป็นตัวคูณค่าของสัญญาณที่ต้นทางของลูกศรนั้น และที่บัพ หรือ ปม (Node) เป็นการรวมหรือบวกกันของสัญญาณ ส่วน $x_1\ (k_0\ ,\ m_0)$ แทนลำดับการคำนวณระหว่างกลางและ $X\ (k_1\ ,\ k_0)$ เป็นค่า DFT ของลำดับสัญญาณ



รูปที่ 2.9 กราฟการไหลแสดงวิธีการคำนวณตามสมการที่ (2.35)

2.16.2 ขั้นตอนวิธีการลดทอนทางเวลา (Decimation in time หรือ DIT)

วิธีการที่เสนอโดย คูลีย์ และ ทูคีย์ ซึ่งได้กล่าวมาแล้วนั้น ความเป็นจริงเป็นการแบ่งกลุ่มลำดับสัญญาณในโดเมนเวลา x(m) ที่มีขนาด N จุด ออกเป็นสองลำดับสัญญาณที่มีความยาว N/2 จุดเท่ากัน ทั้งสองลำดับนี้ให้ชื่อเรียกว่า ลำดับสัญญาณคู่ และ ลำดับสัญญาณคี่ โดยที่ลำดับสัญญาณคู่ เกิดจากการเอาลำดับในตำแหน่งเป็นเลขคู่มาเรียงกัน ที่เหลือก็เป็นลำดับสัญญาณคี่ ดังนั้นถ้าเรานิยามให้ $x_2(m)$ เป็นลำดับคู่และลำดับคี่เป็น $x_0(m)$ ตามลำดับ เพราะฉะนั้น

$$x_2(m) = x(2m) \quad ; \ m = 0,1,\ldots, (N/2) - 1$$
$$x_0(m) = x(2m+1) \quad ; \ m = 0,1,\ldots, (N/2) - 1 \qquad (2.36)$$

ด้วยการจัดแบ่งเช่นนี้ ถ้าให้ W_N แทนค่า W ของลำดับยาว N จุด ทำให้การคำนวณการแปลง DFT ของลำดับสัญญาณ x (m) ที่ยาว N จุดเขียนใหม่ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X(k) = \sum_{m=0}^{N-1} x_2(m)\,(W_N)^{km} + \sum_{m=0}^{N-1} x_0(m)\,(W_N)^{km}$$

$$= \sum_{m=0}^{(N/2)-1} x(2m)\,(W_N)^{2km} + \sum_{m=0}^{(N/2)-1} x(2m+1)\,(W_N)^{(2m+1)k} \qquad (2.37)$$

โดยที่เขียนให้พจน์ $(W_N)^2$ เป็น

$$(W_N)^2 = \{\exp(j2\pi/N^2)\} = \exp(j2\pi/N/2) = W_{N/2}$$

ซึ่ง $W_{N/2}$ หรือค่า W ของลำดับยาว N/2 จุด เพราะฉะนั้นสมการที่ (2.37) จัดพจน์ใหม่ได้ คือ

$$X(k) = \sum_{m=0}^{(N/2)-1} x_2(m)\,(W_{N/2})^{km} + (W_N)^k \sum_{m=0}^{(N/2)-1} x_0(m)\,(W_{N/2})^{km}$$

$$X(k) = X_1(k) + (W_n)^k X_2(k) \qquad (2.38)$$

โดยที่ $_{X1}$ (k) และ X_2 (k) แทนผลการแปลง DFT ขนาด N/2 จุดของลำดับ X_2 (m) และ X_0(m) ตามลำดับ สมการที่ (2.38) แสดงให้เห็นว่าการคำนวณ DFT ขนาด N จุด สามารถแบ่งคำนวณย่อยออกเป็น การคำนวณ DFT ขนาด N/2 จุดสองอันดับได้ และข้อสำคัญคือ การคูณจำนวนเชิงซ้อนจะลดลงเหลือ $2(N/2)^2 = N^2/2$ ครั้ง ซึ่งจะเห็นว่าลดเวลาการคำนวณลงไปถึง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยอาศัยหลักการเดียวกัน ถ้าเราแบ่งทอนลำดับ X_2 (m) และ X_0 (m) ออกเป็นลำดับคู่และลำดับคี่ลงไปอีกตามลำดับ จนในที่สุดเหลือเป็นลำดับขนาด 2 จุด หรือกล่าวได้ว่าการคำนวณการแปลง DFT ขนาด N จุด ทำได้โดยการคำนวณการแปลง DFT ขนาด 2 จุด จำนวน N/2 ภาคด้วยกัน ข้อสังเกตที่สำคัญก็คือการซอยเพื่อลำดับ x(n) ออกเป็นทีละครึ่งจนเหลือการคำนวณ DFT ขนาด 2 จุดนี้ สำหรับขนาด N ลำดับ ซึ่งแบ่งออกได้ $\log_2 N$ ครั้ง

ปัญหาต่อมาก็คือ เมื่อแบ่งย่อยลงไปแล้ว จะเอาการแปลง DFT ขนาด 2 จุด จำนวน N/2 ภาคนี้มาประกอบกัน หรือรวมกันเพื่อให้เป็นการคำนวณ DFT ขนาด N จุดได้อย่างไร เพราะถ้าหากนำมาประกอบกันอย่างไม่มีหลักเกณฑ์ ผลการคำนวณ DFT ที่ได้ก็จะมีค่าผิดพลาดไป ตัวอย่าง เช่น การนำเอา DFT ขนาด N/2 จุดมาต่อกันโดยตรงตามสมการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.39) ย่อมมีข้อผิดพลาดเพราะว่าทั้ง $X_1(k)$ และ $X_2(k)$ เป็น DFT ขนาด N/2 จุดที่นิยามเฉพาะสำหรับช่วง $0 <= k <= N/2$ เท่านั้น การนำมาประกอบกันสำหรับลำดับสัญญาณ N ลำดับอย่าง ถูกต้อง เราต้องทำการนิยามค่าของสมการที่ (2.38) สำหรับค่า $k > N/2$ ด้วยซึ่งทำได้โดยเขียน

$$\begin{aligned} X_0(k) &= X_1(k) + (W_N)^2 X_2(k) \qquad ; 0 <= k <= (N/2) - 1 \\ &= X_1(k-N/2) + (W_N)^k X_2(k-N/2) \quad ; N/2 <= k <= N-1 \end{aligned} \tag{2.39}$$

พจน์ $(W_N)^k$ ในสมการที่ (2.39) มีชื่อเรียกว่า ตัวประกอบหมุน (twiddle factor หรือ pase หรือ rotation factor) นี้เป็นส่วนสำคัญที่จะรวม DFT ขนาด 2 จุด หรือ DFT ขนาด N/2 จุด ที่จะนำมาประกอบกันเข้าเป็น DFT ขนาด N จุดได้เหมือนเดิม จากสมการที่ (2.39) เขียนในรูปทั่วไปได้คือ

$$X_l(k) = X_{l-1}(k) + (W_N)^k X_{l-1}(k + N/2^{\,l}) \tag{2.40 ก}$$

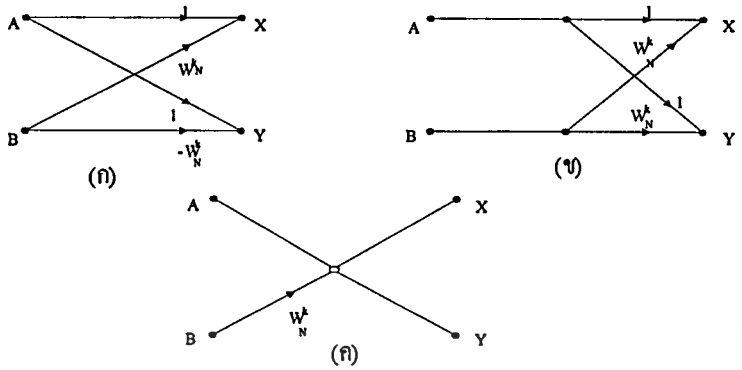
$$X_l(k+N/2) = X_{l-1}(k) - (W_N)^k X_{l-1}(k + N/2^{\,l}) \tag{2.40 ข}$$

สมการที่ได้นี้เป็นหลักการสำคัญสำหรับ FFT แบบนี้ ในการคำนวณหา DFT ของลำดับคู่หนึ่งจะประกอบด้วยลำดับ X(k) ในสมการที่ (2.40 ก) และลำดับ X(k) ในสมการที่ (2.40 ข) ซึ่งห่างออกไปจากลำดับ X(k) ใน (2.40 ก) ไป N/2 จุด โดยใช้การคูณจำนวนเชิงซ้อนเพียงครั้งเดียวเท่านั้น จากผลนี้เราสามารถนำไปสร้างหน่วยคำนวณที่มีชื่อเรียกว่าหน่วยผีเสื้อ (butterfly unit) โดยหน่วยคำนวณนี้มีข้อมูลเข้าสองข้อมูลคือ A และ B และให้ข้อมูลออกเป็น X และ Y เป็น

$$\begin{aligned} X &= A + (W_k)^k \\ Y &= A - (W_k)^k \end{aligned} \tag{2.41}$$

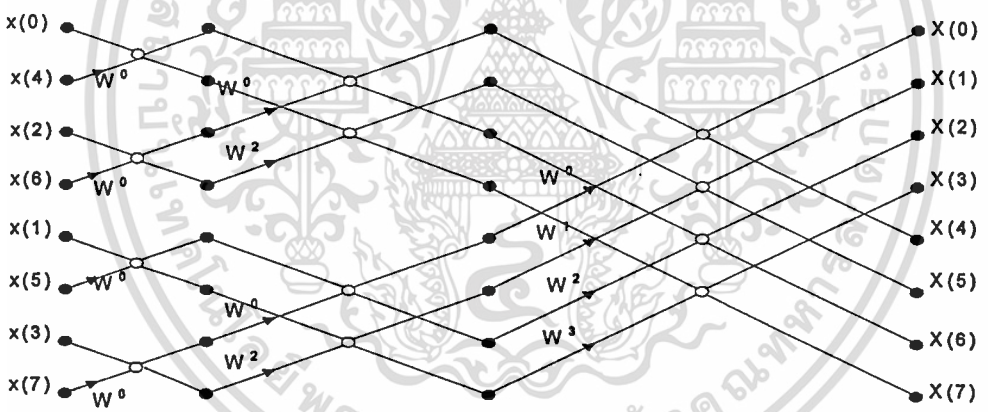
โดยที่การทำงานของหน่วยผีเสื้อนี้ สามารถเขียนอธิบายแทนด้วย กราฟการไหล (signal flow graph) ดังแสดงในรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 หน่วยผีเสื้อของการคำนวณตามขั้นตอนวิธีลดทอนทางเวลา

ต่อไปขอแสดงตัวอย่างการคำนวณ DFT แบบ 8 จุด โดยอาศัยวิธีการที่อธิบายมาแล้ว ขั้นตอนในการคำนวณได้แสดงเป็นลำดับด้วยกราฟการไหลของสัญญาณดังรูปที่ 2.11

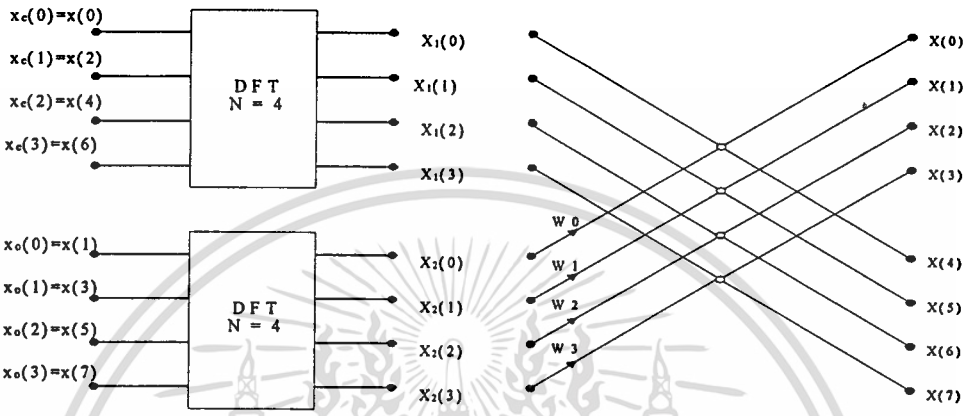


รูปที่ 2.11 กราฟการไหลของสัญญาณ 8 จุด

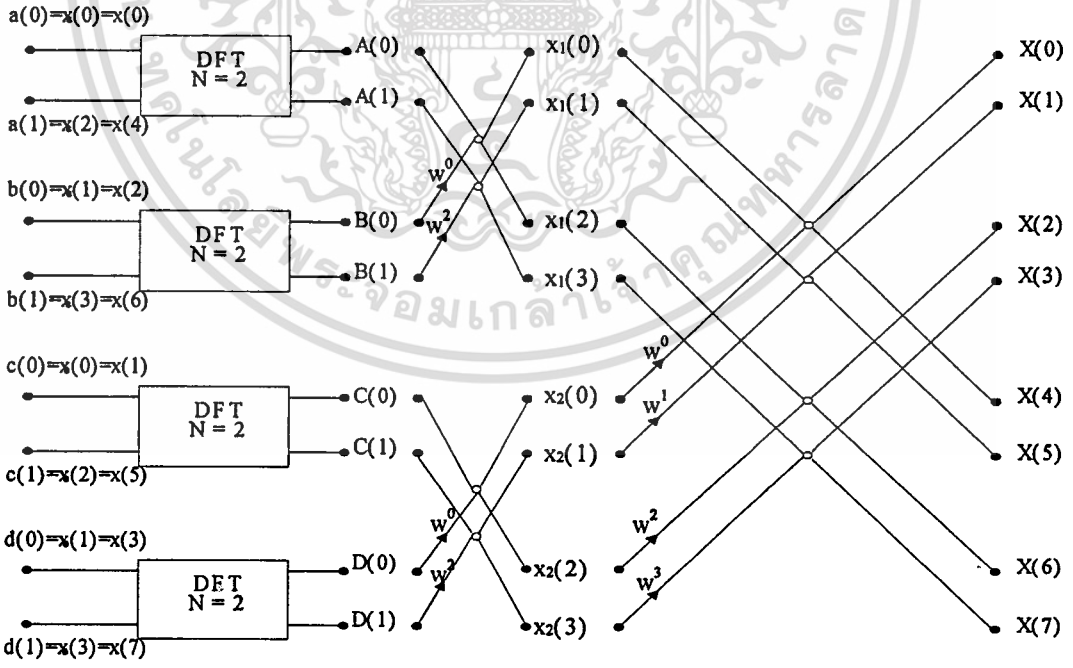
ในขั้นแรกลำดับของสัญญาณเข้า x(n) จะถูกแบ่งออกเป็น ลำดับคู่ X_E (m) และ ลำดับคี่ X_0 (m) อย่างละสี่ลำดับ ดังรูปที่ (2.12 ก) ต่อจากนั้นลำดับ X_E (m) และ X_0 (m) ก็จะถูกแบ่งย่อยลงไปอีกดังรูปที่ (2.12 ข) ซึ่งในที่สุดการคำนวณ DFT ขนาด 8 จุด ก็จะถูกแบ่งย่อยออกเป็นการคำนวณ DFT ขนาด 2 จุด 4 ภาคด้วยกัน ดังรูปที่ (2.11) ซึ่งเป็นกราฟการไหลของสัญญาณ สำหรับการคำนวณ DFT ขนาด 8 จุดอย่างสมบูรณ์ สังเกตว่าในกรณีนี้ $N = 8$ ทำให้ $\log_2 8 = 3$ การคำนวณจึงแบ่งออกได้เป็น 3 ภาคย่อย แต่ละภาคประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยผีเสื้ออยู่ N/2 = 4 หน่วย และหน่วยผีเสื้อแต่ละหน่วย ใช้ในการคูณเชิงซ้อน 1 ครั้ง เพราะฉะนั้นการคำนวณทั้งหมดมีการคูณตัวเลขเท่ากับ (8/2) $\log_E 8 = 12$ ครั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณ ปกติที่ต้องมีการคูณกันถึง 8 X 8 = 16 ครั้ง



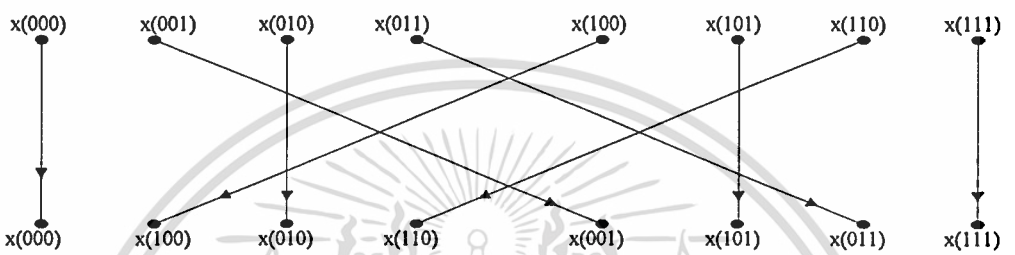
รูปที่ 2.12 วิธีแบบ DIT สำหรับ FFT แบบ 8 จุด



รูปที่ 2.12 (ต่อ) วิธีแบบ DIT สำหรับ DFT แบบ 8 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามรูปที่ (2.11) มีข้อน่าสังเกตคือ ลำดับสัญญาณเข้า x(n) ไม่ได้ถูกจัดเรียงอย่างต่อเนื่องหรือตามธรรมชาติ แต่มีการสลับตำแหน่งกันอย่างมีหลักเกณฑ์ เป็นไปตามวิธีการที่เรียกว่า การผันกลับบิต คือถ้าเราแทนดรรชนี n ของลำดับ x(n) ด้วยเลขฐานสอง เช่นในกรณีนี้ N = 8 ก็ต้องแทนด้วยเลขฐานสอง 3 บิต จากนั้นการจัดลำดับ x(n) ใหม่จะได้จากการผันกลับบิตของเลขฐานสองที่แทนดรรชนี n ดังรูปที่ (2.13)



รูปที่ 2.13 การสลับตำแหน่งของลำดับ x(n) ด้วยการผันกลับบิต

วิธีการของ FFT แบบนี้เป็นการลดเวลาการคำนวณ โดยการตัดทอนลำดับในโดเมนเวลา หรือ x(n) ออกเป็นกลุ่มย่อย โดยที่แต่ละกลุ่มประกอบด้วยลำดับ x(n) สองลำดับที่เป็นปมคู่กัน การจัดกลุ่มนี้คล้ายกับเป็นการสุ่มตัวอย่างลำดับเดิมอีกครั้งหนึ่งด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่างที่ต่ำกว่า และถ้าหากเราถือว่าแต่ละกลุ่มลำดับข้อมูลใหม่ที่จัดทำขึ้นมา ต่างเป็นลำดับข้อมูลชุดหนึ่งแล้ว ก็เท่ากับว่าเราได้ตัดทอนลำดับในโดเมนเวลาลงไป เป็นกลุ่มลำดับข้อมูลย่อยหลายลำดับ ดังนั้นวิธีการคำนวณแบบนี้จึงมีชื่อเรียกว่า การลดทอนทางเวลา

2.17 ทฤษฎีของตัวกรองเชิงเลข (Digital Filter)

ตัวกรองอาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลข และตัวกรองป้อนกลับเชิงเลข ตัวกรองทั้งสองประเภทนี้มีคุณสมบัติ และ การออกแบบที่แตกต่างกันออกไป จะบอกคุณสมบัติทั่วไปของการกรองทั้งสองประเภท รวมทั้งข้อเปรียบเทียบระหว่างการกรองทั้งสองแบบ นอกจากการกรองเชิงเลขที่มีการประยุกต์ใช้กับระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการกรองในระบบเวลาจริงแล้วจะแสดงให้เห็นต่อไปว่ายังมีลักษณะการประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์อีกหลายแบบโดยเฉพาะ การประมาณค่า และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอินทิเกรตเชิงเลข ทั้งสองลักษณะการประมวลผลนี้อาจถือได้ว่าเป็นการกรองเชิงเลขในระบบเวลา ไม่จริง (Non-Real Time System) ได้

2.17.1 การกรองเชิงเลข

ได้มีการนำเอาหลักการของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขไปประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางมากมาย โดยเฉพาะกับการประยุกต์ใช้ในเกือบทุกสาขาวิชาของสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และวิศวกรรมไฟฟ้า เช่น ในการสื่อสารข้อมูล ในระบบเรดาร์,โซนาร์,ในระบบเครื่องมือวัด และระบบควบคุมในอุตสาหกรรมต่างๆ เหตุผลที่เกิดพัฒนาการและ ได้มีการประยุกต์ใช้กันมากนี้ ก็เนื่องมาจากหลักการของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข เหมาะสมเป็นอย่างยิ่งที่จะนำเอา คอมพิวเตอร์ มินิคอมพิวเตอร์ หรือ ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งปัจจุบันมีราคาถูกลงเป็นอย่างมาก มาเป็นตัวประมวลผลสัญญาณ ผลที่ได้คือจะได้ระบบการประมวลผลสัญญาณที่มีประสิทธิภาพ, ความเที่ยงตรง, ความแม่นยำ และความเชื่อถือได้สูง นอกจากนี้ยังมีความคล่องตัวกว่าระบบการประมวลผลสัญญาณเชิงอุปมานมากด้วย

นอกจากการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขในลักษณะมิติเดียวยังมีการประมวลผลสัญญาณในลักษณะสัญญาณสองมิติที่มีการประยุกต์ใช้งานของระบบการประมวลสัญญาณเชิงเลขกันอยู่มากเช่นกัน เช่น การประมวลผลเชิงเลขของ ภาพรังสีเอกซ์,การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photograph) เพื่อตรวจดูถึงปรากฏการณ์ต่างๆ ของโลก การวิเคราะห์ภาพถ่ายสภาวะอากาศจากดาวเทียมการทำให้สัญญาณโทรภาพจากยานสำรวจอวกาศมีความชัดเจนขึ้น การวิเคราะห์สัญญาณความไหวสะเทือนที่มีใช้ในการตรวจหาแหล่งน้ำมัน หรือการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของพื้นโลกเหล่านี้เป็นตัวอย่างของลักษณะการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขทั้งสัญญาณเชิงเลขทั้งสิ้น ซึ่งกล่าวโดยทั่วไปแล้วเราสามารถนำเอาหลักการของการประมวลผลสัญญาณมิติเดียวมาประยุกต์ใช้กับการประมวลผลสัญญาณสองมิติได้

ระบบการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขที่ได้กล่าวถึงไปนั้น การกรองเชิงเลขเป็นกระบวนการการประมวลผลสัญญาณอันหนึ่งที่มีความสำคัญ โดยที่การกรองเชิงเลข มักจะเกี่ยวเนื่องกับ การกำจัดสัญญาณรบกวน และลดความผิดเพี้ยนของสัญญาณ การที่ในปัจจุบันระบบการกรองเชิงเลขมีบทบาทสำคัญมากขึ้นก็อาจเนื่องมาจาก

1. การที่มีวิธีการออกแบบตัวกรองที่ง่ายแต่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.พัฒนาการของการออกแบบวงจรวีแอลเอสไอ (VLSI) ที่ทำให้ การคูณตัวเลขการเก็บข้อมูลของสัญญาณเชิงเลข ทำได้รวดเร็วขึ้นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การที่มีคอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ที่มีประสิทธิภาพสูง

ด้วยเหตุผลเหล่านี้ ทำให้การกรองเชิงเลขถูกนำไปประยุกต์ใช้การประมวลผลสัญญาณที่สำคัญๆ เช่น การสื่อสารโทรคมนาคม ระบบเรดาร์โซนาร์ หรือระบบอากาศยาน เป็นต้น ตัวกรองเชิงเลข เป็นระบบการประมวลผลแบบเวลายืนยงเชิงเส้น แบบหนึ่ง เนื่องจากการที่มีการประยุกต์มากมายในสัญญาณสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้น วิธีการการออกแบบและการสร้างที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ จึงได้รับความสนใจและมีการพัฒนากันอย่างกว้างขวาง และการที่ตัวกรองเชิงเลขมีการนำไปประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวางนั้นอาจมาจากข้อได้เปรียบหลายประการดังต่อไปนี้

1. ผลตอบสัญญาณนองความถี่ของตัวกรอง สามารถออกแบบให้มีความใกล้เคียงกันผลตอบสนองความถี่ที่กำหนดให้ หรือผลตอบสนองความถี่ที่ต้องการได้ นอกจากนี้การออกแบบตัวกรองให้มี ผลตอบสนองเฟสเชิงเส้นก็ทำได้ง่าย

2. คุณสมบัติของตัวกรองที่ออกแบบ และสร้างแล้วจะไม่ขยับเลื่อนไปตามสภาวะแวดล้อมหรือตามอุณหภูมิหรือระยะเวลาการใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานในย่านความถี่ต่ำได้เป็นอย่างดี

3. การประยุกต์ใช้งานเป็นตัวกรองแบบปรับตัวได้ ทำได้ง่าย

4. ผู้ออกแบบสามารถออกแบบโดยกำหนดถึงความยาวของคำของตัวเลขฐานสองที่ต้องการใช้ และยังสามารถออกแบบให้มีผลตอบสนองความถี่ตามที่ต้องการได้

5. จนถึงปัจจุบัน ถ้าพิจารณาในแง่มุมของเสถียรภาพของตัวกรอง ความเชื่อถือได้ราคาหรือขนาดของตัวกรองเชิงเลข สิ่งเหล่านี้กำลังได้รับการพัฒนาและปรับปรุง และมีแนวโน้มว่าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าของตัวกรองเชิงอุปมานมาก

อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาในแง่มุมของการสร้างใช้งาน โดยเฉพาะการสร้างใช้งานโดยใช้เลขฐานสองที่มีความยาวของคำจำกัดนั้นการออกแบบและการสร้างสังเคราะห์ตัวกรองเชิงเลขแบบนี้มีความยุ่งยากมากขึ้น เนื่องจากต้องนำผลของปรากฏการณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่อาจเกิดขึ้นได้มาพิจารณาด้วย ซึ่งการใช้ตัวเลขความยาวของคำจำกัด ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังสามารถเขียนสรุปได้ดังนี้

1. เสถียรภาพของตัวกรองที่ได้รับการออกแบบและตรวจสอบมาเป็นอย่างดี เพื่อให้ได้ผลตอบสนองความถี่ตามต้องการและเป็นตัวกรองที่เสถียร เมื่อนำไปสร้างใช้งานอาจเกิดการไม่เสถียรขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การคำนวณต่างๆ โดยเฉพาะการคูณตัวเลข เราต้องทำการปัดเศษ (Rounding) หรือตัดปลาย (Truncate) ตัวเลขหลังการคูณแต่ละครั้ง ผลนี้อาจทำให้เกิดสิ่งรบกวน หรือสัญญาณรบกวนที่สัญญาณออกได้ ถ้าในตัวกรองมีการคูณตัวเลขมากสัญญาณรบกวนจากการคูณก็มากด้วย

3. เมื่อนำไปสร้างใช้งานโดยใช้ตัวเลขฐานสอง โดยเฉพาะการใช้ตัวเลขแบบส่วนเต็มสอง (Two complement) แล้วถ้าขนาดของสัญญาณมากเกินไป ทำให้โอกาสที่การบวกตัวเลขที่ค่ามากจนตัวเลขเลยไปทับบิตเครื่องหมาย (Sign bit) หรือเกิดการล้นขึ้น การล้นนี้อาจทำให้ที่สัญญาณออกของตัวกรองเกิดการกวัดแกว่งขึ้นได้ ซึ่งกรณีนี้ทำให้ตัวกรองกลายเป็นวงจรกวัดแกว่งไป

ปรากฏการณ์ต่างๆ ในทางปฏิบัติอาจเกิดหรือไม่เกิดขึ้นก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่าเมื่อนำไปสร้างโดยใช้ความยาวคำจำกัดนั้น ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองถูกสร้างโดยใช้ โครงสร้าง (Structure) ของตัวกรองแบบใด ซึ่งเมื่อถึงจุดนี้ จึงจำเป็นต้องศึกษาเพื่อค้นคว้า โครงสร้างของตัวกรองที่สามารถ หรืออย่างน้อยเกิดผลของปรากฏการณ์ไม่เป็นเชิงเส้นน้อยที่สุด

ดังนั้นสำหรับการออกแบบสร้างตัวกรองเชิงเลข โดยให้มีคุณสมบัติผลตอบสนองความถี่ตามอุดมคติ หรือมีผลตอบสนองความถี่ตามต้องการนั้น อาจกล่าวโดยทั่วไปได้ว่าผู้ออกแบบและสร้างต้องนำองค์ประกอบสำคัญต่างๆ มาร่วมพิจารณาด้วย ซึ่งเขียนสรุปได้ดังนี้

1. เป็นการกำหนดคุณสมบัติของตัวกรองในโดเมนเวลา เช่น ค่าขนาด หรือค่าความหน่วงกลุ่ม หรือว่าเป็นการกำหนดคุณสมบัติของตัวกรองในโดเมนเวลา เช่น ผลตอบสนองอิมพัลส์

2. สำหรับตัวกรองป้อนกลับเชิงเลขที่เราเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนของมัน เป็นอัตราส่วนของพหุนาม (Polynomial) สองพหุนามนั้นต้องออกแบบให้ได้ตัวกรองที่มีเสถียรภาพดี

3. เมื่อได้ฟังก์ชันถ่ายโอนแล้ว ต้องทำการเลือกโครงสร้างตัวกรองให้เหมาะสม เพื่อที่ว่าเมื่อนำไปสร้างใช้งานโดยใช้ตัวเลขความยาวของคำจำกัดแล้วไม่เกินปรากฏการณ์ไม่เป็นเชิงเส้นขึ้น หรือถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ให้เกิดปรากฏการณ์ไม่เป็น เชิงเส้นขึ้นน้อยที่สุด

2.17.2 ตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลข (Non-recursive Digital Filter)

โดยทั่วไปคำว่าตัวกรองสัญญาณนั้นอาจหมายถึง อุปกรณ์ซึ่งอาจเป็นอุปกรณ์ทางเครื่องมือกล วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ หรือ คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ ที่สามารถเปลี่ยนแปลงสเปกตรัม ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณ หรือเรียกรวมกันว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

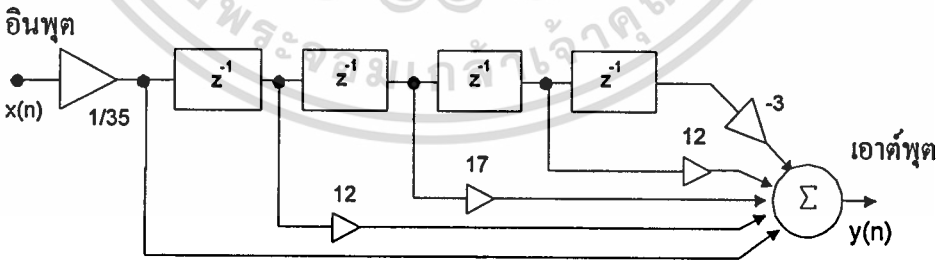
สเปกตรัมความถี่ ให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการได้ ดังนั้นในที่นี้คำว่า ตัวกรองเชิงเลข หมายถึง ตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลขที่ทำให้สเปกตรัมความถี่ ของสัญญาณเชิงเลขเปลี่ยนแปลงไป

ตัวกรองเชิงอุปมาน (Analog Filter) หรือตัวกรองเชิงเลขก็ตามมักเข้าใจกันว่า ต้องใช้สัญญาณเสมอไป ความจริงแล้วมีการคำนวณในบางลักษณะที่สามารถเปรียบเทียบได้ว่าเป็นตัวกรองแบบหนึ่งโดยเฉพาะแบบเชิงเลขได้ ตัวอย่างเช่น วิธีการของการเกลาทีละห้าจุด (Smooth-by-Five) ในสาขาวิชาการประมาณค่า ซึ่งใช้สำหรับเมื่อทำการสุ่มตัวอย่างหรือ ทำการทดลองจนได้ชุดข้อมูลมาจำนวนหนึ่ง ข้อมูลนี้อาจเป็นข้อมูลทางสถิติที่ต้องการเขียนกราฟแล้วหา เส้นโค้งที่เหมาะสม ที่สามารถลากผ่านจุดเหล่านี้ได้ทั้งหมดหรือลากผ่าน โดยมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด การประมาณโดยวิธีการเกลาทีละห้าจุดก็คือ เอาข้อมูลมาที่ละห้าจุด โดยนำจุดที่กำลังพิจารณาไปรวมกันกับจุดที่เวลาล่วงหน้าไป และย้อนหลังไปอย่างละสองจุดมาทำการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งอาจเขียนได้เป็นสมการ

$$y(n) = x(n) = (1/5)\sum_{k=2}^{2} x(n-k)$$

$$= (1/5)\{x(n-2) + x(n-1) + x(n) + x(n-1) + x(n+2) \qquad (2.42)$$

โดยที่เวลาที่ n เป็นเวลาที่กำลังพิจารณา x(n) เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง หรือเก็บข้อมูลทางสถิติ และ y(n) เป็นผลที่ได้จากการเกลา หรือประมาณค่า



รูปที่ 2.14 ตัวกรองเชิงเลขที่เขียนจากสมการการประมาณค่า

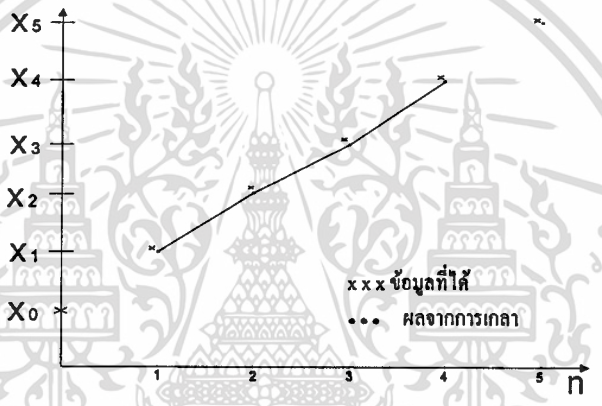
การประมาณการที่ใช้ในสมการนี้ อาจใช้ตัวกรองเชิงเลขตามแผนภาพในรูปที่ 2.14 แทนได้ โดยที่พจน์ Z^{-1} ในรูปแทนการที่ข้อมูลในรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูลหรือชิฟต์รีจิสเตอร์ ถูกหน่วงเวลาออกไปด้วยเวลา T วินาที โดยที่ T เป็นเวลาที่หน่วงของข้อมูลแต่ละข้อมูลของ x(n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลตอบสนองความถี่ของวิธีการเกลาทีละห้าจุด เพื่อความสะดวกในการพิจารณา สมมุติให้ T มีค่าเท่ากับ 1 วินาที จากสมการที่ (2.42) ทำการแปลงแซดและ แทนค่าให้ $Z = \exp\{jw\}$ ได้

$$Y(w) = (1/5)X(w)\{\exp(-2w) + \exp(-jw) + \exp(jw) + \exp(j2w) \qquad (2.43)$$

$$x(n) \overleftrightarrow{} XW \qquad (2.44)$$



รูป 2.15 การหาเส้นโค้งที่เหมาะสม

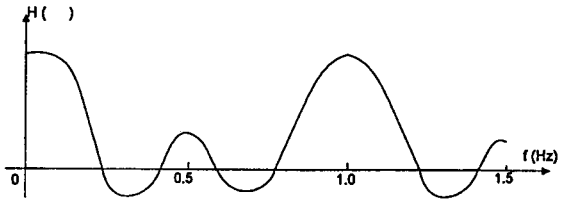
ซึ่งลูกศรที่ชี้ไปกลับนั้นหมายถึงมีการแปลงฟูริเยอร์ จากผลที่ได้ในสมการสามารถหาฟังก์ชันถ่ายโอน ของตัวกรองสัญญาณนี้ได้คือ

$$Y(n)/X(w) = (1/5)\{\exp(-j2w) + \exp(-jw) + 1 + \exp(jw) + \exp(j2w)$$

$$H(w) = (1/5)\begin{cases} 2\{[\exp(j2w) + \exp(-j2w)]/2\} + 2\{[\exp(jw) + \\ \exp(-jw)]/2]\} \end{cases}$$

$$H(w) = (1/5)\{2\cos 2w + 1 + 2\cos w\} \qquad (2.45)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ผลตอบสนองความถี่ของตัวกรอง

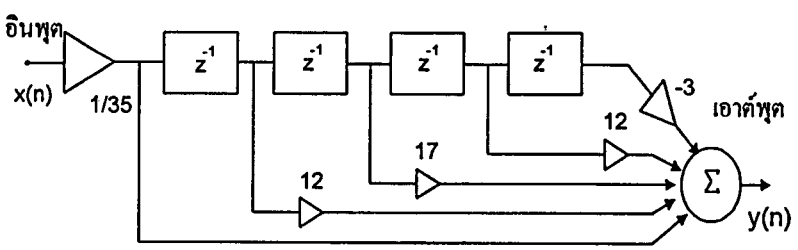
นำผลตอบสนองความถี่ไปวาดกราฟได้ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งเป็นได้ว่าผลตอบสนองเป็นลักษณะของตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ และผลตอบสนองแอมปลิจูดนี้มีข้อสังเกต คือ

1. ผลตอบสนองแอมปลิจูด เริ่มซ้ำค่าเดิมที่จุดความถี่ 1 เฮิรตซ์นั่นก็คือ ผลตอบสนองมีคุณสมบัติเป็นคาบ (Periodic) และมีค่าคาบเท่ากับ 1 เฮิรตซ์ หรือถ้าเขียนในกรณีทั่วไปก็คือมีค่าคาบเป็น 1/T เฮิรตซ์

2. กราฟสมมาตร (Symmetry) ณ จุดความถี่ที่ f = 0 ที่จุดความถี่ f = 1/(2T) โดยทั่วไปจุดความถี่ f = 1/(2T) จึงอาจมีชื่อเรียกว่า ความถี่พับ (Folding frequency)

คุณสมบัติทั้ง 2 ประการนี้ เหมือนกับที่เกิดขึ้นกับตัวกรองอันดับหนึ่ง ซึ่งเกี่ยวกับการสุ่มสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง เป็นวิธีการเกลาทีละห้าจุด ที่ใช้ในการประมาณค่า หรือหาโค้งที่เหมาะสม และอาจถือว่าเป็นตัวกรองเชิงเลขแบบหนึ่งนั้น วิธีการอีกแบบที่มาเปรียบเทียบก็คือวิธีการประมาณค่าเรียกว่า กำลังสามของกำลังสองน้อยสุด ซึ่งสามารถเขียนแทนเป็นสมการ ที่ (2.46) ได้คือ

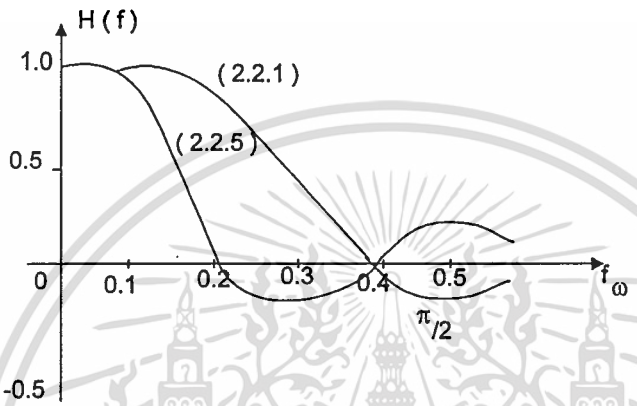
$$y(n) = (1/35).\{-3x(n-2) + 12x(n-1) + 17x(n) + 12x(n+1) - 3x(n+2)\} \qquad (2.46)$$



รูปที่ 2.17 ตัวกรองเชิงเลขของสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองเชิงเลขได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.17 และผลตอบสนองความถี่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.18 โดยที่ในรูปที่ 2.17 ได้แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองเชิงเลขรูปที่ 2.15 ไว้เพื่อเปรียบเทียบ ซึ่งเห็นได้ชัดว่าสมการนี้ ให้ผลตอบสนองความถี่ที่คมกว่า นั่นคือเป็นตัวกรองผ่านความถี่ต่ำที่ดีกว่า



รูปที่ 2.18 เปรียบเทียบผลตอบสนองความถี่

2.17.3 โครงสร้างของวงจรกรองเชิงเลข

การที่จะออกแบบให้ตัวกรองมีคุณสมบัติตามต้องการนั้น ในเบื้องต้นเราต้องกำหนดคุณสมบัติของตัวกรองขึ้นมา การกำหนดคุณสมบัติอาจอยู่ในรูป ผลตอบสนองความถี่ ซึ่งเป็นคุณสมบัติในโดเมนความถี่ หรืออาจกำหนดในรูปผลตอบสนองอิมพัลส์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติในโดเมนเวลา แล้วจากผลตอบสนองของระบบที่กำหนดขึ้นนี้เราใช้เป็นข้อกำหนดในการออกแบบ ซึ่งก็มีวิธีการออกแบบตัวกรองได้หลายวิธีการ อย่างไรก็ตามวิธีการออกแบบได้ผลลัพธ์เป็นฟังก์ชันที่มีเรียกว่า ฟังก์ชันถ่ายโอน หรือ $H(Z) = N(Z) / D(Z)$ ขึ้นมา และฟังก์ชันถ่ายโอนนี้จะเป็นฟังก์ชันที่ให้คุณสมบัติการกรองตามต้องการ

โดยทั่วไปนั้นสำหรับฟังก์ชันถ่ายโอนอันหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไปสร้างเป็นโครงสร้างของวงจรได้หลายรูปแบบลักษณะของรูปแบบขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ ระเบียบวิธีการทำให้เป็นจริง (Realization method) ซึ่งเป็นกระบวนการ หรือกรรมวิธีในการแปลงฟังก์ชันถ่ายโอนให้เป็นโครงข่ายหรือโครงสร้างวงจร ส่วนการจะเลือกนำโครงสร้างแบบใดไปใช้สร้างตัวกรองนั้น ไม่สามารถกำหนดลงไปอย่างแน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีองค์ประกอบหลายประการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องนำมาพิจารณาร่วมด้วย เช่น ความเร็วในการคำนวณสภาพไวต่อการควอนไทซ์สัมประสิทธิ์ (Sensitivity To Coefficient Quantization) ระดับของสัญญาณรบกวนที่จุดสัญญาณออก จากการควอนไทซ์ซึ่งอาจเป็นเชิงเส้นที่อาจเกิดขึ้นได้เป็นต้น

เมื่อกล่าวถึงคำว่า โครงสร้าง จะเขียนแทนด้วยแผนภาพ ที่ประกอบด้วยตัวบวกสัญญาณ ตัวคูณสัญญาณ ตัวหน่วงสัญญาณ ส่วนทิศทางการไหลของสัญญาณจะแทนด้วยทิศทางของหัวลูกศร ซึ่งแผนภาพที่ได้นี้แทน การคำนวณที่อาจเป็นวงจรเฉพาะ หรือฮาร์ดแวร์ หรือเขียนเป็นโปรแกรมหรือเป็นส่วนผสมระหว่างวงจรและโปรแกรมก็ได้

2.17.4 โครงสร้างของวงจรกรองไม่ป้อนกลับ

ตัวกรองแบบนี้ฟังก์ชันถ่ายโอนมีเฉพาะศูนย์เพียงอย่างเดียว หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ตัวกรองแบบนี้ไม่มีการป้อนกลับเอาสัญญาณออกมาใช้ในการคำนวณออกลำดับถัดไป ดังนั้นลำดับสัญญาณออก y(n) จึงขึ้นอยู่กับลำดับสัญญาณเข้า x(n) เท่านั้น ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขนี้ที่เขียนอยู่ในพจน์ของผลตอบสนองอิมพัลซ์ คือ

$$H(Z) = Y(Z) / X(Z) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) Z^{n} \qquad (2.47)$$

การคำนวณตามสมการนี้อาจใช้ FFT มาช่วยคำนวณได้ แต่จะกล่าวถึงสมการนี้ไปสร้างเป็นวงจรกรองโดยตรง ซึ่งอาจทำได้หลายวิธีการดังต่อไปนี้

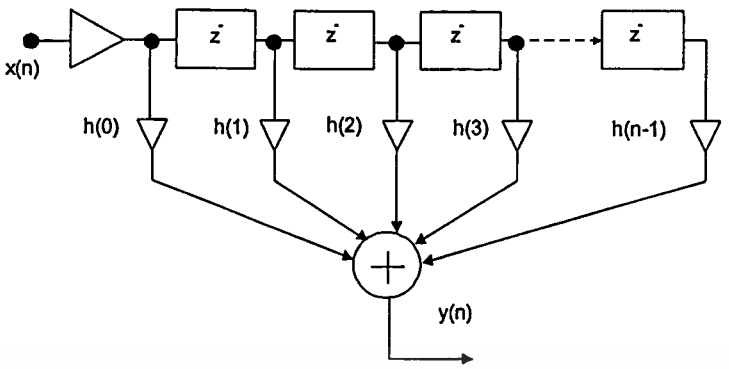
2.17.5 โครงสร้างแบบโดยตรง

วิธีการเขียนโครงสร้างของวงจรกรองแบบโดยตรง (Direct Form) นี้ทำโดยการสร้างจากสมการผลต่างสืบเนื่องโดยตรงคือ

$$y(n) = h(0).x(n) + h(1).x(n-1) + \ldots + h(n-1).x(n-N) \qquad (2.48)$$

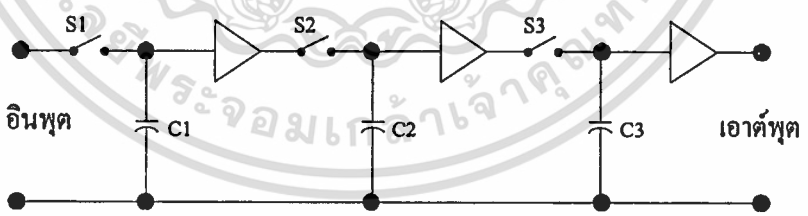
วงจรกรองจะเป็นดังรูปที่ 2.19 ตัวกรองนี้อาจมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ตัวกรองสายหน่วงต่อพ่วงสัญญาณ (Tapped Delay Line Filter) หรือตัวกรองตามขวาง (Transversal Filter) ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของวงจรประกอบด้วยตัวหน่วงที่ต่อกันยาวออกไปแล้วดักเอาสัญญาณออกของแต่ละตัวหน่วง นำมาผลคูณมารวมกัน เพื่อคำนวณเป็นสัญญาณ y(n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขแบบโดยตรง

ตัวกรองตามขวางความจริงจัดอยู่ในประเภทเป็นตัวกรองที่ทำการประมวลผลสัญญาณในลักษณะการประมวลผลสัญญาณเชิงเต็มหน่วย หรืออาจเรียกว่าเป็นตัวกรองเชิงเต็มหน่วย (Discrete Filter) ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์หน่วงสัญญาณจะใช้อุปกรณ์ถ่ายโอนประจุ (Charge Transfer Device หรือ CTD) ซึ่งถือได้ว่าเป็นชิฟต์รีจิสเตอร์เชิงอุปมาน (Analog Shift Register) ที่มีลักษณะการทำงานทั่วไปตามแผนรูปที่ 2.20 โดยที่เป็นการเอาตัวเก็บประจุและสวิตช์มาต่อเรียงกันไป สัญญาณถูกเก็บอยู่ในลักษณะค่าของประจุตัวเก็บประจุ เมื่อเราทำการควบคุมการปิด และเปิดของสวิตช์ต่างๆ อย่างเหมาะสมประจุบนตัวเก็บประจุก็จะถ่ายโอนไปยังตัวถัดไป



รูปที่ 2.20 การทำงานของชิฟต์รีจิสเตอร์เชิงอุปมาน

อุปกรณ์ถ่ายโอนประจุ หรือชิฟต์รีจิสเตอร์เชิงอุปมาน ที่ใช้ในการประมวลสัญญาณเชิงเต็มหน่วยโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ชนิด ซึ่งจะขอนำโครงสร้างและการทำงานของมันมากล่าวถึงอย่างคร่าว ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อุปกรณ์บัดเคท-บริเกด หรือบีบีดี (Bucket-Brigade Device หรือ BBD) อุปกรณ์แบบนี้ทำงานเหมือนกับแผนภาพในรูปที่ 2.20 เพียงแต่ตอนสร้างเป็นวงจรจริงสวิตช์ต่างๆ อาจแทนด้วยอุปกรณ์มอส (MOS) อย่างไรก็ตามในโครงสร้างแบบนี้ทิศทางการถ่ายโอนของประจุจะเคลื่อนตัวในลักษณะตรงกับทิศทางของสัญญาณ ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณที่เป็นส่วนต่างหรือส่วนพร่องของประจุเท่านั้นที่จะถูกถ่ายโอนไป

2.อุปกรณ์คู่ควบประจุหรือซีซีดี (Charge-Coupled Device or CCD) อุปกรณ์แบบนี้ทำโดยการสร้างชั้นออกไซด์ (Oxide) เคลือบสารกึ่งตัวนำไว้ แล้วบนเหนือออกไซด์ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนนี้ก็จะนำขั้วไฟฟ้ามาต่อเรียงกันแบบคาสเคด ดังนั้นเมื่อเราทำการควบคุมศักย์ไฟฟ้าบนขั้วที่มาต่อเรียงกันนี้ให้ดี ก็จะทำให้มีประจุเคลื่อนไปในทิศทางจุดสัญญาณออกได้

2.18 ตัวกรองป้อนกลับเชิงเลข (Recursive digital filter)

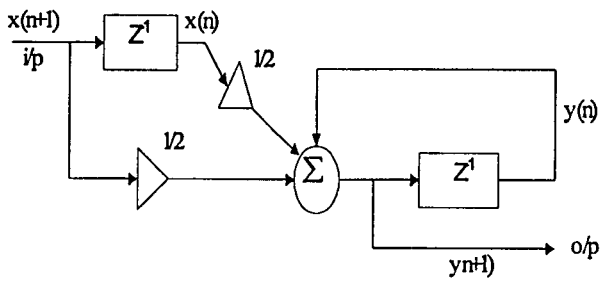
2.18.1 การอินทิเกรตเชิงเลข

ตัวอย่างของตัวกรองเชิงเลขอีกรูปแบบหนึ่งที่มีการใช้งานกัน คือในระเบียบวิธีเชิงเลข (numberical method) ก็คือ การอินทิเกรตเชิงเลข (numberical integration) ทั้งหลายเรามาพิจารณาการอินทิเกรตเชิงเลข แบบสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal) ซึ่งลำดับขั้นตอนวิธีของมันเขียนเป็นสมการตามลำดับได้ คือ

$$
\begin{aligned}
y(0) &= 0 \\
y(1) &= y(0) + (1/2)\ \{x(2) + x(0)\} \\
y(2) &= y(1) + (1/2)\ \{x(2) + x(1)\} \\
&\vdots \qquad\qquad \vdots \\
y(n+1) &= y(n) + (1/2)\ \{x(n+1) + x(n)\}
\end{aligned}
\tag{2.49}
$$

ถ้าเราให้แต่ละชิ้น (strip) ของสี่เหลี่ยมคางหมู มีค่าเป็น 1 หน่วย จะเห็นได้ว่าวงจรกรองเชิงเลขที่ใช้ในการคำนวณสมการที่ (2.49) อาจเขียนแทนด้วย แผนถาพของวงจรกรองเชิงเลขดังแสดงในรูปที่ 2.21 ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 แผนภาพวงจรกรองเชิงเลขของสมการ (2.49)

สำหรับการอินทิเกรตเชิงเลขแบบอื่นๆ นั้น จะเขียนเพียงสมการโดยไม่เขียนแผนภาพของตัวกรองประกอบ เช่น การินทิเกรต โดยใช้ กฎของซิมป์สัน (Simpson' s rule) คือ

$$y(n+1) = y(n-1) + (1/3)\{x(n+1) + 4x(n) + (n-1)\} \quad (2.50)$$

หรือการอินทิเกรตโดยใช้กฎของทิค (Tick's rule)

$$y(n+1) = y(n-1) + 0.3584\,x(n+1) + 1.2832\,(n) + 0.3584\,x(n-1) \quad (2.51)$$

หรือ การอินทิเกรตโดนใช้ กฎของจุดกึ่งกลาง (mid - point rule) เป็นต้น

$$y(n+1) = y(n) + x(n + 1/2) \quad (2.52)$$

การอินทิเกรตแบบต่างๆ ที่ได้กล่าวมานี้ อาจกล่าวได้ว่าเป็นแบบหนึ่งของการประมวลผลสัญญาณ โดยใช้ตัวกรองป้อนกลับเชิงเลข ซึ่งตัวกรองนี้อาจเขียนแทนได้ด้วยสมการทั่วไป คือ

$$y(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k\, x(n-k) - \sum_{k=1}^{\infty} b_k\, y(n-k) \quad (2.53)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $b_0 = 1$ และสมการที่ (2.53) เป็นสมการที่สามารถนำเอาไปสร้างเป็นวงจรกรองได้หรือเป็นตัวกรองเหตุกภาพ เมื่อให้ $b_k = 0$ เมื่อ $k < 1$ แต่สำหรับกรณีค่า $b_k \neq 0$ เมื่อ $k < 1$ จะสมารถนำไปสร้างเป็นตัวกรองได้เช่นเดียวกัน แต่เป็นวงจรกรองแบบไม่เป็นระบบเวลาจริง ซึ่งตัวกรองแบบนี้มีประโยชน์มากเช่นกัน

ส่วนผลตอบสนองความถี่ของการอินทิเกรตเชิงเลขตามสมการที่ (2.50) ถึง (2.52) ว่าเป็นอย่างไร โดยการคำนวณจะแสดงเฉพาะกรณีแบบสี่เหลี่ยมคางหมูเท่านั้น ส่วนผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองแบบอื่น ก็หาได้โดยวิธีการเดียวกัน จากรูปที่ 2.21 สัญญาณออกของวงจรเขียนได้เป็น

$$y(n+1) = y(n) + (1/2)\{x(n+1) + x(n)\}$$

ทำการแปลงแซด เข้ากับทั้งสองข้างของสมการนี้ แล้วทำการแทนค่า $Z = \exp(jw)$ จะได้

$$Y(w)\exp(jw) = Y(w) + (1/2)\{X(w).\exp(jw) + X(w)\}$$

ทำการหารตลอดด้วยพจน์ $X(w)$ ได้ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองเป็น

$$H(w).\exp(jw) = H(w) + (1/2)\{\exp(jw) + 1\} \quad (2.54)$$

หรือ
$$H(w) = (1/2)\{\exp(jw) + 1\} / \{\exp(jw) - 1\}$$
$$= \cos(w/2) / (2j \sin(w/2)) \quad (2.55)$$

และสำหรับ ตัวอินทิเกรตอุดมคติ ให้ผลตอบสนองความถี่เป็น

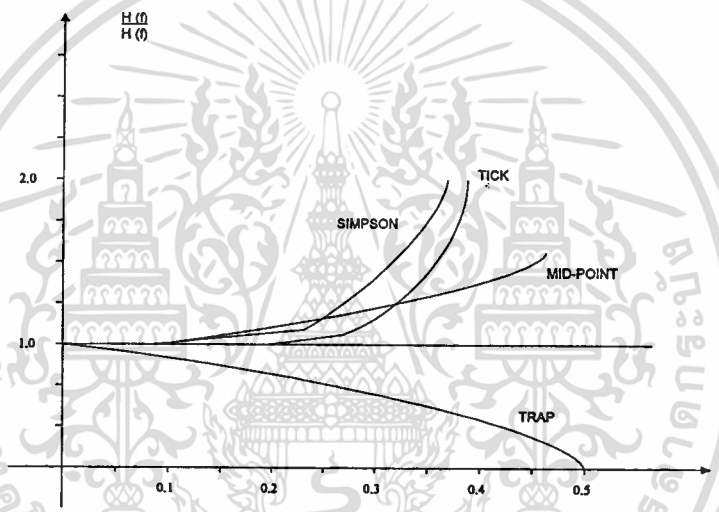
$$H_t(w) = 1 / jw \quad (2.56)$$

เพราะฉะนั้น เมื่อนำมาหาอัตราส่วนระหว่าง $H(w)$ กับ $H_t(w)$ จะได้

$$H(w)/H_t(w) = (w/2)\cot(w/2) \quad (2.57)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.22 เห็นได้ชัดว่าผลตอบสนองความถี่ของการอินทิเกรตแบบสี่เหลี่ยมคางหมู เมื่อเทียบกับตัวอินทิเกรตจริงแล้ว มีค่าผิดพลาดมาก โดยเฉพาะในย่านความถี่สูงค่าผิดพลาดก็เพิ่มมากขึ้น ในรูปที่ 2.22 ได้วาดรูปผลตอบสนองความถี่ของการอินทิเกรตแบบอื่นไว้ด้วย เห็นได้ว่าการอินทิเกรตเชิงเลขโดยใช้กฎของทิดให้ผลตอบสนองความถี่และให้ได้ในช่วงความถี่ที่กว้างกว่าแบบอื่น แต่มีข้อเสียคล้ายแบบซิมป์สัน คือ ถ้าความถี่สูงขึ้นค่าผิดพลาดมากและอาจมีค่าผิดพลาดเข้าสู่อนันต์ได้ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบตลอดย่านความถี่ทั้งหมด อาจกล่าวได้ว่า แบบจุดกึ่งกลางให้ค่าผิดพลาดน้อยที่สุด



รูปที่ 2.22 ผลตอบสนองความถี่ของ อินทิเกรเตอร์เชิงเลข

2.18.2ตัวกรองป้อนกลับเชิงเลขทั่วไป

โดยทั่วถ้าให้สัมประสิทธิ์ของตัวกรองเชิงเลขมีจำนวนจำกัด จากสมการที่ (2.53) อาจเขียน สมการผลต่างสืบเนื่องอันดับที่ M (M^{th} order difference equation) สำหรับตัวกรองระบบเวลาจริงได้

$$y(nT) = \sum_{k=0}^{N} a_k \, x(nT - kT) - \sum_{k=1}^{M} b_k \, y(nT - kT) \qquad (2.58)$$

โดยในที่นี้เขียนให้ $b_0 = 1$ และเมื่อทำการแปลงแซดทั้งสองข้างจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\zeta \{ y(nT) \} + \zeta \{ \sum_{k=0}^{N} b_k \, y(nT - kT) \} = \zeta \{ \sum_{k=1}^{M} a_k \, x(nT - kT) \}$$

หรือ ได้ฟังก์ชั่นถ่ายโอนเป็น

$$H(Z) = Y(Z) / X(Z) = \sum_{k=0}^{N} a_k \, Z^{-k} / \{ 1 + \sum_{k=1}^{M} b_k \, Z^{-k} \} \qquad (2.59)$$

โดยที่ให้ $b_0 = 1$ และโดยการแทนค่าให้ $Z = \exp(jw)$ เราจะได้ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองป้อนกลับเชิงเลขแบบทั่วไป คือ

$$H(e^{jwT}) = H(w) = \sum_{k=0}^{N} a_k \, . \, e^{-jkwT} / \{ 1 + \sum_{k=1}^{M} b_k \, . \, e^{-jkwT} \} \qquad (2.60)$$

2.18.3 โพล และ ซีโร ของฟังก์ชั่นถ่ายโอน

พหุนามเศษ และ พหุนามส่วน ของฟังก์ชั่นถ่ายโอน ของวงจรป้อนกลับเชิงเลขทั่วไป ในสมการ 2.59 อาจเขียนแยกตัวประกอบในพจน์ของ โพล (pole) และ ซีโร (zero) ได้เช่นเดียวกับระบบเชิงอุปมาน สมมุติให้ $H(Z)$ มีโพลอยู่ M โพล ที่ตำแหน่ง $Z = p_1, p_2, ..., p_M$ และมีซีโร อยู่ N ตัว ที่ตำแหน่ง $Z = Z_1, Z_2, ..., Z_N$ ดังนั้นฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบเขียนได้ใหม่คือ

$$H(Z) = A \prod_{i=1}^{N} (1 - Z_i \, Z^{-1}) / \prod_{i=1}^{M} (1 - P_i \, Z^{-1}) \qquad (2.61)$$

โดยที่ A แทนค่าขยายของระบบ

ดูตัวอย่างสำหรับระบบที่มี 2 ซีโร ที่ Z_1 และ Z_2 และมี 3 โพลที่ P_1, P_2 และ P_3 เราสามารถหาผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองได้โดยวิธีกราฟ โดยถ้าให้ R_1 และ R_2 เป็น ระยะห่างจากซีโร Z_1 และ Z_2 ถึงจุดบนวงกลมหนึ่งหน่วยตามลำดับ และถ้าให้ R_3, R_4 และ R_5 เป็นระยะจากโพล P_1, P_2 และ P_3 ไปยังจุดบนวงกลมหนึ่งหน่วย จากสมการที่ (2.61) หาผลตอบสนองแอมพลิจูดจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

