

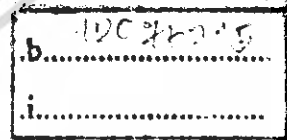
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดระดับความดังเสียง

SOUND LEVEL METER



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 95172  
วัน,เดือน,ปี..... 21 พ.ค. 2552



**ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**

**สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม**

**ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **SOUND LEVEL METER**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG**

**2007**

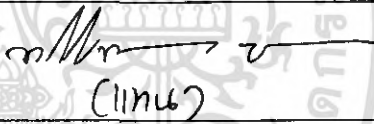
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**หัวข้อปริญญานิพนธ์** เครื่องวัดระดับความดังเสียง  
SOUND LEVEL METER

**นักศึกษาผู้จัดทำ** นายปริญญา วันดี **รหัสนักศึกษา** 47010436  
นายอมรเทพ ชัญญุกิจ **รหัสนักศึกษา** 47010944  
นายเอกวิทย์ คำภูแสน **รหัสนักศึกษา** 47011014

**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
**สาขาวิชา** วิศวกรรมการวัดคุม  
**ปีการศึกษา** 2550

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.วิศรุต ศรีรัตนะ	 (11ทนง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>หัวข้อปริยญาณิพนธ์</b>	เครื่องวัดระดับความดังเสียง		
	SOUND LEVEL METER		
<b>นักศึกษาผู้จัดทำ</b>	นายปริญญา	วันดี	<b>รหัสนักศึกษา</b> 47010436
	นายอมรเทพ	ธัญญกิจ	<b>รหัสนักศึกษา</b> 47010944
	นายเอกวิทย์	คำภูแสน	<b>รหัสนักศึกษา</b> 47011014
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	รศ.วิศรุต	ศรีรัตน์นะ	
<b>ปีการศึกษา</b>	2550		

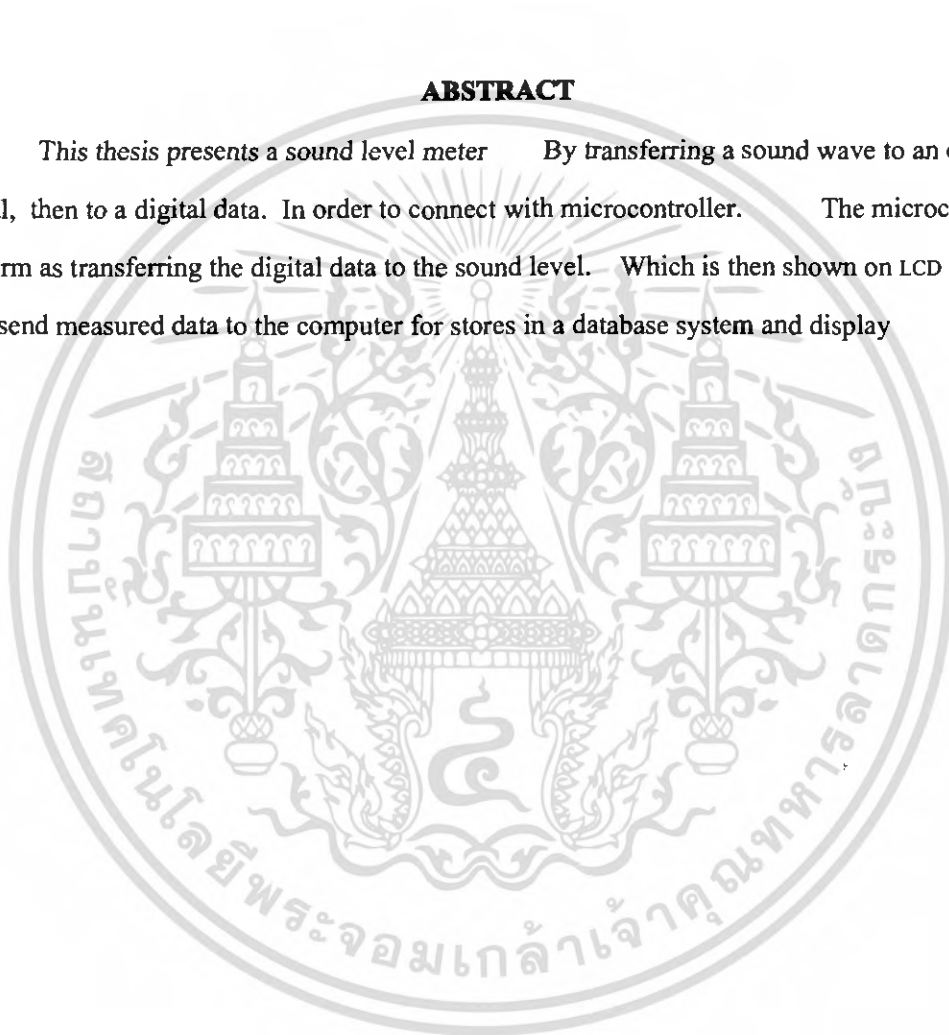
### บทคัดย่อ

ปริยญาณิพนธ์นี้นำเสนอเครื่องวัดระดับความดังเสียง โดยการเปลี่ยนคลื่นเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลเพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่แปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นระดับความดังเสียง จากนั้นจะแสดงผลผ่านทางจอ LCD และส่งข้อมูลของระดับความดังเสียงที่วัดได้ไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อบันทึกในระบบฐานข้อมูล และแสดงผล

<b>Thesis Title</b>	Sound level meter	
<b>Authors</b>	Mr. Parinya	Wandee
	Mr. Amornthep	Thunyakit
	Mr. Ekkawit	Kumpusan
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Witsarut	Sriratana
<b>Year</b>	2007	

### ABSTRACT

This thesis presents a sound level meter By transferring a sound wave to an electrical signal, then to a digital data. In order to connect with microcontroller. The microcontroller perform as transferring the digital data to the sound level. Which is then shown on LCD monitor. And send measured data to the computer for stores in a database system and display



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับคำแนะนำในการทำปริญญานิพนธ์  
จากรศ.วิศรุต ศรีรัตนะ ซึ่งช่วยเป็นธุระในการจัดหาอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำ  
ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังช่วยแนะนำวิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและ  
ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	IX
สารบัญภาพ .....	X
<b>บทที่ 1 บทนำ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท .....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท .....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา .....	1
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี .....</b>	<b>2</b>
2.1 ธรรมชาติของเสียง .....	2
2.1.1 ความหมายของเสียง .....	2
2.2 องค์ประกอบของคลื่นเสียง .....	2
2.2.1 ความถี่ .....	2
2.2.2 อัมพลิจูด .....	2
2.2.3 เฟส .....	2
2.3 การวัดความแรงของเสียง .....	2
2.3.1 ความดันและระดับความดันเสียง .....	3
2.3.2 ความเข้มเสียง .....	3
2.3.3 สื่อและความเร็วเสียง .....	3
2.3.4 มาตรฐานเดซิเบล .....	3
2.4 มาตรฐานอ้างอิงกับการวัดเสียง .....	4
2.4.1 dBSPL .....	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 dBIL .....	4
2.4.3 dB(A) .....	4
2.4.4 dBSL .....	4
2.4.5 dBHL .....	4
2.5 ประเภทของเสียง .....	4
2.5.1 เสียงบริสุทธิ์ .....	4
2.5.2 เสียงผสม .....	4
2.5.3 เสียงรบกวน .....	4
2.5.3.1 Continuous noise .....	5
2.5.3.2 Transient noise .....	5
2.6 หลักการและเครื่องมือวัดระดับเสียง .....	5
2.6.1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดระดับเสียง .....	5
2.6.1.1 ไมโครโฟน .....	5
2.6.1.2 เวทติ้ง เนทเวอร์ค .....	5
2.6.1.3 ภาชนะขยายสัญญาณเสียง .....	6
2.6.1.4 แอคแทนนูเอเตอร์ .....	6
2.6.1.5 หน้าปัดอ่านค่า .....	6
2.7 หลักการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียง .....	7
2.8 การวัดระดับเสียง .....	7
2.8.1 เครื่องมือวัดระดับเสียง .....	7
2.8.2 การจำแนกความถี่ด้วยการถ่วงน้ำหนักความถี่ หรือระดับเสียงเวกซ์ .....	8
2.9 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องวัดเสียง .....	9
2.10 ไมโครโฟน .....	10
2.10.1 ประเภทของไมโครโฟน .....	10
2.10.1.1 ไดนามิกไมโครโฟน .....	10
2.10.1.2 คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน .....	11
2.10.1.3 อีเลคเตรคคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน .....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2. 10.1.4 รีบบอนไมโครโฟน .....	12
2. 10.1.5 คาร์บอนไมโครโฟน .....	12
2. 10.1.6 ไฟโซอิเล็กทริกไมโครโฟน .....	13
2.11 อิมพีแดนซ์ .....	14
2.11.1 อิมพีแดนซ์สูง .....	14
2.11.2 อิมพีแดนซ์ต่ำ .....	14
2.12 ผลการตอบสนองความถี่ของเสียง .....	14
2.13 ความไวของไมโครโฟน .....	15
2.14 ชนิดของไมโครโฟนแบ่งตามรูปแบบการรับเสียง .....	16
2.14.1 ออมนิไดเรกชันนอล .....	16
2.14.2 คาร์ดิอย .....	16
2.14.3 ซูเปอร์คาร์ดิอย .....	17
2.14.4 ไฮเปอร์คาร์ดิอย .....	17
2.14.5 ไบไดเรกชันนอล หรือ ฟิกเกอร์เฮด .....	18
2.15 พรอกซิมิตี้ เอฟเฟ็ค .....	18
2.16 ทรานเซียน เรสปอนด์ .....	19
2.17 เกณฑ์กำหนดของระดับเสียงที่เป็นอันตราย .....	21
2.18 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 .....	21
2.18.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 .....	21
2.18.2 คุณสมบัติทั่วไปของ P89V51RD2 .....	22
2.18.3 การเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ .....	24
2.19 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม .....	25
2.19.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส .....	25
2.19.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส .....	26
2.19.3 การเชื่อมต่อไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อรับส่งข้อมูลอนุกรม .....	28
2.19.4 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232 .....	29
2.19.5 สัญญาที่ใช้ทั้งหมดใน RS-232-C .....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.19.6 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ .....	31
2.19.7 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51 .....	33
2.19.7.1 รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรม .....	34
2.19.7.2 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม .....	34
2.19.8 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51 .....	35
2.19.8.1 การใช้งานพอร์ตสื่อสารอนุกรมแบบ Single Processor .....	35
2.19.8.2 อัตราบอดของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51 .....	36
2.20 การส่งข้อมูลแบบขนาน .....	38
2.21 คอนเน็กเตอร์แบบ 9 พิน และแบบ 25 พิน .....	39
<b>บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง .....</b>	<b>41</b>
3.1 ขั้นตอนการออกแบบ .....	41
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ .....	42
3.2.1 ไมโครโฟน .....	42
3.2.2 วงจรจักระดับแรงดันของสัญญาณ .....	42
3.2.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล .....	43
3.2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	45
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง .....</b>	<b>47</b>
4.1 การทดลองหาผลตอบสนองทางความถี่ของไมโครโฟน .....	47
4.2 การทดลองในส่วนของวงจรจักระดับแรงดันของสัญญาณ .....	48
4.3 การทดลองการสื่อสารผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232 .....	49
4.4 การสอบเทียบสัญญาณเอาต์พุตและวงจรมีเตอร์วัดระดับเสียง .....	50
4.5 การทดลองและบันทึกข้อมูลการวัดระดับเสียง .....	52
4.6 การพิสูจน์ผลการทดลองด้วยการคำนวณทางทฤษฎี .....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 5</b> สรุปผลการวิจัย .....	65
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	65
<b>บรรณานุกรม</b> .....	66
<b>ภาคผนวก</b> .....	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ระดับการจำแนกน้ำหนักเสียง .....	9
2.2 เสียงในระดับต่างๆ ที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์ .....	21
2.3 การจัดขาสัญญาณของพอร์ตอนุกรมในแบบต่างๆและหน้าที่การทำงาน .....	32
2.4 แสดง SMO,SM1 บิตเลือกโหมดการทำงาน .....	36
2.5 การเลือกอัตราบอดของวงจรพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	37
2.5 รายละเอียดขาต่างๆ ของคอนเน็กเตอร์ DB-9 .....	39
2.6 รายละเอียดขาต่างๆ ของคอนเน็กเตอร์ DB-25 .....	40
3.1 การปรับตั้งค่า Bit ของไอซี MCP3202 .....	43
4.1 ตารางแสดงผลการทดลองในส่วนของวงจรจัดระดับเงื่อนไขของสัญญาณ .....	48
4.2 ผลการสอบเทียบสัญญาณเอาต์พุตและวงจรขยายสัญญาณกับมิเตอร์วัดระดับเสียง .....	51
4.3 ผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.2 เมตร .....	54
4.4 ผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.4 เมตร .....	55
4.5 ผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.6 เมตร .....	56
4.6 ผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.8 เมตร .....	57
4.7 ผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 1.0 เมตร .....	58
4.8 การคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่เปลี่ยนแปลงกับความเข้มของเสียง .....	60
4.9 ตารางแสดงค่า error ระหว่างระดับความดังเสียงที่คำนวณ และค่าระดับความดังเสียงที่อ่านได้จากอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ จากผลการทดลองที่ระยะ 0.2 เมตร .....	61
4.10 ตารางแสดงค่า error ระหว่างระดับความดังเสียงที่คำนวณ และค่าระดับความดังเสียงที่อ่านได้จากอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ จากผลการทดลองที่ระยะ 0.4 เมตร .....	62
4.11 ตารางแสดงค่า error ระหว่างระดับความดังเสียงที่คำนวณ และค่าระดับความดังเสียงที่อ่านได้จากอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ จากผลการทดลองที่ระยะ 0.6 เมตร .....	63
4.12 ตารางแสดงค่า error ระหว่างระดับความดังเสียงที่คำนวณ และค่าระดับความดังเสียงที่อ่านได้จากอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ จากผลการทดลองที่ระยะ 0.8 เมตร .....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กราฟแสดงช่วงการจำแนกความถี่ด้วยการถ่วง แบบ A , B , C และ D .....	8
2.2 ไดนามิกไมโครโฟน .....	10
2.3 คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน .....	11
2.4 ริปบอนไมโครโฟน .....	12
2.5 คาร์บอนไมโครโฟน .....	12
2.6 ไฟโซ อีเลคทริกไมโครโฟน .....	13
2.7 ออมนิไดเรกชันนอล .....	16
2.8 คาร์ดิอย .....	17
2.9 ซูเปอร์คาร์ดิอย .....	17
2.10 ไฮเปอร์คาร์ดิอย .....	18
2.11 ไบไดเรกชันนอล หรือ ฟิกเกอร์เฮด .....	18
2.12 พรอกซิมิตี้ เอฟเฟ็ค .....	19
2.13 ทรานเซียนเรสปอนด์ของไดนามิกไมโครโฟนเทียบกับคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน .....	20
2.14 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2 .....	23
2.15 การจัดขาของ MAX232 .....	25
2.16 แผนผังการทำงานของเวลาการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส .....	26
2.17 ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส .....	26
2.18 รูปแบบของข้อมูลอะซิงโครนัส .....	27
2.19 รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลอนุกรม SCON .....	28
2.20 คอนเน็กเตอร์อนุกรม .....	32
2.21 แสดงรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานในแต่ละบิตของพอร์ตอนุกรม .....	34
2.21 การส่งข้อมูลแบบขนานครั้งละ 8 บิต .....	38
2.22 แสดงคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 และ แบบ DB-25 .....	39
3.1 บล็อกไดอะแกรมโดยรวมของวงจร .....	41
3.2 วงจรขยายสัญญาณ .....	42
3.3 ไอซี MCP3202 .....	43
3.4 รูปแบบของการติดต่อสื่อสารด้วย MCP3202 .....	44
3.5 วงจรโดยรวม .....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ ( ต่อ )

ภาพที่	หน้า
3.6 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	46
3.7 ชิ้นงานของโครงการ .....	46
4.1 กราฟแสดงผลการตอบสนองทางความถี่ของไมโครโฟน .....	47
4.2 ภาพแสดงผลการทดลองของโปรแกรม Hyperterminal .....	49
4.3 การสอบเทียบสัญญาณเอาต์พุตและวงจรมอนิเตอร์วัดระดับเสียง .....	51
4.4 ภาพแสดงภายในกล่องที่ใช้ในการสอบเทียบ .....	52
4.5 กราฟแสดงผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.2 เมตร .....	54
4.6 กราฟแสดงผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.4 เมตร .....	55
4.7 กราฟแสดงผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.6 เมตร .....	56
4.8 กราฟแสดงผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.8 เมตร .....	57
4.9 กราฟแสดงผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 1.0 เมตร .....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญญานิพนธ์

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์แทบทุกคนจะมีความเกี่ยวข้องกับเสียงอยู่เกือบตลอดเวลา โดยมีทั้งเสียงที่ไม่ก่อให้เกิดการรบกวนและเสียงที่รบกวน ปัจจุบันปัญหาผลกระทบของเสียงมีผลกระทบต่อมนุษย์อย่างมากทั้งทางด้านอารมณ์ สุขภาพและประสิทธิภาพของการทำงาน ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดระดับของเสียงที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ไว้หลายระดับ โดยขึ้นอยู่กับระดับความดังของเสียง และระยะเวลาในการที่รับฟังที่จะทำให้เกิดอันตรายได้ จึงต้องมีการวัดระดับความดังของเสียงเพื่อการป้องกันและหลีกเลี่ยงอันตรายจากการรับฟังเสียงที่ดังเกินมาตรฐาน

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปัญญานิพนธ์

ปัญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาและออกแบบเครื่องวัดความดังเสียง โดยแสดงผลผ่านทางจอ LCD และสามารถส่งข้อมูลไปเก็บยังคอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

### 1.3 ขอบเขตของปัญญานิพนธ์

ปัญญานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงการศึกษาและออกแบบระบบวัดระดับเสียง โดยอาศัยหลักการของวงจรขยายสัญญาณ วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงค่าระดับความดังเสียงผ่าน LCD และส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์

### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

เริ่มจากการศึกษาและทดลองหาการตอบสนองทางความถี่ของไมโครโฟน ออกแบบและสร้างวงจรแปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ทำการสอบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากับเครื่องวัดระดับเสียง และใช้โปรแกรมภาษาซีเพื่อออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 ธรรมชาติของเสียง

##### 2.1.1 ความหมายของเสียง

เสียง คือ พลังงานที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของโมเลกุลของตัวกลางที่เสียงเคลื่อนที่ผ่าน (ตัวกลางนี้อาจเป็นอากาศ ของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ได้) เป็นเหตุให้เกิดการอัดและขยายตัวของอากาศสลับกันไป ซึ่งมีผลทำให้ระดับของความดันบรรยากาศเปลี่ยนแปลงสูงต่ำสลับกันเป็นคลื่น เช่นเดียวกับการอัดขยายของอากาศ คลื่นที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า คลื่นเสียง เสียงที่มนุษย์ได้ยินนั้นเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของความดันอากาศจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ มาเป็นคลื่นในอากาศมากระทบหู ระบบประสาทหูและสมอง มนุษย์สามารถรับฟังคลื่นเสียงที่มีความถี่ตั้งแต่ 20-20,000 รอบ/วินาที ช่วงความถี่ของคลื่นเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินนี้ เรียกว่า “คลื่นออกซิเบิล” (Audible Waves) คลื่นความถี่ที่ต่ำกว่า Audible Waves เรียกว่า Infrasonic Waves และคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า Audible Waves เรียกว่า Ultra sonic Waves

#### 2.2 องค์ประกอบของคลื่นเสียง

คลื่นเสียงประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 อย่าง

2.2.1 ความถี่ (Frequency) คือ อัตราการเคลื่อนไหวนៃของคลื่นที่นับรอบ/วินาที หรือมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz) นิยมใช้ตัวย่อ Hz

2.2.2 อัมพลิจูด (Amplitude) คือ ปริมาณความแรงของคลื่นที่อัดอากาศจากจุดศูนย์กลางการสั่นของวัตถุต่อเนื่องกันไป มีหน่วยเป็น Pascal นิยมใช้ตัวย่อ Pa

2.2.3 เฟส (Phase) คือ ส่วนของคลื่นในพิคคของเวลาต่างๆ สำหรับคลื่นเสียงของคลื่นครบรอบ คือ 360 องศา

