

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

ปริญญาโท เครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคัล่องตัว

ACTIVE NOISE CANCELING CONTROLLER

ชื่อนักศึกษา	1. นายจารึก	ปลอดคภัย	รหัสประจำตัว	40031304
	2. นายจุลพร	บุญนาค	รหัสประจำตัว	40031305
	3. นายณพพล	สาขาชาติ	รหัสประจำตัว	40031312
	4. นายบุญเลิศ	พิพัฒนชัย	รหัสประจำตัว	40031317

หลักสูตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

1. อาจารย์กิติพงศ์ มะโน
2. อาจารย์วีรวิทย์ สมหา



คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์วีรวิทย์ สมหา	
2. อาจารย์อำพล ทองระอา	
3. อาจารย์พงษ์เกียรติ เขษมพิทักษ์สกุล	
4. อาจารย์สุระชัย พิมพ์สวัสดิ์	
5. อาจารย์อมรรชัย ชัยชนะ	

วันเดือนปีที่สอบ วันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2541 เวลา 16.00 น ถึง 16.45 น

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.



ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.ดร. ชีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่.....เดือน.....ปี..... พ.ศ.....

เลขหมึก.....

เลขทะเบียน..... 32822

วัน, เดือน, ปี.....ส.ย. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำออกจำหน่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญานิพนธ์

เครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว  
ACTIVE NOISE CANCELING CONTROLLER



ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์  
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว  
ACTIVE NOISE CANCELING CONTROLLER

## ผู้จัดทำ

1. นายจารึก ปลอดภัย
2. นายจุลพร บุนนาค
3. นายนพพล สาขาชาติ
4. นายบุญเลิศ พิพัฒน์ชลธี

## อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....  
(อาจารย์กิติพงศ์ มะโน)

ลงนาม.....  
(อาจารย์รววิทย์ สมหา)

## หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรม

ลงนาม.....  
(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว

ACTIVE NOISE CANCELING CONTROLLER

## วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาหลักการกรองความถี่แบบปรับค่าได้
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวน
3. เพื่อออกแบบต้นแบบของเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวน
4. เพื่อสามารถนำตัวกรองความถี่ที่ปรับค่าได้ มาประยุกต์ใช้กับเครื่องกำจัดสัญญาณรบกวน
5. เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบของเครื่องกำจัดสัญญาณรบกวน

## ประโยชน์ที่คิดว่าจะได้รับ

1. ทราบหลักการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบปรับค่าได้
2. ทราบหลักการทำงานของเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวน
3. มีความรู้ ความเข้าใจหลักการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข
4. ได้เครื่องต้นแบบของเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนที่สามารถใช้ลดสัญญาณรบกวนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว

นายจารึก	ปลอดภัย
นายจุลพร	บุญนาค
นายนพพล	สาขาชาติ
นายบุญเลิศ	พิพัฒน์ชาติ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์กิติพงศ์ มะโน

อาจารย์วรัญญา สมหา

ปีการศึกษา 2541

### บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว โดยใช้วิธีการสร้างสัญญาณที่มีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนปรวมภูมิ เพื่อลดขนาดของสัญญาณรบกวน โดยอาศัยหลักการของตัวกรองไวงานแบบ X-LMS ระบบนี้สร้างโดยใช้บอร์ด DSP ที่ใช้ตัวประมวลผล TMS320C50 และระบบนี้สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่ของสัญญาณรบกวนอยู่ในพิสัย 100 เฮิร์ตซ์ ถึง 230 เฮิร์ตซ์ ผลการทดลองใช้กับสัญญาณรบกวนในพิสัย 100 เฮิร์ตซ์ ถึง 230 เฮิร์ตซ์ ปรากฏว่าสามารถลดขนาดของสัญญาณรบกวนได้สูงสุด 17 dB ที่ความถี่ 120 เฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ACTIVE NOISE CANCELING CONTROLLER

MR.JARUK

PLODPAI

MR.JULAPORN

BUNENARK

MR.NOPPONE

SAKARCHAD

MR.BOONLERT

PHIPHATCHONLATHEE

### ADVISORS

MR.KITTIPONG

MANO

MR.WORAWIT

SOMHA

1998

### ABSTRACT

This thesis presents the ACTIVE NOISE CANCELING CONTROLLER. It works on the principle of destructive interference between the noise wave, which is generated by a primary source, and interference wave, which is generated by the control source. This system is implemented by the DSP Starter Kit (TMS320C50). The suitable noise frequency range for this project is 100 Hz – 230 Hz. In the experimentation, the Active Noise Canceling Controller can reduce the noise up to 17 dB at 120 Hz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องมาจากความอนุเคราะห์ของอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศกรรมทุกท่าน ตลอดจนเพื่อนๆ ที่ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจตลอดมาจนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่สนับสนุนการศึกษาและการทำงานครั้งนี้ในด้านการเงิน และกำลังใจตลอดมา และขอขอบคุณท่านอาจารย์วรวิทย์ สมหา เป็นอย่างสูงที่ได้ให้การช่วยเหลือ รวมทั้งให้คำแนะนำในส่วนที่สำคัญมาก ในการทำโครงการครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณท่านอาจารย์กิตติพงศ์ มะโน เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำเป็นอย่างดี และขอขอบคุณท่านอาจารย์ทุกท่าน และเพื่อนทุกคน ในภาควิชาครุศาสตร์วิศกรรม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการครั้งนี้ คุณงามความดีครั้งนี้ขอมอบให้แด่ คุณพ่อ คุณแม่ และครูบาอาจารย์ที่ท่านได้ให้ความรู้ และทุกสิ่งทุกอย่าง มาตั้งแต่ต้นจนถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ชี้ดความสามารถของโครงการ	2
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 ลักษณะของตัวควบคุม	4
2.2 ลักษณะ โครงสร้างของ TMS320C50	8
2.3 สถาปัตยกรรมของ TMS320C50	9
2.4 ขาของ TMS320C50	11
2.5 การอ้างถึงตำแหน่งข้อมูล	11
2.6 การควบคุมการนำข้อมูลเข้าและส่งออก (Peripheral Control)	11
2.7 การจัดหน่วยความจำ	12
2.8 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณ (Data Acquisition And Conversion)	13
2.9 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อก	14
2.10 ทฤษฎีของการสุ่มข้อมูล(Sampling)	15
2.11 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล	15
2.11.1 A/D แบบ เซอร์โว (Servo)	15
2.11.2 A/D แบบ คูอัล-สโลป อินทิเกรต (Dual-Slope Integrator)	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.11.3 A/D แบบ ซักเซสซีฟ-แอฟพริ็อกซิเมชัน (Successive-Approximation)	15
2.11.4 A/D แบบ คอมพาราเตอร์ ขนาน (Parallel-Comparator)	15
2.12 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	16
2.13 ทฤษฎีของตัวกรองเชิงเลข (Digital Filter)	16
2.13.1 การกรองเชิงเลข	16
2.13.2 ตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลข (Non-recursive Digital Filter)	19
2.14 โครงสร้างของวงจรกรองเชิงเลข	23
2.14.1 โครงสร้างของวงจรกรองไม่ป้อนกลับ	23
2.14.2 โครงสร้างแบบโดยตรง	24
2.15 ทฤษฎีตัวกรองความถี่ปรับค่าได้	25
<b>บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง</b>	<b>30</b>
3.1 หลักการออกแบบฮาร์ดแวร์	30
3.1.1 ส่วนขยายสัญญาณจากบอร์ด DSK (Power Amplifier)	30
3.1.2 ภาคอื่นๆ	31
3.1.3 บอร์ด DSK	34
3.2 การออกแบบโปรแกรม	36
3.2.1 ส่วนโปรแกรมหลัก	37
3.2.2 ส่วนโปรแกรมอินเตอร์รัพท์	38
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	<b>42</b>
4.1 ขั้นตอนการทดลองเบื้องต้น	42
4.1.1 ขั้นตอนการทดลองทฤษฎีการหักล้างกันโดยการกลับเฟส	42
4.1.2 ขั้นตอนการทดลองความเป็นปกติของบอร์ด DSK	43
4.2 ขั้นตอนการทดลองเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว	51
<b>บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไข และการพัฒนา</b>	<b>52</b>
5.1 บทสรุป	52
5.2 ปัญหาที่พบ	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5.2.1 ปัญหาส่วนของฮาร์ดแวร์	52
5.2.2 ปัญหาส่วนซอฟต์แวร์	53
5.3 แนวทางในการพัฒนา	53
ภาคผนวก ก รูปต้นแบบ	54
ภาคผนวก ข โปรแกรมควบคุมการกำจัดสัณฐานรบกวน	56
ภาคผนวก ค วงจรและแผ่นพิมพ์	78
บรรณานุกรม	86
ประวัติผู้แต่ง	87



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 การจ่ายแรงดันและกระแสให้กับวงจรภาคต่างๆ	32
ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบความดังก่อน และหลังใช้เครื่องควบคุม การจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 1.1 การกลับเฟสของสัญญาณรบกวนเพื่อนำไปหักล้างกับสัญญาณเดิม	1
รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนปรับค่าได้แบบทางเดียว	4
รูปที่ 2.2 จำลองการแก้ปัญหาโดยการป้อนกลับแบบ Feedforward approach	5
รูปที่ 2.3 กระบวนการปรับหาค่าความเปลี่ยนแปลงของสนามเสียง (H)	7
รูปที่ 2.4 ลักษณะขาของ TMS320C50	10
รูปที่ 2.5 ลักษณะการจัดหน่วยความจำของ TMS320C50 DSK	12
รูปที่ 2.6 ระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลทางดิจิทัล	14
รูปที่ 2.7 ตัวกรองเชิงเลขที่เขียนจากสมการการประมาณค่า	20
รูปที่ 2.8 ผลของตัวกรองเชิงเลขที่เขียนจากสมการการประมาณค่า	20
รูปที่ 2.9 ผลตอบสนองความถี่ของตัวกรอง	21
รูปที่ 2.10 ตัวกรองเชิงเลขของสมการ	22
รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบผลตอบสนองความถี่	22
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขแบบโดยตรง	24
รูปที่ 2.13 การทำงานของชิพดีวีซีดีเรจิสเตอร์เชิงอุปมาน	25
รูปที่ 2.14 โครงสร้างของตัวกรองความถี่แบบปรับค่าได้	26
รูปที่ 3.1 การเชื่อมโยงของสัญญาณจากอินพุตไปยังเอาต์พุต	31
รูปที่ 3.2 ภาคจ่ายไฟสำหรับวงจรขยายสัญญาณจากบอร์ด DSK	32
รูปที่ 3.3 ภาคจ่ายไฟสำหรับบอร์ด DSK	33
รูปที่ 3.4 ภาคจ่ายไฟสำหรับวงจรขยายสัญญาณจากไมโครโฟน	33
รูปที่ 3.5 แผนผังการวางอุปกรณ์ของ DSK Starter Kit	34
รูปที่ 3.6 วงจรสมบรูณ์บนบอร์ด DSK Starter Kit	35
รูปที่ 3.7 หลักการทำงานของโปรแกรมหลัก	37
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์	39
รูปที่ 3.9 แผนผังการทำงานของโปรแกรมในเฟส 2	40
รูปที่ 3.10 แผนผังการทำงานของโปรแกรมในเฟส 3	41
รูปที่ 4.1 การทดสอบทฤษฎีการหักล้างกันโดยการกลับเฟส	43

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.2 การทดลองความเป็นปกติของบอร์ด DSK	44
รูปที่ 4.3 การทดลองควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว	46
รูปที่ 4.4 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ขณะการทำงานในเฟส 2	47
รูปที่ 4.5 การทำงานในเฟสสามขณะสัญญาณรบกวนเริ่มเปลี่ยนแปลง	48
รูปที่ 4.6 การทำงานในเฟสสามขณะลดสัญญาณรบกวนได้	48
รูปที่ 4.7 การจัดวางตำแหน่งไมโครโฟนและลำโพง	49
รูปที่ 4.8 กราฟความสามารถในการลดระดับความดังของสัญญาณรบกวนในช่วงความถี่ต่างๆ	51
รูปที่ ก.1 เครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว	55
รูปที่ ก.2 ด้านหน้าเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว	55
รูปที่ ก.3 ด้านหลังเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว	56
รูปที่ ก.4 การวางอุปกรณ์ภายในเครื่องเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว	56
รูปที่ ข.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหลัก	58
รูปที่ ข.2 ขั้นตอนการทำงานของอินเทอร์เฟซ	59
รูปที่ ข.3 ขั้นตอนการทำงานของ เฟสที่ 1	60
รูปที่ ข.4 ขั้นตอนการทำงานของ เฟสที่ 2	61
รูปที่ ข.5 ขั้นตอนการทำงานของ เฟสที่ 3	62
รูปที่ ค.1 การวางอุปกรณ์บนบอร์ด DSK1	79
รูปที่ ค.2 บอร์ด DSK 2	79
รูปที่ ค.3 วงจร TMS320C50 DSK 1	80
รูปที่ ค.4 วงจร TMS320C50 DSK2	81
รูปที่ ค.5 วงจร TMS320C50 DSK3	82
รูปที่ ค.6 วงจร TMS320C50 DSK 4	83
รูปที่ ค.7 วงจรเครื่องขยายเสียง	84
รูปที่ ค.8 วงจรจ่ายไฟสำหรับเครื่องขยายเสียง	84
รูปที่ ค.9 วงจรจ่ายไฟสำหรับวงจร PRE MIC	85
รูปที่ ค.10 วงจรจ่ายสำหรับบอร์ด DSK	85

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เมื่อพูดถึงเสียง อาจจะแบ่งเสียงเป็นสองประเภทกว้าง ๆ คือเสียงที่เราต้องการ และเสียงที่เราไม่ต้องการ"ทำอะไรถึงจะกำจัดเสียงที่ไม่พึงประสงค์เหล่านี้ออกไปได้" นี่ก็คือคำถามที่นักวิทยาศาสตร์ทุกยุค ทุกสมัยตั้งให้กับตนเองและก็ได้พยายามคิดค้น หาทฤษฎีที่จะใช้ช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้ เราลองมาคิดแบบง่าย ๆ วิธีแรกคือกำจัดต้นเหตุของเสียงรบกวนนั้น เช่น การปิดหรือทำให้สิ่งที่กำเนิดเสียงรบกวนหยุดผลิตเสียงรบกวนนั้นออกมาหรือใช้วิธีฉีสน้ดูดซับเสียงสัญญาณรบกวน แต่อย่างไรก็ตามยังมีบางสิ่งบางอย่างที่ไม่สามารถกำจัดไปได้ เช่น เสียงที่เกิดจากเครื่องยนต์ที่เข้ามารบกวนในห้องผู้โดยสาร หรือเสียงที่เกิดจากพัดลมของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเสียงเหล่านี้ไม่สามารถกำจัดแหล่งที่กำเนิดเสียงได้ดังนั้นวิธีนี้ยังใช้ไม่ได้ผลสำหรับแหล่งกำเนิดบางประเภท จึงได้มีการคิดค้น ทฤษฎีในการหักล้างกันทางเฟสของสัญญาณ (ดังรูปที่ 1.1) ซึ่งจะเป็นทฤษฎีที่สำคัญที่จะนำมาประยุกต์ใช้กำจัดเสียงรบกวนในอากาศ หลักการของวิธีการนี้ก็คือ นำสัญญาณที่ไม่ต้องการหรือสัญญาณรบกวน(Noise)จากแหล่งกำเนิด มาทำการกลับเฟสแล้วส่งออกไปในอากาศซึ่งเมื่อสัญญาณที่มีเฟสตรงข้ามกันจะทำให้เกิดการหักล้างกับสัญญาณเดิม เสียงที่ได้ยินก็จะทำให้เบาลง



รูปที่ 1.1 การกลับเฟสของสัญญาณรบกวนเพื่อนำไปหักล้างกับสัญญาณเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานภายในของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าเราต้องการ ขจัดเสียงรบกวนในอากาศ ในขั้นแรกเราจะต้องมีวงจรกรองความถี่ที่มีย่านความถี่การกรองเดียวกับความถี่ของสัญญาณรบกวน สมมุติให้สร้างจากวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ธรรมดาที่มีการกรองความถี่จากการต่อตัว  $R, L, C$  เข้าไป แต่เมื่อความถี่ของสัญญาณรบกวนเปลี่ยนแปลงไปนั้น การที่จะสร้างวงจรกรองความถี่ให้มีการปรับค่าย่านกรองเองได้นั้นยากเกินความจำเป็น และในปัจจุบันเราได้มีเทคโนโลยีที่สามารถทำได้ง่ายและประหยัดกว่าคุณภาพดีกว่า นั่นคือ เทคโนโลยีที่ใช้ การประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (Digital Signal Processing : DSP) เข้ามาแทนการใช้อุปกรณ์ทางแอนะล็อก

การประมวลผลสัญญาณที่เรียกว่า DSP เป็นขบวนการที่ใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับตัวเลข มาทำการจัดการกับสัญญาณนั้นๆ ในอดีตนั้นเนื่องจากอุปกรณ์เกี่ยวกับ DSP ทำการประมวลผลได้ช้าและมีราคาสูง จึงไม่เป็นที่นิยมแต่ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมีมากขึ้น ทำให้ อุปกรณ์ที่เกี่ยวกับ DSP มีความสามารถสูงขึ้น และราคาถูกลง เมื่อทางบริษัทเท็กซัสอินสตรูเมนต์ ผู้ผลิตชิป DSP ตระกูล TMS320CXX ได้จัดทำชุดพัฒนาที่สมบูรณ์แบบมีตัวชิพตัวคู่มือ และอุปกรณ์ต่างๆทั้งหมดพร้อมทั้งซอฟต์แวร์และ โปรแกรมตัวอย่าง ได้มีการจัดการจำหน่ายในราคาถูกลง เพื่อต้องการให้มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันได้มีผู้นำเข้าชุดพัฒนาระบบประมวลผลสัญญาณเชิงเลข TMS320C50 DSP STARTER KIT (DSK) ของบริษัทเท็กซัสอินสตรูเมนต์เข้ามาจำหน่ายให้นักศึกษา นักออกแบบได้ทดลองศึกษาใช้งานเป็นการพัฒนา DSP ในประเทศไทย

จากชุดพัฒนา DSK เราสามารถที่จะนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องกำจัดสัญญาณรบกวนปรับค่าได้แบบคล่องตัว (Active Noise Canceling Controller) ซึ่งได้พัฒนามาจากตัวกรองความถี่แบบปรับค่าได้ ซึ่งทำงานที่เวลาจริง (Real Time) และในการสร้างเครื่องกำจัดสัญญาณรบกวนปรับค่าได้แบบคล่องตัวได้ใช้หลักการเดียวกับที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งนำหลักการอะคูสติก (Acoustic) มาใช้ในการทดลอง และการติดตั้งจริง

## 1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีความสามารถดังนี้

1. สามารถกำจัดเสียงรบกวนที่เกิดจากพัดลม, แอร์ ในห้องที่ทำการทดลอง
2. สามารถลดสัญญาณเสียงรบกวนในห้องปิดได้ไม่ต่ำกว่า -3 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษา และทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาสำคัญดังนี้ ในบทที่ 1 ได้กล่าวถึงที่มาของโครงการนี้ อย่างคร่าว ๆ

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ประกอบด้วยโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมของชิพ TMS320C50 ซึ่งเป็นตัวประมวลผลสัญญาณ และได้กล่าวถึงชุดพัฒนา DSK และสมการที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนหลักการในการลดสัญญาณรบกวน (Acoustic) ที่ใช้

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง ประกอบด้วยโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานของ TMS320C50 บนชุดพัฒนา DSK

บทที่ 4 ผลการทดลองและทดสอบในส่วนนี้ เป็นการนำเอาเครื่องกำจัดสัญญาณรบกวนปรับค่าได้แบบคล่องตัวที่ได้สร้างขึ้น มาทำการทดสอบการทำงานของเครื่อง โดยแบ่งเป็นลำดับขั้น การทดลอง ลำดับต่าง ๆ ตลอดจนผลการทดลองที่ได้ ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่

บทที่ 5 การสรุปปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา ซึ่งเป็นการสรุปผลการทำงานของเครื่องกำจัดสัญญาณรบกวนปรับค่าได้แบบคล่องตัว โดยใช้ชิพ TMS320C50 บนชุดพัฒนา DSK พร้อมทั้งกล่าวถึงปัญหา ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงาน และแนวทางการพัฒนา การนำไปประยุกต์ใช้งาน และปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

ในภาคผนวกแสดงรายละเอียดของโปรแกรม และคู่มือประกอบตัวอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้จัดทำโครงการดังนี้

ภาคผนวก ก ผังการทำงานของโปรแกรม

ภาคผนวก ข โปรแกรมควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนคล่องตัว

ภาคผนวก ค วงจรและแผ่นพิมพ์

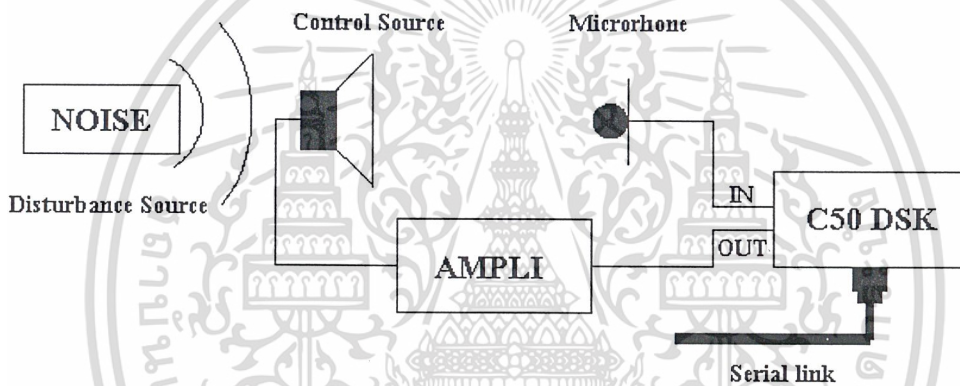
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 ลักษณะของตัวควบคุม

ตัวควบคุมนี้ใช้รูปแบบการควบคุมแบบป้อนกลับ เป็นรูปแบบที่ถูกรำเสนอโดย ออลสัน และเมย์ (Olson and May) ในปี ค.ศ. 1953 ซึ่งจากหลักการสามารถเขียนเป็นส่วนประกอบต่างๆ อย่างง่ายๆ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนปรับค่าได้แบบทางเดียว

จุดมุ่งหมายของระบบคือ ต้องการสร้างเขตปลอดสัญญาณเสียงรอบๆ ตัวไมโครโฟนขนาดของเขตความเงียบจะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณเสียงรบกวน ซึ่งสัญญาณเสียงรบกวนที่ถูกทำให้น้อยลง มันจะถูกกำจัดได้ยากเมื่อมีความถี่ต่ำ ขนาดโดยประมาณของเขตความเงียบอยู่ที่ 1/10 ของความยาวคลื่น

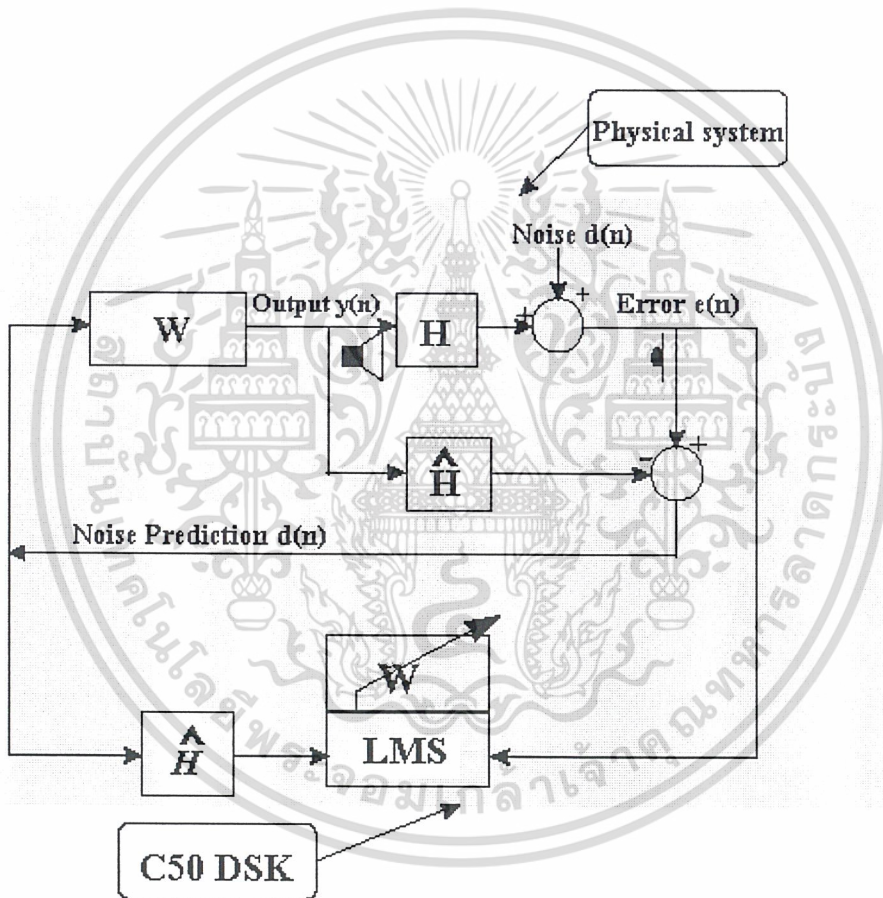
ระบบนี้จะสามารถควบคุมการกำจัดเสียงได้ทั้งหมด ถ้าหากสามารถควบคุมลำโพงให้สร้างสัญญาณเสียงที่เหมาะสมกับการแพร่ในสนามเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียงรบกวน

ตัวอย่างเช่น ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงคือ ลำโพงที่ปล่อยสัญญาณเสียงบริสุทธิ์ 100 เฮิร์ตซ์ การควบคุมโดยรวมจะสามารถสำเร็จได้โดยการจัดวางตำแหน่งของลำโพงให้อยู่ใกล้ (เปรียบเทียบกับความยาวคลื่น) กับแหล่งกำเนิดของสัญญาณเสียงรบกวนสิ่งเหล่านี้สามารถเป็นไปได้เพราะแหล่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำเนิดทฤษฎีที่เหมาะสมกับการกระจายสัญญาณในอากาศของแหล่งกำเนิดปฐมภูมิโดยทั้งคู่จะอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน หรือเสมือนอยู่ที่จุดเดียวกันมากที่สุด

ลักษณะของการลดทอนสัญญาณเสียงรบกวนที่เกิดขึ้น ได้ใช้หลักการพื้นฐานของการควบคุมที่สามารถปรับค่าการตอบสนองตามสัญญาณเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นในแต่ละลักษณะ จึงนำระบบนี้มาใช้ในการแก้ปัญหาสัญญาณเสียงรบกวนที่เกิดขึ้น โดยระบบนี้จะทำหน้าที่ลดสัญญาณเสียงรบกวนบริเวณไมโครโฟน(รูปที่ 2.2 หลักการแก้ปัญหาโดยการป้อนกลับแบบ Feedforward approach)



รูปที่ 2.2 หลักการแก้ปัญหาโดยการป้อนกลับแบบ Feedforward approach

จากรูปที่ 2.2  $H$  แทนด้วยผลตอบสนองของสนามเสียง หรือผลตอบสนองสัญญาณชั่วขณะระหว่างสัญญาณเอาต์พุตที่ส่งไปยังลำโพง  $y(n)$  กับสัญญาณผิดพลาดที่ไมโครโฟน  $e(n)$   $\hat{H}$  แทนด้วยตัวกรองความถี่ FIR แบบ 256 อัตรา จะช่วยวิเคราะห์ควบคุมสัญญาณที่ไมโครโฟน การเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์จะทำการจัดสัญญาณ  $H$  จากไมโครโฟน ได้ผลลัพธ์จากการลดทอนเป็นสัญญาณ  $\hat{d}(n)$  หรือคือสัญญาณที่ไม่ต้องการ (ใช้ช่วยในการควบคุมลำโพงให้มีการลดทอน)

สัญญาณเอาต์พุตของแหล่งกำเนิดทฤษฎี (คลื่นกำจัดสัญญาณเสียงรบกวน) คือสัญญาณที่รวมกันอย่างต่อเนื่องของสัญญาณ  $\hat{d}(n)$  ที่ได้จากการคาดคะเนสัญญาณรบกวน วงจรกรองปรับค่าได้  $W$  จะควบคุมวงจรกรองความถี่และทำให้มีโครงสร้างของสัญญาณตรงกันข้ามกัน วงจรกรองนี้จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณทั้ง 16 อันดับ จากหลักการ X-LMS โดยที่วงจรกรองนี้จะมีจุดมุ่งหมาย 2 ข้อ คือ

1. ทำนายค่าสัญญาณที่เกิดความยุ่งบางเวลาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ได้จากค่าสัญญาณที่ผ่านเข้ามาในปัจจุบันและที่ผ่านมาก่อนหน้านี้ ช่วงเวลาในการทำนายล่วงหน้าจะใช้เวลาประมาณเท่ากับเวลาที่ใช้ในการแพร่จากลำโพงถึงไมโครโฟน
2. สร้างสัญญาณเอาต์พุตจากค่าที่ได้ทำนายล่วงหน้าเพื่อควบคุมการทำงานของลำโพง และเป็นตัวตรวจจับสมการการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจากลำโพงถึงไมโครโฟน

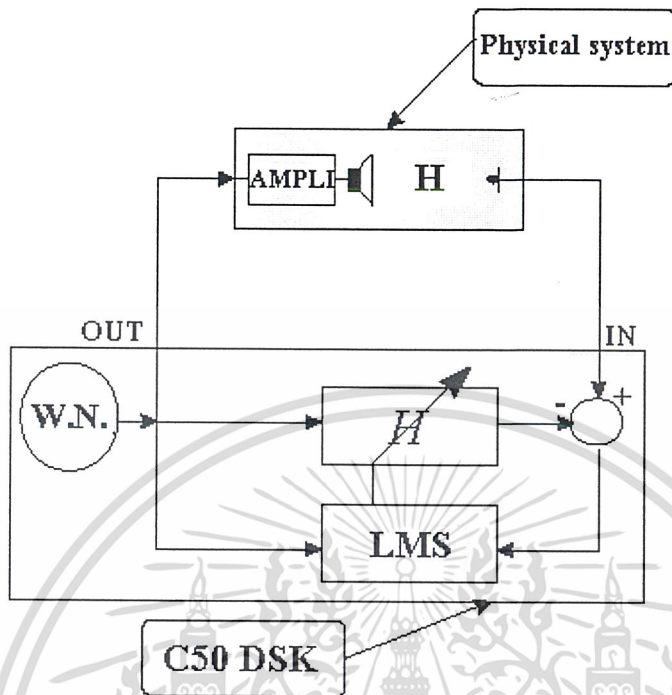
ซึ่งความจริงแล้วจุดมุ่งหมายทั้ง 2 ข้อข้างต้นได้รวมอยู่ในตัวควบคุมการกรองความถี่แบบปรับค่าได้  $W$