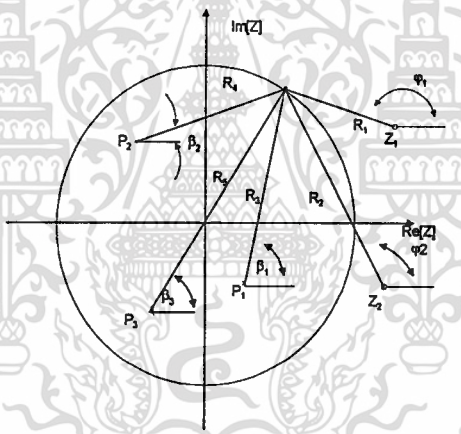
$$|H(Z)| = \frac{|Z-Z_1|\cdot|Z-Z_2|}{|Z-P_1|\cdot|Z-P_2|\cdot|Z-P_3|} \quad (2.62)$$

นั่นคือ $$|H(e^{jwT})| = R_1 \cdot R_2 \cdot / (R_3 \cdot R_4 \cdot R_5) \quad (2.63)$$

และผลตอบสนองเฟสเป็น

$$\theta = \varphi_1 + \varphi_2 - (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) \quad (2.64)$$

ค่าต่างๆ ตามสมการที่ (2.63) และ (2.64) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การหาผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองเชิงเลขโดยวิธีกราฟ

2.18.4 เสถียรภาพของตัวกรองป้อนกลับเชิงเลข

ในหัวข้อที่แล้ว ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงจรกรองเชิงเลขสามารถเขียนอยู่ในพจน์ของโพล และ ซีโร ได้ ดังนั้นเราอาจพิจารณาเสถียรภาพของวงจรกรองโดยดูที่ตำแหน่งโพลของสมการที่ (2.61) ซึ่งจะเห็นได้ว่าวงจรกรองป้อนกลับเชิงเลขจะเสถียรก็ต่อเมื่อโพลของฟังก์ชั่นถ่ายโอน วางตัวอยู่ภายในวงกลมหนึ่งหน่วยของระนาบเชิงซ้อน Z (หรือวางตัวอยู่ภายนอกวงกลมหนึ่งหน่วยของระนาบเชิงซ้อน Z^{-1}) หรือ

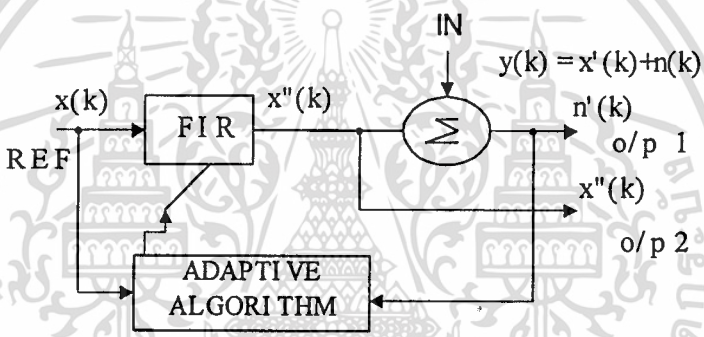
$$|Z| = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงอาจกล่าวได้ว่า ถ้าหากฟังก์ชั่นถ่ายโอนของตัวกรองเชิงเลขอยู่ในพจน์ของ ตัวกรองอันดับหนึ่งที่ต่อเรียงกันดังสมการที่ (2.61) แล้ว ตัวกรองเชิงเลขแบบเหตุกภาพจะเสถียร เมื่อโพลทุกตัวของตัวกรอง มีตำแหน่งอยู่ภายในวงกลมหนึ่งหน่วยของระนาบเชิงซ้อนแซด

2.19 ทฤษฎีตัวกรองความถี่ปรับค่าได้

ตัวกรองความถี่ปรับค่าได้ถูกพัฒนามาจากตัวกรองเชิงเลขแบบผลตอบสนองจำกัด ซึ่งคำว่าปรับค่าได้หมายถึง ทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ ของตัวกรองแบบผลตอบสนองจำกัดตามสัญญาณอ้างอิง โครงสร้างตัวกรองความถี่ปรับค่าได้ แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 2.24 โครงสร้างของตัวกรองความถี่แบบปรับค่าได้

จากรูปสัญญาณ Referenc คือ x(k) สัญญาณเอาต์พุตคือ ผลการคอนโวลูชั่นและผลรวมของ n(k) และ y(k) โดยที่ y(k) คือสัญญาณอินพุต ซึ่งประกอบไปด้วยสัญญาณ 2 ส่วนคือ x′(k) และ n(k) โดย x′(k) คือ สัญญาณที่ต้องการและ n(k) คือสัญญาณที่ไม่ต้องการสมการที่ (2.65)

$$y(n) = x'(k) + n(k) \tag{2.65}$$

ดังนั้นจะพบว่าสัญญาณเอาต์พุต 2 x′′(k) ซึ่งเป็นผลการคอนโวลูชั่นระหว่างสัญญาณอ้างอิง x(k) กับสัมประสิทธิ์ FIR ที่ปรับตามค่าของสัญญาณ x′(k) อันเป็นองค์ประกอบหนึ่งของสัญญาณ y(k) หรือกล่าวได้ว่า ขนาดของสัญญาณ x′′(k) จะเท่ากับขนาดของสัญญาณ x′(k) ในกรณีที่สัญญาณ x′(k) มีรูปแบบเดียวกับสัญญาณ x(k) แต่ขนาดไม่เท่ากัน โดยที่ขนาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x(k) จะต้องมากกว่า x′(k) เสมอ จึงจะทำให้ x″(k) เป็นจริงและเรียกผลการกรองลักษณะนี้ว่า Unwant Signal Tracing

ส่วนในกรณีของเอาต์พุต n′(k) คือผลรวมของสัญญาณที่ผ่านการคอนโวลูชั่น x″(k) กับสัญญาณ y(k) เมื่อ x′(k) มีขนาดเท่ากับ x″(k) ดังที่ได้อธิบายไปแล้วและทำการกลับเฟสของสัญญาณ x″(k) จะได้ดังสมการที่ (2.66)

$$\begin{aligned} n'(k) &= y(k) + (x''(k) \\ &= x(k) + n(k) - x''(k) \\ &= n(k) \end{aligned} \tag{2.66}$$

ผลการกรองลักษณะดังกล่าวนี้เรียกว่า Unwant Signal Cancellation การกรองทั้งสองลักษณะดังกล่าวจะให้ผลสมบูรณ์ได้ก็ต่อเมื่อสัญญาณอินพุต y(k) และสัญญาณอ้างอิง x(k) เกิดขึ้นที่เวลาเดียวกัน และสามารถใช้ได้จริงหากทำการเปลี่ยนสัญญาณอ้างอิงจาก x(k) เป็น n(k)

ซึ่งจะพบว่าไม่ว่ากรณีใดก็ตามความสำคัญของการกรองความถี่แบบปรับค่าได้ขึ้นอยู่กับวิธีการในการปรับสัมประสิทธิ์ FIR ให้เปลี่ยนตามสัญญาณอ้างอิงตลอดเวลา โดยจะใช้ค่าผิดพลาดของผลการคอนโวลูชั่นกับสัญญาณอ้างอิงในการปรับสัมประสิทธิ์ดังสมการที่ (2.67) ซึ่งจะอธิบายในกรณีของสัญญาณอ้างอิงเป็น n(k)

$$\varepsilon_k = n(k) - n'(k) \tag{2.67}$$

ซึ่งจะได้ว่า

$$\begin{aligned} x''(k) &= y(k) - n'(k) \\ &= x'(k) + n(k) - n'(k) \\ &= x'(k) + \varepsilon_k \end{aligned} \tag{2.68}$$

และค่าผิดผลาดกำลังสองคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\varepsilon_k^2 = (n(k) - n'(k)^2$$

หรือ

$$\varepsilon^2 = \sum_{k=0}^{k=k-1} [n(k) - n'(k)] \qquad (2.69)$$

ส่วนสัญญาณ n′(k) ที่ผ่านการกรองจากตัวกรองเชิงเลขผลตอบสนองจำกัดจะได้

$$\begin{aligned} n'(k) &= \sum_{m=0}^{m=M-1} W(k),m)x(k-m) \\ &= W^T X(k) \end{aligned} \qquad (2.70)$$

จากนั้นแทนค่า n′(k) ลงในสมการค่าผิดผลาดกำลังสองจะได้

$$\varepsilon^2 = \sum_{k=0}^{k=k-1} n'(k) - 2 \sum_{k=0}^{k=k-1} n(k)W \sum_{k=0}^{k=k-1} x(k)W$$

โดยกำหนดให้

$$R = \sum_{k=0}^{k=k-1} X(k)X^T(k)$$

และ

$$p = \sum_{k=0}^{k=k-1} m'(k)X(k)$$

จะเขียนสมการค่าผิดผลาดกำลังสองได้เป็นดังสมการที่ (2.71)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\varepsilon^2 = \sigma^2 - 2PW + W^T RW \qquad (2.71)$$

โดย σ^2 คือ ค่าขนาดของ NOISE จากนั้นนำค่าผิดผลาดกำลังสองไปหาอนุพันธ์จะได้

$$\Delta\varepsilon^2 = \frac{d\varepsilon^2}{dw} = -2PW + 2RW$$

โดยที่ W คือค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเชิงเลขแบบผลตอบสนองจำกัด ที่เกิดจากผลการผิดผลาด หากนำค่าสัมประสิทธิ์นี้ไปหักล้างหรือรวมกับสัมประสิทธิ์เดิมก็จะทำให้เกิดการปรับค่าสัมประสิทธิ์ตามสัญญาณตลอดเวลาดังสมการ เมื่อ

$$\begin{aligned} {}_{k-1} &= W_k - \mu W \\ &= W_k - \mu \nabla_k \varepsilon_k^2 \\ \varepsilon_k^2 &= [n(k) - W_k^T X(k)]^2 \end{aligned}$$

และทำสมการดังกล่าวไปหาอนุพันธ์จะได้

$$= -2\varepsilon_k X(k) \qquad (2.72)$$

ดังนั้นจะได้

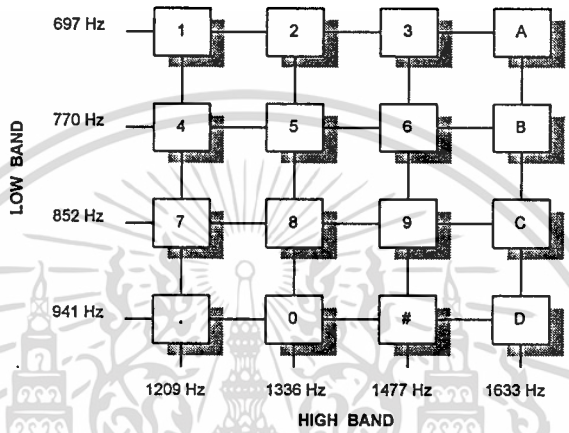
$$W_{k+1} = W_k + \mu\, \omega_1\, X(k) \qquad (2.73)$$

และสมการสุดท้ายนี้เรียกว่า สมการลีดมีนสแควร์ ซึ่งสามารถใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ FIR ตามค่าสัญญาณอ้างอิงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.20 หลักการเบื้องต้นของสัญญาณ DTMF

สัญญาณ DTMF เป็นสัญญาณการเข้ารหัสความถี่คู่ของหมายเลขโทรศัพท์ หรือที่เรียกว่า โทรศัพท์แบบกดปุ่มกด นอกจากโทรศัพท์แบบกดปุ่ม DTMF ยังมีใช้ในเครื่องวิทยุรับส่งแบบมือถือ ซึ่งเราสามารถนำส่วนนี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์เช่นเดียวกับโทรศัพท์แบบกดปุ่ม



รูปที่ 2.25 ปุ่ม DTMF ที่ใช้สร้างความถี่

2.20.1 การเข้ารหัส DTMF

การเข้ารหัส DTMF จะมีภาคออสซิลเลเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดความถี่หลักที่ได้จากการกดปุ่ม DTMF จากนั้นวงจรรับและถอดรหัสจะทำหน้าที่นับความถี่ที่ส่งมา โดยที่วงจร D/A จะแยกความถี่ต่ำและความถี่สูงให้เป็นสัญญาณแอนะลอกเสียก่อน โดยนำสัญญาณแอนะลอกที่ได้ส่งไปที่วงจรรวม เพื่อทำการรวมสัญญาณความถี่แอนะลอกที่ด้านสูงและที่ด้านต่ำเข้าด้วยกัน โดยกำเนิดเป็นความถี่ใหม่ ก่อนที่จะส่งออกภาคเอาต์พุต เพื่อเข้าสู่ภาคการถอดรหัสต่อไป

2.20.2 การถอดรหัส DTMF

การถอดรหัส DTMF เป็นกระบวนการแปลงสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการกดปุ่ม DTMF ซึ่งเป็นสัญญาณแอนะลอกให้กลับกลายมาเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยเมื่อสัญญาณแอนะลอกถูกส่งออกจากภาคเอาต์พุตแล้ว ภาคกรองความถี่จะทำการแยกสัญญาณ DTMF ที่เป็นที่เป็นแอนะลอกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ช่วงความสูงและช่วงความต่ำ ความถี่ DTMF ที่ถูกกรองเรียบร้อยแล้ว จะผ่านภาคถอดรหัสที่ออกเป็นตัวเลข โดยใช้เทคนิคการนับแบบดิจิตอล และมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบความถี่ที่เข้ามาว่าเป็นความถี่ DTMF หรือไม่ จากนั้นจะส่งไปที่ภาคตรวจสอบสัญญาณ ก่อนที่จะมีการถอดรหัสความถี่ออกไปที่เอาต์พุต จะมีการตรวจสอบความถี่ที่เข้ามาว่ามีระยะตามเวลาที่กำหนดหรือไม่ โดยสังเกตจากระยะการกดปุ่มให้มีความถี่ออกมาเป็นช่วงเวลาพอสมควร มิฉะนั้นวงจรจะไม่รับโดยถือว่าสัญญาณนั้นไม่ถูกต้อง จากนั้นวงจรถอดรหัสจึงทำการถอดรหัสตัวเลขออกเป็น 4 บิต ซึ่งการถอดรหัส DTMF นี้ จะมีภาคขยายความแตกต่างของสัญญาณอินพุตที่เข้ามา และภาคออสซิลเลเตอร์เป็นตัวกำเนิดความถี่เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การสร้างและการออกแบบ

ในบทนี้จุดประสงค์จะกล่าวถึงทำการสร้างและการออกแบบชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข โดยได้แยกส่วนในการออกแบบเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ และส่วนของ ซอฟต์แวร์

3.1 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์

ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข จะใช้บอร์ด DSK เป็นอุปกรณ์สำคัญโดยทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลซึ่งทำงานที่เวลาจริง บอร์ด DSK นี้ ถูกออกแบบโดย บริษัท เทกซัส อินสทูเมนท์ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่างจัดได้ว่าเป็นบอร์ดอเนกประสงค์ หากนำมาดัดแปลงแล้วทำให้ความอเนกประสงค์นี้หายไปก็จะถือว่า เกิดการสูญเสียทรัพยากรณ์โดยใช่เหตุ ดังนั้นหลักสำคัญในการออกแบบฮาร์ดแวร์ จึงต้องคงไว้ซึ่งความสามารถเดิมของบอร์ด DSK ทั้งหมด

3.1.1 วิธีการสร้างด้านฮาร์ดแวร์

การสร้างวงจรด้านฮาร์ดแวร์นี้ ในโครงงานนี้จะรวมวงจรต่างๆเข้าด้วยกัน ซึ่งจะประกอบไปด้วยวงจรต่างๆ ดังนี้

1. วงจรกำเนิดแรงดันไฟตรง (Power Supply)

วงจรจ่ายไฟเป็นสิ่งที่จำเป็นที่ขาดไม่ได้อย่างหนึ่งสำหรับชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ซึ่งใช้เป็นวงจรรักษาแรงดันไฟตรง ±5 โวลต์ , ±12 โวลต์ และแรงดันไฟตรง 0 - 30 โวลต์ ไว้ใช้สำหรับเป็นจุดต่อใช้งานแรงดันภายนอกแรงดันไฟตรงขนาด ±5 โวลต์ ใช้สำหรับ วงจรการมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งเวลา (TDM) และเป็นจุดต่อไว้ใช้งานภายนอกส่วนแรงดันขนาด ±12 โวลต์ใช้ในส่วนของวงจรมิกเซอร์บัฟเฟอร์และเป็นจุดต่อใช้งานภายนอกรวมทั้งเป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรปรีไมค์และวงจรเพาว์เวอร์แอมป์ ส่วนบอร์ด DSK ใช้แรงดันไฟสลับ 9 โวลต์ซึ่งใช้ต่อจากหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 9 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 วงจรมิกเซอร์บัฟเฟอร์ (Mixer Buffer)

วงจรมิกเซอร์ บับเฟอร์ใช้สำหรับผสมสัญญาณต่างๆ ที่ต้องการนำมาผสมกัน แล้วป้อนเป็นสัญญาณอินพุตให้กับวงจรการมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งเวลา (TDM)

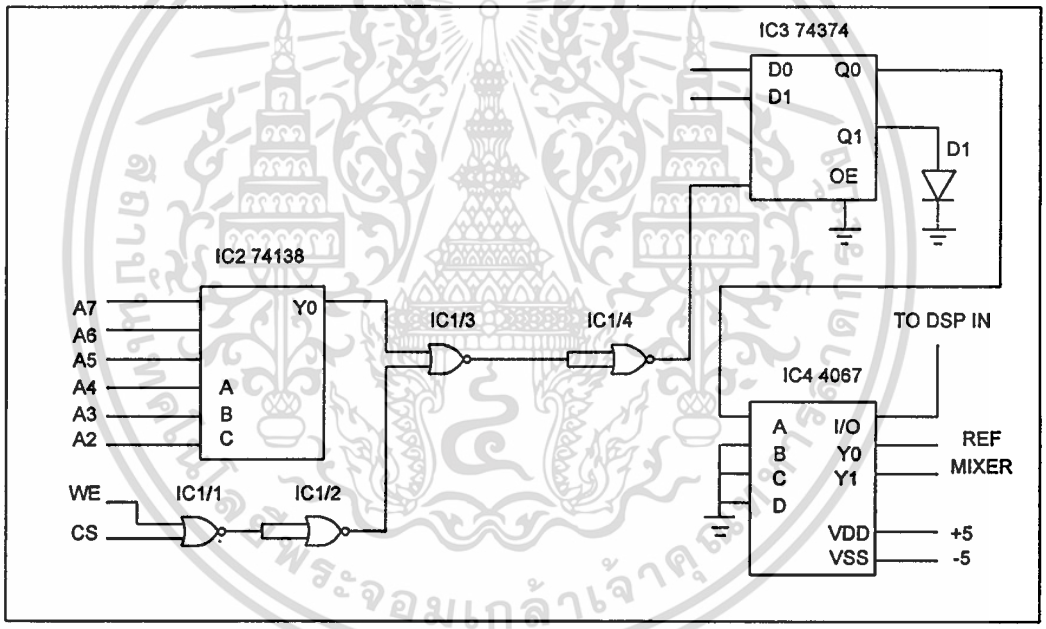
3. วงจรเพาว์เวอร์แอมป์ (Power Amp)

เป็นตัวขยายสัญญาณเมื่อต้องการแสดงผลทางเอาต์พุทในรูปของสัญญาณเสียง

4. วงจรปรีไมค์ (Pre Mic)

เป็นตัวรับสัญญาณเสียงจากไมค์ในกรณีที่ต้องการรับอินพุตจากเสียงพูด

5. วงจรการมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งเวลา (TDM)



รูปที่ 3.1 วงจรมัลติเพล็กซ์ 2 ช่อง

จากโครงสร้างบอร์ด DSK ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล เบอร์ TLC-32040 ซึ่งภายในอุปกรณ์ดังกล่าวนี้สามารถทำการมัลติเพล็กซ์ได้ 2 ช่องสัญญาณ แต่เนื่องจากต้องเสียเวลาในการสั่งให้เปลี่ยนช่องนานจึงทำให้เกิดความเพี้ยนของสัญญาณเนื่องจากการหน่วงเวลา ผลทำให้ตัวกรองปรับค่าได้ทำงานไม่ทันที่ความถี่สูง จากการทดลองใช้ พบว่าตัวกรองความถี่แบบปรับค่าได้ สามารถทำงานได้สูงสุดที่ความถี่ 200 เฮิรตซ์ โดยประมาณ ซึ่งต่ำกว่าขอบเขตที่ตั้งไว้มากดังนั้น จึงจำเป็นต้องออกแบบวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มัลติเพล็กซ์ภายนอกเอง แต่เนื่องจากจะต้องสัมพันธ์กับการทำงานของตัวกรองแบบปรับค่าได้ตลอดเวลา ดังนั้นวงจรมัลติเพล็กซ์จะต้องถูกควบคุมด้วยตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) โดยตรง วงจรมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งเวลา ดังรูปที่ 3.1

3.2 การออกแบบทางด้านซอฟท์แวร์

3.2.1 Discrete Fourier Transform (DFT)

ในการออกแบบใบงานเรื่อง DFT ซึ่งเป็น DFT 4 จุด และสมการที่ใช้ในการสร้าง DFT 4 จุด

DFT เป็น Discrete frequency Sequence ที่ค่าจำกัด (Finite) เกิดจากการสุ่ม 1 คาบ (Periode) ของ Fourier Transform โดยจำนวน N ค่าซึ่งมี W อยู่ระหว่าง 0-2π จะได้ดังนี้

$$Wk = \frac{2\pi k}{N} \qquad ; \ 0 \le k \le N\text{-}1$$

Discrete Sequence ของ Fouirer Transform H( ) จะถูกแทนตัว { H(k) } ดังนี้

$$H(k) = H(e^{j\omega})\Big|_{\omega=\omega k=\frac{2\pi k}{N}} \qquad ; \ 0 \le k \le N\text{-}1$$

ดังนั้น Discrete Fourier Transform จะได้เป็น

$$H(k) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n)\, e^{\frac{-j2\pi nk}{N}} \qquad ; \ 0 \le k \le N\text{-}1 \qquad (3.1)$$

จากสมการนำมาเขียนโปรแกรมโดยที่ค่าโคไซน์ (cos) และค่าไซน์ (sin) จะต้องคำนวณค่าก่อน ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นทศนิยมและจะต้องทำการสเกลค่าก่อน ด้วยการคูณด้วย 1000 เนื่องจาก TMS-320C50 เป็น ฟิกซ์พอยน์ (Fixed point) จากนั้นจึงนำค่าที่คำนวณแล้วใส่ในตำแหน่งของ หน่วยความจำ ต่างๆ รวมทั้งอินพุทด้วย การทำงานของโปรแกรมจะเป็นลักษณะการวนลูปเพื่อดึงค่าจาก หน่วยความจำ มาทำการคำนวณผลลัพธ์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะถูกเก็บในตำแหน่ง หน่วยความจำ อีกทีหนึ่ง

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการออกแบบ DFT 4 จุด ในเบื้องต้นนี้สามารถที่จะขยายเป็น 8 จุด หรือมากกว่านี้ ได้โดยการเปลี่ยนจำนวนการวนลูปและทำการคำนวณหาค่าโคไซน์ (cos) และค่าไซน์ (sin)

3.2.2 Signal Generator

1. รูปคลื่นไซน์ (Sine Wave)

การออกแบบใบงานรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) โดยใช้ TMS-320C50 นั้น ในการกำหนดความถี่จะอาศัยหลักการสุ่มความถี่ (Sampling frequency) และการกำหนดจำนวนจุด (N) โดยที่

$$F = \frac{Fs}{N} \tag{3.2}$$

F = ความถี่เอาท์พุต

Fs = ความถี่สุ่ม

N = จำนวนจุด

จากหลักการของการมองค่าจากตาราง ซึ่งจำเป็นจะต้องคำนวณหาค่าไซน์ (sin) ของแต่ละจุด จากนั้นทำการสเกลค่าด้วยการคูณด้วย 1000 และนำค่าที่สเกลแล้วไปเก็บในหน่วยความจำ จากนั้นเขียนโปรแกรมอ่านค่าจากหน่วยความจำ ส่งออกไปยัง D/A ของบอร์ด DSK

ตัวอย่าง

N = 4 จุด Sampling 8 k

ดังนั้น $F = \frac{8000}{4}$

$F = 2\,k$

หาค่าไซน์ (sin) แต่ละจุดจาก

$$A = \frac{360}{N}$$

เมื่อ N = 4

A = 90 องศา

sin A = 1000

sin2A = 0

sin3A = -1000

sin4A = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าที่ได้เก็บไว้ในหน่วยความจำ แล้วเขียนโปรแกรมดึงค่าจากหน่วยความจำ ส่งไปยัง D/A ในกรณีที่ต้องการความถี่สูงกว่านี้ สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. เปลี่ยนความถี่ Sampling
2. เปลี่ยนค่า N

2. รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave)

ในการสร้างและออกแบบ Square Wave นั้น TMS320C50 สามารถทำได้ แต่เนื่องจากภายในบอร์ด DSK มีวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass fillter) ทำให้ความถี่ของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) ที่ได้นั้นมีความถี่ต่ำ ในการออกแบบจะใช้โปรแกรมเดียวกับโปรแกรมรูปคลื่นไซน์ (Sin Wave) โดยใช้ Table ในตำแหน่ง หน่วยความจำ เป็น 1000 และ 0 จากนั้นจะอ่านค่าแรกจากตาราง คือ "1" แล้วหน่วงเวลาไว้ จากนั้นจึงไปอ่านค่า "0" จาก Table แล้วหน่วงเวลา ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ รูปสัญญาณที่ได้จะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ม (Square Wave)

3. รูปคลื่นฟันเลื่อย (Saw Wave)

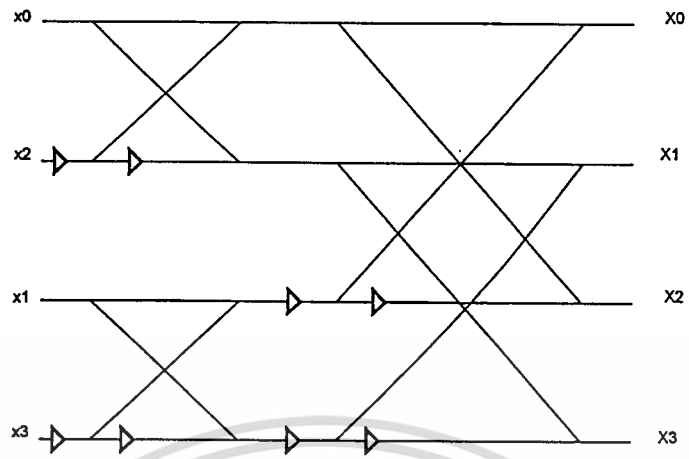
จะใช้โปรแกรมส่งค่าแอคคิวมูเลเตอร์ (ACC) ออกไปยัง D/A จากนั้นสัญญาณจะเป็นความชัน เส้นตรงจนกระทั่งถึงค่าๆ หนึ่งที่แอคคิวมูเลเตอร์ (ACC) มีค่าเท่ากับ "0" ความชันก็จะกลายเป็นเส้นตรงดิ่งลงมาที่ศูนย์ จากนั้นก็ให้โปรแกรมทำการวนลูปไปเรื่อยๆ รูปสัญญาณที่ได้จะเป็นรูปคลื่นฟันเลื่อย (Saw Wave)

3.2.3 Fast Fourier Transform (FFT)

ขั้นตอนแรก ในการออกแบบโปรแกรม FFT นั้นต้องศึกษาภาคทฤษฎีหลักการของ FFT ให้เข้าใจ

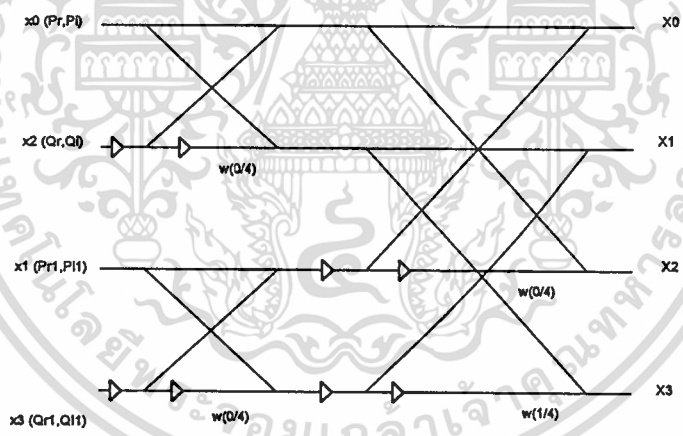
ขั้นตอนที่สอง กำหนดจุดของ FFT หรือจำนวน N จุด และใช้วิธีการของบิตรีเวิร์ส (Bit Reverse) ในการแบ่งข้อมูล เป็นลำดับคู่ลำดับคี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 (ก) FFT 4 จุด

ขั้นตอนที่3 กำหนดค่าของ Pr,Pi,Qr,Qi ตามจุดต่างๆ และค่าของมุม ω(k/N)



รูปที่ 3.2 (ข) FFT 4 จุด

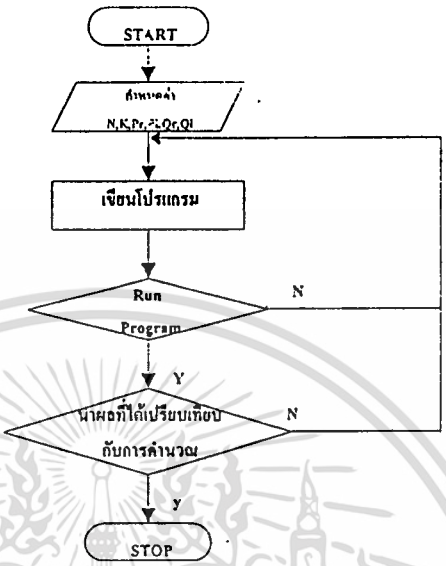
ขั้นตอนที่ 4 คำนวณตามจุดทีละคู่ เพื่อหาค่า Pm และ Qm จากสูตร

$$Pm = [Pr+Qr\cos(k)+Qi\sin(k)] + j[Pi+Qi\cos(k)-Qr\sin(k)] \quad (3.3)$$

$$Qm = [Pr-Qr\cos(k)-Qi\sin(k)] + j[Pi-Qi\cos(k)+Qr\sin(k)] \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่5 นำหลักการขั้นต้นถึงขั้นสุดท้าย นำมาเขียนโปรแกรมตามแผนภาพ



รูปที่ 3.3 แผนภาพการเขียนโปรแกรม

3.2.4 วงจรกรองแบบไอไออาร์ (IIR Filter)

สมการที่ใช้ในการออกแบบ คือ

$$y(n) = \sum_{k=1}^{N} \alpha_k y(n-k) + \sum_{k=1}^{M} b_k x(n-k) \qquad (3.5)$$

$$y(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y(n) z^{-n}$$

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} [\sum_{k=1}^{m} a_k y(n-k) + \sum_{k=-NF}^{NP} bkx(n-k)]\, z^{-n}$$

$$= \sum_{k=1}^{m} a\,k \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_k y(n-k) z^{-n} + \sum_{k=-NF}^{NP} bk \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n-k) z^{-n}$$

$$Y(z) = \sum_{k=1}^{m} akz^{-k} Y(z) + \sum_{k=-NF}^{NP} bkz^{-k} X(z)$$

$$Y(z)\left[1 - \sum_{k=1}^{m} akz^{-k}\right] = X(z) \sum_{k=-NF}^{NP} bkz^{-k}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=-NF}^{NP} bkz^{-k}}{1-\sum_{k=1}^{m} akz^{-k}}$$

จะเห็นว่าสมการนี้เป็นสมการของดิจิตอลฟิลเตอร์ สำหรับ M จะเป็นความยาวของฟิลเตอร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนของสัมระสิทธิ์ b_k และ N จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนสัมประสิทธิ์ a_k

จากสมการของวงจรกรอง IIR จะเห็นว่าเป็นรูปแบบของสมการคอนโวลูชั่น (Convolution Equation)

หากให้ X (z), Y (z), และ H (z) เป็น z-transform ของฟังก์ชั่นทั้งสาม จะได้ว่า

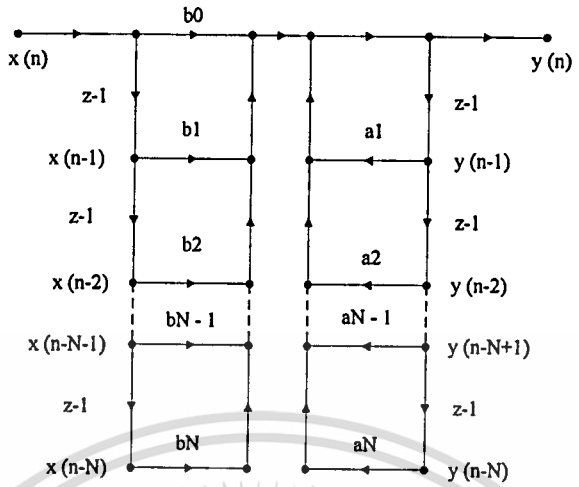
$$H(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = \frac{\sum_{k=0}^{M} b_k z^{-k}}{1-\sum_{k=1}^{N} \alpha_k z^{-k}} \qquad (3.6)$$

โดยวงจรกรองแบบไอไออาร์ยังสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบดังนี้

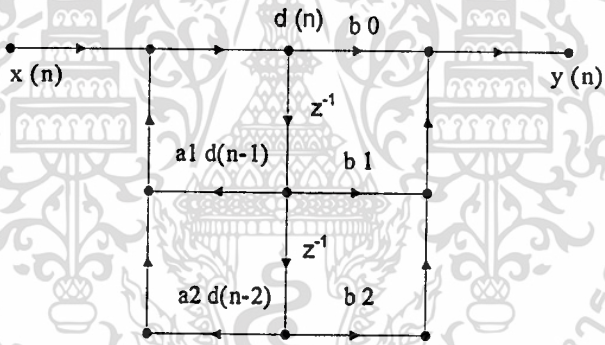
1. ไดเร็คฟอร์มไอไออาร์ฟิลเตอร์ (Direct-form IIR Filter)

โดยการใช้โปรแกรมภาษาแอสแซมบลี้ของ TMS-320C50 ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งสำหรับแบบไดเร็คฟอร์มนั้นจะมีการทำการเปลี่ยนจากรูปแบบของไดเร็คฟอร์ม-วัน (Direct-Form I) ดังรูปที่ 3.4 ให้เป็นแบบไดเร็คฟอร์ม-ทู (Direct-Form II) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และ รูปที่ 3.5 เพื่อลดหน่วยการคูณลง ซึ่งจะทำให้ประหยัดหน่วยความจำในดาต้าแมมโมรีลงได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 โครงสร้างวงจรกรองเชิงเลขไอไออาร์ แบบไดเร็คฟอร์ม-วัน



รูปที่ 3.5 โครงสร้างวงจรกรองเชิงเลขไอไออาร์ แบบไดเร็คฟอร์ม-ทู

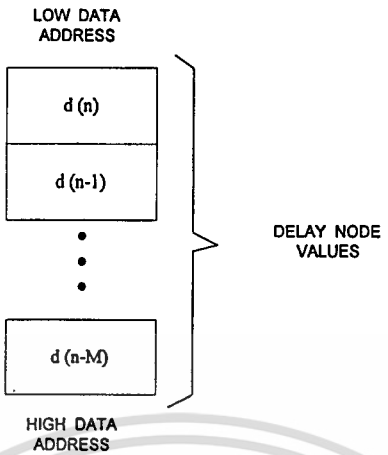
จากรูปที่ 3.5 จะได้ สมการผลต่าง (Different Equation) คือ

$$d(n) = x(n) + a_1 d(n-1) + a_2 d(n-2) \quad (3.7)$$

$$y(n) = b_0 d(n) + b_1 d(n-1) + b_2 d(n-2) \quad (3.8)$$

โดยที่คำสั่งพื้นฐาน เช่นเดียวกับสำหรับ เอฟไอออาร์ฟิลเตอร์ สำหรับส่วนของดีเลย์โหนด (Delay Node) ก็จะถูกเก็บไว้เป็นลำดับตามรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การเก็บค่าของดีเลย์โหนดไว้ในคาต้าแมมโมรี จองไดเร็คฟอร์ม-ทู ซึ่งเป็นรูปทั่วไปของการเก็บค่าดีเลย์โนดที่สามารถขยายสำหรับฟิลเตอร์ที่มีออเดอร์สูงๆ ขึ้นไป

2. คาสเคดฟอร์มไอไออาร์ฟิลเตอร์ (Cascade-Form IIR Filter)

โดยจะถูกจัดให้อยู่ในรูปของสมการ

$$H(z) = \prod_{k=1}^{N/2} \frac{\beta_{0k} + \beta_{1k} z^{-1} + \beta_{2k} z^{-2}}{1 - \alpha_{1k} z^{-1} + \alpha_{2k} z^{-2}} \qquad (3.9)$$

สำหรับแบบคาสเคดฟอร์มจะมีสมการความแตกต่างดังต่อไปนี้

$$d_i(n) = y_{i-1}(n) + \alpha_{1I}\, d_i(n-1) + \alpha_{2u}\, d_i(n-2) \qquad (3.10)$$

$$y_i(n) = \beta_{0I}\, d_i(n) + \beta_{1I}\, d_i(n-1) + \beta_{2I}\, d_i(n-2) \qquad (3.11)$$

เมื่อ I = 1,2,...,N/2 (N คือ จำนวนออเดอร์)

y_{i+1} = อินพุตของเซ็กชั่นที่ i

d_i = ค่าดีเลย์โหนดในเซกชั่น i

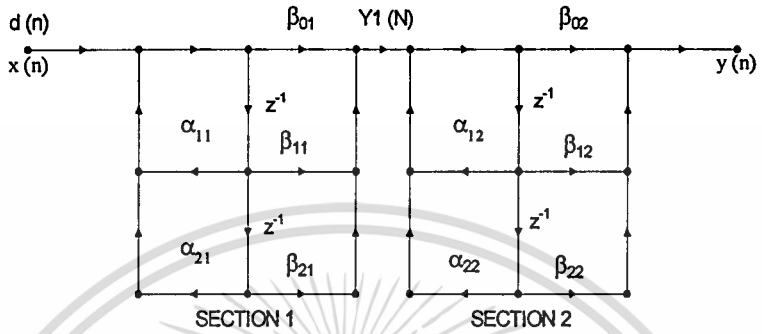
y_0 = เอาต์พุตของเซกชั้น I

$y_0 = x_N$ = ค่าสุ่มเป็นอินพุตของฟิลเตอร์

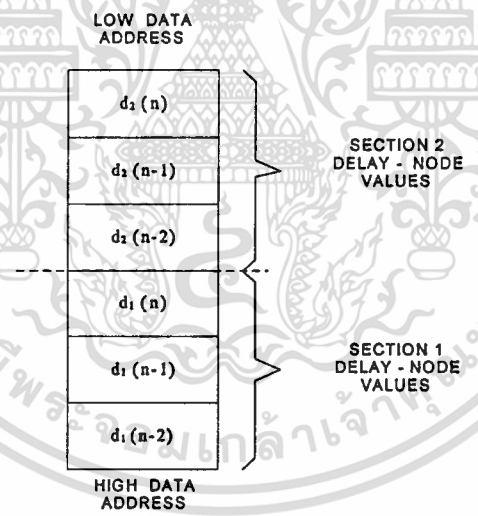
$y_{N/2} = y_N$ = เอาต์พุตของฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีนี้ค่าเอาต์ทจากเซกชั้นก่อนหน้านี้จะถูกเก็บใน 32 บิตแอคคิวมูเลเตอร์โดยจะทำการผ่านค่าในแอคคิวมูเลเตอร์นี้ไปยังเซกชั่นต่อไป



รูปที่ 3.7 โครงสร้างวงจรกรองเชิงเลขแบบไอไออาร์ แบบ คาสเคด



รูปที่ 3.8 การเก็บค่าของดีเลย์โหนดไว้ในดาต้าแมมโมรี จองไอไออาร์แบบคาสเคด

การหาค่าสัมประสิทธิ์ IIR LOW - PASS FILTER

Fourth - order IIR

Chebychev Low pass filter

Direct - Form II structure

Sampling Frequency = 10 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเราจะได้ $w_p = 2.5$ kHz

$w_a = 2.75$ kHz

$A_p = 0.2$ dB

$A_a = 10$ dB

ออกแบบโดยใช้ การประมาณแบบ เชบีเชฟ

$$K_0 = \frac{\tan(w_p T/2)}{\tan(w_a T/2)} = 0.854$$

$$D = \frac{10^{0.1A_p} - 1}{10^{0.1A_a} - 1} = 15.3874$$

$$N \geq \frac{\cosh^{-1}\sqrt{D}}{\cosh^{-1}(1/K)} = 4$$

$$I = 0.05$$

หาฟังก์ชั่นการถ่ายโอน (Normalized Transfer function) ของตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน ที่มี n = 4 และ $A_p = 2$dB

จาก

$$\varepsilon^2 = 0^{0.1A_p} - 1$$

$$\varepsilon = \sqrt{10^{0.2}} - 1 = 0.76478131$$

หาโพลของ transfer function จากสมการ

$$S_K = \sigma_k + jw_k ; K = 1,2,...,n$$

โดยที่

$$\sigma_k = \pm\sinh\left(\frac{1}{n}\sinh^{-1}\frac{1}{\varepsilon}\right)\sin\frac{(2k-1)\pi}{2n} \qquad (3.12)$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$w_k = \cosh\left(\frac{1}{n}\sinh^{-1}\frac{1}{\varepsilon}\right)\cos\frac{(2k-1)\pi}{2n} \tag{3.13}$$

ให้

$$X = \frac{1}{\varepsilon}$$

$$= 1.3$$

จะได้ $$\sinh^{-1}\frac{1}{\varepsilon} = In\left(x+\sqrt{x^2+1}\right) = 1.083$$

ดังนั้นจะได้จากสมการที่ (3.1) และ (3.2) จะได้

$$_k = \pm 0.274\sin\frac{(2k-1)\pi}{8} \tag{3.14}$$

$$w_k = 1.037\cos\frac{(2k-1)\pi}{8} \tag{3.15}$$

จาก $$H_N(s) = \frac{H_0}{\prod_{i=1}^{2}(s-p_i)(s-p_i)}$$

จะได้ค่า โพลของ Transfer function จากสมการที่ (3.14) และ (3.15) ดังนี้

$$P_1, P_1 = -0.104855 \pm j0.958$$

$$P_2, P_2 = -0.253 \pm j0.3968$$

$$H_0 = 10^{-0.05A_p}\prod_{i=1}^{2}(-P_i)$$

$$= 0.163379$$

จะได้

$$H_N(s) = \frac{0.163379}{(s^2+0.20971s+0.92875)(s^2+0.506s+0.2246)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทน s ด้วย λs คือแทน s ด้วย 0.05 s จะได้

$$H_{\left(\frac{-}{s}\right)} = \frac{65.3516}{s^{-4} + 401942s^{-3} + 502.5293s^{-2} + 4130.924s^{-1} + 32908.956}$$

และหา H(z) โดยการแทนค่า s ด้วย $\frac{2}{T}\left(\frac{Z-1}{Z+1}\right)$ จะได้

$$H(Z) = \frac{65.8516(Z^4 + 4Z^3 + 6Z^2 + 2Z + 1}{32909.78221Z^4 + 131637.4764Z^3 + 197453.736Z^2 + 658116.2596Z + 32908.13}$$

จาก $$H(Z) = \frac{Y(Z)}{X(Z)}$$

จะได้

$$\frac{Y(Z)}{X(Z)} = \frac{65.8516(Z^4 + 4Z^3 + 6Z^2 + 2Z + 1}{32909.78221Z^4 + 131637.4764Z^3 + 197453.736Z^2 + 658116.2596Z + 32908.13}$$

ให้

a = 65.8516

b = 32909.78221

c = 131637.4764

d = 197453.736

e = 65816.2596

f = 32908.3

จะได้

$$\frac{Y(Z)}{X(Z)} = \frac{\alpha(Z^4 + 4Z^3 + 6Z^2 + 2Z + 1}{bZ^4 + cZ^3 + dZ^2 + eZ + f}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาเขียนใหม่จะได้

$$by(n)+cy(n-1)+dy(n-2)+ey(n-3)+Fy(n-4)=\alpha x(n)+4\alpha x(n-1)+6\alpha x(n-2)$$
$$2\alpha x(n-3)+\alpha x(n-4)$$

จัดรูปใหม่ได้

$$y(n)+\frac{c}{b}y(n-1)+\frac{d}{b}y(n-2)+\frac{e}{b}y(n-3)+\frac{F}{B}y(n-4)=\frac{a}{b}x(n)+\frac{4a}{b}x(n-1)$$
$$\frac{6a}{b}x(n-2)+\frac{2a}{b}x(n-1)$$
$$+\frac{a}{b}x(n-4)$$

จะได้ $$w(n)=x(n)-b_1w(n-1)-b_2w(n-2)-b_3w(n-3)-b_4w(n-4)$$

$$y(n)=a_0w(n)+a_1w(n-1)+a_2w(n-2)+a_3w(n-3)+a_4w(n-4) \quad (3.5)$$

โดยที่

$$b_1=\frac{c}{b}=4 \qquad a_0=\frac{a}{b}=0.002$$
$$b_2=\frac{d}{b}=6 \qquad a_1=\frac{4a}{b}=0.008$$
$$b_3=\frac{e}{b}=2 \qquad a_2=\frac{6a}{b}=0.012$$
$$b_4=\frac{F}{b}=1 \qquad a_3=\frac{2a}{b}=0.004$$
$$a_4=\frac{a}{b}=0.002$$

3.2.5 วงจรกรองแบบเอฟไออาร์ (FIR Filter)

มีสมการคือ

$$y(n)=\sum_{k=0}^{M}b_x x(n-k) \quad (3.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าสมการนี้เป็นสมการของดิจิตอลฟิลเตอร์ที่มี $a_k = 0$ สำหรับ M จะเป็นความยาวของฟิลเตอร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนของสัมประสิทธิ์ b_k โดย b_k จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนอิมพัลส์เรสอนส์ ของฟิลเตอร์ ตามที่ได้ออกแบบไว้

จากสมการของวงจรกรอง FIR จะเห็นว่าเป็นรูปแบบของสมการคอนโวลูชัน (Convolution Equation) ซึ่งมีรูปแบบคือ

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M} h(k)x(n-k)$$

หากให้ X(z), Y(z), และ H(z) เป็น z-transform ของฟังก์ชั่นทั้งสาม จะได้ว่า

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \sum_{k=0}^{M} b_k z^{-1} = \sum_{k=0}^{M} h(k) z^{-k} \qquad (3.18)$$

การออกแบบวงจรกรองด้วยวิธีหน้าต่าง (Window Method)

ระบบการกรองที่ดีนั้น ค่าตอบสนองค่าหนึ่ง $\{h_D(n)\}$ ของวงจรที่เราปรารถนา จะมีค่าเป็นอนันต์ แต่เราต้องตัดให้เหลือจำนวนสิ้นสุดแค่ N ตัว ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้ฟังก์ชั่นของหน้าต่างมาช่วย ซึ่งค่าของ $\{h_D(n)\}$ ที่เราต้องการนั้น ก็จะหาได้จากการทำอินเวิร์สฟูเรียร์ ในรูปสูตรสำเร็จของ $\{h_D(e^{jw})\}$ ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

ตามปกติ วงจรกรองจะถูกออกแบบให้มีการตอบสนองความถี่เป็นแบบเฟสเชิงเส้น โดยมีเงื่อนไขว่า ค่าตอบสนองค่าหนึ่งจะต้องมีลักษณะสมมาตร และมีจำนวนสิ้นสุด แสดงได้โดย

$$H_{FIR}(z) = \sum_{n=-N_p}^{N_p} b_x z^{-k}; b_x = h_D(n) \qquad (3.18)$$

เมื่อ h_D คือ ค่าตอบสนองค่าหนึ่งที่ปรารถนา

b_x คือ สัมประสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ $-N_p \le n \le N_p$ ที่ $N_p = N_p$ สำหรับคุณสมบัติสมมาตรของ $h_D(n)$ ซึ่งค่าของ N_p และ N_p จะเป็นอนันต์ สำหรับวงจรในอุดมคติ เราจะต้องตัดออกให้ได้ $h_N(n)$ โดยเปรียบเสมือนการคูณ $\{h_D(n)\}$ด้วยฟังก์ชั่นหน้าต่าง $\{w(n)\}$ ดังสมการนี้

$$h_n(n)=h_D(n)w(n)$$

$$h_n(n)=\begin{cases}h_D(n);-(N-1)/2 \le n \le (N-1)/2\\0;else\end{cases}$$

ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาสูตรสำเร็จของการหาค่าตอบสนองค่าหนึ่งในอุดมคติของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ที่เราจะออกแบบ เราจะกำหนดให้วงจรกรองที่ต้องการ มีความถี่คัทออฟที่ w_c มีขั้นตอนดังนี้

$$h_D(e^{jw})_0=\begin{cases}1;-\omega_c \le \omega \le \omega_c\\0;-\pi \le \omega \le \omega_c\end{cases}$$

ซึ่งจะได้

$$h_D(n)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\omega_c}^{\omega_c} e^{\omega n}d\omega$$

$$h_D(n)=\frac{e^{j\omega n}-e^{-jw_c n}}{j2\pi n}$$

$$h_D(n)=\frac{\sin(\omega_c n)}{\pi n}$$

ซึ่งสมการดังกล่าว เป็นสูตรสำเร็จดังที่กล่าวมาแล้ว จากนั้นจะกระทำการตัดทอนค่าตอบสนองให้น้อยลง เพื่อลดจำนวนหน่วยความจำที่เก็บ และหน่วยตัวคูณสำหรับการสร้างวงจรโดยใช้ฟังก์ชั่นหน้าต่าง $w(n)$ แบบต่างๆ มาคูณกับ $h_D(n)$ โดยหน้าต่างแต่ละแบบก็จะมีผลต่อคุณสมบัติของฟิลเตอร์ที่ออกแบบต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติ และฟังก์ชั่น ของหน้าต่างแบบต่างๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

1. หน้าต่างสี่เหลี่ยม

$$_R(n) = \begin{cases} 1; -(N-1)/2 \le n \le (N-1)/2 \\ 0; else \end{cases}$$

2. หน้าต่างสามเหลี่ยม

$$_T(n) = \begin{cases} 1 - \dfrac{2|n|}{N-1}; -(N-1)/2 \le n \le (N-1)/2 \\ 0; else \end{cases}$$

3. หน้าต่างเรสท์โคไซน์ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันดังต่อไปนี้

3.1 หน้าต่างแฮนนิ่ง

$$w_c(n) = \begin{cases} 0.5 + 0.5\cos(2\pi n/(N-1)); -(N-1)/2 \le n \le (N-1)/2 \\ 0; else \end{cases}$$

3.2 หน้าต่างแฮมมิ่ง

$$w_H(n) = \begin{cases} 0.54 + 0.46\cos(2\pi n/(N-1)); -(N-1)/2 \le n \le (N-1)/2 \\ 0; else \end{cases}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 หน้าต่างแบล็คแมน

$$w_R(n) = \begin{cases} [0.42 + 0.5\cos(2\pi n/(N-1)) + 0.08\cos(4\pi n/(N-1))]w_R(n) \\ \\ 0; else \end{cases}$$

ซึ่งการจำกัดคุณสมบัติโดยใช้ฟังก์ชั่นแบบต่าง ๆ นั้นจะมีผลค่าตอบสนองทางความถี่ต่าง ๆ กันซึ่งจะศึกษาได้จากการทดลองที่จะกล่าวต่อไป

การออกแบบด้วยวิธีดีเอฟที (Discrete Fourier Transform) ในการประมาณค่าตอบสนองค่าหนึ่งที่ปรารถนา

วิธีนี้ถูกนำมาใช้เมื่อการกำหนดขนาด $H_D(e^{jw})$ และเฟส $Arg\{H_D(e^{jw})$ ที่ปรารถนามิอาจหาค่า $\{h_D(n)\}$ เป็นสูตรสำเร็จได้ แต่การกระทำเฉพาะการใช้วิธีเอฟทีมาใช้โดยลำพังนั้น อาจจะทำให้ผลตอบสนองความถี่ของฟิลเตอร์เกิดการโอเวอร์ชูต (Over shoots) และ อันเดอร์ชูต (Under shoots) ขึ้นซึ่งสามารถลดความผิดเพี้ยนเหล่านี้ โดยการใช้วิธีหน้าต่างเข้าช่วย และสามารถทำให้ลดจำนวนของ $\{h_D(n)\}$ ลงด้วย โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดค่าขนาดที่เหมาะสม สำหรับผลตอบสนองความถี่ของวงจรที่ออกแบบ เนื่องจากเมื่อประยุกต์วิธีดีเอฟทีเข้ากับวิธีหน้าต่างแล้ว จะพบว่าผลตอบสนองความถี่จะแคบลงกว่าย่านผ่านความถี่ที่ปรารถนา อันเป็นผลจากการโวลูชั่นระหว่างลอนหลักของสเปคตรัมหน้าต่างกับทรานเฟอร์ฟังก์ชั่นของ $H_D(e^{jw})$ ที่ปรารถนาเราจึงออกแบบโดยให้ความถี่ที่คัทออฟเลยเข้าไปในย่านเปลี่ยนแปลงโดยการประมาณ 30% ของความกว้างย่านเปลี่ยนแปลง จากนั้นจึงทำการสุ่ม $H_D(k)$ จาก $H_D(e^{jw})$ จำนวน N_D โดยใช้คุณสมบัติสมมาตรคู่ (Even symmetry) ดังนี้

$H_D(k) = H_D(e^{jw})$ เมื่อ $w = \varepsilon^{j2\pi k/ND}$;$0<k<N_D/2$

$H_D(k) = H_D(N_D-k)$

2. กำหนดเฟสเชิงเส้นที่เหมาะสม เพื่อให้ได้เฟสเชิงเส้น แล้วค่าตอบสนองค่าหนึ่งที่เป็นเชิงเหตุ (Casal) จำนวน N_D จะต้องสมมาตรรอบจุดซึ่งอยู่ประมาณกึ่งกลาง หรือที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$N_s = (N_D-1)/2$ โดยค่าเฟสเชิงเส้นในแต่ละกรณีดังตารางที่ 1

ตารางที่ 3.1 คุณบัติสเปคตรัมของหน้าต่างจำนวน N ค่า

หน้าต่าง	ความกว้างลอนหลัก	ระดับสูงสุดของลอนข้างเคียงเป็นดีบี (dbB)
สี่เหลี่ยม	$4\pi/N$	-13
บาร์เล็ทท์	$8\pi/N$	-25
แฮนนิ่ง	$8\pi/N$	-31
แฮมมิ่ง	$8\pi/N$	-41
แบล็คแมน	$12\pi/N$	-57

เมื่อตรวจสอบดูว่ายังไม่ได้ตามที่กำหนดหรือได้แล้วแต่ต้องการลดจำนวนสัมประสิทธิ์ของค่าตอบสนองค่าหนึ่งลง อาจทำได้โดยเปลี่ยนชนิด หรือขนาดของหน้าต่าง $\{w(n)\}$ ที่นำมาคูณและเช่นกัน การสุ่มจะใช้คุณสมบัติของสมมาตรค่าของเฟส $Arg[H_D(k)]$ ทั้งค่าจริง $\{H_R(k)\}$ และค่าจินตภาพ $\{H_I(K)\}$ ซึ่งปกติแล้ว จะเลือก N_d ให้มากกว่า 2 เท่าของจำนวนค่าตอบสนองค่าหนึ่งที่ต้องการ คือประมาณ 60 ค่า ฉะนั้น N_d จะใช้ประมาณ 128 ค่า จากนั้นจึงนำค่า $H_D(k)$ ที่ได้นี้มาทำอินเวิร์สฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม ทำให้ได้ $\{h_d(n)\}$ จำนวน N_d ค่า

3. ขั้นการประยุกต์หน้าต่าง โดยจำนวนของหน้าต่างที่เลือกนั้น ก็คือ จำนวนค่าตอบสนองค่าหนึ่งที่เราต้องการนั่นเอง โดยจะต้องสัมพันธ์กับลักษณะสมมาตรของ $\{h_d(n)\}$ ด้วย คือ

- หากสมมาตรของ $\{h_d(n)\}$ เป็นชนิดที่ตกตรงจุดสุ่มพอดี จำนวน N จะต้องเป็นเลขคี่
- หากสมมาตรของ $\{h_d(n)\}$ ตกระหว่างจุดสุ่มแล้ว จำนวน N จะต้องเป็นเลขคู่

แล้วทำการตรวจสอบวงจรกรองสัญญาณได้โดยคำนวณฟูเรียร์ทรานสฟอร์มจำนวน N_D จุดจาก $\{h_N(n)\}$ ซึ่งได้จากการคูณ $\{w(n)\}$ กับ $\{h_d(n)\}$ ที่ได้จากข้อ 1) และ 2) ดังสมการ

$$\{h_r(n)\} = \{w(n)\} * \{h_D(n)\} \qquad ;0 \le n \le N_d-1$$

ส่วน $\{h_r(n)\} = 0$ n ทุกค่า (จากคุณสมบัติสมมาตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการปรับสัมประสิทธิ์ $\{h_N(n)\}$ เนื่องจากการประยุกต์หน้าต่างอาจทำได้ $H_e(e^{jw})$ สำหรับ $\{h_N(n)\}$ ที่คำนวณได้มีขนาดลดลงเพราะค่า $\{h_D(n)\}$ ลดลงนั้น ทำให้เราต้องทำการคูณทุกค่าของค่าตอบสนองค่าหนึ่งสุดท้ายก่อนที่จะนำไปใช้งานด้วยค่า $1/H_{MAX}$ ซึ่ง H_{MAX} เป็นค่าสูงสุดของ $H(e^{jw})$ ที่ได้จากการทำฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของ $\{h_N(n)\}$ เพื่อปรับให้ $H_e(e^{jw})$ มีระดับสูงสุด 2 เป็นหนึ่งตามที่ได้ออกแบบไว้

การออกแบบ FIR LOW-PASS FILTER

Lowpass Filter 11^{th} -order

Directform structure

Hamming Windows Method

fc = 2 kHz, sampling frequency = 8 kHz

Transfer function ของ FIR Filter

$$H(z) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) Z^{-n}$$

$$\frac{Y(Z)}{X(Z)} = h_{(0)}Z^{-1} + h_{(1)}Z^{-2} + \ldots + h_{(n-1)}Z^{N-1}$$

จะได้

$$Y(Z) = h_{(0)}X(Z) + h_{(1)}Z^{-1}X(Z) + h_{(2)}Z^{-2}X(Z) + \ldots h_{(n-1)}Z^{N-1}X(Z)$$

ทำการหาค่า $h_{(n)}$ โดยที่ n = 0,1,2,..., N - 1

ในที่นี้เราจะใช้ Hamming Code Method ซึ่งจะได้

$$h_{(n)} = c_n . w_{(n)}$$

โดยที่

$$w_{(n)} = \alpha + (1-\alpha)\cos(2\pi n / N-1); |n| \le (N-1)/2$$

$$= 0 \quad ; \text{ในกรณีอื่นๆ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ค่า $w_{(n)}$ ดังนี้