#### 2.3 การวัดความแรงของเสียง

ปริมาณที่ใช้แสดงความแรงของคลื่นเสียงในอากาศ คือ อัมพลิจูด ซึ่งสามารถวัดได้ดังนี้

**2.3.1 ความดันและระดับความดันเสียง (Sound Pressure and Pressure Level)** คือ ค่าความดันของคลื่นเสียงที่เปลี่ยนไปจากความดันบรรยากาศปกติ หน่วยที่ใช้คือ นิวตัน/ตารางเมตร ( $N/m^2$ ) หรือ Pascal (Pa) ความดันเสียงต่ำสุดที่หูคนหนุ่มสาวปกติได้ยินที่ความถี่ 1,000 เฮิรตซ์ คือ  $2 \times 10^{-5} N/m^2$  ค่าความดันอ้างอิงในการตรวจวัดระดับความดันเสียงซึ่งมีหน่วยในการวัดเสียงเป็นเดซิเบล ความดันเสียง  $2 \times 10^{-5} N/m^2 = 0$  เดซิเบล

**2.3.2 ความเข้มเสียง (Sound Intensity)** คือ พลังงานเสียงเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่ผ่านพื้นที่หนึ่งหน่วยตามทิศทางการกระจายตัวของเสียงมีหน่วยเป็น วัตต์/ตารางเมตร ( $W/m^2$ ) ระดับความเข้มของเสียง (Sound Intensity Level) ซึ่งเป็นค่าความเข้มของเสียงที่วัดได้เปรียบเทียบกับความเข้มของเสียงอ้างอิง ซึ่งมีค่า  $10^{-12} W/m^2$  ซึ่งมีความเข้มเสียงต่ำสุดที่หูคนหนุ่มสาวสามารถได้ยิน เมื่อต้องการวัดความเข้มของเสียงในรูประดับความเข้มของเสียงมีหน่วยเป็นเดซิเบล ใช้ระดับความเข้มอ้างอิง จะได้ว่าความเข้มเสียง  $10^{-12} W/m^2 =$  ระดับความเข้มของเสียง 0 เดซิเบล

**2.3.3 สื่อและความเร็วเสียง (The Medium and The Speed of Sound)** โดยทั่วไปเสียงทุกความถี่จะเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วที่เท่ากันเสมอ ในสื่อชนิดหนึ่ง ๆ ความเร็วของเสียงจะแปรตามความอัด (Compressibility) ความหนาแน่นของสื่อจะมีค่าคงที่ในอุณหภูมิที่กำหนดให้

**2.3.4 มาตราเดซิเบล (Decibel, dB)** เป็นหน่วยของระดับความดันและระดับความเข้มเสียง ซึ่งถูกคิดค้นมาเพื่อความสะดวกในการวัดความดันและความเข้มของเสียง เนื่องจากการตอบสนองของหูต่อความดันเสียงมีลักษณะเป็นลอการิทึม ทำให้ได้สูตรในการคำนวณระดับความดันและระดับความเข้มของเสียง ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ระดับความดัน (เดซิเบล)} &= \log (P/P_{rf})^2 \\ \text{เมื่อ } P &= \text{ความดันของเสียง (N/m}^2\text{)} \\ P_{rf} &= \text{ความดันเสียงอ้างอิง (2 x 10}^{-5}\text{ N/m}^2\text{)} \\ \text{ระดับความเข้ม (เดซิเบล)} &= 10 \log (I/I_{rf}) \\ \text{เมื่อ } I &= \text{ความเข้มของเสียง (W/M}^2\text{)} \\ I_{rf} &= \text{ความเข้มเสียงอ้างอิง (10}^{12}\text{ W/ m}^2\text{)} \end{aligned}$$

## 2.4 มาตรฐานอ้างอิงกับการวัดเสียง

**2.4.1 dB SPL** หมายถึง ระดับของความดันเสียง ที่เปรียบเทียบกับความดันเสียงอ้างอิง ที่  $0.00002 \text{ Pa}$  หรือ  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$

**2.4.2 dB IL** หมายถึง ระดับของความเข้มเสียง ที่เปรียบเทียบกับความเข้มเสียงอ้างอิง ที่  $10^{-12} \text{ W/m}^2$

**2.4.3 dB (A)** หมายถึง ระดับความดันของเสียงที่เป็นอัตราส่วนเปรียบเทียบกับ ค่าของความดันทุกความถี่ที่วัดได้จากมาตรวัดเสียง (Sound Level Meter) ซึ่งใช้วงจรถ่วงน้ำหนักแบบ A (A-Weighting Network) ประกอบเข้าในเครื่อง วงจรนี้สามารถตอบสนองและชดเชยความถี่ต่ำและความถี่สูงได้ดีเป็นพิเศษ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้วัดระดับเสียงรบกวนและงานวิจัยด้านมลพิษของเสียง (Noise Pollution) เนื่องจากมีลักษณะการตอบสนองต่อเสียงใกล้เคียงกับหูมนุษย์มากที่สุด

**2.4.4 dB SL** หมายถึง ระดับความดันเสียงที่เปรียบเทียบกับความดันเฉพาะความถี่ของเครื่องตรวจการได้ยิน (Audio Meter) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของขีดเริ่มการได้ยินของผู้รับฟังนั้น

**2.4.5 dB HL** หมายถึง ระดับความดันเสียงที่เปรียบเทียบกับความดันเฉพาะความถี่ของเครื่องตรวจการได้ยิน (Audio Meter) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของขีดเริ่มการได้ยินของคนปกติ (Absolute-Threshold) ที่ความถี่ต่าง ๆ

## 2.5 ประเภทของเสียง

แบ่งได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

**2.5.1 เสียงบริสุทธิ์ (Pure Tone)** คือ เสียงที่มีความถี่คงที่เพียงความถี่เดียว เช่น เสียงจากส้อมเสียง เป็นต้น

**2.5.2 เสียงผสม (Complex Tone)** คือ กลุ่มเสียงที่เกิดจากเสียงบริสุทธิ์หลาย ๆ ความถี่รวมกัน เช่น เสียงคนตรี เสียงพูด เสียงร้องเพลง เป็นต้น

**2.5.3 เสียงรบกวน (Noise)** คือ เสียงที่ไม่พึงประสงค์ของผู้ฟัง อาจเป็นเสียงบริสุทธิ์หรือเสียงผสม เช่น เสียงเครื่องจักร เสียงจากการจราจร เป็นต้น เสียงรบกวนเหล่านี้ หากรับฟังติดต่อกันนาน ๆ ทำให้ประสาทหูเสื่อมได้ เสียงรบกวนสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.3.1 Continuous Noise** คือ เสียงที่มีความดังคิดต่อกันไป และอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงความดังบ้าง เช่น

- **Steady – State Noise** เป็นเสียงที่มีความดังสม่ำเสมอคงที่ เช่น เสียงของเครื่องปรับอากาศ เสียงเครื่องจักร เครื่องทอผ้า เป็นต้น

- **Fluctuating Noise** เป็นเสียงที่มีการเปลี่ยนแปลงสูง ๆ ต่ำ ๆ อยู่ในระดับคงที่ เช่น เสียงไซเรน เสียงเลื่อยไฟฟ้า เป็นต้น

- **Intermittent Noise** เป็นเสียงที่ดังเป็นระยะไม่ต่อเนื่อง เช่น เสียงจากการจราจร เสียงจากเครื่องบินที่บินผ่าน เป็นต้น

**2.5.3.2 Transient Noise** คือ เสียงที่ขาดเป็นช่วง หรือเสียงกระแทก ได้แก่

- **Impulse noise** เป็นเสียงที่เกิดในที่ที่ไม่มีเสียงสะท้อน เช่น เสียงยิงปืนในที่โล่ง

- **Impact noise** เป็นเสียงที่เกิดในที่ที่มีเสียงสะท้อน เช่น เสียงโลหะกระแทกกัน เสียงยิงปืนในห้อง เป็นต้น

## 2.6 หลักการและเครื่องมือวัดระดับเสียง (Sound Level Meter)

การวัดระดับเสียงโดยใช้เครื่องมือวัดระดับเสียง (Sound Level Meter) มีส่วนประกอบชนิดของเครื่องวัดระดับเสียงและหลักการทำงานของเครื่องมือดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.6.1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดระดับเสียง

จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วนดังนี้ คือ

**2.6.1.1 ไมโครโฟน (Omnidirectional Microphone)** เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตอบสนองต่อความดันเสียง และสร้างสัญญาณไฟฟ้า

**2.6.1.2 เวกติง เนทเวอร์ค (Weighting Network)** เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการตอบสนองของเครื่องวัดระดับเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ Weighting Network ที่ใช้ในปัจจุบันมี 4 ชนิด คือ A B C และ D โดย Weighting Network A เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้มากที่สุด ในการประเมินอันตรายจากเสียง เนื่องจากสามารถตอบสนองต่อความถี่ที่ความถี่ต่าง ๆ ได้ใกล้เคียงกับหูของมนุษย์มากที่สุด ส่วน Weighting Network B และ C ใช้ในการตรวจวัดเสียงจากเครื่องจักรโดยละเอียด สำหรับ Weighting Network D ใช้วัดเสียงที่มีความถี่สูงมากและรบกวนความรู้สึกอย่างยิ่ง เช่น เสียงเครื่องบินไอพ่น นอกจากนี้ยังมี Linear Weighting (หรือ Unweight) เป็นการวัดการตอบสนองแบบเสมอกันตั้งแต่ความถี่ที่ 20 Hz -16 KHz ซึ่งนิยมใช้กับอุปกรณ์วัดความถี่ (Octave Band Filter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.6.1.3 ภาคขยายสัญญาณเสียง (Amplifier)** เครื่องวัดระดับเสียงจะต้องมีส่วนภาคขยายสัญญาณเสียงที่มีความสามารถขยายสัญญาณที่ความถี่ระหว่าง 20 -20,000 Hz เนื่องจากช่วงความถี่ที่ต้องการวิเคราะห์ อยู่ในช่วง 50 - 6,000 Hz นอกจากนี้จะต้องมีเสียงรบกวนที่เกิดจากตัวขยายสัญญาณของที่เรียกว่า Electronic Noise ต่ำ

**2.6.1.4 แอตเทนนูเอเตอร์ (Attenuator)** ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องวัดเสียงที่มีระดับความดังแตกต่างกันมาก สัญญาณที่แตกต่างกันนี้จะถูกทำให้มีขนาดที่เล็กลง โดยการใช้แอตเทนนูเอเตอร์ เพื่อให้เข็มบนหน้าปัดอ่านค่ายังคงเบนไป-มา ในช่วงของสเกลได้โดยไม่ตกสเกล

**2.6.1.5 หน้าปัดอ่านค่า (Meter)** ทำหน้าที่อ่านค่าความดังเสียงที่วัดได้ ในปัจจุบันเครื่องวัดระดับเสียงได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถใช้งานได้สะดวกรวดเร็ว โดยมี Time Weighting เพื่อเลือกการตอบสนองของเครื่องวัดเสียง ตามลักษณะของเสียงที่เกิดขึ้นในฟังก์ชันของเวลา แบ่งออกเป็น

- **Slow (s)** ใช้วัดเสียงต่อเนื่องที่คงสม่ำเสมอ (Steady - State Noise) ลักษณะความเข้มของเสียงค่อนข้างคงที่ มีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5 เดซิเบลใน 1 วินาที โดยที่เครื่องจะตอบสนองและอ่านค่าทุก ๆ 1 วินาที (1,000 millisecond , Average Integration time = 1 วินาที)

- **Fast (f)** ใช้วัดเสียงเปลี่ยนแปลงรวดเร็วไม่สม่ำเสมอ (Fluctuating Noise) โดยที่เครื่องจะตอบสนองอย่างรวดเร็วและอ่านค่าทุก ๆ 1/8 วินาที (125 millisecond)

- **Impulse (I)** ใช้วัดเสียงกระแทก โดยที่เครื่องนั้นจะตอบสนองและอ่านค่าทุก ๆ 1/30 วินาที (35 millisecond)

- **Peak Sound Pressure Level (P)** ใช้วัดเสียงสูงสุดของเสียงกระแทก โดยค่า Peak เป็นค่าสูงสุดจริงของความดันเสียงในช่วงเวลาการตรวจวัด ซึ่งไม่ใช่ Weighting Network (ต้องเลือก Linear)

- **Lmax (Maximum)** เป็นค่าความดันของเสียง (Sound Pressure Level) แบบ Root Mean Square ที่สูงที่สุดภายในช่วงระยะเวลาที่ตรวจวัด (โดยเลือก Time Weight เป็น Slow, Fast หรือ Impulse)

- **Lmin (Minimum)** เป็นค่าความดันของเสียง (Sound Pressure Level) แบบ root mean square ที่ต่ำสุดภายในช่วงระยะเวลาที่ตรวจวัด (โดยเลือก Time Weight เป็น Slow, Fast หรือ Impulse)

## 2.7 หลักการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียง

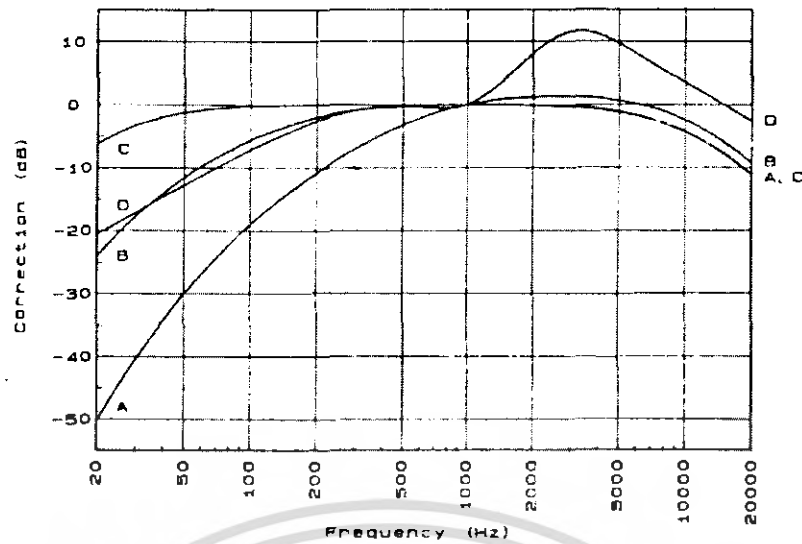
หลักการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียง เริ่มต้นโดยเมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนมากระทบกับแผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm) ของไมโครโฟน จะทำให้เกิดการสั่นของแผ่นไดอะแฟรมตามความดันที่มากระทบ โดยไมโครโฟนจะทำหน้าที่เปลี่ยนความดันให้อยู่ในรูปของความต่างศักย์ ซึ่งจะถูกขยายด้วย (Preamplifier) แล้วผ่านต่อไปยัง Weighting Networks เพื่อปรับสัญญาณไฟฟ้าให้อยู่ใน Spectrum ที่คล้ายคลึงกับการตอบสนองของมนุษย์ที่มีต่อเสียงเหล่านั้น หลังจากนั้นสัญญาณที่ผ่านการปรับแล้วจะผ่านต่อไปยังเครื่องขยายสัญญาณเสียงอีกครั้ง เพื่อให้โวลต์มิเตอร์อ่านค่าออกมาเป็นค่าลอกาลิทึมิก ในหน่วย เดซิเบล

## 2.8 การวัดระดับเสียง

### 2.8.1 เครื่องมือวัดระดับเสียง

เครื่องมือที่ใช้วัดระดับเสียง คือ Sound Level Meter ประกอบด้วยไมโครโฟนที่รับสัญญาณหลายทิศทาง (Nondirectional Microphone) ชุดปรับค่าความดังของเสียง วงจรขยายชุดแสดงผล และชุดปรับเปลี่ยนความถี่ ค่าของระดับเสียงที่อ่านได้จากมิเตอร์จะอยู่ในรูปของค่า Root Mean Square (RMS) ที่ระดับเปรียบเทียบ ดังนั้นเครื่องมือชนิดนี้จะไม่วัดค่าออกมาเป็นค่าสูงสุด (Peak Level)

มิเตอร์โดยทั่ว ๆ ไป จะตอบสนองกับ 2 ช่วง ได้แก่ ความเร็วสูง และความเร็วต่ำ ถ้าเสียงที่เราต้องการวัดมีระดับความถี่ไม่คงที่ ควรปรับไปที่ความเร็วสูง ส่วนเสียงที่มีความถี่ที่ควรปรับใช้งานไปที่ความเร็วต่ำ โดยทั่วไป ชุดช่วยปรับ (Weighting Network) จะมีอยู่ 4 ระดับให้เลือกใช้ คือ A, B, C และ D ซึ่งคุณสมบัติของความถี่ที่ตอบสนองจะได้ดังภาพที่ 2.1 ชุดทั้ง 4 จะเป็นตัวเลือกค่าประมาณกับหูมนุษย์ที่ระดับเสียงแตกต่างกัน หูของมนุษย์จะไม่ไวต่อเสียงที่มีความถี่สูงมาก ๆ และความถี่ต่ำมาก ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีชุดช่วยปรับ



ภาพที่ 2.1 กราฟแสดงช่วงการจําแนกความถี่ด้วยการถ่วง แบบ A , B , C และ D

### 2.8.2 การจําแนกความถี่ด้วยการถ่วงน้ำหนักความถี่ หรือระดับเสียงเวกซ์

การถ่วงน้ำหนักความถี่ (Frequency Weighting) หรือระดับเสียงเวกซ์ (Weight sound level) ธรรมชาติในการได้ยินเสียงของคนเราจะไม่ไวต่อความถี่ต่ำมาก ๆ และความถี่ที่สูงมาก ๆ ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้การวัดเสียงโดยเครื่องมือวัด สามารถวัดได้สอดคล้องและเป็นตัวแทนการได้ยินของมนุษย์ จึงต้องพิจารณาตัวถ่วงน้ำหนัก (Weight Filters) ร่วมในการวัดเสียง ซึ่งจะให้ระดับเสียงที่แบ่งการถ่วงน้ำหนักความถี่ (Frequency Weighting) หรือที่เรียกว่าเสียงเวกซ์ได้หลายรูปแบบ เช่น A – Weighted (dB(A)), B – Weighted (dB(B)), C – Weighted (dB(C)) และ D - Weighted (dB(D)) ที่ต้องมีการถ่วงน้ำหนักเพราะว่าความรู้สึกบางอย่างของมนุษย์ เช่น ภาวะรำคาญ ไม่ได้แปรแบบลักษณะเส้นตรง (Linear) กับความดัง เมื่อมีความถี่ต่างกัน เนื่องจากหูคนเรามีความไวเสียงต่างกัน ถ้าความถี่ต่างกันดังที่กล่าวมาแล้ว

ระดับหรือ Scale ที่ใช้กันมากที่สุด คือ การถ่วงน้ำหนักแบบ A “A weighting” คือ ใช้การวัดเสียงภายในและภายนอกอาคาร การใช้ A – Weighting Scale ควรใช้กับเสียงที่มีแถบคลื่นกว้าง (Broad – Band Noise)

เสียงที่ถูกถ่วงน้ำหนักหรือถูกเวกซ์โดย A – Weighting จะมีหน่วยการวัดเป็น dB(A) ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นค่าระดับความดัง โฟน (phon) ได้โดยใช้สมการ

$$1.05 \times \text{dB(A)} + 10 = \text{phon}$$

สำหรับการถ่วงน้ำหนักแบบ C “C - Weighting” จะใช้ในการวัดเมื่อต้องการประเมินการวัดเสียงที่ดังมาก ๆ หรือความถี่ต่ำมาก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.1 ระดับการจำแนกน้ำหนักเสียง

ระดับการถ่วงน้ำหนัก	รายละเอียด
A – weighted	เป็นการกรองเสียงเพื่อให้ผลตรงกับความรู้สึกของคน Scale A จะมีคุณลักษณะการตอบสนองในการวัดเสียงได้ต่ำกว่า Scale B และ C แต่จะใกล้เคียงกันกับคุณลักษณะการตอบสนองในการได้ยินของหูของมนุษย์มากกว่า Scale B และ C
B – weighted	มีเหตุผลการกรองเช่นเดียวกับ Scale A แต่จะใช้กับเสียงที่มีความเข้มปานกลาง ปัจจุบันไม่นิยมใช้แล้ว Scale B จะตอบสนองการวัดได้ดีระหว่างความถี่ประมาณ 400 Hz – 3,000 Hz
C – weighted	ไม่มีการกรองมากนัก ดังนั้นผลการวัดเสียงจึงใกล้เคียงความจริง ใช้เป็นครั้งคราวเมื่อมีเหตุผลว่ากลุ่มของเสียงที่มีความถี่ต่ำจะถูกกรองมากเกินไป ถ้าใช้ Scale A ตัวอย่างเช่น เสียงจากหัวรถจักรดีเซล Scale C จะตอบสนองได้ดีในเกือบทุกย่านความถี่เสียงตั้งแต่ 100 Hz – 3,000 Hz
D- weighted	ใช้กับการวัดเสียงจากอากาศยาน