จากลักษณะที่ได้ผ่านมา จะเห็นว่ามีข้อจำกัดของระบบควบคุมแบบป้อนกลับอยู่อย่างหนึ่ง คือ การที่จะสามารถควบคุมได้อย่างเต็มที่สัญญาณรบกวนนั้น จะต้องสามารถคาดคะเนสัญญาณที่จะเกิดในอนาคตได้ ดังนั้นตัวควบคุมแบบป้อนกลับจะทำงานได้ดีในช่วงความถี่และคาบของสัญญาณรบกวนเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่การทำนายสัญญาณนั้นยากที่จะมีส่วนประกอบบนการลุ่มจากสัญญาณที่บริสุทธิ์

ในรูปที่ 2.3 แสดงถึงกระบวนการปรับตัวของระบบให้เข้ากับสภาพแวดล้อม ซึ่งจะต้องกระทำในขั้นตอนนี้ก่อนที่ตัวควบคุมจะสามารถทำงานเอง ในการคาดคะเนคุณสมบัติการโอนย้ายของระบบ  $\hat{H}$

ในขณะที่มีการปรับตัวของระบบอยู่ TMS320C50 จะสร้างสัญญาณรบกวนบริสุทธิ์ (white noise : W.N.) ออกมาทางลำโพงประมาณสองถึงสามวินาที สัญญาณจากไมโครโฟนเป็นตัวแสดงได้ว่าทำงานในกระบวนการนี้อยู่ และใช้หลักการ LMS (Least Mean Square) ในการปรับ  $H$  จากสัญญาณอินพุต และเอาต์พุตของระบบ หลังจากการทำงานในกระบวนการนี้จะเป็นการทำงานร่วมกันของระบบดังรูปที่ 2.2 และสมการ filtered-X-LMS จะปรับค่าตัวกรองความถี่  $W$  เพื่อให้กำลังสัญญาณผิดพลาดจากไมโครโฟนลดลงเหลือน้อยที่สุด ภายในเวลาสองถึงสามวินาทีสัญญาณที่ไมโครโฟนจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กระบวนการปรับค่าความเปลี่ยนแปลงของสนามเสียง ( $H$ )

ค่าสัมประสิทธิ์ ผลตอบสนองของสนามเสียง  $H$  และตัวกรองความถี่  $W$

จำนวนของค่าสัมประสิทธิ์ ที่สร้างขึ้นจะเหมือนสัมประสิทธิ์ของระบบ โดยขึ้นอยู่กับความถี่สุ่มที่เลือกใช้ และขนาดของผลตอบสนองชั่วขณะของระบบ ผลตอบสนองชั่วคราระหว่างลำโพงตู้ไมโครโฟนโดยจะมีผลจากเสียงสะท้อนในห้อง ดังนั้นเสียงสะท้อนภายในห้องจะมีความยาวคลื่นมากกว่าปกติถ้าเครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวนถูกใช้ภายในห้องเพื่อที่จะกำเนิดสัญญาณรบกวน ที่มีผลตอบสนองชั่วขณะที่ยาว และสูงกว่าความถี่สุ่ม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 600 เฮิรตซ์ ความถี่สุ่มที่ 600 เฮิรตซ์สัมประสิทธิ์จะมีค่าเท่ากับ 256 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่สามารถเก็บได้

สำหรับตัวกรองความถี่  $W$  จะมีอันดับจำนวนสิบหกอันดับ สามารถควบคุมได้สูงสุดถึงแปดสัญญาณเสียง และค่าสูงสุดสองสัมประสิทธิ์ต่อเสียงจึงจะเหมาะสม

จากแนวความคิดข้างต้น จึงได้เลือกใช้ชิป DSP เบอร์ TMS320C50 ซึ่งเป็นชิปประมวลผลสัญญาณเชิงเลขที่ถูกออกแบบมาให้ใช้งานด้าน DSP จากประวัติการสร้างชิป DSP บริษัทเท็กซัสอินสตรูเมนต์ ได้แนะนำเป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2525 ด้วยเบอร์ TMS320C10 ได้รับเลือกเป็นผลิตภัณฑ์ดีเด่นในปีนั้นเอง ดังนั้นชิป TMS320C10 จึงกลายเป็นแบบสำหรับ TMS320 ในรุ่นต่อมา

ปัจจุบัน TMS320C50 เป็นชิป ประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่ใหม่ล่าสุดมีประสิทธิภาพสูงสุด มีหน่วยความจำและอุปกรณ์เชื่อมต่ออยู่ภายใน ทำให้มีความสะดวกและประหยัดในการใช้งาน โดยเฉพาะไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีรอบการทำงานของคำสั่งเพียง 50 นาโนวินาที ในการทำคำสั่งแต่ละคำสั่งจะใช้เวลาหนึ่งรอบการทำงาน ทำให้สามารถประมวลผลสัญญาณได้ถึง 28 ล้านคำสั่งต่อวินาที และสามารถทำการประมวลผลแบบเวลาจริงได้ทันที ซึ่งชิป TMS320C50 นี้เป็นชิปประมวลผลสัญญาณเชิงเลขชิปเดี่ยวขนาด 16 บิต แบบไม่กึ่งจุดทศนิยมและมีความยืดหยุ่นในการควบคุมด้วยความเร็วสูง ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

1. กลุ่มคำสั่งมีความยืดหยุ่นสูงมาก
2. สะดวกต่อการใช้งาน
3. มีความเร็วสูงสามารถปฏิบัติงานได้มากกว่า 28 ล้านคำสั่งต่อวินาที
4. ออกแบบด้วยสถาปัตยกรรมแบบขนาน
5. ราคาต่ำ

## 2.2 ลักษณะโครงสร้างของ TMS320C50

1. รอบการทำงานของคำสั่งใช้เวลา 35 - 50 นาโนวินาที
2. ซอร์สโค้ดเข้ากันได้กับ C1x และ C2x
3. ทำคำสั่งได้ 28.6 ล้านคำสั่งต่อวินาที (MIPS)
4. มีหน่วยความจำข้อมูลภายในชิป (RAM) 9 กิโลเวิร์ด
5. มีหน่วยความจำโปรแกรม (ROM) 2 กิโลเวิร์ด
6. มีทางเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูล 2 ทาง ภายในชิป(RAM) 1056 กิโลเวิร์ด
7. มีพื้นที่หน่วยความจำภายนอก 222 กิโลเวิร์ด
8. หน่วยประมวลผลคณิตศาสตร์ (ALU) , แอคคิวมูเลเตอร์ (ACC) และบัฟเฟอร์มีขนาด 32 บิต
9. หน่วยลอจิกขนานมีขนาด 16 บิต
10. การคูณเป็นแบบขนานขนาด 16 X 16 บิต ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็น 32 บิต
11. คูณเลขโดยใช้สัญญาณนาฬิกาหนึ่งรอบการทำงาน
12. มีรีจิสเตอร์ช่วย จำนวน 8 ตัว
13. เพิ่มฮาร์ดแวร์สเตจขึ้น 8 ระดับ
14. มีตัวเลื่อนบิต (Shifter) แบบขนาน 16 บิต และ 64 บิต ในการเลื่อนข้อมูล
15. มีการทวนคำสั่งที่เป็นคำสั่งเดี่ยว และทวนรหัสโปรแกรมหรือข้อมูลเป็นบล็อก
16. มีการจัดโปรแกรมหรือข้อมูลไปไว้ในบล็อกหน่วยความจำที่ติ๊กว่า
17. มีพอร์ตอนุกรมแบบเข้าจังหวะ (Synchronous) 2 ทาง (Full Duplex) สำหรับติดต่อกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 พอร์ตต่ออนุกรมกับอุปกรณ์อื่นๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. มีพอร์ตอินพุต-เอาต์พุต แบบขนานทั้งหมด 64 กิโลตำแหน่ง และภายในอยู่ในพื้นที่หน่วยความจำมี 16 พอร์ต
19. มีโปรแกรม Wait-State เพื่อใช้ในการติดต่ออุปกรณ์ หรือหน่วยความจำภายนอกที่ทำงานช้ากว่า
20. ปฏิบัติงานแบบ 4 ไบน์ไลน์ มีต้นกำเนิดสัญญาณพิกภายในชิป
21. โหมดการอ้างข้อมูลแบบชี้ตำแหน่ง (Index-Addressing)
22. ใช้เทคโนโลยีแบบ CMOS
23. ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ มีต่อใช้งาน 132 ขา

### 2.3 สถาปัตยกรรมของ TMS320C50

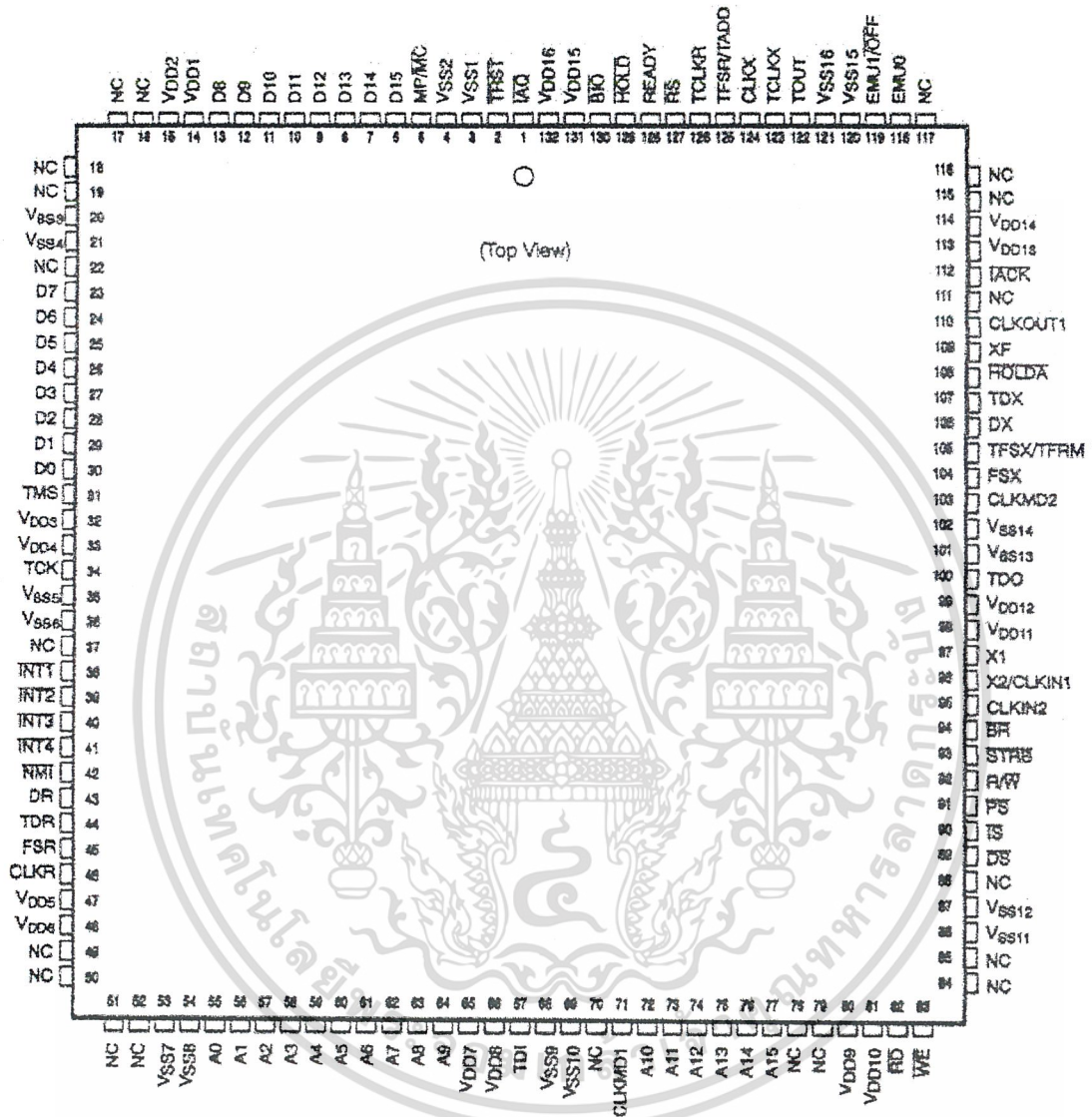
โครงสร้างส่วนสำคัญของ TMS320C50 DSP ประกอบด้วยส่วนสำคัญสามส่วนคือ

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

TMS320C50 เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้สำหรับในการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ซึ่งมีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับTMS320C25 และใช้สถาปัตยกรรมแบบเดียวกัน คือ สถาปัตยกรรมแบบ "ฮาวาด" โดยจะแบ่งโครงสร้างของหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วนแยกจากกัน คือ หน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูล ซึ่งจะทำให้การทำงานต่างๆเป็นไปด้วยความเร็วสูง นอกจากนี้ยังสามารถทำการโอนย้ายข้อมูลระหว่างกันได้

ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์นั้น จะใช้วิธีการคำนวณโดยใช้เลขวิธีแบบทวอคอมพลีเมนต์ โดยใช้ ALU ซึ่งเป็นหน่วยความจำทางคณิตศาสตร์ และลอจิกจะใช้ตัวกระทำขนาด 16 บิตเวิร์ด และแอกคิวมูลเตอร์ขนาด 32 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ลักษณะขาของ TMS320C50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ขาของ TMS320C50

ชิปประมวลสัญญาณเชิงเลขเบอร์ TMS320C50 จะมีลักษณะเป็นการบรรจุ มีขาต่างๆ 132 ขา รอบๆ ทั้งสี่ด้าน (Quad Flat Pack Package : QFP) ซึ่งแต่ละขามีความสัมพันธ์กัน สามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้ในระบบสื่อสารและรวมถึงระบบอิเล็กทรอนิกส์จากรูปจะแสดงด้านบนของแพ็คเกจ ดังรูปที่ 2.1 จากลักษณะโครงสร้างของการจัดวางตำแหน่งขาจะเห็นได้ว่าลักษณะการวางขามีการออกแบบตลอดจนทำขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะการบัดกรีแบบยึดพื้นผิว ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องมือในการบัดกรีชนิดพิเศษ โดยจะใช้เครื่องมือในการบัดกรีแบบปกติไม่ได้ ซึ่งการจำเป็นต้องใช้งานชิปนี้ ผู้จัดทำโครงการขอเสนอแนะใช้บอร์ดสำเร็จรูปที่บัดกรีไว้แล้วจะเป็นการสะดวกกว่า ทั้งนี้เพราะบอร์ดสำเร็จรูปมีการบัดกรีและเชื่อมต่อออกเป็นจุดขนาดใหญ่พอที่จะทำการบัดกรีได้สะดวก หรืออาจเลือกใช้ชิปที่จัดวางขาในลักษณะสองแถวคู่ ซึ่งสามารถติดตั้งลงบนขารองรับไอซีทั่วไปได้แต่จะมีขนาดใหญ่

## 2.5 การอ้างถึงตำแหน่งข้อมูล

TMS320C5X สามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมได้ 64 กิโลเวิร์ดและอ้างหน่วยความจำข้อมูล 96 กิโลเวิร์ด มีโหมดการอ้างถึงตำแหน่งข้อมูล 8 โหมด โหมดที่สำคัญมี 6 โหมดคือ

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

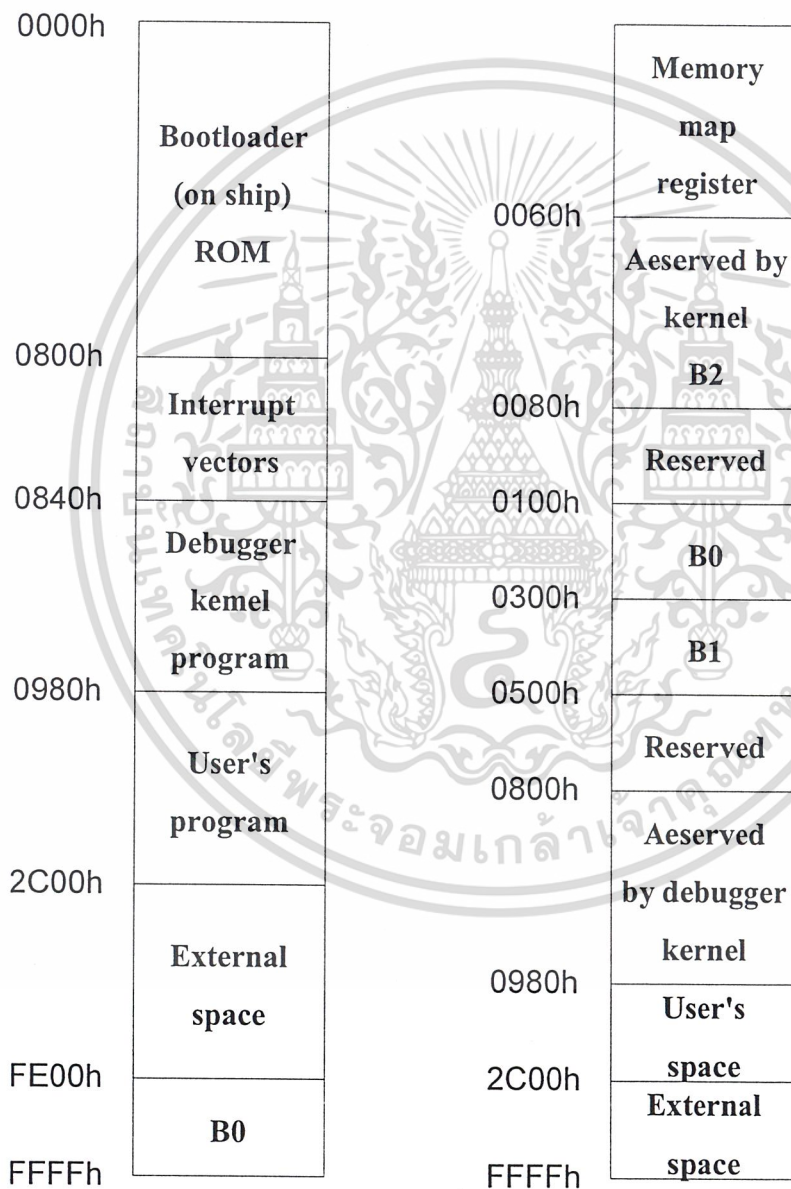
## 2.6 การควบคุมการนำข้อมูลเข้าและส่งออก (Peripheral Control)

ใน 'C50 มีคอนเน็กเตอร์เชื่อมต่อกับ CPU ได้แก่ พอร์ตอนุกรม พอร์ตอนุกรมTDM ไทม์เมอร์ ซอฟต์แวร์โปรแกรมสถานะการคอย อินพุต-เอาต์พุตพอร์ต การหารโดยใช้สัญญาณนาฬิกาหนึ่งลูก (Divided by One Clock) และขา XF กับ BIO โดยอุปกรณ์เชื่อมต่อเหล่านี้ สามารถควบคุมได้โดยตรงจากรีจิสเตอร์ที่เก็บผังหน่วยความจำไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 การจัดหน่วยความจำ

ในตัว TMS320C50 มีหน่วยความจำความเร็วสูงขนาด 1056 เวิร์ด โดยที่แต่ละเวิร์ดมีขนาด 16 บิต และมีรวมภายในขนาด 256 เวิร์ด สามารถอ้างอิงหน่วยความจำภายนอกได้ถึง 224 กิโลเวิร์ด โดยแบ่งเป็นหน่วยความจำข้อมูล หน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำอินพุตเอาต์พุต (I/O) อย่างละ 64 กิโลเวิร์ด นอกนั้นอีก 32 กิโลเวิร์ด นอกนั้นอีก 32 กิโลเวิร์ด สำหรับใช้งานต่างๆ ไป



รูปที่ 2.5 ลักษณะการจัดหน่วยความจำของ TMS320C50 DSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนALU (Arithmetic Logic Unit) แอคคิวมูเลเตอร์(ACC) และแอคคิวมูเลเตอร์บัฟเฟอร์ (ACCB) มีขนาด 32 บิต ที่สามารถคูณเลขขนาด 32 บิตได้ภายใน 1 รอบคำสั่ง ทั้งนี้เนื่องจากตัว ALU มีวงจรคูณ 16x16บิต แบ่งออกเป็น อินพุต 16 ช่อง เอาต์พุต 16 ช่อง จงจรติดต่อกับหน่วยความจำ ร่วม (Global Data Memory Interface)

ตัว TMS320C26 สามารถต่อใช้งานเพียงตัวเดียวหรือ จะต่อใช้งานขนานหลายตัวที่เรียกว่า เป็นระบบ Multi-Processor System ก็ได้

ในการใช้งานกับหน่วยความจำภายนอกตัวชิปจะทำงานได้ช้ามาก จึงเน้นให้ใช้หน่วยความจำแบบภายในชิปเป็นที่เก็บโปรแกรมแทน ในการใช้งานให้ดาวน์โหลดโปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอกมาเก็บในชิป แล้วทำการรันโปรแกรมทำงาน โดย TMS320C50 ได้เพิ่มคำสั่ง “Block Transfer” ที่ใช้ในการโหลดข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกมาที่ละบิตแล้วมาเก็บไว้ในหน่วยความจำแรมของชิป วิธีการนี้จะช่วยให้การทำงานเร็วขึ้น

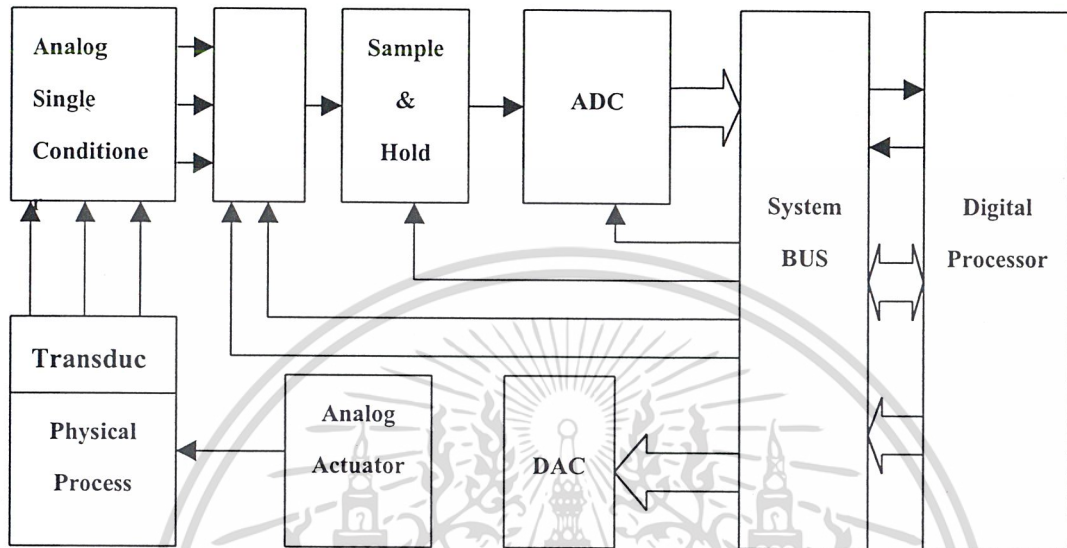
## 2.8 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณ(Data Acquisition And Conversion)

ในอดีตรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้า โดยมากมักจะอยู่ในรูปสัญญาณแอนะล็อกการนำเอาสัญญาณไฟฟ้ามาประมวลผลเพื่อให้เกิดรูปแบบที่ต้องการนั้นต้องใช้อุปกรณ์ทางแอนะล็อก แต่ปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีทางดิจิทัล ก้าวหน้าไปมากทำให้การประมวลผลสัญญาณทางดิจิทัลสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพดังนั้นการแปลงรูปแบบสัญญาณ (Conversion) จึงมีความจำเป็นในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกที่มีอยู่แล้วให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยอุปกรณ์การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และจะถูกประมวลผลโดยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเช่นคอมพิวเตอร์ เป็นต้น จากผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาแสดงผลโดยตรงเลย หรืออาจถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณแอนะล็อกที่ใช้งานได้ การที่จะแปลงสัญญาณดิจิทัลกลับไปเป็นสัญญาณแอนะล็อกนั้น สามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก สำหรับระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลทางดิจิทัลแสดงดังรูปที่ 2.6

จากรูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในลักษณะใดๆ ก็ตาม เช่น อุณหภูมิ , ความดัน และความเร็ว จะถูกเปลี่ยนให้มาเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบแอนะล็อกโดยทรานสดิวเซอร์ ทฤษฎีการสุ่มที่มีรูปแบบเหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพนั้นๆ จากนั้นสัญญาณทางไฟฟ้าก็จะถูกปรับให้อยู่ในรูปแบบ และขนาดที่เหมาะสมก่อน โดยวงจรต่างๆ เช่น วงจรขยาย หรือวงจรกรองสัญญาณ เป็นต้น วงจรแชนเนลเปิดแอนด์โฮลด์ จะสุ่มขนาดของสัญญาณแอนะล็อกมาแล้วจะทำการโฮลด์สัญญาณนั้นไว้ชั่วคราว โดยไม่จำเป็นต้องใช้ วงจร ADC แล้วข้อมูลทางดิจิทัล จะส่งต่อไปยังบัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบ จากนั้นตัวโปรเซสเซอร์จะทำการประมวลผลข้อมูล แล้วเปลี่ยนผลลัพธ์ข้อมูลกลับมา เพื่อควบคุมกิจการทางกายภาพของระบบ



รูปที่ 2.6 ระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลทางดิจิทัล

## 2.9 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก

การติดต่อระหว่างมนุษย์ส่วนมากจะใช้สัญญาณต่อเนื่องเป็นสัญญาณติดต่อกัน แต่การทำงานของระบบคอมพิวเตอร์จะใช้สัญญาณเป็นช่วงดิจิทัลเป็นสัญญาณในการทำงาน ดังนั้นถ้าเราต้องการที่จะให้ คอมพิวเตอร์ ช่วยเราทำงานแล้ว เราจึงต้องเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกที่เราใช้อยู่ให้ไปเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อให้คอมพิวเตอร์ หรือเครื่องประมวลสัญญาณดิจิทัลรับรู้ได้เมื่อทำการประมวลสัญญาณเสร็จก็จะส่งข้อมูลออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งเป็นเรื่องยุ่งยากที่เราจะเข้าใจในข้อมูลนั้น ดังนั้นพอสรุปได้ว่าการเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งเป็นการประสานโลกของ คอมพิวเตอร์เข้ากับโลกของมนุษย์ เพื่อให้มนุษย์ได้ใช้คอมพิวเตอร์ได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้นการเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัลเรียกว่า Analog To Digital Conversion(ADC) หรือเรียก A/D ในทำนองเดียวกัน การเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณแอนะล็อกเรียกว่า Digital To Analog Conversion (DAC) เรียกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าขายๆ ว่า D/A

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 ทฤษฎีของการสุ่มข้อมูล (Sampling)

ในการสุ่มข้อมูลนั้น สัญญาณแอนะล็อกจะถูกสุ่มเป็นระยะคงที่ กลุ่มของสัญญาณที่สุ่มจะแทนด้วยความเร็วสูง ซึ่งเกิดจากการตัดต่อสัญญาณแอนะล็อกด้วยระยะเวลาอันสั้น ผลของการสุ่มจะแทนด้วยความเร็วจะเหมือนกับการคูณขบวนสัญญาณพัลส์กับสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งจะทำให้ได้สัญญาณที่มอดูเลต (Modulated Signal) ระหว่างขบวนพัลส์กับสัญญาณแอนะล็อก

อัตราการสุ่มสัญญาณ หรือความถี่ของการสุ่มสัญญาณควรมีค่าเท่าใดที่ข้อมูลที่สุ่มได้นี้จะเป็นตัวแทนที่ดีของสัญญาณต่อเนื้อนั้น คำตอบคือขึ้นอยู่กับความถี่สัญญาณแอนะล็อกและจากทฤษฎีของการสุ่ม (Nyquist Theorem) ได้กล่าวไว้ว่า "ถ้าสัญญาณต่อเนื่องที่มีความถี่ฮาร์โมนิก (Harmonic Frequency) ไม่เกินความถี่พินคาเมนทอลแล้วสัญญาณดังกล่าวจะสามารถเปลี่ยน กลับมาเช่นเดิม โดยไม่สูญเสียรายละเอียด หรือผิดเพี้ยนไป ถ้าอัตราการสุ่มมากกว่า  $2f$ "

## 2.11 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

การเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล A/D มีขบวนการอยู่หลายวิธีแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียรวมทั้งราคาที่แตกต่างกันไป ซึ่งในปริญญาโทปีนี้นี้ ได้ใช้บอร์ด DSK มีชิปแปลงสัญญาณ A/D และ D/A เบอร์ TLC32040C อยู่ในตัว จึงขอกล่าวถึงหลักการแปลงสัญญาณดังนี้

### 2.11.1 A/D แบบ เซอร์โว (Servo)

เป็นแบบที่ง่ายและราคาถูกที่สุด แต่การทำงานไม่เที่ยงตรง อันเนื่องมาจาก อุณหภูมิเวลา และความไวในการรับสัญญาณอินพุต

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

เป็นแบบที่มีความละเอียดถูกต้องสูง ราคาค่อนข้างแพง ทางด้านอุณหภูมิมีผลน้อยแต่มีความเร็วในการทำงานต่ำ

### 2.11.3 A/D แบบ ซักเซสซีฟ-แอฟพร็อกซิเมชัน (Successive-Approximation)

เป็นแบบซึ่งใช้งานกันทั่วไป และเป็นแบบซึ่งทำงานได้อย่างรวดเร็วมีความถูกต้องสูงแต่การสร้างวงจรมันต้องใช้ D/A

### 2.11.4 A/D แบบ คอมพาราเตอร์ ขนาน (Parallel-Comparator)

เป็นแบบที่มีความเร็วในการทำงานสูงแบบหนึ่ง แต่ราคาก็สูงที่สุดในบรรดา A/D ทุกชนิด หลักการทำงานไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่ต้องใช้ส่วนประกอบอื่นค่อนข้างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

การเปลี่ยน D/A โดยทั่วไปจะสามารถแบ่งตาม ตัวต้านทาน ที่ต่ออยู่สองแบบ คือ

1. แบ่งตามน้ำหนักที่อินพุต (Binary Weighted Resistor Ladder) ในการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลของเลขไบนารีให้เป็นแรงดันแอนะล็อกนั้นจะต้องใช้แรงดันค่าหนึ่งสำหรับหนึ่งบิตของเลขไบนารีที่เข้ามา ค่าแรงดันที่ตำแหน่งบิตจะเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักไบนารี ของบิตนั้นๆ