$w_5 = 0.0800$

$w_4 = 0.1679$

$w_3 = 0.3979$

$w_2 = 0.6821$

$w_1 = 0.9121$

$w_0 = 1$

$w_{-1} = 0.9121$

$w_{-2} = 0.6821$

$w_{-3} = 0.3979$

$w_{-4} = 0.1679$

$w_{-5} = 0.0800$

และหา c_n โดยใช้ Fourier Series ตามสมการ ดังต่อไปนี้

$$H_d(y) = c_0 + \sum_{n=-5}^{n=5} c_n e^{jn\pi y}$$

โดยที่ y คือ ค่าความถี่ปกติ (normalized frequrncy) นั่นคือ

$$y = f_c / f_N ; |y| \langle 1 : f_N = f_s / 2$$

f_N คือ Nyquist frequency

$$c_0 = y$$

และ c_n จะหาได้จาก

$$c_n = \frac{1}{2} \int_{-1}^{1} H_d(y) e^{-jn\pi y} dy$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมุติให้ $H_d(y)$ เป็นฟังก์ชั่นคาบสำหรับ $|y|<$ จะได้

$$c_n = \int_0^1 H_d(y)\cos n\pi y dy$$

$$= \frac{\sin n\pi y}{n\pi}\Big|_0^y$$

$$= \frac{\sin n\pi y}{n\pi}; n = 1,\ldots,5$$

โดยที่ $c_n = c_{-n}$

จะได้ค่า c_n ดังต่อไปนี้

$c_{-5} = c_5 = 0.6366$

$c_{-4} = c_4 = 0$

$c_{-3} = c_3 = -0.1610$

$c_{-2} = c_2 = 0$

$c_{-1} = c_1 = 0.3183$

$c_0 = 0.5$

จากค่า c_n และ w_n เราจะได้ค่า $h_{(n)}$ ดังนี้คือ

$h_{(10)} = h_{(0)} = c_5 w_5 = 0.0051$

$h_{(9)} = h_{(1)} = c_4 w_4 = 0$

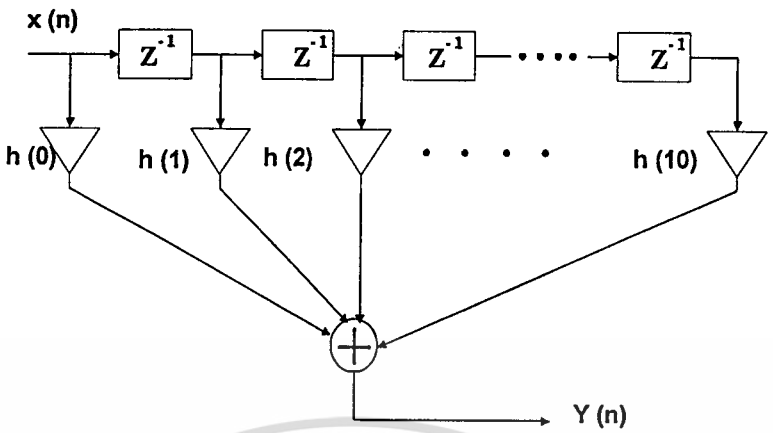
$h_{(8)} = h_{(2)} = c_3 w_3 = -0.419$

$h_{(7)} = h_{(3)} = c_2 w_2 = 0$

$h_{(6)} = h_{(2)} = c_1 w_1 = 0.2885$

$h_{(5)} = c_0 w_0 = 0.4698$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

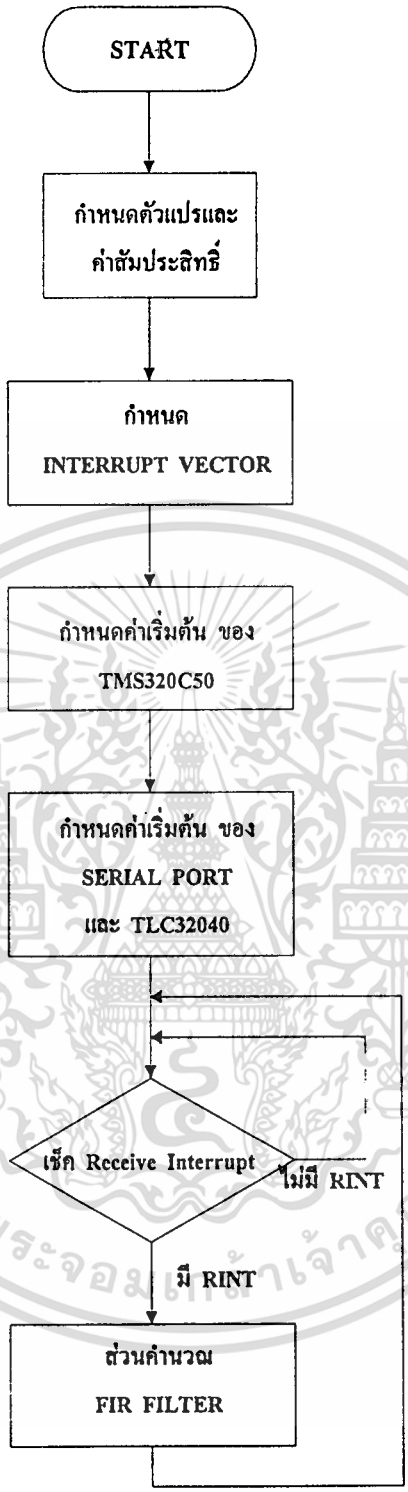


รูป 3.9 โครงสร้างของตัวกรองเชิงเลขแบบ FIR 11^{th} -order

Software ที่เขียนลงใน TMS-320C50

การเขียนโปรแกรมลงบน TMS-320C50 นั้นจะเขียนโฟลว์ชาร์ตโดยรวมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรม

3.2.6 Adaptive filter

หลักการสำคัญและแนวความคิดในการออกแบบเครื่องกรองความถี่แบบปรับค่าได้นี้มีวัตถุประสงค์ คือ ต้องการสร้างตัวกรองความถี่แบบปรับค่าได้ที่เวลาจริง โดยมุ่งเน้นที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิสูจน์สมการในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ จะใช้สมการของลีดมีนสแควร์เป็นสำคัญ ซึ่งจากการพิสูจน์ทางพีชคณิตจะได้สมการสำคัญ คือ

$$W_{k+1} = W_k + \mu\, \omega_1\, X(k) \qquad (3.19)$$

เมื่อ

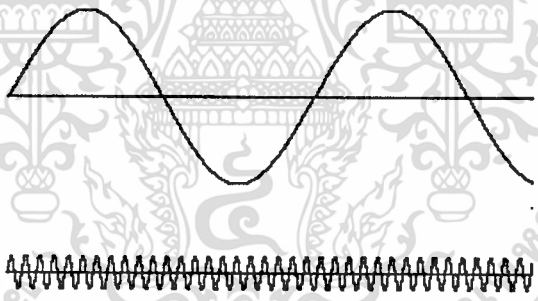
W_{k+1} W_k คือ ค่าสัมประสิทธิ์

μ คือ ค่าอัตราขยายที่เหมาะสมของตัวกลาง

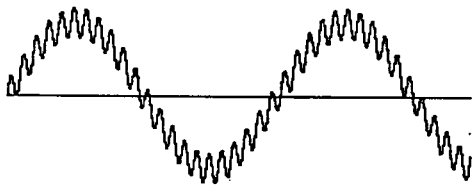
ω_1 คือ ผลต่างของสัญญาณที่ผ่านการคอนโวลูชั่น

$X(k)$ คือ สัญญาณอินพุตที่ถูกเลื่อนในกระบวนการคอนโวลูชั่นที่ตำแหน่งต่างๆ

หลักการทำงานนำสัญญาณที่ได้ทั้งสองนี้มาประมวลผลรวมกันผลที่ได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 สัญญาณอินพุตสองความถี่



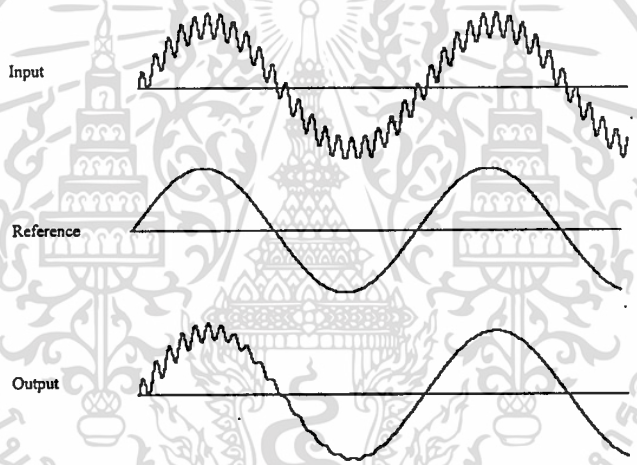
รูปที่ 3.12 สัญญาณที่เกิดจากการรวมสัญญาณในรูปที่ 3.11 เข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงนำสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 3.12 นี้มาทำการจำลองการทำงานกับโปรแกรมตัวกรองแบบปรับค่าได้ ซึ่งกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ในการปรับไว้ 50 จุด ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานแสดงออกใน 2 ลักษณะดังนี้

การติดตามสัญญาณที่ไม่ต้องการ

นำสัญญาณที่ผ่านการคอนโวลูชั่นออกเป็นสัญญาณเอาต์พุต ตัวกรองปรับค่าได้นี้จะแสดงผลเป็น การติดตามสัญญาณที่ไม่ต้องการ กล่าวคือ เป็นตัวกรองปรับค่าได้จะปรับค่าตามสัญญาณอ้างอิง นั่นคือเป็นผลให้สัญญาณที่มีรูปแบบตรงกับสัญญาณอ้างอิงนั้นผ่านไปได้ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 สัญญาณที่ได้จากตัวกรองปรับค่าได้ในลักษณะการติดตามสัญญาณที่ไม่ต้องการ

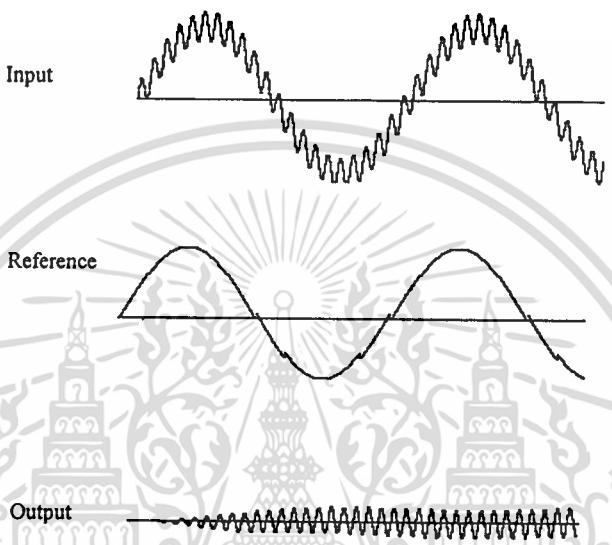
จากผลการทำงานจะพบว่าในช่วงเวลาเริ่มต้นของการปรับค่าสัมประสิทธิ์ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีความเพี้ยน ทั้งนี้เนื่องจากตัวกรองปรับค่าได้พยายามปรับค่าสัมประสิทธิ์ตามสัญญาณอ้างอิง

การกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ

นำสัญญาณที่ผ่านการคอนโวลูชั่นไปหักล้างกับสัญญาณอินพุต ตัวกรองปรับค่าได้จะแสดงผลเป็นการกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ กล่าวคือ ตัวกรองปรับค่าได้จะไม่ยอมให้สัญญาณที่มีลักษณะที่มีลักษณะตรงกับสัญญาณอ้างอิงผ่านออกไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งผลที่ได้ในลักษณะนี้ถือว่าเป็นการขยายผลของสมการลีดมีนสแควร์ และจากการทดลองจำลองการทำงานในลักษณะดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด ก็ต่อเมื่อสัญญาณอ้างอิงและสัญญาณอินพุตเกิดขึ้นที่เวลาเดียวกัน



รูปที่ 3.14 สัญญาณที่ได้จากตัวกรองปรับค่าได้ในลักษณะ การกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

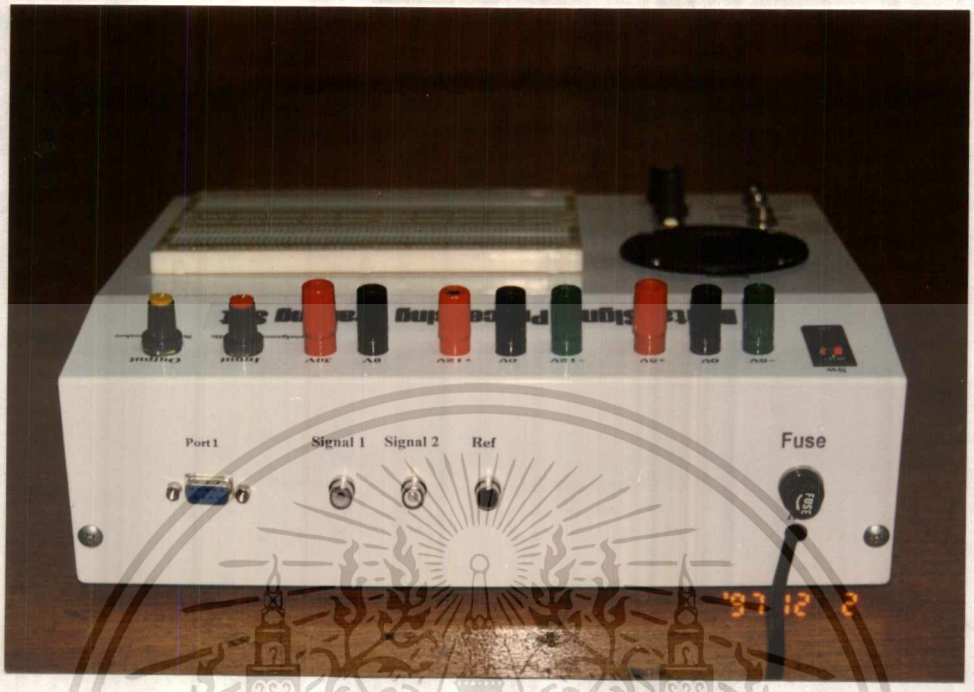
ผลการทดลองและทดสอบ

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 1 ถึงบทที่ 3 เกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการตลอดจนการออกแบบชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบว่าชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่

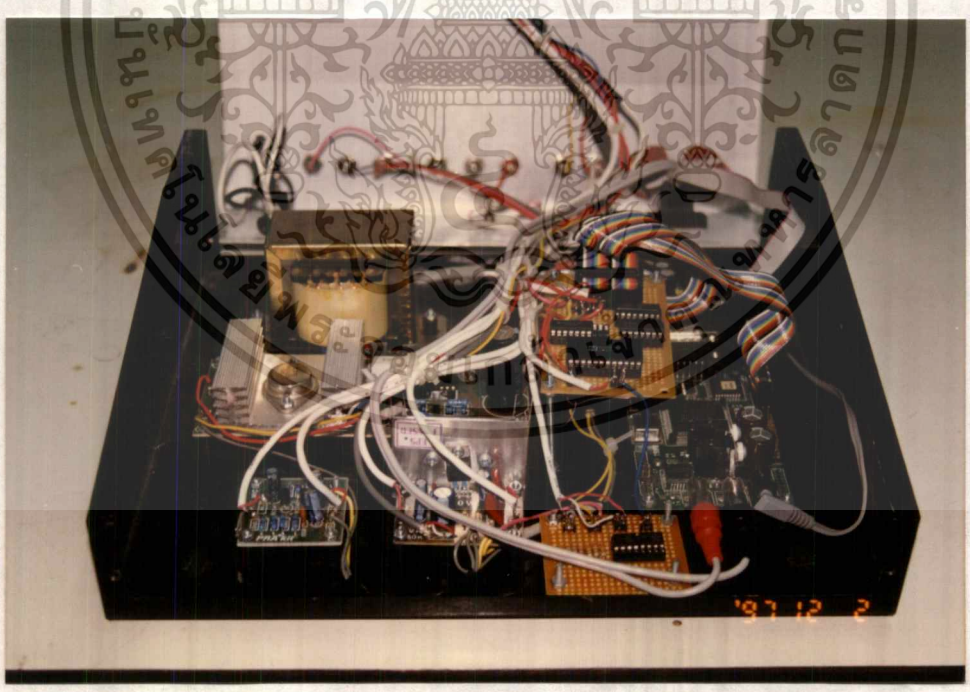
จากวัตถุประสงค์การออกแบบดังที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 ดังนั้น การทดสอบการทำงานในบทนี้ จึงจำแนกออกเป็นหัวข้อย่อยๆตามใบงานที่ได้ออกแบบไว้ และก่อนจะทำการทดลองการทำงานก็ต้องมาดูลักษณะตัวเครื่องก่อนดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.3 ซึ่งจะแสดงรูปด้านหน้า ด้านหลังและการว่างตำแหน่งของปุ่มควบคุมและจุดเชื่อมต่อสัญญาณต่างๆ

รูปที่ 4.1 ภาพด้านหน้าของชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

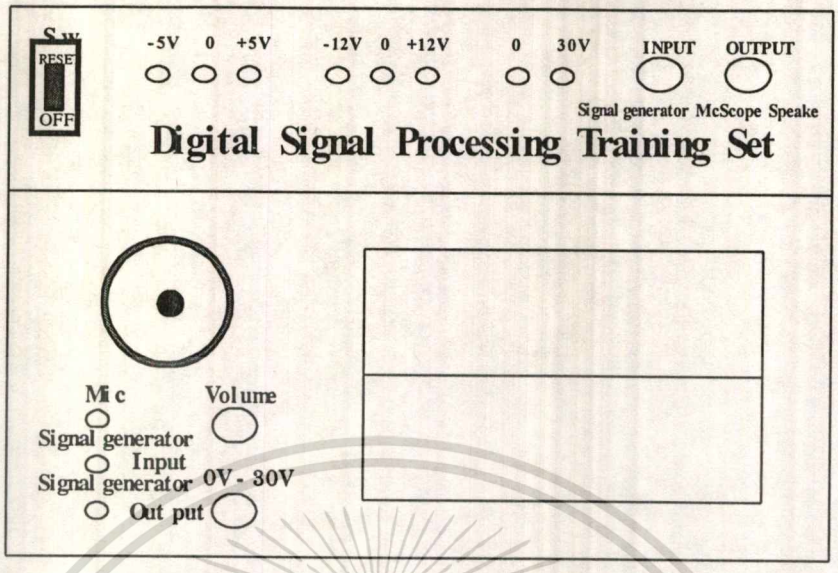


รูปที่ 4.2 ภาพด้านหลังของชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

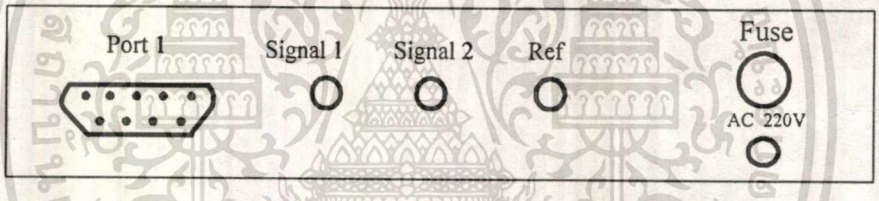


รูปที่ 4.3 ภาพการวางแผ่นวงจรพิมพ์ภายในชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การวางตำแหน่งอุปกรณ์ด้านหน้า



รูปที่ 4.5 จุดเชื่อมต่อสัญญาณต่างๆ ด้านหลังเครื่อง

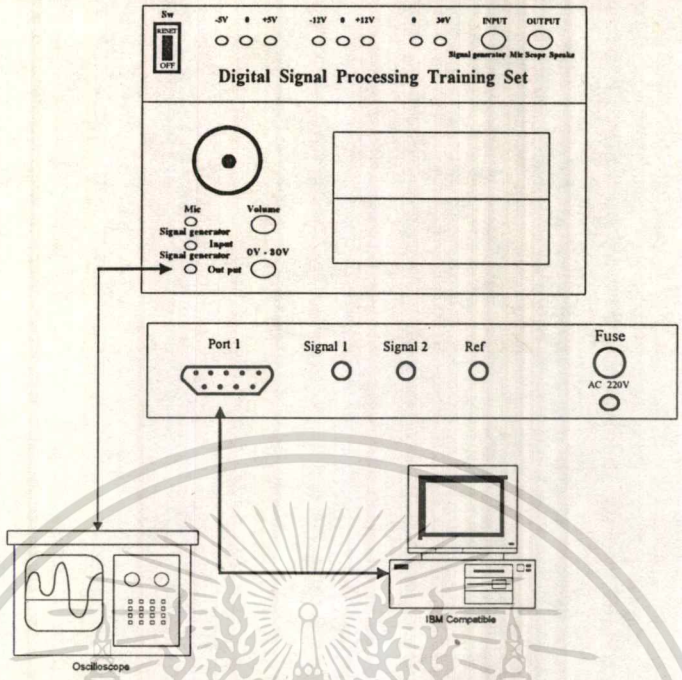
4.1 การทดลองการทำงานชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

4.1.1 การกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)

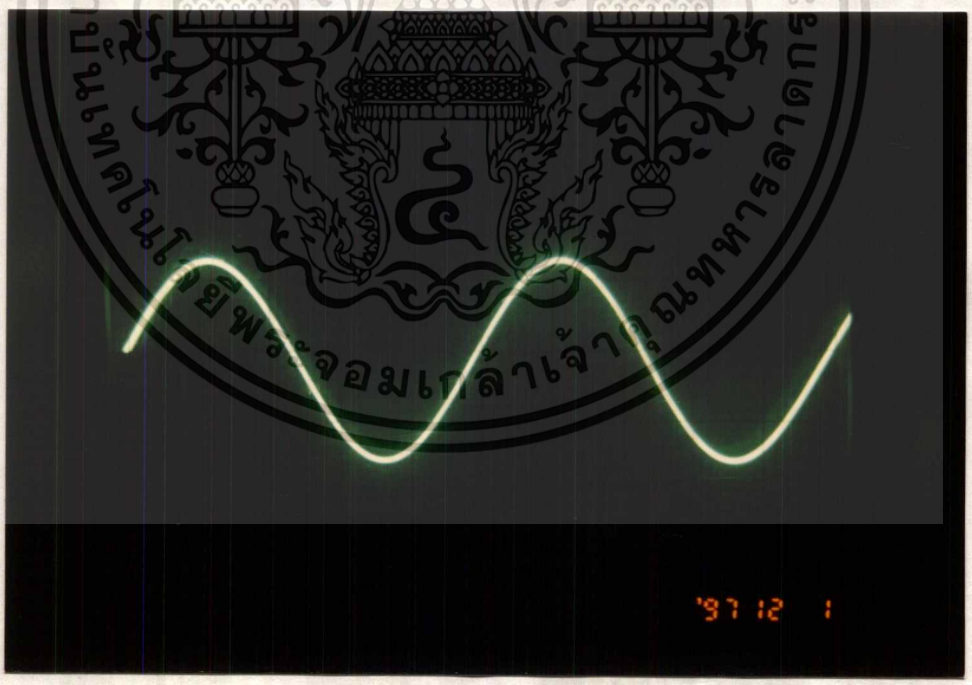
ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.6
2. ทำการรันโปรแกรม Sine.dsk
3. ทำการรันโปรแกรม Square.dsk
4. ทำการรันโปรแกรม Saw.dsk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

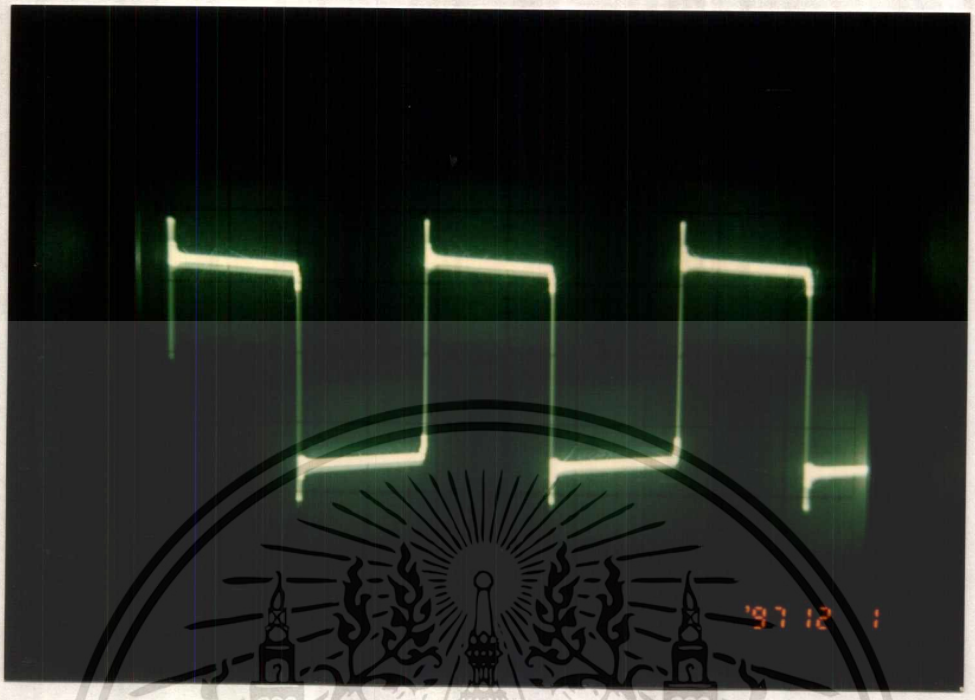


รูปที่ 4.6 การเชื่อมต่อกับชุดทดลอง

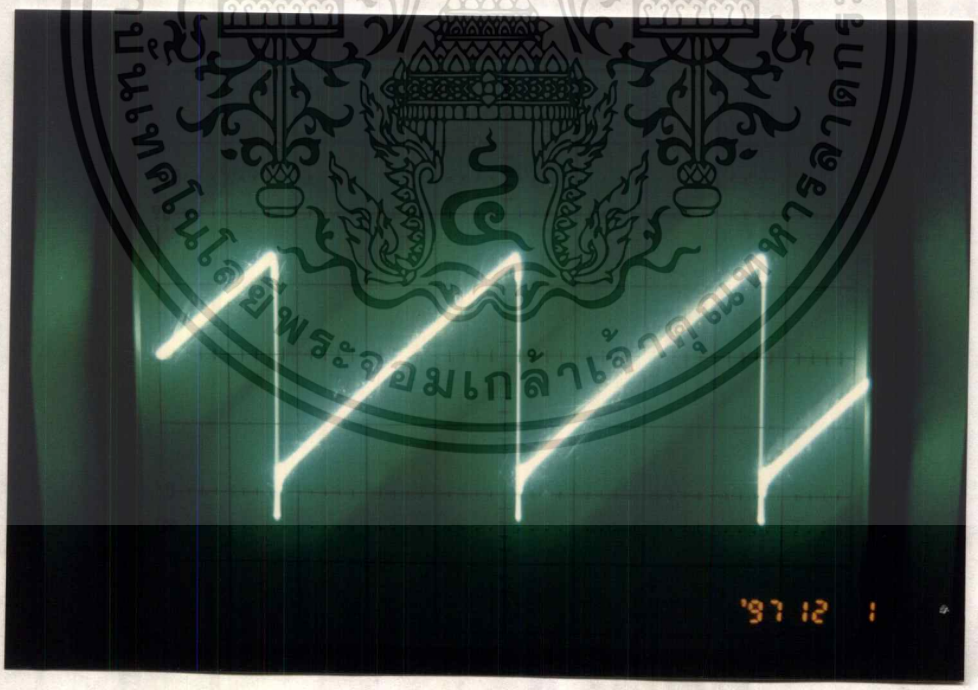


รูปที่ 4.7 สัญญาณที่เกิดขึ้นจากโปรแกรม Sin.dsk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 สัญญาณที่เกิดขึ้นจากโปรแกรม Square.dsk



รูปที่ 4.9 สัญญาณที่เกิดขึ้นจากโปรแกรม Saw.dsk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

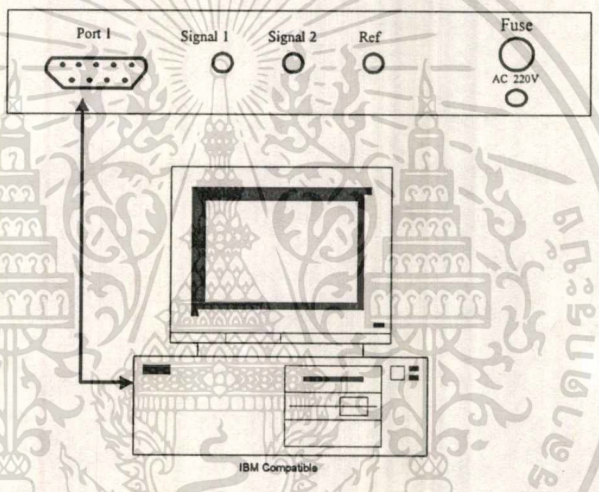
ผลการทดลอง

ผลจากการรันโปรแกรมทั้งสามคือ Sine.dsk, Square.dsk และ Saw.dsk ทั้งสามโปรแกรมนี้จะผลิตสัญญาณออกมาสามรูปแบบคือ รูปคลื่นไซน์ (Sine Wave), รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) และ รูปคลื่นฟันเลื่อย (Saw Wave) จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าสามารถนำ TMS-320C50 ไปประยุกต์ใช้งานในการผลิตความถี่ได้

4.1.2 Discrete Fourier Transform

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูป 4.10



รูปที่ 4.10 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง

2. ทำการรันโปรแกรม Debuger ของ DSK

   A:\> DSK5D

3. ทำการโหลดโปรแกรม DFT.dsk

4. เปลี่ยนคำสั่งการแสดงผล ให้เป็นฐานสิบ พิมพ์คำสั่ง DMI

   - บันทึกค่าที่อยู่ในแอดเดรส 1015H - 1018H

   1015H = XXX

   1016H = XXX

   1017H = XXX

   1018H = XXX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. พิมพ์ XG เพื่อรันโปรแกรม

- บันทึกค่าที่อยู่ในแอดเดรส 1015H - 1018H

1015H = 4000

1016H = 0

1017H = 0

1018H = 0

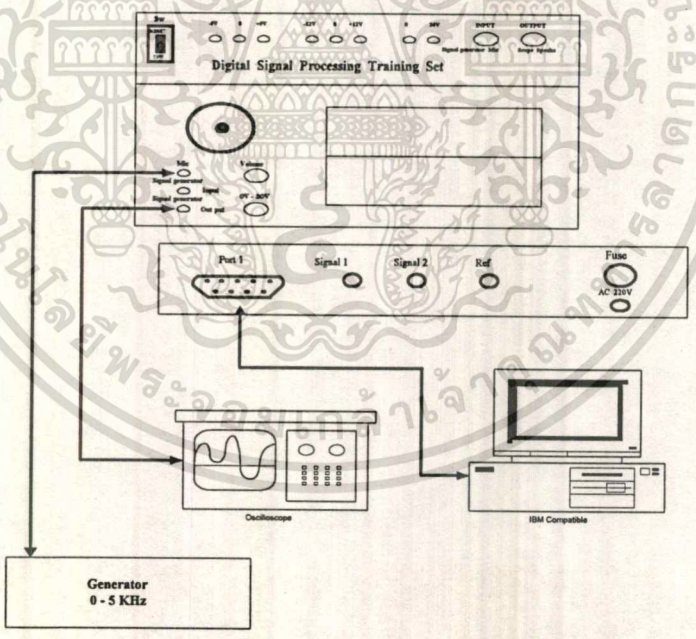
สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองโปรแกรม DFT ที่สร้างขึ้นจะเห็นได้ว่าสมการของ DFT ที่ถูกเขียนขึ้นมาโดยใช้ภาษาแอสแซมบลี้ของ DFT สามารถคำนวณได้ถูกต้อง

4.1.3 IIR Digital filter

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูป

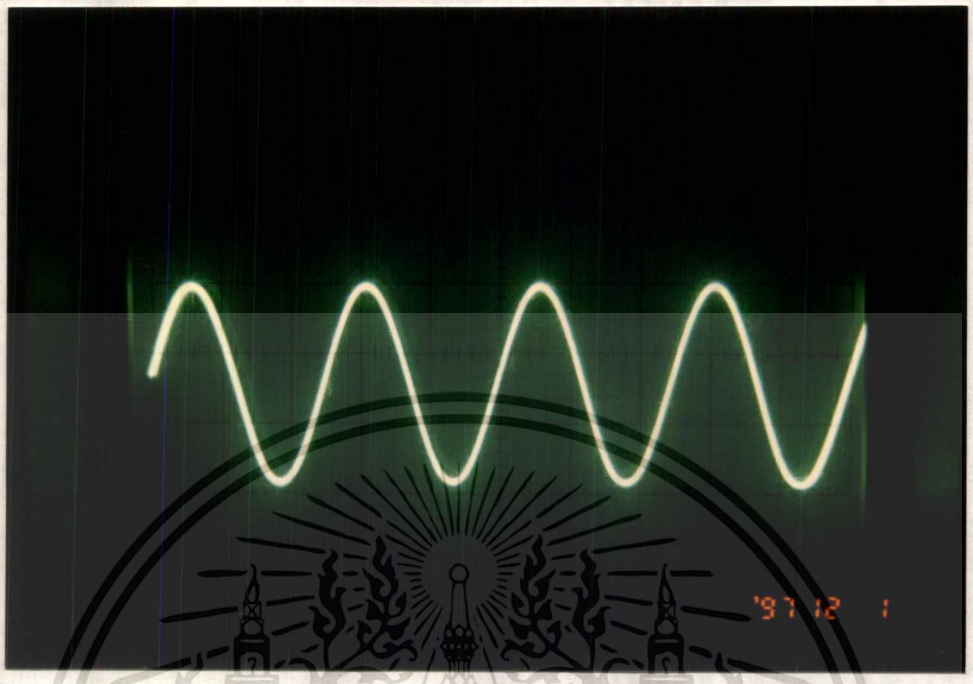


รูปที่ 4.11 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก

2. ทำการรันโปรแกรม IIR.dsk

3. ทำการปรับความถี่ที่ ซิกแนลเจนเนอร์เรเตอร์ ที่ 0 - 5 กิโลเฮิรตซ์

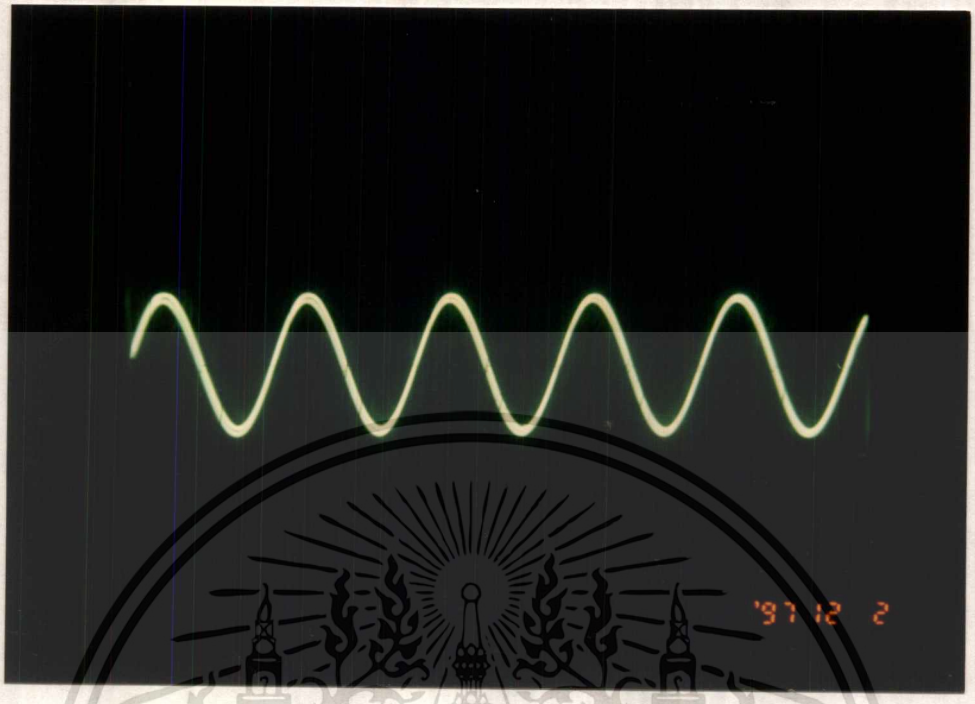
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 สัญญาณความถี่ 200 เฮิรตซ์ $3V_{p-p}$

4. ทำการปรับความถี่ให้สูงขึ้นจนแอมปลิจูดลดลง อ่านค่าความถี่และวาดรูปสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volt/DIV = 1 V TIME/DIV = 0.5ms f = 951 เฮิรตซ์

รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาท์พุตเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น

ผลการทดลอง

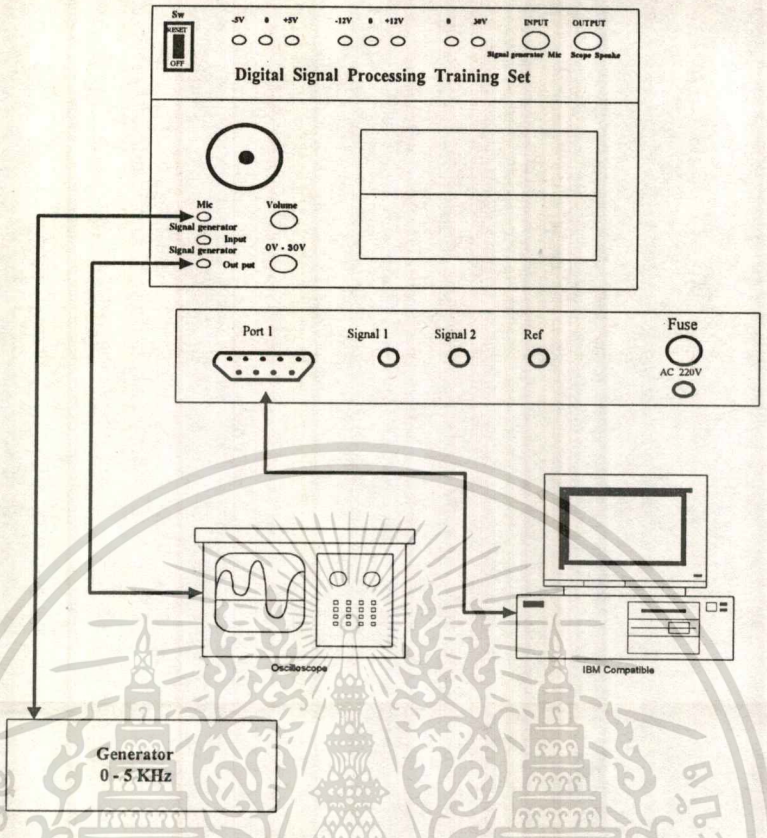
การทำงานของ IIR low pass filter จะคัทออฟที่ความถี่ประมาณ 951 เฮิรตซ์

4.1.4 FIR Digital filter

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

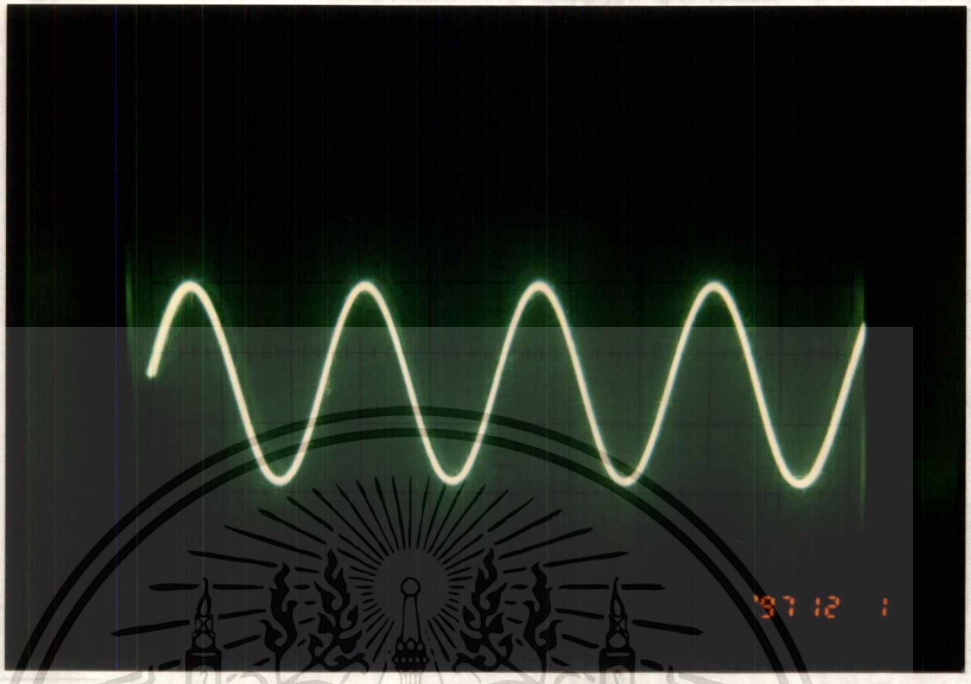


รูปที่ 4.14 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก

2. ทำการรันโปรแกรม FIR.dsk

3. ทำการปรับความถี่ที่ ซิกแนลเจนเนอร์เรเตอร์ ที่ 200 เฮิรตซ์

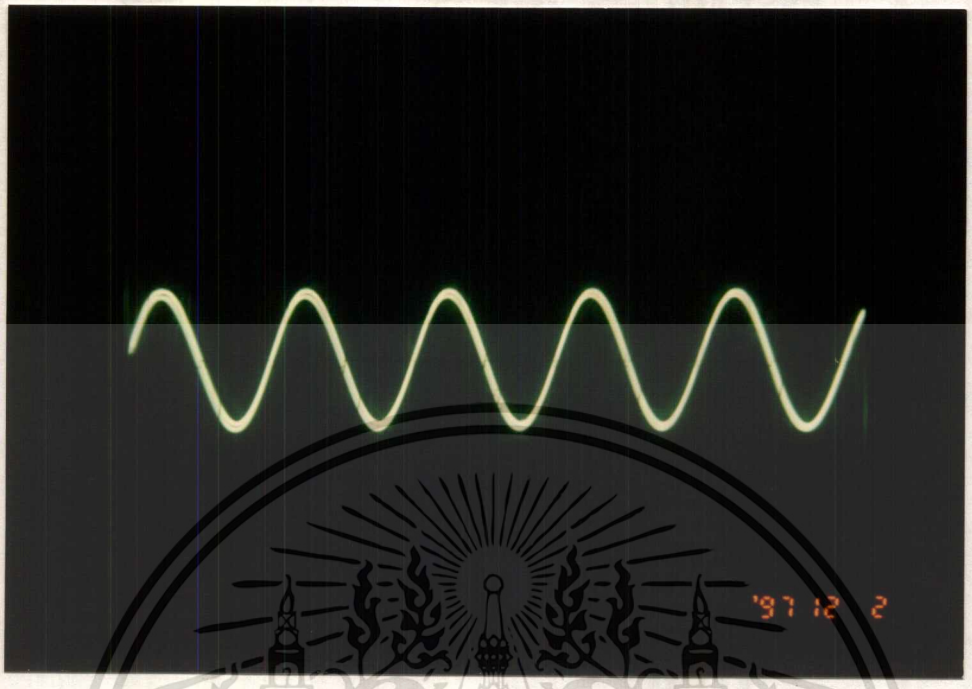
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 สัญญาณความถี่ 200 เฮิรตซ์ 3 V_{p-p}

4. ทำการปรับความถี่ให้สูงขึ้นจนแอมปลิจูดลดลง อ่านค่าความถี่และวาดรูปสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volt/DIV = 1 V TIME/DIV = 0.5ms f = 890 เฮิรตซ์

รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาท์พุตเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น

ผลการทดลอง

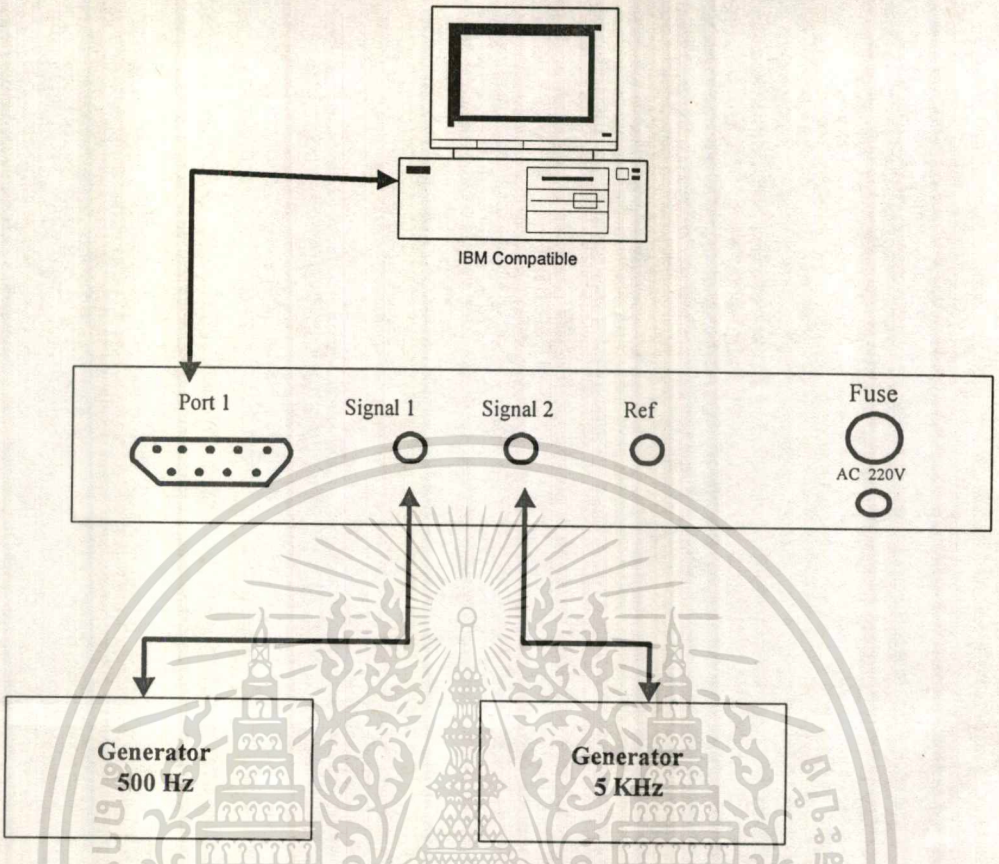
เมื่อทำการปรับความถี่ไว้ที่ 890 เฮิรตซ์ จะทำให้โปรแกรม FIR ที่สร้างขึ้นเกิดการคัทออฟ

4.1.5 ตัวกรองความถี่ปรับค่าได้ (Adaptive filter)

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

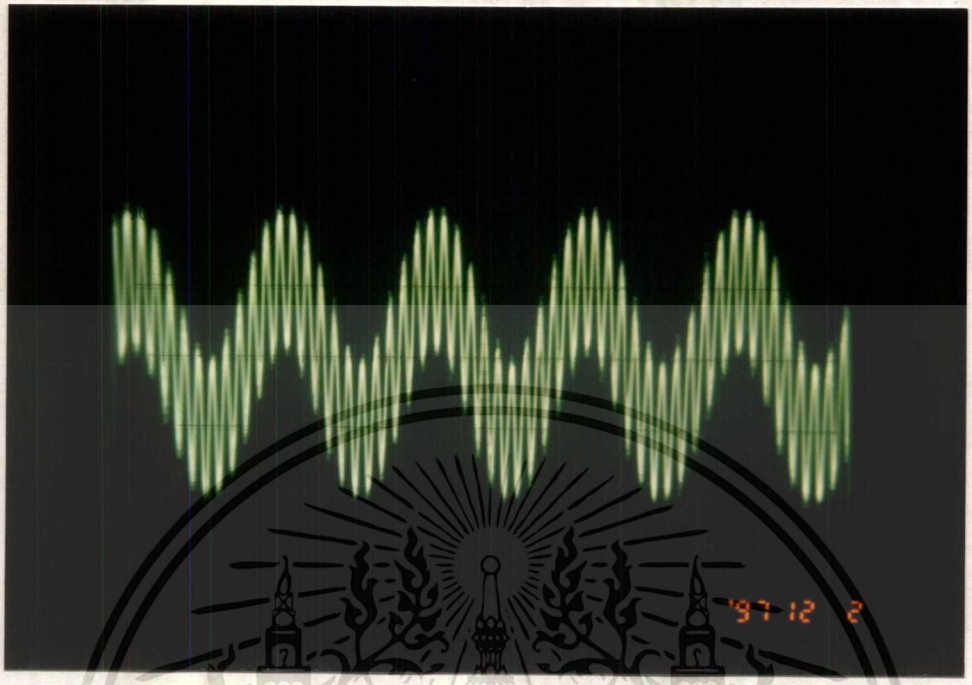


รูปที่ 4.17 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก

2. ป้อนสัญญาณความถี่ 5 กิโลเฮิรตซ์ $2V_{p-p}$ ที่ช่องสัญญาณที่ 1 (Signal 1) และป้อนความถี่ที่ 500 เฮิรตซ์ $2V_{p-p}$

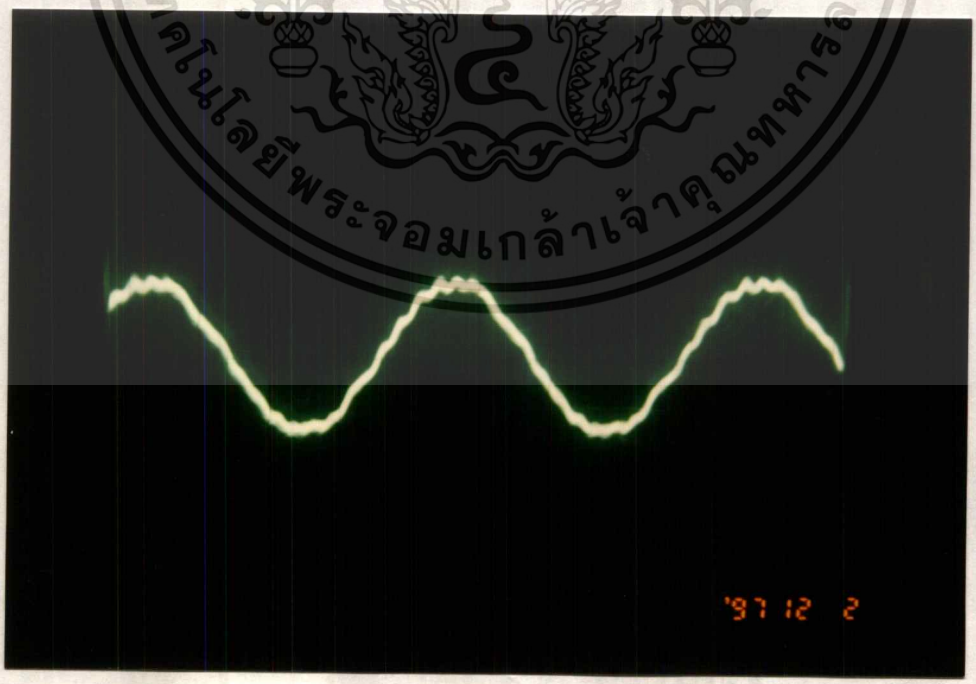
3. รันโปรแกรม Adpt.dsk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 สัญญาณเอาต์พุตขณะที่ไม่ป้อน REF

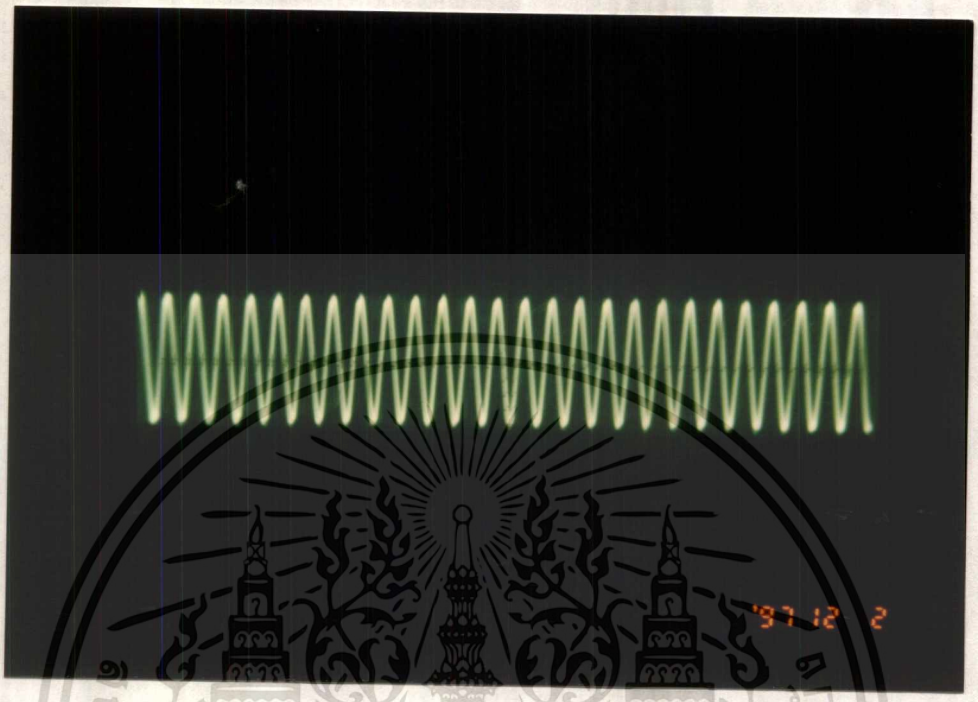
4. ต่อสัญญาณ REF ที่ช่องสัญญาณที่ 1 (Signal 1)



รูปที่ 4.19 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อมีสัญญาณ REF ที่ช่องสัญญาณที่ 1 (Signal 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

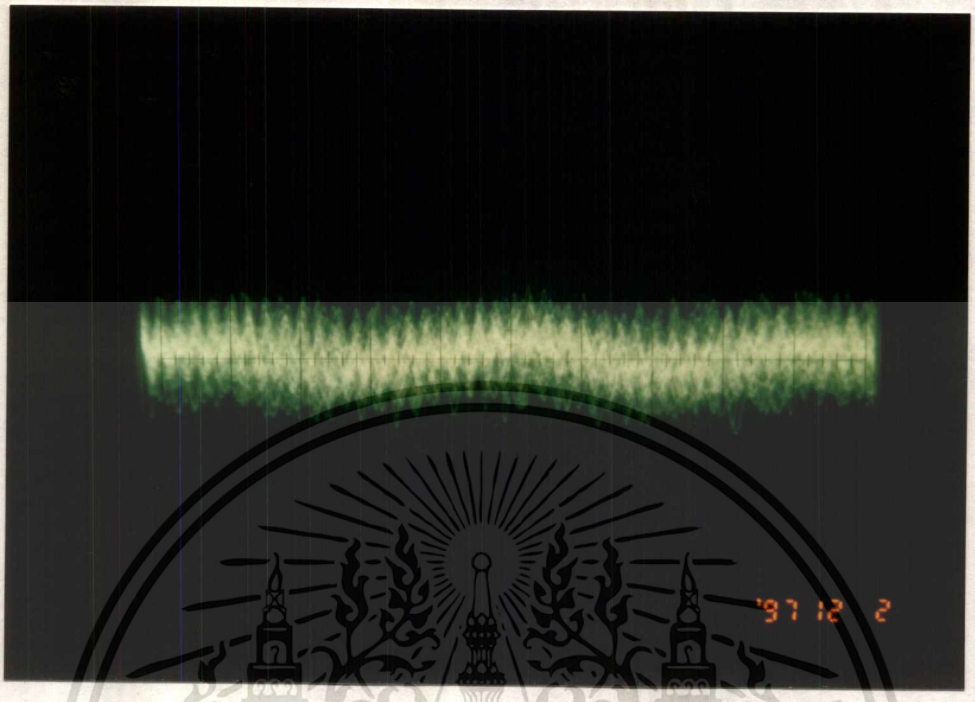
5. ต่อสัญญาณ REF ที่ช่องสัญญาณที่ 2 (Signal 2)



รูปที่ 4.20 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อมีสัญญาณ REF ที่ช่องสัญญาณที่ 2 (Signal 2)

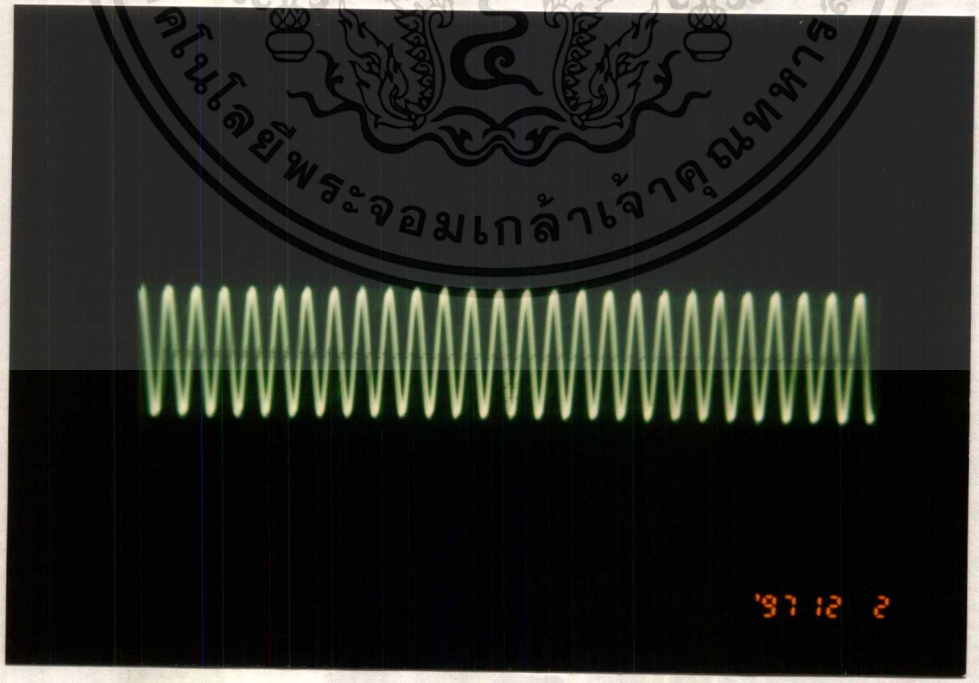
6. รันโปรแกรม Adp.dsk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 สัญญาณเอาต์พุตขณะที่ไม่ป้อนสัญญาณ REF

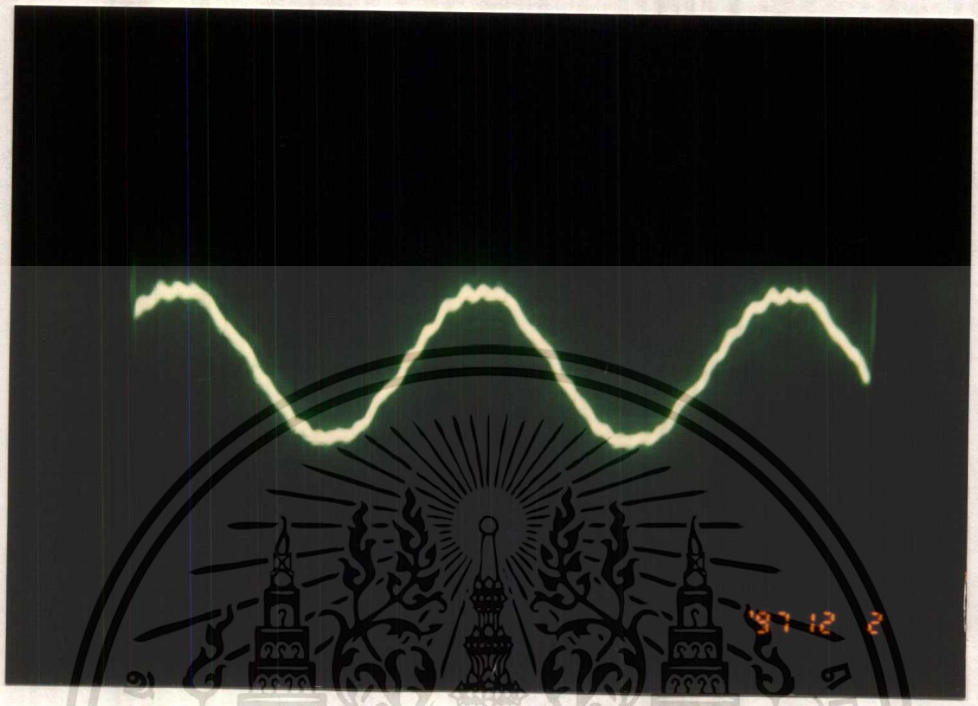
7. ต่อสัญญาณ REF ที่ช่องสัญญาณที่ 1 (Signal 1)



รูปที่ 4.22 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อมีสัญญาณ REF ที่ช่องสัญญาณที่ 1 (Signal 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ต่อสัญญาณ REF ที่ช่องสัญญาณที่ 2 (Signal 2)



รูปที่ 4.23 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อมี REF ที่ช่องสัญญาณที่ 2 (Signal 2)