## 2.9 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องวัดเสียง

เครื่องวัดเสียงเป็นเครื่องมือที่ประกอบด้วยวงจรไฟฟ้าต่าง ๆ จึงทำให้มีความไวต่อสิ่งที่มากระทบกระเทือนซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจมีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องวัดเสียงมีดังนี้ คือ

- **อุณหภูมิ** เครื่องวัดเสียงส่วนมากนั้น ถูกระบุให้ใช้ในบริเวณที่มีอุณหภูมิ -7 ถึง 66 ° c ดังนั้นการใช้งานในบริเวณที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้ ควรจะศึกษารายละเอียดในกลุ่มมือการใช้ให้ถี่ถ้วนก่อน เพื่อให้ผลการวัดมีความถูกต้องและเชื่อถือได้
- **ความชื้น** เครื่องวัดเสียงสามารถทำงานได้ในที่ที่มีความชื้นสูง นานคราบเท่าที่ความชื้นไม่กลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำเกาะไมโครโฟน
- **ความดันบรรยากาศ** จะมีผลต่อเครื่องถูกปรับความถูกต้องของเครื่องวัดเสียง ดังนั้นต้องปรับค่าความดันบรรยากาศตามคำแนะนำในกลุ่มมือการใช้เครื่องมือเสมอ
- **กระแสลม** จะมีผลกระทบต่อระดับความดังเสียงทำให้ ค่าความดังเสียงเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่ควรจะเป็นได้ ดังนั้น ถ้าต้องการวัดเสียงในบริเวณที่มีกระแสลมพัดผ่านจะต้องใช้เครื่องป้องกันกระแสลมด้วยเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

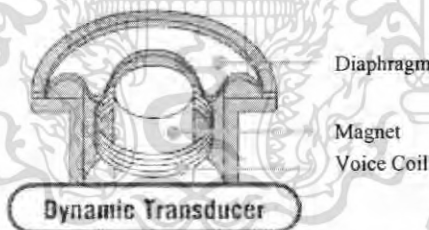
## 2.10 ไมโครโฟน

อุปกรณ์ไมโครโฟน ทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นเสียง (Sound Wave) หรืออากาศจากแหล่งกำเนิดเสียง เช่น เสียงพูด เสียงเพลง เสียงเครื่องดนตรี เป็นต้น ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าไหลไปตามสายไมโครโฟนสู่ภาคขยายเสียง ไมโครโฟนจึงเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของเครื่องมีอวัระดับเสียงของโครงการขึ้นนี้ เนื่องจากความแม่นยำและความแน่นอนขึ้นอยู่กับการประเภทของไมโครโฟน ปัจจัยที่มีความสำคัญในการเลือกใช้ไมโครโฟน คือ ผลการตอบสนองทางความถี่ (Frequency Response) ความไว (Sensitivity) และทิศทางการรับเสียง (Directionality) เป็นต้น

### 2.10.1 ประเภทของไมโครโฟน

ไมโครโฟนที่เราเห็นกันทั่วไปตามท้องตลาดนั้นมีมากมายหลายรูปแบบ ซึ่งมีการออกแบบที่แตกต่างกันออกไปไม่ว่าจะเป็นสี ขนาด น้ำหนัก ความคงทน รวมถึงราคาด้วย ก่อนที่เราจะเลือกไมโครโฟนได้ถูกต้องกับการใช้งานของเรา เราต้องมาเริ่มต้นดูกันที่ชนิดของไมโครโฟนตามการแปลงสัญญาณหรือตามการออกแบบ (Method of Transducer or Design Type) ก่อนว่ามีอะไรบ้าง และชนิดใดเหมาะกับงานของเรา เราสามารถแบ่งชนิดของไมโครโฟนเป็น 6 ชนิดด้วยกัน คือ

**2.10.1.1 ไดนามิกไมโครโฟน (Dynamic Microphone)** เป็นไมโครโฟนที่ใช้กันทั่วไปในงานระบบเสียง ปัจจุบันนี้มีลักษณะการทำงานคล้ายกับการทำงานของลำโพง ภาพต่อไปนี้จะแสดงถึง โครงสร้างและการทำงานของไดนามิกไมโครโฟน



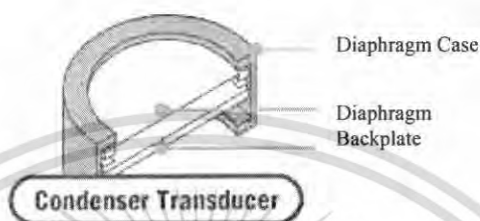
ภาพที่ 2.2 ไดนามิกไมโครโฟน (Dynamic Microphone)

เมื่อมีเสียงมากระทบที่ไดอะแฟรม (Diaphragm) ทำให้เกิดการสั่นและเคลื่อนไหวเข้าออกของมูฟวี่งคอยล์ที่พันอยู่รอบ ๆ กรวย ไดอะแฟรมจึงเกิดการตัดกันของสนามแม่เหล็ก และเกิดการเหนี่ยวนำกลายเป็นกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กส่งออกมาตามขดลวด ขนาดความแรงของสัญญาณไฟฟ้าและทิศทางขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวของขดลวด ไดนามิกไมโครโฟนมีความแข็งแรงทนทานสูง ราคาไม่แพงและเป็นที่ยอมรับใช้ทั่วไป ด้วยเหตุผลนี้เองทำให้มีการใช้ไดนามิก ไมโครโฟนกันมากในระบบเสียงงานเวที หรือในงานระบบเสียงที่มีการเปลี่ยนแปลงทางพลังงาน อคูสติกสูงและบ่อยครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดนามิกไมโครโฟนยังมีความทนต่อองค์ประกอบของสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น อุณหภูมิ และสภาพแสงแดดได้อย่างดี

**2.10.1.2 คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (Condenser Microphone)** เป็นไมโครโฟนอีกประเภทหนึ่งที่นิยมใช้พอ ๆ กับไดนามิกไมโครโฟน โครงสร้างของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนแสดงไว้ดังภาพ



**ภาพที่ 2.3** คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (Condenser Microphone)

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนนั้นจำเป็นต้องมีไฟเลี้ยงจ่ายให้ตลอดเวลา ที่มีการใช้งาน ซึ่งอยู่ระหว่าง 9-48 โวลท์ ที่มาจากแบตเตอรี่ที่บรรจุเข้าไปในตัวไมโครโฟน หรือจากมิกเซอร์โดยผ่านทางสายของไมโครโฟน หลักการทำงาน คือ เมื่อมีการเคลื่อนไหวเข้าใกล้และห่างออกจากกันระหว่างไดอะแฟรมกับแบคเพลท (Back plate) โดยแบคเพลทจะอยู่กับที่และส่วนที่เป็นไดอะแฟรมจะเคลื่อนไหวตามเสียงที่เข้ามา จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติของประจุไฟฟ้าและทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นซึ่งมีขนาดเล็กมาก ซึ่งจะถูกนำไปขยายโดยภาคขยายเล็ก ๆ ซึ่งซ่อนอยู่เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณ และเพื่อแยกค่าอิมพีแดนซ์ของไมโครโฟนออกจากค่าอิมพีแดนซ์ต่ำที่ตัวไมโครโฟนต่ออยู่

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนมีคุณสมบัติทางเสียงที่ดีเหมือนธรรมชาติ ใช้กับงานที่ต้องการการตอบสนองทาง Transient เช่น เครื่องดนตรีที่เป็นพวก Percussion และนิยมใช้กันมากในห้องบันทึกเสียง และงานทั่วไป ความทนทานจะสู้ไดนามิกไมโครโฟนไม่ได้ วัตต่อการเสียหายเมื่อมีการกระทบของเสียง การกระทบกระเทือนอย่างแรง และสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น ราคาจะสูงกว่าไดนามิกไมโครโฟน

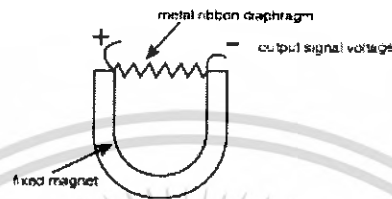
**2.10.1.3 อีเล็กเตรด คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (Electret Condenser Microphone)** เป็นคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนชนิดพิเศษที่มีไดอะแฟรมเป็นพลาสติก และต้องอาศัยภาคขยายและไฟเลี้ยง 1.5 – 9 โวลท์ในการทำงาน ซึ่งภาคขยายและแหล่งจ่ายไฟอาจจะอยู่ในตัวไมโครโฟน หรือเป็นกล่องซึ่งมีสายต่อไปที่ตัวไมโครโฟนก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์ คอนเดนเซอร์ ไมโครโฟนนี้มีใช้กันในห้องบันทึกเสียง และในระบบเสียงทั่วไปและด้วยคุณสมบัติที่สามารถทำให้เล็กและเทคโนโลยีที่ไม่แพง จึงทำให้ไมโครโฟนชนิดนี้มีอยู่ในสินค้าอุปโภคทั่วไป

#### 2.10.1.4 รีบบอน ไมโครโฟน (Ribbon Microphone) หลักการทำงานของรีบบอน

-ไมโครโฟนใช้หลักการเหนี่ยวนำเหมือนกับไดนามิก ไมโครโฟน



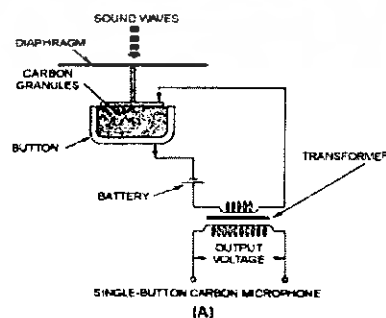
ภาพที่ 2.4 รีบบอน ไมโครโฟน (Ribbon Microphone)

เมื่อมีเสียงมากระทบที่รีบบอนซึ่งทำด้วยแผ่นอลูมิเนียมบาง ๆ จะทำให้เกิดการสั่นและเคลื่อนไหวเข้าออกจึงเกิดการตัดกันของสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้า แต่เนื่องจากกระแสไฟฟ้ามีขนาดเล็กมากและมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ จึงทำให้ต้องมีหม้อแปลงอยู่ภายใน โดยหม้อแปลงนี้ทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ ขยายสัญญาณ และจะแยกค่าอิมพีแดนซ์ของรีบบอนกับภาค input ที่ไมโครโฟนต่ออยู่

ในยุคแรก ๆ รีบบอนไมโครโฟนเปราะบางมาก และในปัจจุบันไม่ค่อยมีการผลิตมากนัก จะพบอยู่ในห้องบันทึกเสียงเป็นส่วนใหญ่ ด้วยคุณสมบัติที่ตอบสนองความถี่สูงได้ดีและให้คุณภาพเสียงที่ขุดเยี่ยม การรบกวนที่ต่ำ การตอบสนองต่อ Transient ดี รีบบอนไมโครโฟนจึงเป็นไมโครโฟนที่ใช้ในการร้องเพลงและใช้ในงานเครื่องมือวัดทางเสียงได้ดี

#### 2.10.1.5 คาร์บอน ไมโครโฟน (Carbon Microphone) คาร์บอน ไมโครโฟนเป็น

ไมโครโฟนที่พบในยุคแรก ๆ



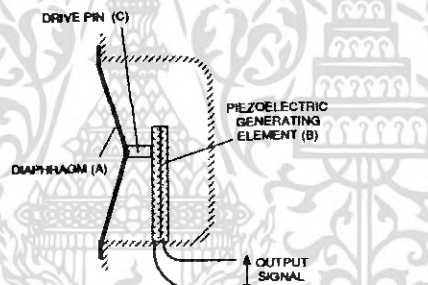
ภาพที่ 2.5 คาร์บอน ไมโครโฟน (Carbon Microphone)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการการทำงานของคาร์บอนไมโครโฟน คือ เมื่อมีเสียงมากระทบที่ไดอะแฟรม (Diaphragm) จะทำให้เกิดการสั่นของเม็ดคาร์บอน การสั่นมากหรือน้อยของเม็ดคาร์บอนนี้ขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนไหวของไดอะแฟรม การสั่นนี้เองทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานทางไฟฟ้าสูงและต่ำตามการเคลื่อนไหวของไดอะแฟรม และแปลงค่าความต่างศักย์ของเบตเตอร์ เป็นกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูง-ต่ำตามสัญญาณเสียง หม้อแปลงแบบ Step Up จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณ ให้มีความแรงขึ้นและยังทำหน้าที่แยกค่าอิมพีแดนซ์ทางอินพุตกับตัวไมโครโฟน และยังป้องกัน ไฟฟ้ากระแสตรงจากเบตเตอร์ออกไปที่ Input ด้วย

คาร์บอน ไมโครโฟนมีราคาถูก ทนทาน แต่คุณภาพของเสียงไม่ดี ส่วนใหญ่จะพบเห็นในการใช้งานทั่วไปในอดีต เช่น โทรศัพท์ ซึ่งในปัจจุบันนี้โทรศัพท์ได้เปลี่ยนมาเป็นแบบ ไดนามิกแล้ว

**2.10.1.6 ไพเอโซอิเล็กทริกไมโครโฟน (Piezo - Electric Microphone)** นั้นเป็น ไมโครโฟนที่พบในยุคแรก ๆ อีกประเภทหนึ่งหรือบางครั้งเรียกว่า คริสตัล หรือเซรามิก ไมโครโฟน (Crystal or Ceramic)



**ภาพที่ 2.6** ไพเอโซ อิเล็กทริกไมโครโฟน (Piezo- Electric Microphone)

เมื่อมีเสียงมากระทบที่ไดอะแฟรม (Diaphragm) ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนคริสตัล ก็เปลี่ยนรูปร่างช้า ๆ และทำให้เกิดแรงดัน ซึ่งจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงรูปทรงของคริสตัล เช่นเดียวกับ คาร์บอนไมโครโฟน ไพเอโซอิเล็กทริกไมโครโฟน มีราคาถูกและคุณภาพเสียงไม่ค่อยดี

ไพเอโซอิเล็กทริกไมโครโฟนมีค่าอิมพีแดนซ์สูงและมี Output ที่แรง แต่เสียงหายง่ายและไม่สามารถแก้ไขได้ถ้ามีการการกระแทกอย่างแรง ไม่ทนต่อสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง เช่น ความร้อน และความชื้น

ไมโครโฟนทั้ง 6 ชนิดที่ได้กล่าวมานั้น ในปัจจุบันที่เราจะเห็นใช้กันอยู่มากและแพร่หลายก็มีเพียง 2 ประเภท คือ ไดนามิกไมโครโฟน (Dynamic Microphone) และคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (Condenser Microphone)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 อิมพีแดนซ์

ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) คือ ตัวเลขที่แสดงค่าความต้านทานของไมโครโฟนที่เกิดขึ้นขณะที่มีสัญญาณไฟฟ้าความถี่เสียง หรือกระแสสลับไหลผ่านโดยมีหน่วยเป็น โอห์ม แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

**2.11.1 อิมพีแดนซ์สูง** อิมพีแดนซ์สูงหรือมีค่าความต้านทานสูง (High Impedance) จะมีค่าอยู่ในช่วง 5, 10, 50 หรืออาจถึง 100 กิโลโอห์ม (KΩ) ซึ่งจะให้ค่ากำลังของสัญญาณออกมาต่ำ (Low Power Output) มีเสียงรบกวนได้ง่าย เช่น เสียงฮัม ยิ่งถ้าต่อสายยาว ๆ หรือเกินกว่า 25 ฟุต ก็ยิ่งทำให้สูญเสียกำลังของสัญญาณมากขึ้น คุณภาพของเสียงจะลดลงด้วย ใช้ต่อร่วมกับเครื่องขยายเสียงโดยต่อที่ช่อง High Impedance

**2.11.2 อิมพีแดนซ์ต่ำ** อิมพีแดนซ์ต่ำ หรือมีค่าความต้านทานต่ำ (Low Impedance) มีค่าอิมพีแดนซ์อยู่ในช่วง 200 ถึง 600 โอห์ม ซึ่งมีคุณภาพดีจะให้ค่ากำลังของสัญญาณออกมาสูง (High Power Output) ไม่มีเสียงรบกวนสามารถใช้กับสายยาว ๆ ได้ แต่จะมีความไวในการรับเสียงที่ต่ำ ใช้ต่อร่วมกับเครื่องขยายเสียงที่ช่อง Low Impedance

## 2.12 ผลการตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ของเสียง

การตอบสนองทางความถี่ของไมโครโฟน คือ การเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณทาง Output หรือความไวของไมโครโฟนในช่วงความถี่จากต่ำสุดจนถึงสูงสุด ในความเป็นจริงแล้วผู้ผลิตไมโครโฟน จะแสดงค่าการตอบสนองทางความถี่ของไมโครโฟนไว้ที่ตั้งแต่ 20 Hz – 20KHz โดยส่วนมากจะแสดงเป็นกราฟที่แสดงค่า แอมพลิจูด (Amplitude) ของแต่ละความถี่ โดยแกน X จะแสดงค่าความถี่ ส่วนแกน Y แสดงค่าเดซิเบล ถ้ากราฟของไมโครโฟนที่มีการตอบสนองทางความถี่เท่ากันทุกความถี่ เรียกว่า การตอบสนองความถี่แบบแฟลต “Flat” หรือ (Flat Respond) ไมโครโฟนที่มีการตอบสนองความถี่ที่เป็นแฟลต (Flat) นี้ มักจะนำไปใช้ในการเปลี่ยนพลังงานเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยไม่มีการแต่งเติมใด ๆ เลย โดยจะพบเห็นในการใช้ไมโครโฟนนี้กับเครื่องดนตรีที่เป็นอะคูสติก (Acoustics) เช่น กีตาร์ หรือเปียโน และจะพบในไมโครโฟนที่ใช้ในงานเครื่องมือวัดต่าง ๆ ที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง ในกรณีตรงกันข้าม ถ้ากราฟของไมโครโฟนที่มีการตอบสนองทางความถี่ที่ไม่เท่ากันทุกความถี่ก็เรียกว่า การตอบสนองความถี่แบบเชฟ (Shaped-Respond) การตอบสนองความถี่แบบนี้ออกแบบมาเพื่อเสริมหรือลดย่านความถี่ที่ต้องการ เช่น ไมโครโฟนที่มีการตอบสนองทางความถี่ในย่าน 2-10 kHz สูง เพื่อช่วยเสริมความถี่ย่านเสียงพูดให้เด่นออกมาให้ผู้ฟังเข้าใจได้ดีขึ้น การตอบสนองของความถี่ของไมโครโฟนอาจจะมีในด้านที่ลดลง เช่น ในย่านความถี่ต่ำเพื่อช่วยลดเสียงครางหึ่งที่ไม่ต้องการออกไป เพราะฉะนั้นในการเลือก

ไมโครโฟนให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งให้เหมาะสมกับแหล่งกำเนิดเสียงนั้น การตอบสนองความถี่ของไมโครโฟนจึงเป็นส่วนสำคัญที่ต้องพิจารณา กล่าวคือ ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงของเราเป็นเสียงที่มาจากกรพุดหรือร้องเพลง เราจึงควรเลือกไมโครโฟนที่มีการตอบสนองในย่านความถี่ประมาณ 1 KHz ขึ้นไป หรือถ้าเป็นแหล่งกำเนิดเสียงที่มีย่านความถี่ต่ำมากก็ควรเลือกใช้ไมโครโฟนที่มีการตอบสนองของความถี่ในย่านต่ำได้ดี โดยพิจารณาจากกราฟของคุณสมบัติของไมโครโฟน ถ้าเป็นการใช้งานในงานบันทึกเสียงก็อาจจะเลือกเป็นแบบแฟลท (Flat Respond) เป็นต้น

### 2.13 ความไวของไมโครโฟน

คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของไมโครโฟน คือ ค่าความไวในการรับสัญญาณความไวของไมโครโฟน (Microphone Sensitivity) จะแสดงหน่วยเป็น dB /  $\mu\text{bar}$  เมื่อ dBV คือ ค่าของระดับแรงดันขาออกเป็น dB เทียบกับ 1 V ที่กำลังอัดของคลื่นเสียง 1  $\mu\text{bar}$  (หรือ 0.1 N/m<sup>2</sup>) ความไวของไมโครโฟนโดยทั่วไป จะอยู่ในย่าน - 50 ถึง - 125 dBV /  $\mu\text{bar}$  ลักษณะโดยทั่วไปไมโครโฟนตัวใหญ่ๆ จะมีความไวสูง แต่ความถี่ตอบสนองต่ำ และไมโครโฟนแบบเล็ก ๆ จะมีความไวต่ำ แต่ความถี่ตอบสนองสูง ไมโครโฟนที่ใช้มีความไว (Sensitivity) 0.1 V /  $\mu\text{bar}$  แรงดันที่แท้จริงที่ได้จากไมโครโฟนสามารถคำนวณได้จากความไวเป็น V /  $\mu\text{bar}$

$$E(V) = \frac{E}{0.1} \mu\text{bar}$$

$$0.1V = \mu\text{bar}$$

$$E(V) = \frac{E}{0.1} \times 1\mu\text{bar} = P$$

$$\text{dB(SPL)} = 20 \log \frac{P}{2 \times 10^{-4}}$$

เมื่อ

$E(V)$  คือ แรงดันเป็น โวลต์คิดจากกำลังอัด 1  $\mu\text{bar}$

$P$  คือ ความดันของเสียงสัมพันธ์กับค่า SPL

$\text{dB(SPL)}$  คือ เดซิเบลที่เปรียบเทียบกับที่  $2 \times 10^{-4} \mu\text{bar}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.14 Directional Pattern (ชนิดของไมโครโฟนแบ่งตามรูปแบบการรับเสียง)