2. R-2R แลตเตอร์ D/A ชนิดนี้เป็นอีกแบบหนึ่งซึ่งจะแก้ปัญหาในการหาความต้านทานซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันมากๆ ให้เป็นวงจรที่ใช้ค่าความต้านทานต่างกันเพียง 2 ค่าเท่านั้น โดยการต่อวงจรที่เรียกว่า R-2R Network หรือ R-2R Ladder สัญญาณอินพุต แต่ละบิตที่ป้อนเข้าวงจร จะทำให้เอาต์พุตที่ได้เปลี่ยนแปลงไป D/A R-2R Ladder เป็นแบบที่ใช้ในการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก

## 2.13 ทฤษฎีของตัวกรองเชิงเลข (Digital Filter)

ตัวกรองอาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลข และตัวกรองป้อนกลับเชิงเลข ตัวกรองทั้งสองประเภทนี้มีคุณสมบัติ และการออกแบบที่แตกต่างกันออกไป จะบอกคุณสมบัติทั่วไปของการกรองทั้งสองประเภท รวมทั้งข้อเปรียบเทียบระหว่างการกรองทั้งสองแบบ นอกจากการกรองเชิงเลขที่มีการประยุกต์ใช้กับระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการกรองในระบบเวลาจริงแล้วจะแสดงให้เห็นต่อไปว่ายังมีลักษณะการประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์อีกหลายแบบ โดยเฉพาะการประมาณค่า และการอินทิเกรตเชิงเลข ทั้งสองลักษณะการประมวลผลนี้อาจถือได้ว่าเป็นการกรองเชิงเลขใน ระบบเวลาไม่จริง (Non-Real System) ได้

### 2.13.1 การกรองเชิงเลข

ได้มีการนำเอาหลักการของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข นำไปประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการนำมาประยุกต์ใช้ในเกือบทุกสาขาวิชาของสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และวิศวกรรมไฟฟ้า เช่น ในการสื่อสารข้อมูล ในระบบเรดาร์ โซนาร์ ในระบบเครื่องมือวัด และระบบควบคุมในอุตสาหกรรมต่างๆ เหตุผลที่เกิดพัฒนาการและมีการประยุกต์ใช้กันมากนี้ ก็เนื่องมาจากหลักการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข เหมาะสมเป็นอย่างยิ่งที่จะนำเอาคอมพิวเตอร์ มินิคอมพิวเตอร์ หรือไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งปัจจุบันมีราคาถูกลงเป็นอย่างมาก มาเป็นตัวประมวลผลสัญญาณที่มีประสิทธิภาพ ความเที่ยงตรง ความแม่นยำ และความเชื่อถือได้สูง นอกจากนี้ยังมีความคล่องตัวกว่าระบบการประมวลผลสัญญาณเชิงอุปมานมากด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขในลักษณะมิติเดียว ยังมีการประมวลผลสัญญาณในลักษณะสัญญาณสองมิติ ที่มีการประยุกต์ใช้งานของระบบการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขกันอยู่มากเช่นกัน เช่น การประมวลผลเชิงเลขของ ภาพรังสีเอกซ์ การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photograph) เพื่อตรวจดูถึงปรากฏการณ์ต่างๆ ของโลก การวิเคราะห์ภาพถ่ายสภาวะอากาศจากดาวเทียมการทำให้สัญญาณโทรภาพจากยานสำรวจอวกาศ มีความชัดเจนขึ้นการวิเคราะห์สัญญาณความไหวสะเทือน ที่มีใช้ในการตรวจหาแหล่งน้ำมัน หรือการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของพื้นโลก เหล่านี้เป็นตัวอย่างของลักษณะการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขทั้งสัญญาณเชิงเลขทั้งสิ้น ซึ่งกล่าวโดยทั่วไปแล้ว เราสามารถนำเอาหลักการของการประมวลผลสัญญาณมิติเดียวมาประยุกต์ใช้กับการประมวลผลสัญญาณสองมิติได้

ระบบการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขที่ได้กล่าวถึงไปนั้น การกรองเชิงเลขเป็นกระบวนการประมวลผลสัญญาณอันหนึ่งที่มีความสำคัญ โดยที่การกรองเชิงเลขมักจะเกี่ยวข้องเนื่องกับการกำจัดสัญญาณรบกวน และลดความผิดเพี้ยนของสัญญาณ การที่ในปัจจุบันระบบการกรองเชิงเลขมีบทบาทสำคัญมากขึ้นก็อาจเนื่องมาจาก

1. การที่มีวิธีการออกแบบตัวกรองที่ง่ายแต่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. พัฒนาการของการออกแบบวงจรวีแอลเอสไอ (VLSI) ที่ทำให้การคูณตัวเลขการเก็บข้อมูลของสัญญาณเชิงเลข ทำได้รวดเร็วขึ้นมาก
3. การที่มีคอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ที่มีประสิทธิภาพสูง

ด้วยเหตุผลเหล่านี้ ทำให้การกรองเชิงเลขถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการประมวลผลสัญญาณที่สำคัญๆ เช่น การสื่อสารโทรคมนาคม ระบบเรดาร์ โซนาร์ หรือระบบอากาศยานเป็นต้น ตัวกรองเชิงเลขเป็นระบบการประมวลผลแบบเวลายืนยงเชิงเส้นแบบหนึ่ง เนื่องจากการที่มีการประยุกต์มากมายในสัญญาณสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นวิธีการการออกแบบและการสร้างโดยที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ จึงได้รับความสนใจและมีการพัฒนากันอย่างกว้างขวาง และการที่ตัวกรองเชิงเลขมีการนำไปประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวางนั้นอาจมาจากข้อได้เปรียบหลายประการดังต่อไปนี้

1. ผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองความถี่ สามารถออกแบบให้มีความใกล้เคียงกันกับผลตอบสนองความถี่ที่กำหนดให้ หรือผลตอบสนองความถี่ที่ต้องการได้นอกจากนี้การออกแบบตัวกรองให้มีผลตอบสนองเฟสเชิงเส้นก็ทำได้ง่าย

2. คุณสมบัติของตัวกรองที่ออกแบบ และสร้างแล้วจะไม่ขยับเลื่อนไปตามสภาวะแวดล้อม หรือตามอุณหภูมิหรือระยะเวลาการใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานในย่านความถี่ต่ำได้อย่างดี

เอกสารนี้เป็น 3. การประยุกต์ใช้งานเป็นตัวกรองแบบปรับตัวได้ทำได้ง่าย นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผู้ออกแบบสามารถออกแบบโดยกำหนดถึงความยาวของค่าตัวเลขฐานสองที่ต้องการใช้ และยังสามารถออกแบบให้มีผลตอบสนองความถี่ตามที่ต้องการได้

5. จนถึงปัจจุบัน ถ้าพิจารณาในแง่มุมมองของเสถียรภาพของตัวกรอง ความเชื่อถือได้ ราคา หรือขนาดของตัวกรองเชิงเลข สิ่งเหล่านี้กำลังได้รับการพัฒนาและปรับปรุง และมีแนวโน้มว่าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าของตัวกรองเชิงอุปมา

อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาในแง่มุมมองของการสร้างงาน โดยเฉพาะการสร้างใช้งาน โดยใช้เลขฐานสองที่มีความยาวของค่าจำกัดนั้นการออกแบบและการสร้างสังเคราะห์ตัวกรองเชิงเลขแบบนี้มีความยุ่งยากมากขึ้นมาพิจารณาด้วย ซึ่งการใช้ตัวเลขความยาวของค่าจำกัด ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังสามารถเขียนสรุปได้ดังนี้

1. เสถียรภาพของตัวกรองที่ได้รับการออกแบบและตรวจสอบมาเป็นอย่างดี เพื่อให้ได้ผลตอบสนองความถี่ตามต้องการและเป็นตัวกรองที่เสถียร เมื่อนำไปสร้างใช้งานอาจเกิดการไม่เสถียรขึ้นได้

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

3. เมื่อนำไปสร้างใช้งานโดยใช้ตัวเลขฐานสอง โดยเฉพาะการใช้ตัวเลขแบบส่วนเติมสอง (Two complement) แล้วถ้าขนาดของสัญญาณมากเกินไปทำให้โอกาสที่การบวกตัวเลข ที่ค่ามากจนตัวเลขเลยไปทับบิตเครื่องหมาย (Sign bit) หรือเกิดการล้นขึ้น การล้นนี้อาจทำให้ที่สัญญาณออกของตัวกรองเกิดการวัดแกว่งขึ้นได้กรณีนี้ทำให้ตัวกรองกลายเป็นวงจรวัดแกว่งไป

ปรากฏการณ์ต่างๆ ในทางปฏิบัติอาจเกิดหรือไม่เกิดขึ้นก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่าเมื่อนำไปสร้างโดยใช้ความยาวค่าจำกัดนั้น ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองถูกสร้างโดยใช้โครงสร้าง (Structure) ของตัวกรองแบบใด ซึ่งเมื่อถึงจุดนี้จึงจำเป็นต้องศึกษาเพื่อค้นคว้าโครงสร้างของตัวกรองที่สามารถหรืออย่างน้อยเกิดผลของปรากฏการณ์ไม่เป็นเชิงเส้นน้อยที่สุด

ดังนั้นสำหรับการออกแบบสร้างตัวกรองเชิงเลข โดยให้มีคุณสมบัติผลตอบสนองความถี่ตามอุดมคติหรือมีผลตอบสนองทางความถี่ตามต้องการนั้นอาจกล่าวโดยทั่วไปได้ว่าผู้ออกแบบและสร้างต้องนำองค์ประกอบสำคัญต่างๆ มาร่วมพิจารณาด้วย ซึ่งเขียนสรุปได้ดังนี้

1. เป็นการกำหนดคุณสมบัติของตัวกรองในโดเมนเวลา เช่น ค่าขนาดหรือความหน่วงกลุ่ม หรือว่าเป็นการกำหนดคุณสมบัติของตัวกรองในโดเมนเวลา เช่น ผลตอบสนองอิมพัลส์

2. สำหรับตัวกรองป้อนกลับเชิงเลขที่เราเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนของมัน เป็นอัตราส่วนของพหุนาม (Polynomial) สองพหุนามนั้นต้องออกแบบให้ได้ตัวกรองที่มีเสถียรภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้กฎหมายลิขสิทธิ์ ซึ่งหากท่านใดนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อได้ฟังก์ชันถ่ายโอนแล้ว ต้องทำการเลือกโครงสร้างตัวกรองให้เหมาะสมเพื่อที่ว่าเมื่อนำไปสร้างใช้งานโดยใช้ตัวเลขความยาวของคำจำกัดแล้ว ไม่เกิดปรากฏการณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นขึ้นหรือถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ให้เกิดปรากฏการณ์ไม่เป็นเชิงเส้นขึ้นน้อยที่สุด

### 2.13.2 ตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลข (Non-recursive Digital Filter)

โดยทั่วไปคำว่าตัวกรองสัญญาณนั้นอาจหมายถึง อุปกรณ์ซึ่งอาจเป็นอุปกรณ์ทางเครื่องมือกล วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ หรือคอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงสเปกตรัม ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณ หรือเรียกรวมกันว่า สเปกตรัมความถี่ ให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการได้ ดังนั้นในที่นี้คำว่า ตัวกรองเชิงเลข จะหมายถึงตัวประมวลผลสัญญาณเชิงเลขที่ทำให้สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณเชิงเลขเปลี่ยนแปลงไป

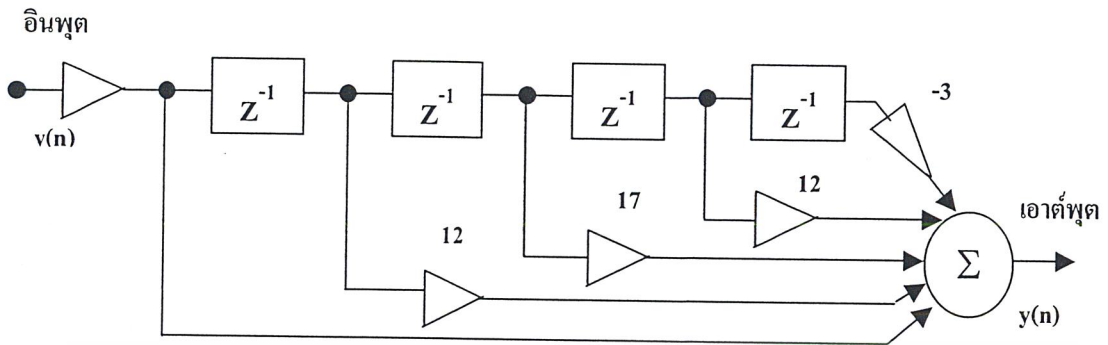
ตัวกรองเชิงอุปมาน (Analog Filter) หรือตัวกรองเชิงเลขก็ตามมักเข้าใจกันว่า ต้องใช้สัญญาณเสมอไป ความเป็นจริงแล้วมีการคำนวณในบางลักษณะที่สามารถเปรียบเทียบได้ว่าเป็นตัวกรองแบบหนึ่งโดยเฉพาะแบบเชิงเลขได้ ตัวอย่างเช่น วิธีการของการเกลตาทีละห้าจุด (Smooth-by-Five) ในสาขาวิชาการประมาณค่า ซึ่งใช้สำหรับเมื่อทำการสุ่มตัวอย่างหรือทำการทดลองจนได้ชุดข้อมูลมาจำนวนหนึ่งข้อมูลนี้อาจเป็นข้อมูลทางสถิติที่ต้องการเขียนกราฟแล้วหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สามารถลากผ่านจุดเหล่านี้ได้ทั้งหมดหรือลากผ่าน โดยมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด การประมาณโดยวิธีการเกลตาทีละห้าจุดก็คือเอาข้อมูลที่ละห้าจุด โดยนำจุดที่กำลังพิจารณาไปรวมกับจุดที่เวลาล่วงหน้าไป และย้อนหลังไปอย่างละสองจุดมาทำการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งอาจเขียนได้เป็นสมการ

$$\begin{aligned} y(n) &= x(n) = (1/5) \sum_{k=-2}^2 x(n-k) \\ &= (1/5) \{ x(n-2) + x(n-1) + x(n) + x(n+1) + x(n+2) \} \end{aligned} \quad (2.1)$$

โดยที่เวลาที่  $n$  เป็นเวลาที่กำลังพิจารณา  $x(n)$  เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง หรือเก็บข้อมูลทางสถิติ และ  $y(n)$  เป็นผลที่ได้จากการเกลตา หรือประมาณค่า

การประมาณการที่ใช้ในสมการนี้ อาจใช้ตัวกรองเชิงเลขตามแผนภาพในรูปที่ 2.7 แทนได้ โดยที่พจน์  $Z^{-1}$  ในรูปแทนการที่ข้อมูลในรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูลหรือชิฟร็จิสเตอร์ ถูกหน่วงเวลาออกไปด้วยเวลา  $T$  วินาที โดยที่  $T$  เป็นเวลาที่หน่วงของข้อมูลแต่ละข้อมูลของ  $x(n)$  ผลตอบสนองความถี่ของวิธีการเกลตาทีละห้าจุดเพื่อความสะดวกในการพิจารณาสมมุติให้  $T$  มีค่าเท่ากับ 1 วินาที เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าจากสมการข้างต้น ถ้าทำการแปลง  $Z$  และแทนค่าให้  $Z = \exp \{ j\omega \}$  ได้

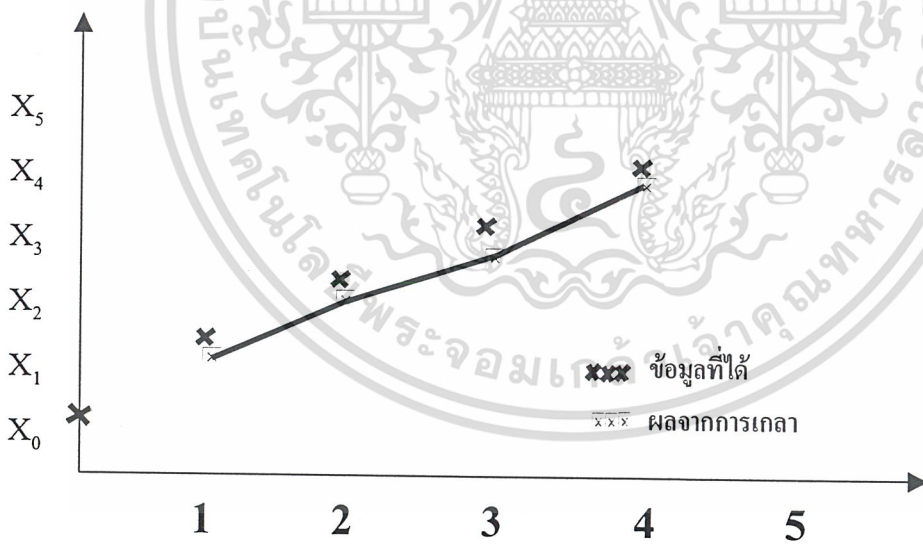
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ตัวกรองเชิงเลขที่เขียนจากสมการการประมาณค่า

$$Y(w) = (1/5)X(w) \{ \exp(-2w) + \exp(-jw) + \exp(jw) + \exp(j2w) \} \quad (2.2)$$

$$X(n) \xleftrightarrow{XW} \quad (2.3)$$



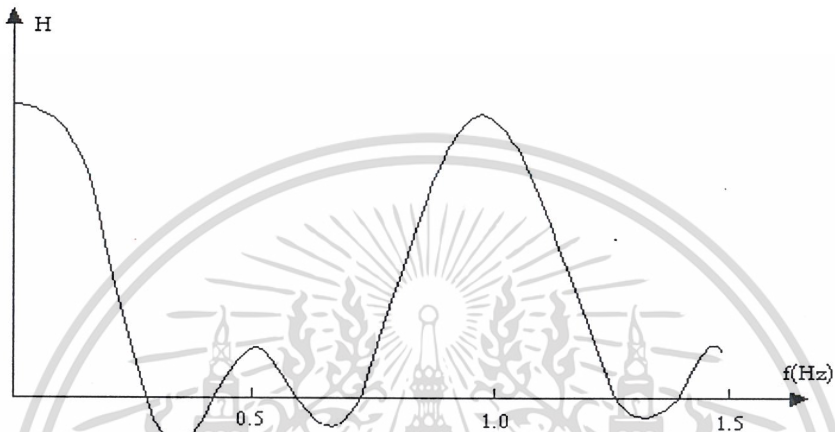
รูปที่ 2.8 ผลของตัวกรองเชิงเลขที่เขียนจากสมการการประมาณค่า

ซึ่งลูกศรที่ชี้ไปกลับนั้นหมายถึงมีการแปลงฟูริเยอร์ จากผลที่ได้ในสมการสามารถหาฟังก์ชันถ่ายโอน ของตัวกรองสัญญาณนี้ได้คือ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$H(w) = (1/5)\left\{2\left\{\frac{\exp(j2w) + \exp(-j2w)}{2}\right\} + 2\left\{\frac{\exp(jw) + \exp(-jw)}{2}\right\}\right\}$$

$$H(w) = (1/5)\{2\cos 2w + 1 + 2 \cos w\} \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.9 ผลตอบสนองความถี่ของตัวกรอง

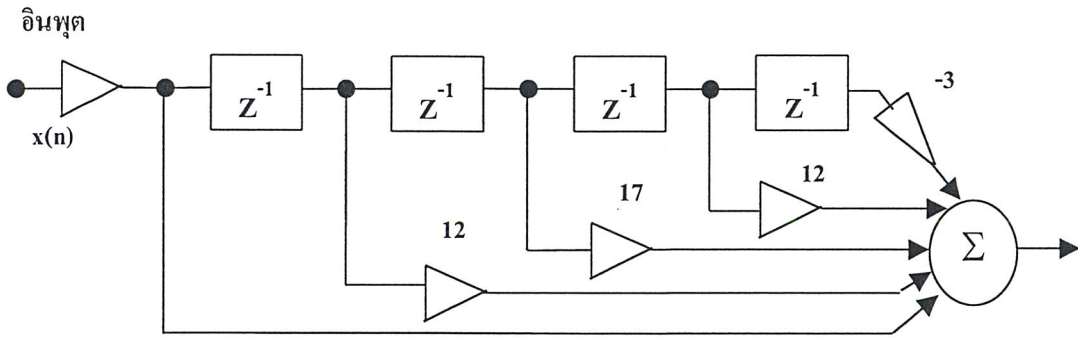
นำผลตอบสนองความถี่ไปวาดกราฟได้ดังรูป 2.9 ซึ่งเป็นได้ว่าผลตอบสนองเป็นลักษณะของตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ และผลตอบสนองแอมพลิจูดนี้มีข้อสังเกตคือ

1. ผลตอบสนองแอมพลิจูด เริ่มซ้ำค่าเดิมที่จุดความถี่ 1 เฮิร์ตซ์ นั่นก็คือ ผลตอบสนองมีคุณสมบัติเป็นคาบ (Periodic) และมีค่าคาบเท่ากับ 1 เฮิร์ตซ์ หรือถ้าเขียนในกรณีทั่วไปก็คือมีค่าคาบเป็น  $1/T$  เฮิร์ตซ์

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

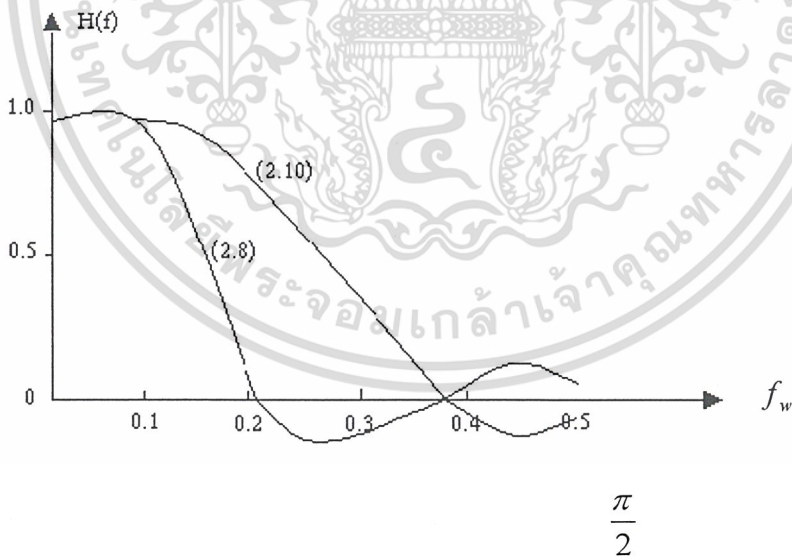
คุณสมบัติทั้ง 2 ประการนี้ เหมือนกับที่เกิดขึ้นกับตัวกรองประมาณค่า หรือหาโค้งที่เหมาะสมและอาจถือว่าเป็นตัวกรองเชิงเลขแบบหนึ่งนั้น วิธีการอีกแบบที่มาเปรียบเทียบก็คือวิธีการประมาณค่าเรียกว่า กำลังสามของกำลังสองน้อยสุด ซึ่งสามารถเขียนแทนเป็นสมการ ได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 $y(n) = (1/35) \cdot \{-3x(n-2) + 12x(n-1) + 17x(n) + 12x(n+1) - 3x(n+2)\}$  (2.5)  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ตัวกรองเชิงเลขของสมการ

วงจรรองเชิงเลขได้แสดงในรูปที่ 2.10 และผลตอบสนองความถี่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.11 โดยที่รูปที่ 2.10 ได้แสดงผลตอบสนองความถี่ของวงจรรองเชิงเลขรูปที่ 2.8 ไว้เพื่อเปรียบเทียบซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าสมการนี้ให้ผลตอบสนองความถี่ที่คมชัดกว่า นั่นคือเป็นตัวกรองผ่านความถี่ต่ำที่ดีกว่า



รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบผลตอบสนองความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.14 โครงสร้างของวงจรกรองเชิงเลข

การที่จะออกแบบให้ตัวกรองมีคุณสมบัติตามต้องการได้นั้น ในเบื้องต้นเราต้องกำหนดคุณสมบัติของตัวกรองขึ้นมา การกำหนดคุณสมบัติอาจอยู่ในรูปผลตอบสนองความถี่ ซึ่งเป็นคุณสมบัติในโดเมนความถี่หรืออาจกำหนดในรูปแบบผลตอบสนองอิมพัลส์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติในโดเมนเวลา แล้วจากผลตอบสนองของระบบที่กำหนดขึ้นเราใช้เป็นข้อกำหนดในการออกแบบ ซึ่งมีวิธีการออกแบบตัวกรองได้หลายวิธีการอย่างไรก็ตาม วิธีการออกแบบได้ผลลัพธ์เป็นฟังก์ชันที่เรียกว่า ฟังก์ชันถ่ายโอนหรือ  $H(Z) = N(Z) / D(Z)$  ขึ้นมา และฟังก์ชันถ่ายโอนนี้จะเป็นฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติการกรองตามต้องการ

โดยทั่วไปสำหรับฟังก์ชันถ่ายโอนอันหนึ่ง สามารถนำไปสร้างเป็นโครงสร้างของวงจรได้หลายรูปแบบ ลักษณะของรูปแบบขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้ระเบียบวิธีการทำให้เป็นจริง (Realization method) ซึ่งเป็นกระบวนการ หรือกรรมวิธีในการแปลงฟังก์ชันถ่ายโอนให้เป็นโครงข่ายหรือโครงสร้างวงจร ส่วนการจะเลือกนำโครงสร้างแบบใดไปใช้สร้างตัวกรองนั้นไม่สามารถกำหนดคงด้วย เช่น ความเร็วในการคำนวณสภาพไวต่อการควอนไทซ์สัมประสิทธิ์ (Sensitivity to Coefficient Quantization) ระดับของสัญญาณรบกวนที่จุดสัญญาณออก จากการควอนไทซ์ซึ่งอาจเป็นเชิงเลขที่อาจเกิดขึ้นได้ เป็นต้น

เมื่อกล่าวถึงคำว่า จะเขียนแทนด้วยภาพที่ประกอบด้วยตัวบวกสัญญาณ ตัวคูณสัญญาณ ตัวหน่วงสัญญาณ ส่วนทิศทางการไหลของสัญญาณจะแทนด้วยทิศทางของหัวลูกศร ซึ่งแผนภาพที่ได้นี้แทนการคำนวณที่อาจเป็นวงจรเฉพาะ เป็นฮาร์ดแวร์ เป็น โปรแกรมหรือเป็นส่วนผสมระหว่างวงจรและโปรแกรมก็ได้

### 2.14.1 โครงสร้างของวงจรกรองไม่ป้อนกลับ

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

$$H(Z) = Y(Z) / X(Z) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) Z^{-n} \quad (2.6)$$

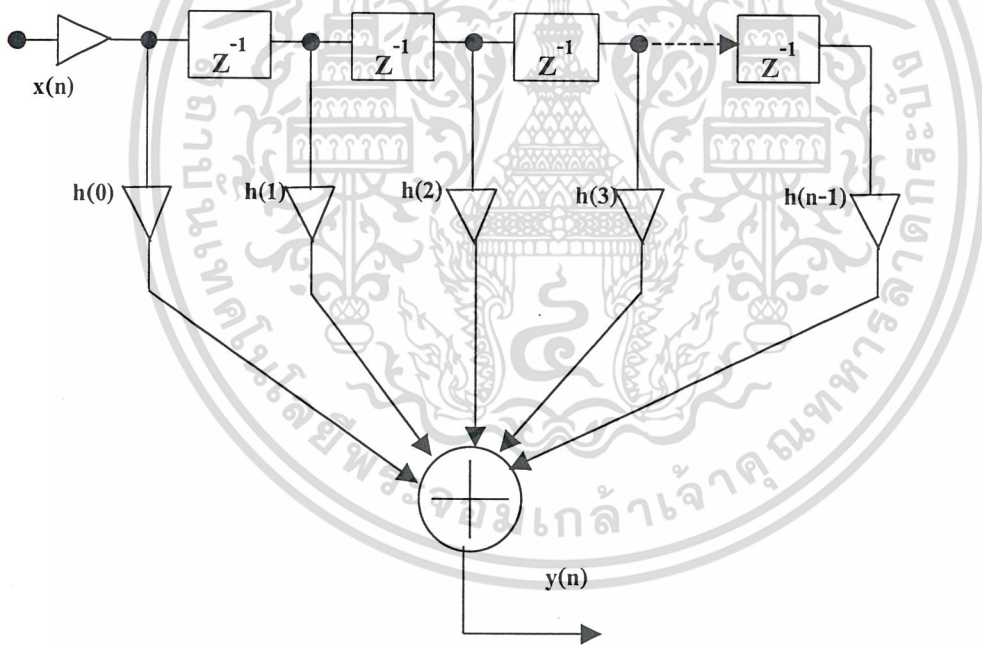
การคำนวณตามสมการนี้อาจใช้ FFT มาช่วยในการคำนวณได้ แต่จะกล่าวถึงสมการนี้ไป เอกสารนี้เป็นวงจรกรองโดยตรง ซึ่งอาจทำได้หลายวิธีการดังกล่าวต่อไปนี้ ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.14.2 โครงสร้างแบบโดยตรง

วิธีการเขียนโครงสร้างของวงจรกรองแบบโดยตรง (Direct Form) นี้ทำโดยการสร้างจากสมการผลต่างสืบเนื่องโดยตรงคือ

$$y(n) = h(0).x(n)+h(1).x(n-1)+\dots+h(n-1).x(n-N) \quad (2.7)$$

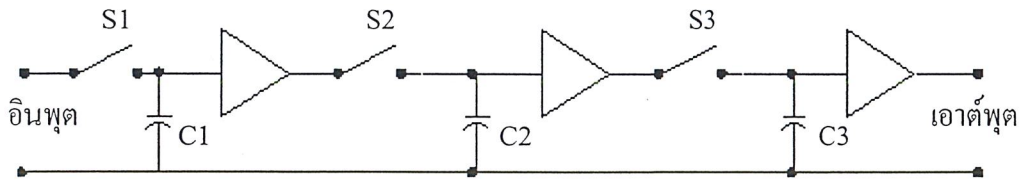
วงจรกรองจะเป็นดังรูปที่ 2.12 ดังกรอนี้อาจมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ตัวกรองสายหน่วงต่อพ่วงสัญญาณ (Tapped Delay Line Filter) หรือตัวกรองตามขวาง(Transversal Filter) ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของวงจรประกอบด้วยตัวหน่วงที่ต่อกันยาวออกไปแล้วตัดเอาสัญญาณออกของแต่ละตัวหน่วง นำผลคูณมารวมกัน เพื่อคำนวณเป็นสัญญาณ  $y(n)$