ผลการทดลอง

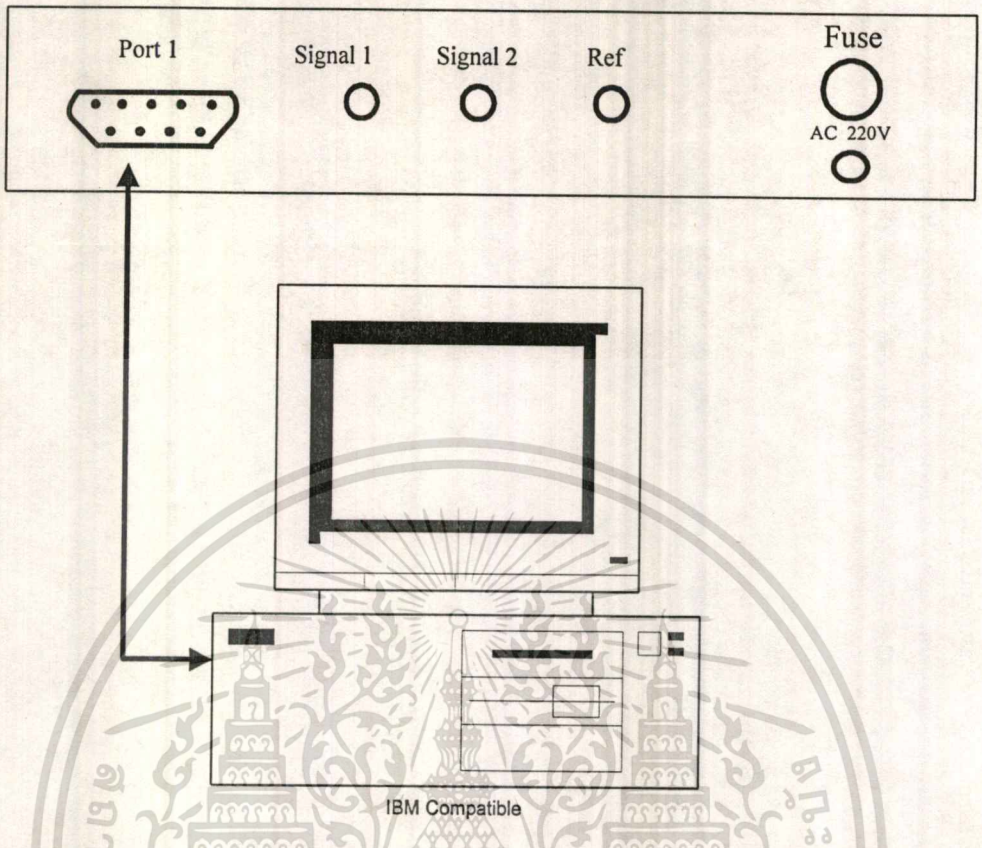
จากการทดลองโปรแกรม Adpt.asm เป็นตัวกรองความถี่ปรับค่าแบบ Unwant Signal Tracking ดังนั้นตัวกรองจะยอมให้สัญญาณที่ผ่านไปได้ที่เอาท์พุตมีลักษณะตรงกับสัญญาณอ้างอิงส่วนโปรแกรม Adp เป็นตัวกรองความถี่ปรับค่าได้แบบ Unwant Signal cancellation ดังนั้นสัญญาณที่ออกไปยังเอาท์พุตจะต้องมีลักษณะตรงข้ามกับสัญญาณอ้างอิง

4.1.6 Fast Fourier Transform (FFT)

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก

2. ใส่แผ่น DSK ใน drive A

   พิมพ์ DSK5d ↵ เพื่อเข้าไปในโปรแกรม DSK

3. โหลดไฟล์ชื่อว่า FFT4.DSK

   พิมพ์ LD FFT4.DSK ↵

4. ทำการรันโปรแกรม FFT4.DSK

   พิมพ์ XG ↵

5. ดูผลที่ได้จากการ Run โปรแกรม ใน Data Memory ที่ตำแหน่งต่อไปนี้

   X0 (0e31h,0e32h) = 144, -560

   X2 (0e33h,0e34h) = 16, 152

   X1 (0e3fh,0e40h) = -64, 568

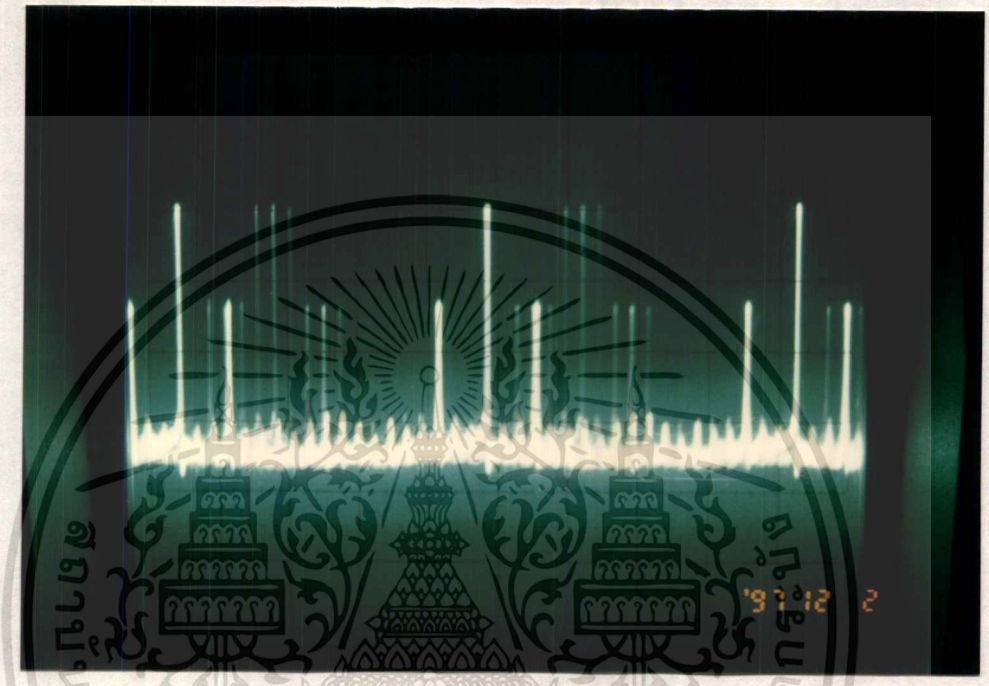
   X3 (0e41h,0e42h) = -92, -152

6. ตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์ใช้งาน FFT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

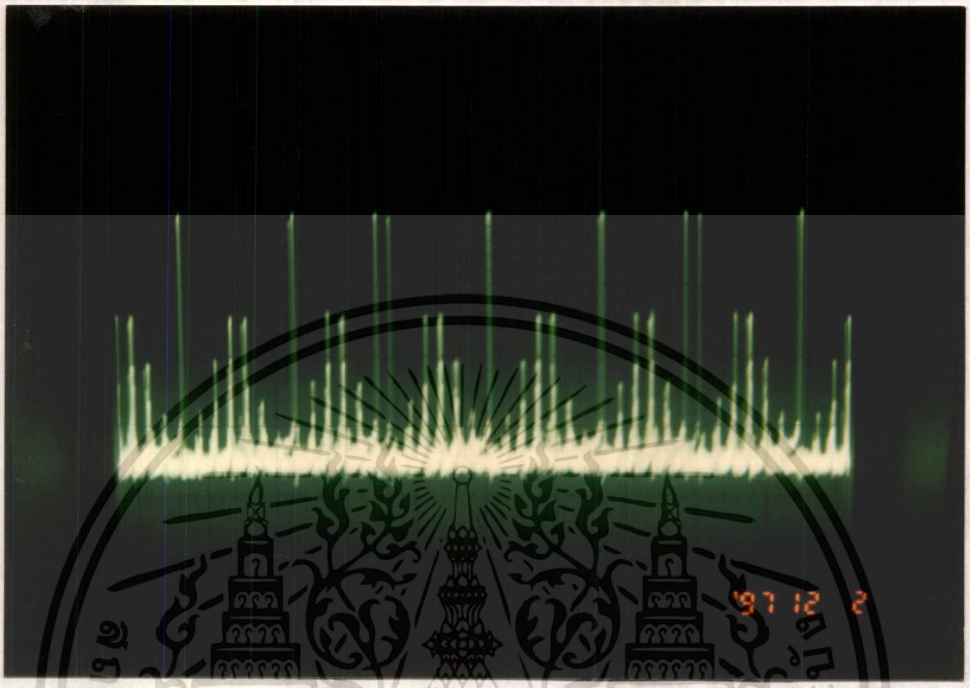
- รันโปรแกรม dsk_spec

- ทดลองป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave), รูปคลื่นฟันเลื่อย (Saw Wave) และรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave)

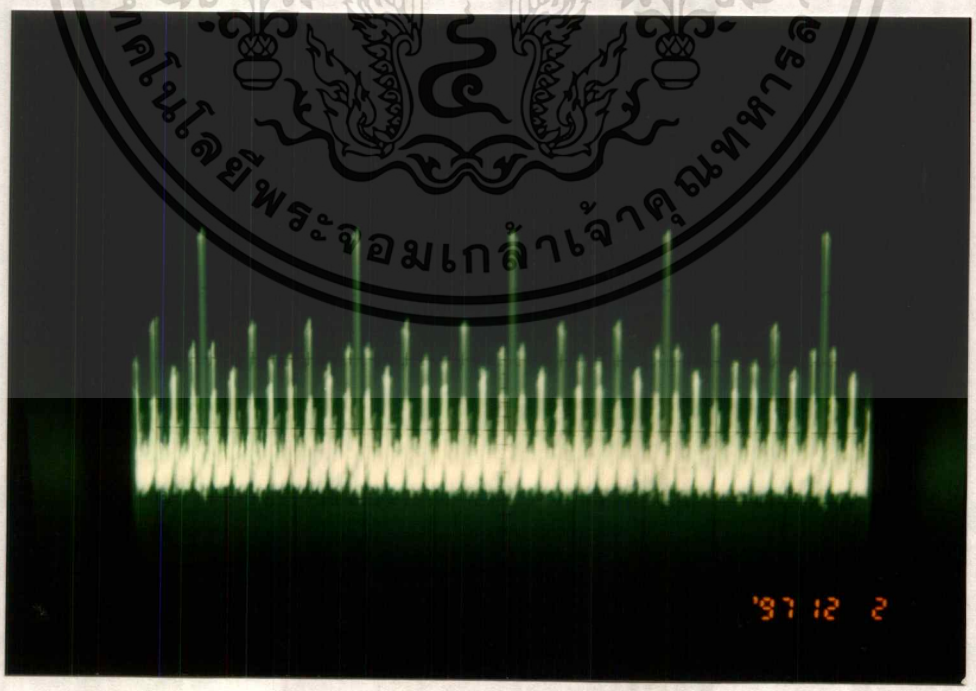


รูปที่ 4.25 Spectrum Sine Wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 Spectrum Square Wave



รูปที่ 4.27 Spectrum Saw Wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

Fast Fourier Transform หรือ FFT เป็นวิธีการคำนวณของ DFT ให้เร็วขึ้น โดยใช้วิธีการคำนวณ DFT คูณจำนวนเชิงซ้อนเพียง $N \log_2 N$ ครั้งเท่านั้น ซึ่งจะทำให้การคำนวณ DFT เร็วขึ้นมาก และจะทำให้มีลักษณะเป็นเวลาจริง (Real Time) มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไข และพัฒนา

5.1 บทสรุป

ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข สร้างขึ้นเพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอนเพื่อให้นักศึกษาได้ศึกษาหลักการทฤษฎีรวมทั้งการประยุกต์ใช้งาน ชิพตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (DSP) เบอร์ TMS-320C50 ในการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขซึ่งขอบเขตของโครงงานนี้ คือ มีใบงานการทดลองไม่น้อยกว่า 6 ใบงาน ซึ่งในโครงงานนี้มีใบงานการทดลองทั้งหมด 6 ใบงาน ได้แก่

1. Discrete Fourier Transform (DFT)
2. Signal Generator
3. Fast Fourier Transform (FFT)
4. Infinite Impules Response Digital Filter (IIR)
5. Finite Impules Response Digital Filter (FIR)
6. Adaptive Filter

โดยที่ใบงานที่เกี่ยวกับ วงจรกรองเชิงเลขแบบ IIR , FIR และ Adaptive filter ซึ่งทั้งสามใบงานนี้ จะมีประโยชน์อย่างมาก ในการศึกษาและการพัฒนาต่อไป

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 ปัญหาในส่วนของฮาร์ดแวร์

ปัญหา การผิดเพี้ยนของสัญญาณ อันเนื่องจากอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

แนวทางแก้ไข ใช้วงจรมัลติเพล็กซ์ภายนอก เพื่อลดภาระการทำงานของอุปกรณ์แปลงสัญญาณดังกล่าว

ปัญหา ความผิดเพี้ยนของสัญญาณอันเนื่องจากการไม่พอดีระหว่างเวลาของการสุ่มสัญญาณกับเวลาของการมัลติเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางแก้ไข ดัดแปลงวงจรมัลติเพล็ก เพื่อใช้ซอฟต์แวร์ควบคุมเวลาของการมัลติเพล็กซ์ให้ตรงกับเวลาของการสุ่มสัญญาณ

5.2.2 ปัญหาในส่วนของซอฟต์แวร์

ปัญหา การศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ DSK เป็นไปได้ช้าเนื่องจากความยุ่งยากและซับซ้อนของคำสั่ง

แนวทางแก้ไข ต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษาด้านซอฟต์แวร์มาก

5.3 แนวทางในการพัฒนา

1. ควรใช้อุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณเชิงเลขที่มีความไวในการทำงานสูงกว่า TMS320C50
2. ควรใช้อุปกรณ์แปลงสัญญานแอนะลอกเป็นดิจิตอล 2 ชุด แทนการใช้วงจรมัลติเพล็กซ์
3. ควรใช้อุปกรณ์แปลงสัญญานแอนะลอกเป็นดิจิตอล ที่ใช้การส่งข้อมูลแบบขนาน
4. ควรเพิ่มจำนวนสัมประสิทธิ์ของการกรองความถี่ให้มากกว่า 128 จำนวน โดยจะต้องมีอุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณเชิงเลขตามข้อ 1
5. ควรทดลองออกแบบโปรแกรมที่มีการทำงานในลักษณะเดิม แต่ใช้จำนวนคำสั่งน้อยกว่าเดิม
6. สร้างและออกแบบใบงานเพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ใบงานการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1

Discrete Fourier Transform (DFT)

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของดีเอฟที (DFT)
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายการใช้ TMS-320C50 คำนวณดีเอฟที (DFT)
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถนำวิธีการคำนวณ ดีเอฟที (DFT) ไปประยุกต์ใช้ในการคำนวนหา Spectrum ได้

ทฤษฎี

ใบงานเรื่อง DFT ซึ่งเป็น DFT แบบ 4 จุด และสมการที่ (1) เป็นสมการที่ใช้ในการสร้าง DFT แบบ 4 จุด

DFT เป็น Discrete frequency Sequence ที่ค่าจำกัด (Finite) เกิดจากการสุ่ม 1 คาบ (Periode) ของ Fourier Transform โดยจำนวน N ค่าซึ่งมี W อยู่ระหว่าง 0-2π จะได้ดังนี้

$$Wk = \frac{2\pi k}{N} \qquad ;\ 0 \le k \le N\text{-}1$$

Discrete Sequence ของ Fouirer Transform H( ) จะถูกแทนตัว { H(k) } ดังนี้

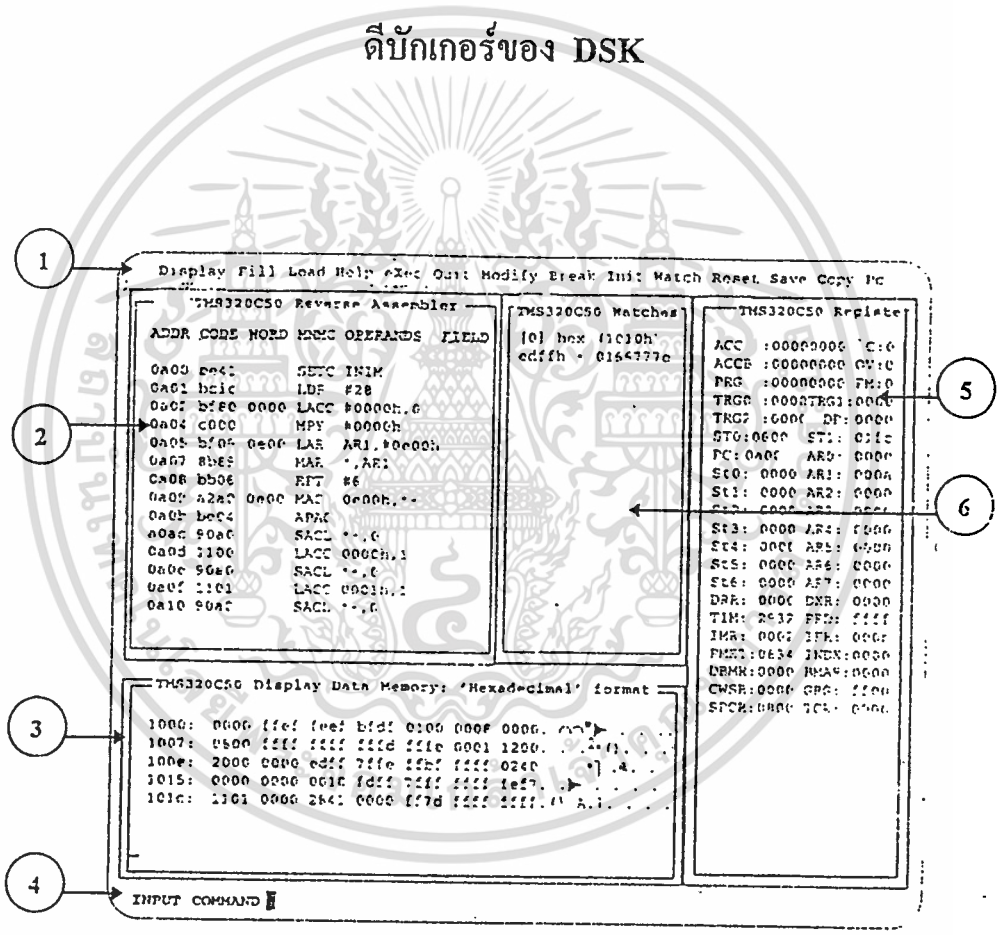
$$H(k) = H(e^{j\omega})\Big|_{\omega=\omega k=\frac{2\pi k}{N}} \qquad ;\ 0 \le k \le N\text{-}1$$

ดังนั้น Discrete Fourier Transform จะได้เป็น

$$H(k) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n)\, e^{\frac{-j2\pi nk}{N}} \qquad ;\ 0 \le k \le N\text{-}1 \qquad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการนำมาเขียนโปรแกรมโดยที่ค่าโคไซน์ (cos) และค่าไซน์ (sin) จะต้องคำนวณค่าก่อน ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นทศนิยมและจะต้องทำการสเกลค่าก่อน ด้วยการคูณด้วย 1000 เนื่องจาก TMS-320C50 เป็น ฟิกซ์พอยน์ (Fixed point) จากนั้นจึงนำค่าที่คำนวณแล้วใส่ในตำแหน่งของ หน่วยความจำ ต่างๆ รวมทั้งอินพุทด้วย การทำงานของโปรแกรมจะเป็นลักษณะการวนลูปเพื่อดึงค่าจาก หน่วยความจำ มาทำการคำนวณผลลัพธ์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะถูกเก็บในตำแหน่ง หน่วยความจำ อีกทีหนึ่ง



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของดีบักเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

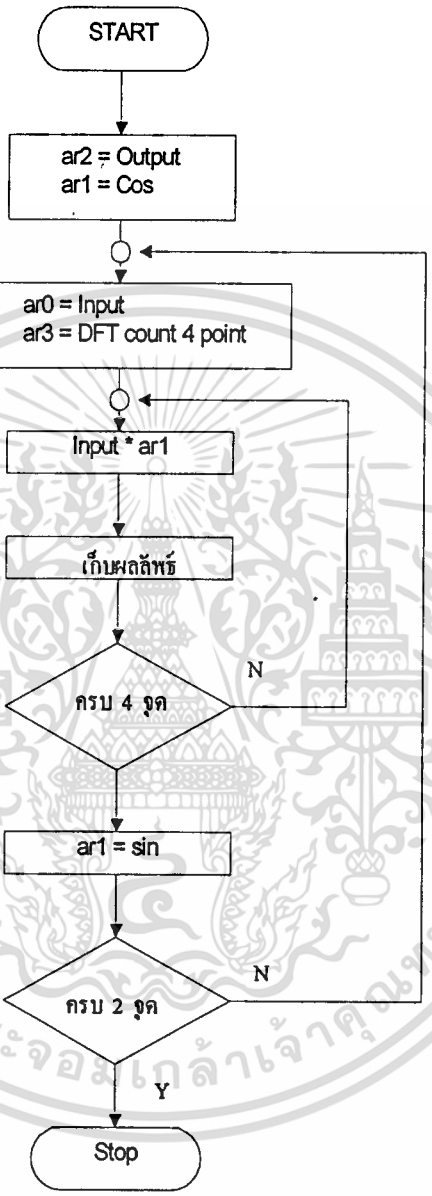
1. เมนู
2. หน้าต่างโปรแกรม
3. หน้าต่างหน่วยความจำ
4. บรรทัดรับคำสั่ง
5. หน้าต่างรีจีสเตอร์
6. หน้าต่างการติดตามผล

คำสั่งที่จำเป็นในการทดลอง

1. DMI	แสดงค่าตัวเลขเป็นฐานสิบ
2. DMA	ดูตำแหน่งหน่วยความจำที่กำหนด
3. MD	เปลี่ยนแปลงค่าในหน่วยความจำ
4. Spec bar	การรันแบบสเตป (Step)
5. XG	รันโปรแกรม
6. AH + X	ออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผังการทำงานของโปรแกรม DFT แบบ 4 จุด



รูปที่ 1

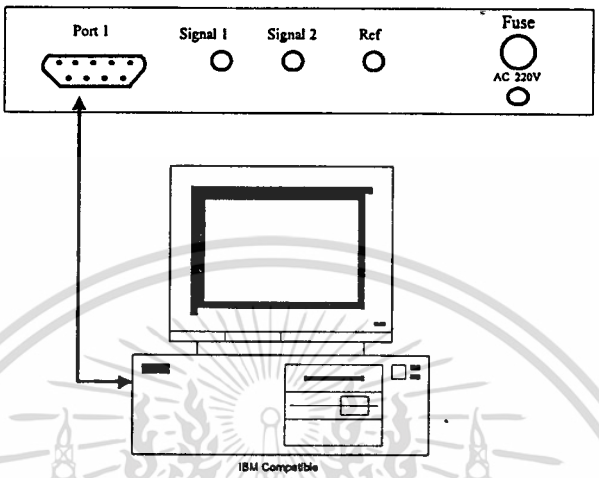
อุปกรณ์

1. ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	1	ชุด
2. เครื่องคอมพิวเตอร์	1	เครื่อง
3. โปรแกรม Debugger DSK-50		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2

2. ป้อนโปรแกรมดังนี้

```
        .mmregs
        .ps    0080ah
        b      rint
        .ps    00a00h
        .entry
        lar    ar4, #01h
        ldp    #0
        zap
        mar    *, ar0
        lar    ar2, #ans            ; Ar2 ⟶ Output DATA
        lar    ar1, #mcos           ; Ar1 ⟶ Table cos
kp:     lar    ar3, #03h
op:     lar    ar0, #msource        ; Ar0 ⟶ Input DATA
        splk   #03h, brcr
        rptb   loop
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lta    *+,ar1
        mpy    *+,ar0
loop:   nop
        apac
        mar    *, ar2
        sacl   *+,0,ar3              ; ACC ⟶ AR2
        zap
        banz   op,ar0
        lar    ar1, #msin
        mar    *, ar4
        banz   kp,ar1
rint:   rete
        .ds    1000h
msource: .int  1,1,1,1               ; Input DATA

        .ds    400h
mcos:   .int   1000,1000,1000,1000,1000,0,-1000,0,1000,-1000      ; Table Cos
        .int   1000,-1000,1000,0,-1000,0

        .ds    1015h
ans:    .space 80h                   ; Output DATA

        .ds    0300h
msin:   .int   0,0,0,0,0,-1000,0,1000,0,0,0,0,0,1000,0,-1000      ; Table Sin
```

3. คอมไพล์โปรแกรมโดยใช้

   DSK5A ชื่อ .ASM ↵

4. เข้าสู่ดีบักเกอร์ พิมพ์ DSK5D

   - โหลดไฟล์ใช้คำสั่ง LD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปลี่ยนคำสั่งการแสดงผล ให้เป็นฐานสิบ พิมพ์ DMI

- บันทึกค่าที่อยู่ในแอดเดรส 1015H - 1018H

1015H = ...

1016H = ...

1017H = ...

1018H = ...

6. พิมพ์ XG เพื่อรันโปรแกรม

- บันทึกค่าที่อยู่ในแอดเดรส 1015H - 1018H

1015H = ...

1016H = ...

1017H = ...

1018H = ...

7. ทดลองเปลี่ยนค่าในตำแหน่ง 1000 ใช้คำสั่ง MD

1000H = 5

1001H = 5

1002H = 0

1003H = 0

8. รันโปรแกรมโดยกด XG แล้วบันทึกผล

1015H = ...

1016H = ...

1017H = ...

1018H = ...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

คำถาม

1. เมื่อเปลี่ยนค่าอินพุตในโปรแกรมเป็น -5 , -5 , 10 , 0 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม DFT แบบ 4 จุด จะมีค่าเป็นเท่าใด

2. เหตุใดจึงต้องทำการสเกลค่าโคไซน์ (cos) และค่าไซน์ (sin) ก่อนเก็บลงในหน่วยความจำ

3. จงบอกถึงประโยชน์ของการทำ DFT และการนำไปประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2

Signal Generator

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถเขียนโปรแกรมบน TMS-320C50
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถบอกวิธีการสร้างความถี่จาก TMS320C50
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถประยุกต์ TMS-320C50 ให้เป็น Function Generator ได้

ทฤษฎี

Signal Generator

การใช้งาน TMS-320C50 ในการผลิตสัญญาณนั้นสามารถที่จะผลิตลูกคลื่นได้ 3 รูปแบบ คือ sine wave , saw wave และ square wave ได้ดังนี้

1. คลื่นรูปไซน์ (Sine Wave)

คลื่นรูปไซน์ Sine Wave ที่ผลิตโดย TMS320C50 นั้น ในการกำหนดความถี่จะอาศัยหลักการ Sampling Frequency และการกำหนดจำนวนจุด (N) โดยใช้สมการที่ (1)

$$F = \frac{Fs}{N} \qquad (1)$$

F = ความถี่เอาต์พุต

Fs = ความถี่สุ่ม (Sampling Frequency)

N = จำนวนจุด ในการสุ่มสัญญาณ 1 คาบเวลา

จากหลักการของการมองค่าจากตาราง ซึ่งจำเป็นจะต้องคำนวณหาค่าไซน์ (sine) ของแต่ละจุดหลังจากนั้นทำการสเกลค่าด้วยการคูณ 1,000 และนำค่าที่สเกลแล้วไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมอ่านค่าจากหน่วยความจำ ส่งออกไปยัง D/A ของบอร์ด DSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

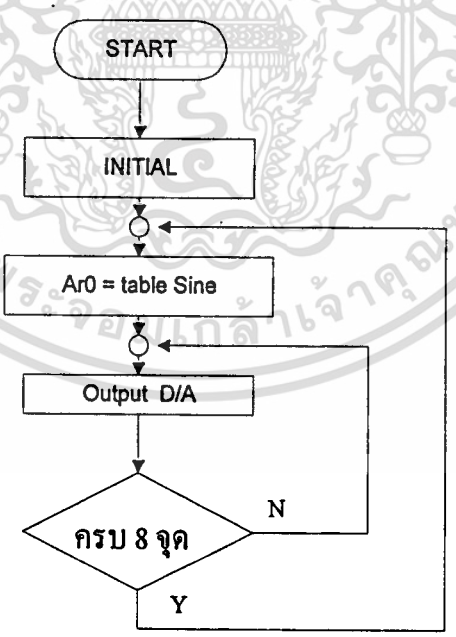
2. คลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave)

ตัว TMS-320C50 ภายในบอร์ด DSK สามารถผลิตคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) ได้แต่เนื่องจากภายในบอร์ด DSK มี Low Pass Filter ทำให้ความถี่ของ Square Wave ที่ได้นั้นมีความถี่ต่ำ ดังนั้นในการสร้างคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) จะใช้โปรแกรมเดียวกับโปรแกรม Sine Wave โดยใช้ Table ในตำแหน่งหน่วยความจำ (Memory) เป็น 1000 และ 0 จากนั้นจะอ่านค่าแรกจาก Table คือ "1" แล้วหน่วงเวลา ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ รูปสัญญาณที่ได้จะเป็น Square Wave

3. คลื่นรูปฟันเลื่อย (Saw Wave)

จะใช้โปรแกรมในการส่งค่า ACC ออกไปยัง D/A หลังจากนั้นจะเพิ่มค่า ACC ขึ้นไปเรื่อยๆ จนทำให้สัญญาณเป็น Slope เส้นตรงจนกระทั่งถึงค่าๆ หนึ่งที่ ACC มีค่าเท่ากับ "0" Slope ก็จะกลายเป็นเส้นตรงดิ่งลงมาที่ศูนย์ จากนั้นก็ให้โปรแกรมทำการวนลูปไปเรื่อยๆ รูปสัญญาณที่ได้จะเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Saw Wave)

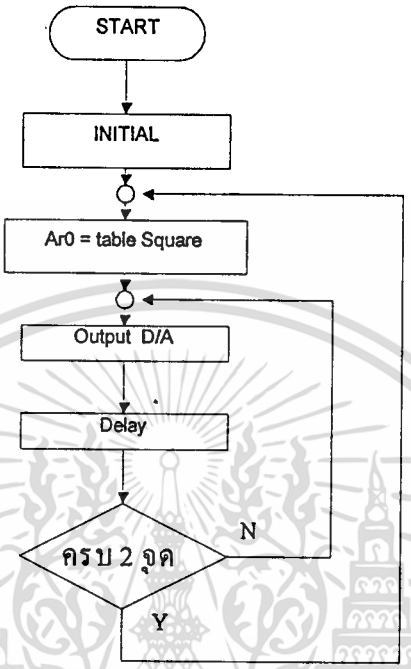
ผังการทำงานของโปรแกรม กำเนิดสัญญาณ Sine Wave



รูปที่ 1

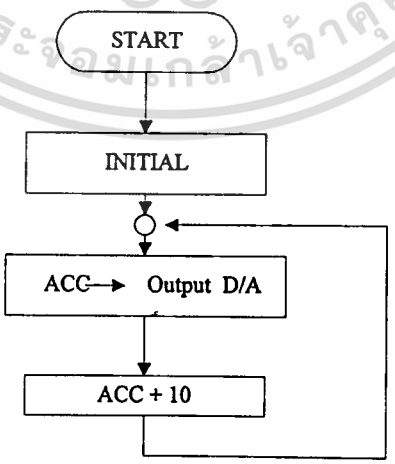
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผังการทำงานของโปรแกรม กำเนิดสัญญาณ Square Wave



รูปที่ 2

ผังการทำงานของโปรแกรม กำเนิดสัญญาณ Saw Wave



รูปที่ 3

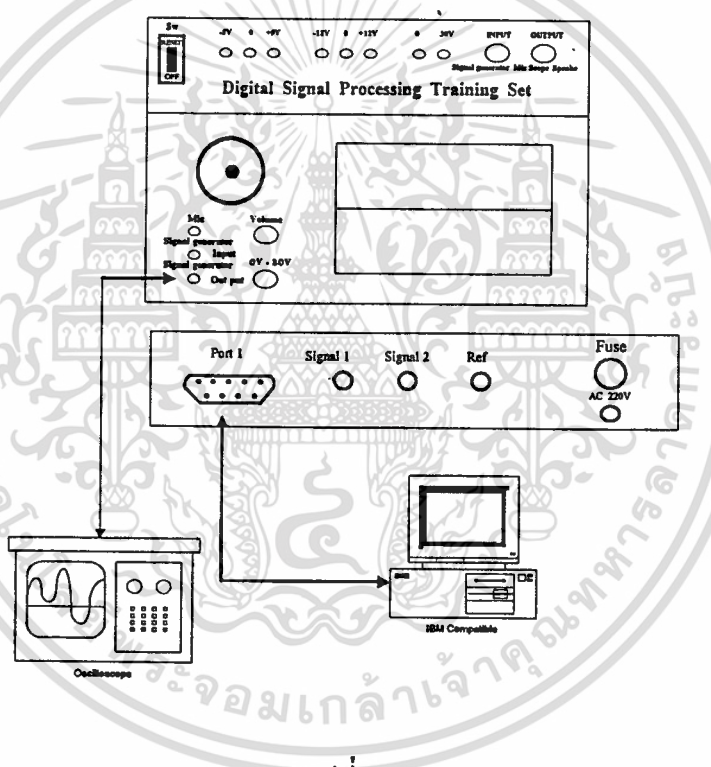
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์

1. ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	1	ชุด
2. สโคป	1	เครื่อง
3. เครื่องคอมพิวเตอร์	1	เครื่อง
4. แผ่นดิสก์ โปรแกรม DSK	1	เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4

2. ป้อนโปรแกรมดังนี้

```
        .mmregs
        .ds     0f00h
; ** ---------------------  Start  Rountine For Set Sampling Reat  ----------------------**
TA      .word   18                      ; Fcut = 4 KHz
RA      .word   18                      ; Fcut = 4 KHz
TAp     .word   1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RAp     .word   1
TB      .word   15              ; Fs = 2*Fcut
RB      .word   15              ; Fs = 2*Fcut
AIC_CTR .word   8h

        .ps     080ah
rint:   B       RECEIVE         ;0A; Serial prot receive interrupt RINT.
xint:   B       TRANSMIT        ;0C; Serial port transmit interrupt XINT.

        .ps 0a00h
        .entry
START:  SETC    INTM            ; Disable interrupts
        LDP     #0              ; Set data page pointer
        OPL     #0834h,PMST
        LACC    #0
        SAMM    CWSR            ; Set software wait state to 0
        SAMM    PDWSR

* Reset AIC by writing to PA2 (address >52) to DSK

        SPLK    #022h,IMR       ; Using XINT syn TX & RX
        CALL    AICINIT         ; initialize AIC and enable interrupts
        CLRC    OVM             ; OVM = 0
        SPM     0               ; PM = 0
        SPLK    #012h,IMR
        CLRC    INTM            ; enable
        ldp     #0
;*-------------------------------- End Set Sampling Rate ------------------------------- *
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;* ---------------------------------- Start Main Program ------------------------------*
s1:   idle
      lamm   imr
      or     #20h
      samm   imr          ; Set interrupt xint
      mar    *,ar0
l1:   lar    ar0,#tbl     ; Ar0 ⟶ DATA Table
      splk   #7h,brcr     ; Counter 8 point
      rptb   l2
      lacl   *+,ar0
      sacl   dxr,3        ; Sent DATA to D/A
      idle
l2:   nop
      b      l1
*---------------------------------- End Main Program --------------------------------*
RECEIVE:    rete

TRANSMIT:    RETE
*---------------------------------- Start Rountine Set A/D --------------------------*
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
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

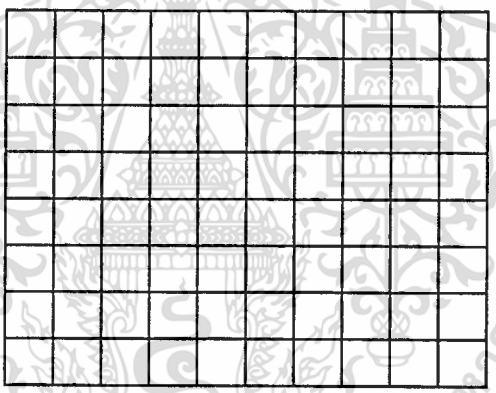
```
        LACC   *,0,AR0              ; (.5ms at 50ns)
        SACH   GREG
        ;-----------------------
        LDP    #TA
        SETC   SXM
        LACC   TA,9                 ; Initialized TA and RA register
        ADD    RA,2
        CALL   AIC_2ND
        ;-----------------------
        LDP    #TB
        LACC   TB,9                 ; Initialized TB and RB register
        ADD    RB,2
        ADD    #02h
        CALL   AIC_2ND
        ;-----------------------
        LDP    #AIC_CTR
        LACC   AIC_CTR,2            ; Initialized control register
        ADD    #03h
        CALL   AIC_2ND
        RET

AIC_2ND:
        LDP    #0
        SACH   DXR
        CLRC   INTM
        IDLE
        ADD    #6h,15               ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX XXXX XXXX b
        SACH   DXR
        IDLE
        SACL   DXR
        IDLE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LACL   #0
        SACL   DXR                ; make sure the word got sent
        IDLE
        SETC   INTM
        RET
*------------------------------ End Rountine Set A/D ----------------------------------*
      .ds    1000h
tbl:  .int   0,707,1000,707,0,-707,-1000,-707,0          ; Sin DATA table
```

3. คอมไพล์และรันโปรแกรม

4. วาดรูปสัญญาณ



Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

5. ทดลองเปลี่ยนค่า tbl ให้เป็น 16 จุด โดยใช้ค่าดังนี้

$$= \frac{360}{16} = 22.5$$

จากนั้นทำการสเกลค่าด้วยการคูณด้วย 1000 เนื่องจาก TMS320C50 เป็น Fired point

sin (0).....

sin (2).....

sin (3).....

sin (4).....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

sin (5).....

sin (6).....

sin (7).....

sin (8).....

sin (9).....

sin (10).....

sin (11).....

sin (12).....

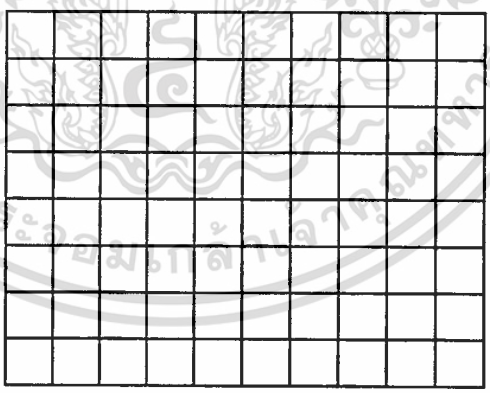
sin (13).....

sin (14).....

sin (15).....

sin (16).....

6. ทำการคอมไพล์และรันโปรแกรม



Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ TMS-320C50 สร้าง Square Wave

1. ป้อนโปรแกรมดังนี้

```
      .mmregs
  .ds   1000h
*---------------------------------- Start Rountine For Set Sampling rate ----------------------*
TA    .word  6          ; Fcut = 4 KHz
RA    .word  6          ; Fcut = 4 KHz
TAp   .word  1
RAp   .word  1
TB    .word  15         ; Fs = 2*Fcut
RB    .word  15         ; Fs = 2*Fcut
AIC_CTR .word  8h
      .ps   080ah
rint:  B    RECEIVE    ;0A; Serial prot receive interrupt RINT.
xint:  B    TRANSMIT   ;0C; Serial port transmit interrupt XINT.
     .ps 0a00h
     .entry
START: SETC  INTM       ; Disable interrupts
    LDP   #0            ; Set data page pointer
    OPL   #0834h,PMST
    LACC  #0
    SAMM  CWSR          ; Set software wait state to 0
    SAMM  PDWSR

* Reset AIC by writing to PA2 (address >52) to DSK

    SPLK  #022h,IMR     ; Using XINT syn TX & RX
    CALL  AICINIT       ; initialize AIC and enable interrupts
    CLRC  OVM           ; OVM = 0
    SPM   0             ; PM = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SPLK   #012h,IMR
        CLRC   INTM             ; enable
        ldp    #0
*------------------------------ End Rountine Set Sampling rate ----------------------------------*
*------------------------------ Start Main Program ----------------------------------------------*

s1:     idle
        lamm   imr
        or     #20h
        samm   imr
        mar    *,ar0
l1:     lar    ar0,#tbl                 ; Ar0 ⟶ DATA table is ' 1'
        lacl   *+
        sacl   dxr,3
        idle
        splk   #200h,brcr               ; Delay
        rptb   pp
        idle
pp:     nop
        lacl   *                        ; Acc = 0
        sacl   dxr,3
        idle
        splk   #200h,brcr               ; Delay
        rptb   uu
        idle
uu:     nop
        b      l1
*------------------------------ End Main Program ------------------------------------------------*
;
; RECIEVER INTERRUPT SERVICE ROUTINE
;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

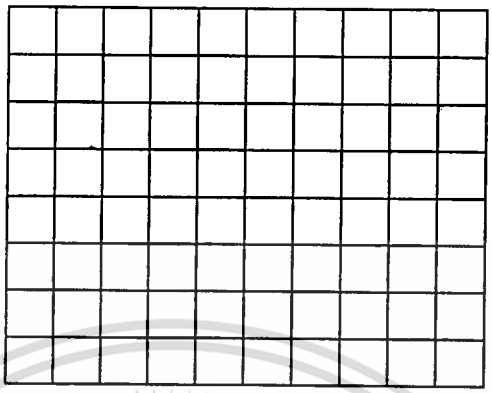
```
RECEIVE:    rete
;
; TRANSMIT INTERRUPT SERVICE ROUTINE
;
TRANSMIT:   RETE

*-------------------------------------- Start Rountine For Set A/D ----------------------------------*

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                ; Initialized TA and RA register
     ADD    RA,2
     CALL   AIC_2ND
     ;-----------------------
     LDP    #TB
     LACC   TB,9                ; Initialized TB and RB register
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ADD   RB,2
        ADD   #02h
        CALL  AIC_2ND
        ;-------------------------
        LDP   #AIC_CTR
        LACC  AIC_CTR,2          ; Initialized control register
        ADD   #03h
        CALL  AIC_2ND
        RET

AIC_2ND:
        LDP   #0
        SACH  DXR
        CLRC  INTM
        IDLE
        ADD   #6h,15             ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX XXXX XXXX b
        SACH  DXR
        IDLE
        SACL  DXR
        IDLE
        LACL  #0
        SACL  DXR                ; make sure the word got sent
        IDLE
        SETC  INTM
        RET

*---------------------------------- End Rountine For Set A/D ----------------------------*

tbl:    .int  10000,0    ; DATA TABLE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการคอมไพล์และรันโปรแกรม



Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

การใช้ทำ Saw Wave

1. ป้อนโปรแกรมดังนี้

```
        .mmregs
    .ds     0f00h
*------------------------- Start Rountine For Set Sampling rate ----------------------*
TA      .word   6       ; Fcut = 4 KHz
RA      .word   6       ; Fcut = 4 KHz
TAp     .word   1       ;
RAp     .word   1       ;
TB      .word   18      ; Fs = 2*Fcut
RB      .word   18      ; Fs = 2*Fcut
AIC_CTR .word   8h


        .ps     080ah
rint:   B       RECEIVE     ;0A; Serial prot receive interrupt RINT.
xint:   B       TRANSMIT    ;0C; Serial port transmit interrupt XINT.


        .ps 0a00h
        .entry
START:  SETC    INTM        ; Disable interrupts
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LDP   #0            ; Set data page pointer
        OPL   #0834h,PMST
        LACC  #0
        SAMM  CWSR          ; Set software wait state to 0
        SAMM  PDWSR         ;

* Reset AIC by writing to PA2 (address >52) to DSK

        SPLK  #022h,IMR     ; Using XINT syn TX & RX
        CALL  AICINIT       ; initialize AIC and enable interrupts
        CLRC  OVM           ; OVM = 0
        SPM   0             ; PM = 0
        SPLK  #012h,IMR
        CLRC  INTM          ; enable
        ldp   #0
*------------------------ End Rountine For Set Sampling rate ------------------------*

*------------------------ Start Main Program ----------------------------------*
s1:   ldp   dxr
      lamm  imr
      or    #20h
      samm  imr             ; Set interrupt X int
loop: add   #10
      sacl  dxr,3
      idle
      B     loop
*------------------------ End Main Program ------------------------------*
;
RECEIVE:    rete
;
TRANSMIT:   RETE
```

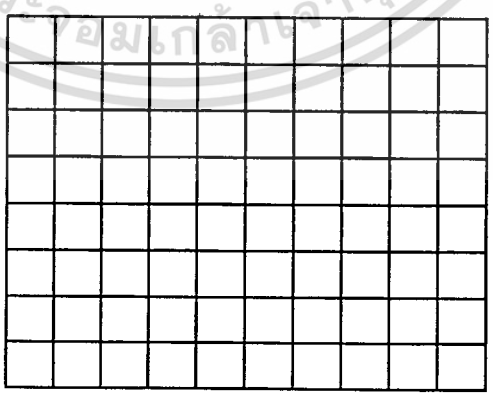
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
*---------------------- Start Rountine For Set A/D ----------------------*
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        ; Initialized TA and RA register
         ADD    RA,2        ;
         CALL   AIC_2ND     ;
         ;-----------------------
         LDP    #TB
         LACC   TB,9        ; Initialized TB and RB register
         ADD    RB,2        ;
         ADD    #02h        ;
         CALL   AIC_2ND     ;
         ;-----------------------
         LDP    #AIC_CTR
         LACC   AIC_CTR,2   ; Initialized control register
         ADD    #03h        ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CALL  AIC_2ND      ;
        RET                ;

AIC_2ND:
        LDP   #0
        SACH  DXR          ;
        CLRC  INTM
        IDLE
        ADD   #6h,15       ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX XXXX XXXX b
        SACH  DXR          ;
        IDLE
        SACL  DXR          ;
        IDLE
        LACL  #0           ;
        SACL  DXR          ; make sure the word got sent
        IDLE
        SETC  INTM
        RET                ;
*---------------------------- End Rountine For Set A/D ----------------------------*
```

2. ทำการคอมไพล์และรันโปรแกรม



Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถาม

1. ถ้าเปลี่ยนความถี่ Sampling เป็น 10 กิโลเฮิรตซ์ และ N = 16 จุด จะได้ความถี่เท่าใด

2. จงเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการสร้างสัญญาณจาก DSP และสัญญาณที่ได้จากเครื่อง Function Generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 3

Fast Fourier Transform (FFT)

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถเขียนโปรแกรมคำนวณหาค่า Fast Fourier Transform ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการพร็อตสเป็คตรัม จากค่าของ Fast Fourier Transform ได้
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถใช้งานโปรแกรม DSK Debugger ในการรันโปรแกรม Fast Fourier Transform ได้
4. เพื่อให้นักศึกษาสามารถเปรียบเทียบวิธีการคำนวณค่า FFT กับ DFT ได้

ทฤษฎี

การแปลงฟูเรียร์ (fourier transforms) เป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญที่ใช้กันบ่อยๆ ในระบบการปฏิบัติงาน ทางสัญญาณดิจิตอล โดยจุดมุ่งหมายของการ Tranfroms ก็คือเป็นการแปลงให้ทราบว่าจาก time domain เป็น frequency domain หรือการแปลงกลับจาก frequency domain เป็น time domain ผลจากการคำนวณจะเป็นเครื่องมือของ Fourier Transforms ทำให้ทราบค่าของ Fast Fourier Transform(FFT)

Fast Fourier Transforms(FFT) เป็นวิธีการที่ใช้ในการคำนวณ Discrete Fourier Transfrms(DFT) ให้เร็วขึ้น หรือให้มีลักษณะที่เป็นเรียลไทม์ขึ้น

ที่มาของ FFT โดยอาศัยหลักการของ DFT

วิธีการที่เสนอโดย คูลีย์ และ ทูคีย์ ซึ่งได้กล่าวมาแล้วนั้น ความเป็นจริงเป็นการแบ่งกลุ่มลำดับสัญญาณในโดเมนเวลา x(m) ที่มีขนาด N จุด ออกเป็นสองลำดับสัญญาณที่มีความยาว N/2 จุดเท่ากัน ทั้งสองลำดับนี้ให้ชื่อเรียกว่า ลำดับสัญญาณคู่ และ ลำดับสัญญาณคี่ โดยที่ลำดับสัญญาณคู่ เกิดจากการเอาลำดับในตำแหน่งเป็นเลขคู่มาเรียงกัน ที่เหลือก็เป็นลำดับสัญญาณคี่ ดังนั้นถ้าเรานิยามให้ $x_2(m)$ เป็นลำดับคู่และลำดับคี่เป็น $x_0(m)$ ตามลำดับ เพราะฉะนั้น

$$x_2(m) = x(2m) \qquad ; m = 0,1,..., (N/2) - 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x_0(m) = x(2m+1) \qquad ; m = 0,1,..., (N/2) - 1$$

ด้วยการจัดแบ่งเช่นนี้ ถ้าให้ W_N แทนค่า W ของลำดับยาว N จุด ทำให้การคำนวณการแปลง DFT ของลำดับสัญญาณ x(m) ที่ยาว N จุดเขียนใหม่ได้เป็น

$$X(k) = \sum_{m=0}^{N-1} x_2(m) (W_N)^{km} + \sum_{m=0}^{N-1} x_0(m) (W_N)^{km}$$

$$= \sum_{m=0}^{(N/2)-1} x(2m) (W_N)^{2km} + \sum_{m=0}^{(N/2)-1} x(2m+1) (W_N)^{(2m+1)k}$$

โดยที่เขียนให้พจน์ $(W_N)^2$ เป็น

$$(W_N)^2 = \{ \exp(j2\pi/N^2) \} = \exp(j2\pi/N/2) = W_{N/2}$$

ซึ่ง $W_{N/2}$ หรือค่า W ของลำดับยาว N/2 จุด เพราะฉะนั้น (2.37) จัดพจน์ใหม่ได้ คือ

$$X(k) = \sum_{m=0}^{(N/2)-1} x_2(m) (W_{N/2})^{km} + (W_N)^k \sum_{m=0}^{(N/2)-1} x_0(m) (W_{N/2})^{km}$$

$$X(k) = X_1(k) + (W_n)^k X_2(k) \qquad (2.38)$$

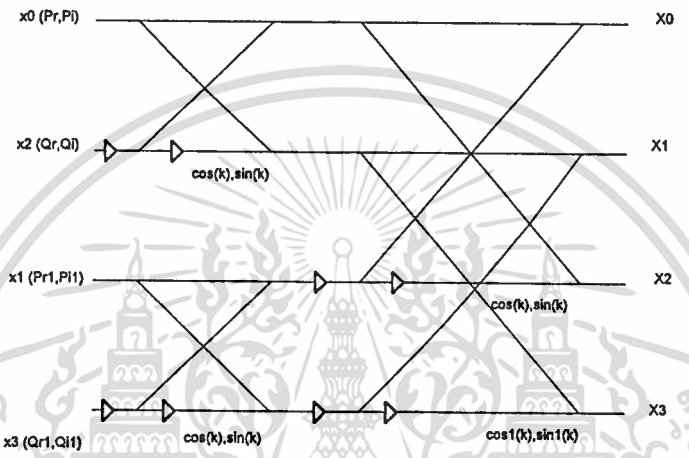
โดยที่ $x_1(k)$ และ $X_2(k)$ แทนผลการแปลง DFT ขนาด N/2 จุดของลำดับ $X_2(m)$ และ $X_0(m)$ ตามลำดับ สมการที่ (2.38) แสดงให้เห็นว่าการคำนวณ DFT ขนาด N จุด สามารถแบ่งคำนวณย่อยออกเป็น การคำนวณ DFT ขนาด N/2 จุดสองอันดับได้ และข้อสำคัญคือ การคูณจำนวนเชิงซ้อนจะลดลงเหลือ $2(N/2)^2 = N^2/2$ ครั้ง ซึ่งจะเห็นว่าลดเวลาการคำนวณลงไปถึง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยอาศัยหลักการเดียวกัน ถ้าเราแบ่งทอนลำดับ $X_2(m)$ และ $X_0(m)$ ออกเป็นลำดับคู่และลำดับคี่ลงไปอีกตามลำดับ จนในที่สุดเหลือเป็นลำดับขนาด 2 จุด หรือกล่าวได้ว่า การคำนวณการแปลง DFT ขนาด N จุด ทำได้โดยการคำนวณการแปลง DFT ขนาด 2 จุด จำนวน N/2 ภาคด้วยกัน ข้อสังเกตที่สำคัญก็คือ การซอยเพื่อลำดับ x(n) ออกเป็นทีละครึ่งจนเหลือการคำนวณ DFT ขนาด 2 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Fast Fourier Transforms(FFT) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

- ชนิดลดทอนเวลา(Decimation In Time หรือ DIT)
- ชนิดลดทอนความถี่(Decimation In Frequency หรือ DIF)

ส่วนของการทดลองใบงานนี้จะใช้วิธีลดทอนเวลา ดังรูปที่ 1 โดยใช้สมการที่ (3.3) และสมการที่ (3.4) ในการคำนวณ



รูปที่ 1

$$Pm = [Pr+Qr\cos(k)+Qi\sin(k)] + j[Pi+Qi\cos(k)-Qr\sin(k)] \quad (3.3)$$

$$Qm = [Pr-Qr\cos(k)-Qi\sin(k)] + j[Pi-Qi\cos(k)+Qr\sin(k)] \quad (3.4)$$

ค่าของตัวแปลต่างๆ ที่กำหนดในตำแหน่ง Data Memory

PR อยู่ที่ตำแหน่ง 0e00h

Pi อยู่ที่ตำแหน่ง 0e01h

Qr อยู่ที่ตำแหน่ง 0e02h

Qi อยู่ที่ตำแหน่ง 0e03h

Pr1 อยู่ที่ตำแหน่ง 0e15h

Pi1 อยู่ที่ตำแหน่ง 0e16h

Qr1 อยู่ที่ตำแหน่ง 0e17h

Qi1 อยู่ที่ตำแหน่ง 0e18h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cos(k) อยู่ที่ตำแหน่ง 0e04h

Sin(k) อยู่ที่ตำแหน่ง 0e05h

Cos1(k)อยู่ที่ตำแหน่ง 1000h

Sin1(k) อยู่ที่ตำแหน่ง 1001h

ผลของการรันโปรแกรมอยู่ที่ตำแหน่ง Data Memory

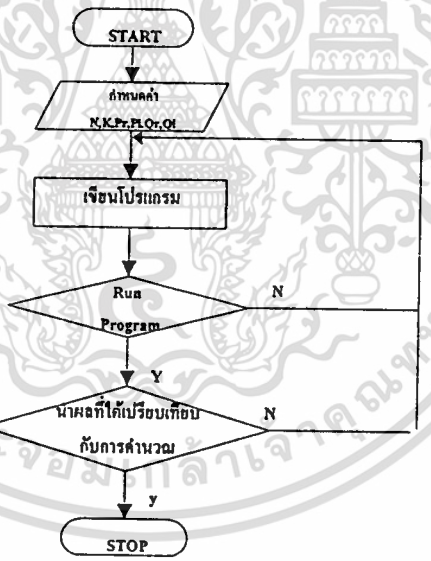
X0 อยู่ที่ตำแหน่ง (0e31h,0e32h)

X2 อยู่ที่ตำแหน่ง (0e33h,0e34h)

X1 อยู่ที่ตำแหน่ง (0e3fh,0e40h)

X0 อยู่ที่ตำแหน่ง (0e41h,0e42h)

ผังการทำงานของโปรแกรม Fast Fourier Transform



รูปที่ 2

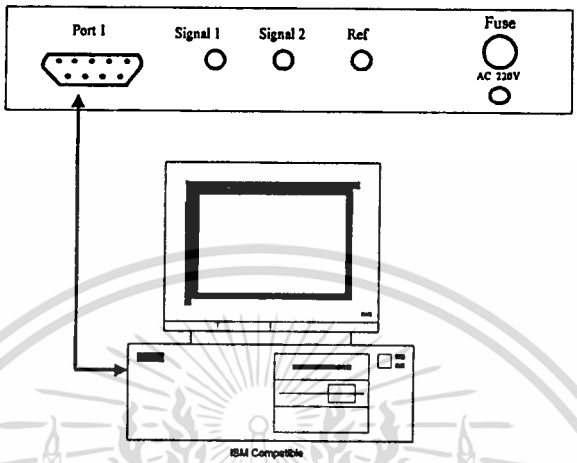
อุปกรณ์

1. ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	1	ชุด
2. เครื่องคอมพิวเตอร์	1	เครื่อง
3. แผ่นดิสก์ โปรแกรม DSK	1	แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3

2. ป้อนโปรแกรมตามนี้

```
        .mmregs
.entry
.ps     0a00h
.ds     0e00h
.int    1,2,3,4,5,6     ;pr,pi,qr,qi,cosx,sinx
.ds     0e15h
.int    7,8,9,2,5,6     ;pr1,pi1,qr1,qi1,cosx,sinx
.ds     1000h
.int    1,2             ;cosx1,sinx1
.text
 spm    0               ;no shift at output of p-registor
 ldp    #0              ;Set data page pointer
;
 lar    ar0,#0e02h
 lt     *               ;t-regestor = qr
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lar   ar0,#0e04h
        mpy   *          ;p-regestor = (t-regestor*cosx)
        lar   ar0,#0e03h
        ltp   *          ;ACC = (qr*cosx) ;t-registor = qi
        lar   ar0,#0e07h
        sacl  *+,0       ;data memory at 0e07h = ACC
    ;
        lar   ar0,#0e05h
        mpy   *          ;p-regestor = (qi*sinx)
        lar   ar0,#0e03h
        ltp   *          ;ACC = (qi*sinx) ;t-registor = qi
        lar   ar0,#0e08h
        sacl  *+,0       ;data memory at 0e08h = ACC
    ;
        lar   ar0,#0e04h
        mpy   *          ;p-regestor = (qi*cosx)
        lar   ar0,#0e02h
        ltp   *          ;ACC = (qi*cosx) ;t-registor = qr
        lar   ar0,#0e09h
        sacl  *+,0       ;data memory at 0e09h = ACC
    ;
        lar   ar0,#0e05h
        mpy   *          ;p-regestor = (qr*sinx)
        lar   ar0,#0e02h
        ltp   *          ;ACC = (qr*sinx) ;t-registor = qr
        lar   ar0,#0e0ah
        sacl  *+,0       ;data memory at 0e0ah = ACC
    ;
        lar   ar0,#0e00h
        lacl  *          ;ACC = pr
        lar   ar0,#0e07h
        add   *,0        ;ACC = ACC+data memory at 0e07h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lar   ar0,#0e08h
        add   *,0           ;ACC = ACC+data memory at 0e08h
        lar   ar0,#0e0eh
        sacl  *+,0          ;data memory at 0e0eh = ACC
;
        lar   ar0,#0e01h
        lacl  *             ;ACC = pi
        lar   ar0,#0e09h
        add   *,0           ;ACC = ACC+data memory at 0e09h
        lar   ar0,#0e0ah
        sub   *,0           ;ACC = ACC-data memory at 0e0ah
        lar   ar0,#0e0fh
        sacl  *+,0          ;data memory at 0e0fh = ACC
;
        lar   ar0,#0e00h
        lacl  *             ;ACC = pr
        lar   ar0,#0e07h
        sub   *,0           ;ACC = ACC-data memory at 0e07h
        lar   ar0,#0e08h
        sub   *,0           ;ACC = ACC-data memory at 0e08h
        lar   ar0,#0e10h
        sacl  *+,0          ;data memory at 0e10h = ACC
;
        lar   ar0,#0e01h
        lacl  *             ;ACC = pi
        lar   ar0,#0e09h
        sub   *,0           ;ACC = ACC-data memory at 0e09h
        lar   ar0,#0e0ah
        add   *,0           ;ACC = ACC+data memory at 0e0ah
        lar   ar0,#0e11h
        sacl  *+,0          ;data memory at 0e11h = ACC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lar   ar0,#0e17h
        lt    *
        lar   ar0,#0e19h
        mpy   *
        lar   ar0,#0e18h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e1ch
        sacl  *+,0
    ;
        lar   ar0,#0e1ah
        mpy   *
        lar   ar0,#0e18h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e1dh
        sacl  *+,0
    ;
        lar   ar0,#0e19h
        mpy   *
        lar   ar0,#0e17h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e1eh
        sacl  *+,0
    ;
        lar   ar0,#0e1ah
        mpy   *
        lar   ar0,#0e17h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e1fh
        sacl  *+,0
    ;
        lar   ar0,#0e15h
        lacl  *
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lar   ar0,#0e1ch
        add   *,0
        lar   ar0,#0e1dh
        add   *,0
        lar   ar0,#0e23h
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#0e16h
        lacl  *
        lar   ar0,#0e1eh
        add   *,0
        lar   ar0,#0e1fh
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e24h
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#0e15h
        lacl  *
        lar   ar0,#0e1ch
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e1dh
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e25h
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#0e16h
        lacl  *
        lar   ar0,#0e1eh
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e1fh
        add   *,0
        lar   ar0,#0e26h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        sacl   *+,0
        lar    ar0,#0e23h
        lt     *
        lar    ar0,#0e19h
        mpy    *
        lar    ar0,#0e24h
        ltp    *
        lar    ar0,#0e2ah
        sacl   *+,0
    ;
        lar    ar0,#0e1ah
        mpy    *
        lar    ar0,#0e24h
        ltp    *
        lar    ar0,#0e2bh
        sacl   *+,0
    ;
        lar    ar0,#0e19h
        mpy    *
        lar    ar0,#0e23h
        ltp    *
        lar    ar0,#0e2ch
        sacl   *+,0
    ;
        lar    ar0,#0e1ah
        mpy    *
        lar    ar0,#0e23h
        ltp    *
        lar    ar0,#0e2dh
        sacl   *+,0
    ;
        lar    ar0,#0e0eh
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lacl   *
        lar    ar0,#0e2ah
        add    *,0
        lar    ar0,#0e2bh
        add    *,0
        lar    ar0,#0e31h
        sacl   *+,0
;
        lar    ar0,#0e0fh
        lacl   *
        lar    ar0,#0e2ch
        add    *,0
        lar    ar0,#0e2dh
        sub    *,0
        lar    ar0,#0e32h
        sacl   *+,0
;
        lar    ar0,#0e0eh
        lacl   *
        lar    ar0,#0e2ah
        sub    *,0
        lar    ar0,#0e2bh
        sub    *,0
        lar    ar0,#0e33h
        sacl   *+,0
;
        lar    ar0,#0e0fh
        lacl   *
        lar    ar0,#0e2ch
        sub    *,0
        lar    ar0,#0e2dh
        add    *,0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lar   ar0,#0e34h
        sacl  *+,0
        lar   ar0,#0e25h
        lt    *
        lar   ar0,#1000h
        mpy   *          ;data memory at 1000h = cosx1
        lar   ar0,#0e26h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e38h
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#1001h
        mpy   *          ;data memory at 1001h = sinx1
        lar   ar0,#0e26h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e39h
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#1000h
        mpy   *
        lar   ar0,#0e25h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e3ah
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#1001h
        mpy   *
        lar   ar0,#0e25h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e3bh
        sacl  *+,0
;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lar   ar0,#0e10h
        lacl  *
        lar   ar0,#0e38h
        add   *,0
        lar   ar0,#0e39h
        add   *,0
        lar   ar0,#0e3fh
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#0e11h
        lacl  *
        lar   ar0,#0e3ah
        add   *,0
        lar   ar0,#0e3bh
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e40h
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#0e10h
        lacl  *
        lar   ar0,#0e38h
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e39h
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e41h
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#0e11h
        lacl  *
        lar   ar0,#0e3ah
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e3bh
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
add   *,0
lar   ar0,#0e42h
sacl  *+,0
.end
```