นอกจากการแบ่งไมโครโฟนตามรูปแบบการผลิตและการออกแบบแล้ว เรายังแบ่งประเภทของไมโครโฟนออกเป็นรูปแบบการรับเสียงอีกด้วย เพื่อที่เราจะสามารถเลือกใช้ไมโครโฟนได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม เราจึงต้องเข้าใจถึงทิศทางการรับเสียงไมโครโฟนด้วยซึ่งจะแบ่งออกเป็นหลายรูปแบบ ดังนี้

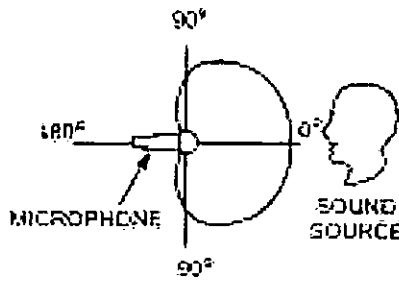
**2.14.1 Omnidirectional (ออมนิไดเรกชันนอล)** เป็นไมโครโฟนที่มีรูปแบบการรับเสียงแบบรอบทิศทางอมนิไดเรกชันนอล (Omnidirectional) โดยรับเสียงมากหรือน้อยในทุกทิศทางเท่า ๆ กัน พื้นที่ครอบคลุมทั้งหมด 360 องศา ดังแสดงไว้ดังภาพ



ภาพที่ 2.7 Omnidirectional (ออมนิไดเรกชันนอล)

เราสามารถใช้ไมโครโฟนแบบทิศทางการรับเสียงรอบทิศทางนี้ เมื่อเรามีความต้องการรับเสียงของสภาพแวดล้อมทั้งหมด รูปแบบการรับเสียงแบบอมนิไดเรกชันนอล (Omnidirectional) นี้สามารถตอบสนองต่อความถี่ต่ำได้ดี ไม่มีปัญหาที่เกิดจากเสียงลมและเสียงหายใจ เพราะสามารถตอบสนองความถี่ได้ราบรื่นกว่ารูปแบบการรับเสียงแบบอื่น แต่สิ่งที่เราควรระวังถึงตลอดเวลาคือ เมื่อเราใช้ไมโครโฟนแบบทิศทางการรับเสียงรอบทิศทางนี้เราควรระมัดระวังเรื่องของการวางตำแหน่งของไมโครโฟนต้องไม่ทำให้เกิดฟีดแบ็ค (Feedback) ด้วย

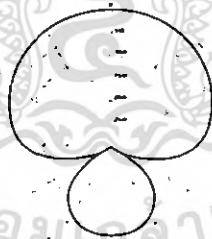
**2.14.2 Cardioid (คาร์ดิอย)** เป็นไมโครโฟนที่มีรูปแบบของการรับเสียงแบบทิศทาง Cardioid (คาร์ดิอย) หรือบางครั้งเราเรียกรูปแบบนี้ว่า รูปหัวใจ (Heart Shape) ไมโครโฟนที่มีรูปแบบการรับเสียงคาร์ดิอยนี้ นิยมใช้กันมากในระบบเสียงทั่วไป โดยเฉพาะงานแสดงดนตรี รูปแบบการรับเสียงแบบ Cardioid (คาร์ดิอย) แสดงไว้ดังภาพ



ภาพที่ 2.8 Cardioid (คาร์ดิอย)

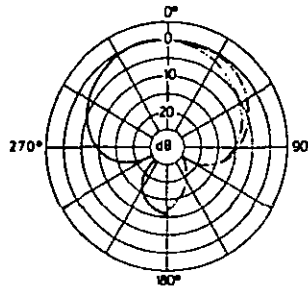
ไมโครโฟนที่มีรูปแบบการรับเสียงแบบคาร์ดิอยนี้ จะมีคุณสมบัติการรับเสียงได้ดีจากด้านหน้าแล้วค่อยๆ ลดน้อยลงไปเรื่อยเมื่อออกไปทางข้างทั้ง 2 ข้างของไมโครโฟนและด้านหลัง การตอบสนองต่อความถี่ของแพทเทิร์นแบบ คาร์ดิอย (Cardioid) นี้ ขึ้นอยู่กับมุมของการรับเสียงด้วย ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วว่าไมโครโฟนแบบคาร์ดิอยนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในระบบเสียงงานเวที (Sound Reinforcement) เพราะสามารถลดการเกิดค่า ฟีดแบ็ค (Feedback) จากลำโพงโมนิเตอร์ (Monitor) ได้ ซึ่งทำให้สามารถเพิ่มเกน (Gain) ของระบบได้มากขึ้นโดยไม่ทำให้เกิดฟีดแบ็คได้ง่ายเมื่อเทียบกับไมโครโฟนที่มีรูปแบบการรับเสียงแบบอิมนิไดเรกชันนอล (Omni-directional)

**2.14.3 Supercardioid (ซูเปอร์ คาร์ดิอย)** เหมาะสำหรับงานที่ต้องการตัดการรับเสียงทางด้านข้างออกอย่างสิ้นเชิง แต่ส่วนด้านหลังก็จะมีการรับเสียงบ้าง และป้องกันเสียงจากด้านข้างของไมโครโฟนได้ดีกว่าด้วย แต่ที่แตกต่างกัน คือ จะสามารถรับเสียงด้านหน้าได้ในมุมที่แคบกว่าแบบคาร์ดิอย (Cardioid Microphone) และจะรับได้ไกลกว่า



ภาพที่ 2.9 Supercardioid (ซูเปอร์ คาร์ดิอย )

**2.14.4 Hypercardioid (ไฮเปอร์ คาร์ดิอย)** มีรูปแบบการรับเสียงที่มีความใกล้เคียงกับแบบ ซูเปอร์คาร์ดิอยไมโครโฟน (Super-cardioid Microphone) โดยที่แบบของ ไฮเปอร์ คาร์ดิอย (Hyper-Cardioid) นี้ จะรับเสียงด้านหน้าที่แคบกว่าและในด้านหลังที่มากกว่าดังแสดงไว้ดังภาพ



ภาพที่ 2.10 Hypercardioid (ไฮเปอร์ คาร์ดิอย)

**2.14.5 Bi-directional or Figure-8 (ไบไดเรกชันนอล หรือ ฟิกเกอร์ เอค)** เป็นไมโครโฟนที่มีรูปแบบการรับเสียงที่รับได้ดีทั้งด้านหน้าและด้านหลังของไมโครโฟน และจะไม่มีกรับเสียงจากด้านหลัง เราเรียกรูปแบบการรับเสียงแบบนี้ว่า ไบไดเรกชันนอล (Bi-directional or Figure-8) เพราะไมโครโฟนจะรับได้ 2 ทิศทาง ในภาษาอังกฤษ Bi แปลว่า สอง นั่นเอง หรือบางครั้งเรียกว่า ฟิกเกอร์ เอค เพราะรูปของทิศทางการรับเสียงนั้นมีลักษณะเหมือนเลข 8



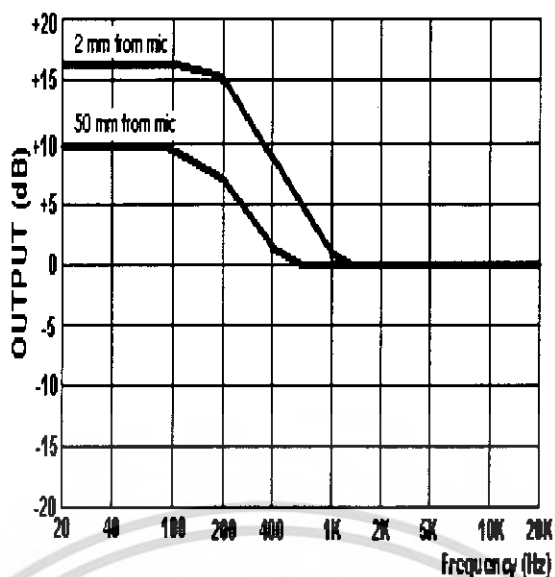
ภาพที่ 2.11 Bi-directional or Figure-8 (ไบไดเรกชันนอล หรือ ฟิกเกอร์ เอค)

ไมโครโฟนแบบฟิกเกอร์ เอค (Figure 8) นี้มีประโยชน์มากในกรณีที่เราต้องการจะรับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง 2 แหล่งที่แยกกัน เช่น ใช้ในการสัมภาษณ์ที่ผู้สัมภาษณ์และผู้ให้สัมภาษณ์อยู่ตรงข้ามกัน หรือใช้รับเสียงจากกล้อง Toms 2 ตัวโดยวางไมโครโฟนไว้ที่ตรงกลางระหว่างกล้อง

## 2.15 Proximity Effect or Bass Boost (พรอกซิมีตี้ เอฟเฟ็ค)

พรอกซิมีตี้ เอฟเฟ็ค (Proximity Effect) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เบส บูท (Bass Boost) หรือ เบส ทิปอัพ (Bass Tip-Up) หรือ โครสตอล์กกิ้ง เอฟเฟ็ค (Close Talking Effect) คือ การเพิ่มขึ้นของการตอบสนองของความถี่ย่านความถี่ต่ำ เมื่อไมโครโฟนเข้าใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียงและเป็นสิ่งที่ติดมากับไมโครโฟนประเภทที่มีการรับเสียงแบบทิศทาง ไมโครโฟนที่มีคุณสมบัติของทิศทางการรับเสียงแบบรอบทิศทางจะไม่มีกรเกิดพรอกซิมีตี้ เอฟเฟ็ค (Proximity Effect) นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.12 Proximity Effect (พรอกซิมิตี เอฟเฟ็ค)

พรอกซิมิตี เอฟเฟ็ค (Proximity Effect) นี้ เกิดขึ้นเมื่อไมโครโฟนอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงน้อยกว่า 2 ฟุตและเกิดการเพิ่มขึ้นของความถี่ต่ำประมาณ 16 dB หรือมากกว่า ในความเป็นจริงแล้วทุกความถี่เพิ่มขึ้นเมื่อไมโครโฟนเข้าใกล้แหล่งกำเนิดเสียง แต่ความถี่สูงจะถูกลดออกไปมากกว่าความถี่ต่ำ เมื่อเกิด พรอกซิมิตี เอฟเฟ็ค (Proximity Effect) ขึ้น และอาจจะทำให้เกิดการโอเวอร์โหลด Overload และผิดเพี้ยนของสัญญาณ (Distortion) ได้ และส่งผลให้ความเข้าใจในการรับฟังเสียงของผู้ฟังลดลง หรือที่เรียกว่า สปีช อินเทลลิจิบิลิตี (Speech Intelligibility) น้อยลงนั่นเอง เราสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้โดยการตัดความถี่ต่ำที่ไมโครโฟนออก ถ้าที่ไมโครโฟนนั้นมีสวิทช์เบสโรลออฟ (Bass Roll off) มากับตัวไมโครโฟน ถ้าไม่มีเราสามารถลดความถี่ต่ำที่ Mixer ได้เช่นกัน หรือพยายามรักษาระยะห่างระหว่างไมโครโฟนกับผู้พูดให้อยู่ในระยะที่ไม่ก่อให้เกิดพรอกซิมิตี เอฟเฟ็ค (Proximity Effect) แต่ถ้าออกห่างมากเกินไปจะทำให้เสียงที่ผ่านไมโครโฟนขาดความสมบูรณ์ของทุกย่านความถี่ได้เช่นกัน

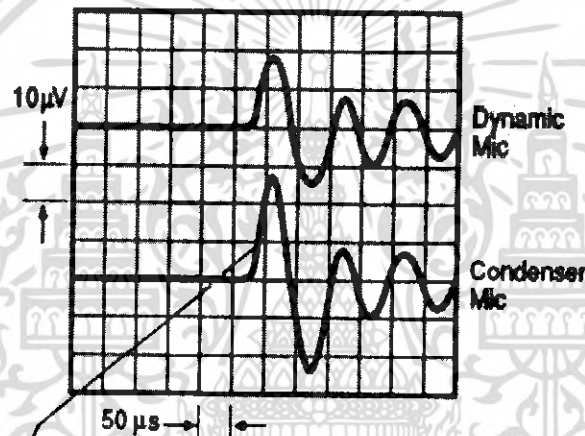
## 2.16 Transient Response (ทรานเซียน เรสปอนด์)

ทรานเซียน เรสปอนด์ (Transient Response) ของไมโครโฟน คือ ความสามารถของไมโครโฟนที่จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของคลื่นเสียง

ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานเสียงไปเป็นพลังงานไฟฟ้านั้น การเคลื่อนไหวของไดอะแฟรมนั้นมีส่วนสำคัญมาก โดยจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับน้ำหนักของไดอะแฟรม ซึ่งมีผลต่อการตอบสนองทางทรานเซียน (Transient) ตัวอย่างที่ยกให้เห็น คือ การเปรียบเทียบระหว่างไดนามิกไมโครโฟนกับ คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน สมมุติว่าไดอะแฟรม และ วอลท์คอย (Voice Coil) ของไดนามิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไมโครโฟนนั้น จะมีน้ำหนักมากกว่าไดอะแฟรม และ วอลต์คอย (Voice Coil) ของคอนเดนเซอร์  
 - ไมโครโฟนถึง 1000 เท่า หมายความว่า เมื่อมีเสียงเข้ามากระทบที่แผ่นไดอะแฟรมของไดนามิก  
 - ไมโครโฟน มันจะใช้เวลามากกว่าในการทำให้แผ่นไดอะแฟรมสั่นและหยุด ดังนั้นการตอบสนอง  
 ต่อทรานเซียน (Transient) ของไดนามิกไมโครโฟนไม่ดีเท่ากับคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน ถ้าจะ  
 เปรียบเทียบกันกับรถจะเข้าใจได้ง่ายขึ้น คือ รถบรรทุก 10 ล้อ เปรียบเสมือนไดนามิกไมโครโฟน  
 ที่มีน้ำหนักของไดอะแฟรมมาก ส่วนรถเก๋งเปรียบเสมือนคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนที่มีน้ำหนักของ  
 ไดอะแฟรมน้อย การออกตัวของรถ 2 ชนิดนี้ จะใช้เวลาที่แตกต่างกัน โดยที่รถ 10 ล้อ จะใช้เวลา  
 มากกว่ารถเก๋ง ซึ่งการตอบสนองช้าและเร็วต่างกันนี้ คือ การตอบสนองทางทรานเซียน (Transient)  
 นั่นเอง



**ภาพที่ 2.13** Transient Response ของไดนามิกไมโครโฟนเปรียบเทียบกับคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

ในภาพจะแสดงให้เห็นถึงกราฟของการตอบสนองทางทรานเซียน (Transient) ในส่วน  
 ของไดนามิกไมโครโฟนเปรียบเทียบกับคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน จะเห็นว่ากราฟตัวล่างซึ่งเป็น  
 กราฟของไดนามิกไมโครโฟนนั้น จะใช้เวลามากกว่าในการเคลื่อนที่และหยุดของแผ่นไดอะแฟรม  
 เมื่อเป็นดังนี้ คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน จึงเหมาะสำหรับใช้รับเสียงเครื่องดนตรีที่มีการเปลี่ยนแปลง  
 ของเสียงอย่างรวดเร็วและเฉียบคม หรือเสียงที่มีความถี่สูง เช่น เสียงที่มาจากซิมเบิ้ล (Cymbal)  
 และคุณสมบัติการตอบสนองทางด้านทรานเซียน (Transient) ที่ดีของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนนี้  
 ที่ทำให้เสียงที่ได้จากคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน มีเสียงที่สดใสมีรายละเอียดของเสียงมากกว่าเสียง  
 ที่ได้จากไดนามิกไมโครโฟน

## 2.17 เกณฑ์กำหนดของระดับเสียงที่เป็นอันตราย

ตามที่กรมแรงงาน กระทรวงมหาดไทย ได้มีการกำหนดมาตรฐานของระดับเสียงภายในสถานประกอบการต่าง ๆ ไว้ดังนี้ คือ

1. ได้รับเสียงไม่เกินวันละ 7 ชั่วโมง ต้องมีระดับเสียง ติดต่อกันไม่เกิน 91 dB(A)
2. ได้รับเสียงวันละ 7-8 ชั่วโมง ต้องมีระดับเสียง ติดต่อกันไม่เกิน 90 dB(A)
3. ได้รับเสียงเกินวันละ 8 ชั่วโมง ต้องมีระดับเสียง ติดต่อกันไม่เกิน 80 dB(A)
4. นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานในที่ ๆ มีระดับเสียงเกิน 140 dB(A) ไม่ได้

องค์การอนามัยโลกได้กำหนดว่าระดับเสียงที่ดังเกินกว่า 85 dB(A) ให้ถือว่าเป็นอันตรายต่อมนุษย์

**ตารางที่ 2.2** เสียงในระดับต่าง ๆ ที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์

ระดับเสียง	ผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์
65 dB	เป็นเสียงรบกวนที่มีผลทำให้ปวดศีรษะ ถ้ามากกว่าระดับนี้จะทำให้เกิดอาการอ่อนเพลียทั้งร่างกายและจิตใจ
90 dB	ถ้าอยู่กับเสียงระดับนี้เป็นเวลานานหลายปี จะทำให้หูพิการตลอดไป
100 dB(A)	การได้ยินเสียงระดับนี้ แม้เพียงระยะสั้น จะทำให้การได้ยินของหูเสียไปชั่วคราว และถ้าติดต่อกันเป็นเวลานานหูจะพิการตลอดไป
120 dB(A)	ปวดแก้วหู
150 dB(A)	หูพิการทันที

## 2.18 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51

### 2.18.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 ที่สำคัญ ๆ มีดังนี้

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์เพียงชุดเดียว
- มีหน่วยความจำ สำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานอยู่ภายในชิปจำนวน 4 กิโลไบต์ (เบอร์ 8031, 8032 ไม่มีหน่วยความจำส่วนนี้ ส่วนเบอร์ 8052 จะมีหน่วยความจำส่วนนี้ 8 กิโลไบต์ และเบอร์ 83C51FB จะมีหน่วยความจำส่วนนี้รวมทั้งสิ้น 16 กิโลไบต์)
- มีหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและข้อมูล (RAM) และอยู่ภายในชิปจำนวน 128 ไบต์ (ในเบอร์ 8031, 8051) หรือ 256 ไบต์ (ในเบอร์ 8031, 8052)
- สามารถใช้หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิปได้ อย่างละ 64 กิโลไบต์ แยกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