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของตัวกรองไม่ป้อนกลับเชิงเลขแบบโดยตรง

ตัวกรองตามขวาง ความจริงจัดอยู่ในประเภทเป็นตัวกรองที่ทำการประมวลผลสัญญาณในลักษณะการประมวลผลสัญญาณเชิงเต็มหน่วย หรืออาจเรียกว่าเป็นตัวกรองเชิงเต็มหน่วย (Discrete Filter) ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์หน่วงสัญญาณจะใช้อุปกรณ์ถ่ายโอนประจุ (Charge Transfer Device หรือ CTD) ซึ่งถือได้ว่าเป็นชิฟต์รีจิสเตอร์เชิงอุปมาน (Analog Shift Register) ที่มีลักษณะการทำงานไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั่วไปตามแผนรูปที่ 2.10 โดยที่เป็นการเอาตัวเก็บประจุมาต่อเป็นวงจรดังรูป เมื่อเราทำการควบคุมการปิด และเปิดของสวิทช์ต่างๆ อย่างเหมาะสมประจุบนตัวเก็บประจุก็จะถ่ายโอนไปยังตัวถัดไปได้



รูปที่ 2.13 การทำงานของชิฟต์รีจิสเตอร์เชิงอนุกรม

อุปกรณ์ถ่ายโอนประจุ หรือชิฟต์รีจิสเตอร์เชิงอนุกรม ที่ใช้ในการประมวลสัญญาณเชิงเต็มหน่วยโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ชนิด ซึ่งจะขอ นำโครงสร้างและการทำงานของมันมากล่าวถึงอย่างคร่าวๆ ดังนี้

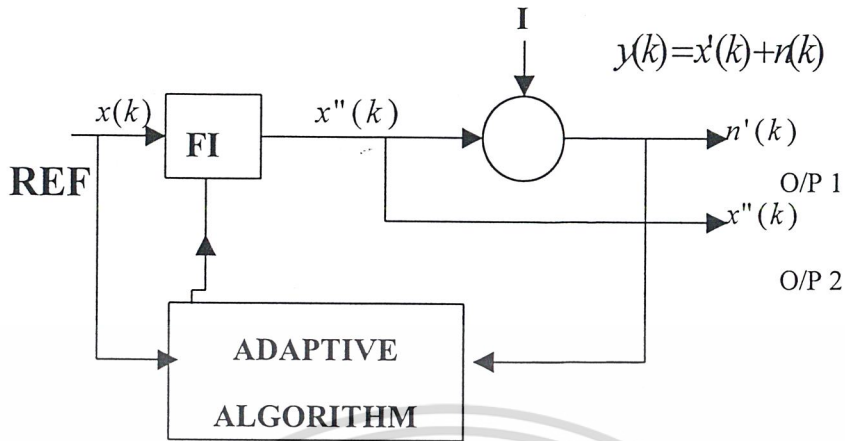
1. อุปกรณ์bucket-brigade หรือ บีบีดี(Bucket – Brigade Device หรือ BBD) อุปกรณ์แบบนี้ทำงานเหมือนกับแผนภาพในรูปที่ 2.13 เพียงแต่ตอนสร้างเป็นวงจรจริงสวิทช์ต่างๆ อาจแทนด้วยอุปกรณ์มอส (MOS) อย่างไรก็ตามในโครงสร้างแบบนี้ทิศทางการถ่ายโอนของประจุจะเคลื่อนตัวในลักษณะตรงกับทิศทางของสัญญาณ ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณที่เป็นส่วนต่างหรือส่วนพร้อมของประจุเท่านั้นที่จะถูกถ่ายโอนไป

2. อุปกรณ์คู่ควบประจุหรือซีซีดี (Charge-Coupled Device or CCD) อุปกรณ์แบบนี้ทำโดยการสร้างชั้นออกไซด์(Oxide) เคลือบสารกึ่งตัวนำไว้แล้วบนเหนือออกไซด์ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนนี้ก็จะไม่นำไฟฟ้ามาต่อเรียงกับแบบคาสเคด ดังนั้นเมื่อเราควบคุมศักย์ไฟฟ้าบนขั้วที่มาต่อเรียงกันนี้ไว้ดี ก็จะทำให้ประจุเคลื่อนไปในทิศทางจุดสัญญาณออกได้

## 2.15 ทฤษฎีตัวกรองความถี่ปรับค่าได้

ตัวกรองความถี่ปรับค่าได้ถูกพัฒนามาจากตัวกรองเชิงเลขแบบผลตอบสนองจำกัด ซึ่งคำว่าปรับค่าได้หมายถึง ทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ ของตัวกรองแบบผลตอบสนองจำกัดตามสัญญาณอ้างอิง โครงสร้างตัวกรองความถี่ปรับค่าได้ แสดงดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของตัวกรองความถี่แบบปรับค่าได้

จากรูปสัญญาณ Reference คือ  $x(k)$  สัญญาณเอาต์พุต คือ ผลการคอนโวลูชันและผลรวมของ  $n(k)$  และ  $y(k)$  โดยที่  $y(k)$  คือสัญญาณอินพุต ซึ่งประกอบไปด้วยสัญญาณ 2 ส่วนคือ  $x'(k)$  และ  $n(k)$  โดย  $x'(k)$  คือสัญญาณที่ต้องการและ  $n(k)$  คือสัญญาณที่ไม่ต้องการสมการ (2.8)

$$y(n) = x'(k) + n(k) \quad (2.8)$$

สัญญาณเอาต์พุต  $2x''(k)$  ซึ่งเป็นผลการทำคอนโวลูชันระหว่างสัญญาณอ้างอิง  $x(k)$  กับ สัมประสิทธิ์ FIR ที่ปรับตามค่าของสัญญาณ  $x'(k)$  อันเป็นองค์ประกอบหนึ่งของสัญญาณ  $y(k)$  หรือกล่าวได้ว่าขนาดของสัญญาณ  $x''(k)$  จะเท่ากับขนาดของสัญญาณ  $x'(k)$  ในกรณีที่สัญญาณ  $x'(k)$  มีรูปแบบเดียวกับสัญญาณ  $x(k)$  แต่ขนาดไม่เท่ากัน โดยที่ขนาดของ  $x(k)$  จะต้องมากกว่า  $x'(k)$  เสมอจึงจะทำให้  $x''(k)$  เป็นจริงและเรียกผลการกรองลักษณะนี้ว่า Unwant Single Tracing

ส่วนในกรณีของเอาต์พุต  $n(k)$  คือผลรวมของสัญญาณที่ผ่านการคอนโวลูชัน  $x''(k)$  กับ สัญญาณ  $y(k)$  เมื่อ  $x'(k)$  มีขนาดเท่ากับ  $x''(k)$  ดังที่อธิบายไปแล้วและทำการกลับเฟสของ สัญญาณ  $x''(k)$  จะได้สมการ (2.9)

$$\begin{aligned} n'(k) &= y(k) + (x''(k)) \\ &= x(k) + n(k) = x''(k) \\ &= n'(k) \end{aligned} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกรองลักษณะดังกล่าวนี้เรียกว่า Unwant Single Cancellation การกรองทั้งสองลักษณะ จะให้ผลสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อสัญญาณอินพุต  $y(k)$  และสัญญาณอ้างอิง  $x(k)$  เกิดขึ้นที่เวลาเดียวกันและสามารถใช้ได้จริงหากทำการเปลี่ยนสัญญาณอ้างอิง  $x(k)$  เป็น  $n(k)$  ซึ่งจะพบว่าไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ความสำคัญของการกรองความถี่แบบปรับค่าได้ขึ้นอยู่กับวิธีการในการปรับสัมประสิทธิ์ FIR ให้เปลี่ยนตามสัญญาณอ้างอิงตลอดเวลา โดยจะใช้ค่าผิดพลาดของการคอนโวลูชันกับสัญญาณอ้างอิงในการปรับสัมประสิทธิ์ดังกล่าว ซึ่งจะอธิบายในกรณีของสัญญาณอ้างอิงเป็น  $n(k)$

$$\varepsilon_k = n(k) - n'(k) \quad (2.10)$$

ซึ่งจะได้ว่า

$$\begin{aligned} x''(k) &= y(k) - n'(k) \\ &= x'(k) + n(k) - n'(k) \\ &= x'(k) + \varepsilon_k \end{aligned} \quad (2.11)$$

และค่าผิดพลาดกำลังสองคือ

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

หรือ

$$\varepsilon^2 = \sum_{k=0}^{k=K-1} [n(k) - n'(k)] \quad (2.12)$$

ส่วนสัญญาณ  $n'(k)$  ที่ผ่านการกรองจากตัวกรองเชิงเลขผลตอบสนองจำกัดจะได้

$$\begin{aligned} n'(k) &= \sum_{m=0}^{m=M-1} (W(k), m)x(k-m) \\ &= W^T X(k) \end{aligned} \quad (2.13)$$

จากนั้นแทนค่า  $n'(k)$  ลงในสมการค่าผิดพลาดกำลังสองจะได้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดให้

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

และ

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

จะเขียนสมการค่าผิดพลาดกำลังสองได้เป็นดังสมการ (2.14)

$$\mathcal{E}^2 = \sigma^2 - 2PW + W^TRW \quad (2.14)$$

โดย  $\sigma^2$  คือค่าขนาดของ Noise จากนั้นนำค่าผิดพลาดกำลังสองไปหาอนุพันธ์จะได้

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

โดยที่  $W$  คือค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเชิงเลขแบบผลตอบสนองจำกัด ที่เกิดจากผลการผิดพลาด หากนำค่าสัมประสิทธิ์นี้ไปหักล้างหรือรวมกับสัมประสิทธิ์เดิมก็จะทำให้เกิดการปรับค่าสัมประสิทธิ์ตามสัญญาณตลอดเวลาดังสมการ  
เมื่อ

$$\begin{aligned} k-1 &= W_k - \mu w \\ &= W_k - \mu \nabla_K \mathcal{E}_k^2 \\ \mathcal{E}_k^2 &= [n(k) - W_k^T X(k)]^2 a \end{aligned}$$

และนำสมการดังกล่าวไปหาอนุพันธ์จะได้

$$\begin{aligned} \nabla_K \mathcal{E}_k^2 &= 2[n(k) - w_k^T] \nabla_k \{n(k) - W_k^T X(k)\} \\ &= -2\mathcal{E}_k^2 \nabla_k \{W_k^T X(k)\} \\ &= -2\mathcal{E}_k X(k) \end{aligned} \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้

$$W_{k+1} = W_k + \mu \omega_1 X(k) \quad (2.16)$$

และสมการสุดท้ายนี้เรียกว่า สมการลีดมินสแควร์ ซึ่งสามารถใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ตามค่าสัญญาณอ้างอิงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบและการสร้าง

การออกแบบและการสร้างเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัวโดยใช้ TMS320C50 เป็นตัวประมวลผลกลาง บรรจุอยู่ในบอร์ดพัฒนา DSK (DSP Starter Kit) โดยสามารถแบ่งการออกแบบได้สองส่วน ดังนี้คือ ส่วนแรกคือการออกแบบฮาร์ดแวร์ และในส่วนที่สองซึ่งถือเป็นหัวใจหลักคือการออกแบบในส่วนซอฟต์แวร์

#### 3.1 หลักการออกแบบฮาร์ดแวร์

การออกแบบทางฮาร์ดแวร์นั้น เพราะเนื่องจากบอร์ด DSK นั้นไม่สามารถขยายสัญญาณเสียงที่จะนำมากำจัดหรือหักล้างกับสัญญาณรบกวนที่ได้รับเพื่อนำไปประมวลผล และจากเหตุผลที่ว่าสัญญาณที่ได้จากไมโครโฟนเป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็ก จึงต้องการวงจรที่ช่วยขยายสัญญาณ จึงจำเป็นต้องมีฮาร์ดแวร์ส่วนที่เป็นวงจรขยายเสียง(เพาเวอร์แอมป์) ที่ใช้ขยายสัญญาณที่ได้จากบอร์ด DSK และวงจรขยายสัญญาณจากไมโครโฟน(ปรีไมโครโฟน)ก่อนที่จะส่งให้บอร์ด DSK โดยมีการเชื่อมโยงกันดังรูปที่ 3.1

##### 3.1.1 ส่วนขยายสัญญาณจากบอร์ด DSK (Power Amplifier)

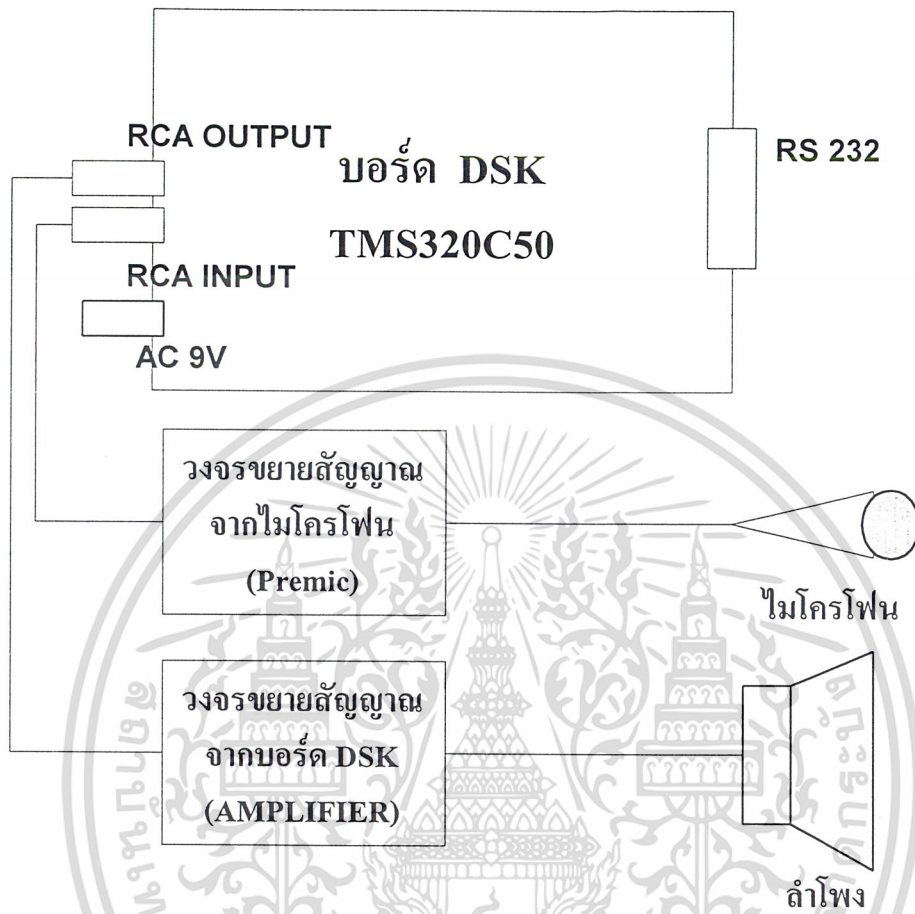
ในส่วนของวงจรขยาย(เพาเวอร์แอมป์) นั้นเป็นแบบ Direct Coupling All Complementary IC Drive จะเห็นได้ว่าหัวใจการทำงานของวงจรมีคือ ไอซีเบอร์ 741 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจร ดิฟเฟอเรนเชียล และปริไดร์เวอร์

สัญญาณเอาต์พุตของ ไอซี 741 จะป้อนผ่านไดโอดทั้งสองตัวให้กับทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวที่ต่อกันแบบพุตพูล (Put-Pull) และส่งต่อให้กับทรานซิสเตอร์อีกสองตัวทำการขยายอีกครั้งหนึ่ง

ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเกือกม้า ทำหน้าที่เป็นตัวปรับกระแสเฉลี่ยของวงจร สำหรับวงจรมีเป็นวงจรที่ปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยเวลาประกอบไม่จำเป็นต้องวัดกระแสเฉลี่ยงานของวงจรขยายแต่อย่างใด เพียงแต่ปรับตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเกือกม้าไว้ที่ตำแหน่งที่เหมาะสมหรือดีที่สุด

วงจรขยาย (เพาเวอร์แอมป์) นั้นต้องการแหล่งจ่ายไฟเพื่อจ่ายให้อุปกรณ์ในวงจรประมาณ  $\pm 35$  โวลต์ (dc) และต้องการกระแสประมาณ 3 แอมป์ ซึ่งสามารถดูวงจรและคำอธิบายได้จากหัวข้อที่ 3.1.2 ในบทที่สามของปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้ ส่วนรูปวงจรเพาเวอร์แอมป์ ดูได้ในภาคผนวก ก ของปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การเชื่อมโยงของสัญญาณจากอินพุตไปยังเอาต์พุต

### 3.1.2 ภาคอื่นๆ

นอกจากภาคขยายเพาเวอร์แอมป์แล้ว ยังมีภาคอื่นที่จำเป็นต้องมีอีกเช่น ภาคขยายสัญญาณจากไมโครโฟน หรือปริโมโครโฟน ซึ่งภาคนี้มีวงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์สองตัว ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงที่รับมาจากไมโครโฟน ให้มีความแรงขึ้นเพื่อที่จะส่งให้กับบอร์ด DSK ต่อไป

และที่ขาดไม่ได้เลยคือภาคจ่ายไฟ (Power Supply) การออกแบบในภาคนี้ขั้นแรกจะต้องทราบถึงความต้องการของวงจรแต่ละภาคก่อนว่าต้องการแรงดัน และกระแสที่จ่ายให้กับวงจรภาคละเท่าไรแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

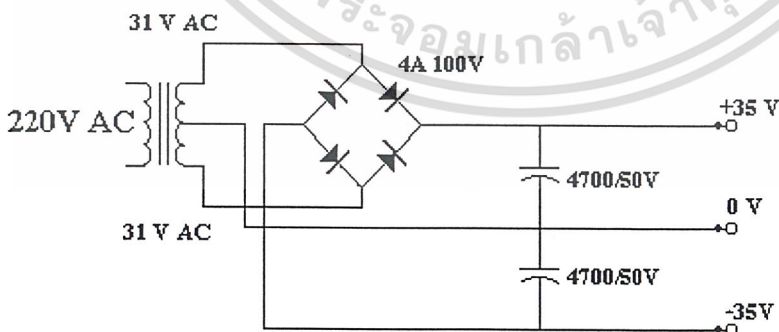
ภาค	แรงดัน (โวลต์) (V)	กระแส (แอมป์) (A)
ขยายสัญญาณจากไมโครโฟน (ปรีไมโครโฟน)	+12 โวลต์	500 มิลลิแอมป์
ขยายสัญญาณจากบอร์ด DSK (เพาเวอร์แอมป์)	$\pm 35$ โวลต์	3 แอมป์
บอร์ด DSK	9 (AC) โวลต์	250 มิลลิแอมป์

ตารางที่ 3.1 การจ่ายแรงดันและกระแสให้กับวงจรภาคต่างๆ

จากตารางที่ 3.1 สามารถสรุปได้ว่าจะใช้หม้อแปลงทั้งหมดเท่าใด จากที่ภาคขยายสัญญาณจากบอร์ด DSK จะใช้กระแสประมาณ 3 แอมป์ และภาคบอร์ด DSK ใช้กระแสประมาณ 250 มิลลิแอมป์ จึงสามารถใช้หม้อแปลงที่จ่ายกระแสได้ประมาณ 3 แอมป์ ตัวเดียวจ่ายให้กับทั้งสองภาคได้ ส่วนภาคขยายสัญญาณจากไมโครโฟน ไม่สามารถใช้หม้อแปลงตัวเดียวกันได้ เพราะจะทำให้ภาคขยายสัญญาณจากบอร์ด DSK ทำงานไม่เต็มกำลัง ซึ่งจะไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงได้ใช้หม้อแปลงอีกตัวจ่ายไฟให้กับภาคขยายสัญญาณจากไมโครโฟน

### 1. ภาคจ่ายไฟสำหรับ วงจรขยายสัญญาณจากบอร์ด DSK

ภาคนี้ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับวงจรขยายสัญญาณจากบอร์ด DSK ซึ่งได้ใช้หม้อแปลงที่จ่ายกระแส ได้ 3 แอมป์ และมีเอาต์พุตที่จ่ายแรงดันประมาณ +31 โวลต์ และ -31 โวลต์ ซึ่งพอทำการแปลงเป็นกระแสตรงแล้ว จะได้ประมาณ +35 ถึง +40 โวลต์ และ -35 ถึง -40 โวลต์ ภาคจ่ายไฟนี้จะมีส่วนประกอบเป็น วงจรเรียงกระแส (Rectifier) ซึ่งประกอบด้วย วงจรบริดจ์ไดโอด และ คาปาซิเตอร์เป็นตัวกรอง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ภาคจ่ายไฟสำหรับวงจรขยายสัญญาณจากบอร์ด DSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. ภาคจ่ายไฟสำหรับบอร์ด DSK

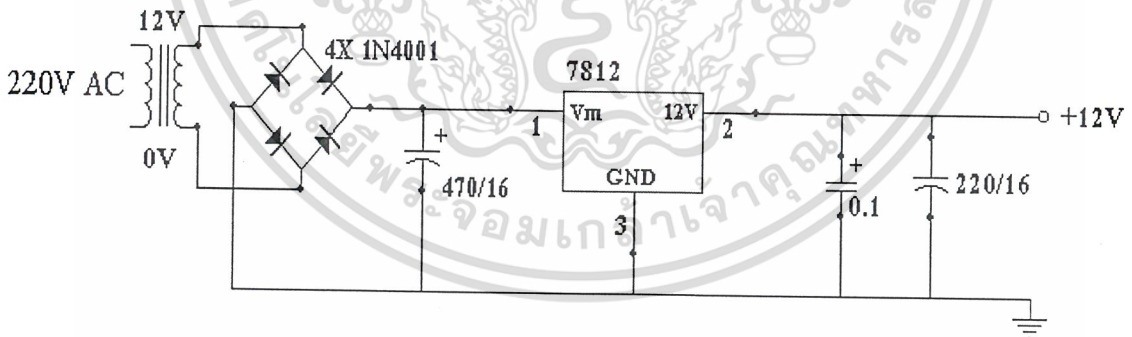
ภาคนี้เป็นภาคที่สามารถต่อตรงจากหม้อแปลงได้เลย เนื่องจากบอร์ด DSK ต้องการไฟฟ้ากระแสสลับ เพราะในบอร์ด DSK มีวงจรเรียงกระแส (Rectifier) ในตัวอยู่แล้ว ดังนั้นภาคจ่ายไฟจึงมีได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ภาคจ่ายไฟสำหรับบอร์ด DSK

## 2. ภาคจ่ายไฟสำหรับ วงจรขยายสัญญาณจากไมโครโฟน

วงจรของภาคจ่ายไฟนี้ประกอบด้วยวงจรบริดจ์ไดโอด และไอซีเบอร์ 7812 ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในระดับ 12 โวลต์ตามที่ต้องการ และมีคาปาซิเตอร์ จำนวนสามตัวทำหน้าที่เป็นตัวกรอง



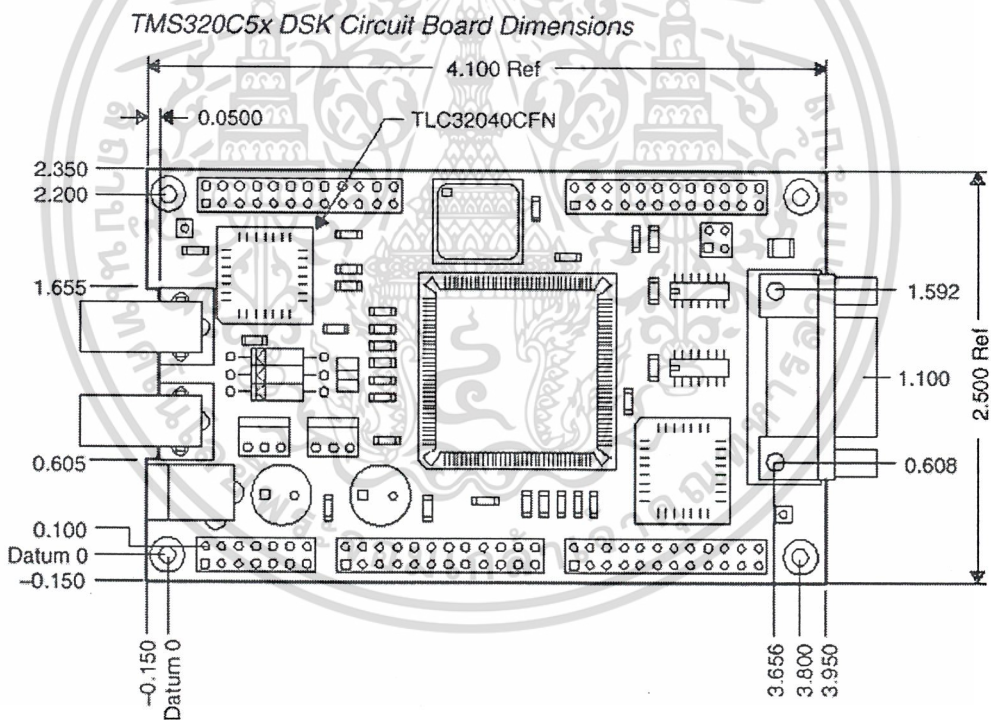
รูปที่ 3.4 ภาคจ่ายไฟสำหรับวงจรขยายสัญญาณจากไมโครโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 บอร์ด DSK

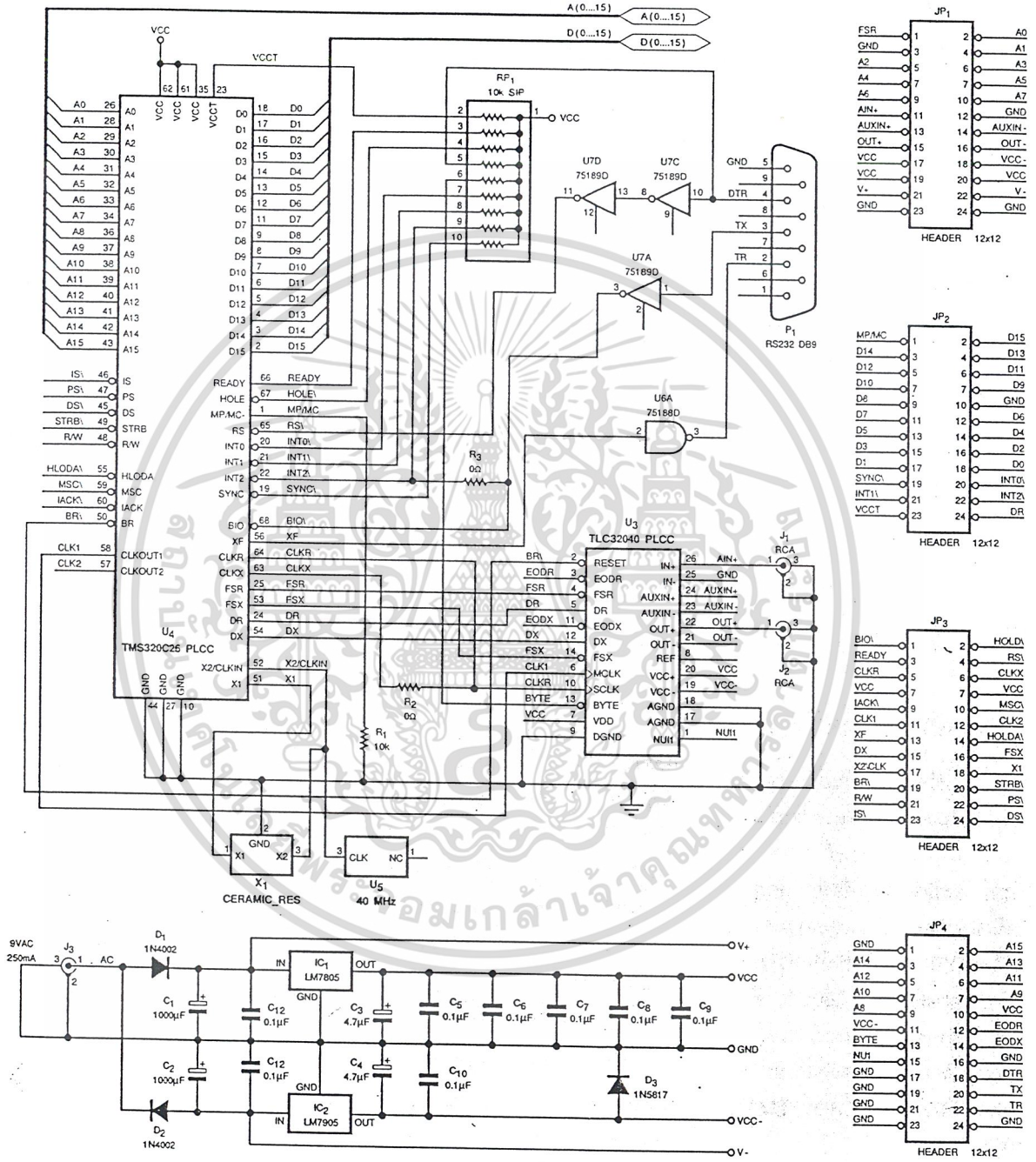
รูปร่างภายนอกของบอร์ด DSK แสดงดังรูป 3.5 อุปกรณ์โดยส่วนใหญ่เป็นแบบติดตั้งบนผิวหน้าลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ จะมีเพียงตัวเก็บประจุค่าสูงและไอซีเรกูเรเตอร์ที่เป็นแบบธรรมดาบนบอร์ด DSK จะมีชิพที่เป็นหัวใจหลักๆ อยู่ 2 อย่างคือ TMS320C50 ซึ่งเป็นชิพ DSP โปรเซสเซอร์ และชิพแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล และแปลงจากสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อก เบอร์ TLC32040CFN

ขนาดของบอร์ดอยู่ที่ 2.5x3.5 นิ้ว มีคอนเน็กเตอร์ชนิด DB9 ตัวเมียเพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางบอร์ดอนุกรม RS-232C 1 ชุด มีแจ๊ค RCA สำหรับรับส่งสัญญาณแอนะล็อก



รูปที่ 3.5 แผนผังการวางอุปกรณ์ของ DSK Starter Kit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรสมบูรณ์บนบอร์ด DSK Starter Kit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วงจรมบอร์น

บอร์น DSK มีวงจรมบอร์นดังแสดงในรูปที่ 3.6 ในส่วนบนเป็นวงจรของการเชื่อมต่อระหว่างชิพ DSP กับอุปกรณ์ต่อรวมอื่นๆ ในส่วนล่างเป็นภาคจ่ายไฟของบอร์น DSK หัวใจสำคัญของบอร์นคือ U4 ชิพ DSP เบอร์ TMS320C50 เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ตัวหนึ่งที่ใช้งานด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลโดยเฉพาะทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลทั้งหมดบนบอร์น DSK โดยต้องทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์