Output FFT 4 point look from Data memmory at

X0 = (0e31h,0e32h)

X2 = (0e33h,0e34h)

x1 = (0e3fh,0e40h)

x3 = (0e41h,0e42h)

3. คอมไพล์โปรแกรมและเข้าสู่ดีบัคเกอร์
4. ทำการรันโปรแกรม FFT4.DSK

   พิมพ์ XG ↵
5. ดูผลที่ได้จากการ Run โปรแกรม ใน Data Memory ที่ตำแหน่งต่อไปนี้

   X0 (0e31h,0e32h) = _____

   X2 (0e33h,0e34h) = _____

   X1 (0e3fh,0e40h) = _____

   X3 (0e41h,0e42h) = _____

6. ใส่แผ่น DSK ใน drive A

   พิมพ์ DSK5d ↵ เพื่อเข้าไปในโปรแกรม DSK
7. โหลดไฟล์ชื่อว่า DSK_SPEC.DSK

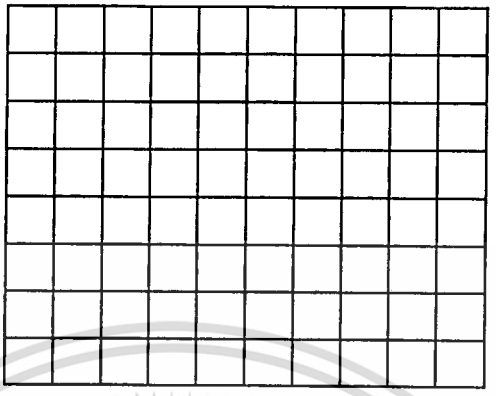
   พิมพ์ LD DSK_SPEC.DSK ↵
8. ทำการรันโปรแกรม DSK_SPEC.DSK

   พิมพ์ XG ↵
9. กำหนดความถี่ที่ Function Generator มีค่าเท่ากับ.....Hz

   Amplitude มีค่าเท่ากับ.....Volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ดูผลที่ได้จากสโคป และบันทึกผลการทดลอง



Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

คำถาม

1. จากโปรแกรม FFT4.DSK จงเปลี่ยนค่าที่กำหนดให้ลงไปในโปรแกรม ตามที่กำหนดให้ในData Memory ดูผลจากการรันโปรแกรม

Pr,Pi = (1,0)

Qr,Qi = (1,1)

Pr_1,Pi_1 = (1,0)

Qr_1,Qi_1 = (1,0)

Cos(k),Sine(k) = (1,2)

Cos1(k),Sine1(k) = (3,4)

2. จากข้อที่ 1 จงใช้วิธีการคำนวณทางทฤษฎีในการคำนวณค่าเอาต์พุต

3. เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการใช้โปรแกรมกับการคำนวณทางทฤษฎีจะมีค่าเท่ากันหรือไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4

ไอไอออาร์ ฟิลเตอร์ (IIR filter)

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของฟิลเตอร์แบบไอไอออาร์
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถบอกวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ ของไอไอออาร์

ทฤษฎี

วงจรกรองแบบไอไอออาร์ (IIR Filter)

สมการที่ (1) เป็นสมการที่ใช้ในการออกแบบ

$$y(n) = \sum_{k=1}^{N} a_k y(n-k) + \sum_{k=1}^{M} b_k x(n-k) \qquad (1)$$

$$y(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y(n) z^{-n}$$

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[\sum_{k=1}^{m} a_k y(n-k) + \sum_{k=-NF}^{NP} bkx(n-k) \right] z^{-n}$$

$$= \sum_{k=1}^{m} a_k \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_k y(n-k) z^{-n} + \sum_{k=-NF}^{NP} bk \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n-k) z^{-n}$$

$$Y(z) = \sum_{k=1}^{m} akz^{-k} Y(z) + \sum_{k=-NF}^{NP} bkz^{-k} X(z)$$

$$Y(z) \left[1 - \sum_{k=1}^{m} akz^{-k} \right] = X(z) \sum_{k=-NF}^{NP} bkz^{-k}$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=-NF}^{NP} bkz^{-k}}{1 - \sum_{k=1}^{m} akz^{-k}}$$

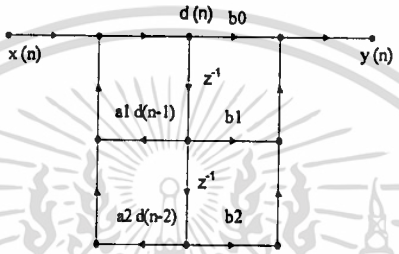
จะเห็นว่าสมการนี้เป็นสมการของดิจิตอลฟิลเตอร์ สำหรับ M จะเป็นความยาวของฟิลเตอร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนของสัมระสิทธิ์ b_k และ N จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนสัมประสิทธิ์ a_k

จากสมการของวงจรกรอง ไอไอออาร์ จะเห็นว่าเป็นรูปแบบของสมการคอนโวลูชั่น (Convolution Equation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากให้ X (z), Y (z), และ H (z) เป็น z-transform ของฟังก์ชั่นทั้งสาม จะได้ดังสมการที่ 2

$$H(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = \frac{\sum_{k=0}^{M} b_k z^{-k}}{1 - \sum_{k=1}^{N} \alpha_k z^{-k}} \qquad (2)$$



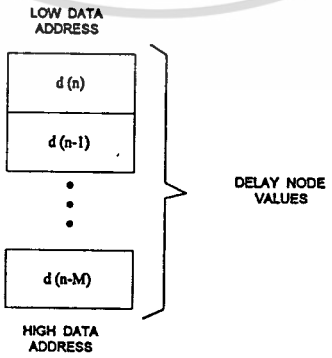
รูปที่ 1 โครงสร้างวงจรกรองเชิงเลขไอไออาร์ แบบไดเร็คฟอร์ม-ทู

จากรูปที่ 1 จะได้ สมการผลต่าง (Different Equation) คือ

$$d(n) = x(n) + a_1 d(n-1) + a_2 d(n-2) \qquad (3)$$

$$y(n) = b_0 d(n) + b_1 d(n-1) + b_2 d(n-2) \qquad (4)$$

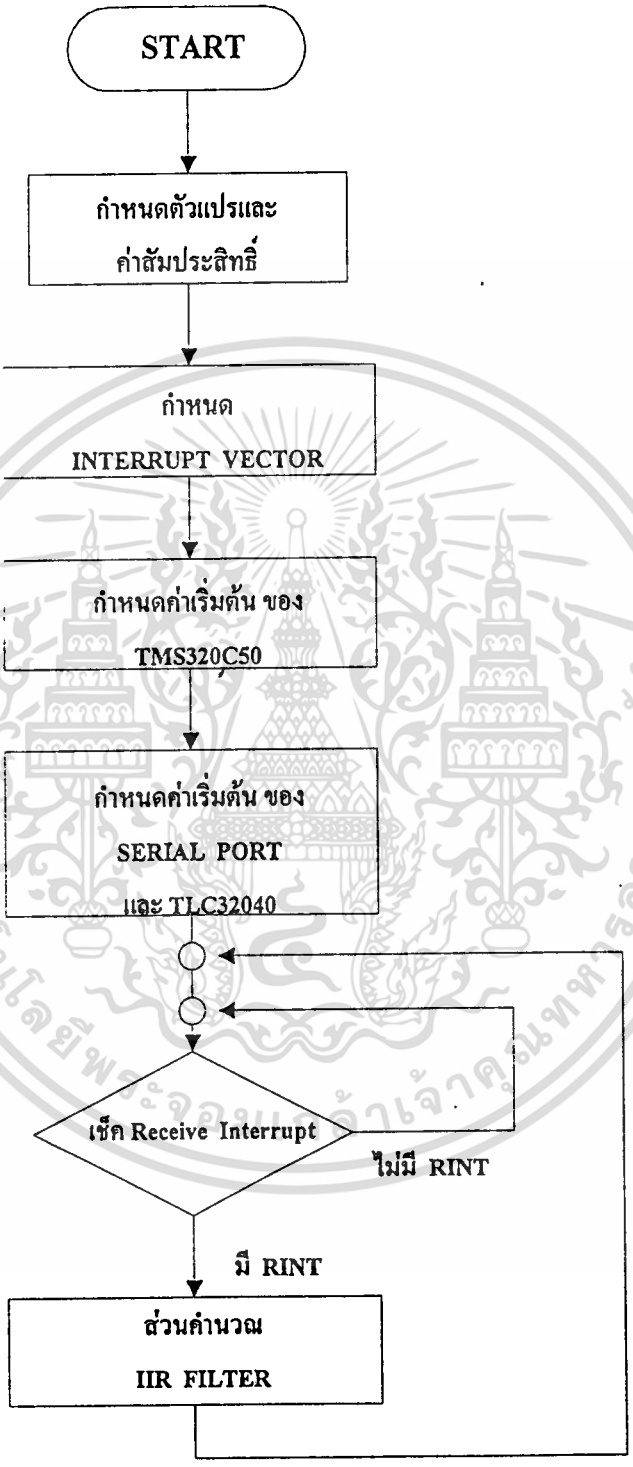
สำหรับส่วนของดีเลย์โหนด (Delay Node) ก็จะถูกเก็บไว้เป็นลำดับตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเก็บค่าของดีเลย์โหนดไว้ในดาต้าแมมโมรี จองไดเร็คฟอร์ม-ทู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผังการทำงานโปรแกรมของวงจรกรองเชิงเลขไอไออาร์



รูปที่ 3

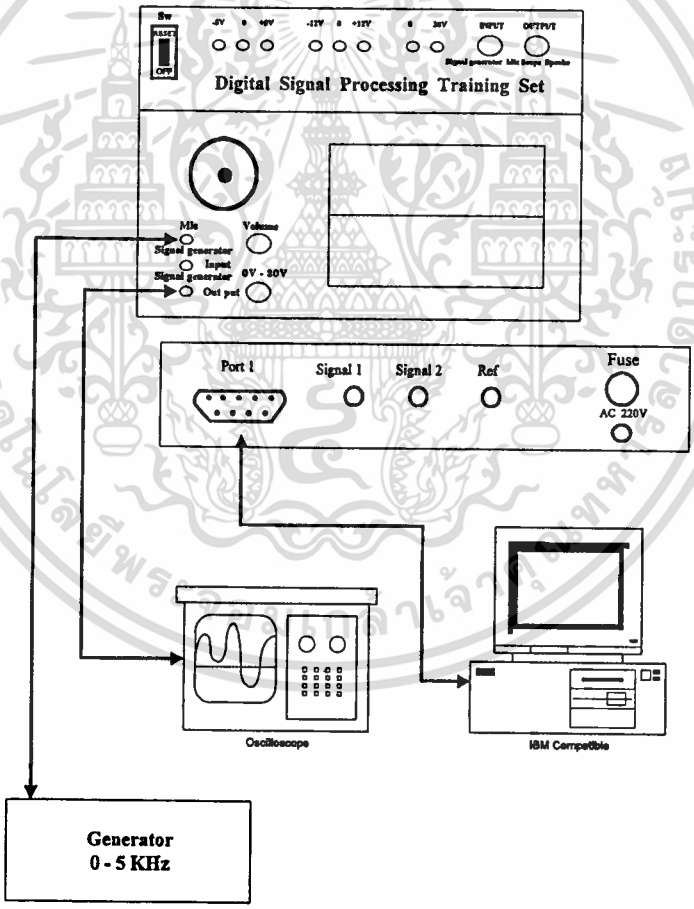
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์

1. ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	1	ชุด
2. สโคป	1	เครื่อง
3. ซิกแนลเจนเนอร์เรเตอร์	2	เครื่อง
4. เครื่องคอมพิวเตอร์	1	เครื่อง
5. แผ่นดิสก์โปรแกรม DSK	1	เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ป้อนโปรแกรมดังนี้

```
        mmregs
      .ds    0f00h
*-------------------------------- Start Rountine For Set Sampling rate ------------------------------*
TA     .word   18          ; Fcut = 4 KHz
RA     .word   18          ; Fcut = 4 KHz
TAp    .word   1           ;
RAp    .word   1           ;
TB     .word   35          ; Fs = 2*Fcut
RB     .word   35          ; Fs = 2*Fcut
AIC_CTR .word  8h
      .ps    080ah
rint:  B      RECEIVE     ;0A; Serial prot receive interrupt RINT.
xint:  B      TRANSMIT    ;0C; Serial port transmit interrupt XINT.
     .ps 0a00h
     .entry
START: SETC   INTM          ; Disable interrupts
     LDP    #0          ; Set data page pointer
     OPL    #0834h,PMST
     LACC   #0
     SAMM   CWSR          ; Set software wait state to 0
     SAMM   PDWSR         ;

* Reset AIC by writing to PA2 (address >52) to DSK


     SPLK   #022h,IMR     ; Using XINT syn TX & RX
     CALL   AICINIT       ; initialize AIC and enable interrupts
     CLRC   OVM           ; OVM = 0
     SPM    0           ; PM = 0
     SPLK   #012h,IMR
     CLRC   INTM          ; enable
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ldp   #0
*---------------------------- End Rountine For Set Sampling rate ----------------------------------*

*---------------------------- Start Main Program ----------------------------------*
s1:   idle
      MAR   *, AR0
      LAR   AR0, #400h          ; Ar0 ⟶ Input DATA
      LACL  DRR
      SACL  *
      ZPR
      LACC  * ,15 ,AR1
      LAR   AR1, #304h          ; Ar1 ⟶ Save dn
      RPT   #3
      MAC   COEFFA ,*-
      APAC
      SACH  * ,1
      LAR   AR1, #304h
      splk  #4, brcr
      rptb  pp
      mpy   #0
      pac
pp:   MACD  COEFFB ,*-
      LTA   * ,AR2
      SACL  DXR, 2
      b     s1
*---------------------------- End Main Program ----------------------------------*
RECEIVE:      rete
TRANSMIT:     rete
*---------------------------- Start Rountine For Set A/D ----------------------------*
AICINIT: SPLK   #20h,TCR        ; To generate 10 MHz from Tout
      SPLK   #01h,PRD           ; for AIC master clock
```

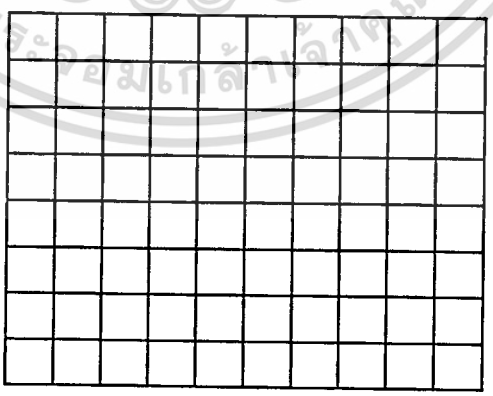
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        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          ; Initialized TA and RA register
        ADD   RA,2          ;
        CALL  AIC_2ND       ;
        ;----------------------
        LDP   #TB
        LACC  TB,9          ; Initialized TB and RB register
        ADD   RB,2          ;
        ADD   #02h          ;
        CALL  AIC_2ND       ;
        ;----------------------
        LDP   #AIC_CTR
        LACC  AIC_CTR,2     ; Initialized control register
        ADD   #03h          ;
        CALL  AIC_2ND       ;
        RET                 ;
    AIC_2ND:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LDP   #0
        SACH  DXR          ;
        CLRC  INTM
        IDLE
        ADD   #6h,15       ;0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX XXXX XXXX b
        SACH  DXR          ;
        IDLE
        SACL  DXR          ;
        IDLE
        LACL  #0           ;
        SACL  DXR          ; make sure the word got sent
        IDLE
        SETC  INTM
        RET
*------------------------------- End Rountine For Set A/D -------------------------------*
COEFFB: .int  2, 4, 12, 8, 2                    ; Coeff B
COEFFA: .int  1000, 2000, 6000, 4000            ; Coeff A
```

3. ปรับความถี่ที่ 200 Hz 3Vp-p

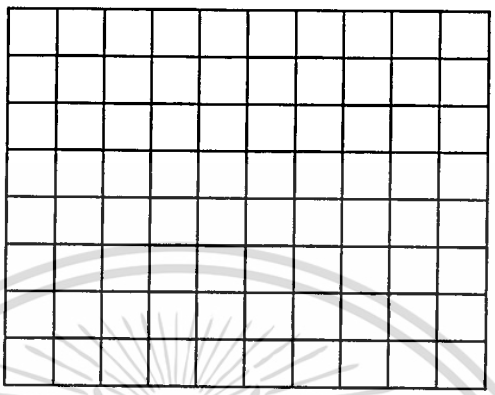


Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

4. คอมไพล์และรันโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการปรับความถี่ให้สูงขึ้นจนแอมปลิจูดลดลงเป็น 0.707 ของแรงดันอินพุต อ่านค่าความถี่และวาดรูปสัญญาณ



Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

คำถาม

1. จงบอกข้อดีและข้อเสียของวงจรกรองเชิงเลขแบบ ไอไออาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 5

เอฟไออาร์ฟิลเตอร์ (FIR filter)

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของฟิลเตอร์แบบเอฟไออาร์ ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถบอกวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ของ เอฟไออาร์ได้
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถเขียนโครงสร้างและเขียนไดอะแกรม Filter FIR ได้

ทฤษฎี

วงจรกรองแบบเอฟไออาร์ (FIR Filter)

สมการที่ (1) เป็นสมการที่ใช้ในการออกแบบ

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M} b_x x(n-k) \qquad (1)$$

จะเห็นว่าสมการนี้เป็นสมการของดิจิตอลฟิลเตอร์ที่มี $a_k = 0$ สำหรับ M จะเป็นความยาวของฟิลเตอร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนของสัมประสิทธิ์ b_k โดย b_k จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนอิมพัลส์เรสอนส์ ของฟิลเตอร์ ตามที่ได้ออกแบบไว้

จากสมการของวงจรกรองเอฟไออาร์ จะเห็นว่าเป็นรูปแบบของสมการคอนโวลูชัน (Convolution Equation) ดังสมการที่ (2)

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M} h(k) x z^{-1} \qquad (2)$$

การหาสัมประสิทธิ์ของ FIR Fillter

$$r(n) = \begin{cases} \frac{1}{\pi n}(\sin\omega_2 n - \sin\omega_1 n); n \neq 0 \\ \frac{1}{\pi}(\omega_2 - \omega_1); n = 0 \end{cases}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราได้ค่า h(n) แต่ละตัว จากนั้นต้องทำการคูณด้วยค่า Windows hamming จากสมการ

$$\omega(n) = \begin{cases} 0.5 + 0.5\cos(\pi n / (1 + M/2)); -M/2 \le n \le M/2 \\ 0; |n| \rangle M/2 \end{cases}$$

$$h(n) = r(n) * \omega(n)$$

สำหรับในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของ FIR Filter ในใบงานการทดลอง จะใช้โปรแกรมภาษาซีในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์

โปรแกรมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์

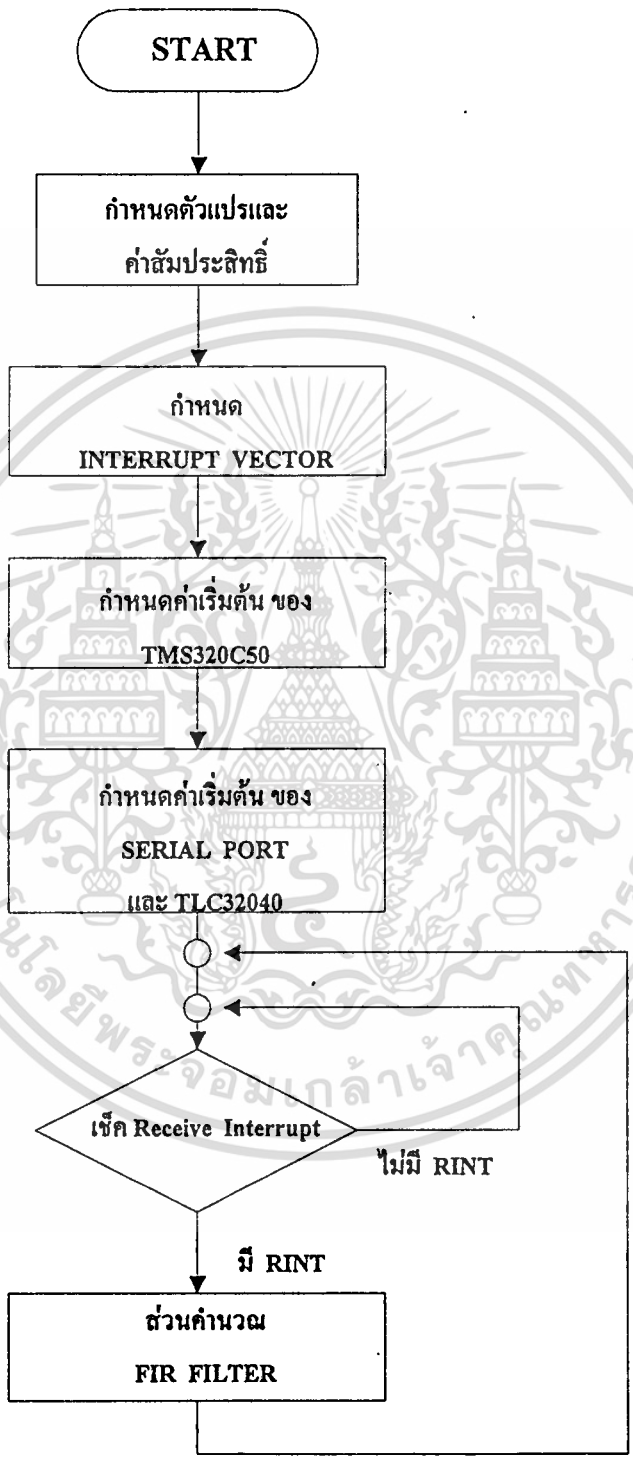
```
#include <dos.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdarg.h>
#include <io.h>
int     a, b, c, m;
float   d, fs, w1, w2, pi=3.1415926, yn;
float   coeff[1024], xn[1024];
main ()
{
   clrscr ();
   printf ("Number of M : ");scanf ("%d", &m);        /* Input Parameter */
   printf ("Sampling rate (fs) Hz : ");scanf ("%f", &fs);
   printf ("Lower frequency (w1) Hz : ");scanf ("%f", &w1);
   printf ("Uper frequency (w2) Hz : ");scanf ("%f", &w2);
   printf ("\n\nCoefficiens :\n");
/*    m=m*2+1;  */
   w1=(w1*2*pi)/fs;            /* Normalize frequency */
   w2=(w2*2*pi)/fs;
   b=-m/2;
   for (a=0; a<m; a++, b++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        {
            if  (b==0)
                coeff[a]=(1/pi)*(w2-w1);
            else
            {
                coeff[a]=((1/(pi*b))*sin (w2*(float)b))-((1/(pi*b))*sin (w1*(float)b));
            }
            printf ("\t[a%d] : %f \n", a, coeff[a]);
        }
    }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผังการทำงานโปรแกรมฟิลเตอร์แบบเอฟไออาร์



รูปที่ 1

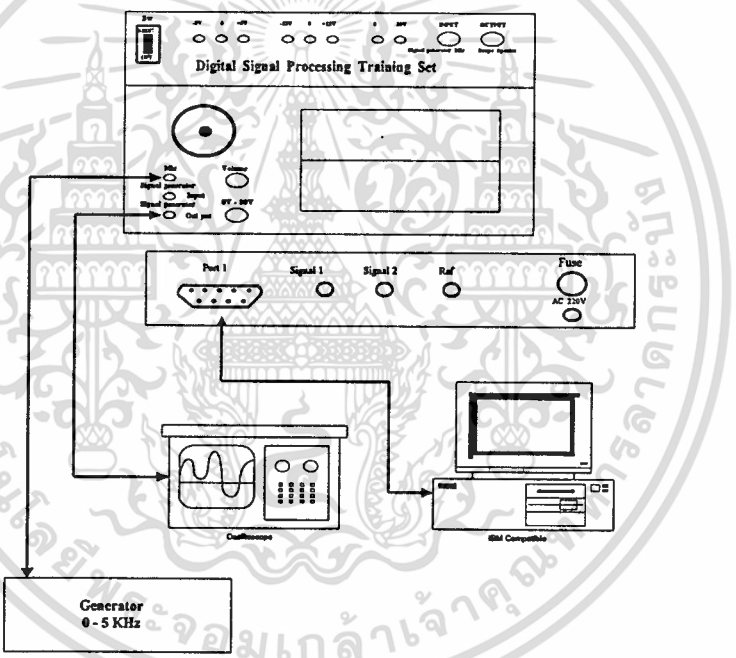
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์

1. ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	1	ชุด
2. สโคป	1	เครื่อง
3. ซิกแนลเจนเนอร์เรเตอร์	2	เครื่อง
4. เครื่องคอมพิวเตอร์	1	เครื่อง
5. แผ่นดิสก์โปรแกรม DSK	1	เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2

2. ป้อนโปรแกรมดังนี้

```
.mmregs
.ds     0f00h
*------------------------------ Start Rountine For Set Sampling rate ----------------------------*
TA      .word   18          ; Fcut = 4 KHz
RA      .word   18          ; Fcut = 4 KHz
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TAp    .word  1          ;
RAp    .word  1          ;
TB     .word  35         ; Fs = 2*Fcut
RB     .word  35         ; Fs = 2*Fcut
AIC_CTR .word  8h
       .ps    080ah
rint:  B      RECEIVE    ;0A; Serial prot receive interrupt RINT.
xint:  B      TRANSMIT   ;0C; Serial port transmit interrupt XINT.
       .ps 0a00h
       .entry
START: SETC   INTM       ; Disable interrupts
       LDP    #0         ; Set data page pointer
       OPL    #0834h,PMST
       LACC   #0
       SAMM   CWSR       ; Set software wait state to 0
       SAMM   PDWSR      ;
* Reset AIC by writing to PA2 (address >52) to DSK
       SPLK   #022h,IMR  ; Using XINT syn TX & RX
       CALL   AICINIT    ; initialize AIC and enable interrupts
       CLRC   OVM        ; OVM = 0
       SPM    0          ; PM = 0
       SPLK   #012h,IMR
       CLRC   INTM       ; enable
       ldp    #0
*------------------------------ End Rountine For Set Sampling rate ----------------------------*

*------------------------------ Start Main Program ------------------------------*
s1:    idle
       MAR    *, AR0
       LAR    AR0, #400h          ; Output DATA
       LACL   DRR                 ; ACC = DRR
       SACL   *, 0, AR0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

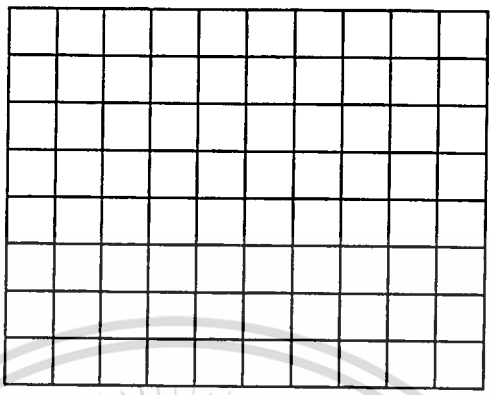
```
        LACL   #0000h
        LAR    AR0, #414h
        RPT    #20                ; Counter 20 point
        MACD   coeff, *-          ; Convolution Coeff
        APAC
        rptk   #16
        ror
        SACL   DXR,2
        b      s1
*--------------------------- End Main Program ----------------------------*;
RECEIVE:      rete;
TRANSMIT:     RETE
*--------------------------- Start Rountine For Set A/D ------------------------------*
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             ; Initialized TA and RA register
        ADD    RA,2             ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CALL   AIC_2ND      ;
        ;-----------------------
        LDP    #TB
        LACC   TB,9         ; Initialized TB and RB register
        ADD    RB,2         ;
        ADD    #02h         ;
        CALL   AIC_2ND      ;
        ;-----------------------
        LDP    #AIC_CTR
        LACC   AIC_CTR,2    ; Initialized control register
        ADD    #03h         ;
        CALL   AIC_2ND      ;
        RET                 ;

AIC_2ND:
        LDP    #0
        SACH   DXR          ;
        CLRC   INTM
        IDLE
        ADD    #6h,15       ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX XXXX XXXX b
        SACH   DXR          ;
        IDLE
        SACL   DXR          ;
        IDLE
        LACL   #0           ;
        SACL   DXR          ; make sure the word got sent
        IDLE
        SETC   INTM
        RET                 ;
*------------------------------ End Rountine For Set A/D ----------------------------*
coeff: .int   3180, 2500, 0, -3210, -5300, -4500, 0, 7500, 15910, 22500, 25000      ; Coeff 20 point
       .int   22500, 15910, 7500, 0, -4500, -5300, -3210, 0, 2500, 3180
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

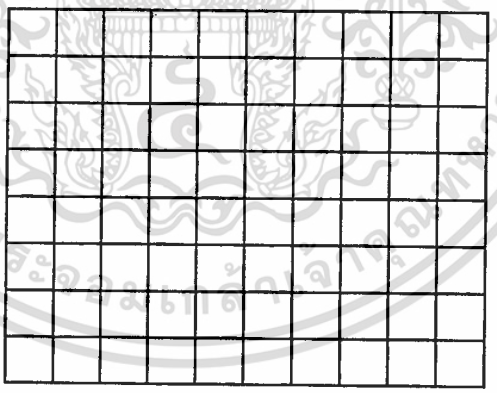
3. ปรับความถี่ที่ 200 Hz 3Vp-p



Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

4. คอมไพล์และรันโปรแกรม

5. ทำการปรับความถี่ให้สูงขึ้นจนแอมปลิจูดลดลงเป็น 0.707 ของอินพุต อ่านค่าความถี่และวาดรูปสัญญาณ



Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

6.ใช้โปรแกรมคำนวณเอฟไออาร์ ที่มาพร้อมกับชุดฝึก โดยที่กำหนดความถี่คัทออฟที่ 2 กิโลเฮิรตซ์ ความถี่ Sampling ที่ 8 กิโลเฮิรตซ์ และออเดอร์เท่ากับ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 รันโปรแกรม คำนวณค่าสัมประสิทธิ์

Number of M : 4

Sampling rate (Fs) Hz : 8000

Lower Frequency (w1) : 0

Upper Frequency (w2) : 2000

6.2 ทำการสเกลค่าที่ได้ด้วยการคูณด้วย 1000

h (0) = ...

h (1) = ...

h (2) = ...

h (3) = ...

h (4) = ...

h (5) = ...

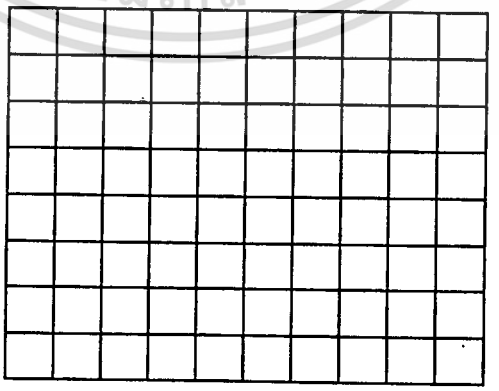
h (6) = ...

h (7) = ...

h (8) = ...

6.3 นำค่าที่ได้แทนใน Coeff ในโปรแกรม และกำหนดจำนวนลูป และเปลี่ยนค่าต่างๆ จากนั้นทำการคอมไพล์ และรันโปรแกรม

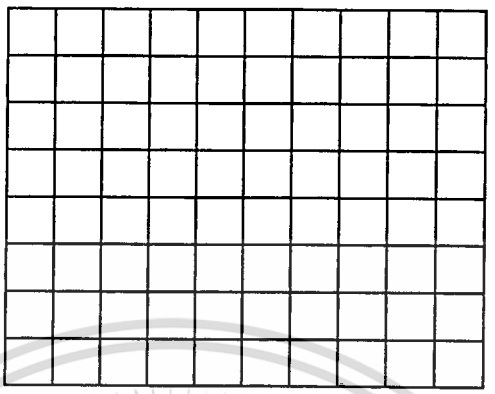
7. ปรับความถี่ที่ 200 Hz 3Vp-p



Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ปรับความถี่ให้สูงขึ้นจนมีค่าแอมปลิจูด เป็น 0.707 ของแรงดันอินพุต



Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

คำถาม

1. จงบอกข้อดีข้อเสียของวงจรกรองเชิงเลขแบบเอฟไออาร์
2. บอกข้อแตกต่างระหว่างวงจรกรองแบบ FIR และ IIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 6

Adaptive filter

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Adaptive filter ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถบอกประโยชน์ของ Adaptive filter ได้
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถนำหลักการทำงานของ Adaptive filter ไปประยุกต์ใช้งานได้

ทฤษฎี

สมการที่ใช้ในการสร้าง Adaptive Filter จะใช้สมการของลีดมีนสแควร์เป็นสำคัญ ซึ่งจากการพิสูจน์ทางพีชคณิตจะได้สมการสำคัญ คือ

$$W_{k+1} = W_k + \mu\, \omega_1\, X(k) \qquad (1)$$

เมื่อ

W_{k+1} W_k คือ ค่าสัมประสิทธิ์

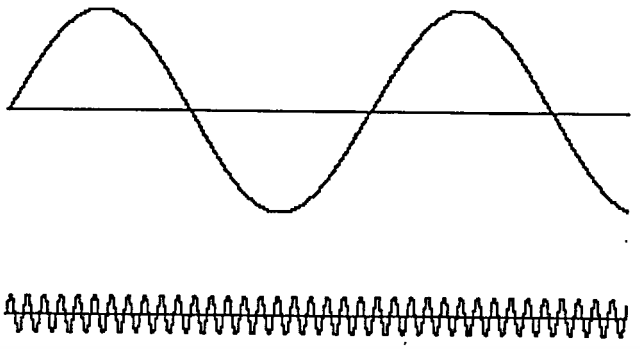
μ คือ ค่าอัตราขยายที่เหมาะสมของตัวกลาง

ω_1 คือ ผลต่างของสัญญาณที่ผ่านการคอนโวลูชั่น

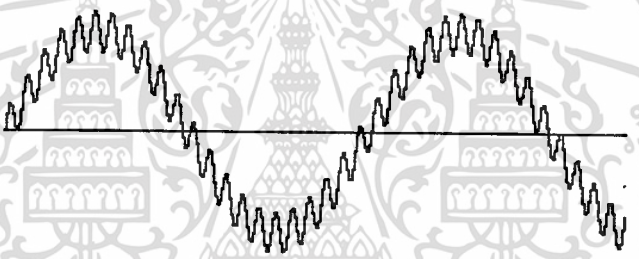
$X(k)$ คือ สัญญาณอินพุตที่ถูกเลื่อนในกระบวนการคอนโวลูชั่นที่ตำแหน่งต่างๆ

หลักการทำงานนำสัญญาณที่ได้ทั้งสองนี้มาประมวลผลรวมกันผลที่ได้ดังรูปที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 สัญญาณอินพุตสองความถี่



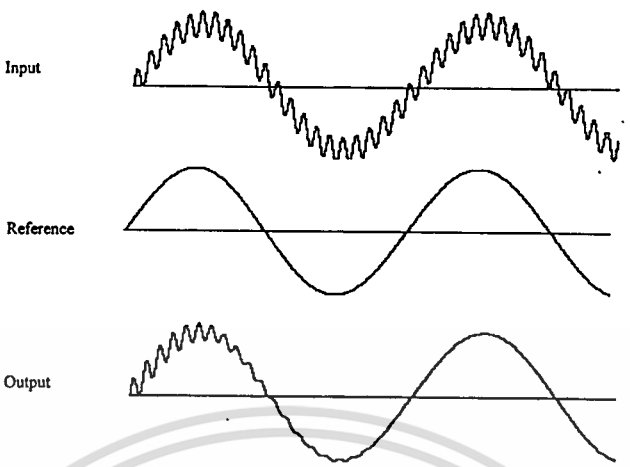
รูปที่ 2 สัญญาณที่เกิดจากการรวมสัญญาณในรูปที่ 1 เข้าด้วยกัน

จึงนำสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 2 นี้มาทำการจำลองการทำงานกับโปรแกรมตัวกรองแบบปรับค่าได้ ซึ่งกำหนดค่าสัมประสิทธิในการปรับไว้ 50 จุด ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานแสดงออกใน 2 ลักษณะดังนี้

การติดตามสัญญาณที่ไม่ต้องการ

นำสัญญาณที่ผ่านการคอนโวลูชั่นออกเป็นสัญญาณเอาต์พุต ตัวกรองปรับค่าได้นี้จะแสดงผลเป็น การติดตามสัญญาณที่ไม่ต้องการ กล่าวคือ เป็นตัวกรองปรับค่าได้จะปรับค่าตามสัญญาณอ้างอิง นั่นคือเป็นผลให้สัญญาณที่มีรูปแบบตรงกับสัญญาณอ้างอิงนั้นผ่านไปได้ ดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 สัญญาณที่ได้จากตัวกรองปรับค่าได้ในลักษณะการติดตามสัญญาณที่ไม่ต้องการ

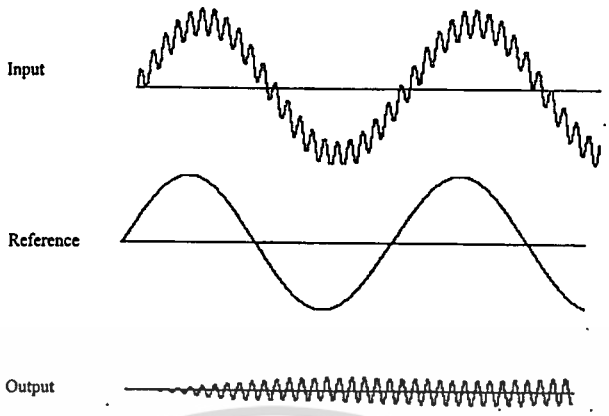
จากผลการทำงานจะพบว่าในช่วงเวลาเริ่มต้นของการปรับค่าสัมประสิทธิ์ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีความเพี้ยน ทั้งนี้เนื่องจากตัวกรองปรับค่าได้พยายามปรับค่าสัมประสิทธิ์ตามสัญญาณอ้างอิง

การกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ

นำสัญญาณที่ผ่านการคอนโวลูชั่นไปหักล้างกับสัญญาณอินพุต ตัวกรองปรับค่าได้จะแสดงผลเป็นการกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ กล่าวคือ ตัวกรองปรับค่าได้จะไม่ยอมให้สัญญาณที่มีลักษณะที่มีลักษณะตรงกับสัญญาณอ้างอิงผ่านออกไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 4

ซึ่งผลที่ได้ในลักษณะนี้ถือว่าเป็นการขยายผลของสมการลีดมีนสแควร์ และจากการทดลองจำลองการทำงานในลักษณะดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด ก็ต่อเมื่อสัญญาณอ้างอิงและสัญญาณอินพุตเกิดขึ้นที่เวลาเดียวกัน

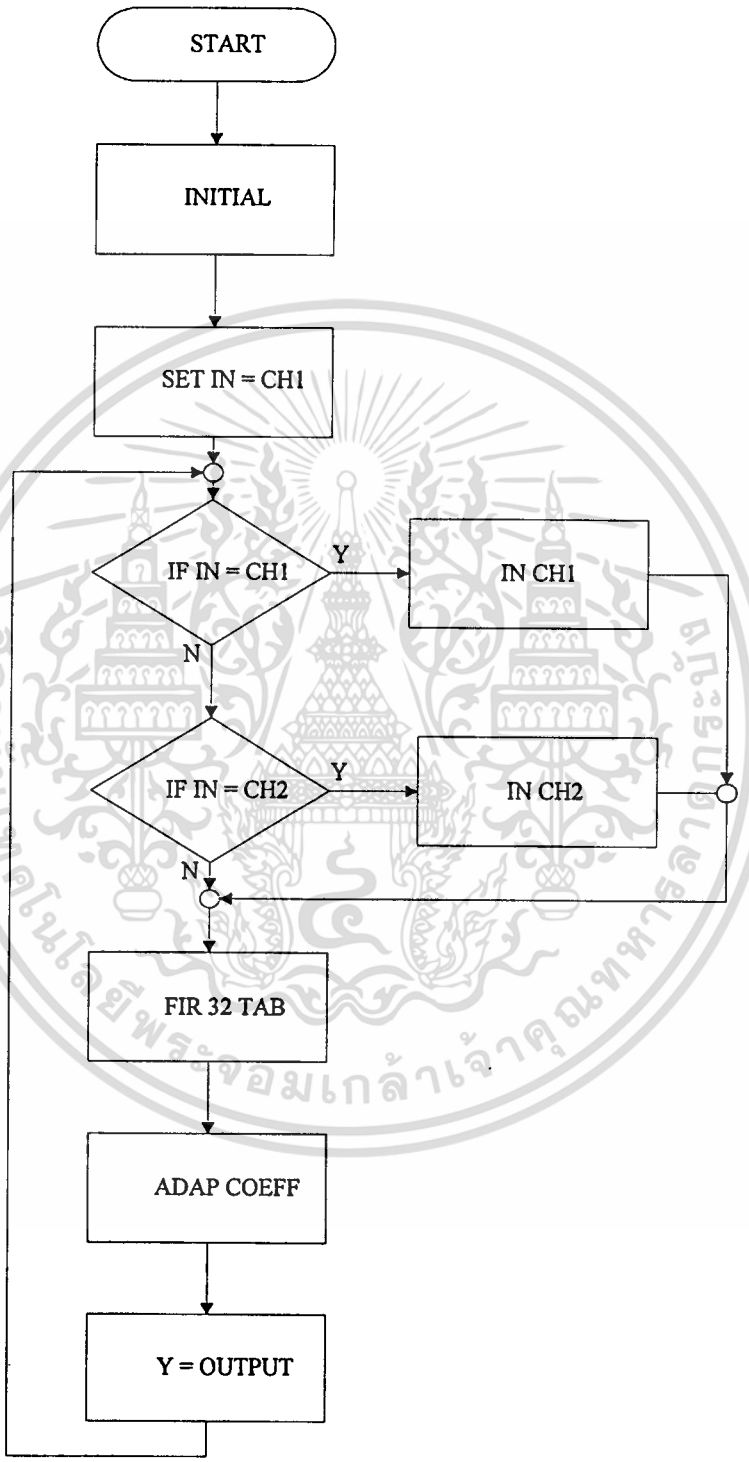
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 สัญญาณที่ได้จากตัวกรองปรับค่าได้ในลักษณะ การกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

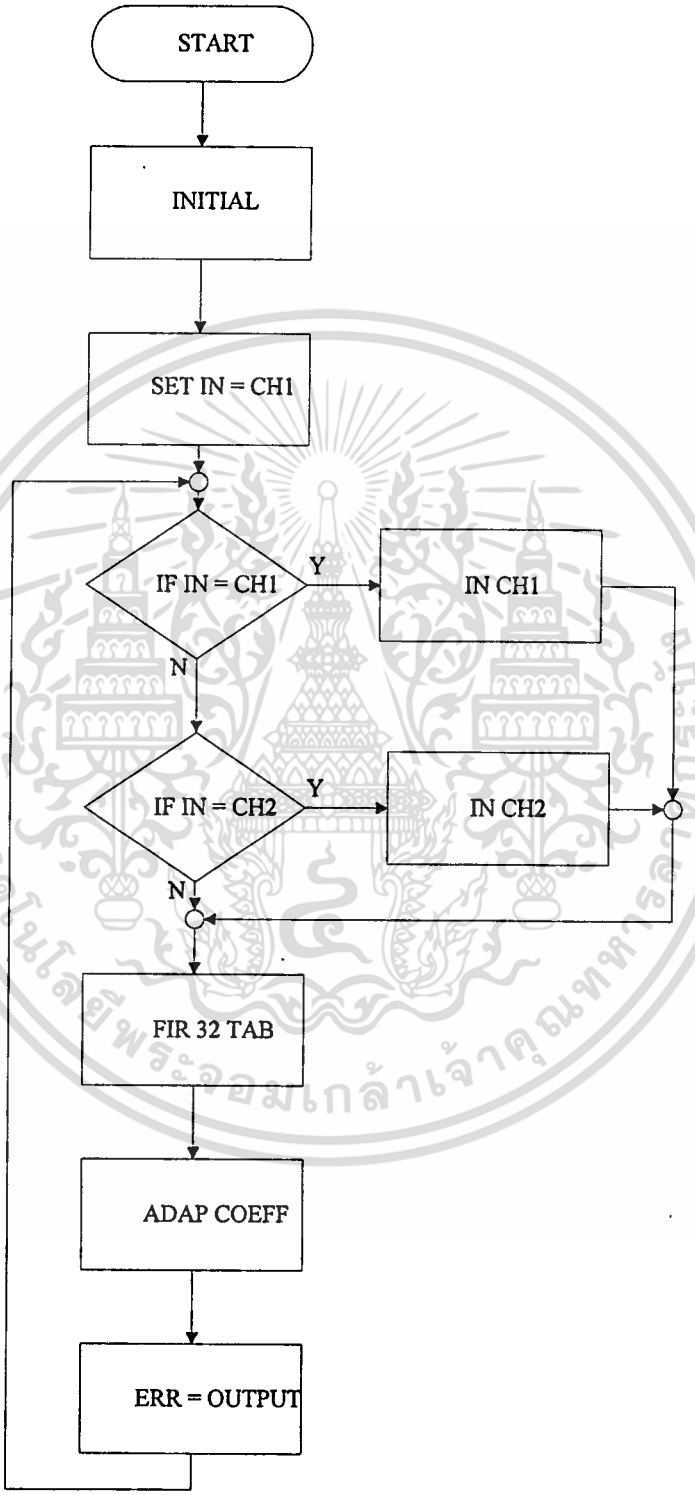
ผังการทำงานของโปรแกรมตัวกรองปรับค่าได้แบบติดตามสัญญาณที่ไม่ต้องการ



รูปที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผังการทำงานของโปรแกรมตัวกรองปรับค่าได้แบบจำกัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ



รูปที่ 6

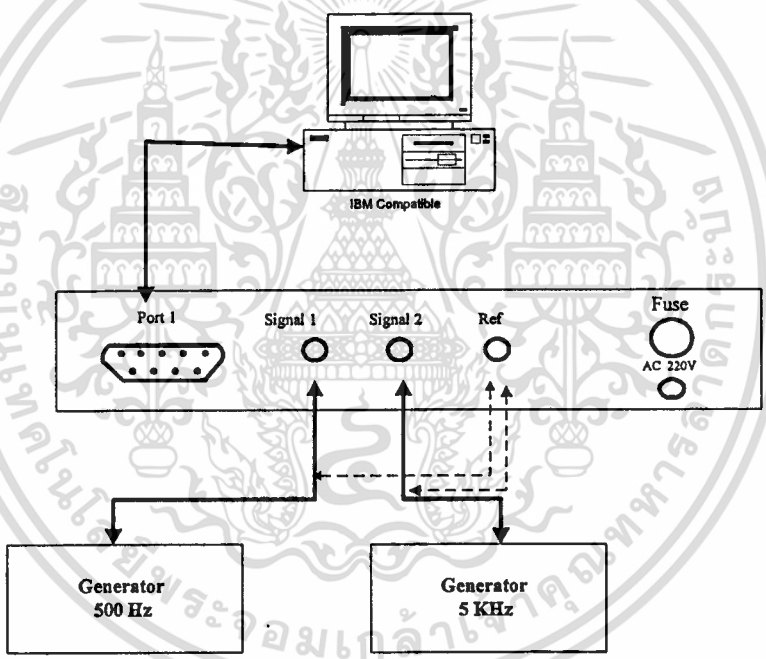
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์

1. ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	1	ชุด
2. สโคป	1	เครื่อง
3. ซิกแนลเจนเนอร์เรเตอร์	2	เครื่อง
4. เครื่องคอมพิวเตอร์	1	เครื่อง
5. แผ่นดิสก์ โปรแกรม DSK	1	เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7

2. ป้อนสัญญาณความถี่ 500 kHz ,1 Vp-p ที่ช่อง Signal 1 และป้อนความถี่ 5 kHz, 2 Vp-p ที่ ช่อง Signal 2

3 . ป้อนโปรแกรมดังนี้

```
.mmregs
.ds     0f00h
*---------------------- Start Rountine For Set Sampling rate ----------------------------*
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
A0      .set   0470h
A1      .set   0471h
A2      .set   0472h
A3      .set   0473h
AOUT    .set   7Fh
COEFFP  .set   01000h
COEFFD  .set   01000h
ONE     .set   7Ah
BETA    .set   7Bh
ERR     .set   7Ch
ERRF    .set   7Dh
Y       .set   7Eh
X       .set   037Fh
FR      .set   0380h
LS      .set   0388h
TA      .word  6
RA      .word  6
TAp     .word  1
RAp     .word  1
TB      .word  18
RB      .word  18
AIC_CTR .word  08h
        .ps    080ah
rint:   B      RECEIVE     ;0A; Serial prot receive interrupt RINT.
xint:   B      TRANSMIT    ;0C; Serial port transmit interrupt XINT.

        .ps 0a00h
        .entry
START:  SETC   INTM
        LDP    #0
        OPL    #0834h,PMST
        LACC   #0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SAMM   CWSR
        SAMM   PDWSR
        SPLK   #022h,IMR
        CALL   AICINIT
        CLRC   OVM
        SPM    0
        SPLK   #012h,IMR
        CLRC   INTM
        MAR    *,AR0
        LAR    AR1,#AOUT
        LAR    AR0,#A1
        LACC   #0FFFFh
        SACL   *+,0,AR0
        LACC   #0000h
        SACL   *+,0,AR1
        SACL   *,0,AR0
        LACC   #0FFFFh
        SACL   *-,0,AR0
*------------------------------ End Rountine For Set Sampling rate ------------------------------*
WAIT:
        NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        B      WAIT
*------------------------------ Start Main Program ----------------------------------*
RECEIVE:
        MAR    *,AR0
        LAR    AR1,#AOUT
        OUT    07Fh,00080h
        LAR    AR0,#A2
        LACC   *-
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SACL  *-,0,AR0
        SACL  *,0,AR0
        LAR   AR0,#A3
        LACC  *-
        SACL  *,0,AR1
        SACL  *,0,AR0
        LAR   AR0,#A0
        LACC  *
        LAR   AR0,#A3
        SACL  *,0,AR0
        LAR   AR0,#AOUT
        CLRC  TC
        BIT   *,0,AR0
        CC    DING1,TC
        CC    DING2,NTC
        RETE
DING1:
        LACL  DRR
        MAR   *,AR0
        LAR   AR0,#X
        SACL  *,0,AR0
        ZPR
        MAR   *,AR3
        LAR   AR3,#LS
      RPTK  8
        MACD  COEFFP,*-
        APAC
        SACH  Y,1
        NEG
        LAR   AR3,#X
        ADD   *,15
        SACH  ERR,1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DMOV  *
        LT    ERR
        MPY   BETA
        PAC
        ADD   ONE,14
        SACH  ERRF,1
     LACC  #7
        SAMM  BRCR
        LAR   AR2,#COEFFD
        LAR   AR3,#LS
        LT    ERRF
        MPY   *-,AR2
        RPTB  LOOP
        ZALR  *,AR3
        MPYA  *-,AR2
LOOP:   SACH  *+
        APAC
        SACH  *+
        MAR   *,AR1
        LAR   AR1,#Y
        LACL  *
     NEG
     LAR   AR1,#X
     ADD   *
     SACL  DXR,2
        LACC  #0000h
        RET
DING2:
        LACL  DRR
        MAR   *,AR0
        LAR   AR0,#FR
        SACL  *,0,AR0
```

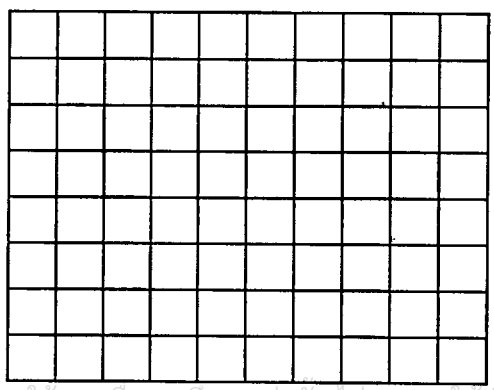
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LACC   #0000h
        RET
TRANSMIT:
        RETE
*---------------------------------- End Main Program ----------------------------------*

*------------------------------ Start Rountine For Set A/D ------------------------------*
AICINIT: SPLK   #20h,TCR
        SPLK   #01h,PRD
        MAR    *,AR0
        LACC   #0008h
        SACL   SPC
        LACC   #00c8h
        SACL   SPC
        LACC   #080h
        SACH   DXR
        SACL   GREG
        LAR    AR0,#0FFFFh
        RPT    #10000
        LACC   *,0,AR0
        SACH   GREG
        LDP    #TA
        SETC   SXM
        LACC   TA,9
        ADD    RA,2
        CALL   AIC_2ND
        LDP    #TB
        LACC   TB,9
        ADD    RB,2
        ADD    #02h
        CALL   AIC_2ND
        LDP    #AIC_CTR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LACC   AIC_CTR,2
        ADD    #03h
        CALL   AIC_2ND
        RET
AIC_2ND:
        LDP    #0
        SACH   DXR
        CLRC   INTM
        IDLE
        ADD    #6h,15
        SACH   DXR
        IDLE
        SACL   DXR
        IDLE
        LACL   #0
        SACL   DXR
        IDLE
        SETC   INTM
        RET
        .end
*---------------------- End Rountine For Set A/D ----------------------*
```

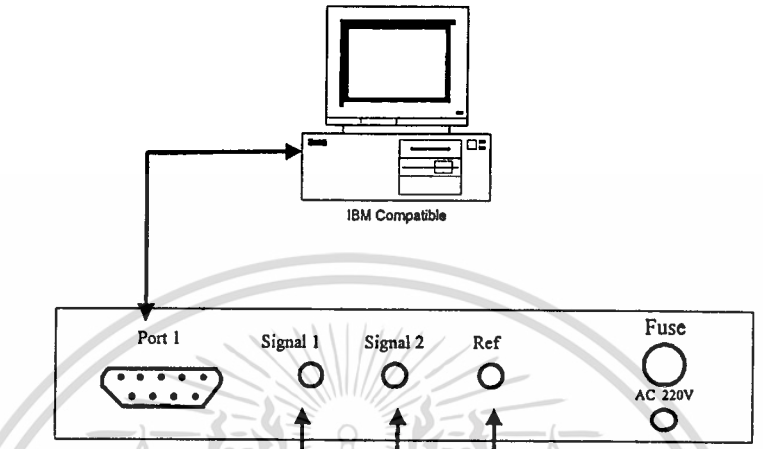
4. วาดรูปสัญญาณ



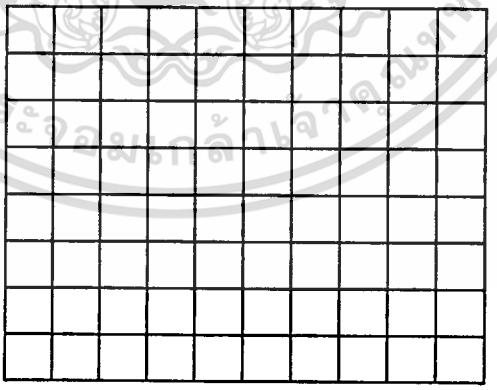
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ต่อสัญญาณ Ref

5.1 ต่อสัญญาณ Ref ที่ช่อง Signal 1 ดังรูปที่ 8



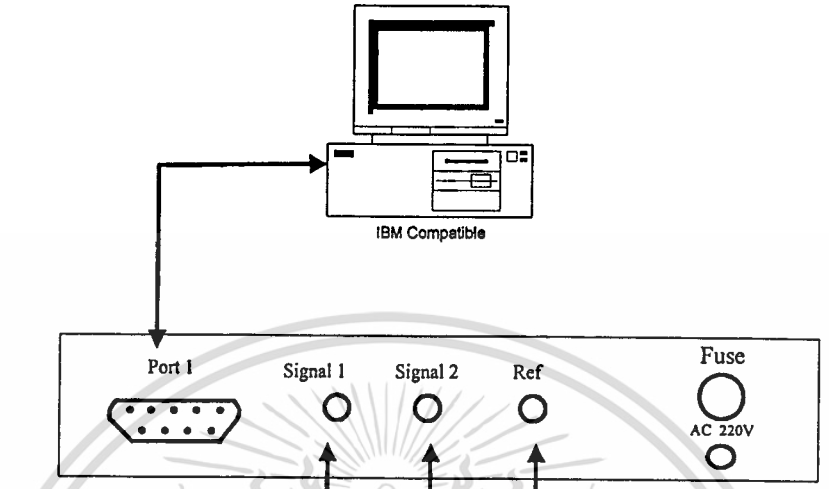
รูปที่ 8



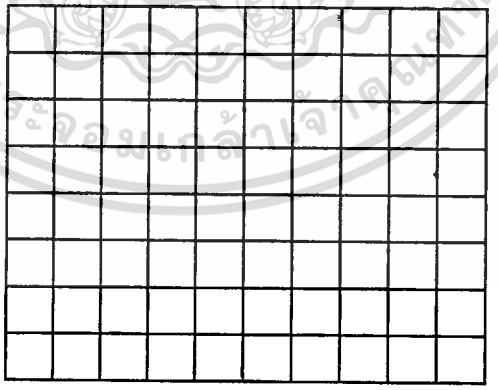
Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ต่อสัญญาณ Ref ที่ช่อง Signal 2 ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9



Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ป้อนโปรแกรมใหม่ดังนี้