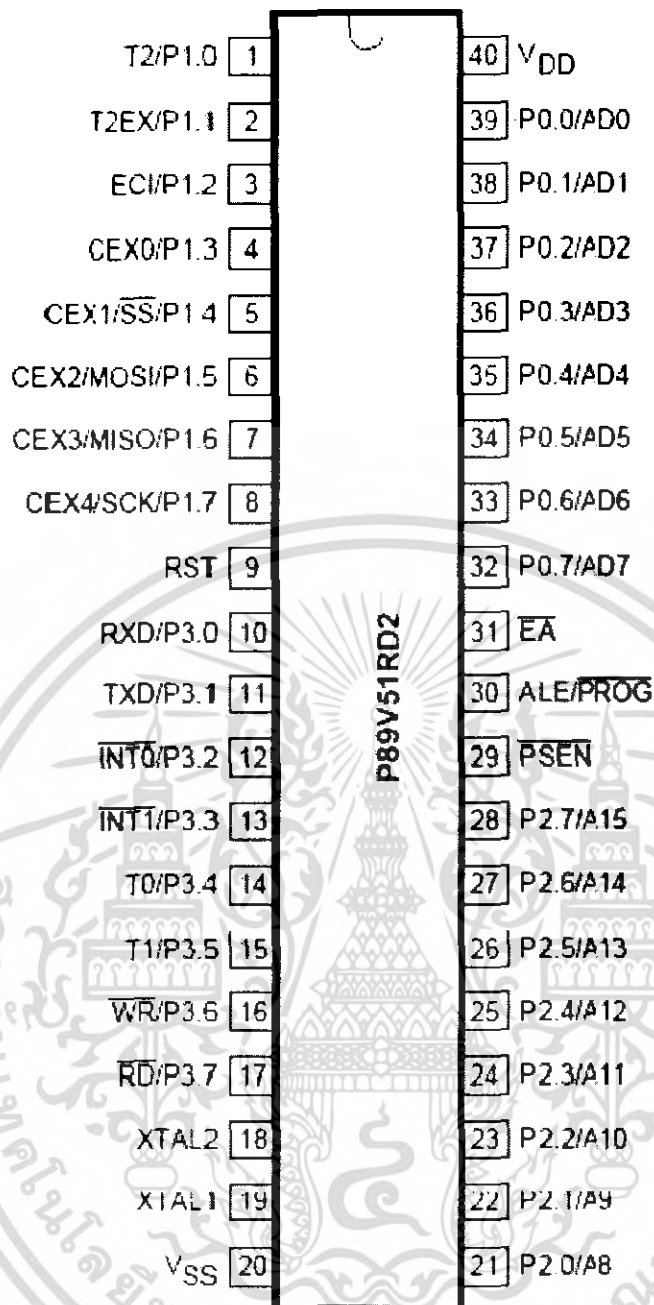
- คำสั่งส่วนใหญ่ใช้เวลาเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกะเฮิร์ตซ์
- มีพอร์ตที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้ง 2 ทิศทาง ซึ่งมีจำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต หรือสามารถใช้งานเป็นพอร์ตขนาด 1 บิต แยกจากกัน ทำให้เหมือนมีพอร์ตขนาด 1 บิต ใช้งานรวมกันทั้งสิ้น 32 พอร์ต
- รับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ในตัว โดยสามารถกำหนดความเร็วของการรับและส่งข้อมูล (Baud rate) ได้ตั้งแต่ 300 – 375 กิโลบิตต่อวินาที
- จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้ 2 ระดับ
- มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานเป็น ไทมเมอร์ หรือเคาน์เตอร์ เพื่อนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในชิป หรือนับเปลี่ยนแปลงสถานะของสัญญาณภายนอก 16 บิต จำนวน 2 ตัว เพื่อที่ใช้สำหรับนับจำนวน Pulse วัดความกว้างของ Pulse หรือใช้วัดช่วงเวลา (ในเบอร์ 8052 จะมี 3 ตัว)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในบางส่วน จะสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับบิต เพื่อให้การออกแบบ โปรแกรมและการควบคุมระบบทำได้ง่ายขึ้น
- มีคำสั่งคูณและหารภายในตัวเอง
- สามารถประมวลผลแบบบูลีน เพื่อใช้งานควบคุมโดยเฉพาะ

### 2.18.2 คุณสมบัติทั่วไปของ P89V51RD2

ไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2 จะมีขาใช้งานพื้นฐานดังแสดงในภาพที่ 2.14 โดยมีรายละเอียดขั้นต้น ดังนี้

- ขา Vcc (ขา 20) ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5
- ขา GND (ขา 40) เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกราวด์ของระบบ
- ขาพอร์ต 0 (ขา 32 - 39 หรือ P0.7 – P0.0) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้ง อินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการที่จะให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย เพื่อให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) ซึ่งมีสถานะ High Impedence จึงจะสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้ในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0 – A7) และขาข้อมูล (D0 – D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานให้เป็นได้ทั้งขาติดต่อกับแอดเดรสและขาข้อมูล
- ขาพอร์ต 1 (ขา 1 – 8 หรือ P1.0 – P1.7) มี 8 ขา ซึ่งแต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้ง อินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย เพื่อให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.14 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2

- ขาพอร์ต 2 (ขา 21 – 28 หรือ P2.0 – P2.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้ง อินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ดังนั้นเพื่อให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะ ปลัอยลอย (Float) ซึ่งมีสถานะ High Impedence สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้น ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้ในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A8 – A15)

- ขาพอร์ต 3 (ขา 10 – 17 หรือ P3.0 – P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้ง อินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนข้อมูล 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อกับ เพื่อให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) ซึ่งมีสถานะ High Impedence สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดขั้นต้นดังต่อไปนี้

ขา P3.0 ใช้สำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD

ขา P3.1 ใช้สำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD

ขา P3.2 ใช้รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา  $\overline{INT0}$

ขา P3.3 ใช้รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา  $\overline{INT1}$

ขา P3.4 ใช้รับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0

ขา P3.5 ใช้รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1

ขา P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ  $\overline{WR}$  ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

ขา P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ  $\overline{RD}$  ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

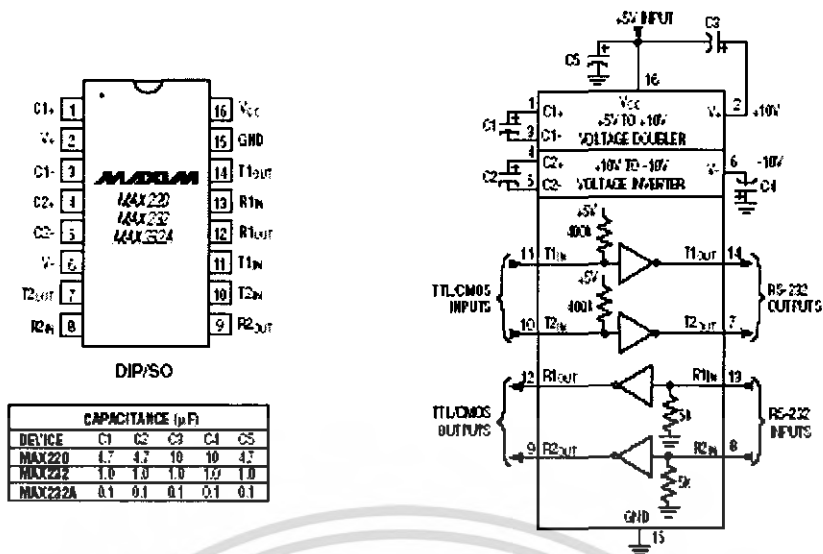
ซึ่งการใช้งานขาพอร์ต 3 ในหน้าที่พิเศษดังกล่าวนี้ จะต้องมีการโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตที่ต้องการใช้ก่อนทุกครั้ง

- ขารีสแตต (ขา 9 หรือ RST) ใช้ในการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเริ่มการทำงานใหม่ ซึ่งจะใช้เมื่อเริ่มจ่ายพลังงานหรือเมื่อใช้โปรแกรมทำงานผิดพลาด โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซ็ต สถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับรีเซ็ตอย่างน้อย 2 แมกซ์ซีไนเซกิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างปกติ

### 2.18.3 การเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

การใช้งานวงจรพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มักนิยมใช้ในการติดต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมในมาตรฐาน RS-232 เป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 นั้น มีระดับตั้งแต่  $\pm 3$  โวลต์ถึง  $\pm 12$  โวลต์ ในขณะที่ระดับสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อยู่ในระดับทีทีแอล เพราะฉะนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ากันกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง จึงต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่าน ไอซีที่ทำหน้าที่ในการแปลงระดับแรงดันของสัญญาณจากระดับทีทีแอล ไปเป็นระดับแรงดันตามมาตรฐาน RS-232 ไอซีดังกล่าว มีด้วยกันหลายเบอร์จากหลายผู้ผลิต อาทิเช่น MAX232 จาก MAXIM หรือ CL232 จาก HARRIS เป็นต้น ในภาพที่ 2.15 แสดงการจัดขาของไอซี MAX232 ซึ่งใช้ในการแปลงสัญญาณ RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.15 การจัดขาของ MAX232

## 2.19 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม

การเคลื่อนที่ถ่ายข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงภายนอกหรือระหว่างคอมพิวเตอร์ด้วยกันมี 2 รูปแบบ คือ รับส่งข้อมูลแบบขนานและรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การรับส่งข้อมูลแบบขนานเป็นการรับและส่งของข้อมูลครั้งละ 4 ถึง 8 บิต ในเวลาเดียวกัน ทำให้การรับและส่งข้อมูลมีความเร็วสูง แต่จำนวนสายที่ใช้ในการถ่ายถอดข้อมูลมีมากเท่ากับจำนวนบิตของข้อมูลที่ทำกรถ่ายถอด และนอกจากนั้นยังมีสายที่ใช้สำหรับควบคุมและตรวจสอบการรับส่งข้อมูลด้วย ซึ่งอาจต้องใช้สายมากเป็น 2 เท่าของจำนวนบิตข้อมูลก็ได้

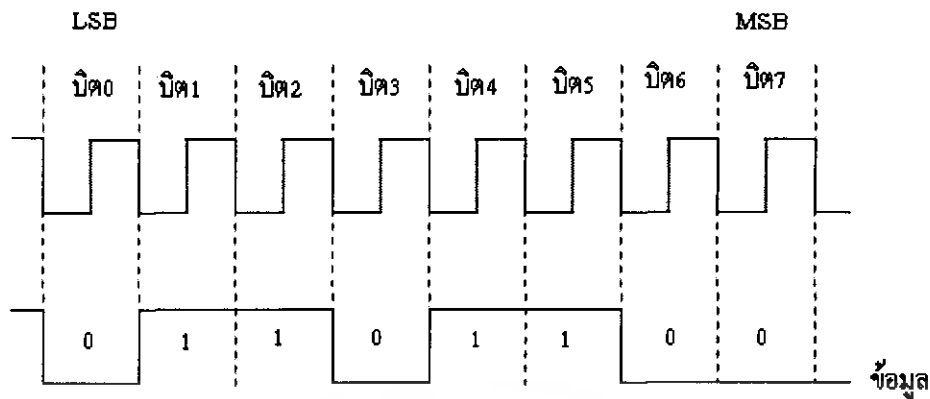
ในขณะที่การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะเป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต โดยมีรูปแบบการรับส่งข้อมูลที่เป็นมาตรฐาน ต้องมีการตรวจสอบความพร้อมในการรับและส่งข้อมูลของตัวส่งและตัวรับ การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีข้อดีเรื่องจำนวนสายสัญญาณที่น้อยมาก และไม่แปรผันตามจำนวนบิตของข้อมูล ระยะทางในการรับส่งข้อมูลสูงกว่าแบบขนานมาก

การสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสและการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

### 2.19.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส จะมีสัญญาณนาฬิกาาร่วมกันอยู่กับการรับและการส่งของสัญญาณ ด้วยตัวอย่างการส่งแบบซิงโครนัส ก็คือตีขั้วบอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา, ข้อมูล และกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

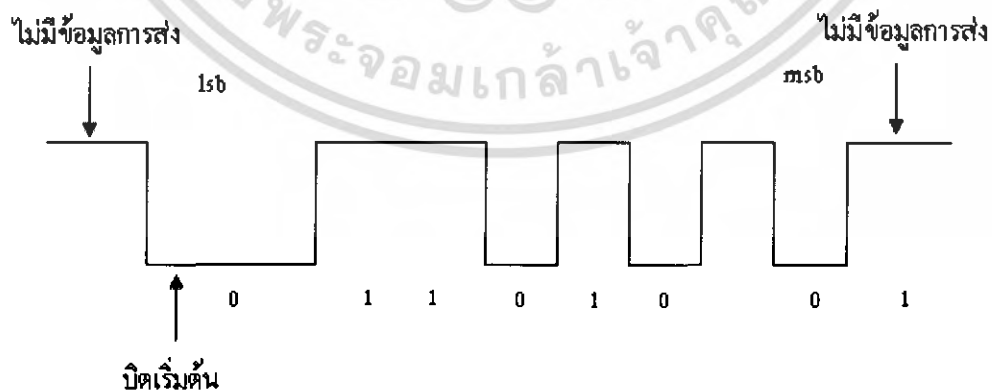


ภาพที่ 2.16 แผนผังการทำงานของเวลาการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

### 2.19.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

เป็นการแก้ปัญหาการซิงโครไนซ์วิธีหนึ่ง การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเกี่ยวข้องกับการส่งอักขระ (Character) แต่ละตัวที่เวลาใดก็ได้ ซึ่งรูปแบบของการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเริ่มต้นด้วยบิตเริ่มต้น (Start Bit) เป็นการบอกจุดเริ่มต้นของการส่งข้อมูล คือ เป็นการเปลี่ยนสถานะของตัวกลางในการส่งข้อมูลจาก idle state (สถานะที่ไม่มีข้อมูลส่ง) ซึ่งระดับแรงดันภายในสายส่งข้อมูลเป็นบิต 1 หรือ Marking มาเป็นสถานะที่มีการส่งข้อมูล

การส่งข้อมูลที่เป็นข้อความ (Text Data) ระหว่างอุปกรณ์ปลายทางกับคอมพิวเตอร์มักเป็นการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ภายหลังจากส่งบิตเริ่มต้นออกไปแล้วจะเป็นบิตข้อมูลจำนวน 7 บิต หรือ 8 บิต แล้วแต่ว่าจะเป็นรหัสอักขระชนิดใด ตามด้วยพาริตีบิต (Parity Bit) จำนวน 1 บิต สำหรับการตรวจวัดความผิดพลาดของข้อมูลและปิดท้ายด้วยบิตหยุด (Stop Bit) จำนวน 1 บิต หรือมากกว่า



ภาพที่ 2.17 ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

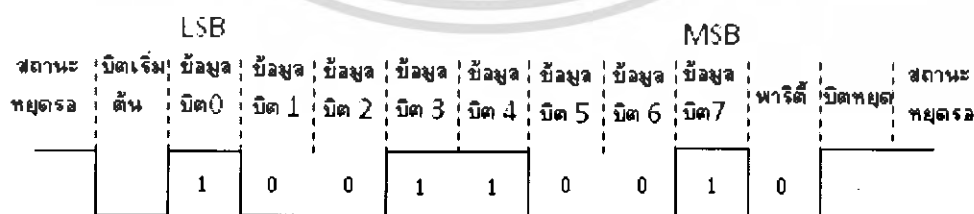
การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือ การรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วย แต่จะใช้การกำหนดอัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตรารวดนี้ว่า อัตราบอดเรท (Baud Rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัส ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (Parity Bit) มีขนาด 1 บิต หรือไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (Stop Bit) มีขนาด 1 บิต

ภาพที่ 2.18 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส และเมื่อไม่มีการส่งข้อมูลขา DATA จะมีสถานะลอจิก “1” เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (Waiting Stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากให้ขา DATA มีลอจิก “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เราเรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น (Start Bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไปโดยเริ่มต้นจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดหรือบิต LSB ก่อน ซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งอาจมีจำนวน 5, 6, 7 หรือ 8 บิตก็ได้ จากนั้นตามด้วยพาริตีบิต (Parity Bit) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งก็คือ บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (Stop Bit) โดยเป็นการทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก “1” อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

อัตราของความถี่ในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส หรือ อัตราบอด เรทหรือบอดเรทที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่า ได้แก่ 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 และ 19,200 บิตต่อวินาที โดยจะมีค่ามากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์เนื่องจากบอดเรท คือ ค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมติว่า ข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์ จะมีความยาวเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรทในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9600 ต่อวินาที ก็จะสามารถส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที



ภาพที่ 2.18 รูปแบบของข้อมูลอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบพาริตีสามารถกำหนดเป็นแบบคี่ (Odd), แบบคู่ (Even) หรืออาจจะไม่มีการตรวจสอบพาริตีก็ได้ พาริตีคี่ หรือพาริตีคู่แสดงถึงจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์รวมพาริตีว่ามีจำนวนเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ ยกตัวอย่างข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99H หรือ 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์มีจำนวนลอจิก “1” จำนวน 4 ตัว ซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตีเป็นคู่ ค่าของพาริตีบิตจะต้องมีลอจิกเป็น “0” แต่ถ้าพาริตีเป็นคี่ ค่าของพาริตีบิตจะต้องมีลอจิกเป็น “1” เพื่อให้ข้อมูลไบต์รวมทั้งพาริตีบิตเป็นคี่

บิตพาริตี (Bit Parity) นั้น ได้ถูกสร้างขึ้นมาจากภายในของภาคส่งข้อมูลของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ซึ่งทางภาครับนั้นจะต้องกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตีที่ตรงกันเอาไว้ว่า จะตรวจสอบพาริตีคี่ หรือพาริตีคู่ โดยการนับจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตีด้วย ถ้ากำหนดพาริตีไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้รับทราบ กระบวนการดังกล่าวนี้เป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่มันสามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตีบิตเป็น None นั้นทั้งภาครับและภาคส่ง จะไม่มีการตรวจสอบพาริตี

**2.19.3 การเชื่อมต่อไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART)**

มีอยู่ 2 โหมดด้วยกัน คือ

- Single Processor Mode : ในโหมดนี้เราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ตัวเชื่อมเข้าหากัน
- Multi Processor Mode : ในโหมดนี้เราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 1 ตัวกำหนดเป็นตัวแม่

(Master) และอีก 0-256 เป็นตัวลูก (Slave)

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

**ภาพที่ 2.19** รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลอนุกรม SCON (อยู่ใน SER ตำแหน่ง 98H)

SM2 บิตเลือกการทำงานเป็นแบบ Single Processor Environment หรือ Multiprocessor -Environment

1 : เลือก Single Multiprocessor Environment ใช้ได้กับโหมด 2, 3

0 : เลือก Single Processor Environment ใช้ได้กับทุกโหมด

เมื่อเลือกการทำงานรับข้อมูลแบบ Multiprocessor Mode แล้ว

ถ้าข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับได้มีค่าเป็น 1 RI จะเซ็ท

ถ้าข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับได้มีค่าเป็น 0 RI จะไม่เซ็ท

REN (Receive Enable) บิตควบคุมให้รับหรือไม่รับข้อมูล

1 : ให้รับข้อมูลได้

0 : ห้ามรับข้อมูล

TB8 (Transmit bit D8) ข้อมูลบิตที่ 9 ที่จะส่งออกไปในโหมด 2,3 ให้ใส่ในบิตนี้ได้เลย

RB8 (Receive bit D8) ข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาจะมากับในบิตนี้ (ข้อมูลบิตที่ 9 ก็คือค่าใน TB8 ทางด้านส่ง นั่นเอง)

TI แฟล็กซ์ TI จะเป็น 1 เมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล 1 ไบต์

RI แฟล็กซ์ RI จะเป็น 1 เมื่อรับข้อมูลเสร็จ 1 ไบต์ (บิต RI, TI ผู้เขียนโปรแกรมนั้นจะต้องเคลียร์เอง)

#### 2.19.4 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

เป็นมาตรฐานที่ใช้กันกว้างขวางมากที่สุดถูกประกาศในปี 1969 โดย Electronic Industries Association (EIA) เพื่อใช้กำหนดการเชื่อมต่อของอุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง (Data Terminal Equipment : DTE) โดยที่ RS ย่อมาจาก Recommended Standard และ 232 เป็นหมายเลขบ่งบอกของมาตรฐานตัวนี้ C เป็นหมายเลขของฉบับสุดท้ายของมาตรฐานตัวนี้

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้ส่งผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดที่อยู่ห่างไกล โดยสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ -3V จนถึง -12V แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และ +3V จนถึง +12V แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space)

มาตรฐาน RS-232 ถูกใช้ในการกำหนดรูปแบบของการสื่อสารข้อมูลกัน ระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) และวงจรข้อมูลปลายทาง (Data-Circuit Terminating : DCE) อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลภายในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่ได้เห็นได้ชัด คือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ในโมเด็มจะเป็นแบบ DCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการใช้งานคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 ถูกใช้เพื่อเชื่อมต่อกับโมเด็ม, เม้าส์ และเครื่องพิมพ์ที่สามารถติดต่อทางพอร์ตอนุกรมได้

### 2.19.5 สัญญาณที่ใช้ทั้งหมดใน RS-232-C

- Protective Ground (PG ขาที่ 1)

หมายถึงตัวถังของเครื่องหรือสายดิน

- Transmit Data (TD ขาที่ 2)

เป็นสัญญาณที่ส่งออกมาจาก DTE (ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์) ส่งไปยังโมเด็มหรือต่อเข้าโดยตรงกับไมโครคอมพิวเตอร์ตัวอื่นหรือเครื่องพิมพ์ เมื่อไม่มีสัญญาณส่งออก สถานภาพของลอจิกจะมีค่าเท่ากับ "1" สภาวะ "OFF" หรือเทียบเท่ากับ Stop Bit ไม่ว่าจะป็นระบบอะไร DTE ต้องไม่ส่งข้อมูลออกไปจนกว่าสัญญาณ

1. Request To Send (RTS)
2. Clear To Send (CTS)
3. Data Set Ready (DSR)
4. Data Terminal Ready (DTR)

ทั้งหมดนี้อยู่ในสภาวะ "ON"

- Receive Data (RD ขาที่ 3)