U4 ทำงานได้โดยอาศัยสัญญาณนาฬิกาจากโมดูลกำเนิดสัญญาณนาฬิกาความถี่ 40 เมกะเฮิร์ตซ์ U5 โดยมี X1 เซรามิกเรโซเนเตอร์ช่วยควบคุมความถี่ของสัญญาณนาฬิกาให้มีความเที่ยงตรงอีกชั้นหนึ่ง

U3 ชิพ ADC/DAC เบอร์ TLC32040 ของเท็กซัสอินสตรูเมนต์ ทำหน้าที่รับสัญญาณแอนะล็อกทางอินพุตที่จ่ายเข้ามาทาง J1 แล้วแปลงเป็นข้อมูลทางดิจิทัลส่งไปประมวลผลต่อที่ U4 และเมื่อต้องการส่งสัญญาณออก U4 จะส่งข้อมูลดิจิทัลมายัง U3 เพื่อทำการแปลงเป็นสัญญาณแอนะล็อกจ่ายออกไปทาง J2 ความละเอียดของการแปลงสัญญาณดิจิทัลจะมีขนาด 14 บิต สามารถกำหนดอัตราแซมปลิงได้สูงสุด 19200 แซมปลิงใน 1 วินาที

สำหรับการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232C นั้น จะเป็นหน้าที่ของ U6a เบอร์ 75188D และ U7a, U7c, U7d เบอร์ 75189D โดย U6 ทำหน้าที่ส่งข้อมูลจากบอร์น DSK ออกไปทาง P1 คอนเนกเตอร์ชนิด DB9 ขาที่ต่อเข้ากับพอร์ตอนุกรม RS-232C ส่วน U7 ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์กำหนดข้อมูลจากคอมพิวเตอร์

ส่วนภาคจ่ายไฟบอร์น DSK ต้องการไฟสลับ 9 โวลต์จากภายนอกจ่ายเข้ามาทาง J3, D1, D7, C1 และ C2 ทำหน้าที่เป็นวงจรทวิคูณแรงดันแล้วแบ่งแรงดันเป็นแรงดันบวกและลบจ่ายให้แก่ ไอซีเรกูเลเตอร์ U1 และ U2 ให้เป็นแรงดัน +/- 5 โวลต์ไปเลี้ยงบอร์น DSK

## 3.2 การออกแบบโปรแกรม

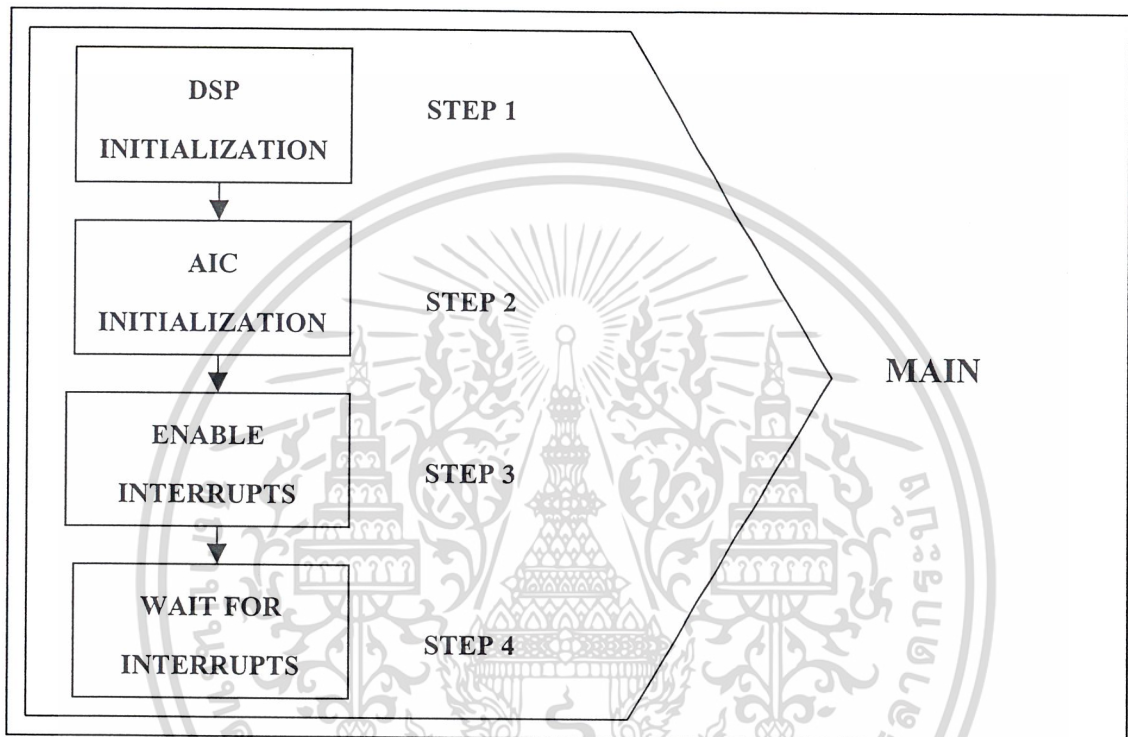
ในการออกแบบโปรแกรม ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. โปรแกรมหลัก (Main Program)
2. โปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ (Interrupt Program)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1 ส่วนโปรแกรมหลัก

ในส่วนของโปรแกรมหลักเป็นการกำหนดคุณสมบัติเริ่มต้นของ DSK จึงไม่ได้ทำงานในเวลาจริง และยังสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหลัก

1. C50 Initialization เป็นการกำหนดคุณสมบัติการคำนวณของชิพ TMS320C50 เช่น ให้ใช้หน่วยความจำ ROM บนชิพให้ที่ว่างของหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลใช้ร่วมกัน ให้มีการคำนวณแบบคิดเครื่องหมายเป็นต้น ซึ่งสามารถดูรายละเอียดได้คู่มือการใช้งานของ TMS320C50 User's Guide

2. AIC Initialization เนื่องจากบอร์ด DSK ได้บรรจุชิพ TLC32040 ไว้มีชื่อเรียกว่า “Analog Interface circuit” หรือ AIC โดยทำหน้าที่เป็นตัวแปลงจากสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และเปลี่ยนจากสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งเราสามารถกำหนดค่าความถี่สุ่มได้ตามที่ต้องการโดยใช้โปรแกรมในการกำหนดคุณสมบัติการทำงานเริ่มตั้งแต่กำหนดให้ AIC ทำงานแบบเข้าจังหวะกันเพียงแต่ให้ค่าของตัวแปร TA, TB เป็นรีจิสเตอร์ AIC ซึ่งเราสามารถที่จะปรับไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่สุ่มของ AIC ของวงจรกรองความถี่แบบ Switch capacitor ได้ ส่วน VPRD ใช้ในการปรับความถี่ของ Timer ภายใน C50 สัญญาณเอาต์พุตจากภายใน Timer ใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาหลัก (Master Clock :Mc) ของ AIC

ค่าของ TB ใช้ปรับอัตราส่วนระหว่างความถี่คัทออฟของวงจรกรองความถี่ต่ำ โดยในที่นี้เลือกให้ TB มีค่า 32 เพื่อต้องการให้ความถี่คัทออฟ (ที่  $-70\text{dB}$ ) มีค่าครึ่งหนึ่งของความถี่สุ่ม ปกติในส่วนนี้ไม่ควรเปลี่ยนแปลง นอกจากต้องการเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างความถี่สุ่มกับความถี่คัทออฟ ถึงแม้ว่าจะเพิ่มความถี่คัทออฟขึ้น แต่ก็อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในบางส่วน ดังนั้นในการเปลี่ยนความถี่สุ่ม จึงควรปรับที่ค่า TA และ VPRD เท่านั้น โดยค่าความถี่สุ่ม (Sampling Frequency : Fs) สามารถหาได้จาก

$$TA = \frac{M_c}{2 \times SCF} = \frac{10^6}{2 \times TB \times F_s} = \frac{10^6}{2 \times 32 \times F_s} \quad (3.1)$$

3. Enable Interrupt ในขั้นตอนนี้ จะเป็นการตั้งค่าให้เกิดการอินเตอร์รัพท์ จากการรับของพอร์ตอนุกรม(RINT) และอินเตอร์รัพท์จากภายนอก(INT2) โดยตั้งค่าในรีจิสเตอร์ IMR (Interrupt Mask Register) และรีเซ็ตบิต INTM (Interrupt Mask Bit) เป็น '0' เพื่อยอมให้เกิดการอินเตอร์รัพท์

4. Wait for Interrupt ในส่วนนี้จะให้โปรแกรมวนลูปทำคำสั่ง NOP อยู่ตลอด เพื่อรอการทำงานในส่วนของการบริการอินเตอร์รัพท์

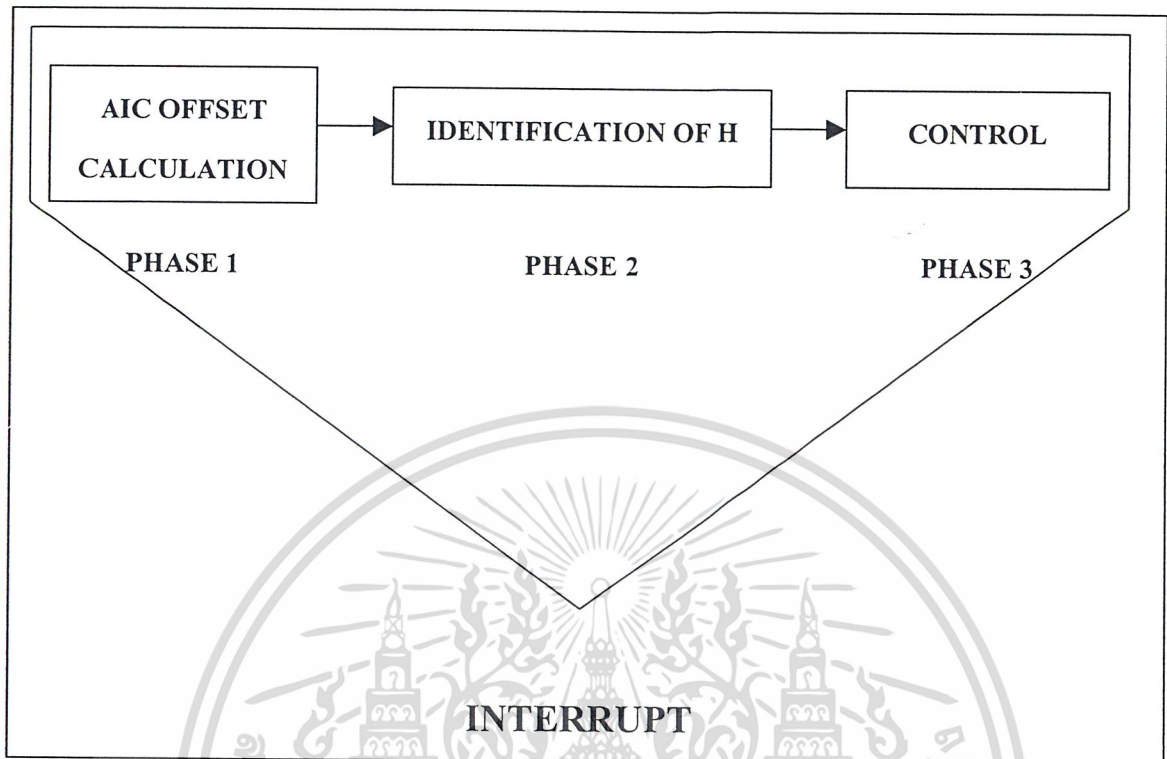
### 3.2.2 ส่วนโปรแกรมอินเตอร์รัพท์

ในส่วนนี้เป็นการคำนวณ ในเวลาจริง โดยใช้หลักการคำนวณแบบ "Sample-by-Sample" ภายใต้อินเตอร์รัพท์จาก AIC ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 เฟสคือ

เฟส 1 คำนวณค่า ออฟเซต ของ AIC

เฟส 2 ปรับให้เข้ากับฟังชัน โอนย้ายระหว่างแหล่งควบคุมสัญญาณรบกวน(ลำโพง) กับ ไมโครโฟน

เฟส 3 เป็นการควบคุมสัญญาณรบกวนแบบช่วยตัวเอง



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทำงานของ โปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์

#### เฟส 1 คำนวณค่าอินพุต ออฟเซต ของ AIC

หากสังเกตดูจะเห็นว่าค่าสัญญาณจาก AIC ที่ส่งให้ DSP เมื่ออินพุตถูกต่อลงกราวด์ค่าโดยเฉลี่ยของสัญญาณจะไม่ใช่ศูนย์ แต่จะมีค่าอยู่ค่าหนึ่ง เรียกว่าค่า “ออฟเซต” ซึ่งสัญญาณที่ได้จากการสุ่มทุกครั้งจาก AIC จำเป็นต้องนำมาลบด้วยค่าออฟเซตนี้

โดยในโปรแกรมให้คำนวณค่าออฟเซต เฉลี่ยออกมาจากการสุ่ม 64 ครั้งโดยเอาค่าที่ได้จากการสุ่มทั้ง 64 ครั้ง มารวมกัน แล้วหารด้วย 64 แต่ก่อนที่จะเริ่มคำนวณค่าออฟเซต ได้ปล่อยให้การสุ่มผ่านไป 200 ครั้งก่อนเพื่อให้ AIC มีเสถียรภาพในการทำงาน

ดังนั้นในการทำงานที่เฟส 1 จะต้องปิดไมโครโฟน เพื่อให้อินพุตของ AIC เป็นศูนย์

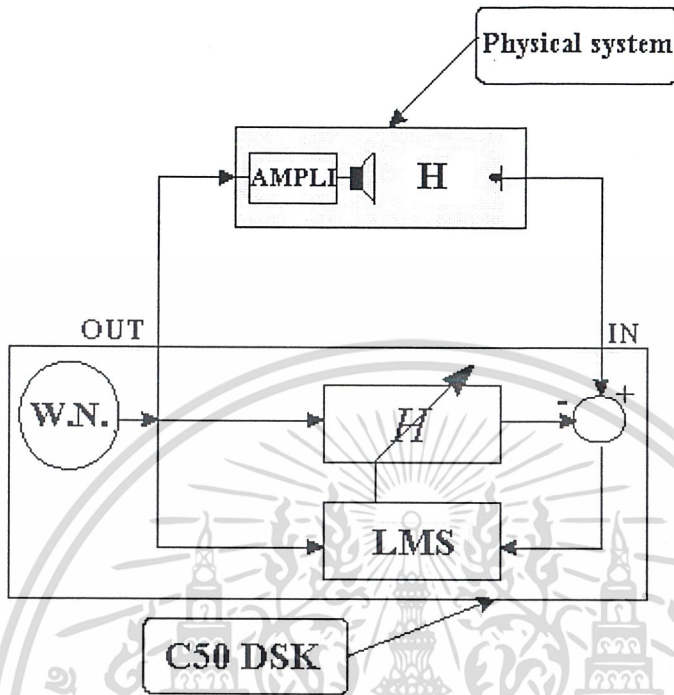
#### เฟส 2 ปรับสัมประสิทธิ์ของ H ให้เข้ากับฟังก์ชันโอนย้ายของระบบ

เมื่อได้ทำในกระบวนการ การกำหนดคุณสมบัติการทำงานของ DSP และ AIC การคำนวณค่า ออฟเซต เสร็จสิ้นแล้ว ก็จะเริ่มทำในส่วนการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ H ซึ่งจุดประสงค์หลัก

ของการทำงานในเฟสนี้ก็เพื่อปรับค่าสัมประสิทธิ์ขนาด 256 ของวงจรกรองแบบ FIR (H) ให้มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แผนผังการทำงานของโปรแกรมในเฟส 2

สัญญาณผิดพลาด (ERR) น้อยที่สุดโดยใช้วิธีการของ Lead Mean Square (LMS) ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์

การที่จะให้การทำงานในเฟสนี้มีประสิทธิภาพมากที่สุด จะต้องไม่มีสัญญาณเสียงรบกวนในขั้นตอนนี้ การเบนเข้าหากันของการทำงานในเฟสนี้ สามารถวัดเป็นอัตราส่วนในหน่วยของ dB โดยเป็นอัตราส่วนระหว่าง พลังงานของสัญญาณอินพุตที่คาดหมายไว้ กับค่ากำลังงานของค่าผิดพลาดที่คาดหมายไว้

$$ERR = \frac{20 \log E(in^2)}{E(ERR)^2} \quad (3.2)$$

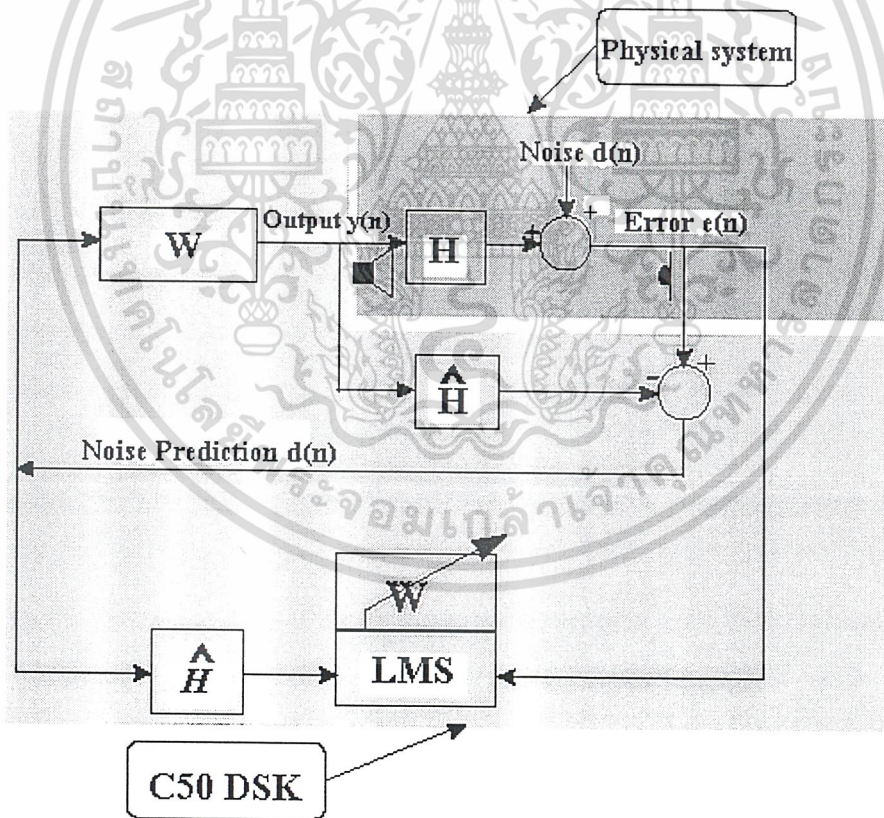
จากแผนผังการทำงานในเฟสที่ 2 จะเป็นการสร้างสัญญาณ white noise ออกมา เพื่อให้เป็นอินพุตของระบบ และใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์จะมีการทำซ้ำเท่ากับจำนวนค่าใน ITER ซึ่งในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมให้มีการทำซ้ำจำนวน 10240 ครั้ง โดยค่านี้สามารถที่จะเปลี่ยนได้ ขึ้นอยู่กับว่าต้องการแม่นยำขนาดไหน

สำหรับค่า MUident ในที่นี้กำหนดให้เป็นค่า 15000 ซึ่งให้ผลดีเมื่อระดับของสัญญาณที่ไมโครโฟนรับได้มีค่าประมาณ 100 mV(peak to peak) ในกรณีที่สัญญาณที่ได้รับจากไมโครโฟนในเวลา N ครั้ง มีค่าน้อยหรือมากกว่า 100 mV สามารถที่จะปรับค่า MUident ได้โดยการคูณหรือหารด้วย  $N^2$

**เฟส 3 ควบคุมสัญญาณรบกวนแบบช่วยตัวเอง**

เฟสนี้จะเป็นส่วนสุดท้ายของการทำงาน เมื่อเริ่มทำในเฟสนี้แล้วจะทำไปจนกว่าจะมีการรีเซ็ต DSP จุดประสงค์ของการทำงานในเฟสนี้ เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนที่ไมโครโฟน โดยปรับค่าสัมประสิทธิ์ของตัวควบคุมวงจรรอง(W) ซึ่งจะมีการปรับค่าสัมประสิทธิ์ตามสัญญาณรบกวนที่มีเฟสเปลี่ยนแปลงไปโดยใช้วิธีการ filter-X LMS



**รูปที่ 3.10** แผนผังการทำงานของโปรแกรมในเฟส 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับโรงเรียนมัธยมศึกษาในจังหวัดสุพรรณบุรี หากท่านนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและทดสอบ

#### 4.1 ขั้นตอนการทดลองเบื้องต้น

ในการทดลองเบื้องต้นนั้นได้แบ่งออกเป็นสามการทดลองดังต่อไปนี้

##### 4.1.1 ขั้นตอนการทดลองทฤษฎีการหักล้างกันโดยการกลับเฟส

ในการทดลองนี้เพื่อพิสูจน์ทฤษฎีการหักล้างกัน โดยการกลับเฟสว่าเป็นจริงหรือไม่ เพื่อที่จะได้นำไปใช้ในการตัดสินใจที่จะทำโครงการนี้ต่อไป มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

##### อุปกรณ์การทดลองและสถานที่

1. ลำโพง 2 ดอก
2. เครื่องขยายเสียง
3. เครื่องวัดความดังของเสียง
4. เครื่องกำเนิดสัญญาณ
5. ห้องทดลองที่เงียบพอสมควร

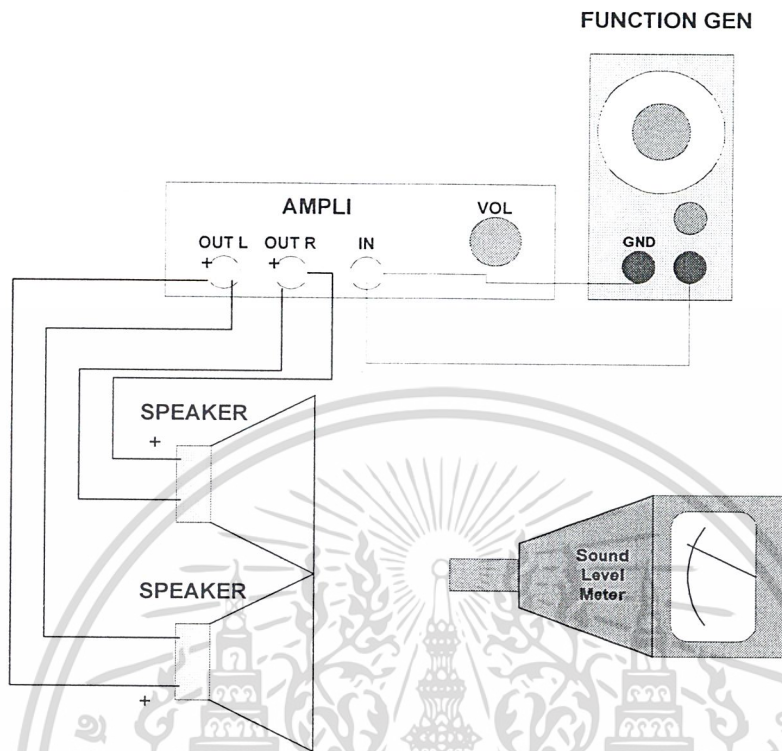
##### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. นำลำโพง และเครื่องขยายเสียง ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดความถี่
2. ปรับความถี่เครื่องกำเนิดความถี่ให้อยู่ในย่านความถี่คนได้ยิน
3. กลับขั้วที่ลำโพงตัวใดตัวหนึ่ง
4. เปิดเสียงแล้วนำลำโพงไปวางไว้ในลักษณะที่เสมือนจุดเดียวกันหันลำโพงไปในทิศทางเดียวกัน
5. นำเครื่องวัดความดังเสียงไปวางไว้หน้าลำโพงห่าง 1 ฟุต แล้วอ่านค่าเปรียบเทียบกับเวลา กลับขั้วลำโพง กับตอนที่ยังไม่กลับขั้วลำโพง

##### ผลการทดลอง

ผลการทดลองปรากฏว่า สามารถสังเกตได้ว่าตอนที่กลับขั้วลำโพงมีเสียงที่เบากว่า ตอนที่ยังไม่กลับขั้วลำโพง ซึ่งสามารถสังเกตจากเครื่องวัดความดังเสียง และรับทราบได้จากความรู้สึกในการฟัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การทดสอบทฤษฎีการหักล้างกันโดยการกลับเฟส

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ทฤษฎีการหักล้างกันโดยการกลับเฟสนั้นใช้ได้ผลดีพอใช้ ซึ่งทำให้ได้ตัดสินใจทำโครงการนี้ต่อไป

#### 4.1.2 ขั้นตอนการทดลองความเป็นปกติของบอร์ด DSK

ในขั้นตอนนี้ได้ทำขึ้น เพื่อทดสอบว่าบอร์ด DSK นั้นยังใช้ได้เป็นปกติอยู่หรือไม่ มีลำดับขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

#### อุปกรณ์การทดลอง

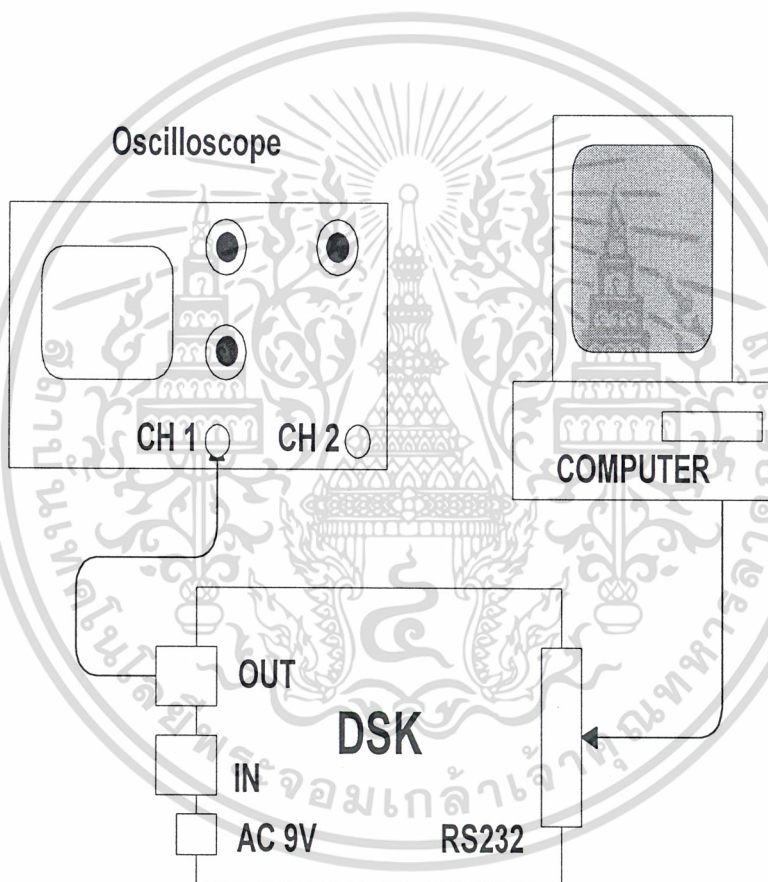
1. บอร์ด DSK
2. เครื่องคอมพิวเตอร์
3. สายเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม (DB9)
4. โปรแกรมทดสอบ FUNC.ASM และ TRY1.ASM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
5. ออสซิลิโศป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ลำดับขั้นการทดลอง

1. ทำการต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน
2. ทำการลงโปรแกรมสำเร็จรูปของ DSK DEBUGGER
3. ทำการทดสอบโปรแกรม FUNC.ASM ซึ่งได้มาชุดเดียวกับบอร์ด DSK
4. ทำการทดสอบโปรแกรม TRY1.ASM ซึ่งได้มาชุดเดียวกับบอร์ด DSK
5. ดูผลการทดลองจากออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4.2 การทดลองความเป็นปกติของบอร์ด DSK

## ผลการทดลอง

จากการทดลอง ได้นำบอร์ด DSK มาทดสอบหลายบอร์ดด้วยกันแต่มีบอร์ดที่สามารถทำงานได้สมบูรณ์เพียงบอร์ดเดียว ซึ่งผลสามารถได้จากการทำงานโปรแกรมทดสอบไปทดสอบบอร์ดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSK ถ้าเป็นบอร์ดที่ดีก็จะได้ผลเมื่อใช้โปรแกรม FUNC.ASM เป็นรูปคลื่นชานัน์ และเมื่อใช้โปรแกรม TRY1.ASM มาทดสอบจะปรากฏที่ออสซิลอสโคปเป็นรูปคลื่นฟันเลื่อย

### สรุปผลการทดลอง

สรุปได้ว่าสามารถใช้บอร์ด DSK สร้าง หรือกำเนิดสัญญาณ ได้ซึ่งมีบอร์ดที่ใช้ได้อยู่ และจะได้นำมาใช้ในการทำโครงการครั้งนี้ต่อไป

## 4.2 ขั้นตอนการทดลองเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว

ในการทดลองขั้นนี้หมายถึงการทดลองใช้งานจริง หรือเสมือนจริง โดยการจำลองเหตุการณ์ ให้เหมือนการใช้งานจริง