```
.mmregs
        .ds  0f00h
*------------------------------ Start Rountine For Set Sampling rate ----------------------------*
A0      .set   0470h
A1      .set   0471h
A2      .set   0472h
A3      .set   0473h
AOUT    .set   7Fh
COEFFP  .set   01000h
COEFFD  .set   01000h
ONE     .set   7Ah
BETA    .set   7Bh
ERR     .set   7Ch
ERRF    .set   7Dh
Y       .set   7Eh
X       .set   037Fh
FR      .set   0380h
LS      .set   0388h
TA      .word  6
RA      .word  6
TAp     .word  1
RAp     .word  1
TB      .word  18
RB      .word  18
AIC_CTR .word  08h
        .ps    080ah
rint:   B      RECEIVE      ;0A; Serial prot receive interrupt RINT.
xint:   B      TRANSMIT     ;0C; Serial port transmit interrupt XINT.
          .ps 0a00h
          .entry
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
START:  SETC   INTM
        LDP    #0
        OPL    #0834h,PMST
        LACC   #0
        SAMM   CWSR
        SAMM   PDWSR
        SPLK   #022h,IMR
        CALL   AICINIT
        CLRC   OVM
        SPM    0
        SPLK   #012h,IMR
        CLRC   INTM
        MAR    *,AR0
        LAR    AR1,#AOUT
        LAR    AR0,#A1
        LACC   #0FFFFh
        SACL   *+,0,AR0
        LACC   #0000h
        SACL   *+,0,AR1
        SACL   *,0,AR0
        LACC   #0FFFFh
        SACL   *-,0,AR0
WAIT:
        NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        B      WAIT
*------------------------------ End Rountine For Set Sampling rate ------------------------------*
*------------------------------ Start Main Program ----------------------------------*
RECEIVE:
        MAR    *,AR0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LAR   AR1,#AOUT
        OUT   07Fh,00080h
        LAR   AR0,#A2
        LACC  *-
        SACL  *-,0,AR0
        SACL  *,0,AR0
        LAR   AR0,#A3
        LACC  *-
        SACL  *,0,AR1
        SACL  *,0,AR0
        LAR   AR0,#A0
        LACC  *
        LAR   AR0,#A3
        SACL  *,0,AR0
        LAR   AR0,#AOUT
        CLRC  TC
        BIT   *,0,AR0
        CC    DING1,TC
        CC    DING2,NTC
           RETE
DING1:
        LACL  DRR
        MAR   *,AR0
        LAR   AR0,#X
        SACL  *,0,AR0
        ZPR
        MAR   *,AR3
        LAR   AR3,#LS
      RPTK  8
        MACD  COEFFP,*-
        APAC
        SACH  Y,1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        NEG
        LAR   AR3,#X
        ADD   *,15
        SACH  ERR,1
        DMOV  *
        LT    ERR
        MPY   BETA
        PAC
        ADD   ONE,14
        SACH  ERRF,1
      LACC  #7
        SAMM  BRCR
        LAR   AR2,#COEFFD
        LAR   AR3,#LS
        LT    ERRF
        MPY   *-,AR2
        RPTB  LOOP
        ZALR  *,AR3
        MPYA  *-,AR2
LOOP:   SACH  *+
        APAC
        SACH  *+
        MAR   *,AR1
        LAR   AR1,#Y
        LACL  *
     NEG
     LAR   AR1,#X
     ADD   *
     SACL  DXR,2
        LACC  #0000h
        RET
DING2:
```

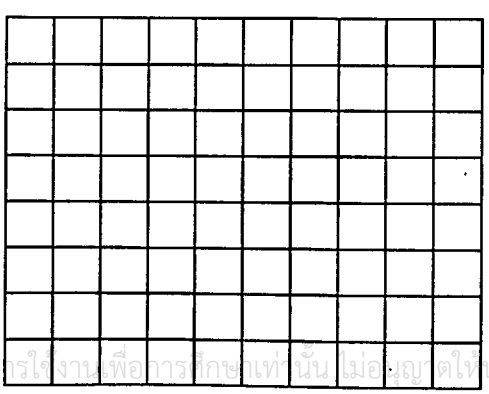
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LACL   DRR
        MAR    *,AR0
        LAR    AR0,#FR
        SACL   *,0,AR0
        LACC   #0000h
        RET
*------------------------ End Main Program --------------------------*
TRANSMIT:
        RETE
*----------------------------- Start Rountine For Set A/D ----------------------------------*
AICINIT: SPLK   #20h,TCR
        SPLK   #01h,PRD
        MAR    *,AR0
        LACC   #0008h
        SACL   SPC
        LACC   #00c8h
        SACL   SPC
        LACC   #080h
        SACH   DXR
        SACL   GREG
        LAR    AR0,#0FFFFh
        RPT    #10000
        LACC   *,0,AR0
        SACH   GREG
        LDP    #TA
        SETC   SXM
        LACC   TA,9
        ADD    RA,2
        CALL   AIC_2ND
        LDP    #TB
        LACC   TB,9
        ADD    RB,2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

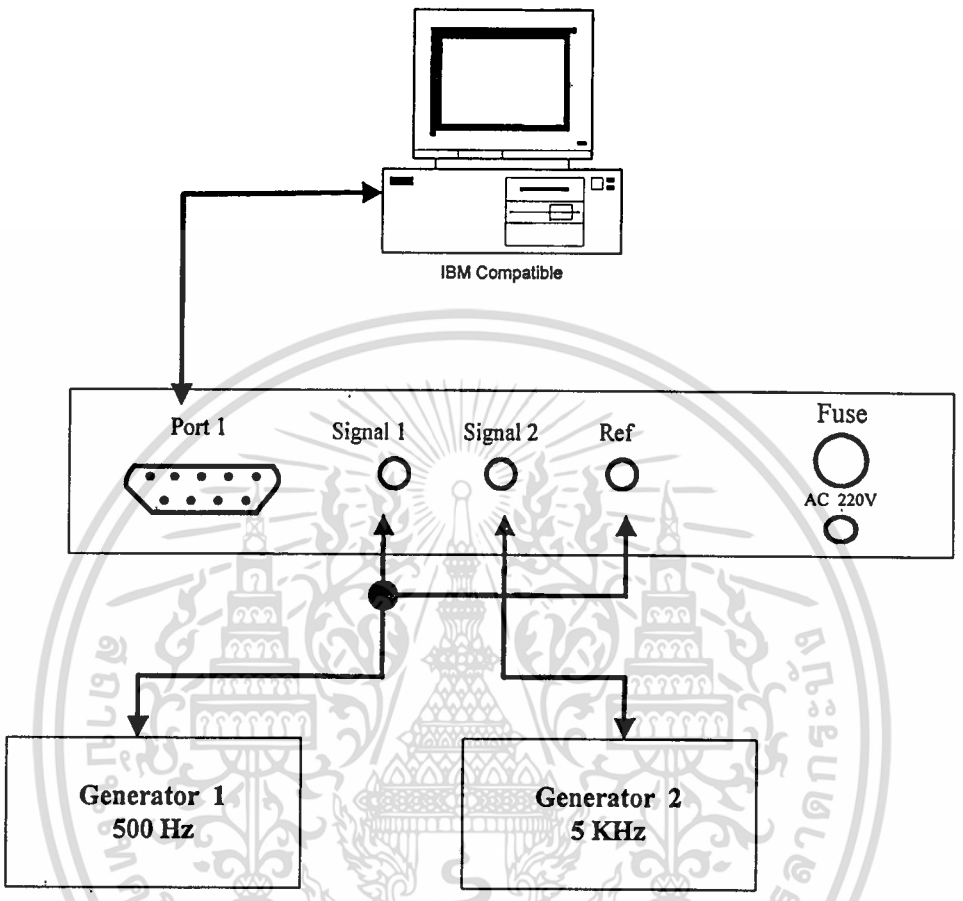
```
        ADD   #02h
        CALL  AIC_2ND
        LDP   #AIC_CTR
        LACC  AIC_CTR,2
        ADD   #03h
        CALL  AIC_2ND
        RET
AIC_2ND:
        LDP   #0
        SACH  DXR
        CLRC  INTM
        IDLE
        ADD   #6h,15
        SACH  DXR
        IDLE
        SACL  DXR
        IDLE
        LACL  #0
        SACL  DXR
        IDLE
        SETC  INTM
        RET
*------------------------- End Rountine For Set A/D ------------------------------*
```

7. วาดรูปสัญญาณ

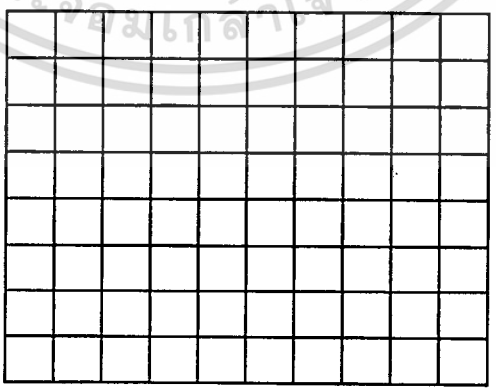


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1 ต่อสัญญาณ Ref ที่ช่อง Signal 1 ดังรูปที่ 10



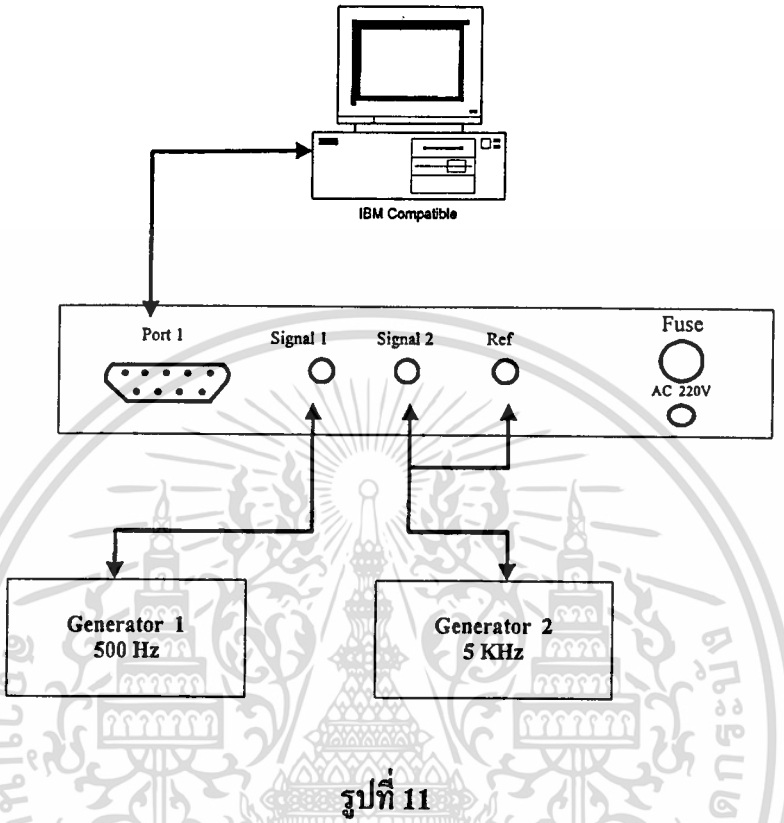
รูปที่ 10



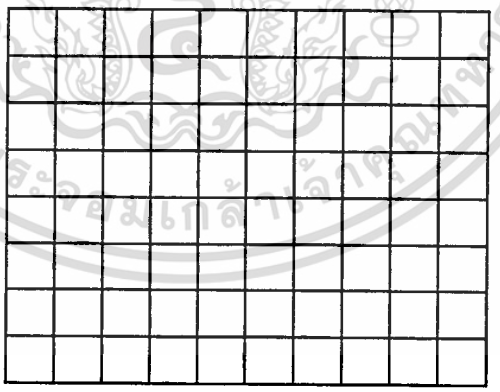
Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ต่อสัญญาณ Ref ที่ช่อง Signal 2



รูปที่ 11



Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถาม

1. สมการที่สำคัญที่สุดในการออกแบบ Adaptive Filter คือ สมการแบบใด
2. จงยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน Adaptive Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เฉลยใบงานการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1

Discrete Fourier Transform (DFT)

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของดีเอฟที (DFT)
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายการใช้ TMS-320C50 คำนวณดีเอฟที (DFT)
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถนำวิธีการคำนวณ ดีเอฟที (DFT) ไปประยุกต์ใช้ในการคำนวนหา Spectrum ได้

ทฤษฎี

ใบงานเรื่อง DFT ซึ่งเป็น DFT แบบ 4 จุด และสมการที่ (1) เป็นสมการที่ใช้ในการสร้าง DFT แบบ 4 จุด

DFT เป็น Discrete frequency Sequence ที่ค่าจำกัด (Finite) เกิดจากการสุ่ม 1 คาบ (Periode) ของ Fourier Transform โดยจำนวน N ค่าซึ่งมี W อยู่ระหว่าง 0-2π จะได้ดังนี้

$$Wk = \frac{2\pi k}{N} \qquad ;\ 0 \le k \le N\text{-}1$$

Discrete Sequence ของ Fouirer Transform H( ) จะถูกแทนตัว { H(k) } ดังนี้

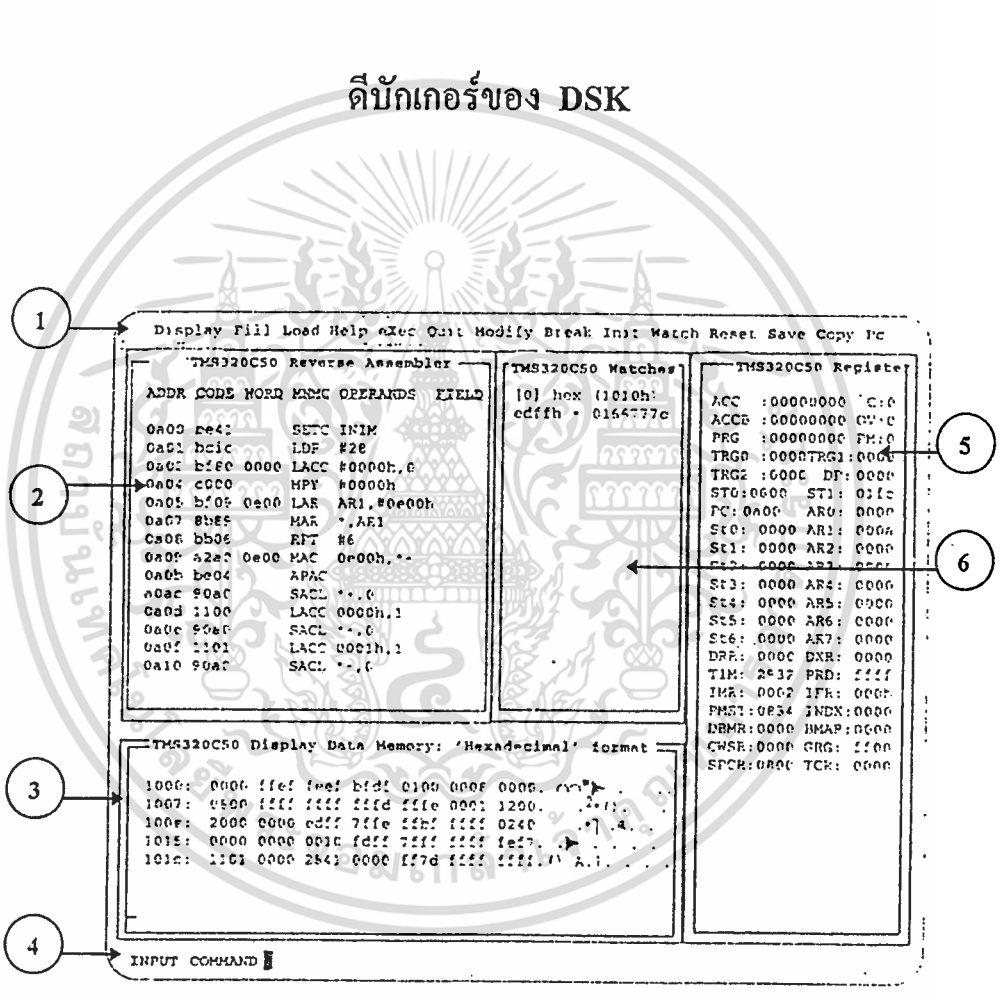
$$H(k) = H(e^{j\omega})\Big|_{\omega=\omega k=\frac{2\pi k}{N}} \qquad ;\ 0 \le k \le N\text{-}1$$

ดังนั้น Discrete Fourier Transform จะได้เป็น

$$H(k) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n)\, e^{\frac{-j2\pi nk}{N}} \qquad ;\ 0 \le k \le N\text{-}1 \qquad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการนำมาเขียนโปรแกรมโดยที่ค่าโคไซน์ (cos) และค่าไซน์ (sin) จะต้องคำนวณค่าก่อน ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นทศนิยมและจะต้องทำการสเกลค่าก่อน ด้วยการคูณด้วย 1000 เนื่องจาก TMS-320C50 เป็น ฟิกซ์พอยน์ (Fixed point) จากนั้นจึงนำค่าที่คำนวณแล้วใส่ในตำแหน่งของหน่วยความจำ ต่างๆ รวมทั้งอินพุทด้วย การทำงานของโปรแกรมจะเป็นลักษณะการวนลูปเพื่อดึงค่าจาก หน่วยความจำ มาทำการคำนวณผลลัพธ์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะถูกเก็บในตำแหน่ง หน่วยความจำ อีกทีหนึ่ง



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของดีบักเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

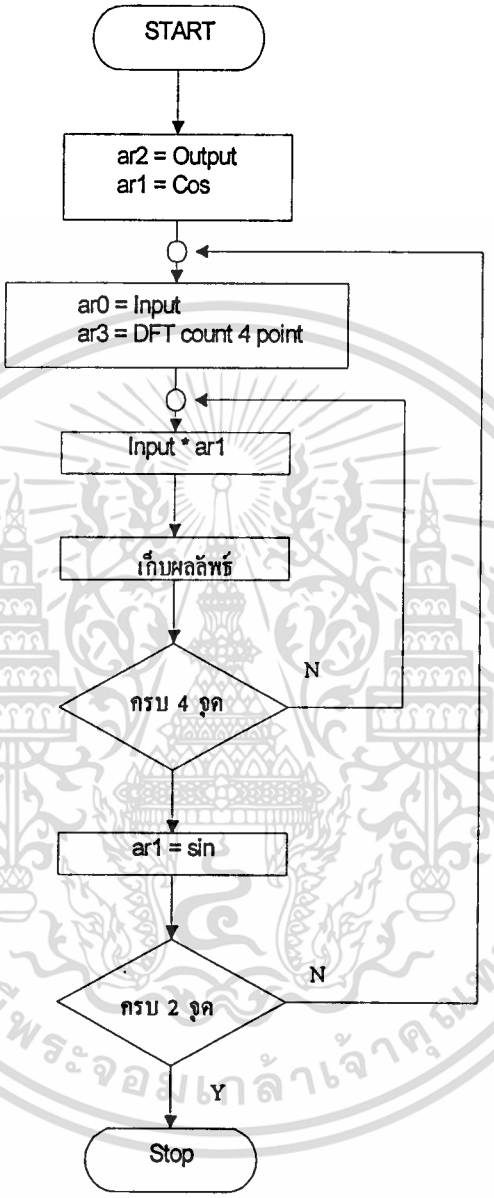
1. เมนู
2. หน้าต่างโปรแกรม
3. หน้าต่างหน่วยความจำ
4. บรรทัดรับคำสั่ง
5. หน้าต่างรีจีสเตอร์
6. หน้าต่างการติดตามผล

คำสั่งที่จำเป็นในการทดลอง

1. DMI	แสดงค่าตัวเลขเป็นฐานสิบ
2. DMA	ดูตำแหน่งหน่วยความจำที่กำหนด
3. MD	เปลี่ยนแปลงค่าในหน่วยความจำ
4. Spec bar	การรันแบบสเตป (Step)
5. XG	รันโปรแกรม
6. AH + X	ออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผังการทำงานของโปรแกรม DFT แบบ 4 จุด



รูปที่ 1

อุปกรณ์

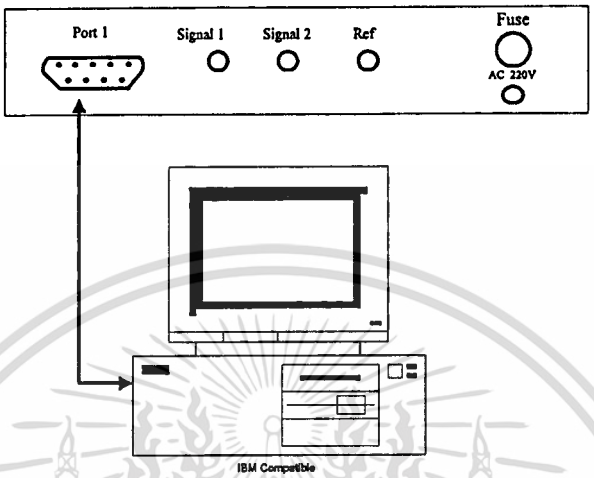
1. ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	1	ชุด
2. เครื่องคอมพิวเตอร์	1	เครื่อง

3. โปรแกรม Debugger DSK-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2

2. ป้อนโปรแกรมดังนี้

```
        .mmregs
        .ps    0080ah
        b      rint
        .ps    00a00h
        .entry
        lar    ar4, #01h
        ldp    #0
        zap
        mar    *, ar0
        lar    ar2, #ans            ; Ar2 ⟶ Output DATA
        lar    ar1, #mcos           ; Ar1 ⟶ Table cos
kp:     lar    ar3, #03h
op:     lar    ar0, #msource        ; Ar0 ⟶ Input DATA
        splk   #03h, brcr
        rptb   loop
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lta    *+,ar1
        mpy    *+,ar0
loop:   nop
        apac
        mar    *, ar2
        sacl   *+,0,ar3              ; ACC ⟶ AR2
        zap
        banz   op,ar0
        lar    ar1, #msin
        mar    *, ar4
        banz   kp,ar1
rint: rete
        .ds    1000h
msource:  .int   1,1,1,1            ; Input DATA

        .ds    400h
mcos:     .int   1000,1000,1000,1000,1000,0,-1000,0,1000,-1000          ; Table Cos
          .int   1000,-1000,1000,0,-1000,0

        .ds    1015h
ans:      .space 80h                ; Output DATA

        .ds    0300h
msin:     .int   0,0,0,0,0,-1000,0,1000,0,0,0,0,0,1000,0,-1000          ; Table Sin
```

3. คอมไพล์โปรแกรมโดยใช้

   DSK5A ชื่อ .ASM ↵

4. เข้าสู่ดีบักเกอร์ พิมพ์ DSK5D

   - โหลดไฟล์ใช้คำสั่ง LD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปลี่ยนคำสั่งการแสดงผล ให้เป็นฐานสิบ พิมพ์ DMI

- บันทึกค่าที่อยู่ในแอดเดรส 1015H - 1018H

1015H = ...0.....

1016H = ...0.....

1017H = ...0.....

1018H = ...0.....

6. พิมพ์ XG เพื่อรันโปรแกรม

- บันทึกค่าที่อยู่ในแอดเดรส 1015H - 1018H

1015H = ...4000.....

1016H = ...0.....

1017H = ...0.....

1018H = ...0.....

7. ทดลองเปลี่ยนค่าในตำแหน่ง 1000 ใช้คำสั่ง MD

1000H = 5

1001H = 5

1002H = 0

1003H = 0

8. รันโปรแกรมโดยกด XG แล้วบันทึกผล

1015H = ...10000.....

1016H = ...5000.....

1017H = ...0.....

1018H = ...5000.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า เราสามารถใช้บอร์ด DSK ในการเขียนโปรแกรม เพื่อทำการคำนวณหาค่า DFT 4 จุด ซึ่งผลจากการคำนวณในภาคทฤษฎี และจากการทดลองใบงานจะใกล้เคียงกัน ถ้าคลาดเคลื่อนเป็นจุดทศนิยม ก็เพราะว่าได้ทำการสเกลค่าของโคไซน์ (cos) และค่าไซน์ (sin) จึงไม่สามารถนำจุดทศนิยมมาครบถ้วนได้

คำถาม

1. เมื่อเปลี่ยนค่าอินพุตในโปรแกรมเป็น -5 , -5 , 10 , 0 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม DFT แบบ 4 จุด จะมีค่าเป็นเท่าใด

ตอบ เมื่อเปลี่ยนอินพุตในโปรแกรมเป็น -5, -5, 10, 0 ผลลัพธ์จากการรันโปรแกรมเป็นดังนี้

1015 = 0

1016 = -15000

1017 = 10000

1018 = -15000

2. เหตุใดจึงต้องทำการสเกลค่าโคไซน์ (cos) และค่าไซน์ (sin) ก่อนเก็บลงในหน่วยความจำ

ตอบ สาเหตุที่ต้องสเกลค่าของโคไซน์ (cos) และค่าไซน์ (sin) ที่คำนวณไว้ก่อนเก็บลงหน่วยความจำเพราะว่าชิพ TMS320C50 ที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบฟิกส์พอยน์ (Fixed Point) คือ คำนวณค่าคงที่ แต่ค่าโคไซน์ (cos) และค่าไซน์ (sin) จะเป็นจุดทศนิยม เพราะฉะนั้นจึงต้องทำการสเกลค่าก่อนทุกครั้ง

3. จงบอกถึงประโยชน์ของการทำ DFT และการนำไปประยุกต์ใช้งาน

ตอบ ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณใน Time Domain เพื่อแปลงเป็น Frequency Domain เพื่อทราบแถบความถี่สัญญาณว่ามีอยู่ในช่วงความถี่ใด และมีแอมปลิจูดเท่าใด สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2

Signal Generator

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถเขียนโปรแกรมบน TMS-320C50
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถบอกวิธีการสร้างความถี่จาก TMS320C50
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถประยุกต์ TMS-320C50 ให้เป็น Function Generator ได้

ทฤษฎี

Signal Generator

การใช้งาน TMS-320C50 ในการผลิตสัญญาณนั้นสามารถที่จะผลิตลูกคลื่นได้ 3 รูปแบบ คือ sine wave , saw wave และ square wave ได้ดังนี้

1. คลื่นรูปไซน์ (Sine Wave)

คลื่นรูปไซน์ Sine Wave ที่ผลิตโดย TMS320C50 นั้น ในการกำหนดความถี่จะอาศัยหลักการ Sampling Frequency และการกำหนดจำนวนจุด (N) โดยใช้สมการที่ (1)

$$F = \frac{Fs}{N} \qquad (1)$$

F = ความถี่เอาต์พุต

Fs = ความถี่สุ่ม (Sampling Frequency)

N = จำนวนจุด ในการสุ่มสัญญาณ 1 คาบเวลา

จากหลักการของการมองค่าจากตาราง ซึ่งจำเป็นจะต้องคำนวณหาค่าไซน์ (sine) ของแต่ละจุดหลังจากนั้นทำการสเกลค่าด้วยการคูณ 1,000 และนำค่าที่สเกลแล้วไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมอ่านค่าจากหน่วยความจำ ส่งออกไปยัง D/A ของบอร์ด DSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

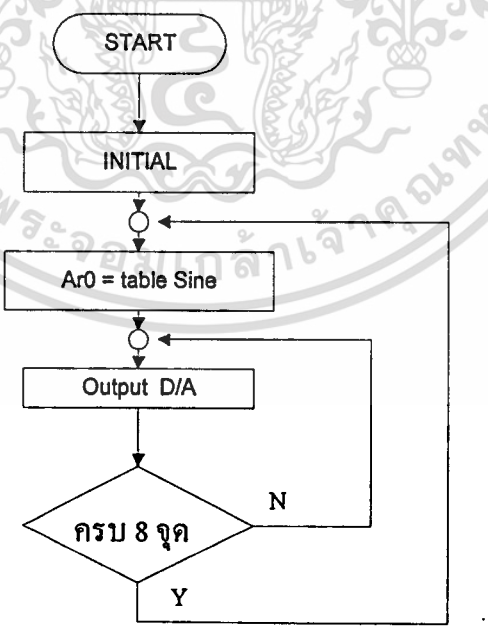
2. คลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave)

ตัว TMS-320C50 ภายในบอร์ด DSK สามารถผลิตคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) ได้แต่เนื่องจากภายในบอร์ด DSK มี Low Pass Filter ทำให้ความถี่ของ Square Wave ที่ได้นั้นมีความถี่ต่ำ ดังนั้นในการสร้างคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) จะใช้โปรแกรมเดียวกับโปรแกรม Sine Wave โดยใช้ Table ในตำแหน่งหน่วยความจำ (Memory) เป็น 1000 และ 0 จากนั้นจะอ่านค่าแรกจาก Table คือ "1" แล้วหน่วงเวลา ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ รูปสัญญาณที่ได้จะเป็น Square Wave

3. คลื่นรูปฟันเลื่อย (Saw Wave)

จะใช้โปรแกรมในการส่งค่า ACC ออกไปยัง D/A หลังจากนั้นจะเพิ่มค่า ACC ขึ้นไปเรื่อยๆ จนทำให้สัญญาณเป็น Slope เส้นตรงจนกระทั่งถึงค่าๆ หนึ่งที่ ACC มีค่าเท่ากับ "0" Slope ก็จะกลายเป็นเส้นตรงดิ่งลงมาที่ศูนย์ จากนั้นก็ให้โปรแกรมทำการวนลูปไปเรื่อยๆ รูปสัญญาณที่ได้จะเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Saw Wave)

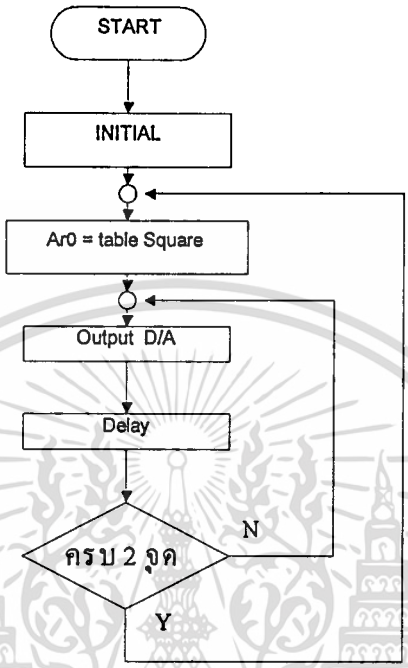
ผังการทำงานของโปรแกรม กำเนิดสัญญาณ Sine Wave



รูปที่ 1

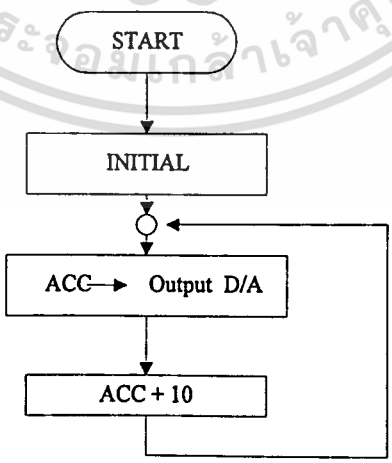
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผังการทำงานของโปรแกรม กำเนิดสัญญาณ Square Wave



รูปที่ 2

ผังการทำงานของโปรแกรม กำเนิดสัญญาณ Saw Wave



รูปที่ 3

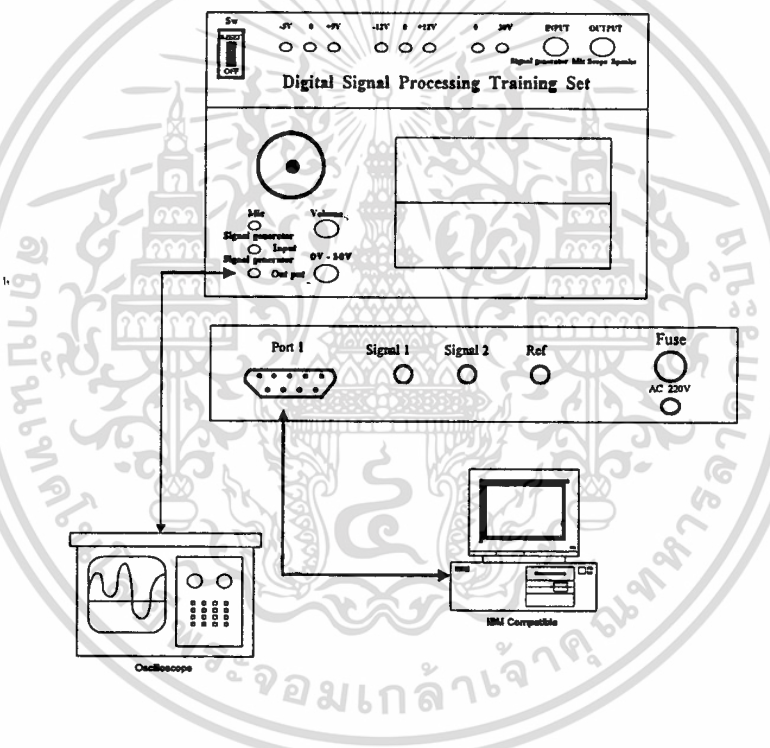
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์

1. ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	1	ชุด
2. สโคป	1	เครื่อง
3. เครื่องคอมพิวเตอร์	1	เครื่อง
4. แผ่นดิสก์ โปรแกรม DSK	1	เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4

2. ป้อนโปรแกรมดังนี้

```
        .mmregs
        .ds     0f00h
; ** ---------------------  Start  Rountine For Set Sampling Reat  ----------------------**
TA      .word   18                      ; Fcut = 4 KHz
RA      .word   18                      ; Fcut = 4 KHz
TAp     .word   1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RAp     .word   1
TB      .word   15              ; Fs = 2*Fcut
RB      .word   15              ; Fs = 2*Fcut
AIC_CTR .word   8h

        .ps     080ah
rint:   B       RECEIVE         ;0A; Serial prot receive interrupt RINT.
xint:   B       TRANSMIT        ;0C; Serial port transmit interrupt XINT.

        .ps 0a00h
        .entry
START:  SETC    INTM            ; Disable interrupts
        LDP     #0              ; Set data page pointer
        OPL     #0834h,PMST
        LACC    #0
        SAMM    CWSR            ; Set software wait state to 0
        SAMM    PDWSR

* Reset AIC by writing to PA2 (address >52) to DSK

        SPLK    #022h,IMR       ; Using XINT syn TX & RX
        CALL    AICINIT         ; initialize AIC and enable interrupts
        CLRC    OVM             ; OVM = 0
        SPM     0               ; PM = 0
        SPLK    #012h,IMR
        CLRC    INTM            ; enable
        ldp     #0
;*-------------------------------- End Set Sampling Rate --------------------------------*
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;* ---------------------------------- Start Main Program ------------------------------*
s1:   idle
      lamm   imr
      or     #20h
      samm   imr          ; Set interrupt xint
      mar    *,ar0
l1:   lar    ar0,#tbl     ; Ar0 ⟶ DATA Table
      splk   #7h,brcr     ; Counter 8 point
      rptb   l2
      lacl   *+,ar0
      sacl   dxr,3        ; Sent DATA to D/A
      idle
l2:   nop
      b      l1
*---------------------------------- End Main Program --------------------------------*
RECEIVE:     rete

TRANSMIT:    RETE
*---------------------------------- Start Rountine Set A/D --------------------------*
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
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

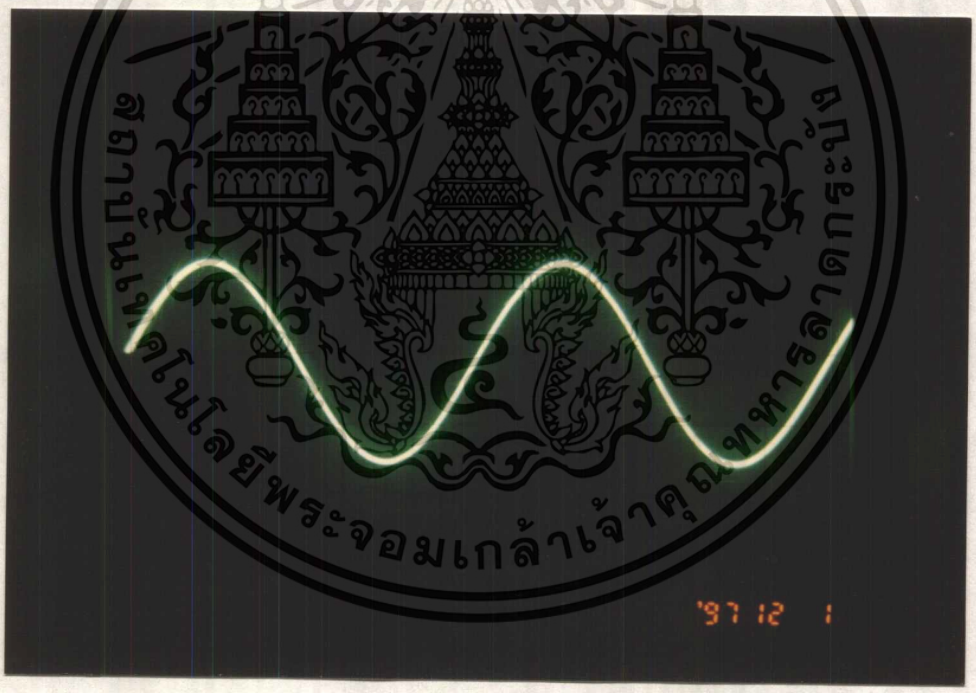
```
        LACC   *,0,AR0              ; (.5ms at 50ns)
        SACH   GREG
        ;------------------------
        LDP    #TA
        SETC   SXM
        LACC   TA,9                 ; Initialized TA and RA register
        ADD    RA,2
        CALL   AIC_2ND
        ;------------------------
        LDP    #TB
        LACC   TB,9                 ; Initialized TB and RB register
        ADD    RB,2
        ADD    #02h
        CALL   AIC_2ND
        ;------------------------
        LDP    #AIC_CTR
        LACC   AIC_CTR,2            ; Initialized control register
        ADD    #03h
        CALL   AIC_2ND
        RET

AIC_2ND:
        LDP    #0
        SACH   DXR
        CLRC   INTM
        IDLE
        ADD    #6h,15               ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX XXXX XXXX b
        SACH   DXR
        IDLE
        SACL   DXR
        IDLE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LACL   #0
        SACL   DXR                ; make sure the word got sent
        IDLE
        SETC   INTM
        RET
*------------------------------ End Rountine Set A/D ---------------------------------*
        .ds    1000h
tbl:    .int   0,707,1000,707,0,-707,-1000,-707,0          ; Sin DATA table
```

3. คอมไพล์และรันโปรแกรม

4. วาดรูปสัญญาณ



Volt/DIV = ...1..... TIME/DIV = ...0.2 mS... f = ..1000. Hz

5. ทดลองเปลี่ยนค่า tbl ให้เป็น 16 จุด โดยใช้ค่าดังนี้

$$= \frac{360}{16} = 22.5$$

จากนั้นทำการสเกลค่าด้วยการคูณด้วย 1000 เนื่องจาก TMS320C50 เป็น Fired point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

sin (0).....0.....

sin (2).....382.....

sin (3).....707.....

sin (4).....923.....

sin (5).....1000.....

sin (6).....923.....

sin (7).....707.....

sin (8).....382.....

sin (9).....0.....

sin (10).....-382.....

sin (11).....-707.....

sin (12).....-923.....

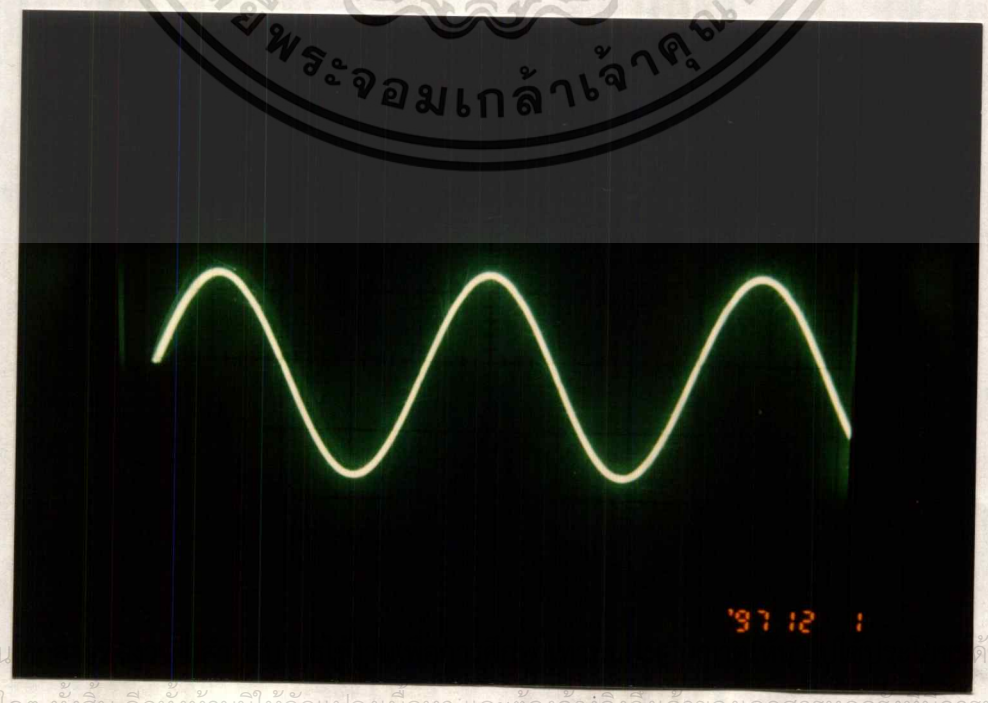
sin (13).....-1000.....

sin (14).....-923.....

sin (15).....-707.....

sin (16).....-382.....

6. ทำการคอมไพล์และรันโปรแกรม



เอกสารนี้เป็น ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ TMS-320C50 สร้าง Square Wave

1. ป้อนโปรแกรมดังนี้

```
        .mmregs
        .ds     1000h
*---------------------------------- Start Rountine For Set Sampling rate ----------------------*
TA      .word   6               ; Fcut = 4 KHz
RA      .word   6               ; Fcut = 4 KHz
TAp     .word   1
RAp     .word   1
TB      .word   15              ; Fs = 2*Fcut
RB      .word   15              ; Fs = 2*Fcut
AIC_CTR .word   8h
        .ps     080ah
rint:   B       RECEIVE         ;0A; Serial prot receive interrupt RINT.
xint:   B       TRANSMIT        ;0C; Serial port transmit interrupt XINT.
        .ps 0a00h
        .entry
START:  SETC    INTM            ; Disable interrupts
        LDP     #0              ; Set data page pointer
        OPL     #0834h,PMST
        LACC    #0
        SAMM    CWSR            ; Set software wait state to 0
        SAMM    PDWSR

* Reset AIC by writing to PA2 (address >52) to DSK

        SPLK    #022h,IMR       ; Using XINT syn TX & RX
        CALL    AICINIT         ; initialize AIC and enable interrupts
        CLRC    OVM             ; OVM = 0
        SPM     0               ; PM = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SPLK   #012h,IMR
        CLRC   INTM             ; enable
        ldp    #0
*------------------------------- End Rountine Set Sampling rate --------------------------------*
*------------------------------- Start Main Program --------------------------------------------*

s1:    idle
       lamm   imr
       or     #20h
       samm   imr
       mar    *,ar0
l1:    lar    ar0,#tbl          ; Ar0 ---> DATA table is ' 1'
       lacl   *+
       sacl   dxr,3
       idle
       splk   #200h,brcr        ; Delay
       rptb   pp
       idle
pp:    nop
       lacl   *                 ; Acc = 0
       sacl   dxr,3
       idle
       splk   #200h,brcr        ; Delay
       rptb   uu
       idle
uu:    nop
       b      l1
*------------------------------- End Main Program ----------------------------------------------*
;
; RECIEVER INTERRUPT SERVICE ROUTINE
;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RECEIVE:    rete
;
; TRANSMIT INTERRUPT SERVICE ROUTINE
;
TRANSMIT:   RETE

*-------------------------------------- Start Rountine For Set A/D ------------------------------*

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                ; Initialized TA and RA register
     ADD    RA,2
     CALL   AIC_2ND
     ;-----------------------
     LDP    #TB
     LACC   TB,9                ; Initialized TB and RB register
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ADD   RB,2
        ADD   #02h
        CALL  AIC_2ND
        ;-----------------------
        LDP   #AIC_CTR
        LACC  AIC_CTR,2          ; Initialized control register
        ADD   #03h
        CALL  AIC_2ND
        RET

AIC_2ND:
        LDP   #0
        SACH  DXR
        CLRC  INTM
        IDLE
        ADD   #6h,15             ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX XXXX XXXX b
        SACH  DXR
        IDLE
        SACL  DXR
        IDLE
        LACL  #0
        SACL  DXR                ; make sure the word got sent
        IDLE
        SETC  INTM
        RET

*---------------------------------- End Rountine For Set A/D ----------------------------*

tbl:    .int  10000,0    ; DATA TABLE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการคอมไพล์และรันโปรแกรม

Volt/DIV = ...1..... TIME/DIV = ...1 mS... f = ...2633..... Hz

การใช้ทำ Saw Wave

1. ป้อนโปรแกรมดังนี้

```
        .mmregs
    .ds     0f00h
*--------------------------- Start Rountine For Set Sampling rate ----------------------*
TA      .word   6           ; Fcut = 4 KHz
RA      .word   6           ; Fcut = 4 KHz
TAp     .word   1           ;
RAp     .word   1           ;
TB      .word   18          ; Fs = 2*Fcut
RB      .word   18          ; Fs = 2*Fcut
AIC_CTR .word   8h


    .ps     080ah
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
rint:  B     RECEIVE     ;0A; Serial prot receive interrupt RINT.
xint:  B     TRANSMIT    ;0C; Serial port transmit interrupt XINT.

       .ps 0a00h
       .entry
START: SETC  INTM        ; Disable interrupts
       LDP   #0          ; Set data page pointer
       OPL   #0834h,PMST
       LACC  #0
       SAMM  CWSR        ; Set software wait state to 0
       SAMM  PDWSR       ;

* Reset AIC by writing to PA2 (address >52) to DSK

       SPLK  #022h,IMR   ; Using XINT syn TX & RX
       CALL  AICINIT     ; initialize AIC and enable interrupts
       CLRC  OVM         ; OVM = 0
       SPM   0           ; PM = 0
       SPLK  #012h,IMR
       CLRC  INTM        ; enable
       ldp   #0
*------------------------- End Rountine For Set Sampling rate ----------------------------*

*------------------------- Start Main Program ---------------------------------*
s1:    ldp   dxr
       lamm  imr
       or    #20h
       samm  imr         ; Set interrupt X int
loop:  add   #10
       sacl  dxr,3
       idle
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

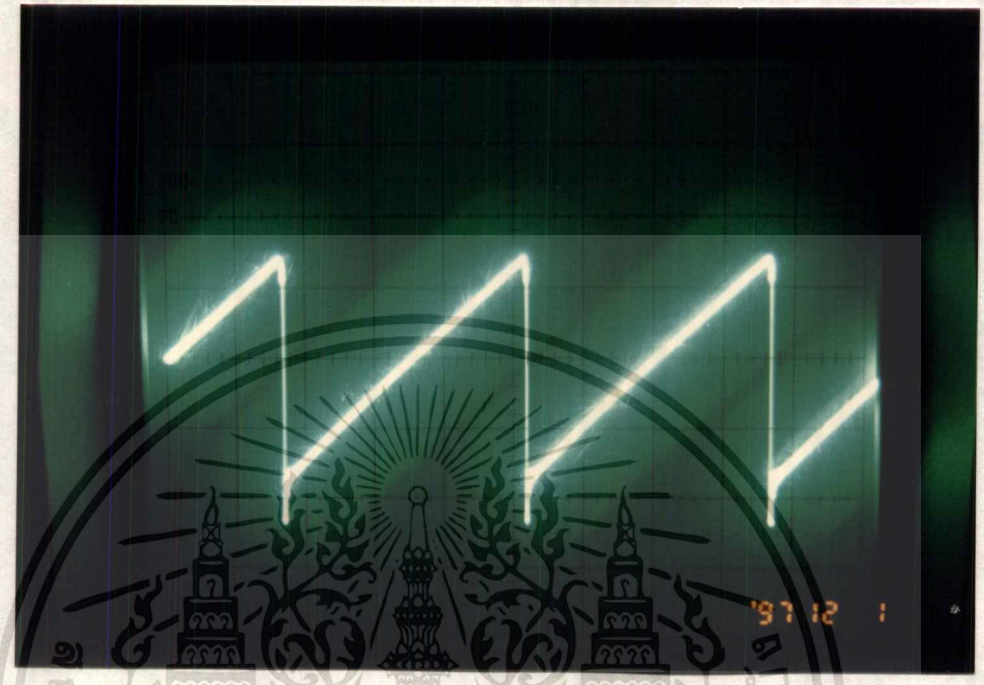
```
    B     loop
*------------------------ End Main Program -------------------------------*
;
RECEIVE:     rete
;
TRANSMIT:    RETE
*---------------------- Start Rountine For Set A/D ----------------------*
AICINIT: SPLK   #20h,TCR        ; To generate 10 MHz from Tout
     SPLK   #01h,PRD            ; 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        ; Initialized TA and RA register
     ADD    RA,2        ;
     CALL   AIC_2ND     ;
     ;-----------------------
     LDP    #TB
     LACC   TB,9        ; Initialized TB and RB register
     ADD    RB,2        ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ADD   #02h          ;
        CALL  AIC_2ND       ;
        ;------------------------
        LDP   #AIC_CTR
        LACC  AIC_CTR,2     ; Initialized control register
        ADD   #03h          ;
        CALL  AIC_2ND       ;
        RET                 ;

AIC_2ND:
        LDP   #0
        SACH  DXR           ;
        CLRC  INTM
        IDLE
        ADD   #6h,15        ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX XXXX XXXX b
        SACH  DXR           ;
        IDLE
        SACL  DXR           ;
        IDLE
        LACL  #0            ;
        SACL  DXR           ; make sure the word got sent
        IDLE
        SETC  INTM
        RET                 ;
*------------------------------ End Rountine For Set A/D ----------------------------*
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการคอมไพล์และรันโปรแกรม



Volt/DIV = ...1..... TIME/DIV = ...1 mS..... f = ...285..... Hz

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเราสามารถนำชิพ TMS-320C50 มาประยุกต์ใช้ในการผลิตสัญญาณได้ทั้ง 3 รูปแบบ คือ รูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) , รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) และ รูปคลื่นฟันเลื่อย (Saw Wave) ซึ่งมีหลักเกณฑ์ดังนี้

- การผลิตรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) นั้นการเปลี่ยนความถี่ใช้วิธีเปลี่ยนจำนวนจุด หรือเปลี่ยนความถี่แซมปลิ้ง (Sampling)

- การผลิตรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) และการผลิตรูปคลื่นฟันเลื่อย (Saw Wave) นั้นไม่สามารถให้สูงได้เนื่องจากภายในบอร์ด DSK มี Lowpass Filter อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถาม

1. ถ้าเปลี่ยนความถี่ Sampling เป็น 10 กิโลเฮิรตซ์ และ N = 16 จุด จะได้ความถี่เท่าใด

ตอบ $F = \frac{Fs}{N}$

$F = \frac{1000}{16}$

$F = 625$ Hz

2. จงเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการสร้างสัญญาณจาก DSP และสัญญาณที่ได้จากเครื่อง Function Generator

ตอบ ข้อดีของสัญญาณที่สร้างด้วย DSP คือ สามารถผลิตสัญญาณที่มีรูปร่างต่างๆ ที่เราต้องการได้ โดยการป้อนสมการให้กับ DSP และสัญญาณที่ได้จะละเอียดกว่าสัญญาณที่สร้างจาก Function Generator

ข้อเสีย คือ สัญญาณที่ได้จาก DSP จะมีความถี่ต่ำกว่าสัญญาณที่ได้จาก Function Generator

ข้อดี ของสัญญาณที่สร้างจาก Function คือ สามารถสร้างสัญญาณมาตรฐานได้ดี และมีความถี่สูง

ข้อเสีย คือ ไม่สามารถสร้างสัญญาณซับซ้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 3

Fast Fourier Transform (FFT)

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถเขียนโปรแกรมคำนวณหาค่า Fast Fourier Transform ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการพร็อตสเป็คตรัม จากค่าของ Fast Fourier Transform ได้
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถใช้งานโปรแกรม DSK Debugger ในการรันโปรแกรม Fast Fourier Transform ได้
4. เพื่อให้นักศึกษาสามารถเปรียบเทียบวิธีการคำนวณค่า FFT กับ DFT ได้

ทฤษฎี

การแปลงฟูเรียร์ (fourier transforms) เป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญที่ใช้กันบ่อยๆ ในระบบการปฏิบัติงาน ทางสัญญาณดิจิตอล โดยจุดมุ่งหมายของการ Tranfroms ก็คือเป็นการแปลงให้ทราบว่าจาก time domain เป็น frequency domain หรือการแปลงกลับจาก frequency domain เป็น time domain ผลจากการคำนวณจะเป็นเครื่องมือของ Fourier Transforms ทำให้ทราบค่าของ Fast Fourier Transform(FFT)

Fast Fourier Transforms(FFT) เป็นวิธีการที่ใช้ในการคำนวณ Discrete Fourier Transfrms(DFT) ให้เร็วขึ้น หรือให้มีลักษณะที่เป็นเรียลไทม์ขึ้น

ที่มาของ FFT โดยอาศัยหลักการของ DFT

วิธีการที่เสนอโดย คูลีย์ และ ทูคีย์ ซึ่งได้กล่าวมาแล้วนั้น ความเป็นจริงเป็นการแบ่งกลุ่มลำดับสัญญาณในโดเมนเวลา x(m) ที่มีขนาด N จุด ออกเป็นสองลำดับสัญญาณที่มีความยาว N/2 จุดเท่ากัน ทั้งสองลำดับนี้ให้ชื่อเรียกว่า ลำดับสัญญาณคู่ และ ลำดับสัญญาณคี่ โดยที่ลำดับสัญญาณคู่ เกิดจากการเอาลำดับในตำแหน่งเป็นเลขคู่มาเรียงกัน ที่เหลือก็เป็นลำดับสัญญาณคี่ ดังนั้นถ้าเรานิยามให้ $x_2(m)$ เป็นลำดับคู่และลำดับคี่เป็น $x_0(m)$ ตามลำดับ เพราะฉะนั้น

$$x_2(m) = x(2m) \quad ; m = 0,1,\ldots,(N/2) - 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x_0(m) = x(2m+1) \quad ; m = 0,1,..., (N/2) - 1$$

ด้วยการจัดแบ่งเช่นนี้ ถ้าให้ W_N แทนค่า W ของลำดับยาว N จุด ทำให้การคำนวณการแปลง DFT ของลำดับสัญญาณ x(m) ที่ยาว N จุดเขียนใหม่ได้เป็น

$$X(k) = \sum_{m=0}^{N-1} x_2(m)(W_N)^{km} + \sum_{m=0}^{N-1} x_0(m)(W_N)^{km}$$

$$= \sum_{m=0}^{(N/2)-1} x(2m)(W_N)^{2km} + \sum_{m=0}^{(N/2)-1} x(2m+1)(W_N)^{(2m+1)k}$$

โดยที่เขียนให้พจน์ $(W_N)^2$ เป็น

$$(W_N)^2 = \{\exp(j2\pi/N^2)\} = \exp(j2\pi/N/2) = W_{N/2}$$

ซึ่ง $W_{N/2}$ หรือค่า W ของลำดับยาว N/2 จุด เพราะฉะนั้น (2.37) จัดพจน์ใหม่ได้ คือ

$$X(k) = \sum_{m=0}^{(N/2)-1} x_2(m)(W_{N/2})^{km} + (W_N)^k \sum_{m=0}^{(N/2)-1} x_0(m)(W_{N/2})^{km}$$

$$X(k) = X_1(k) + (W_n)^k X_2(k) \qquad (2.38)$$

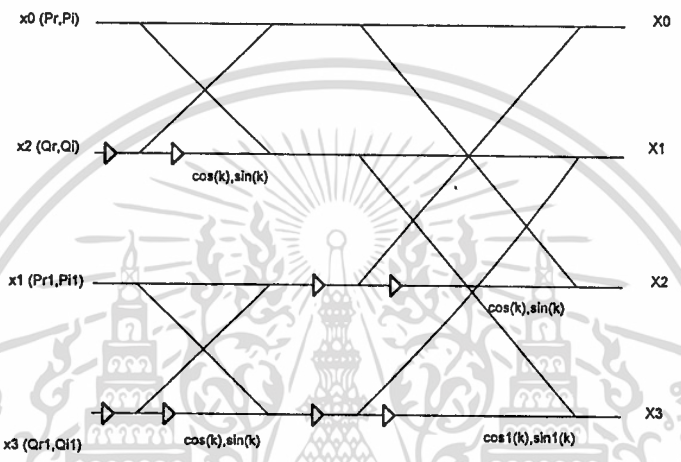
โดยที่ $x_1(k)$ และ $X_2(k)$ แทนผลการแปลง DFT ขนาด N/2 จุดของลำดับ $X_2(m)$ และ $X_0(m)$ ตามลำดับ สมการที่ (2.38) แสดงให้เห็นว่าการคำนวณ DFT ขนาด N จุด สามารถแบ่งคำนวณย่อยออกเป็น การคำนวณ DFT ขนาด N/2 จุดสองอันดับได้ และข้อสำคัญคือ การคูณจำนวนเชิงซ้อนจะลดลงเหลือ $2(N/2)^2 = N^2/2$ ครั้ง ซึ่งจะเห็นว่าลดเวลาการคำนวณลงไปถึง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยอาศัยหลักการเดียวกัน ถ้าเราแบ่งทอนลำดับ $X_2(m)$ และ $X_0(m)$ ออกเป็นลำดับคู่และลำดับคี่ลงไปอีกตามลำดับ จนในที่สุดเหลือเป็นลำดับขนาด 2 จุด หรือกล่าวได้ว่า การคำนวณการแปลง DFT ขนาด N จุด ทำได้โดยการคำนวณการแปลง DFT ขนาด 2 จุด จำนวน N/2 ภาคด้วยกัน ข้อสังเกตที่สำคัญก็คือ การซอยเพื่อลำดับ x(n) ออกเป็นทีละครึ่งจนเหลือการคำนวณ DFT ขนาด 2 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Fast Fourier Transforms(FFT) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

- ชนิดลดทอนเวลา(Decimation In Time หรือ DIT)
- ชนิดลดทอนความถี่(Decimation In Frequency หรือ DIF)

ส่วนของการทดลองใบงานนี้จะใช้วิธีลดทอนเวลา ดังรูปที่ 1 โดยใช้สมการที่ (3.3) และสมการที่ (3.4) ในการคำนวณ



รูปที่ 1

$$Pm = [Pr+Qr\cos(k)+Qi\sin(k)] + j[Pi+Qi\cos(k)-Qr\sin(k)] \quad (3.3)$$

$$Qm = [Pr-Qr\cos(k)-Qi\sin(k)] + j[Pi-Qi\cos(k)+Qr\sin(k)] \quad (3.4)$$

ค่าของตัวแปลต่างๆ ที่กำหนดในตำแหน่ง Data Memory

PR อยู่ที่ตำแหน่ง 0e00h

Pi อยู่ที่ตำแหน่ง 0e01h

Qr อยู่ที่ตำแหน่ง 0e02h

Qi อยู่ที่ตำแหน่ง 0e03h

Pr1 อยู่ที่ตำแหน่ง 0e15h

Pi1 อยู่ที่ตำแหน่ง 0e16h

Qr1 อยู่ที่ตำแหน่ง 0e17h

Qi1 อยู่ที่ตำแหน่ง 0e18h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cos(k) อยู่ที่ตำแหน่ง 0e04h

Sin(k) อยู่ที่ตำแหน่ง 0e05h

Cos1(k)อยู่ที่ตำแหน่ง 1000h

Sin1(k) อยู่ที่ตำแหน่ง 1001h

ผลของการรันโปรแกรมอยู่ที่ตำแหน่ง Data Memory

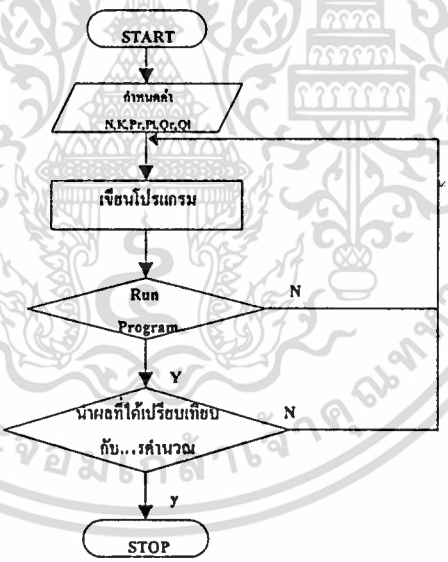
X0 อยู่ที่ตำแหน่ง (0e31h,0e32h)

X2 อยู่ที่ตำแหน่ง (0e33h,0e34h)

X1 อยู่ที่ตำแหน่ง (0e3fh,0e40h)

X0 อยู่ที่ตำแหน่ง (0e41h,0e42h)

ผังการทำงานของโปรแกรม Fast Fourier Transform



รูปที่ 2

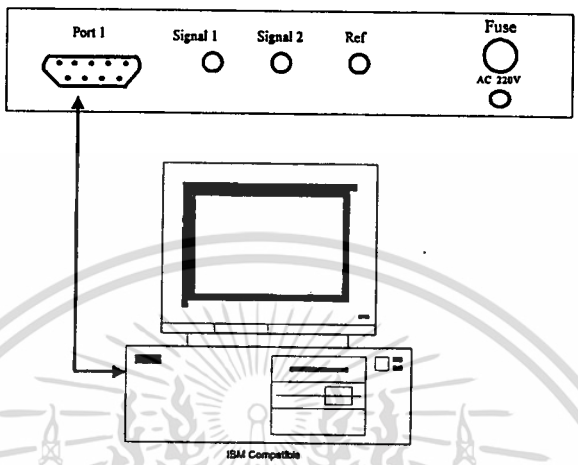
อุปกรณ์

1. ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	1	ชุด
2. เครื่องคอมพิวเตอร์	1	เครื่อง
3. แผ่นดิสก์ โปรแกรม DSK	1	แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3

2. ป้อนโปรแกรมตามนี้