เป็นทางของสัญญาณเข้าไปยัง DTE เมื่อไม่มีสัญญาณรับเข้ามา ขานี้จะมีสถานภาพเป็น "1" หรือสภาวะ "OFF"

- Request To Send (RST ขาที่ 4)

จาก DTE ไปยัง DCE

สภาวะ ON คือ บังคับให้ DCE อยู่ใน Transmitting Mode ต่อไป

สภาวะ OFF คือ บังคับให้ DCE อยู่ใน Receiving Mode ต่อไป

การเปลี่ยนจาก OFF ไป ON เป็นการบอกให้ DCE จัดการกับระบบสื่อสาร เพื่อให้ช่องทางต่อเชื่อมและให้สัญญาณ Clear To Send (CTS) กลับมาเป็นการบอกว่าจะส่งได้

การเปลี่ยนจาก ON ไป OFF เป็นการบอกให้ DCE ส่งข้อมูลผ่านช่องสื่อสารให้หมดแล้ว กลับไปอยู่ใน Receiving Mode พร้อมกับให้ CTS เป็น 0

- Clear To Send (CTS ขาที่ 5)

จาก DCE ไป DTE สภาวะ NO หมายความว่าข้อมูลจากทาง DTE ขา 2 จะถูกส่งต่อไปในช่องทางสื่อสาร (โมเด็มส่งข้อมูลออกสายโทรศัพท์) ทันที CTS จะ ON หลังจาก DSR และ RTS อยู่ในสภาวะ ON และการเชื่อมของวงจรสื่อสาร (ขุมสายโทรศัพท์) เสร็จแล้ว

- Data To Send (DTS ขาที่ 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก DCE ไป DTE คือความพร้อมของโมเด็มนั่นเอง จะเป็น NO (พร้อม) ต่อเมื่อ

1. DCE (โมเด็ม) เปิดเครื่องอยู่ และอยู่ในสภาวะ off – hook (เหมือนยกหูโทรศัพท์)
2. DCE ไม่อยู่ใน Test Mode
3. DCE ทำการส่งสัญญาณไปยังชุมสายเสร็จแล้ว

DSR อยู่ในสภาวะ ON เป็นการบอก DTE ว่า โมเด็มต่อเข้ากับสายโทรศัพท์เรียบร้อยแล้ว และพร้อมที่จะส่ง

DSR อยู่ในสภาวะ OFF หมายถึงให้ DTE ตรวจสอบ Ring Indicator

- Signal Group (SG ขาที่ 7)

คือสายร่วมของสัญญาณทุกตัว

- Carrier Detect (CD ขาที่ 8)

จาก DCE ไป DTE

สภาวะ ON หมายถึง DCE จับสัญญาณพาหะในช่องทางสื่อสารที่จะทำการคิโมดูเลตได้

สภาวะ OFF คือไม่ได้รับสัญญาณอะไรเลย หรือได้รับสัญญาณ แต่ไม่สามารถคิโมดูเลตเอาข้อมูลออกมาได้

- Data Terminal Ready (DTR ขาที่ 20)

จาก DTE ไป DCE

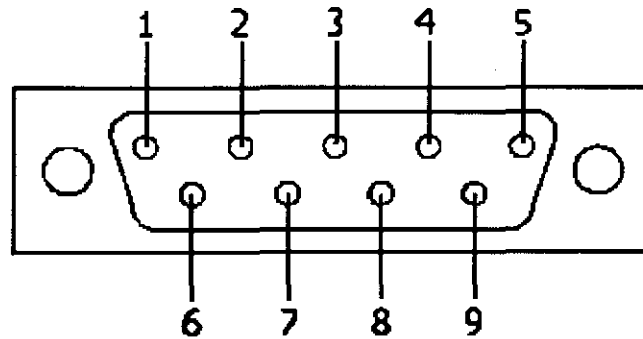
สภาวะ ON หมายถึงว่า DCE เตรียมเพื่อเชื่อมต่อกับตัวอื่น และรักษาช่องทางติดต่อไว้ต่อไป (การเชื่อม Channel ทำได้หลายทาง คือ หมุนเรียกด้วยมือหรืออัตโนมัติ) ถ้า DCE สามารถตอบรับสัญญาณเรียก (Call) ได้ ก็ให้ตอบรับ (Answering) เมื่อมีสัญญาณเรียก Ring Indicator และ DTR ON อยู่ สภาวะ OFF คือ วางหู และเมื่อ OFF แล้วไม่ต้อง ON อีกจนกว่า DSR จะ OFF

- Ring Indicator (RI ขาที่ 22)

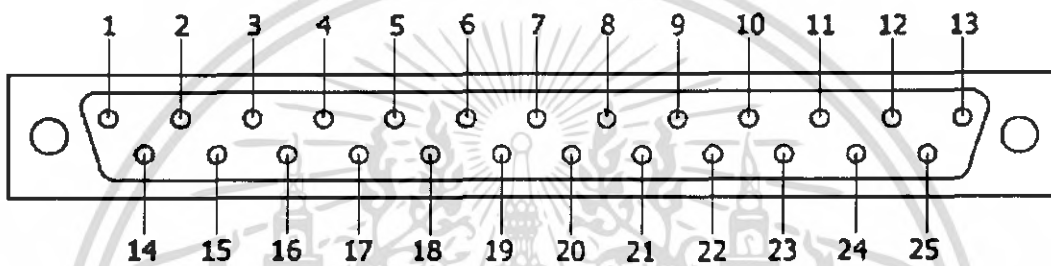
จาก DCE ไป DTE เหมือนสัญญาณเรียกของโทรศัพท์ แต่เป็นดิจิทัล ใช้ในระบบตอบได้อัตโนมัติ (Auto-answer) สัญญาณจะ ON เมื่อมีสัญญาณกระดิ่งเข้ามา และจะ OFF ระหว่างเสียงดังของกระดิ่ง

### 2.19.6 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้ หรือ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาใช้งานเพียง 9 เส้น เช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9



ก) คอนเน็กเตอร์อนุกรม 9 ขา หรือแบบ DB-9 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)



ข) คอนเน็กเตอร์อนุกรม 25 ขา หรือแบบ DB-25 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)

ภาพที่ 2.20 คอนเน็กเตอร์อนุกรม

ตารางที่ 2.3 การจัดขาสัญญาณของพอร์ตอนุกรมในแบบต่าง ๆ และหน้าที่การทำงาน

คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier Detec:DCD	อินพุต
2	3	Received Data: RxD	อินพุต
3	2	Transmitted Data: TxD	เอาต์พุต
4	20	Data Terminal Ready: DTR	เอาต์พุต
5	7	Single Ground: GND	-
6	6	Data Set Ready: DSR	อินพุต
7	4	Request To Send: RTS	เอาต์พุต
8	5	Clear To Send: CTS	อินพุต
9	22	Ring Indicator: RI	อินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขา Data Carrier Detect : DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็มสำหรับใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ถูกนำมาใช้งานมากนัก
- ขา Received Data : RD หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยจะนำข้อมูลที่อ่านได้ไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์
- ขา Transmitted Data : TD หรือ TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลอนุกรมออกจากคอมพิวเตอร์ โดยการนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับข้อมูลส่งออกไป
- ขา Data Terminal Ready : DTR ขานี้เป็นขาเอาต์พุตที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณออกจากคอมพิวเตอร์ เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าการติดต่อกับอุปกรณ์ปลายทาง โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทาง จะต้องเชื่อมกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์และถ้าใช้การเชื่อมต่อแบบ 3 สาย ต้องเชื่อมต่อกับขา DTR และ DSR ของพอร์ตอนุกรมเข้าด้วยกัน และจะต้องต่อเชื่อมเข้ากับขา DCE ด้วย ในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห์
- ขา Single Ground : GND เป็นขากาวด์ของสัญญาณ
- ขา Data Set Ready : DSR ขานี้จะใช้ควบคู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอก
- ขา Request To Send : RTS เป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณร้องขอ เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลมาให้คอมพิวเตอร์โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ซึ่งในกรณีที่มีการเชื่อมต่อแบบ 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อกับขา RTS และ CTS เข้าด้วยกัน เพื่อให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา
- ขา Clear To Send : CTS เป็นขาอินพุตทำหน้าที่รรับสัญญาณที่ส่งเข้ามา เมื่อมีการส่งสัญญาณเข้ามาที่ขานี้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ขานี้ จะใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้วหรือยัง
- ขา Ring Indicator : RI เป็นขาที่ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ซึ่งปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับ โมเด็ม แล้วยังมีความต้องการตรวจสอบสัญญาณเรียกสายโทรศัพท์

### 2.19.7 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

ในการทำงานของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ตัวดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.19.7.1 รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรม หรือ SBUF (Serial Data Buffer Register)

มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษหรือ SFR มีขนาด 8 บิต แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลและรับข้อมูล เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลและรับข้อมูล เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล เพื่อส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TxD หรือขา P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับข้อมูล เพื่อส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านออกมาทางขา RxD หรือที่ P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

### 2.19.7.2 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม หรือ SCON (Serial Port Control Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ 98H อยู่ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีรายละเอียดการทำงานดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

ภาพที่ 2.21 แสดงรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมในแต่ละบิตของพอร์ตอนุกรม

**SM0 – SM1 (Serial Port Mode Bit 0 -1) :** ใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **SM2 :** ใช้ในการเอ็นเอเบิลการสื่อสารในแบบมัลติโปรเซสเซอร์ ในการทำงานของโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ถ้าหากบิตนี้เป็น “1” บิต R1 จะไม่แอกทีฟ ถ้าบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น “0” ในการทำงานโหมด 1 ถ้าหากบิตนี้เซต บิต RI จะไม่แอกทีฟถ้ายังไม่ได้รับบิตหยุดส่วนในโหมด 0 บิตนี้ไม่มีการใช้งาน

- **REN (Enable Serial Reception) :** ใช้ในเอ็นเอเบิลการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรมทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

- **TB8 :** ใช้สำหรับเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่ต้องการส่งออกไป ในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แต่ถ้าหากพอร์ตอนุกรมนั้นทำงานใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 1 และ บิต SM2 เป็น “0” ข้อมูลที่บิต RB8 คือ ข้อมูลของบิตหยุด สำหรับในการทำงานในโหมด 0 บิตนี้ไม่ใช้งาน บิต RB8 นี้ สามารถเซตด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

- **TI (Transmit Interrupt Flag) :** ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ซึ่งสามารถเซตได้ด้วยกระบวนการฮาร์ดแวร์ เมื่อมีการส่งข้อมูลบิตที่ 8 ไปเรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ในส่วนของการทำงานในโหมดอื่น บิตนี้จะเซต เมื่อมีการเริ่มต้นส่งบิตหยุดออกไป การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

- **RI (Receive Interrupt Flag) :** ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการรับข้อมูลเข้าสู่พอร์ตอนุกรม สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการฮาร์ดแวร์ เมื่อมีการรับข้อมูลบิตที่ 8 ไปเรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซต เมื่อรับบิตหยุดของข้อมูลอนุกรมไปได้ครึ่งทางแล้ว ยกเว้นกรณีที่บิต SM2 มีการเซต บิตนี้จะเซต ได้ ก็ต่อเมื่อการรับบิตหยุดหรือบิตที่ 9 เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

## 2.19.8 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

### 2.19.8.1 การใช้งานพอร์ตสื่อสารอนุกรมแบบ Single Processor

พอร์ตสื่อสารอนุกรมมีโครงสร้างการทำงานในแบบที่เรียกว่า ฟูลดูเพล็กซ์ (Full-Duplex) สามารถรับและส่งข้อมูลอนุกรมได้ในเวลาเดียวกัน

- ทางด้านส่งใช้ขา TxD (พอร์ต 3.1)
- ทางด้านรับใช้ขา RxD (พอร์ต 3.0) Serial Port Buffers (SBUF) ใช้เป็นบัฟเฟอร์สำหรับรับและส่งข้อมูลอนุกรมโดยมีอยู่ 2 ตัว
  - การส่งข้อมูล ข้อมูลที่จะส่งให้ใส่ใน SBUFm โดยใช้คำสั่ง MOV SBUF ,A โดยเตรียมข้อมูลที่จะส่งเข้า A ก่อน
  - การรับข้อมูล ข้อมูลที่ได้รับจะอยู่ใน SBUF การถ่ายโอนข้อมูลออกมา ใช้คำสั่ง MOV A,SBUF จึงนำข้อมูลใน A ไปใช้

พอร์ตสื่อสารอนุกรมสามารถโปรแกรมการทำงานได้หลายโหมดด้วยกัน โดยเลือกที่บิต SM1 และ SM0 ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์ควบคุม พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเลือกการทำงานได้ถึง 4 โหมด มีดังนี้

**ตารางที่ 2.4** แสดง SM0,SM1 บิตเลือกโหมดการทำงาน

SM0	SM1	โหมด	การทำงาน
0	0	0	Shift register ความเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลเท่ากับ (1/12) ของ CPU OSC
0	1	1	8 Bit UART ความเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลกำหนดได้จาก Timer1,2
1	0	2	9 Bit UART ความเร็วในการรับหรือส่งข้อมูล = (1/32) หรือ (1/64) เท่าของ CPU OSC โดยขึ้นอยู่กับบิต SMOD ใน PCON
1	1	3	9 Bit UART ความเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลกำหนดที่ Timer1,2

1. โหมด 0 เป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรมทำงานในลักษณะของชิฟต์รีจิสเตอร์ การทำงานในโหมดนี้ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการเชื่อมต่อกับไอซีรีจิสเตอร์ภายนอกเพื่อทำการขยายพอร์ตอินพุตหรือพอร์ตเอาต์พุต แต่จะไม่นิยมใช้งานมากนัก เนื่องจากในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เองมีพอร์ตอยู่ค่อนข้างมาก และติดต่อกับพอร์ตเหล่านั้นได้ง่ายและเร็วกว่ามาก

2. กำหนดจากอัตราการเกิดโอเวอร์โฟลว ของไทมเมอร์ 1 ใน AT89C51 ส่วนในไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT98C52 และในอนุกรม AT89Sxx จะสามารถเลือกใช้อัตราการเกิดโอเวอร์โฟลวของไทมเมอร์ 1 หรือ ไทมเมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอดได้ การทำงานในโหมดนี้ได้รับความนิยมสูงสุด เนื่องจากมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน และสามารถทำการรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. โหมด 2 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต โดยมีอัตราบอดคงที่

4. โหมด 3 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้ การเลือกโหมดทำได้ด้วยการกำหนดข้อมูลให้แก่บิต SM0 และ SM1 ในรีจิสเตอร์

SCON

### 2.19.8.2 อัตราบอดของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

#### โหมด 0

อัตราบอดของโหมดนี้จะต้องใช้ค่าบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON มาพิจารณาประกอบด้วย สามารถคำนวณค่าอัตราบอดได้จาก

$$\text{อัตราบอด} = (2^{\text{ค่าของบิตSMOD}} / 32) * \text{อัตราโอเวอร์โฟลวของไทมเมอร์ 1}$$

ถ้าหากไทมเมอร์ 1 ไม่ได้เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ไว้ จะสามารถคำนวณค่าของอัตราบอดได้จาก

$$\text{อัตราบอด} = (2^{\text{ค่าของบิตSMOD}} / 32) * (\text{ความถี่สัญญาณนาฬิกา} / \{12x[256-(TH1)]\})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดอัตราบอดโดยใช้ไทมเมอร์ แสดงในตารางที่ 2.5

### โหมด 2

ในโหมดนี้อัตราบอดจะขึ้นอยู่กับค่าของบิต SMOD ภายในรีจิสเตอร์ PCON ถ้า SMOD เป็น “0” อัตราบอดจะเท่ากับ 1/64 ของสัญญาณนาฬิกา กรณี SMOD เป็น “1” อัตราบอดจะเท่ากับ 1/32 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา สามารถแสดงเป็นสูตรคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ มีค่าคงที่ โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

อัตราบอดในโหมด = ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา/2 หน่วยเป็น บิตต่อวินาที

### โหมด 1 และ 3

เนื่องจากทั้งสองโหมดนี้สามารถเลือกแหล่งกำเนิดอัตราบอดได้ 2 แหล่ง คือ จาก อัตราการเกิดโอเวอร์โฟลวของไทมเมอร์ 1 และ 2 สำหรับอัตราบอดเมื่อใช้การโอเวอร์โฟลวของ ไทมเมอร์ 1

$$\text{อัตราบอด} = (2^{\text{ค่าของบิตSMOD}} / 64) * \text{ความถี่สัญญาณนาฬิกา}$$

ตารางที่ 2.5 การเลือกอัตราบอดของวงจรถ่ายโอนข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

อัตราบอด (บิตต่อวินาที : bps)	ความถี่สัญญาณ นาฬิกา	SMOD	ไทมเมอร์ 1		
			C/T	โหมด	ค่ารีโหลด
โหมด0: สูงสุด 1 MHz	12MHz	x	x	x	x
โหมด2: สูงสุด 375 kHz	11.0592 MHz	1	x	x	x
โหมด1,3:62.5 kHz	11.0592 MHz	1	0	2	FFH
19.2k (19,200)	11.0592 MHz	1	0	2	FDH
9.6k (9,600)	11.0592 MHz	0	0	2	FDH
4.8 k (4,800)	11.0592 MHz	0	0	2	FAH
2.4 k (2,400)	11.0592 MHz	0	0	2	F4H
1.2 k (1,200)	11.0592 MHz	0	0	2	E8H
137.5	11.0592 MHz	0	0	2	IDH
110	6MHz	0	0	2	72H
110	12MHz	0	0	1	FEEBH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.20 การส่งข้อมูลแบบขนาน ( Parallel Transmission )

ภาพที่ 2.21 จะแสดงการส่งข้อมูลแบบขนาน ซึ่งแต่ละบิตในบล็อกรหัสของบิตข้อมูลที่จะส่งมีสายสัญญาณสำหรับส่งเป็นของตนเอง ดังนั้นบิตทุกบิตจะถูกส่งออกไปพร้อม ๆ กัน ในการส่งข้อมูลแบบขนานต้องมีวงจรควบคุม (Control Circuit) แยกออกมาจากวงจรส่งข้อมูล (Data Circuit) สำหรับการซิงโครไนซ์ (Synchronization) สัญญาณที่ส่งมา

ผู้ส่งจะใช้วงจรควบคุมวงจรหนึ่งสำหรับแจ้งให้ผู้รับได้ทราบว่า ผู้ส่งพร้อมที่จะส่งข้อมูลแล้ว (Ready/Busy Line) ผู้รับจะใช้วงจรควบคุมอีกวงจรหนึ่งสำหรับเพื่อที่จะแจ้งให้ผู้ส่งทราบว่า ได้รับข้อมูลแล้ว และพร้อมที่จะรับข้อมูลชุดใหม่ (Demand Line)

เรามักใช้การส่งข้อมูลแบบขนานสำหรับการส่งข้อมูลระยะสั้น เช่น การต่อร่วมกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่อพ่วง ( Peripheral ) หรือเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากจะมีการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากความต้านทานของสาย และปัญหาที่เกิดขึ้นหากระยะทางของสายยาวคือ ระดับของกราวด์ในทางไฟฟ้าที่ถูกรับผิดออกไปจากจุดส่ง ทำให้เกิดการผิดพลาดในการรับสัญญาณทางฝ่ายรับ

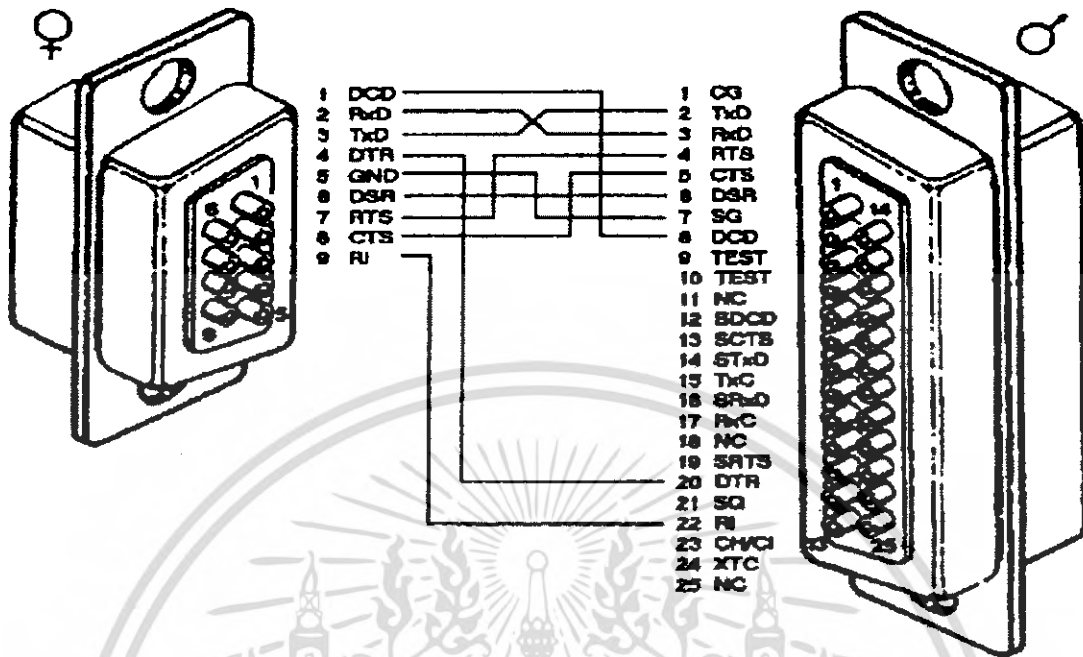
และอีกกรณีหนึ่งคือเมื่อระยะทางในการส่งข้อมูลไกลขึ้น ต้นทุนของสายสัญญาณหลาย ๆ เส้น มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย



ภาพที่ 2.21 การส่งข้อมูลแบบขนานครั้งละ 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.21 คอนเน็กเตอร์แบบ 9 พิน (DB-9) และแบบ 25 พิน (DB-25)



ภาพที่ 2.22 แสดงคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 และ แบบ DB-25

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดค่าต่างๆ ของคอนเน็กเตอร์ DB-9

หมายเลขขั้วสัญญาณ	ชื่อของขั้วสัญญาณ
1	Data Carrier Detect
2	Receive Data
3	Transmitted Data
4	Data Terminal Ready
5	Signal Common
6	Data Set Ready
7	Request to Send
8	Clear to Send
9	Ring Indicator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.6** รายละเอียดขาต่างๆ ของคอนเน็กเตอร์ DB-25

หมายเลขขาสัญญาณ	ชื่อของสายสัญญาณ
1	Protective Ground
2	Transmitted Data
3	Receive Data
4	Request to Send
5	Clear to Send
6	Data Set Ready
7	Signal Ground
8	Received Line Signal Detector
9	Received for Data Set Testing
10	Received for Data Set Testing
11	Unsigned
12	Secondary Received Line Signal Detector
13	Secondary Transmitted Data
14	Secondary Clear to Send
15	Transmitted Signal Element Timing ( DTE source )
16	Secondary Receive Data
17	Received Signal Element Timing
18	Unsigned
19	Secondary Request to Send
20	Data Terminal Ready
21	Signal Quality Detector
22	Ring Indicator
23	Data Signal Rate Select ( DTE/DCE Source )
24	Transmit Signal Element Timing ( DTE Source )
25	Unsigned

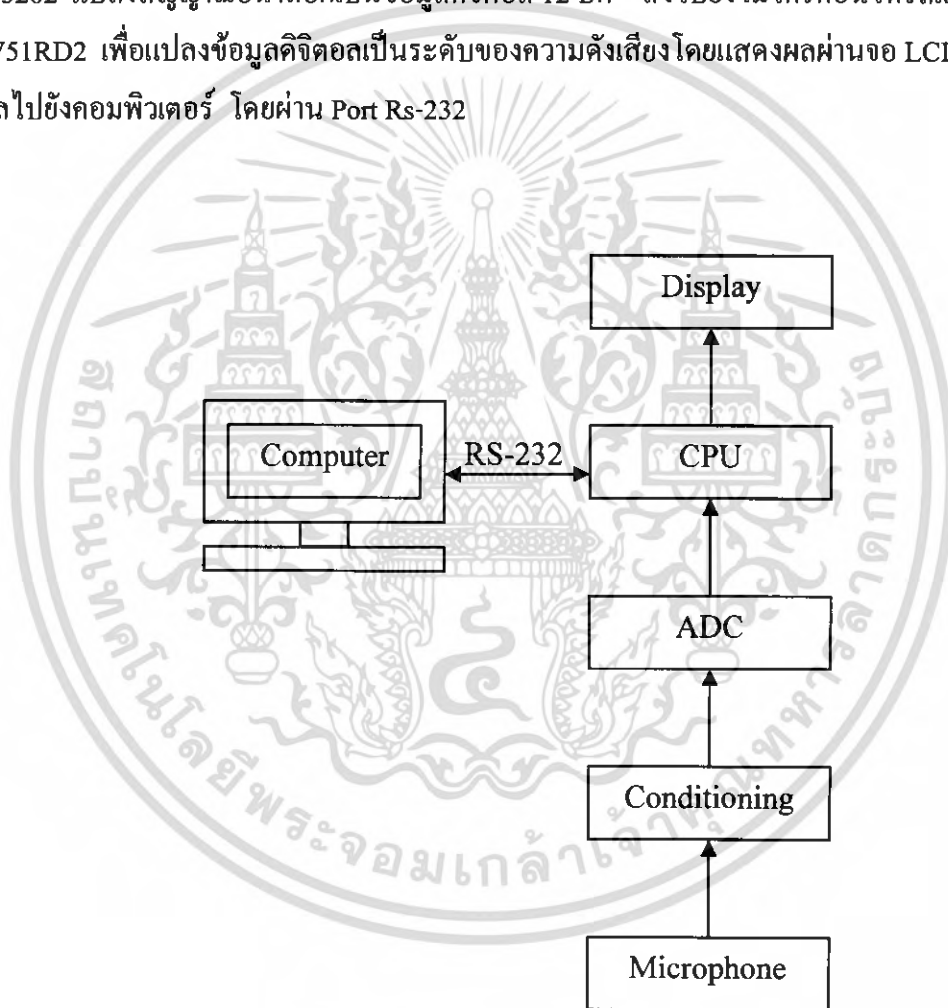
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การคำนวณและการสร้าง

#### 3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

สัญญาณเสียงที่ได้รับจากทางไมโครโฟนจะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และนำสัญญาณไปผ่านวงจรขยายสัญญาณเพื่อให้แรงดันอยู่ในช่วง 0 – 5 โวลต์ จากนั้นแรงดันไฟฟ้าจะถูกแปลงให้เป็นข้อมูลทางดิจิทัลโดยใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ซึ่งเราเลือกใช้ไอซีเบอร์ MCP3202 แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นข้อมูลดิจิทัล 12 บิต ส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ P89V51RD2 เพื่อแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นระดับของความดังเสียงโดยแสดงผลผ่านจอ LCD และส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ โดยผ่าน Port Rs-232



ภาพที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมโดยรวมของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

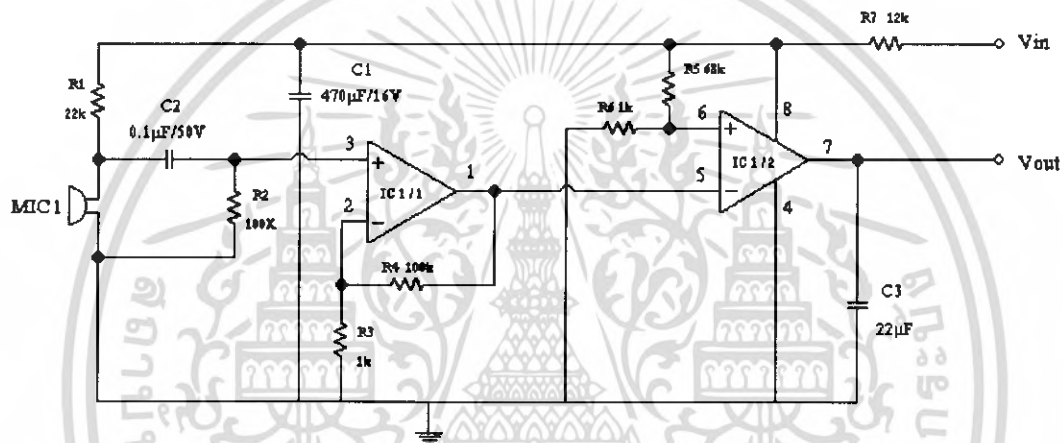
## 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้

### 3.2.1 ไมโครโฟน

ในวงจรจะใช้คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน ซึ่งมีหน้าที่แปลงแรงดันอากาศที่มากระทบ ไปเป็นแรงดันทางไฟฟ้า ซึ่งเราใช้ไมโครโฟนที่มีค่าความไว (Sensitivity) 0.1 โวลต์ต่อไมโครบาร์ ( $V/\mu\text{Bar}$ )

### 3.2.2 วงจรจัดระดับเงื่อนไขของสัญญาณ (Signal Conditioning)

สัญญาณแรงดันที่ได้จากไมโครโฟนจะเป็นสัญญาณขนาดเล็ก จึงต้องทำการขยายสัญญาณ โดยใช้โอซีออปแอมป์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้แรงดันเอาต์พุตอยู่ในช่วง 0-5 โวลต์

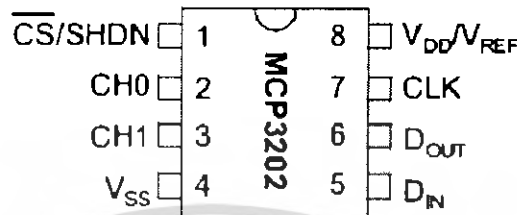


ภาพที่ 3.2 วงจรจัดระดับเงื่อนไขของสัญญาณ

จากภาพไมโครโฟน (MIC1) จะให้ค่า Output ออกมาเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำมาก ๆ (mV) ตัวเก็บประจุ (C2) จะทำหน้าที่กันสัญญาณ DC เพื่อให้สัญญาณที่ผ่านเป็นสัญญาณ AC ออปแอมป์ ตัวที่ 1 (IC1/1) จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณ ทำให้ได้ค่า Output ออกมาประมาณ 100 เท่า โดยที่ gain จะมีค่าเท่ากับ  $1 + \frac{R4}{R3} \approx 100$  เท่า จากนั้นออปแอมป์ตัวที่ 2 (IC1/2) จะทำหน้าที่เป็น comparator โดยมี R5 เป็นขาอ้างอิง ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้า Output ที่ออกมาจาก ออปแอมป์ตัวที่ 1 (IC1/1) มีค่ามากกว่าที่ขาอ้างอิง จะถูกตัดลง ground และทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้ามียค่าเท่ากับ 0 แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้า ที่ออกมาจาก ออปแอมป์ตัวที่ 1 (IC1/1) มีค่าน้อยกว่าที่ขาอ้างอิง ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ (Vout) จะมีค่าประมาณ  $V_{in}$

### 3.2.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Convertor)

ในวงจรนี้ได้เลือกใช้ไอซี MCP3202 รับอินพุตที่เป็นสัญญาณอนาล็อก จากวงจรขยายสัญญาณเข้ามาทางขา CH0 (ขา 2) และแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตที่มีขนาด 12 บิต ส่งเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2



ภาพที่ 3.3 ไอซี MCP3202

ไอซี MCP3202 จะใช้มาตรฐานของการสื่อสารแบบ SPI หรือ Serial Peripheral Interface เป็นมาตรฐานหนึ่งของการสื่อสารแบบ Serial มีการรับส่งข้อมูลระหว่าง Master (ส่วนใหญ่จะเป็น MCU) กับ Slave (อาจจะเป็น MCU หรือ IC อื่นๆที่มี SPI ก็ได้) การรับส่งข้อมูลเป็นแบบ Full-Duplex คือ สามารถรับและส่งข้อมูลได้พร้อมกัน และเป็นแบบ Synchronous คือ การรับส่งข้อมูลจะเป็นไปตามจังหวะสัญญาณ Clock ที่ Master ส่งออกมา (แบบ Asynchronous จะไม่ใช่สัญญาณ Clock แต่จะใช้การตั้งค่า Baudrate ให้ตรงกัน)

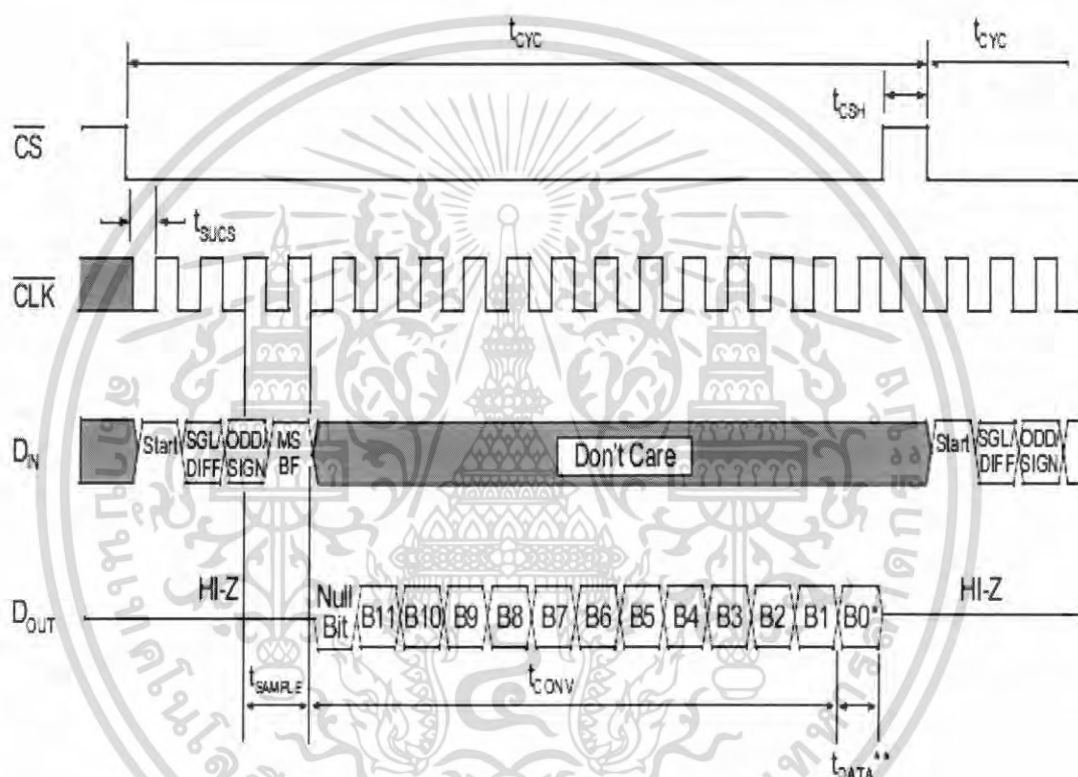
ตารางที่ 3.1 การปรับตั้งค่า Bit ของไอซี MCP3202

	Config Bits		Channel Selection	
	Sg/Diff	Odd/Diff	0	1
<b>Single Ended Mode</b>	1	0	+	-
	1	1	-	+
<b>Pseudo-Differential Mode</b>	0	0	IN+	IN-
	0	1	IN-	IN+

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.1 จะแสดงการปรับตั้งค่า Bit สำหรับ ไอซี MCP3202 ภายหลังจากได้รับ Start Bit อุปกรณ์จะเริ่มดำเนินการ Sample สัญญาณอนาล็อก Input ที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา ลูกที่สอง ช่วงเวลาของการ Sample จะจบที่ขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกา ลูกที่สาม ภายหลังจากได้รับ Start Bit

ที่ขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกาของ MSBF Bit อุปกรณ์จะให้ Output ออกมาเป็น Null -Bit สถานะ Low สัญญาณนาฬิกา 12 ลูกถัดไป จะให้ Output ออกมาเป็นผลของการแปลงค่า (Conversion) ด้วยรูปแบบที่แสดงในภาพที่ 3.4

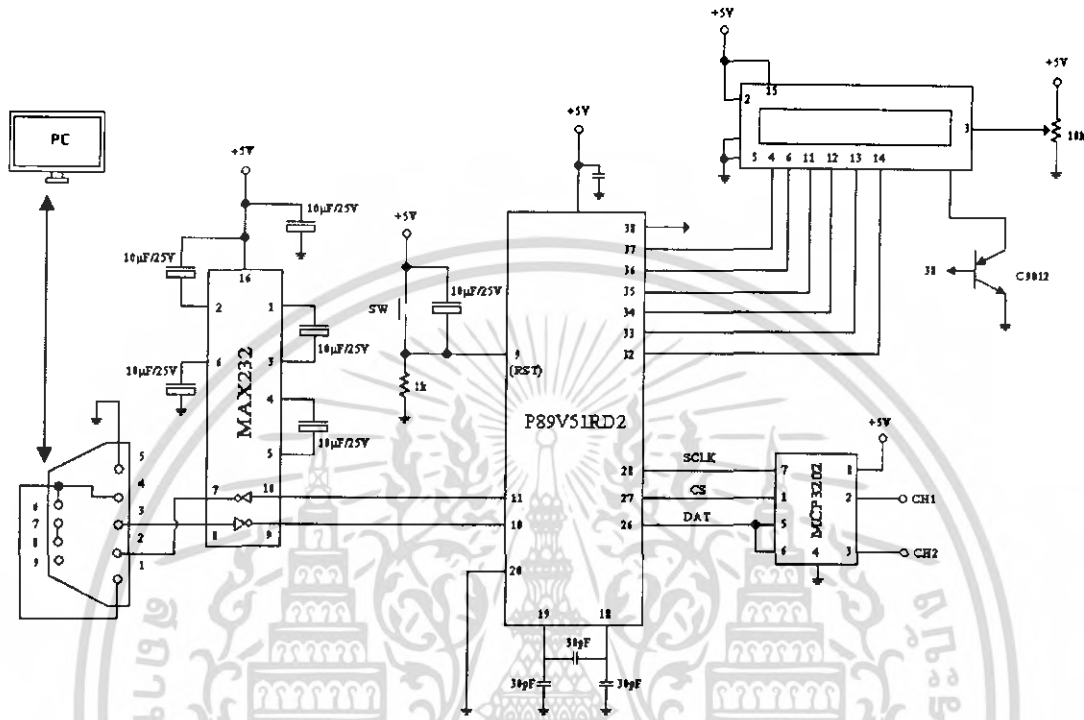


ภาพที่ 3.4 รูปแบบของการติดต่อสื่อสารด้วย MCP3202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

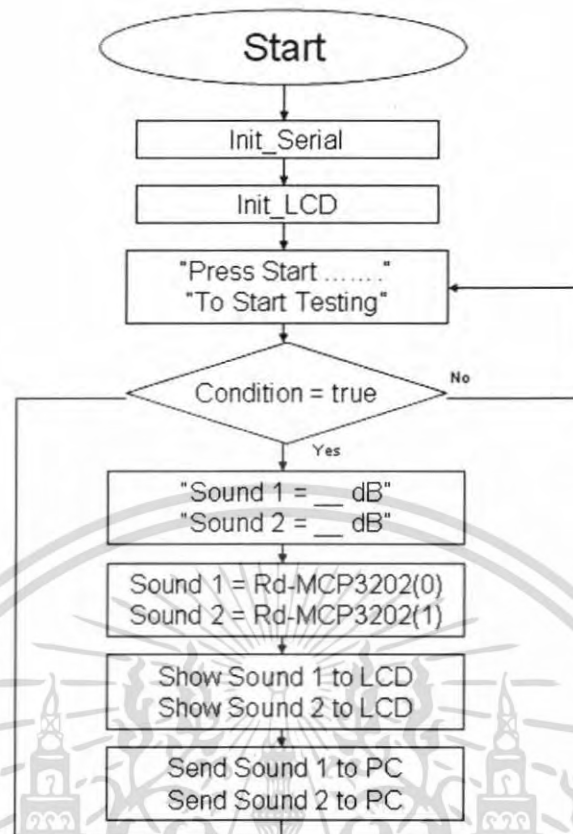
### 3.2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ถือเป็นส่วนสำคัญที่สุดของอุปกรณ์ เพราะเป็นตัวที่ใช้ประมวลผลข้อมูลดิจิทัลที่รับมาจากพอร์ต 2 แล้วแปลงค่าเป็นระดับความดังเสียง dB แสดงผล ผ่านทางจอ LCD โดยผ่านพอร์ต 0 และรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง RXD (ขา10) และ TXD (ขา11)