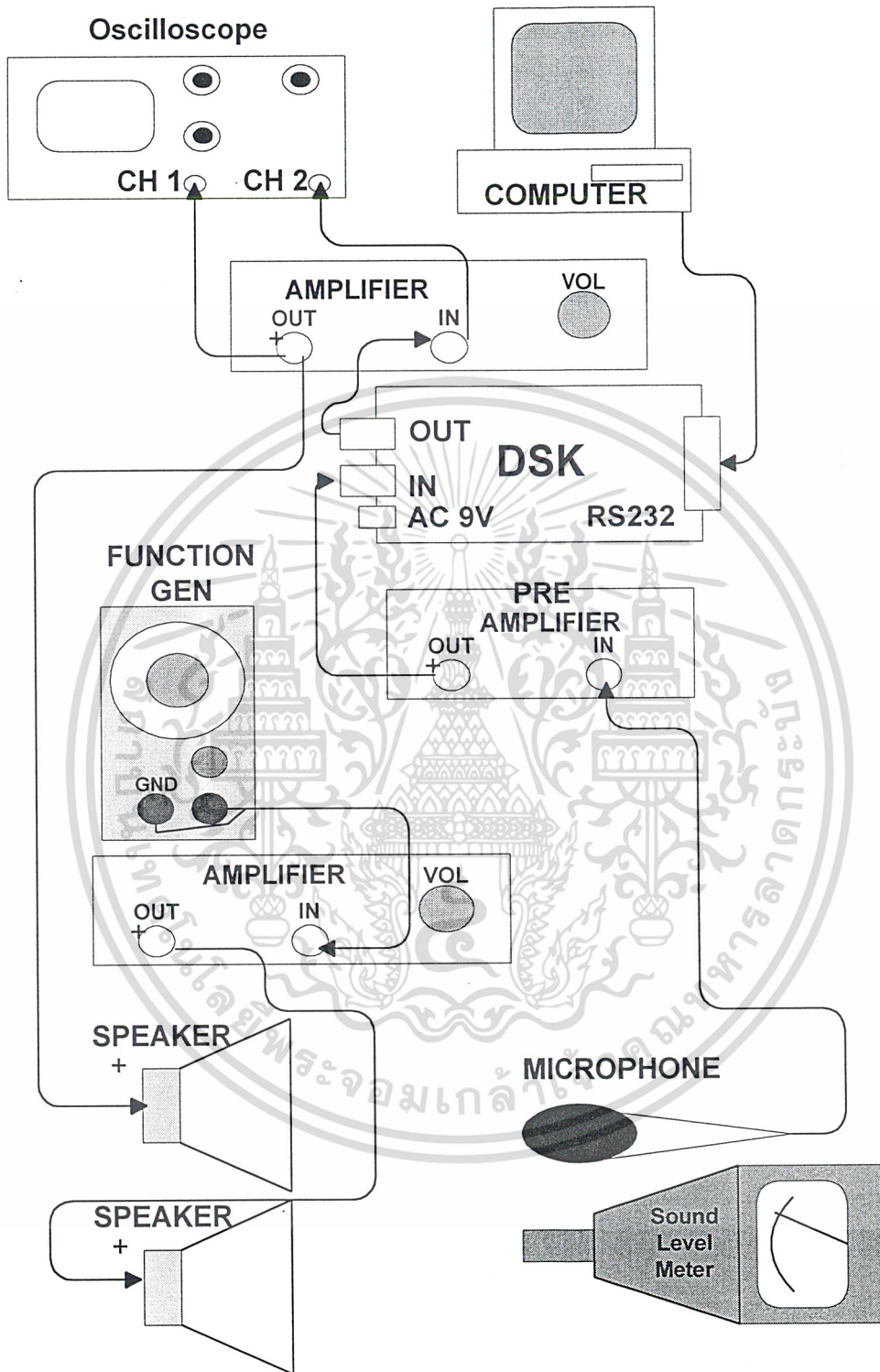
### อุปกรณ์การทดลองและสถานที่

1. บอร์ด DSK
2. ลำโพง 2 ดอก
3. เครื่องคอมพิวเตอร์
4. สายเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม (DB9)
5. ออสซิลอสโคป
6. เครื่องวัดความดังของเสียง
7. เครื่องกำเนิดสัญญาณ
8. เครื่องขยายเสียง
9. ห้องทดลอง

### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. เชื่อมต่อ พอร์ตสื่อสารอนุกรมของคอมพิวเตอร์ เข้ากับจุดต่อของเครื่อง โดยที่ยังปิดเครื่องกำเนิดเสียงรบกวนอยู่
2. ต่อไมโครโฟนและลำโพงเข้ากับจุดต่ออินพุตและเอาต์พุตตามลำดับ โดยวางให้ไมโครโฟนห่างจากลำโพง 1 ฟุต
3. เปิดเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวน ใช้โปรแกรม DSK5L โหลดโปรแกรมจากเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว เมื่อโหลดโปรแกรมเสร็จที่หน้าจอกอมพิวเตอร์จะเริ่มนับเวลาที่รันโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การทดลองควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว

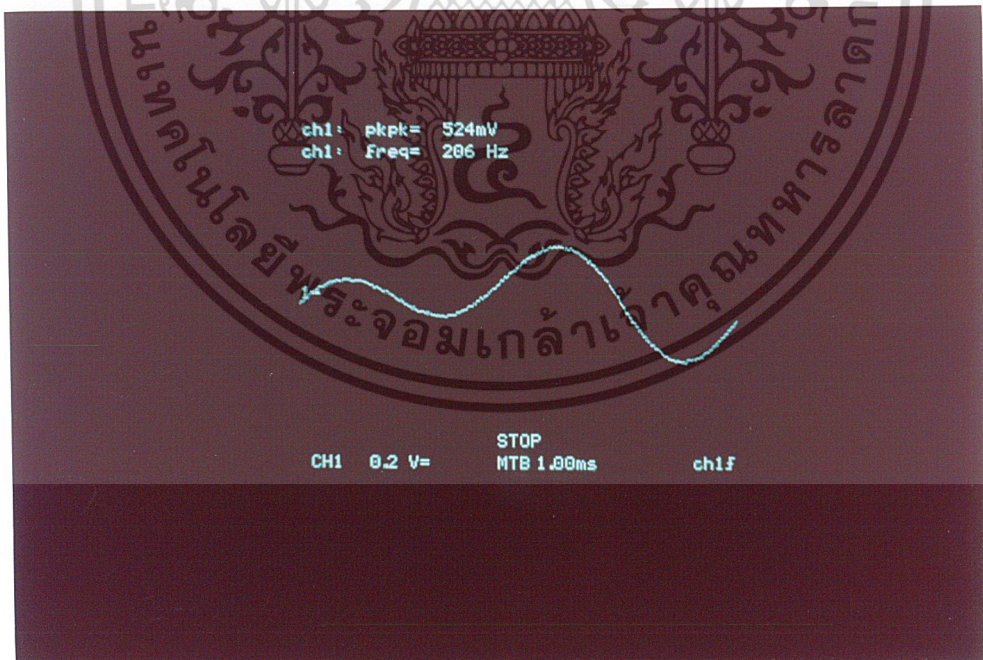
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ในช่วงเวลาที่โปรแกรมเริ่มทำงาน จะต้องปิดไมโครโฟนก่อนเพื่อให้โปรแกรมทำงานในเฟสหนึ่ง คือ คำนวณค่า offset ขณะอินพุตของ AIC เป็นศูนย์ได้ถูกต้อง

5. ต่อสายสโคปวัดสัญญาณจากจุดอินพุต และเอาต์พุตของ DSK เพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวน

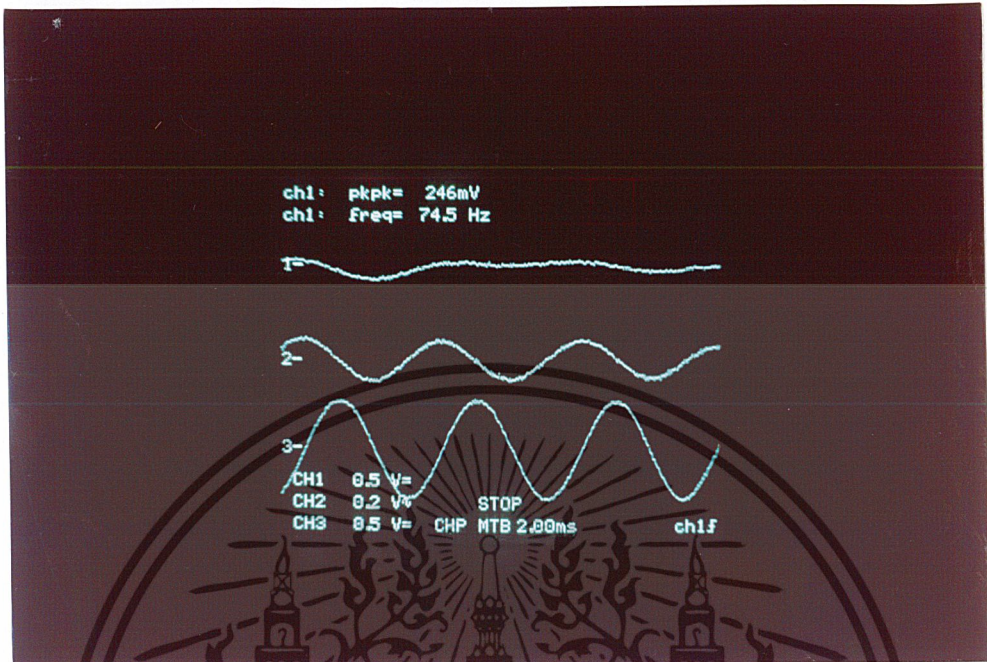
6. เมื่อโปรแกรมทำงานเฟสหนึ่งเสร็จ แล้วจะเริ่มทำงานต่อในเฟสสอง สังเกตได้จาก DSK จะส่งสัญญาณ White Noise ออกมา เปิดไมโครโฟนและปรับวอลลุ่มให้เสียงที่ลำโพงมีความดังอยู่ในระดับหนึ่ง เมื่อโปรแกรมทำงานในเฟสสองเสร็จ(ใช้เวลาประมาณ 18 วินาที) เสียงที่ลำโพงจะเงียบลง ถ้าหากเสียงที่ลำโพงไม่เงียบให้ทำการโหลดโปรแกรมเครื่องใหม่ แล้วปรับวอลลุ่มหรือระยะห่างจากไมโครโฟนกับลำโพงใหม่ ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 ถึง 6 ใหม่จนกระทั่งทำงานในเฟสสองเสร็จแล้วเสียงที่ลำโพงเงียบลง

7. จากนั้นทดลองส่งสัญญาณเสียงรบกวนออกมา แล้วทดลองปรับเปลี่ยนความถี่และระดับความดังของสัญญาณรบกวน วัดระดับความดังของเสียงที่ลดลง โดยที่ในขั้นตอนนี้จะไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่งของไมโครโฟนและลำโพง และระดับของวอลลุ่มที่ปรับได้ในข้อ 6

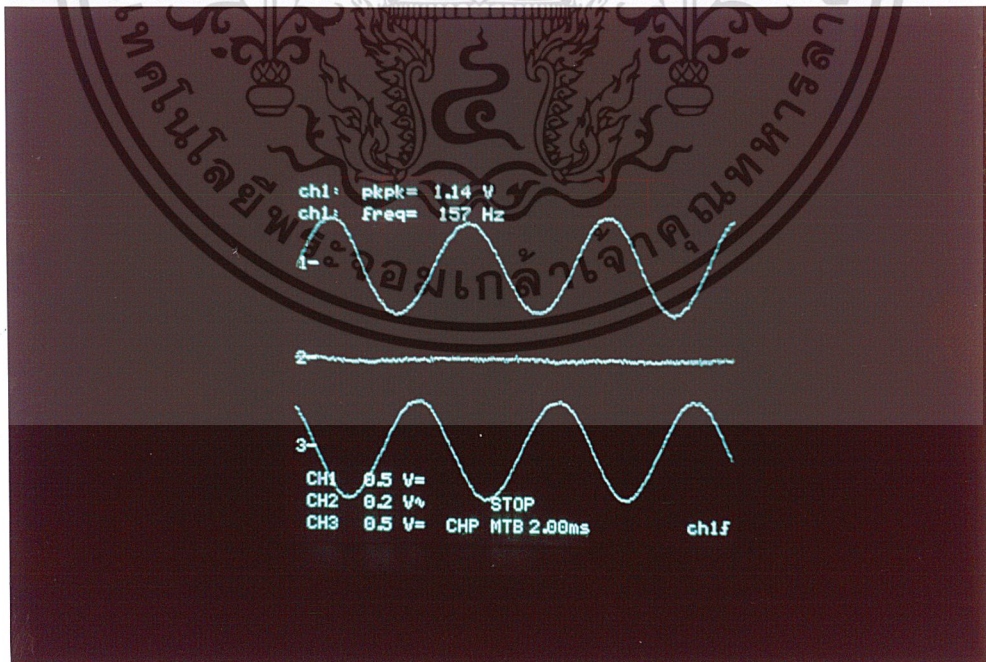


รูปที่ 4.4 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ขณะทำงานในเฟส 2

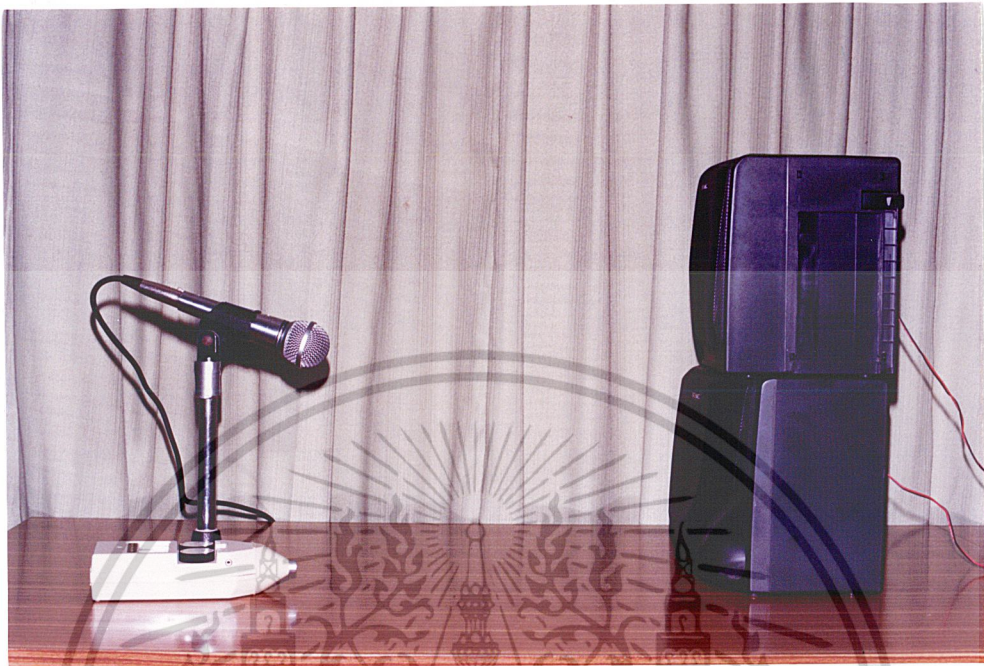
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การทำงานในเฟสสามขณะสัญญาณรบกวนเริ่มเปลี่ยนแปลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
รูปที่ 4.6 การทำงานในเฟสสามขณะลดสัญญาณรบกวนได้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การจัดวางตำแหน่งไมโครโฟนและลำโพง

จากรูปที่ 4.4 เป็นสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการทำงานของเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนขณะที่ทำงานในเฟสสองเป็นการสร้างสัญญาณ White noise ส่งผ่านตัวขยายไปขับลำโพงกำจัดสัญญาณรบกวน ส่วนในรูปที่ 4.5 และ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณต่างๆ 3 สัญญาณ คือ หนึ่งสัญญาณควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนที่ส่งออกจาก DSK ผ่านวงจรขยายให้กับลำโพง สองสัญญาณที่รับได้จากไมโครโฟนผ่านปริ๊โมคัมมาแล้ว สามสัญญาณรบกวนที่ส่งออกมา โดยในรูปที่ 4.5 เป็นช่วงที่สัญญาณรบกวนเพิ่งเปลี่ยนแปลงความถี่สังเกตได้ว่าสัญญาณที่รับได้ที่ไมโครโฟนจะมีค่าสูงอยู่ และเมื่อปล่อยให้สักครู่สัญญาณที่รับได้ที่ไมโครโฟนจะมีค่าลดลงเนื่องจากเครื่องส่งสัญญาณออกมาหักล้าง (รูปที่ 4.6) และสัญญาณกำจัดเสียงรบกวนที่ส่งออกมาจะมีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณรบกวน

#### ผลการทดลอง

เนื่องจากจุดประสงค์ของเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวน ก็ต้องการส่งสัญญาณออกมาควบคุมสัญญาณเสียงรบกวนที่ไมโครโฟนให้มีค่าต่ำที่สุด จากการทดลองโดยวัดสัญญาณที่

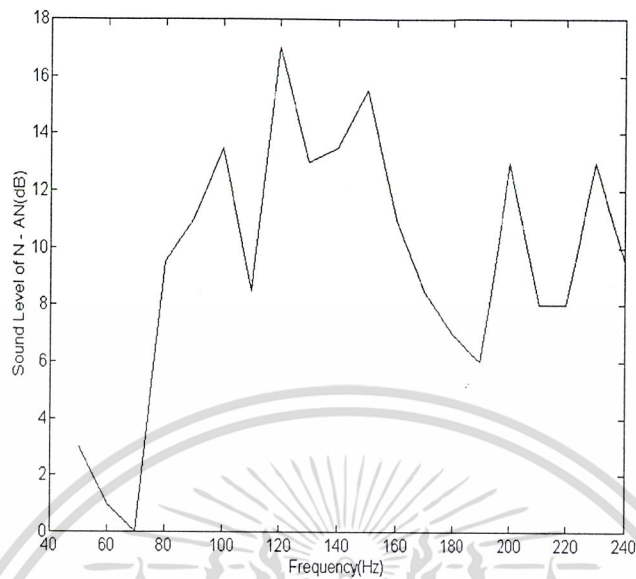
เอาต์พุตของวงจร PreMic จะได้ค่าสัญญาณเสียงต่ำมาก เมื่อเราปรับความถี่ของสัญญาณรบกวน  
ไม่ว่าสัญญาณที่ไมโครโฟนก็จะมีค่าสูงขึ้นช่วงขณะแล้วมีค่าลดต่ำลง เพราะการทำงานของโปรแกรมจะใช้

พยายามผลิตสัญญาณออกมาเพื่อลดความดังของเสียงสัญญาณรบกวน โดยช่วงความถี่ของสัญญาณรบกวนที่สามารถควบคุมให้มีระดับลดลงได้มากอยู่ในช่วงประมาณ 100 Hz ถึง 240 Hz ซึ่งสามารถดูได้จากตารางบันทึกผลการทดลองและกราฟการเปรียบเทียบผลตอบสนองต่อความถี่

ตาราง 4.1 แสดงการเปรียบเทียบความดังก่อน และหลังใช้เครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล้องตัว

ความถี่ (Hz)	ความดังหลังใช้เครื่องต้นแบบ (dB)	ความดังภายในห้อง (dB)	ผลต่างของความดัง (dB)
50 Hz	50.5 (dB)	53.5 (dB)	3 (dB)
60 Hz	51 (dB)	52 (dB)	1 (dB)
70 Hz	50 (dB)	50 (dB)	0 (dB)
80 Hz	49 (dB)	58.5 (dB)	9.5 (dB)
90 Hz	56 (dB)	67 (dB)	11 (dB)
100 Hz	54 (dB)	67.5 (dB)	13.5 (dB)
110 Hz	53 (dB)	61.5 (dB)	8.5 (dB)
120 Hz	56 (dB)	73 (dB)	17 (dB)
130 Hz	61.5 (dB)	74.5 (dB)	13 (dB)
140 Hz	64 (dB)	77.5 (dB)	13.5 (dB)
150 Hz	65 (dB)	80.5 (dB)	15.5 (dB)
160 Hz	66 (dB)	74 (dB)	11 (dB)
170 Hz	63 (dB)	71.5 (dB)	8.5 (dB)
180 Hz	65 (dB)	72 (dB)	7 (dB)
190 Hz	66 (dB)	72 (dB)	6 (dB)
200 Hz	62 (dB)	75 (dB)	13 (dB)
210 Hz	69 (dB)	77 (dB)	8 (dB)
220 Hz	70 (dB)	78 (dB)	8 (dB)
230 Hz	63 (dB)	76 (dB)	13 (dB)
240 Hz	58 (dB)	67.5 (dB)	9.5 (dB)
250 Hz	67 (dB)	67 (dB)	0 (dB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟความสามารถในการลดระดับความดังของสัญญาณรบกวนในช่วงความถี่ต่างๆ

จากการทดลองจึงได้บันทึกผลลงในตาราง โดยแบ่งเป็นแต่ละช่วงความถี่ ซึ่งจากตารางจะเห็นว่า ในแต่ละความถี่จะให้ผลไม่เหมือนกันได้นำไปเขียนไว้เป็นกราฟ และเราจะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 120 เฮิรตซ์ ซึ่งสามารถลดระดับความดังของสัญญาณรบกวนได้ถึง 17 dB และในช่วงความถี่อื่นๆ ก็ลดหลั่นลงมาดังแสดงในกราฟความสามารถในการลดระดับความดังของสัญญาณรบกวนในช่วงความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไข และพัฒนา

#### 5.1 บทสรุป

เครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาหลักการควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวน ซึ่งได้ใช้หลักการควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบ “Feed Forward Approach” ถือเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณรบกวนโดยให้ตัวควบคุมอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนมากที่สุด โดยในส่วนของโปรแกรมเฟสที่ 2 โดยใช้หลักการของวงจรรองความถี่แบบปรับค่าได้โดยใช้สมการลีด-มินสแควร์(LMS) ส่วนในเฟสที่ 3 ทำหน้าควบคุมสัญญาณรบกวนให้มีค่าน้อยที่สุด ได้ใช้หลักการกำจัด Filtered-X LMS ซึ่งเป็นการปรับปรุงมาจากวิธีการของลีด-มินสแควร์ โดยขีดความสามารถของโครงการที่วางไว้คือ สามารถลดเสียงรบกวนได้มากกว่าครึ่งหนึ่งหรือ  $-3$  dB

จากการศึกษาและทดลอง ปรากฏว่าผลที่ได้อยู่ในระดับที่น่าพอใจ กล่าวคือเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวน สามารถลดเสียงรบกวนได้มากกว่า  $-3$  dB โดยความถี่ของเสียงสัญญาณรบกวนมีช่วงความถี่ตั้งแต่ 100 Hz ถึง 235 Hz ซึ่งในความถี่ช่วงนี้ เมื่อใช้เครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนสามารถรับรู้ได้ว่าระดับความดังของสัญญาณรบกวนลดลง

#### 5.2 ปัญหาที่พบ

##### 5.2.1 ปัญหาในส่วนของฮาร์ดแวร์

ปัญหา ในช่วงแรกใช้ชิพ DSP เบอร์ TMS320C30 บนการ์ดอินเตอร์เฟส SPIRIT30 ซึ่งมี ขั้นตอนในการใช้งานมาก

แนวทางการแก้ปัญหา เปลี่ยนมาใช้บอร์ด DSK ซึ่งใช้ชิพ DSP เบอร์ TMS320C50

ปัญหา บอร์ด DSK ในส่วนของสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรม ใช้งานไม่ได้

แนวทางการแก้ปัญหา ในตอนแรกได้แก้ไขที่โปรแกรม โดยใช้สัญญาณอินเตอร์รัพท์ที่เกิดจากการส่งข้อมูลของพอร์ตอนุกรมแทน ต่อมาเปลี่ยนมาใช้บอร์ดที่สามารถใช้อินเตอร์รัพท์ที่เกิดจากการรับและส่งได้

ปัญหา แหล่งจ่ายไฟจากหม้อแปลง 3 A เมื่อจ่ายไฟให้กับ ชุดเครื่องขยายเสียง วงจร Pre Mic และบอร์ด DSK แล้วกระแสไม่พอ

แนวทางการแก้ปัญหา เพิ่ม หม้อแปลงอีกตัวจ่ายไฟให้กับวงจร Pre Mic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2.2 ปัญหาในส่วนซอฟต์แวร์

ปัญหา	โปรแกรมแปลงไฟล์จาก *.ASM เป็นไฟล์ *.DSK เวอร์ชันเก่าที่ได้มาใช้งานในส่วนในการแปลงซ้ำมาก
แนวทางการแก้ปัญหา	โหลดโปรแกรมการแปลงไฟล์เวอร์ชันที่สูงกว่ามาใช้จาก <a href="http://www.tl.com">HTTP://WWW.TL.COM</a>
ปัญหา	ข้อมูลทฤษฎีและการจัดการ ของเครื่องกำจัดสัญญาณรบกวน มีน้อย
แนวทางการแก้ปัญหา	เข้าไปดูที่ <a href="http://www.tl.com">HTTP://WWW.TL.COM</a> เพื่อค้นหาข้อมูลต่างๆ
ปัญหา	การศึกษารายละเอียดโปรแกรมควบคุมการทำงานของ DSK เป็นไปได้ช้าเนื่องจากความยุ่งยากและซับซ้อนของคำสั่ง
แนวทางการแก้ปัญหา	ต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษาด้านซอฟต์แวร์มาก

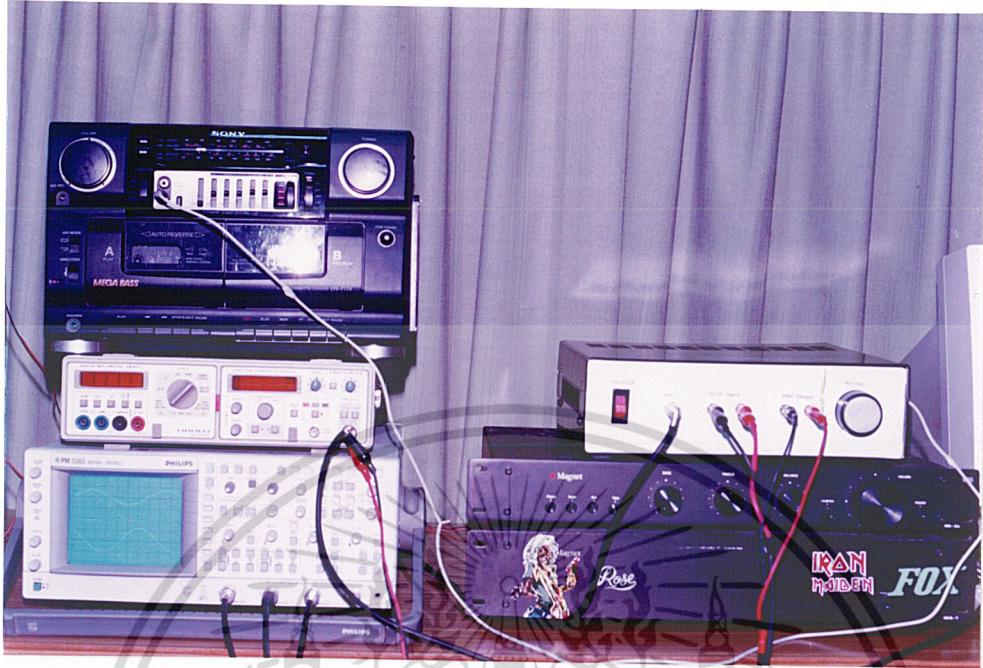
## 5.3 แนวทางการพัฒนา

1. ควรใช้อุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณเชิงเลขที่มีความไวในการทำงานสูงกว่า TMS320C50
2. ควรนำมาพัฒนา ใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวน จากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนจริงๆ
3. แก้ไขโปรแกรม เพื่อให้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีระดับความดังที่ต่างกัน มากๆ ได้
4. ใช้วิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบอื่นที่มีประสิทธิภาพดีกว่านี้แบบนี้
5. ควรทดลองใช้แนวสมการแบบอื่นนอกเหนือจากสมการลีดมินสแควร์

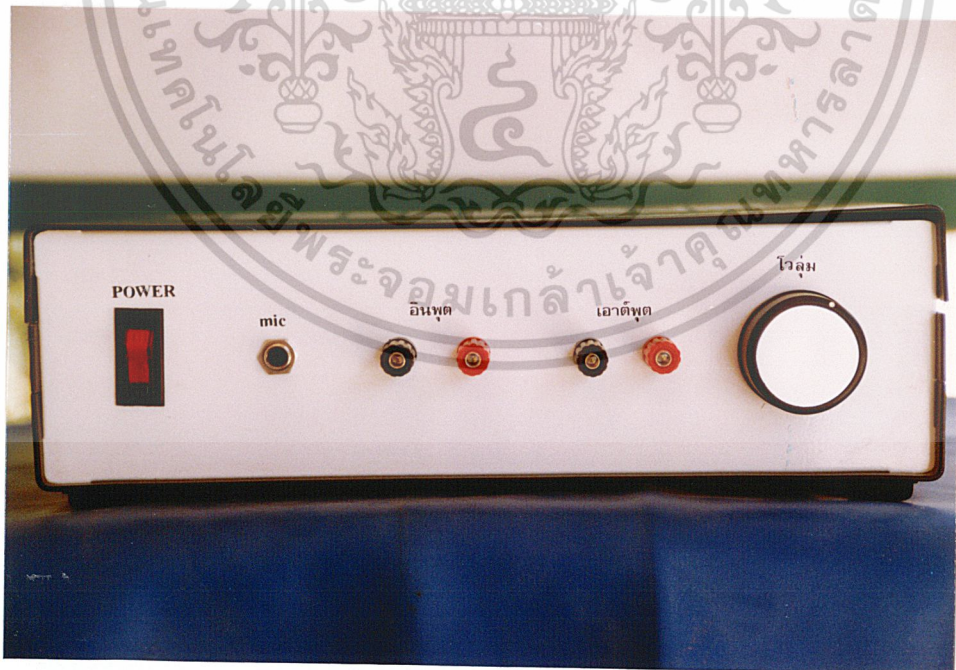
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



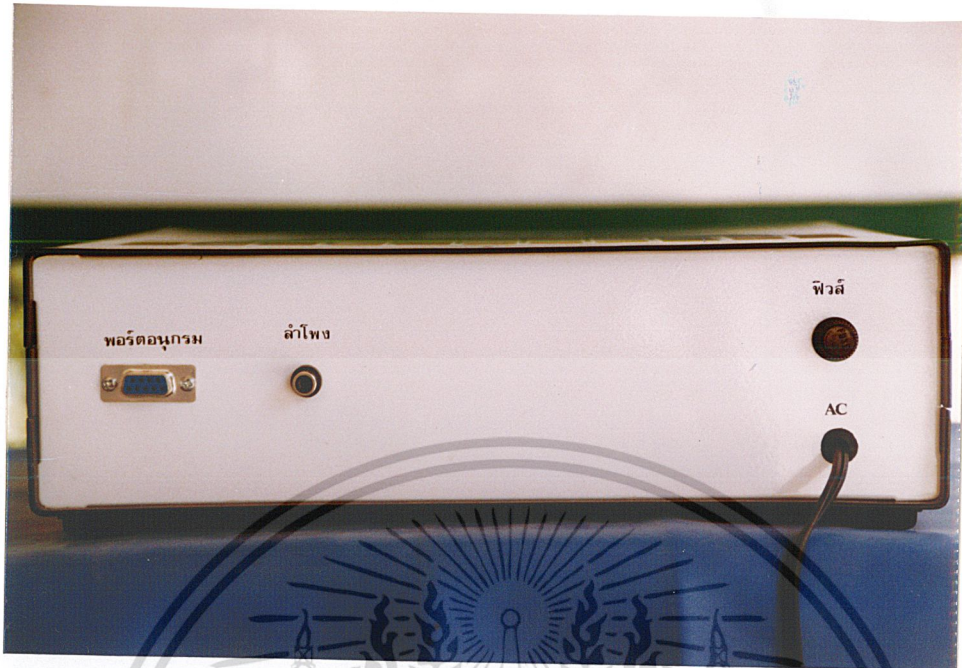
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