```
        .mmregs
.entry
.ps     0a00h
.ds     0e00h
.int    1,2,3,4,5,6     ;pr,pi,qr,qi,cosx,sinx
.ds     0e15h
.int    7,8,9,2,5,6     ;pr1,pi1,qr1,qi1,cosx,sinx
.ds     1000h
.int    1,2             ;cosx1,sinx1
.text
 spm    0               ;no shift at output of p-registor
 ldp    #0              ;Set data page pointer
;
 lar    ar0,#0e02h
 lt     *               ;t-regestor = qr
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lar   ar0,#0e04h
        mpy   *          ;p-regestor = (t-regestor*cosx)
        lar   ar0,#0e03h
        ltp   *          ;ACC = (qr*cosx) ;t-registor = qi
        lar   ar0,#0e07h
        sacl  *+,0       ;data memory at 0e07h = ACC
    ;
        lar   ar0,#0e05h
        mpy   *          ;p-regestor = (qi*sinx)
        lar   ar0,#0e03h
        ltp   *          ;ACC = (qi*sinx) ;t-registor = qi
        lar   ar0,#0e08h
        sacl  *+,0       ;data memory at 0e08h = ACC
    ;
        lar   ar0,#0e04h
        mpy   *          ;p-regestor = (qi*cosx)
        lar   ar0,#0e02h
        ltp   *          ;ACC = (qi*cosx) ;t-registor = qr
        lar   ar0,#0e09h
        sacl  *+,0       ;data memory at 0e09h = ACC
    ;
        lar   ar0,#0e05h
        mpy   *          ;p-regestor = (qr*sinx)
        lar   ar0,#0e02h
        ltp   *          ;ACC = (qr*sinx) ;t-registor = qr
        lar   ar0,#0e0ah
        sacl  *+,0       ;data memory at 0e0ah = ACC
    ;
        lar   ar0,#0e00h
        lacl  *          ;ACC = pr
        lar   ar0,#0e07h
        add   *,0        ;ACC = ACC+data memory at 0e07h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lar   ar0,#0e08h
        add   *,0           ;ACC = ACC+data memory at 0e08h
        lar   ar0,#0e0eh
        sacl  *+,0          ;data memory at 0e0eh = ACC
;
        lar   ar0,#0e01h
        lacl  *             ;ACC = pi
        lar   ar0,#0e09h
        add   *,0           ;ACC = ACC+data memory at 0e09h
        lar   ar0,#0e0ah
        sub   *,0           ;ACC = ACC-data memory at 0e0ah
        lar   ar0,#0e0fh
        sacl  *+,0          ;data memory at 0e0fh = ACC
;
        lar   ar0,#0e00h
        lacl  *             ;ACC = pr
        lar   ar0,#0e07h
        sub   *,0           ;ACC = ACC-data memory at 0e07h
        lar   ar0,#0e08h
        sub   *,0           ;ACC = ACC-data memory at 0e08h
        lar   ar0,#0e10h
        sacl  *+,0          ;data memory at 0e10h = ACC
;
        lar   ar0,#0e01h
        lacl  *             ;ACC = pi
        lar   ar0,#0e09h
        sub   *,0           ;ACC = ACC-data memory at 0e09h
        lar   ar0,#0e0ah
        add   *,0           ;ACC = ACC+data memory at 0e0ah
        lar   ar0,#0e11h
        sacl  *+,0          ;data memory at 0e11h = ACC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lar   ar0,#0e17h
        lt    *
        lar   ar0,#0e19h
        mpy   *
        lar   ar0,#0e18h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e1ch
        sacl  *+,0
    ;
        lar   ar0,#0e1ah
        mpy   *
        lar   ar0,#0e18h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e1dh
        sacl  *+,0
    ;
        lar   ar0,#0e19h
        mpy   *
        lar   ar0,#0e17h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e1eh
        sacl  *+,0
    ;
        lar   ar0,#0e1ah
        mpy   *
        lar   ar0,#0e17h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e1fh
        sacl  *+,0
    ;
        lar   ar0,#0e15h
        lacl  *
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lar   ar0,#0e1ch
        add   *,0
        lar   ar0,#0e1dh
        add   *,0
        lar   ar0,#0e23h
        sacl  *+,0
    ;
        lar   ar0,#0e16h
        lacl  *
        lar   ar0,#0e1eh
        add   *,0
        lar   ar0,#0e1fh
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e24h
        sacl  *+,0
    ;
        lar   ar0,#0e15h
        lacl  *
        lar   ar0,#0e1ch
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e1dh
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e25h
        sacl  *+,0
    ;
        lar   ar0,#0e16h
        lacl  *
        lar   ar0,#0e1eh
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e1fh
        add   *,0
        lar   ar0,#0e26h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        sacl   *+,0
        lar    ar0,#0e23h
        lt     *
        lar    ar0,#0e19h
        mpy    *
        lar    ar0,#0e24h
        ltp    *
        lar    ar0,#0e2ah
        sacl   *+,0
    ;
        lar    ar0,#0e1ah
        mpy    *
        lar    ar0,#0e24h
        ltp    *
        lar    ar0,#0e2bh
        sacl   *+,0
    ;
        lar    ar0,#0e19h
        mpy    *
        lar    ar0,#0e23h
        ltp    *
        lar    ar0,#0e2ch
        sacl   *+,0
    ;
        lar    ar0,#0e1ah
        mpy    *
        lar    ar0,#0e23h
        ltp    *
        lar    ar0,#0e2dh
        sacl   *+,0
    ;
        lar    ar0,#0e0eh
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lacl   *
        lar    ar0,#0e2ah
        add    *,0
        lar    ar0,#0e2bh
        add    *,0
        lar    ar0,#0e31h
        sacl   *+,0
    ;
        lar    ar0,#0e0fh
        lacl   *
        lar    ar0,#0e2ch
        add    *,0
        lar    ar0,#0e2dh
        sub    *,0
        lar    ar0,#0e32h
        sacl   *+,0
    ;
        lar    ar0,#0e0eh
        lacl   *
        lar    ar0,#0e2ah
        sub    *,0
        lar    ar0,#0e2bh
        sub    *,0
        lar    ar0,#0e33h
        sacl   *+,0
    ;
        lar    ar0,#0e0fh
        lacl   *
        lar    ar0,#0e2ch
        sub    *,0
        lar    ar0,#0e2dh
        add    *,0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lar   ar0,#0e34h
        sacl  *+,0
        lar   ar0,#0e25h
        lt    *
        lar   ar0,#1000h
        mpy   *          ;data memory at 1000h = cosx1
        lar   ar0,#0e26h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e38h
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#1001h
        mpy   *          ;data memory at 1001h = sinx1
        lar   ar0,#0e26h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e39h
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#1000h
        mpy   *
        lar   ar0,#0e25h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e3ah
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#1001h
        mpy   *
        lar   ar0,#0e25h
        ltp   *
        lar   ar0,#0e3bh
        sacl  *+,0
;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lar   ar0,#0e10h
        lacl  *
        lar   ar0,#0e38h
        add   *,0
        lar   ar0,#0e39h
        add   *,0
        lar   ar0,#0e3fh
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#0e11h
        lacl  *
        lar   ar0,#0e3ah
        add   *,0
        lar   ar0,#0e3bh
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e40h
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#0e10h
        lacl  *
        lar   ar0,#0e38h
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e39h
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e41h
        sacl  *+,0
;
        lar   ar0,#0e11h
        lacl  *
        lar   ar0,#0e3ah
        sub   *,0
        lar   ar0,#0e3bh
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
add   *,0
lar   ar0,#0e42h
sacl  *+,0
.end
```

Output FFT 4 point look from Data memmory at

X0 = (0e31h,0e32h)

X2 = (0e33h,0e34h)

x1 = (0e3fh,0e40h)

x3 = (0e41h,0e42h)

3. คอมไพล์โปรแกรมและเข้าสู่ดีบัคเกอร์
4. ทำการรันโปรแกรม FFT4.DSK

   พิมพ์ XG ↵
5. ดูผลที่ได้จากการ Run โปรแกรม ใน Data Memory ที่ตำแหน่งต่อไปนี้

   X0 (0e31h,0e32h) = 144, -560

   X2 (0e33h,0e34h) = 16, 125

   X1 (0e3fh,0e40h) = -64, 568

   X3 (0e41h,0e42h) = -92, -152

6. ใส่แผ่น DSK ใน drive A

   พิมพ์ DSK5d ↵ เพื่อเข้าไปในโปรแกรม DSK
7. โหลดไฟล์ชื่อว่า DSK_SPEC.DSK

   พิมพ์ LD DSK_SPEC.DSK ↵
8. ทำการรันโปรแกรม DSK_SPEC.DSK

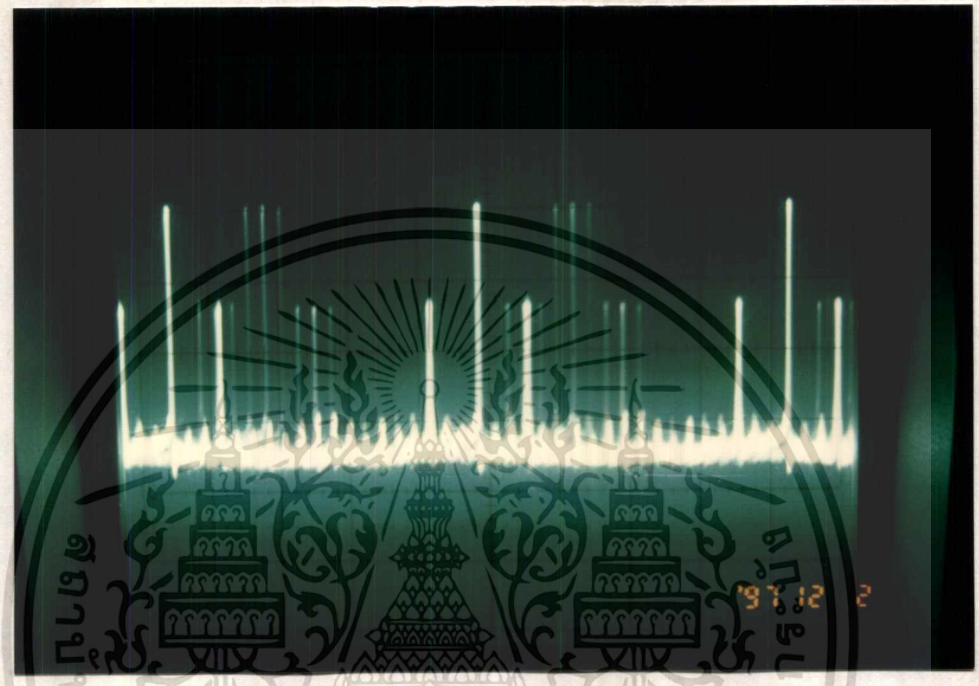
   พิมพ์ XG ↵

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. กำหนดความถี่ที่ Function Generator มีค่าเท่ากับ.....Hz

Amplitude มีค่าเท่ากับ.....Volt /* ให้ผู้ทดลองกำหนดเอง*/

10. ดูผลที่ได้จากสโคป และบันทึกผลการทดลอง



Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

สรุปผลการทดลอง

จากการรันโปรแกรม FFT4.DSK จะทำให้ทราบถึงวิธีการเขียนโปรแกรมและการแสดงผลของข้อมูลที่ตำแหน่ง Data Memory ที่กำหนดไว้ในโปรแกรมและสามารถทำการเปลี่ยนค่าอินพุตที่เข้ามายัง FFT แบบ 4 จุด โดยไม่ต้องใช้วิธีการคำนวณทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถาม

1. จากโปรแกรม FFT4.DSK จงเปลี่ยนค่าที่กำหนดให้ลงไปในโปรแกรม ตามที่กำหนดให้ในData Memory ดูผลจากการรันโปรแกรม

Pr,Pi = (1,0)

Qr,Qi = (1,1)

Pr_1,Pi_1 = (1,0)

Qr_1,Qi_1 = (1,0)

Cos(k),Sine(k) = (1,2)

Cos1(k),Sine1(k) = (3,4)

ตอบ X0 (0e31h,0e32h) = 2 , -7

X2 (0e33h,0e34h) = 6 , 5

X1 (0e3fh,0e40h) = 6 , 7

X3 (0e41h,0e42h) = -10 , -5

2. จากข้อที่ 1 จงใช้วิธีการคำนวณทางทฤษฎีในการคำนวณค่าเอาต์พุต

ตอบ X0 (0e31h,0e32h) = 2 , -7

X2 (0e33h,0e34h) = 6 , 5

X1 (0e3fh,0e40h) = 6 , 7

X3 (0e41h,0e42h) = -10 , -5

3. เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการใช้โปรแกรมกับการคำนวณทางทฤษฎีจะมีค่าเท่ากันหรือไม่เท่ากัน

ตอบ ผลที่ได้มีค่าเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4

ไอไอออาร์ ฟิลเตอร์ (IIR filter)

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของฟิลเตอร์แบบไอไออาร์
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถบอกวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ ของไอไออาร์

ทฤษฎี

วงจรกรองแบบไอไออาร์ (IIR Filter)

สมการที่ (1) เป็นสมการที่ใช้ในการออกแบบ

$$y(n) = \sum_{k=1}^{N} a_k y(n-k) + \sum_{k=1}^{M} b_k x(n-k) \qquad (1)$$

$$y(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y(n) z^{-n}$$

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} [\sum_{k=1}^{m} a_k y(n-k) + \sum_{k=-NF}^{NP} bk x(n-k)]\, z^{-n}$$

$$= \sum_{k=1}^{m} a_k \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_k y(n-k) z^{-n} + \sum_{k=-NF}^{NP} bk \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n-k) z^{-n}$$

$$Y(z) = \sum_{k=1}^{m} akz^{-k} Y(z) + \sum_{k=-NF}^{NP} bkz^{-k} X(z)$$

$$Y(z)\left[1 - \sum_{k=1}^{m} akz^{-k}\right] = X(z) \sum_{k=-NF}^{NP} bkz^{-k}$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=-NF}^{NP} bkz^{-k}}{1 - \sum_{k=1}^{m} akz^{-k}}$$

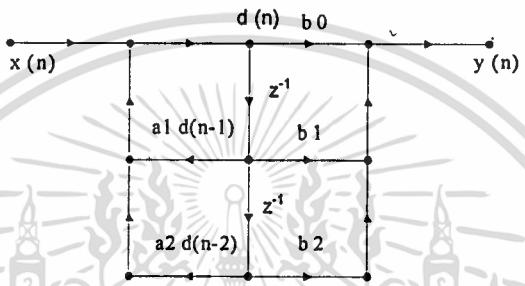
จะเห็นว่าสมการนี้เป็นสมการของดิจิตอลฟิลเตอร์ สำหรับ M จะเป็นความยาวของฟิลเตอร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนของสัมระสิทธิ์ b_k และ N จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนสัมประสิทธิ์ a_k

จากสมการของวงจรกรอง ไอไออาร์ จะเห็นว่าเป็นรูปแบบของสมการคอนโวลูชั่น (Convolution Equation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากให้ X (z), Y (z), และ H (z) เป็น z-transform ของฟังก์ชั่นทั้งสาม จะได้ดังสมการที่ 2

$$H(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = \frac{\sum_{k=0}^{M} b_k z^{-k}}{1 - \sum_{k=1}^{N} \alpha_k z^{-k}} \qquad (2)$$



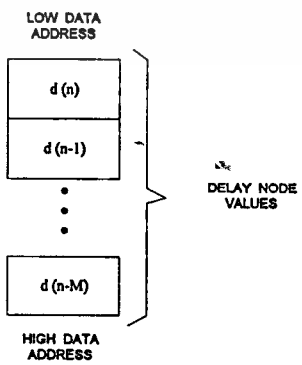
รูปที่ 1 โครงสร้างวงจรกรองเชิงเลขไอไออาร์ แบบไดเร็คฟอร์ม-ทู

จากรูปที่ 1 จะได้ สมการผลต่าง (Different Equation) คือ

$$d(n) = x(n) + a_1 d(n-1) + a_2 d(n-2) \qquad (3)$$

$$y(n) = b_0 d(n) + b_1 d(n-1) + b_2 d(n-2) \qquad (4)$$

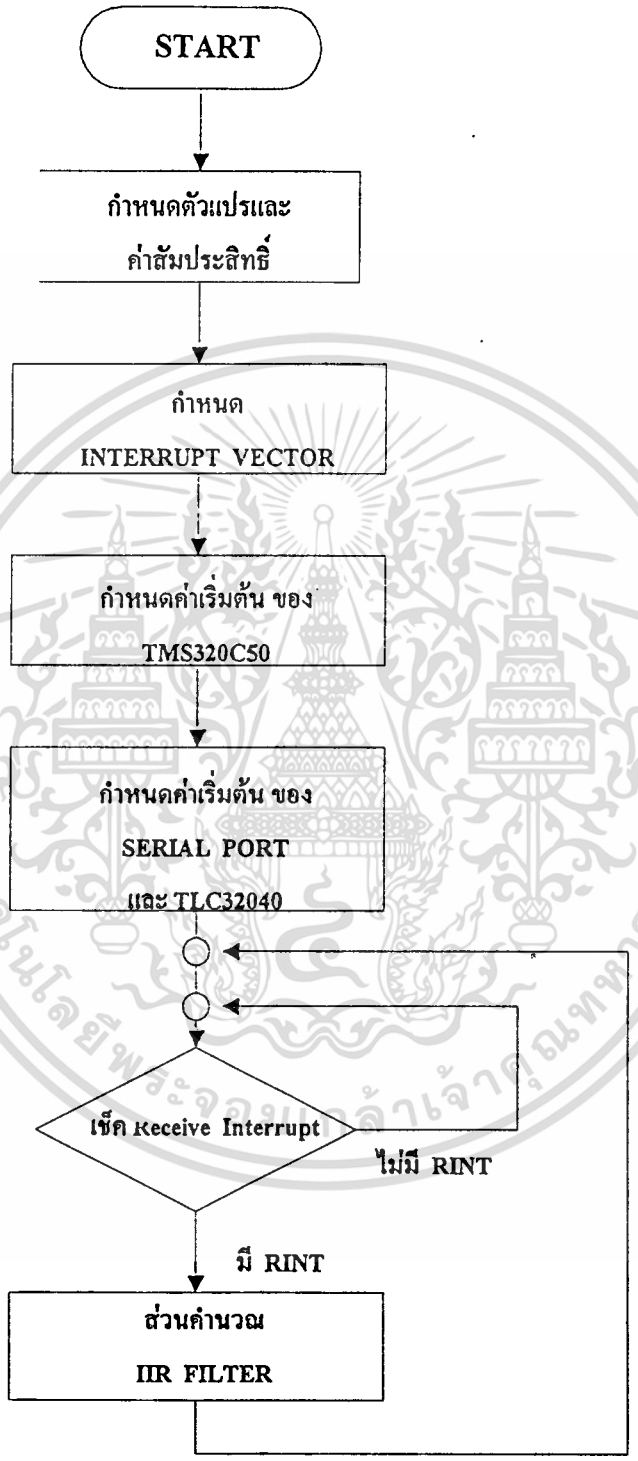
สำหรับส่วนของดีเลย์โหนด (Delay Node) ก็จะถูกเก็บไว้เป็นลำดับตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเก็บค่าของดีเลย์โหนดไว้ในดาต้าแมมโมรี จองไดเร็คฟอร์ม-ทู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผังการทำงานโปรแกรมของวงจรกรองเชิงเลขไอไออาร์



รูปที่ 3

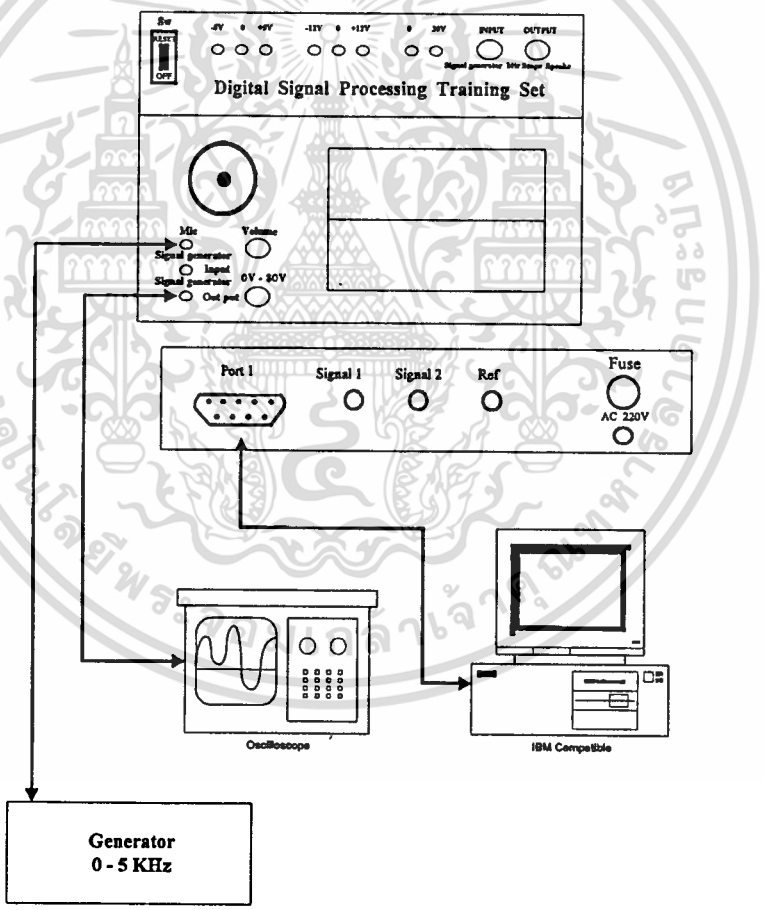
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์

1. ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	1	ชุด
2. สโคป	1	เครื่อง
3. ซิกแนลเจนเนอร์เรเตอร์	2	เครื่อง
4. เครื่องคอมพิวเตอร์	1	เครื่อง
5. แผ่นดิสก์โปรแกรม DSK	1	เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ป้อนโปรแกรมดังนี้

```
        mmregs
      .ds    0f00h
*-------------------------------- Start Rountine For Set Sampling rate ------------------------------*
TA     .word   18          ; Fcut = 4 KHz
RA     .word   18          ; Fcut = 4 KHz
TAp    .word   1           ;
RAp    .word   1           ;
TB     .word   35          ; Fs = 2*Fcut
RB     .word   35          ; Fs = 2*Fcut
AIC_CTR .word  8h
      .ps    080ah
rint:  B      RECEIVE     ;0A; Serial prot receive interrupt RINT.
xint:  B      TRANSMIT    ;0C; Serial port transmit interrupt XINT.
     .ps 0a00h
     .entry
START: SETC   INTM          ; Disable interrupts
     LDP    #0          ; Set data page pointer
     OPL    #0834h,PMST
     LACC   #0
     SAMM   CWSR          ; Set software wait state to 0
     SAMM   PDWSR         ;

* Reset AIC by writing to PA2 (address >52) to DSK

     SPLK   #022h,IMR      ; Using XINT syn TX & RX
     CALL   AICINIT        ; initialize AIC and enable interrupts
     CLRC   OVM           ; OVM = 0
     SPM    0           ; PM = 0
     SPLK   #012h,IMR
     CLRC   INTM          ; enable
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ldp   #0
*------------------------------ End Rountine For Set Sampling rate ----------------------------------*

*---------------------------- Start Main Program ----------------------------------*
s1:   idle
      MAR   *, AR0
      LAR   AR0, #400h          ; Ar0 ⟶ Input DATA
      LACL  DRR
      SACL  *
      ZPR
      LACC  * ,15 ,AR1
      LAR   AR1, #304h          ; Ar1 ⟶ Save dn
      RPT   #3
      MAC   COEFFA ,*-
      APAC
      SACH  * ,1
      LAR   AR1, #304h
      splk  #4, brcr
      rptb  pp
      mpy   #0
      pac
pp:   MACD  COEFFB ,*-
      LTA   * ,AR2
      SACL  DXR, 2
      b     s1
*---------------------------------- End Main Program ------------------------------*
RECEIVE:     rete
TRANSMIT:    rete
*-------------------------------- Start Rountine For Set A/D ---------------------------*
AICINIT: SPLK   #20h,TCR        ; To generate 10 MHz from Tout
      SPLK   #01h,PRD           ; for AIC master clock
      MAR    *,AR0
```

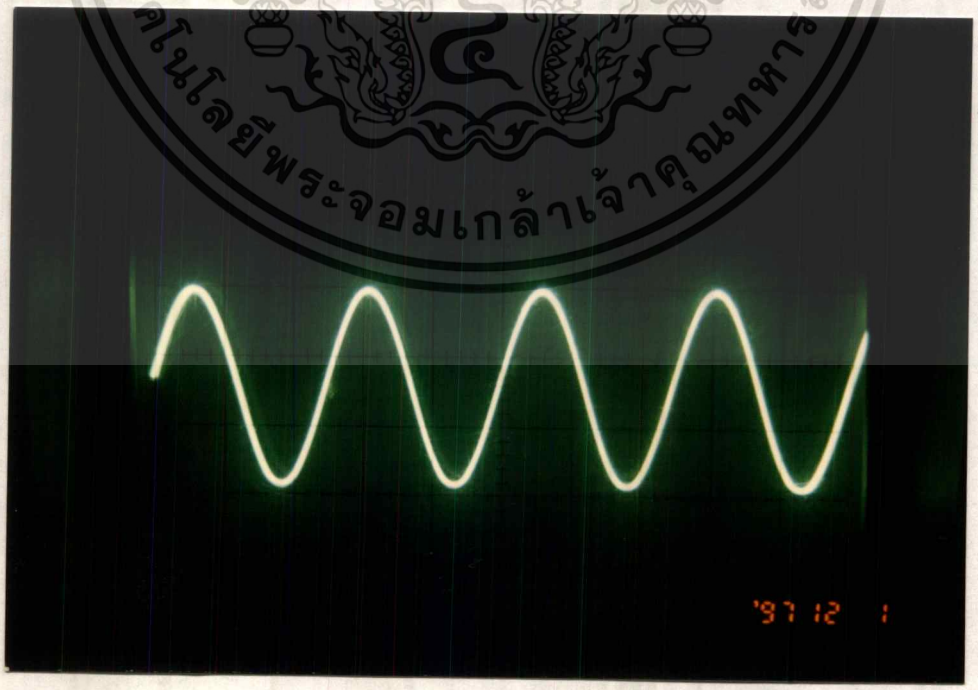
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        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         ; Initialized TA and RA register
        ADD    RA,2         ;
        CALL   AIC_2ND      ;
        ;------------------------
        LDP    #TB
        LACC   TB,9         ; Initialized TB and RB register
        ADD    RB,2         ;
        ADD    #02h         ;
        CALL   AIC_2ND      ;
        ;------------------------
        LDP    #AIC_CTR
        LACC   AIC_CTR,2    ; Initialized control register
        ADD    #03h         ;
        CALL   AIC_2ND      ;
        RET                 ;
    AIC_2ND:
        LDP    #0
        SACH   DXR          ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CLRC   INTM
IDLE
ADD    #6h,15        ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX XXXX XXXX b
SACH   DXR           ;
IDLE
SACL   DXR           ;
IDLE
LACL   #0            ;
SACL   DXR           ; make sure the word got sent
IDLE
SETC   INTM
RET
*------------------------------ End Rountine For Set A/D ----------------------------------*
COEFFB: .int  2, 4, 12, 8, 2                    ; Coeff B
COEFFA: .int  1000, 2000, 6000, 4000            ; Coeff A
```

3. ปรับความถี่ที่ 200 Hz 3Vp-p

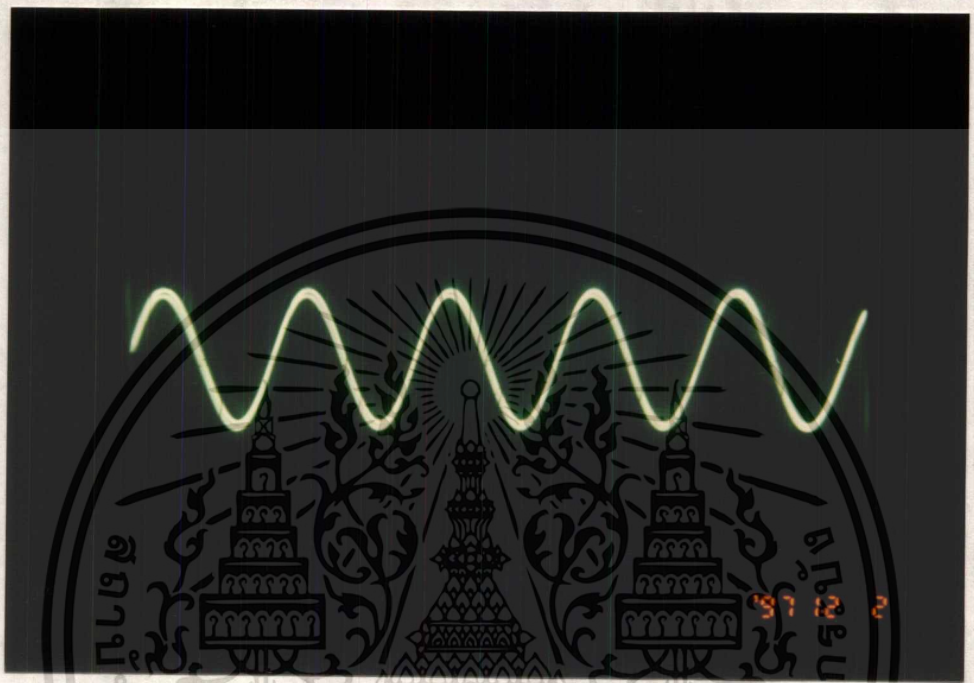


Volt/DIV = ...1..... TIME/DIV = ...2 mS..... f = ...200..... Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คอมไพล์และรันโปรแกรม

5. ทำการปรับความถี่ให้สูงขึ้นจนแอมปลิจูดลดลงเป็น 0.707 ของแรงดันอินพุต อ่านค่าความถี่และวาดรูปสัญญาณ



Volt/DIV = ...1.... TIME/DIV = ...0.5 mS.. f = ...951..... Hz

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองได้นำชิพ TMS-320C50 มาประยุกต์ใช้เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านชนิดไอไออาร์ฟิลเตอร์ ซึ่งเป็นการสะดวกเพราะสามารถสร้างจากซอฟต์แวร์เพียงไม่กี่บรรทัดแทนการต่อฮาร์ดแวร์ทที่ยุ่งยากและซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถาม

1. จงบอกข้อดีและข้อเสียของวงจรกรองเชิงเลขแบบ ไอไออาร์

ตอบ วงจรกรองประเภทไอไออาร์ เป็นการตอบสนองค่าหนึ่งจะมีจำนวนอนันต์

ข้อเสีย คือ การตอบสนองความถี่ของเฟสไม่เป็นเชิงเส้นโดยแท้จริง และจะขาดเสถียรภาพ เนื่องจากโครงสร้างมีส่วนการป้อนกลับ

ข้อดี คือ จะใช้ออเดอร์ที่ต่ำ หมายความว่า ไอไออาร์ฟิลเตอร์จะทำงานเร็ว เพราะใช้หน่วยความจำน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 5

เอฟไอาร์ฟิลเตอร์ (FIR filter)

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของฟิลเตอร์แบบเอฟไอาร์ ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถบอกวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ของ เอฟไอาร์ได้
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถเขียนโครงสร้างและเขียนไดอะแกรม Filter FIR ได้

ทฤษฎี

วงจรกรองแบบเอฟไอาร์ (FIR Filter)

สมการที่ (1) เป็นสมการที่ใช้ในการออกแบบ

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M} b_x x(n-k) \qquad (1)$$

จะเห็นว่าสมการนี้เป็นสมการของดิจิตอลฟิลเตอร์ที่มี $a_k = 0$ สำหรับ M จะเป็นความยาวของฟิลเตอร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนของสัมประสิทธิ์ b_k โดย b_k จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนอิมพัลส์เรสอนส์ ของฟิลเตอร์ ตามที่ได้ออกแบบไว้

จากสมการของวงจรกรองเอฟไอาร์ จะเห็นว่าเป็นรูปแบบของสมการคอนโวลูชัน (Convolution Equation) ดังสมการที่ (2)

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M} h(k) x z^{-1} \qquad (2)$$

การหาสัมประสิทธิ์ของ FIR Fillter

$$r(n) = = \begin{cases} \frac{1}{\pi n}(\sin\omega_2 n - \sin\omega_1 n); n \neq 0 \\ \frac{1}{\pi}(\omega_2 - \omega_1); n = 0 \end{cases}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราได้ค่า h(n) แต่ละตัว จากนั้นต้องทำการคูณด้วยค่า Windows hamming จากสมการ

$$\omega(n) = \begin{cases} 0.5 + 0.5\cos(\pi n / (1 + M/2)); -M/2 \le n \le M/2 \\ 0; |n| \rangle M/2 \end{cases}$$

$$h(n) = r(n) * \omega(n)$$

สำหรับในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของ FIR Filter ในใบงานการทดลอง จะใช้โปรแกรมภาษาซีในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์

โปรแกรมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์

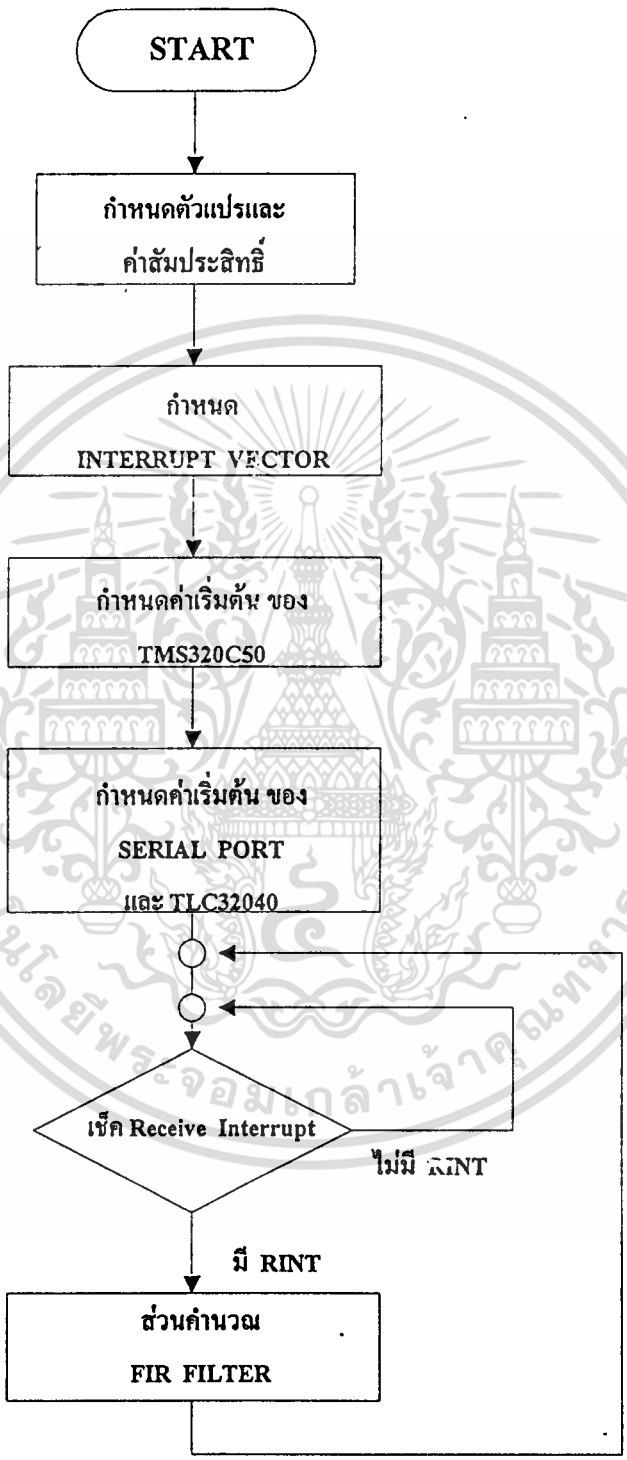
```
#include <dos.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdarg.h>
#include <io.h>
int     a, b, c, m;
float   d, fs, w1, w2, pi=3.1415926, yn;
float   coeff[1024], xn[1024];
main ()
{
   clrscr ();
   printf ("Number of M : ");scanf ("%d", &m);          /* Input Parameter */
   printf ("Sampling rate (fs) Hz : ");scanf ("%f", &fs);
   printf ("Lower frequency (w1) Hz : ");scanf ("%f", &w1);
   printf ("Uper frequency (w2) Hz : ");scanf ("%f", &w2);
   printf ("\n\nCoefficiens :\n");
/*    m=m*2+1;  */
   w1=(w1*2*pi)/fs;              /* Normalize frequency */
   w2=(w2*2*pi)/fs;
   b=-m/2;
   for (a=0; a<m; a++, b++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        {
            if  (b==0)
                coeff[a]=(1/pi)*(w2-w1);
            else
            {
                coeff[a]=((1/(pi*b))*sin (w2*(float)b))-((1/(pi*b))*sin (w1*(float)b));
            }
            printf ("\t[a%d] : %f \n", a, coeff[a]);
        }
    }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผังการทำงานโปรแกรมฟิลเตอร์แบบเอฟไออาร์



รูปที่ 1

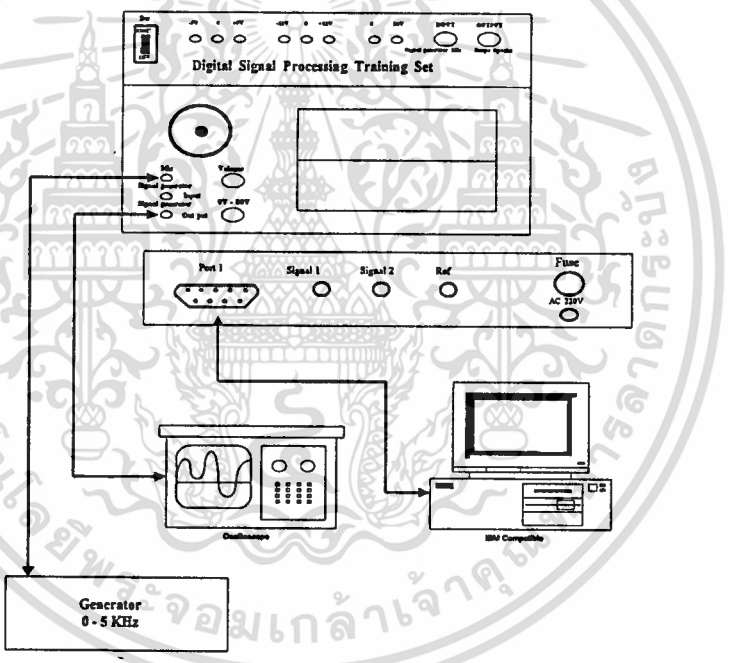
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์

1. ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	1	ชุด
2. สโคป	1	เครื่อง
3. ซิกแนลเจนเนอร์เรเตอร์	2	เครื่อง
4. เครื่องคอมพิวเตอร์	1	เครื่อง
5. แผ่นดิสก์โปรแกรม DSK	1	เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2

2. ป้อนโปรแกรมดังนี้

```
.mmregs
.ds    0f00h
*------------------------- Start Rountine For Set Sampling rate -------------------------*
TA     .word   18          ; Fcut = 4 KHz
RA     .word   18          ; Fcut = 4 KHz
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TAp     .word   1           ;
RAp     .word   1           ;
TB      .word   35          ; Fs = 2*Fcut
RB      .word   35          ; Fs = 2*Fcut
AIC_CTR .word   8h
        .ps     080ah
rint:   B       RECEIVE     ;0A; Serial prot receive interrupt RINT.
xint:   B       TRANSMIT    ;0C; Serial port transmit interrupt XINT.
        .ps 0a00h
        .entry
START:  SETC    INTM        ; Disable interrupts
        LDP     #0          ; Set data page pointer
        OPL     #0834h,PMST
        LACC    #0
        SAMM    CWSR        ; Set software wait state to 0
        SAMM    PDWSR       ;
* Reset AIC by writing to PA2 (address >52) to DSK
        SPLK    #022h,IMR   ; Using XINT syn TX & RX
        CALL    AICINIT     ; initialize AIC and enable interrupts
        CLRC    OVM         ; OVM = 0
        SPM     0           ; PM = 0
        SPLK    #012h,IMR
        CLRC    INTM        ; enable
        ldp     #0
*------------------------------ End Rountine For Set Sampling rate ----------------------------*

*------------------------------ Start Main Program ------------------------------*
s1:     idle
        MAR     *, AR0
        LAR     AR0, #400h          ; Output DATA
        LACL    DRR                 ; ACC = DRR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SACL   *, 0, AR0
        LACL   #0000h
        LAR    AR0, #414h
        RPT    #20                ; Counter 20 point
        MACD   coeff, *-          ; Convolution Coeff
        APAC
        rptk   #16
        ror
        SACL   DXR,2
        b      s1
*-------------------------- End Main Program ----------------------------*;
RECEIVE:      rete;
TRANSMIT:     RETE
*-------------------------- Start Rountine For Set A/D ------------------------------*
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                ;
```

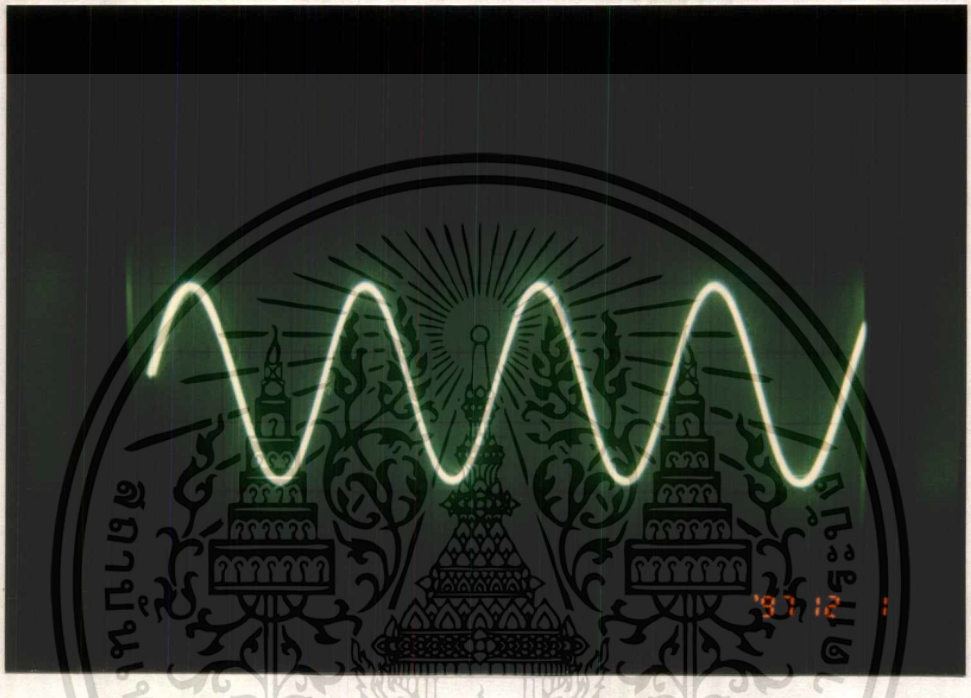
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LACC   TA,9          ; Initialized TA and RA register
        ADD    RA,2          ;
        CALL   AIC_2ND       ;
        ;------------------------
        LDP    #TB
        LACC   TB,9          ; Initialized TB and RB register
        ADD    RB,2          ;
        ADD    #02h          ;
        CALL   AIC_2ND       ;
        ;------------------------
        LDP    #AIC_CTR
        LACC   AIC_CTR,2     ; Initialized control register
        ADD    #03h          ;
        CALL   AIC_2ND       ;
        RET                  ;

AIC_2ND:
        LDP    #0
        SACH   DXR           ;
        CLRC   INTM
        IDLE
        ADD    #6h,15        ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX XXXX XXXX b
        SACH   DXR           ;
        IDLE
        SACL   DXR           ;
        IDLE
        LACL   #0            ;
        SACL   DXR           ; make sure the word got sent
        IDLE
        SETC   INTM
        RET                  ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
*----------------------------- End Rountine For Set A/D ----------------------------*
coeff: .int   3180, 2500, 0, -3210, -5300, -4500, 0, 7500, 15910, 22500, 25000      ; Coeff 20 point
       .int   22500, 15910, 7500, 0, -4500, -5300, -3210, 0, 2500, 3180
```

3. ปรับความถี่ที่ 200 Hz 3Vp-p

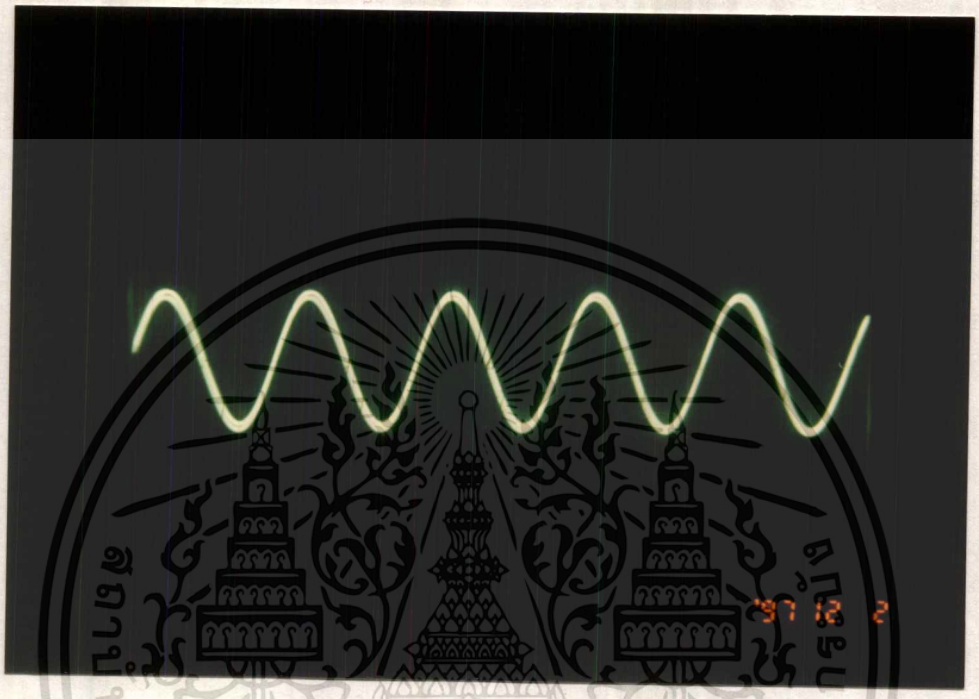


Volt/DIV = ...1..... TIME/DIV = ...0.5 mS. f = ..890. Hz

4. คอมไพล์และรันโปรแกรม

5. ทำการปรับความถี่ให้สูงขึ้นจนแอมปลิจูดลดลงเป็น 0.707 ของอินพุต อ่านค่าความถี่และวาดรูปสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volt/DIV = ...1.... TIME/DIV = ...0.5 mS..... f = .890.... Hz

6.ใช้โปรแกรมคำนวณเอฟไออาร์ ที่มาพร้อมกับชุดฝึก โดยที่กำหนดความถี่คัทออฟที่ 2 กิโลเฮิรตซ์ ความถี่ Sampling ที่ 8 กิโลเฮิรตซ์ และออเดอร์เท่ากับ 8

6.1 รันโปรแกรม คำนวณค่าสัมประสิทธิ์

Number of M : 4

Sampling rate (Fs) Hz : 8000

Lower Frequency (w1) : 0

Upper Frequency (w2) : 2000

6.2 ทำการสเกลค่าที่ได้ด้วยการคูณด้วย 1000

h (0) = ...0.....

h (1) = ...-1061...

h (2) = ...0.....

h (3) = ...3183...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h (4) = ...5000.....

h (5) = ...3183.....

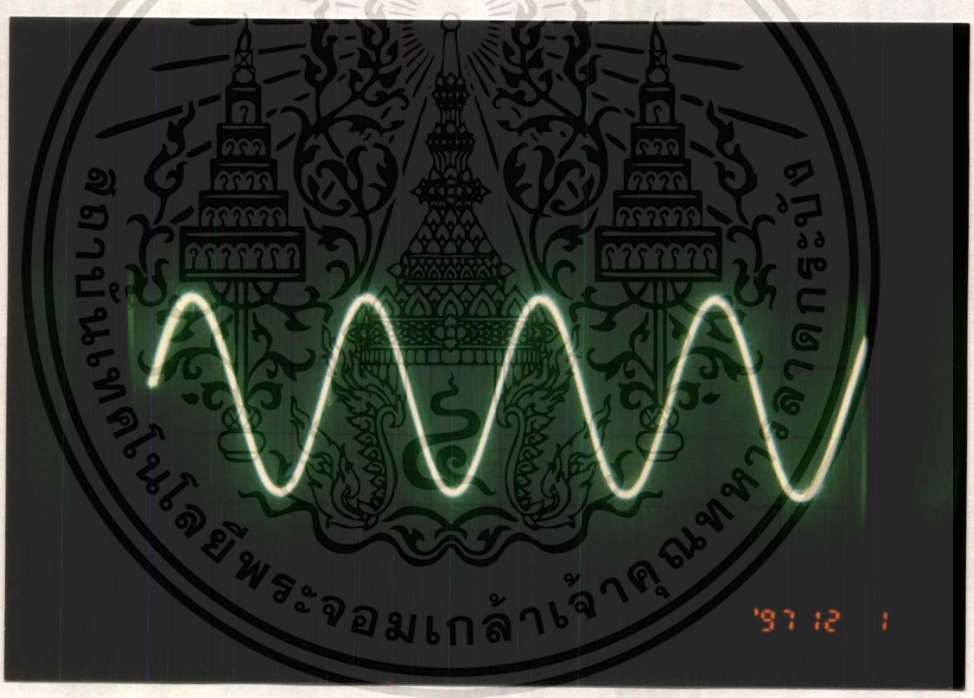
h (6) = ...0.....

h (7) = ...-1061.....

h (8) = ...0.....

6.3 นำค่าที่ได้แทนใน Coeff ในโปรแกรม และกำหนดจำนวนลูป และเปลี่ยนค่าต่างๆ จากนั้นทำการคอมไพล์ และรันโปรแกรม

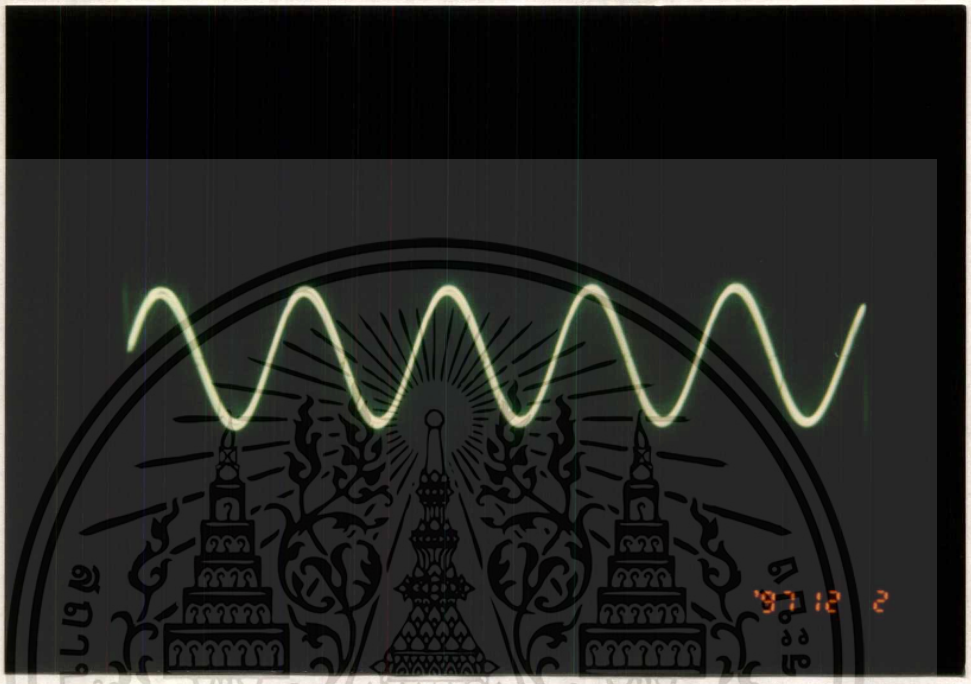
7. ปรับความถี่ที่ 200 Hz 3Vp-p



Volt/DIV = ...1..... TIME/DIV = ...2 mS..... f = ...200..... Hz

8. ปรับความถี่ให้สูงขึ้นจนมีค่าแอมปลิจูด เป็น 0.707 ของแรงดันอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volt/DIV = ...1..... TIME/DIV = ...0.2 mS..... f = ...1951.... Hz

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองใช้ชิพ TMS-320C50 มาประยุกต์ใช้เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านชนิดเอฟไออาร์ ซึ่งเป็นการสะดวกเพราะสามารถสร้างจากซอฟต์แวร์ แทนการต่อวงจรที่ยุ่งยากและซับซ้อน

คำถาม

1. จงบอกข้อดีข้อเสียของวงจรกรองเชิงเลขแบบเอฟไออาร์

ตอบ ข้อดี สามารถออกแบบให้มีการตอบสนองความถี่ของเฟส มีความเป็นเชิงเส้นได้โดยแท้จริง และวงจรกรองประเภทเอฟไออาร์จะมีการเสถียรภาพเสมอ เนื่องจากโครงสร้างปราศจากส่วนป้อนกลับ

ข้อเสีย จะต้องใช้จำนวนลำดับ (order) มากทำให้เปลืองหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 6

Adaptive filter

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Adaptive filter ได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถบอกประโยชน์ของ Adaptive filter ได้
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถนำหลักการทำงานของ Adaptive filter ไปประยุกต์ใช้งานได้

ทฤษฎี

สมการที่ใช้ในการสร้าง Adaptive Filter จะใช้สมการของลีดมีนสแควร์เป็นสำคัญ ซึ่งจากการพิสูจน์ทางพีชคณิตจะได้สมการสำคัญ คือ

$$W_{k+1} = W_k + \mu\, \omega_1\, X(k) \qquad (1)$$

เมื่อ

W_{k+1} W_k คือ ค่าสัมประสิทธิ์

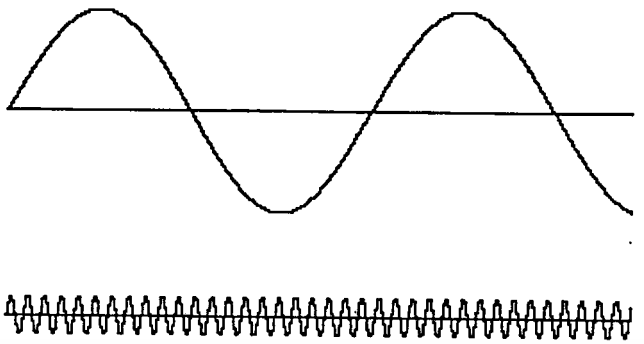
μ คือ ค่าอัตราขยายที่เหมาะสมของตัวกลาง

ω_1 คือ ผลต่างของสัญญาณที่ผ่านการคอนโวลูชั่น

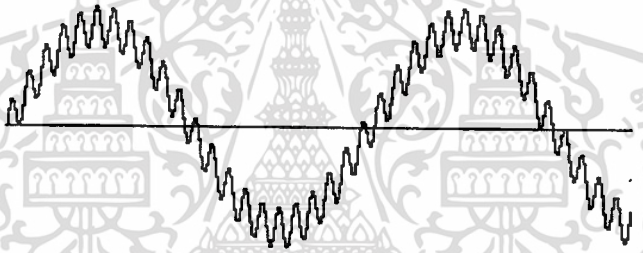
$X(k)$ คือ สัญญาณอินพุตที่ถูกเลื่อนในกระบวนการคอนโวลูชั่นที่ตำแหน่งต่างๆ

หลักการทำงานนำสัญญาณที่ได้ทั้งสองนี้มาประมวลผลรวมกันผลที่ได้ดังรูปที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 สัญญาณอินพุตสองความถี่



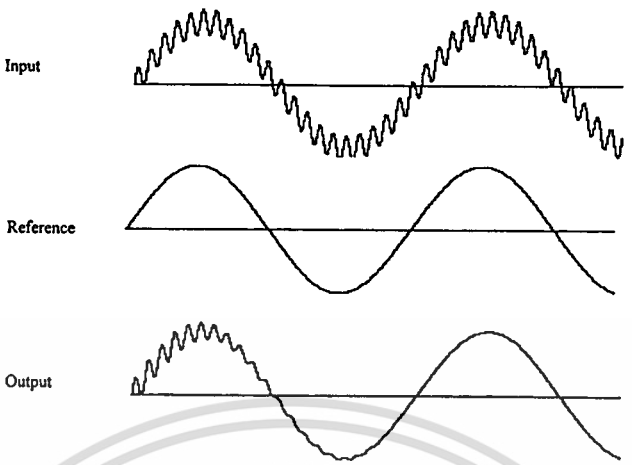
รูปที่ 2 สัญญาณที่เกิดจากการรวมสัญญาณในรูปที่ 1 เข้าด้วยกัน

จึงนำสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 2 นี้มาทำการจำลองการทำงานกับโปรแกรมตัวกรองแบบปรับค่าได้ ซึ่งกำหนดค่าสัมประสิทธิในการปรับไว้ 50 จุด ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานแสดงออกใน 2 ลักษณะดังนี้

การติดตามสัญญาณที่ไม่ต้องการ

นำสัญญาณที่ผ่านการคอนโวลูชั่นออกเป็นสัญญาณเอาต์พุต ตัวกรองปรับค่าได้นี้จะแสดงผลเป็น การติดตามสัญญาณที่ไม่ต้องการ กล่าวคือ เป็นตัวกรองปรับค่าได้จะปรับค่าตามสัญญาณอ้างอิง นั่นคือเป็นผลให้สัญญาณที่มีรูปแบบตรงกับสัญญาณอ้างอิงนั้นผ่านไปได้ ดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 สัญญาณที่ได้จากตัวกรองปรับค่าได้ในลักษณะการติดตามสัญญาณที่ไม่ต้องการ

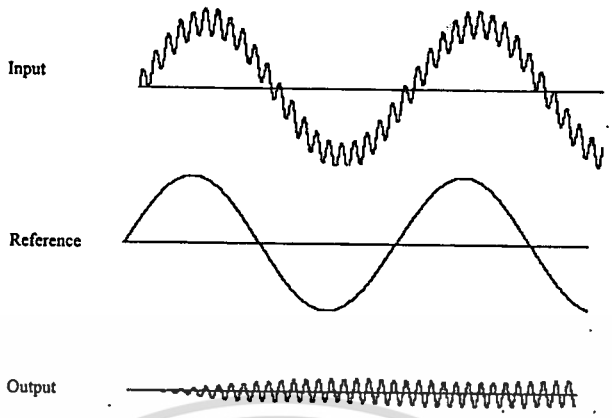
จากผลการทำงานจะพบว่าในช่วงเวลาเริ่มต้นของการปรับค่าสัมประสิทธิ์ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีความเพี้ยน ทั้งนี้เนื่องจากตัวกรองปรับค่าได้พยายามปรับค่าสัมประสิทธิ์ตามสัญญาณอ้างอิง

การกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ

นำสัญญาณที่ผ่านการคอนโวลูชั่นไปหักล้างกับสัญญาณอินพุต ตัวกรองปรับค่าได้จะแสดงผลเป็นการกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ กล่าวคือ ตัวกรองปรับค่าได้จะไม่ยอมให้สัญญาณที่มีลักษณะที่มีลักษณะตรงกับสัญญาณอ้างอิงผ่านออกไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 4

ซึ่งผลที่ได้ในลักษณะนี้ถือว่าเป็นการขยายผลของสมการลีดมีนสแควร์ และจากการทดลองจำลองการทำงานในลักษณะดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด ก็ต่อเมื่อสัญญาณอ้างอิงและสัญญาณอินพุตเกิดขึ้นที่เวลาเดียวกัน

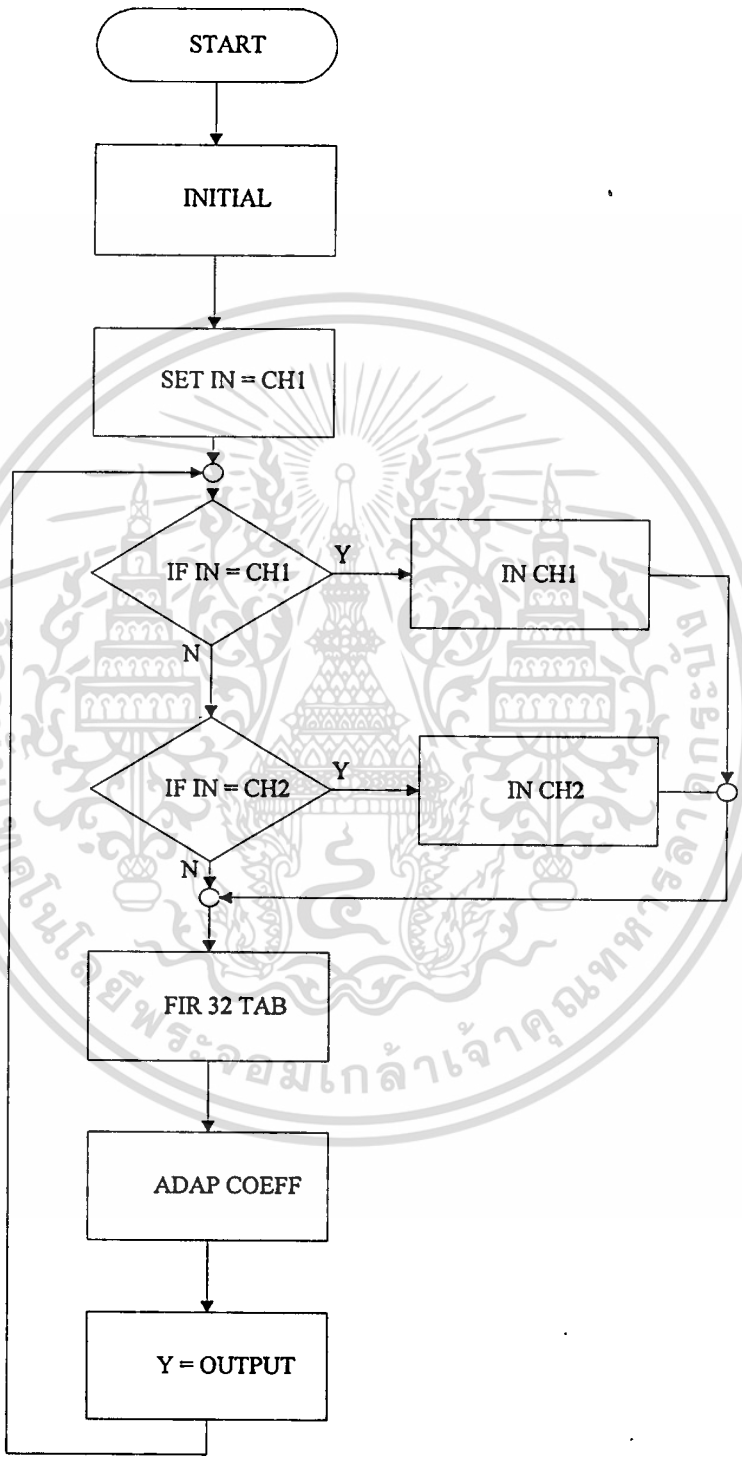
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 สัญญาณที่ได้จากตัวกรองปรับค่าได้ในลักษณะ การกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

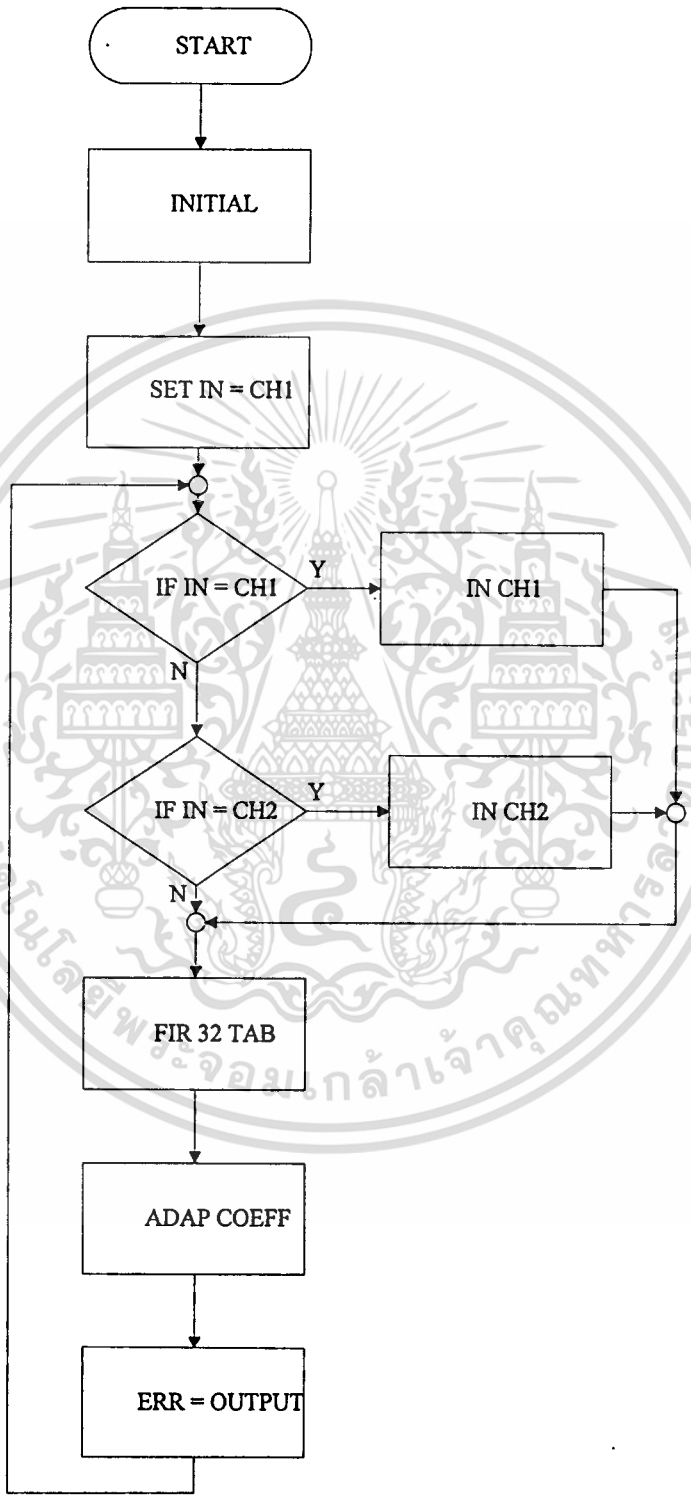
ผังการทำงานของโปรแกรมตัวกรองปรับค่าได้แบบติดตามสัญญาณที่ไม่ต้องการ



รูปที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผังการทำงานของโปรแกรมตัวกรองปรับค่าได้แบบจำกัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ



รูปที่ 6

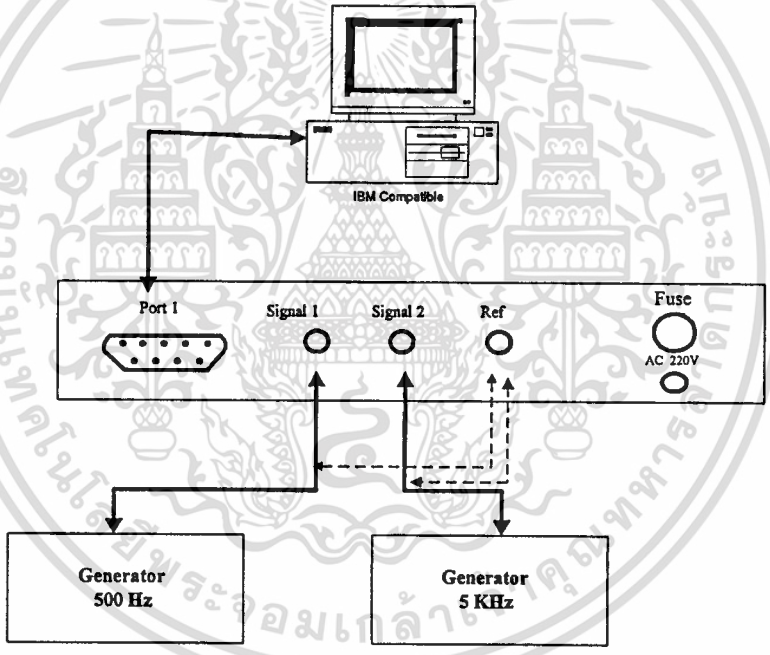
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์

1. ชุดฝึกปฏิบัติการการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	1	ชุด
2. สโคป	1	เครื่อง
3. ซิกแนลเจนเนอร์เรเตอร์	2	เครื่อง
4. เครื่องคอมพิวเตอร์	1	เครื่อง
5. แผ่นดิสก์ โปรแกรม DSK	1	เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7

2. ป้อนสัญญาณความถี่ 500 kHz ,1 Vp-p ที่ช่อง Signal 1 และป้อนความถี่ 5 kHz , 2 Vp-p ที่ ช่อง Signal 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 . ป้อนโปรแกรมดังนี้

```
        .mmregs
    .ds   0f00h
*--------------------------- Start Rountine For Set Sampling rate -------------------------------*
A0    .set   0470h
A1    .set   0471h
A2    .set   0472h
A3    .set   0473h
AOUT  .set   7Fh
COEFFP .set  01000h
COEFFD .set  01000h
ONE   .set   7Ah
BETA  .set   7Bh
ERR   .set   7Ch
ERRF  .set   7Dh
Y     .set   7Eh
X     .set   037Fh
FR    .set   0380h
LS    .set   0388h
TA    .word  6
RA    .word  6
TAp   .word  1
RAp   .word  1
TB    .word  18
RB    .word  18
AIC_CTR .word  08h
        .ps   080ah
rint:  B     RECEIVE     ;0A; Serial prot receive interrupt RINT.
xint:  B     TRANSMIT    ;0C; Serial port transmit interrupt XINT.
          .ps 0a00h
          .entry
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
START:  SETC   INTM
        LDP    #0
        OPL    #0834h,PMST
        LACC   #0
        SAMM   CWSR
        SAMM   PDWSR
        SPLK   #022h,IMR
        CALL   AICINIT
        CLRC   OVM
        SPM    0
        SPLK   #012h,IMR
        CLRC   INTM
        MAR    *,AR0
        LAR    AR1,#AOUT
        LAR    AR0,#A1
        LACC   #0FFFFh
        SACL   *+,0,AR0
        LACC   #0000h
        SACL   *+,0,AR1
        SACL   *,0,AR0
        LACC   #0FFFFh
        SACL   *-,0,AR0
*------------------------------ End Rountine For Set Sampling rate ------------------------------*

WAIT:
        NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        B      WAIT
*------------------------------ Start Main Program ----------------------------------*
RECEIVE:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MAR   *,AR0
        LAR   AR1,#AOUT
        OUT   07Fh,00080h
        LAR   AR0,#A2
        LACC  *-
        SACL  *-,0,AR0
        SACL  *,0,AR0
        LAR   AR0,#A3
        LACC  *-
        SACL  *,0,AR1
        SACL  *,0,AR0
        LAR   AR0,#A0
        LACC  *
        LAR   AR0,#A3
        SACL  *,0,AR0
        LAR   AR0,#AOUT
        CLRC  TC
        BIT   *,0,AR0
        CC    DING1,TC
        CC    DING2,NTC
          RETE
DING1:
        LACL  DRR
        MAR   *,AR0
        LAR   AR0,#X
        SACL  *,0,AR0
        ZPR
        MAR   *,AR3
        LAR   AR3,#LS
      RPTK  8
        MACD  COEFFP,*-
        APAC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SACH  Y,1
        NEG
        LAR   AR3,#X
        ADD   *,15
        SACH  ERR,1
        DMOV  *
        LT    ERR
        MPY   BETA
        PAC
        ADD   ONE,14
        SACH  ERRF,1
      LACC  #7
        SAMM  BRCR
        LAR   AR2,#COEFFD
        LAR   AR3,#LS
        LT    ERRF
        MPY   *-,AR2
        RPTB  LOOP
        ZALR  *,AR3
        MPYA  *-,AR2
LOOP:   SACH  *+
        APAC
        SACH  *+
        MAR   *,AR1
        LAR   AR1,#Y
        LACL  *
      NEG
      LAR   AR1,#X
      ADD   *
      SACL  DXR,2
        LACC  #0000h
        RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

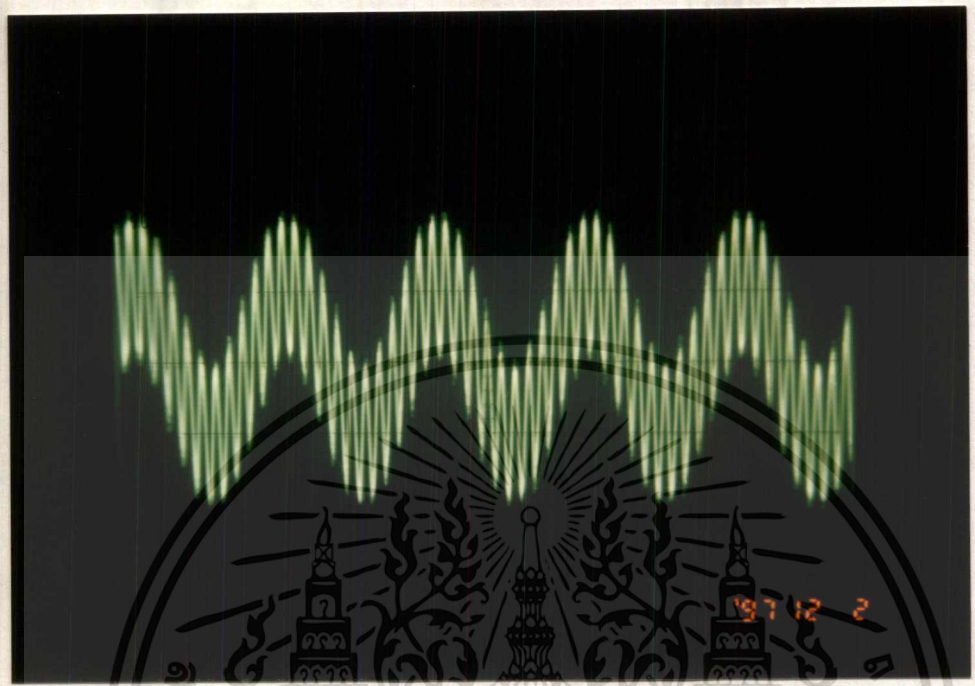
```
DING2:
        LACL   DRR
        MAR    *,AR0
        LAR    AR0,#FR
        SACL   *,0,AR0
        LACC   #0000h
        RET
TRANSMIT:
        RETE
*------------------------------ End Main Program ------------------------------*
*---------------------------- Start Rountine For Set A/D ----------------------*
AICINIT: SPLK   #20h,TCR
        SPLK   #01h,PRD
        MAR    *,AR0
        LACC   #0008h
        SACL   SPC
        LACC   #00c8h
        SACL   SPC
        LACC   #080h
        SACH   DXR
        SACL   GREG
        LAR    AR0,#0FFFFh
        RPT    #10000
        LACC   *,0,AR0
        SACH   GREG
        LDP    #TA
        SETC   SXM
        LACC   TA,9
        ADD    RA,2
        CALL   AIC_2ND
        LDP    #TB
        LACC   TB,9
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ADD   RB,2
        ADD   #02h
        CALL  AIC_2ND
        LDP   #AIC_CTR
        LACC  AIC_CTR,2
        ADD   #03h
        CALL  AIC_2ND
        RET
AIC_2ND:
        LDP   #0
        SACH  DXR
        CLRC  INTM
        IDLE
        ADD   #6h,15
        SACH  DXR
        IDLE
        SACL  DXR
        IDLE
        LACL  #0
        SACL  DXR
        IDLE
        SETC  INTM
        RET
        .end
*---------------------------- End Rountine For Set A/D ----------------------------*
```

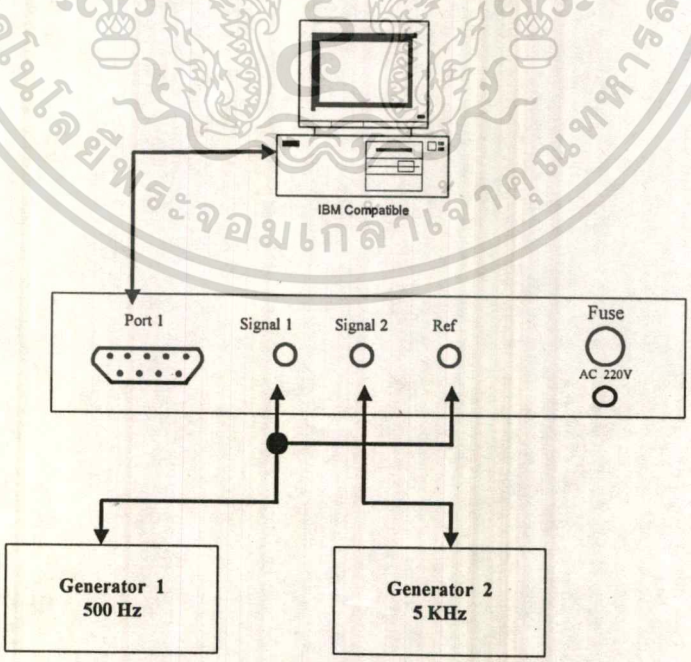
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วาดรูปสัญญาณ



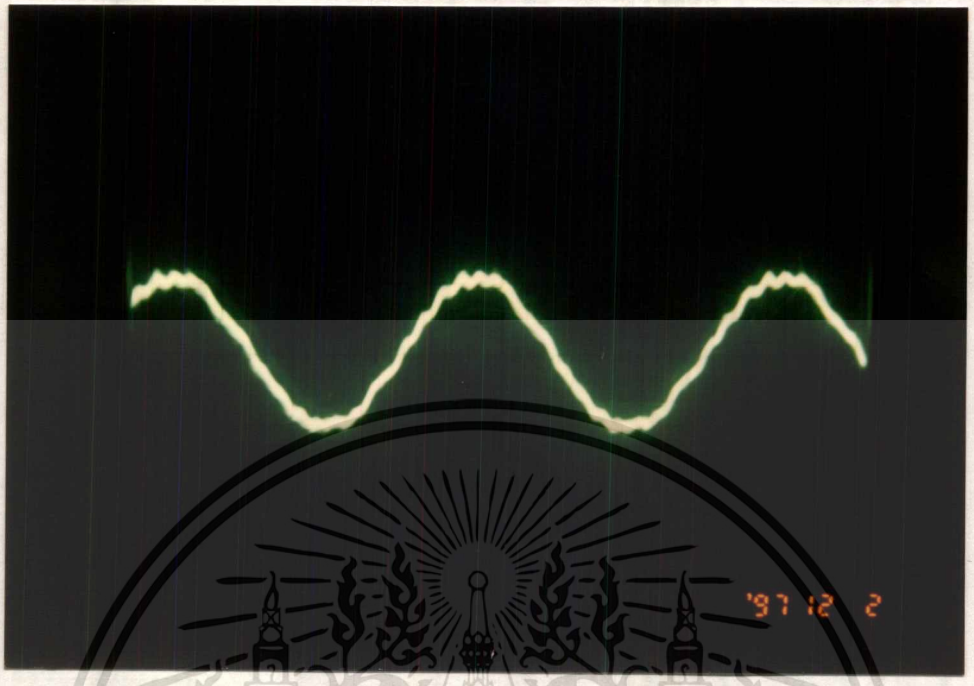
5. ต่อสัญญาณ Ref

5.1 ต่อสัญญาณ Ref ที่ช่อง Signal 1 ดังรูปที่ 8



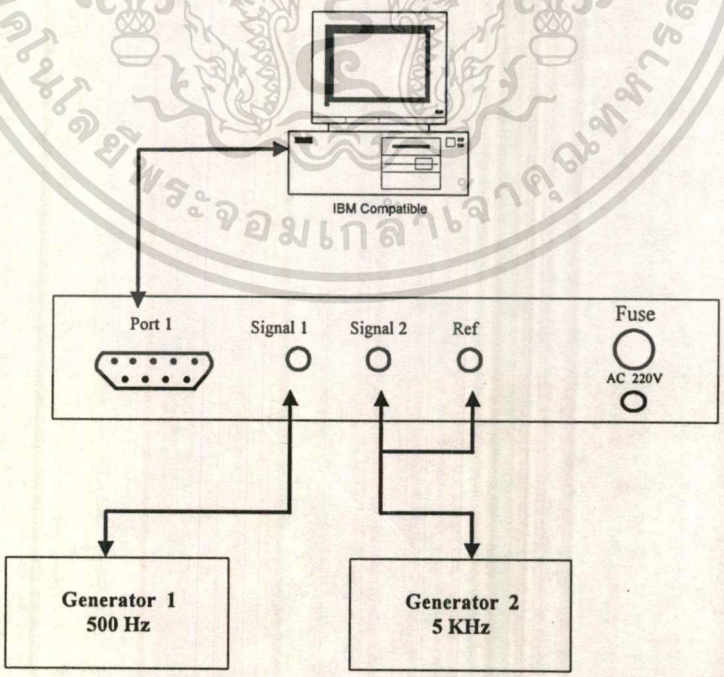
รูปที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



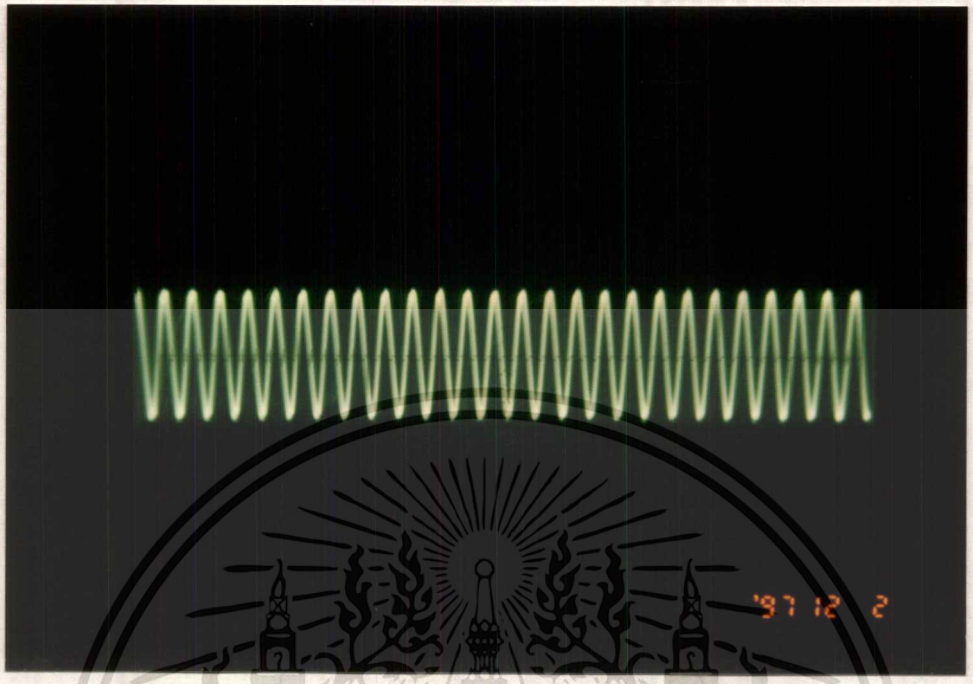
Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

5.2 ต่อสัญญาณ Ref ที่ช่อง Signal 2 ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volt/DIV = ... TIME/DIV = ... f = ... Hz

6. ป้อนโปรแกรมใหม่ดังนี้

```
.mmregs
        .ds  0f00h
*---------------------------- Start Rountine For Set Sampling rate ----------------------------*
A0      .set    0470h
A1      .set    0471h
A2      .set    0472h
A3      .set    0473h
AOUT    .set    7Fh
COEFFP  .set    01000h
COEFFD  .set    01000h
ONE     .set    7Ah
BETA    .set    7Bh
ERR     .set    7Ch
ERRF    .set    7Dh
Y       .set    7Eh
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
X     .set   037Fh
FR    .set   0380h
LS    .set   0388h
TA    .word  6
RA    .word  6
TAp   .word  1
RAp   .word  1
TB    .word  18
RB    .word  18
AIC_CTR .word  08h
        .ps    080ah
rint:   B      RECEIVE    ,;0A; Serial prot receive interrupt RINT.
xint:   B      TRANSMIT    ;0C; Serial port transmit interrupt XINT.
          .ps 0a00h
          .entry
START:  SETC   INTM
          LDP    #0
          OPL    #0834h,PMST
          LACC   #0
          SAMM   CWSR
          SAMM   PDWSR
          SPLK   #022h,IMR
          CALL   AICINIT
          CLRC   OVM
          SPM    0
          SPLK   #012h,IMR
          CLRC   INTM
          MAR    *,AR0
          LAR    AR1,#AOUT
          LAR    AR0,#A1
          LACC   #0FFFFh
          SACL   *+,0,AR0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LACC  #0000h
        SACL  *+,0,AR1
        SACL  *,0,AR0
        LACC  #0FFFFh
        SACL  *-,0,AR0
WAIT:
        NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        B     WAIT
*---------------------------- End Rountine For Set Sampling rate ----------------------------*
*---------------------------- Start Main Program ----------------------------*
RECEIVE:
        MAR   *,AR0
        LAR   AR1,#AOUT
        OUT   07Fh,00080h
        LAR   AR0,#A2
        LACC  *-
        SACL  *-,0,AR0
        SACL  *,0,AR0
        LAR   AR0,#A3
        LACC  *-
        SACL  *,0,AR1
        SACL  *,0,AR0
        LAR   AR0,#A0
        LACC  *
        LAR   AR0,#A3
        SACL  *,0,AR0
        LAR   AR0,#AOUT
        CLRC  TC
        BIT   *,0,AR0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CC    DING1,TC
        CC    DING2,NTC
           RETE
DING1:
        LACL   DRR
        MAR    *,AR0
        LAR    AR0,#X
        SACL   *,0,AR0
        ZPR
        MAR    *,AR3
        LAR    AR3,#LS
      RPTK   8
        MACD   COEFFP,*-
        APAC
        SACH   Y,1
        NEG
        LAR    AR3,#X
        ADD    *,15
        SACH   ERR,1
        DMOV   *
        LT     ERR
        MPY    BETA
        PAC
        ADD    ONE,14
        SACH   ERRF,1
      LACC   #7
        SAMM   BRCR
        LAR    AR2,#COEFFD
        LAR    AR3,#LS
        LT     ERRF
        MPY    *-,AR2
        RPTB   LOOP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ZALR  *,AR3
        MPYA  *-,AR2
LOOP:   SACH  *+
        APAC
        SACH  *+
        MAR   *,AR1
        LAR   AR1,#Y
        LACL  *
    NEG
    LAR   AR1,#X
    ADD   *
    SACL  DXR,2
        LACC  #0000h
        RET
DING2:
        LACL  DRR
        MAR   *,AR0
        LAR   AR0,#FR
        SACL  *,0,AR0
        LACC  #0000h
        RET
*---------------------- End Main Program ----------------------*
TRANSMIT:
        RETE
*---------------------------- Start Rountine For Set A/D ----------------------------------*
AICINIT: SPLK  #20h,TCR
        SPLK  #01h,PRD
        MAR   *,AR0
        LACC  #0008h
        SACL  SPC
        LACC  #00c8h
        SACL  SPC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LACC   #080h
        SACH   DXR
        SACL   GREG
        LAR    AR0,#0FFFFh
        RPT    #10000
        LACC   *,0,AR0
        SACH   GREG
        LDP    #TA
        SETC   SXM
        LACC   TA,9
        ADD    RA,2
        CALL   AIC_2ND
        LDP    #TB
        LACC   TB,9
        ADD    RB,2
        ADD    #02h
        CALL   AIC_2ND
        LDP    #AIC_CTR
        LACC   AIC_CTR,2
        ADD    #03h
        CALL   AIC_2ND
        RET
AIC_2ND:
        LDP    #0
        SACH   DXR
        CLRC   INTM
        IDLE
        ADD    #6h,15
        SACH   DXR
        IDLE
        SACL   DXR
        IDLE
```

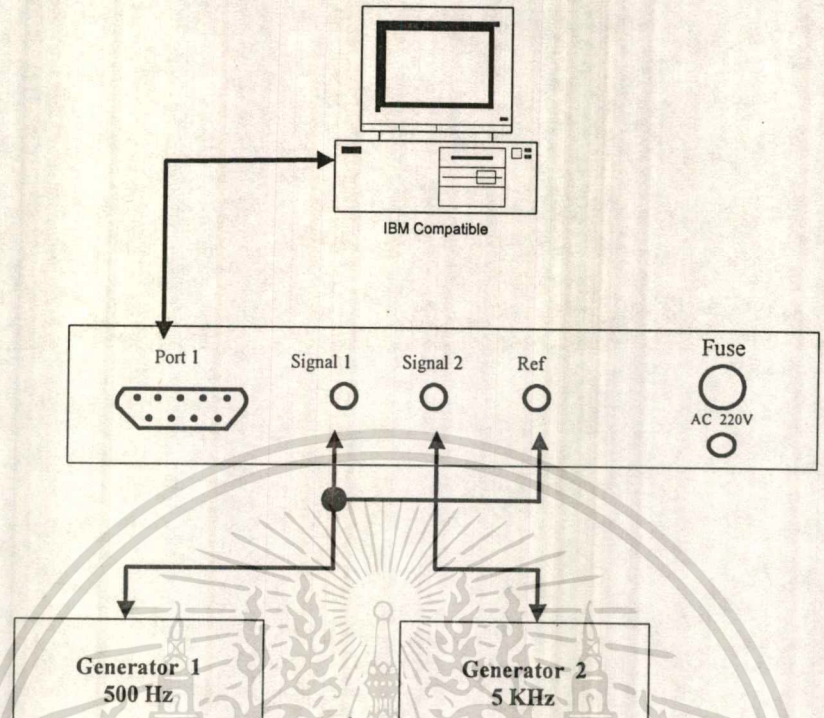
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LACL   #0
SACL   DXR
IDLE
SETC   INTM
RET
*------------------------ End Rountine For Set A/D ----------------------------*
```

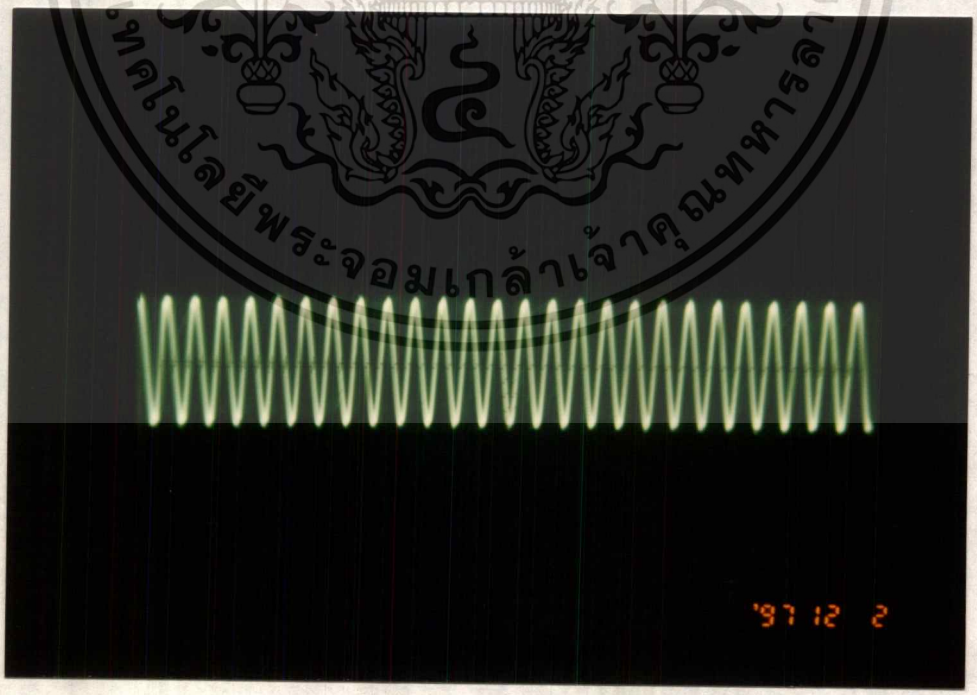
7. วาดรูปสัญญาณ

7.1 ต่อสัญญาณ Ref ที่ช่อง Signal 1 ดังรูปที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



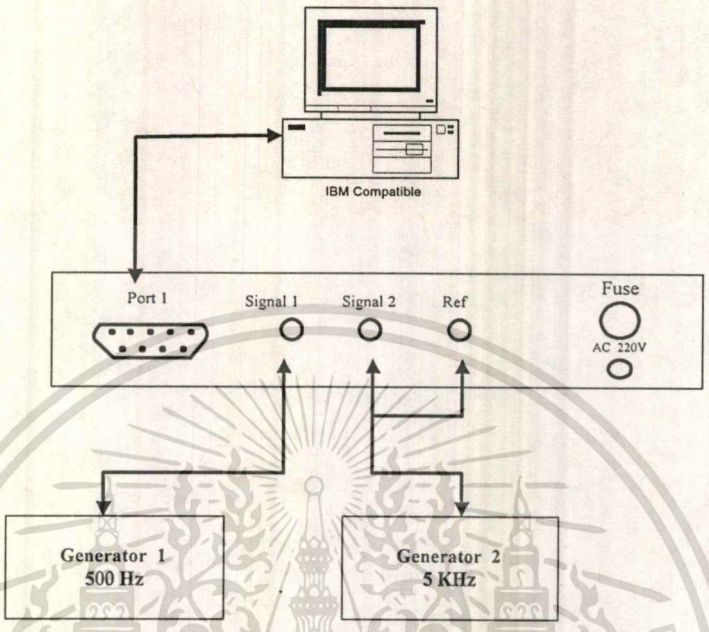
รูปที่ 10



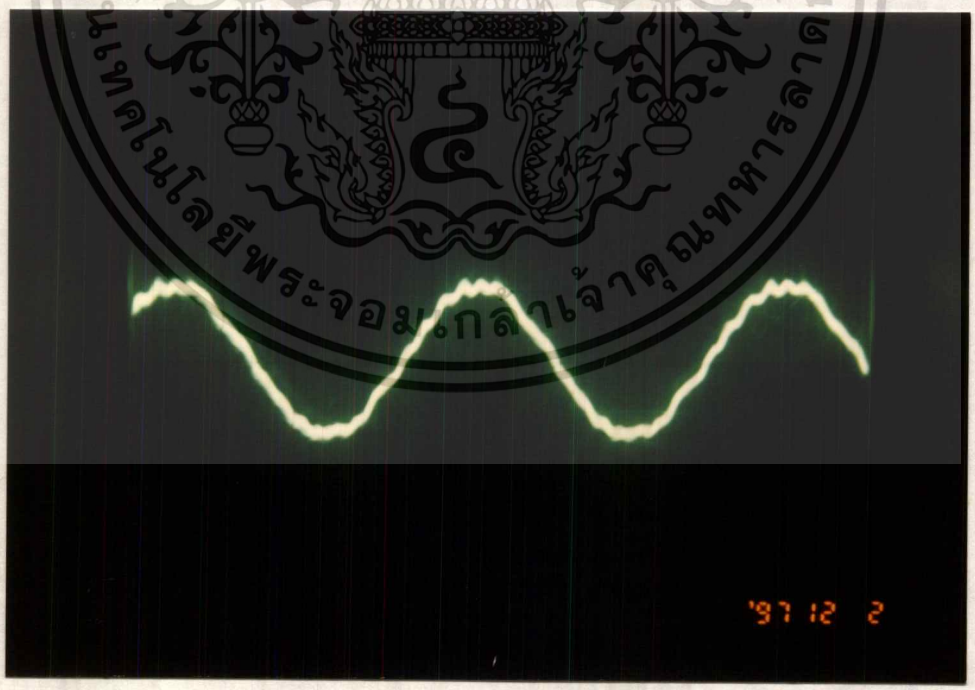
Volt/DIV = ...1..... TIME/DIV = ...0.2 mS.... f = ...5....k Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ต่อสัญญาณ Ref ที่ช่อง Signal 2



รูปที่ 11



Volt/DIV = ...1..... TIME/DIV = ...2 mS.... f = ...500... Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง Adaptive filter จะเลือกสัญญาณที่ผสมกันมา 2 สัญญาณ หรือมากกว่า 2 สัญญาณ โดยสามารถที่จะเลือกสัญญาณใดก็ได้ใน 2 สัญญาณ โดยการเลือกสัญญาณนั้นจะมี 2 แบบ คือ 1. เป็นการนำสัญญาณที่ต้องการป้อนให้ดังชุดทดลองก็จะได้สัญญาณที่ต้องการออกมา และแบบที่ 2 เป็นการป้อนสัญญาณที่ไม่ต้องการให้กับชุดทดลองก็จะได้สัญญาณตรงข้ามออกมาทางเอาต์พุต

คำถาม

1. สมการที่สำคัญที่สุดในการออกแบบ Adaptive Filter คือ สมการแบบใด

ตอบ สมการที่ใช้ในการออกแบบ Adaptive Filter คือ สมการลีดมีนสแควร์ มีรูปสมการดังนี้

$$W_{k+1} = W_k + \mu W_l X(k)$$

เมื่อ

W_{k+1} , W_k คือ ค่าสัมประสิทธิ์

μ คือ ค่าอัตราที่เหมาะสมของตัวกลาง

W_l คือ ผลต่างของสัญญาณที่ผ่านการคอนโวลูชั่น

$X(k)$ คือ สัญญาณอินพุตที่ถูกเลื่อนในกระบวนการคอนโวลูชั่นที่ตำแหน่งต่างๆ

2. จงยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน Adaptive Filter

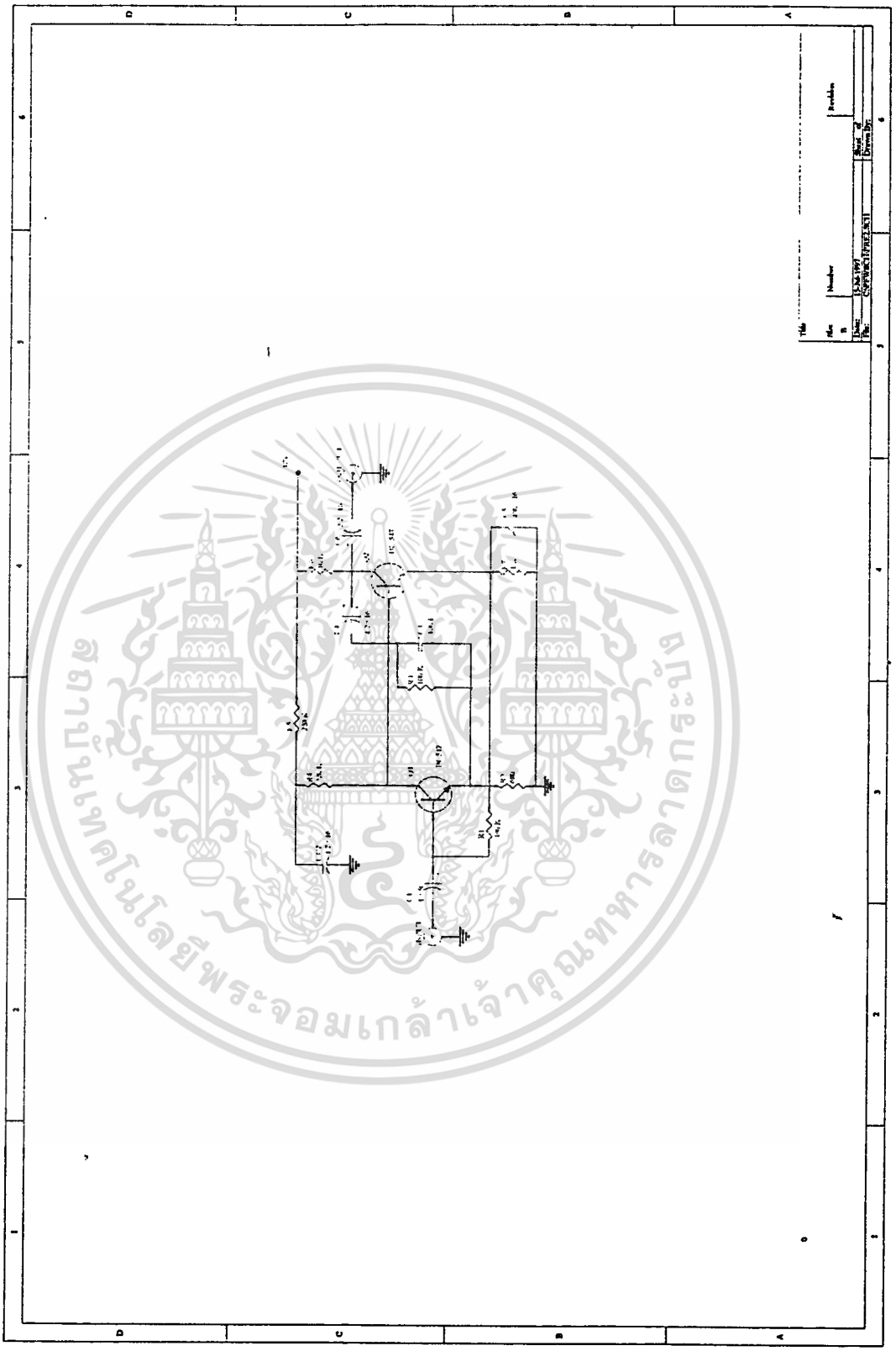
ตอบ ใช้กำจัดสัญญาณรบกวน เช่น สัญญาณรบกวนภายในรถยนต์ ซึ่งเกิดจากเสียงเครื่องยนต์ โดยนำเสียงเครื่องยนต์ป้อนกลับ (Feed back) เข้า Adaptive Filter เพื่อกำเนิดสัญญาณขึ้นมาหักล้างกับเสียงเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

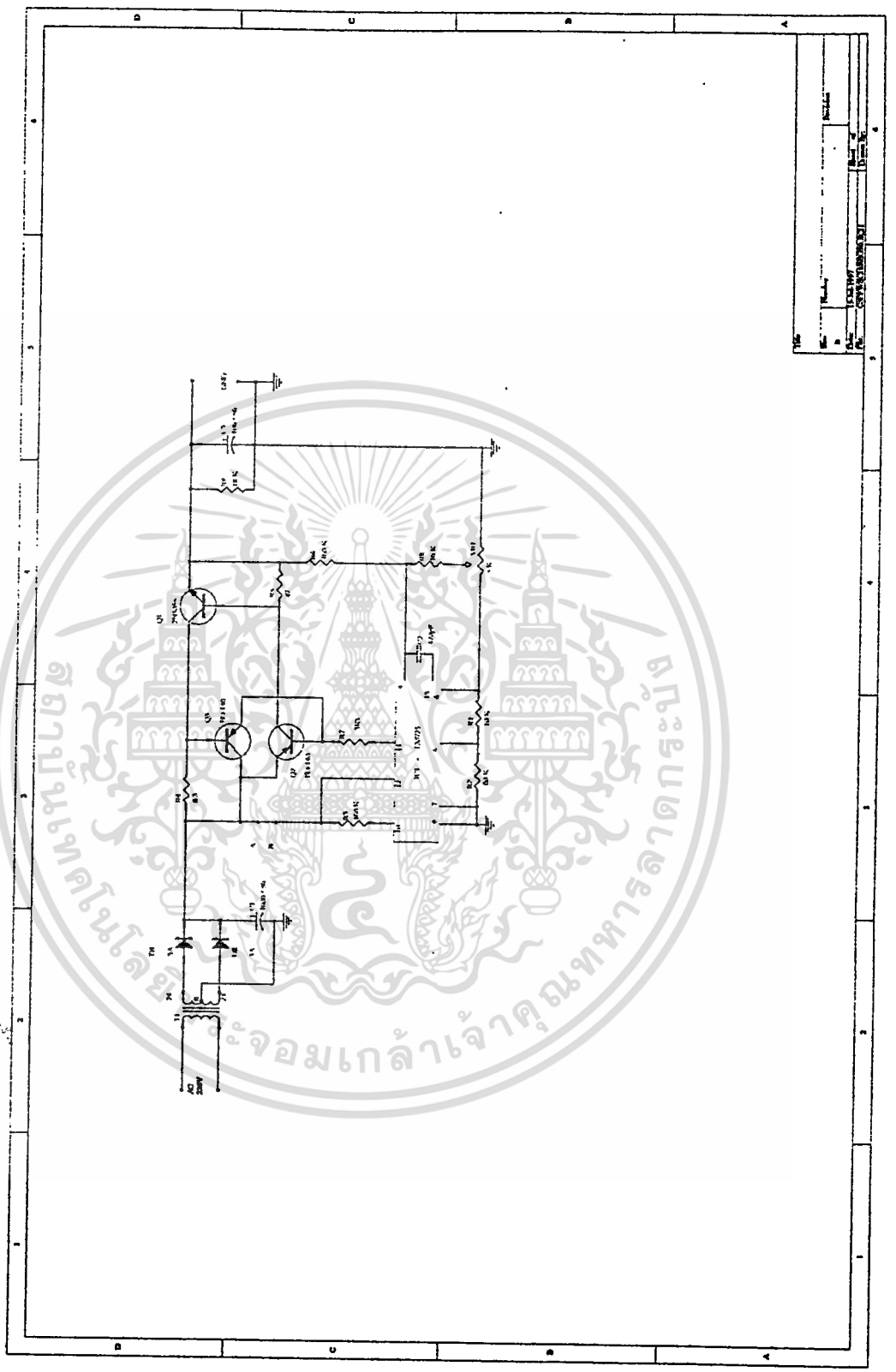
ภาคผนวก ค

วงจรและลายวงจรพิมพ์

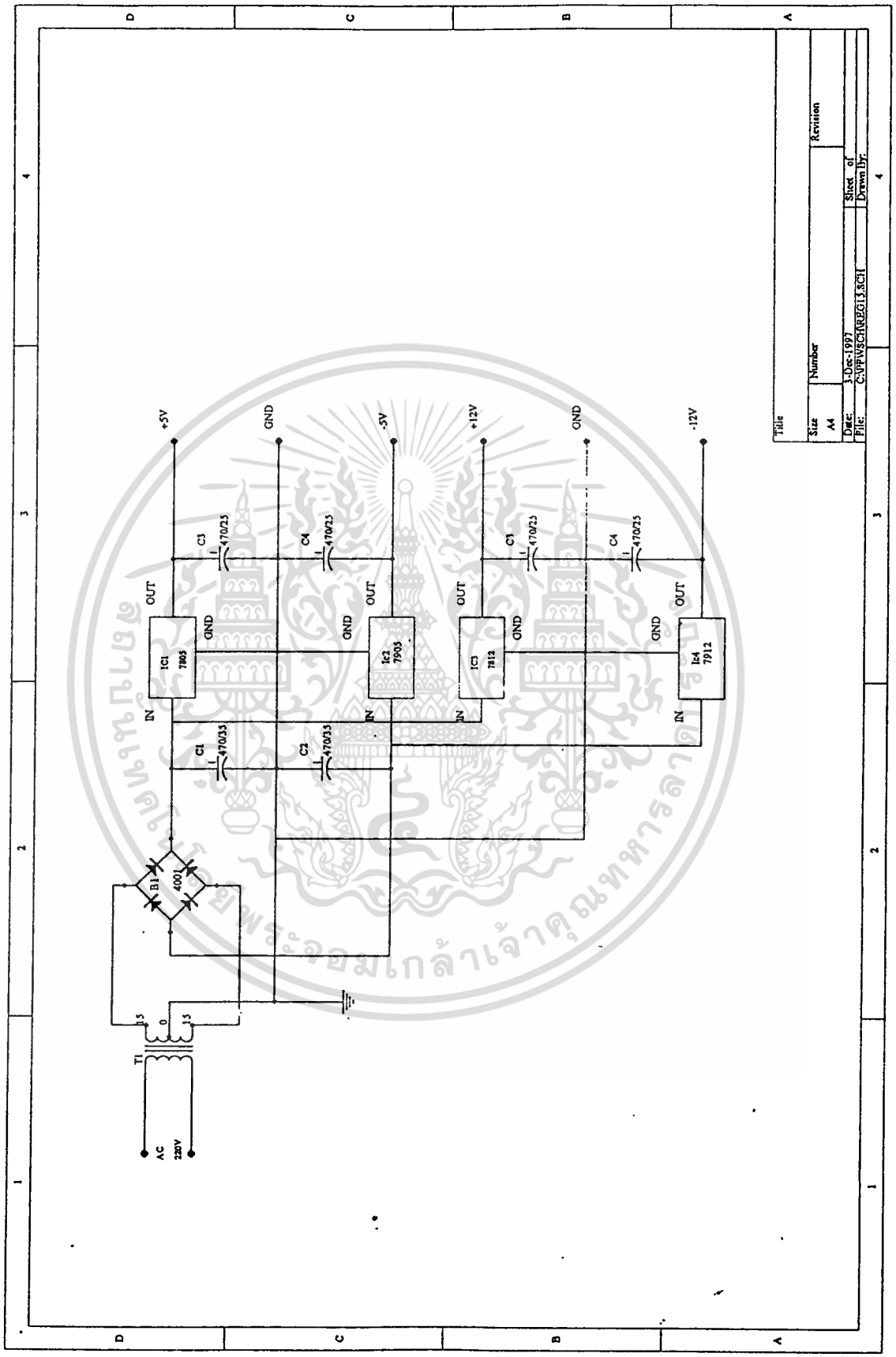
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



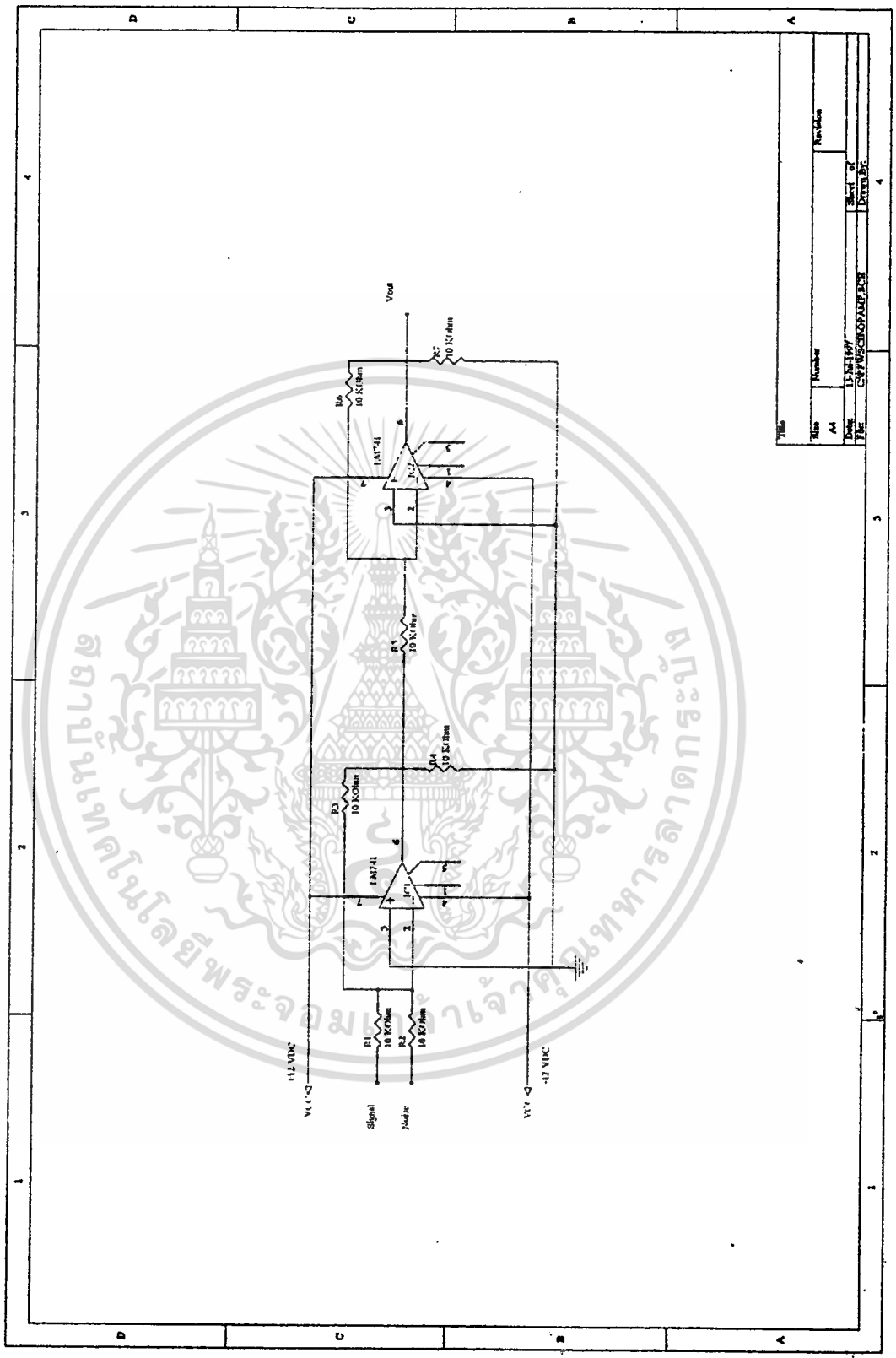
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



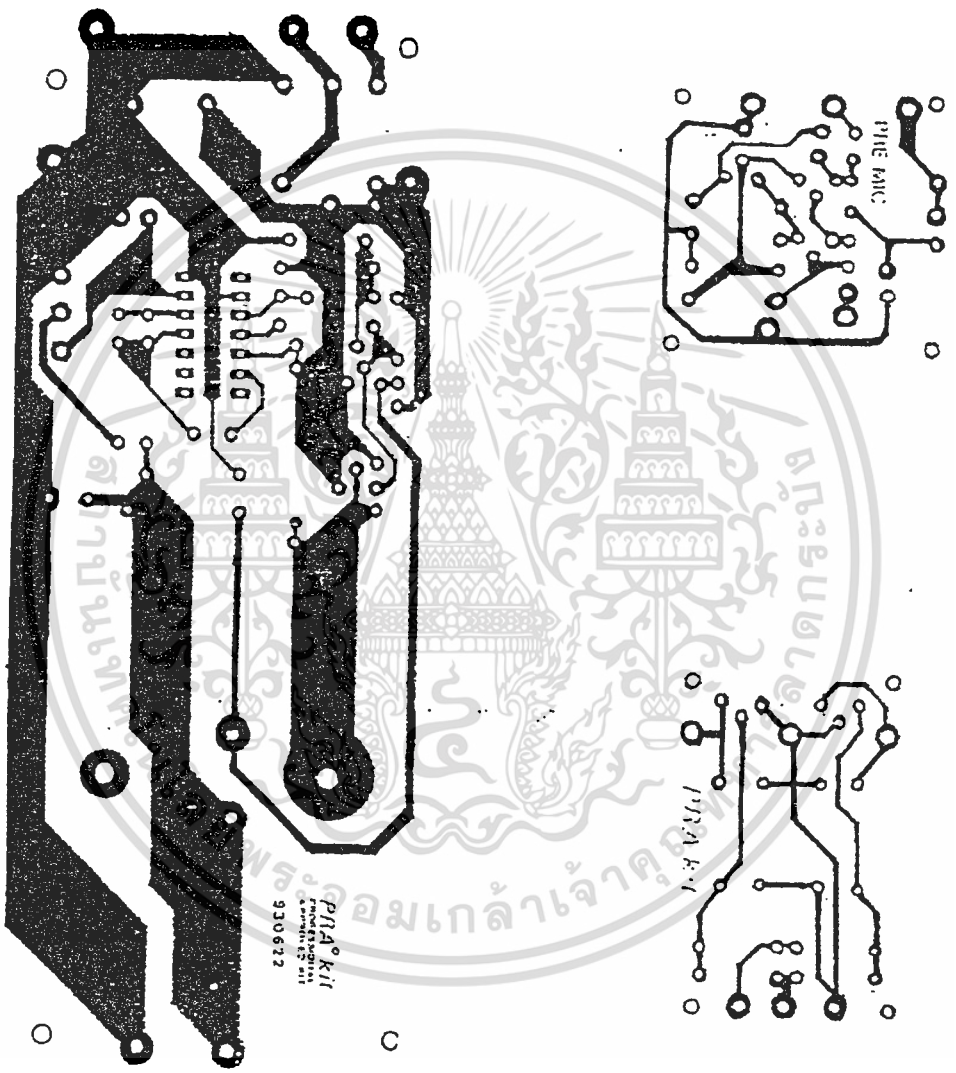
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ดร.ไพรัช ธัชยพงษ์ "การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล", ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, 2535

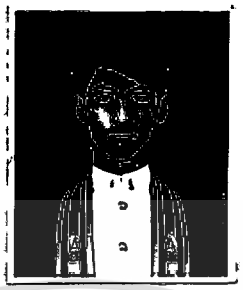
Roman Kuc, "Introduction to Digital Signal Processing", McGraw-Hill, Singapore, 1982

Microprocessor Development System, TMS320C5x DSP Starter Kit User's Guide, Texas Instrument: 1994

Digital Signal Processing Products, TMS320C5x User's Guide, Texas Instrument : 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

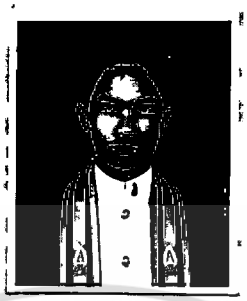
ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายพงษ์นรินทร์ สุวราณรักษ์
วันเดือนปีเกิด	2 เมษายน 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดระยอง
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดระยอง
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 20/44
	ซอย เรือนจำกลาง หมู่ที่ 2
	ตำบล/แขวง เชิงเนิน
	อำเภอ เมือง จังหวัด ระยอง
	รหัสไปรษณีย์ 21000
โทรศัพท์	โทรศัพท์ (038) 621560
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนอนุบาลจันทบุรี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเบญจมราชูทิศจันทบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคระยอง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคระยอง
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์คอมพิวเตอร์
	ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

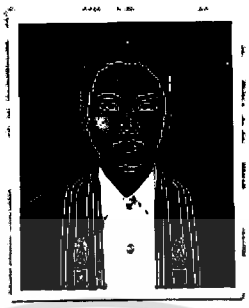
ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายราเมศ อยู่สวัสดิ์
วันเดือนปีเกิด	18 มิถุนายน 2518
สถานที่เกิด	จังหวัดอุบลราชธานี
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดอุบลราชธานี
ที่อยู่ปัจจุบัน	51 หมู่ 10 ตำบลวารินชำราบ อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190
โทรศัพท์	045-259269
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนมูลนิธิวัดศรีอุบลรัตนาราม
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเบญจะมะมหาราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และ คอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	ถ้าคิดว่าไม่ได้ก็จะไม่ได้ตลอดชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

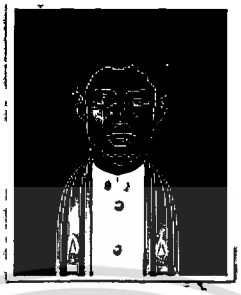
ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นางสาวรุ่งทิวา เรืองศรีศุภพงศ์
วันเดือนปีเกิด	11 กรกฎาคม 2518
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	59/1 ซอยทิพย์วารี ถนนบ้านหม้อ แขวงวังบูรพาภิรมย์ อำเภอพระนคร จังหวัดกรุงเทพ 10200
โทรศัพท์	224-8518
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนพิบูลประชาสรรค์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพิบูลประชาสรรค์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขต นนทบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายสมชาย ขันอ้าย
วันเดือนปีเกิด	20 มีนาคม 2518
สถานที่เกิด	จังหวัดอุตรดิสถ์
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดอุตรดิสถ์
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 86 ตำบล/แขวง ท่าเสา อำเภอ/เขต เมือง จังหวัด อุตรดิตถ์ 53000
โทรศัพท์	(055) 444-288
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนอุตรดิตถ์ศึกษา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนอุตรดิตถ์ศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคอุตรดิตถ์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคอุตรดิสถ์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้