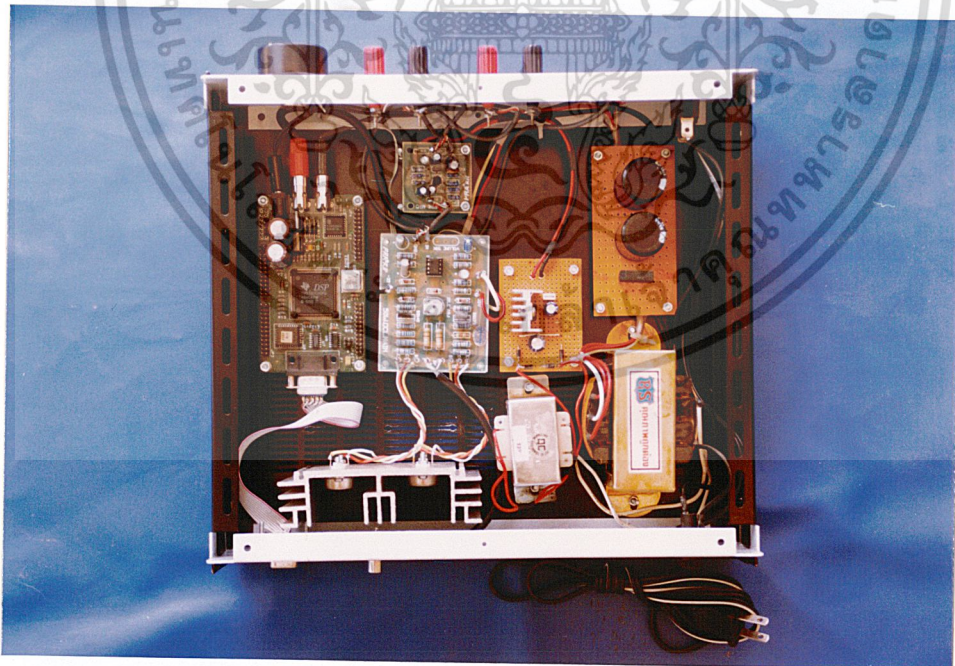
รูปที่ ก.1 เครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว



เอกสารนี้เป็นรูปที่ ก.2 ด้านหน้าเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล่องตัว ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 ด้านหลังเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล้องตัว

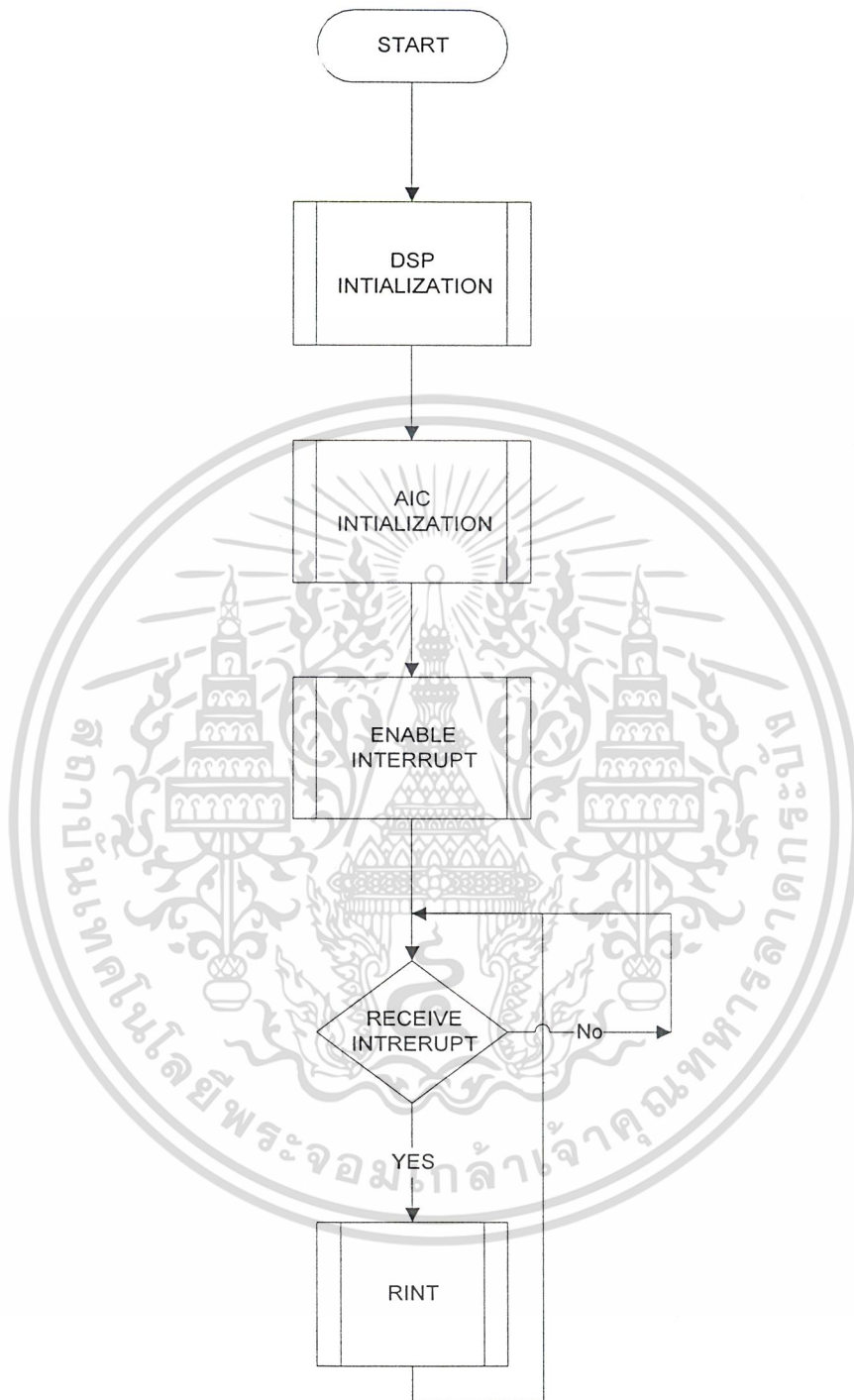


เอกรูปที่ ก.4 การวางอุปกรณ์ภายในเครื่องเครื่องควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล้องตัว  
 โยชนด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



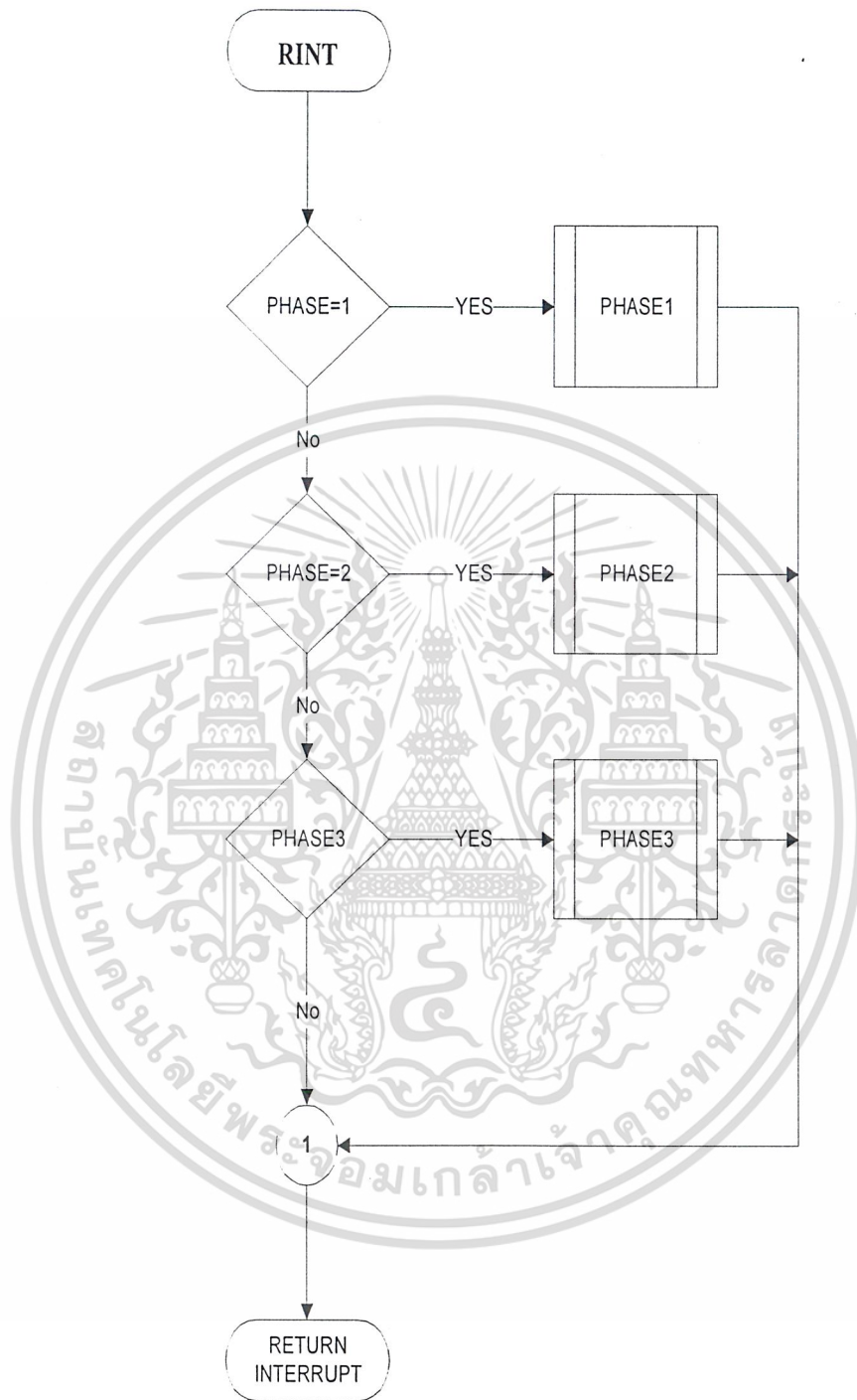
ภาคผนวก ข  
โปรแกรมควบคุมการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคล้องตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



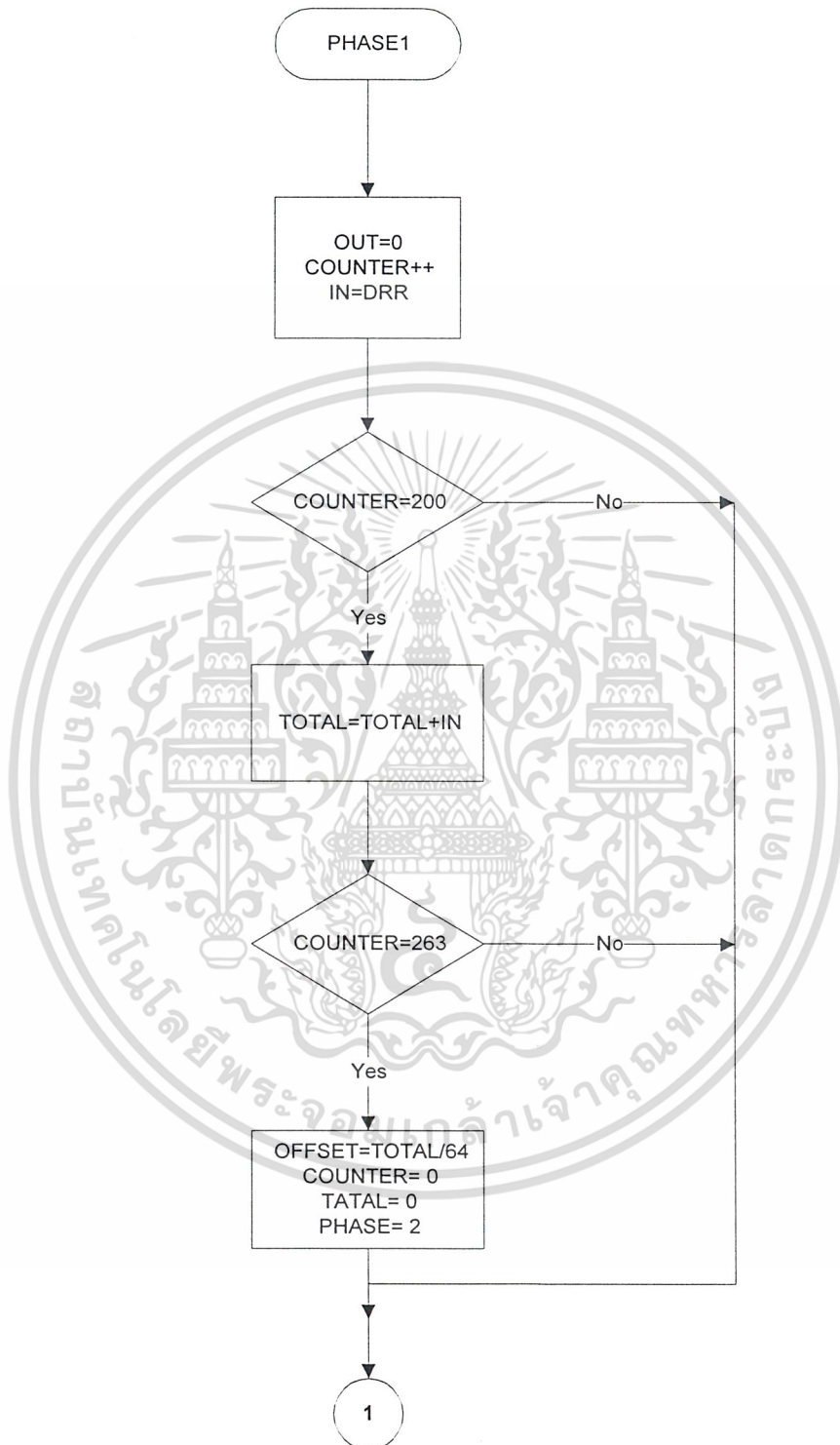
รูปที่ ข.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



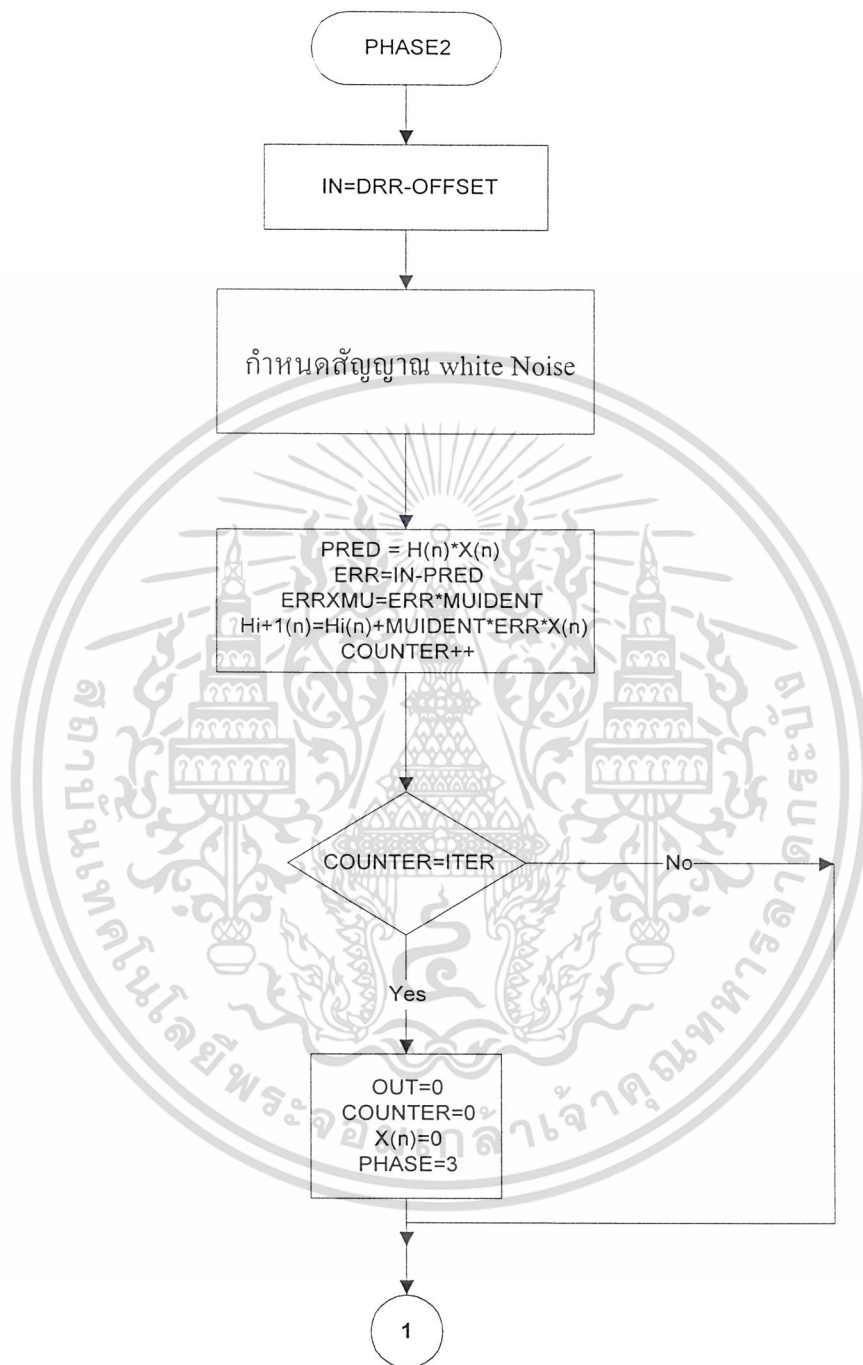
รูปที่ ข.2 ขั้นตอนการทำงานของกรอินเตอร์รัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



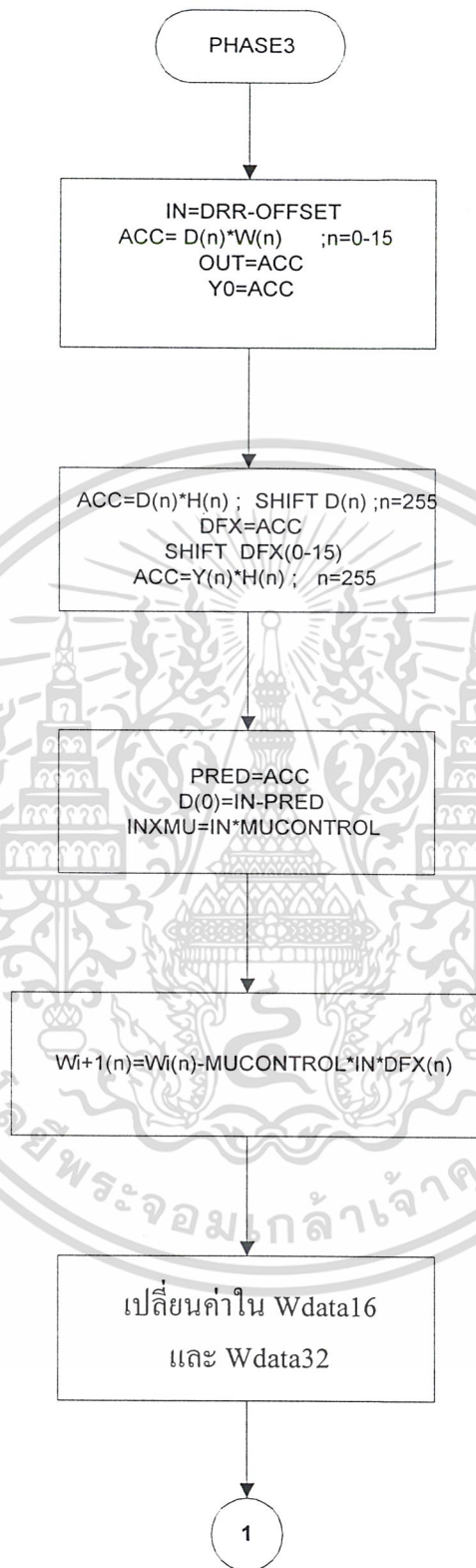
รูปที่ ข.3 ขั้นตอนการทำงานของเฟสที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 ขั้นตอนการทำงานของ เฟสที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ ข.5 ขั้นตอนการทำงานของเฟสที่ 3  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

*****
*TMS320C50 ASSEMBLER CODE FOR A SINGLE CHANNEL
* ACTIVE ADAPTIVE NOISE CANCELLER
*****

    .mmregs
    .ds 2000h; beginning of a data page

*****

*** The following global variables are for the serial port interrupt
*** routine and should be on the same data page in order to avoid constant reloading of the "dp".
*****

ITER        .word 10240      ; Number of iterations for the Identification of H phase.
MUident     .word 15000     ; Gain constant for the Identification of H.
MUControl   .word 6000     ; Gain constant for the Control optimization.
noislvl     .word 2000     ; The level of the bipolar random noise in the Identification
                                ; of H phase.

IN          .word 0
total       .word 0
counter     .word 0
offset      .word 0
PHASE      .word 1        ;Beginning phase.
OUT         .word 0
ONE         .word 1
ERR         .word 0
Pred       .word 0
ERRxMU     .word 0
INxMU      .word 0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* AIC global variables \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

TA .word 31 ; Registers of the AIC

RA .word 31

TB .word 32

RB .word 32

AIC\_CTR .word 29h

VPRD .word 16 ; PRD register of the C50

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* Random Noise Generator variables \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

seed .word 07e6dh ; seed for random noise generator

TEMP .word 0

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* ARRAYS \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

Wprog .set 1c00h ;W(15) address in program memory (necessary for MACD  
;instructiob)

Wdata .set 1c00h ;W(15) address in data memory

Wdata32 .set 1c10h ;W(15) address for 32 bit coefficients

Hprog .set 1c30h ;H(255) address in program memory (necessary for MACD  
;instructioa)

Hdata .set 1c30h ;H(255) address in data memory

Y0 .set 1d30h ;Y(0) address

Y255 .set 1e2fh ;Y(255) address

Dfx .set 1e30h ;Dfx(-1) address

Dfx0 .set 1e31h ;Dfx(0) address

Dfx15 .set 1e40h ;Dfx(15) address

X0 .set 300h ;X(0) address

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับการใช้;ผู้ใดที่นำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

X255    .set 3ffh           ;X(255) address
X256    .set 400h           ;X(256) address
                               ;D(n) uses the same memory as X(n).
D0      .set 300h           ;D(0) address
D16     .set 30fh           ;D(16) address
D255    .set 3ffh           ;D(255) address
                               ;Reset of vectors W(n), H(n), Y(n) and Dfx(n).
                               ;(1e41h-1c00h)words * 16bits = 9232 bits
        .ps 01c00h
        .space 9232
        .ds 00300h         ;Reset of X(n) and D(n)
        .space 4096
*****
***** Set up the ISR vectors *****
*****
        .ps 00804h
int2:   B COMM
        .ps 0080ah
rint:   B RINT             ;TRANSMIT 0A : Serial prot receive interrupt RINT.
xint:   B TRANSMIT        ; RINT 0C : Serial port transmit interrupt XINT.
*****
***** MAIN *****
*****
*** 1- DSP INITIALIZATION
*** 2- AIC INITIALIZATION
*** 3- ENABLE INTERRUPTS
*** 4- WAIT FOR INTERRUPTS
*****

        .ps 0a00h
        .entry
        SETC             INTM
        call             Init_DSP ; DSP INITIALIZATION

```

```

CALL          AICINIT      ; AIC INITIALIZATION
call         Enab_INT     ; ENABLE INTERRUPTS
WAIT         nop
B            WAIT

```

\*\*\*\*\* End of main \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* TMS320C50 INITIALIZATION \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

```

Init_DSP      LDP #0
OPL           #0834h,PMST
LACC          #0
SAMM         CWSR
SAMM         PDWSR
setc         OVM      ; OVM = 1
SPM          0       ; PM = 0
setc         SXM
setc         CNF     ; CNF = 1
RET

```

\*\*\*\*\* End of DSP INITIALIZATION \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* AIC INITIALIZATION \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

```

AICINIT:  SPLK      #022h,IMR      ; Using XINT syn TX & RX
          SPLK      #20h,TCR      ; To generate 10 MHz from Tout.
          lmmr      PRD,VPRD
          MAR       *,AR0
          LACC      #0008h        ; Non continuous mode
          SACL      SPC            ; FSX as input

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

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                ; Restore GREG to 0000
lacc    #2448h                ; In case the AIC is by error waiting
                                ;for a
sACL    DXR                ; secondary communication, we send the
                                ;default
splk    #20h,IFR                ; TA and RA values (18h). The AIC returns in
                                ;primary
                                ; communication state after. To Solve a
                                ;problem on the ;serial
                                ; port of some C50
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

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LDP    #AIC_CTR
LACC   AIC_CTR,2           ; Initialized control register
ADD    #03h
CALL   AIC_2ND
RET
AIC_2ND: LDP    #0
sach   DXR
        intaic0           ;clrc INTM
        ; idle
bit    IFR,10
bcnd   intaic0,NTC
splk   #20h,IFR
ADD    #6h,15             ; 0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX
        ;XXXX XXXX b
sach   DXR
        intaic1           ;idle
bit    IFR,10
bcnd   intaic1,NTC
splk   #20h,IFR
SACL   DXR
        intaic2           ;idle
bit    IFR,10
bcnd   intaic2,NTC
splk   #20h,IFR
lacl   #0
SACL   DXR
        intaic3           ;idle
bit    IFR,10
bcnd   intaic3,NTC
splk   #20h,IFR

```

RET

\*\*\*\*\* End of AIC INITIALIZATION \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* ENABLE INTERRUPTS \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

Enab\_INT SPLK #012h,IMR ; enable RINT and INT2

CLRC INTM ; enable int.

RET

\*\*\*\*\* End of ENABLE INTERRUPTS \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\* INTERRUPT ROUTINES

\*\*\* C50 serial port receive interrupt routine (RINT)

\*\*\*\*\*

```
RINT:  ldp    #OUT          ; Send the value in "OUT" to
      lacl   OUT          ; the Data Transmit Register (DXR)
      samm  DXR
      cpl   #01,PHASE
      bcnd  Phase1,TC    ; AIC OFFSET CALCULATION
      cpl   #02,PHASE
      bcnd  Phase2,TC    ; IDENTIFICATION OF H
      cpl   #03,PHASE
      bcnd  Phase3,TC    ; CONTROL
```

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* AIC OFFSET CALCULATION ---> PHASE 1 \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

Phase1 lacl #0 ; Send 0 to the serial port transmit register

sacl OUT ; while calculating the offset.

lacl #1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

add      counter
sacl     counter
lamm     DRR
sacl     IN
lacl     #200 ; Let go the first 200 samples in order for the
NEG      ; AIC to stabilize.

add      counter
bend     END_IN,LT
lacl     IN
add      total ; Add 64 samples in "total"
sacl     total
cpl      #263,counter
bend     END_IN,NTC
lacc     total
bsar     6 ; Divide total per 64 to calculate the offset
         ; average.
sacl     offset
lacl     #0
sacl     counter
sacl     total
lacl     #2 ; Switch to the Identification Phase (phase #2)
sacl     PHASE
B        END_IN

```

\*\*\*\*\* End of AIC Offset Calculation phase \*\*\*\*\*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\*\*\*\*\*

\*\*\* IDENTIFICATION OF H PHASE ---> PHASE 2

\*\*\* Global Variables to configure:

\*\*\* ITER: Number of iterations for the Identification of H phase.

\*\*\* MUident: Gain constant for the Identification of H.

\*\*\* noislvl: The level of the bipolar random noise.

\*\*\*\*\*

```

Phase2                                ; Read the value returned by the AIC and
                                        ;subtract
                                        ; the AIC input offset: IN = DRR -offset
lamm    DRR                            ; Read the value returned by the AIC
sub     offset                          ; Subtract AIC input offset
sacL    IN                              ; Calculate and include in X(n) the next
                                        ; sample (White Noise)
                                        ; to send to the AIC
(OUT)
LACC    seed,1                          ; Random noise generator
XOR     seed
SACL    TEMP,2
XOR     TEMP
AND     #8000h
ADD     seed,16
SACH    seed,1                          ; Reduce the output by at least 1/8
LACC    seed,11                          ; to prevent the overflow
ROL
lacc    noislvl                          ; + or - noislvl is sent to the AIC (bipolar
                                        ; random noise).
and     #0fffh                          ; Force the two LSBs to 0 in order for the
                                        ; AIC to see the
bcnd    POS,NC

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

neg
POS      sacl OUT          ; Store in OUT the next interrupt DXR
          ; sample (the next
          ; value to send to the serial port transmit
          ; register).

lar      ar3,#X0          ; Include in X(n) the next sample to send.
mar      *,ar3
saccl    *                ; Convolution of H(n) with X(n) (Pred)
zpr
lacc     #1,15
mar      *,ar3
lar      ar3,#X255
FIR      rpt #255
          macd Hprog,*-
          apac
          sach Pred      ; Subtract the prediction from the AIC input
          (IN - Pred = ERR)
          neg
          lar ar3,#IN
          add *,16
          sach ERR      ; Adjust the coefficients  $H_{i+1}(n) = H_i(n) +$ 
          ;  $MU_{ident} * ERR * X(n)$ 

          lt ERR      ; ERR *  $MU_{ident}$ 
          mpy MUident
          pac
          add ONE,13    ; Rounding
          sach ERRxMU,2
          lacc #254      ; Update the 256 Coefficients.
          samm BRCCR
          lar ar2,#Hdata

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lar      ar3,#X256
lt       ERRxMU
mpy      *-,ar2
rptb    LOOP
ADAPT   zalr      *,ar3
        mpya     *-,ar2
LOOP    sach      *+                ; Store the new H coefficient.
        zalr      *
        apac
        sach      *+                ; Store the last new H coefficient.
        lacl      #1
        add       counter
        sac1      counter
INCR    lacl      ITER
        samm     DBMR
        cpl       counter
        bcnd     END_IN,NTC
        lacl      #0
        sac1     OUT
        sac1     counter
        mar      *,ar3
        lar      ar3,#X0
        rpt      #256
        sac1     *+,0
        lacl     #3
        sac1     PHASE
        B END_IN

```

\*\*\*\*\* End of Identification of H phase \*\*\*\*\*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

*****
***** CONTROL PHASE ---> PHASE 3 *****
***** Global Variables to configure: *****
***** MUControl: Gain constant for the Control. *****
*****

```

Phase3

```

; Read the value returned by the AIC and
; subtract the AIC input
; offset: IN = DRR -offset
lamm DRR ; Read the value returned by the AIC
sub offset ; Subtract AIC input offset
sac1 IN ; Calculate and include in Y(n) the next
; sample to send to
; the AIC (OUT) by the convolution of D(n)
; with W(n)
debut zpr
lacc #1,12 ; Rounding
mar *,ar3
lar ar3,#D16
FIRC rpt #15 ; Convolution
mac Wprog,*-
apac
and #0fffch,13 ; Force the two LSBs of the next sample to
; send to 0
sach OUT,3
lar ar3,#Y0 ; Include the next sample to send in Y(n)
sach *,3 ; Calculate and include in Dfx(n) the filtered
; reference
; by the convolution of D(n) with H(n).

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

FIRC1    lacc      #1,11          ; Rounding
         rpt      #255          ; Convolution
         macd     Hprog,*-
         apac
         lar      ar3,#Dfx      ; Include the filtered reference in Dfx(n)
         sach     *,4
         lar      ar3,#Dfx15    ; Shift by one the filtered reference vector.
         mar      *-,ar3       ; Since this vector is never used in a
                                ; convolution,
         rpt      #14          ; it has to be shifted manually. (last in, last
                                ; out)
         dmov     *-
         dmov     *            ; Calculate the prediction "Pred" of the
                                ; sample
                                ; received at the microphone by the
                                ; convolution of Y(n) with H(n).
         zpr
         lacc     #1,15        ; Rounding
         lar      ar3,#Y255    ; The normalization should be here the same
                                ; as in the
FIRC2    rpt      #255        ; convolution (FIR) in the
                                ; IDENTIFICATION OF H phase.
         macd     Hprog,*-    ; Convolution.
         apac
         sach     Pred        ; Calculate the estimate of the noise by
                                ; subtracting the
                                ; prediction "Pred" from the AIC input: D(0)
                                ; = IN - Pred
         neg
         lar      ar3,#IN

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

add      *,16
lar      ar3,#D0
sach     *
; Adjust the coefficient :  $W_{i+1}(n) =$ 
;  $W_i(n) - \text{MUControl} * \text{IN} * \text{Dfx}(n)$ 
lt       IN ;  $\text{IN} * \text{MUControl}$ 
mpy     MUControl
pac
add      ONE,8 ; Rounding
sach     INxMU,7
lacl    #14
samm    BRCR
lar      ar2,#Wdata32 ; 32 bit Coefficients of W
lar      ar3,#Dfx15 ; Filtered Reference
lar      ar4,#Wdata ; 16 bit Coefficients of W
lt       INxMU
mpy     *-,ar2
spm 3 ; Causes transfers from the product register
; to the ALU to be shifted to the right six
; places (divided per 64).
; Since the result of " $\text{MUControl} * \text{IN} * \text{Dfx}$ 
;  $(n)$ " is divided by 64, " $\text{IN} * \text{MUControl}$ " can
; take values 64 times higher. This allow
; non-zero results for IN values 64 times
; lower.

rptb    LOO
ADAPTC  lacc    *+,16 ; Load the acc with a 32 bit coefficient of W.
or      *-,ar3
mpys    *-,ar4
sach     *+,ar2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;vector of W.
sach      *+      ;Store a new W coefficient into the 32 bit
; vector of W.
LOOP      sacl     *+
lacc      *+,16
or        *-,ar4
spac
spm 0
sach      *+,ar2   ;Store the last new W coefficient into the 16
; bit vector of W.
sach      *+      ;Store the last new W coefficient into the 32
; bit vector of W.
sacl
B END_IN
***** End of Control phase *****
END_IN RETE
***** End of RINT routine *****
***** Other Interrupt routines *****
*****
COMM:     RETE
TRANSMIT: RETE
.end

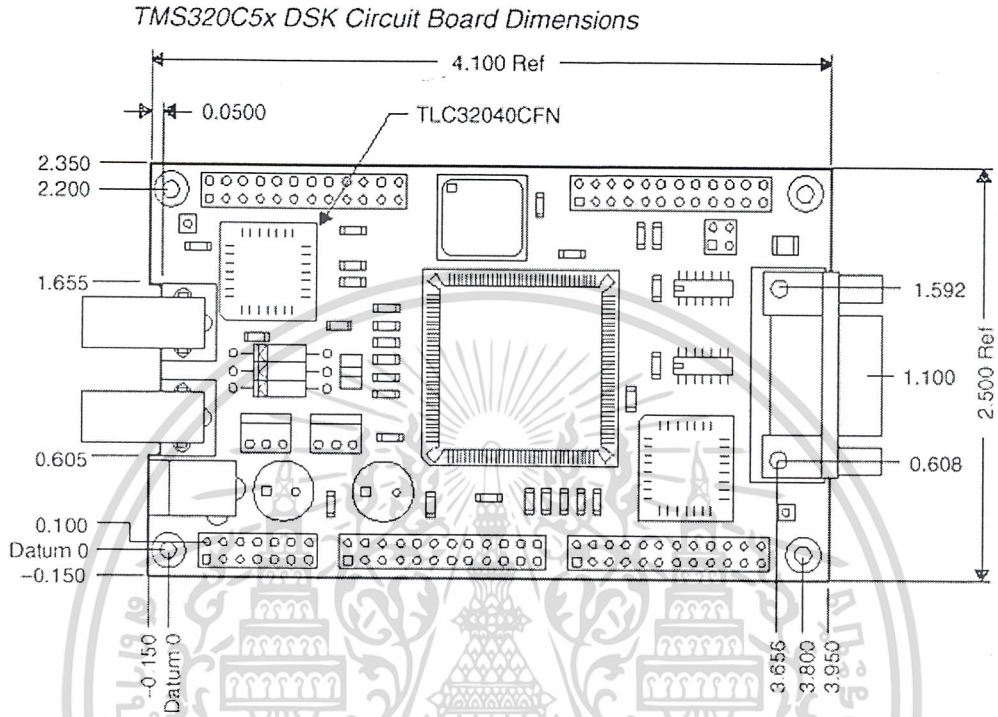
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

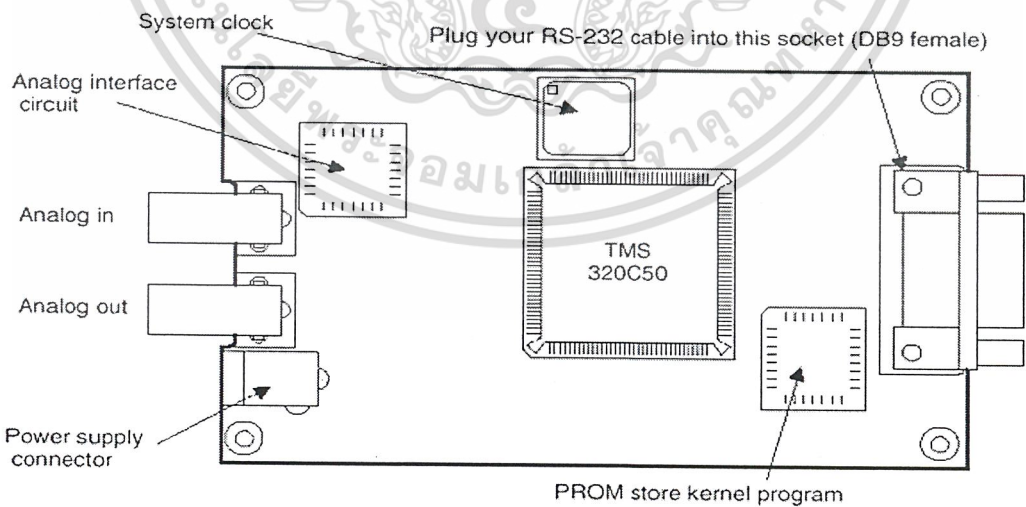


ภาคผนวก ค  
วงจรและแผ่นพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



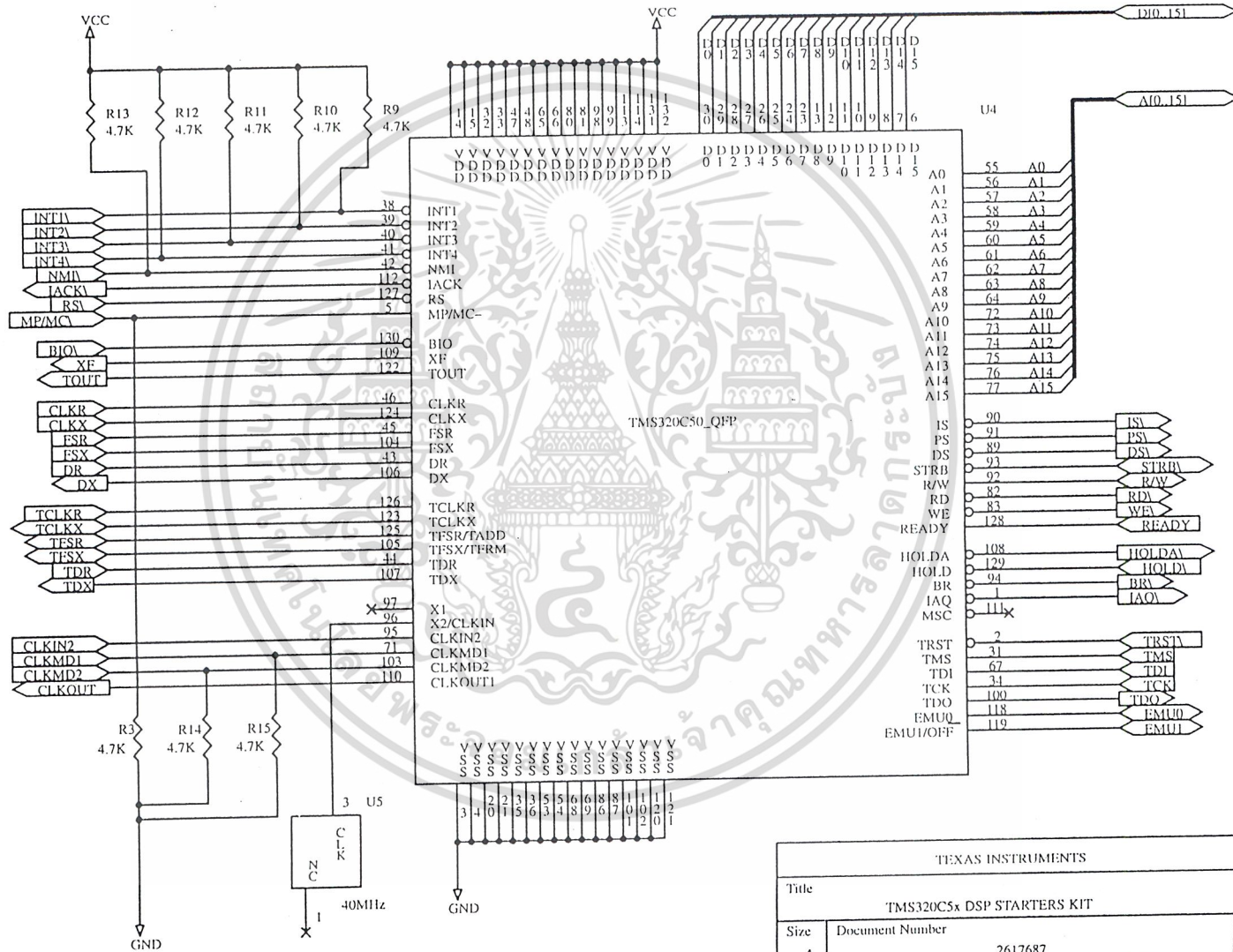
รูปที่ ค.1 การวางอุปกรณ์บนบอร์ด DSK1



For schematics and more detail on the DSK board, refer to Appendix A.

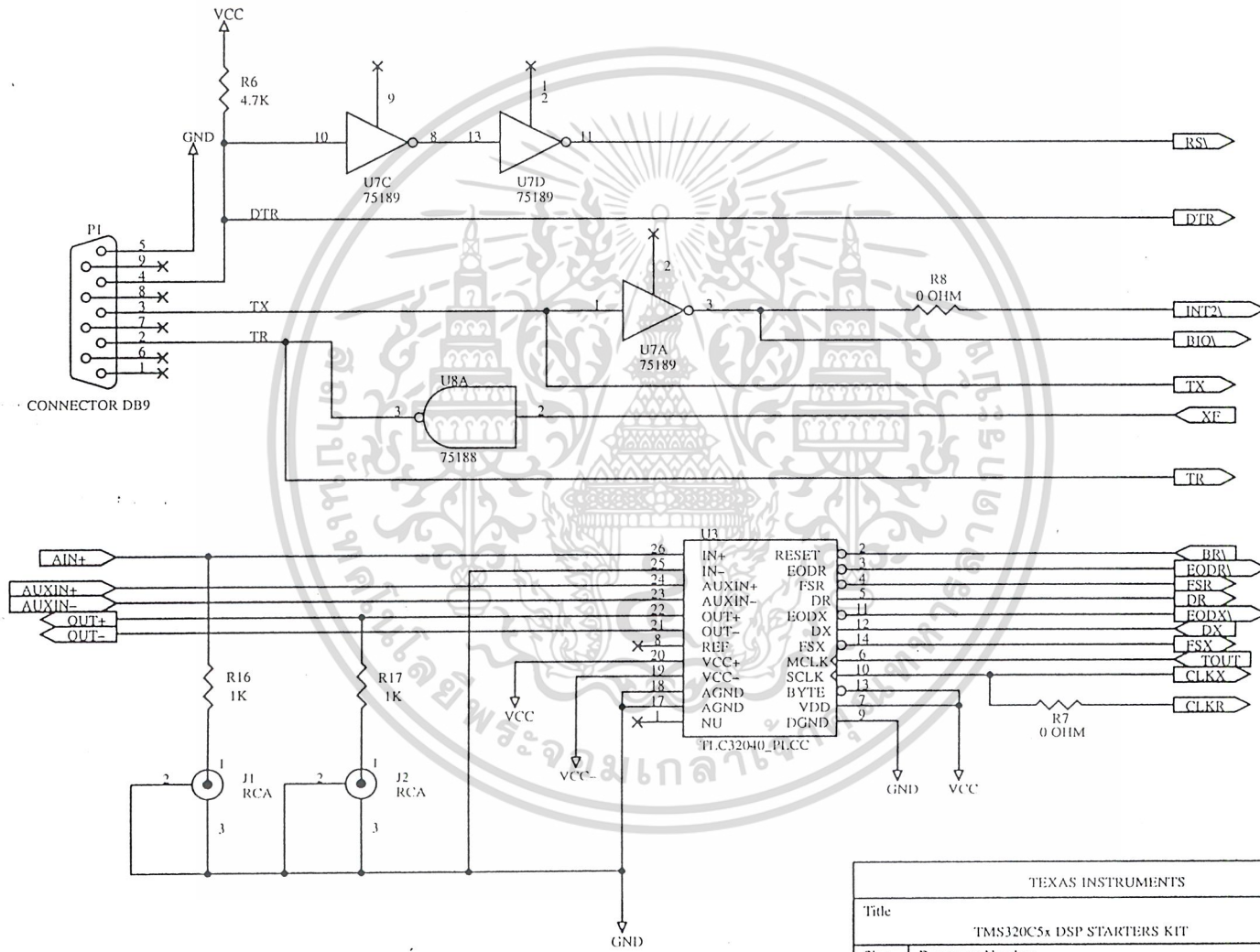
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก **รูปที่ ค.2 บอร์ด DSK 2** ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ๓.3 ๓๓๐๕ TMS320C50 DSK 1

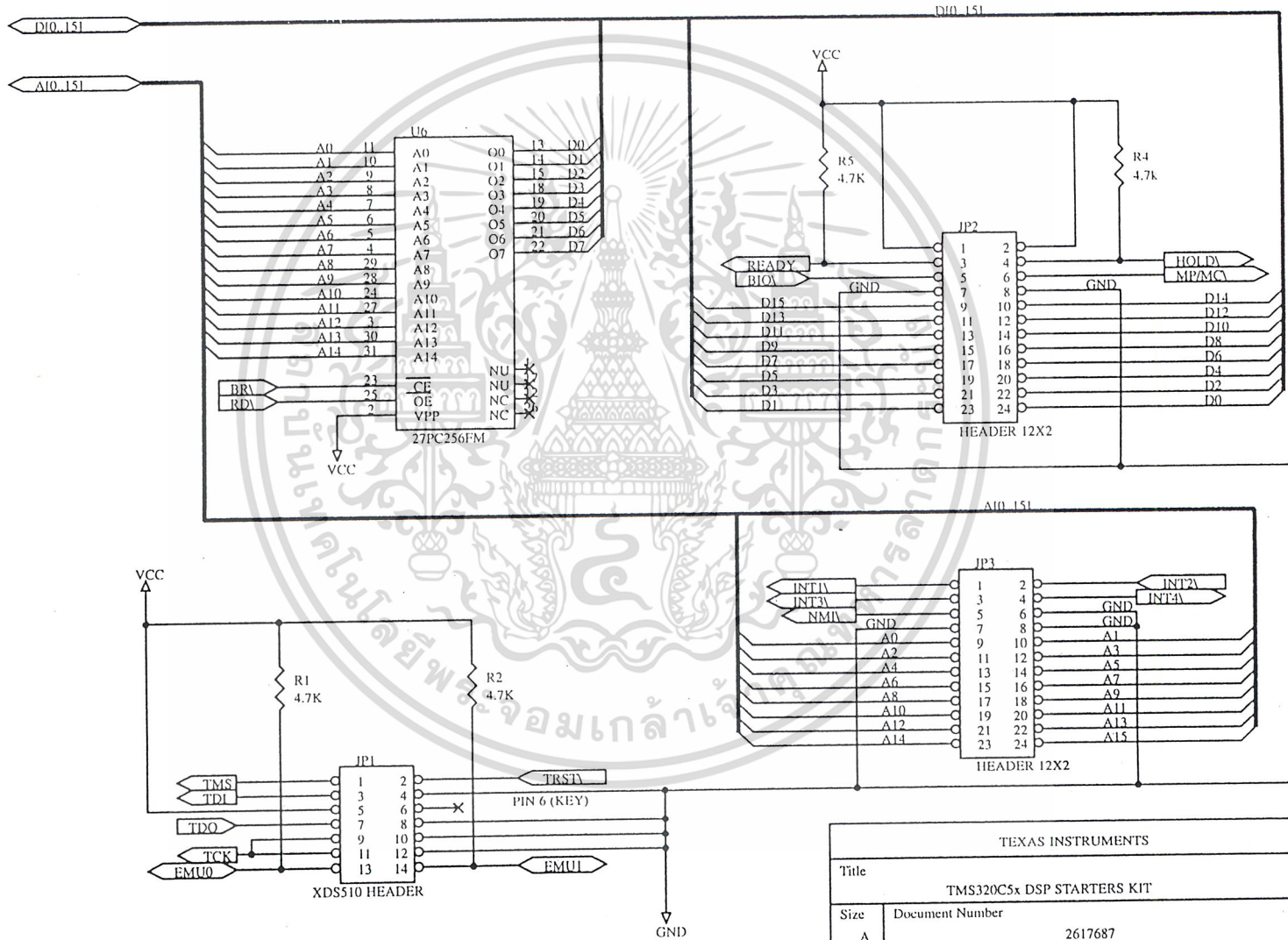


TEXAS INSTRUMENTS		
Title TMS320C5x DSP STARTERS KIT		
Size A	Document Number 2617687	REV *
Date: January 21, 1994	Sheet 2	of 5

3U11 0.4 3305TMS320C50 DSK2

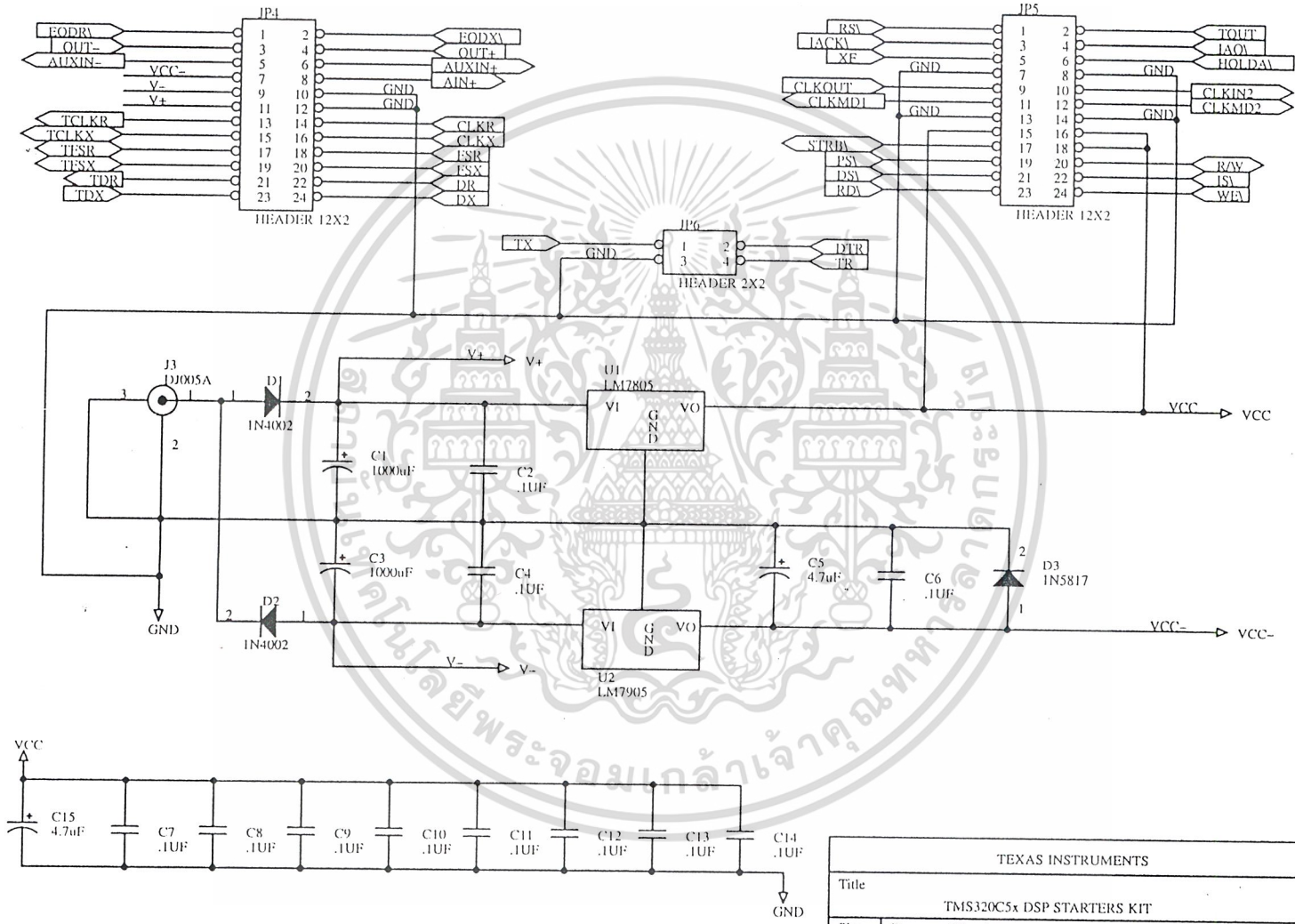


TEXAS INSTRUMENTS			
Title			
TMS320C5x DSP STARTERS KIT			
Size	Document Number		REV
A	2617687		A
Date:	January 17, 1994	Sheet	3 of 5

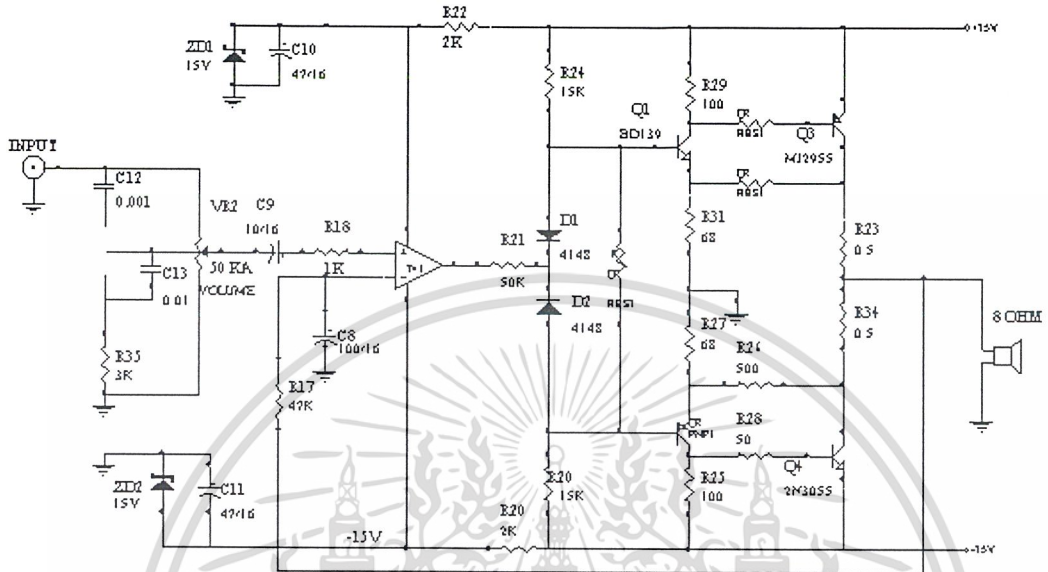


TEXAS INSTRUMENTS		
Title TMS320C5x DSP STARTERS KIT		
Size A	Document Number 2617687	REV •
Date: January 21, 1994	Sheet 4	of 5

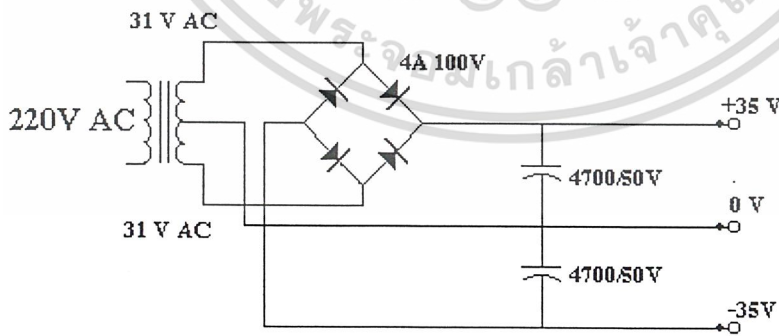
รูปที่ 6.6 จออร์ TMS320C50 DSK 4



TEXAS INSTRUMENTS		
Title TMS320C5x DSP STARTERS KIT		
Size A	Document Number 2617687	REV *
Date: January 21, 1994	Sheet 5	of 5

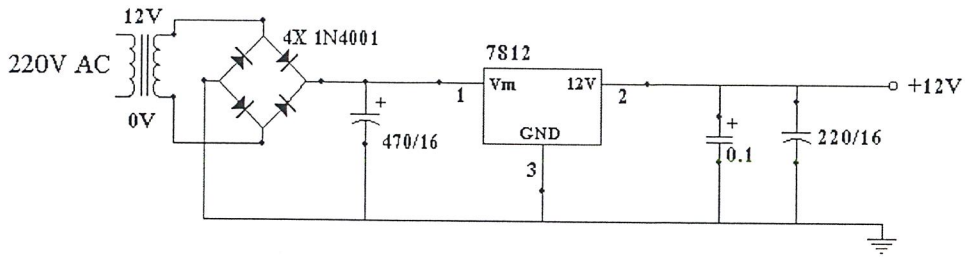


รูปที่ ค.7 วงจรเครื่องขยายเสียง



รูปที่ ค.8 วงจรจ่ายไฟสำหรับเครื่องขยายเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.9 วงจรจ่ายไฟสำหรับวงจร PRE MIC



รูปที่ ค.10 วงจรจ่ายไฟสำหรับบอร์ด DSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

Microprocessor Development System, TMS320C5x DSP Starter Kit User's Guide, Texas

Instrument: 1994

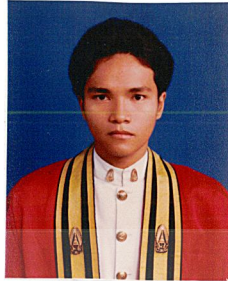
Digital Signal Processor Products, TMS320C5x User's Guide, Texas Instruments:1993

[HTTP://WWW.TI.COM](http://www.ti.com)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



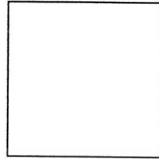
ชื่อผู้ทำปริญญาโท	นายจารึก ปลอดภัย
วันเดือนปีเกิด	3 พฤศจิกายน 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดปัตตานี
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดปัตตานี
ที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 6/1 หมู่ที่ 6 ตำบลท่าเรือ อำเภอโคกโพธิ์ จังหวัดปัตตานี 94120
โทรศัพท์	-

## ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดสุนทรวาริ
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนคณะราษฎรบำรุงยะลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคยะลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ สงขลา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ชีวิตคือธรรมชาติ
คติพจน์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปฏิญานินพนธ์	นายจุลพร บุญนาค
วันเดือนปีเกิด	3 กุมภาพันธ์ 2518
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลจังหวัดตาก
ภูมิลำเนาเดิม	กรุงเทพมหานครฯ
ที่อยู่ปัจจุบัน	23/1 ซอยลาดพร้าว 1 แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์	02-5131309 และ 038-810444

## ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียน โกวิทธารังค์เชียงใหม่
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียน โยชินบูรณะ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คตินพนธ์	จะปิดทองหลังองค์พระปฏิมา ไม่เสียคยาชิวถ้า สิ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



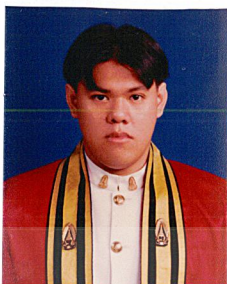
ชื่อผู้ทำปฏิญานិพนธ์ นายนพพล สาขาชาติ  
 วันเดือนปีเกิด 25 ตุลาคม 2518  
 สถานที่เกิด โรงพยาบาลจังหวัดระยอง  
 ภูมิลำเนาเดิม จังหวัดระยอง  
 ที่อยู่ปัจจุบัน เลขที่ 3/2 หมู่ที่ 4 ตำบลเชิงเนิน อำเภอเมือง  
 จังหวัดระยอง 21000  
 โทรศัพท์ 038-614291

## ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา โรงเรียนอนุบาลระยอง  
 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนระยองวิทยาคม  
 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.) วิทยาลัยเทคนิคระยอง  
 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) วิทยาลัยเทคนิคระยอง  
 ปริญญาตรี สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์  
 ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
 วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
 รัชดาภิเษก กรุงเทพมหานคร  
 คติพจน์ รักษาสิ่งแวดล้อม เพื่อโลกของเรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายบุญเลิศ พิพัฒน์ชลธิ
วันเดือนปีเกิด	4 ตุลาคม 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดสระบุรี
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดสระบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 156-8 ถนนเศรษฐสัมพันธ์ ตำบลหนองแค อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี
โทรศัพท์	036-371281

## ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนนาเรียงราษฎร์บำรุง
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนหนองแคธุรกิจพิทยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คดีพจน์	เวลาไม่หวนคืน จงทำในสิ่งที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้