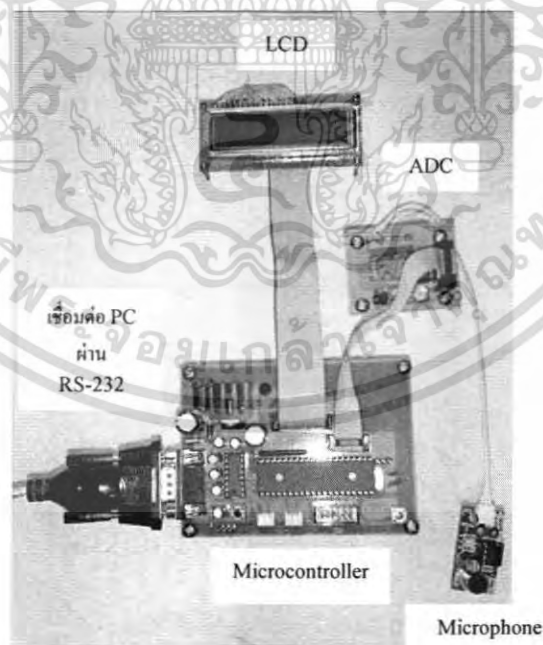


ภาพที่ 3.5 วงจรโดยรวม

จากภาพ ที่ CH1 และ CH2 ของ MCP3202 (Analog to Digital Converter) จะรับค่าของแรงดันไฟฟ้า Output จากวงจรจัดระดับเสียงของสัญญาณของไมโครโฟน ตัวที่ 1 และ ตัวที่ 2 ตามลำดับ (ปริยญาณีพนธ์นี้ใช้ไมโครโฟนตัวเดียวที่ CH1) โดยที่ ADC จะทำหน้าที่แปลงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นสัญญาณอนาล็อก 0-5 โวลต์ ให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล 12 บิต เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2 ได้รับคำสั่งเริ่มทำงานจะทำการอ่านค่าระดับของสัญญาณดิจิทัลที่ได้จาก ADC เพื่อนำไปคำนวณตามสมการที่เขียนโปรแกรมไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งค่าที่คำนวณได้ไปแสดงที่จอ LCD และส่งค่าไปแสดงและเก็บข้อมูลที่คอมพิวเตอร์โดยผ่าน IC MAX232 และ Port RS-232



ภาพที่ 3.6 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 3.7 ชิ้นงานของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

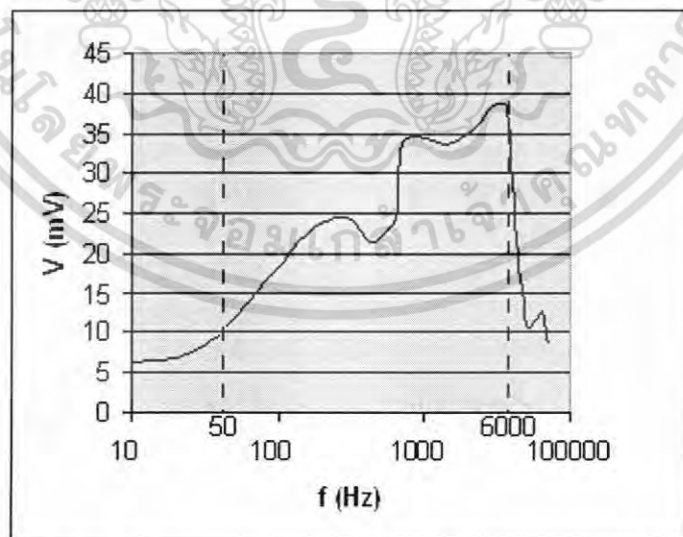
### การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองและผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

- 4.1 การทดลองหาผลตอบสนองทางความถี่ของไมโครโฟน
- 4.2 การทดลองในส่วนของวงจรจัดระดับเสียงของสัญญาณ
- 4.3 การทดลองการสื่อสารผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232
- 4.4 การสอบเทียบสัญญาณเอาต์พุตและวงจรขยายสัญญาณกับมิเตอร์วัดระดับเสียง
- 4.5 การทดลองและบันทึกข้อมูลการวัดระดับเสียง
- 4.6 การพิสูจน์ผลการทดลองด้วยการคำนวณทางทฤษฎี

#### 4.1 การทดลองหาผลตอบสนองทางความถี่ของไมโครโฟน

เนื่องจากไมโครโฟนชนิดต่าง ๆ จะมีความสามารถตอบสนองความถี่ต่างกัน จึงต้องมีการทดลองเพื่อหาชนิดและรูปแบบของไมโครโฟน ที่มีผลตอบสนองทางความถี่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยการป้อนความถี่ค่าต่าง ๆ ให้กับลำโพง วัดค่าแรงดันเอาต์พุต เพื่อหาช่วงความถี่ที่ไมโครโฟนสามารถตอบสนองได้ดี โดยที่ช่วงของความถี่ที่ไมโครโฟนที่ใช้ตอบสนองได้ดีอยู่ที่ 50 – 6000 Hz



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงผลการตอบสนองทางความถี่ของไมโครโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดลองในส่วนของวงจรจักระดับเงื่อนไขของสัญญาณ

เนื่องจากสัญญาณแรงดันไฟฟ้า Output ที่ได้จากไมโครโฟนมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำ จึงต้องทำการขยายสัญญาณให้ได้ระดับของสัญญาณอยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ เพื่อที่จะนำค่า Output มาเข้าที่วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลต่อไป ดังนั้นเพื่อทำการทดสอบการทำงานของวงจรขยายสัญญาณว่าสามารถทำการขยายสัญญาณให้อยู่ในช่วงที่สามารถนำไปใช้งานได้ จึงได้ทำการทดลองป้อนความดังเสียงให้กับไมโครโฟน จากนั้นวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุท ทั้งจากไมโครโฟนและวงจรขยายสัญญาณ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. กำหนดค่าความถี่เสียงของโปรแกรมที่ใช้ในการกำเนิดเสียงไว้ที่ 1000 Hz ปรับระดับความดังเสียง จนกระทั่งค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์วัดระดับความดังเสียงมีค่าเท่ากับ 50,60,70,80 และ 90 dB(A) ตามลำดับ โดยจัดวางให้ไมโครโฟนของอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบอยู่ติดกับลำโพงที่ใช้กำเนิดเสียง
2. ปรับระดับความดังของเสียงให้เท่ากับระดับความดังของเสียงที่กำหนดไว้ที่ค่าแรก คือ 50 dB(A)
3. อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากไมโครโฟน และวงจรขยายสัญญาณ จากนั้นบันทึกผล
4. ทำการทดลองโดยเพิ่มระดับความดังของเสียงที่อ่านได้จากมิเตอร์วัดระดับความดังของเสียง ให้เท่ากับระดับความดังเสียงที่กำหนดไว้ระดับต่อ ๆ ไป จนถึงระดับสุดท้าย โดยทำการปรับเพิ่มระดับความดังของเสียงที่ลำโพง จากนั้นอ่านค่าและบันทึกผล ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองในส่วนของวงจรจักระดับเงื่อนไขของสัญญาณ

ระดับความดังเสียงที่วัดได้จากมิเตอร์วัดระดับความดังของเสียง (dB(A))	ค่าแรงดันไฟฟ้า Output จากไมโครโฟน (mV)	ค่าแรงดันไฟฟ้า Output จากวงจรขยายสัญญาณ (V)
50	9.1	0.88
60	16.8	1.54
70	36.8	3.52
80	42.2	4.17
90	45.4	4.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การทดลองในส่วนของการสื่อสารผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232

ทำการทดลองเพื่อทดสอบการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยผ่านพอร์ตอนุกรมว่าข้อมูลที่มีการรับ-ส่งกันระหว่างคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์มีความถูกต้องหรือไม่ โดยในการทดลองจะใช้โปรแกรม Hyperterminal ในการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูล โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เขียนโปรแกรมที่ใช้สำหรับทดสอบการรับ-ส่งข้อมูล ระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ลงใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2
2. ตั้งค่าอัตราการรับ-ส่งข้อมูลที่ 9600 บิต/วินาที ตั้งคอมพอร์ตของโปรแกรมให้ตรงกับคอมพอร์ตที่จะใช้งาน
3. ทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลโดยการพิมพ์ตัวอักษรทดสอบลงในโปรแกรม Hyperterminal แล้วจึงตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้รับกลับมา เป็นตัวอักษรที่ใช้ทดสอบหรือไม่



ภาพที่ 4.2 ภาพแสดงผลการทดลองของ โปรแกรม Hyperterminal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การสอบเทียบสัญญาณเอาต์พุตและวงจรมอดูเลชันด้วยสัญญาณกับมิเตอร์วัดระดับเสียง

ในการเขียนโปรแกรมเพื่อแปลงค่าข้อมูลดิจิทัลเป็นระดับความดังเสียงนั้น จำเป็นจะต้องทำการสอบเทียบ เพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดันเอาต์พุต (V) ที่ออกจากวงจรจัดระดับเงื่อนไขของสัญญาณ ของอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ กับระดับของความดังเสียง (dB) ที่อ่านได้จากมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง ยี่ห้อ CEM รุ่น DT – 805 ตามมาตรฐาน IEC 651 Type II ซึ่งเลือกใช้การถ่วงน้ำหนักความถี่แบบ A เลือกความเร็วของการตอบสนองแบบ Low และเลือกย่านการใช้งานที่ 30 – 100 dB(A) โดยในรัศมี 1 เมตร ตามแนวราบรอบไมโครโฟน จะต้องไม่มีกำแพงที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนเสียงกีดขวางอยู่ และจะต้องห่างจากช่องหน้าต่าง หรือช่องทางออกนอกอาคารเป็นอย่างน้อย 1.5 เมตร ตามหลักของวิธีการตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐานจากประกาศของคณะกรรมการควบคุมมลพิษ โดยมีขั้นตอนการสอบเทียบ ดังนี้

1. ติดตั้งมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง และ microphone ของอุปกรณ์ที่ออกแบบ เข้ากับกล่องที่ใช้ในการสอบเทียบ ซึ่งภายในกล่องบุฟองน้ำโดยรอบ เพื่อลดเสียงรบกวนจากภายนอก โดยจัดวางให้ microphone ของมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง อยู่ในระดับเดียวกับ microphone ของอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ จากนั้นจัดวางให้จุดศูนย์กลางลำโพงที่ใช้ทำการกำเนิดเสียง ตรงกับ microphone ทั้งสอง และวางลำโพงให้ชิดกับ microphone ทั้งสอง ตามภาพที่ 4.3 หลังจากนั้นนำ Voltmeter มาวัดค่าแรงดันเอาต์พุตที่ออกจากวงจรจัดระดับเงื่อนไขของสัญญาณของอุปกรณ์ที่ได้ทำการออกแบบ

2. กำหนดที่จะทำการสอบเทียบ เริ่มที่ 0,0.5,1.0,1.5,2.0,2.5,3.0,3.5,4.0,4.5 และ 5.0 volt

3. ปรับความดังของลำโพงไว้ต่ำสุด ป้อนความถี่ 1000 Hz ให้กับลำโพง บันทึกค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง

4. ป้อนความดังของเสียงจนกระทั่งค่า แรงดันเอาต์พุต ที่อ่านค่าได้จาก volt meter ตรงตามจุดที่กำหนด ตั้งแต่จุดแรกทิ้งไว้อย่างน้อย 30 วินาที อ่านค่าแล้ว บันทึกค่าความดังเสียงที่อ่านได้จากมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง

5. ทำการสอบเทียบที่จุดสอบเทียบจุดต่อไป

6. หลังจากจ่ายความดังเสียงจนถึงจุดที่กำหนดที่มากที่สุด รอประมาณ 30 วินาที อ่านค่าจากมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง บันทึกผล จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง อีกครั้งเป็นขาลง

7. ลดความดังเสียงไปที่จุดสอบเทียบจุดต่อไปในช่วงขาลง โดยให้รอสักอย่างน้อย 30 วินาที ก่อนการอ่านค่าและบันทึกผล

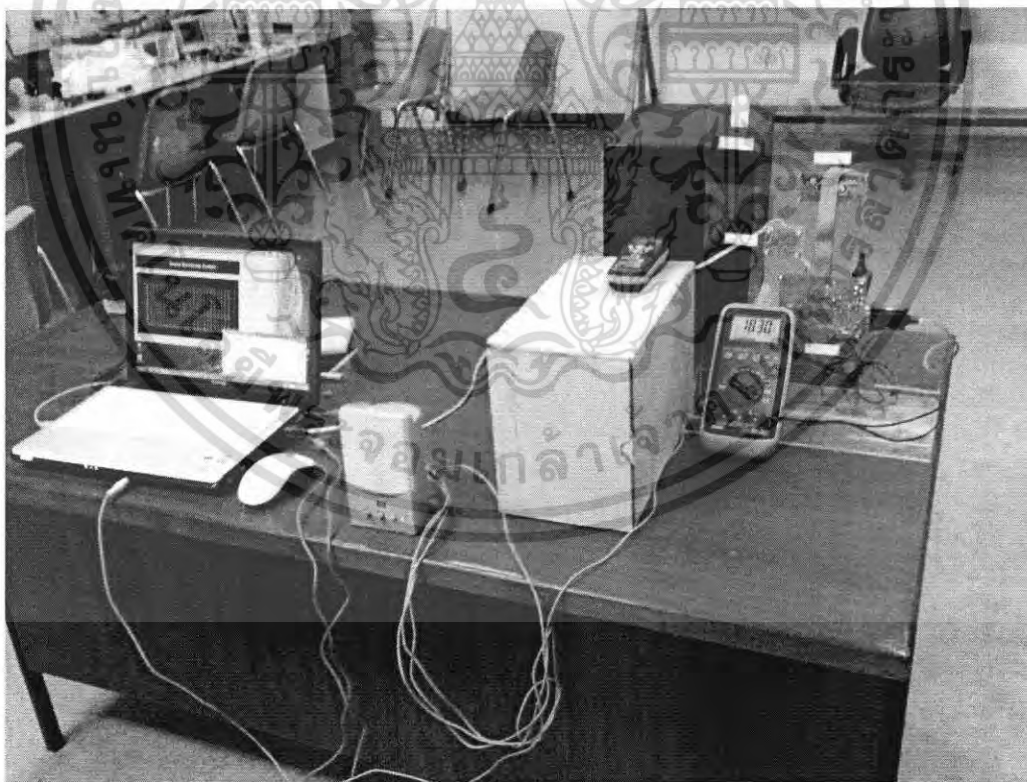
8. ทำการสอบเทียบจุดต่อไปโดยใช้วิธีเดียวกับ ข้อ 7. จนถึงจุดสุดท้ายให้ลดความดังเสียงไปที่ต่ำสุด รอ 30 วินาที อ่านค่าที่ได้แล้วบันทึกผล

9. ทำการสอบเทียบซ้ำตั้งแต่ข้อ 3. – 8. โดยใช้วิธีเดียวกัน โดยทำซ้ำทั้งหมด 20 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

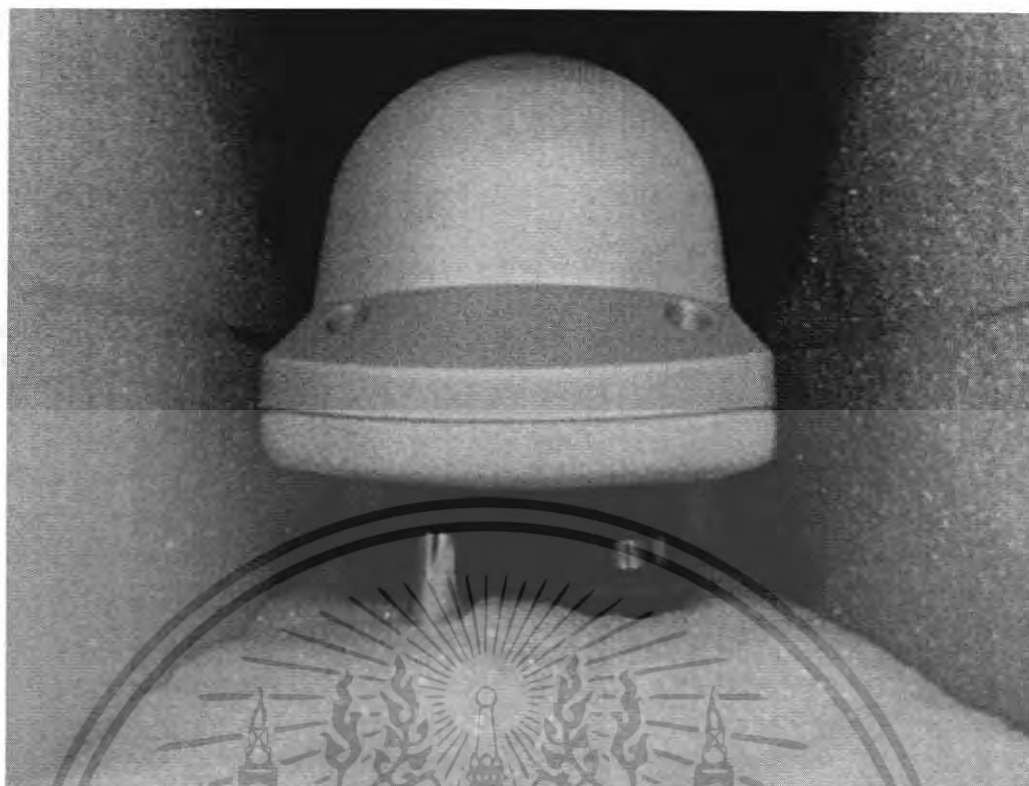
**ตารางที่ 4.2** ผลการสอบเทียบสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณกับมิเตอร์วัดระดับเสียง

Voltage ( V )	$\bar{X}_{STD}$ ( dBA )
0.0	45.82
0.5	55.46
1.0	58.86
1.5	60.02
2.0	61.42
2.5	62.82
3.0	64.80
3.5	67.56
4.0	79.26
4.5	91.04
5.0	97.58



**ภาพที่ 4.3** การสอบเทียบสัญญาณเอาต์พุตและวงจรขยายสัญญาณกับมิเตอร์วัดระดับเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 ภาพแสดงภายในกล่องที่ใช้ในการสอบเทียบ

#### 4.5 การทดลองและบันทึกข้อมูลการวัดระดับเสียง

ทำการทดลองเพื่อ หาช่วงความถี่ และช่วงระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ กับแหล่งกำเนิดเสียง โดยที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้ใกล้เคียงกับมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง โดยมี ขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ติดตั้งมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง และ Microphone ของอุปกรณ์ที่ออกแบบ เข้ากับกล่องที่ใช้ในการสอบเทียบ ซึ่งภายในกล่องบุฟองน้ำโดยรอบ เพื่อลดเสียงรบกวนจากภายนอก โดยจัดวางให้ Microphone ของมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง อยู่ในระดับเดียวกันกับ Microphone ของอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ จากนั้นจัดวางให้จุดศูนย์กลางลำโพงที่ใช้ทำการกำเนิดเสียง ตรงกับ Microphone ทั้งสอง

2. ปรับความดังเสียงไว้ที่ 50% ของความดังสูงสุดของลำโพง

3. กำหนดระยะห่างระหว่างลำโพงกำเนิดเสียงกับ Microphone ทั้งสองตัว เป็นระยะ 0.2, 0.4, 0.8 และ 1.0 เมตร

4. วางลำโพงที่ใช้ในการกำเนิดเสียง ห่างจาก Microphone ทั้งสองตัวเป็นระยะ 0.2 เมตร

5. ปรับความถี่ของเสียงให้เท่ากับ 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000 Hz ตามลำดับ โดยก่อนทำการ อ่านค่าของแต่ละความถี่ ให้รอประมาณ 30 วินาที จากนั้นอ่านค่าจากมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง และ อุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ บันทึกผล หลังจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ่ายความถี่จนถึงความถี่ที่มากที่สุดหึ่งไว้ประมาณ 5 นาที แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิงและอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ อีกครั้งเป็นขาลง

6. ลดความถี่เสียงไปที่ความถี่ต่อไปในช่วงขาลง โดยให้รอน้อย 30 วินาที ก่อนการอ่านค่าและบันทึกผล

7. ทำการทดลองที่ความถี่ต่อไป โดยใช้วิธีเดียวกับ ข้อ 6. จนถึงจุดสุดท้าย ให้ลดความถี่เสียงไปที่ต่ำสุด รอ 30 วินาที อ่านค่าที่ได้แล้วบันทึกผล

8. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 5 -7 โดยปรับระยะห่างของลำโพงเพิ่มขึ้นเป็น 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 เมตรตามลำดับ โดยใช้วิธีเดียวกัน ทำซ้ำทั้งหมด 10 ครั้ง

โดยที่

$\bar{X}_{STD}$  หาได้มาจากการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของการอ่านค่าจากมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง โดยทำซ้ำค่าเดิมเป็นจำนวนทั้งหมด 10 ครั้ง

$\bar{X}_P$  หาได้มาจากการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของการอ่านค่าจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น โดยทำซ้ำค่าเดิมเป็นจำนวนทั้งหมด 10 ครั้ง

#### การประมาณค่า Type A Standard Uncertainty

ค่าความไม่แน่นอน Type A หาได้จากสมการที่ 1 แหล่งที่มาของความไม่แน่นอน Type A เกิดจาก  $U_A$  คือ Repeatability ของตัวที่นำมาสอบเทียบ ( UTT )

$$U_A = \frac{S(X_i)}{\sqrt{n}} \quad (4-1)$$

โดยที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( Standard Deviation ) หาได้จากสมการที่ 2

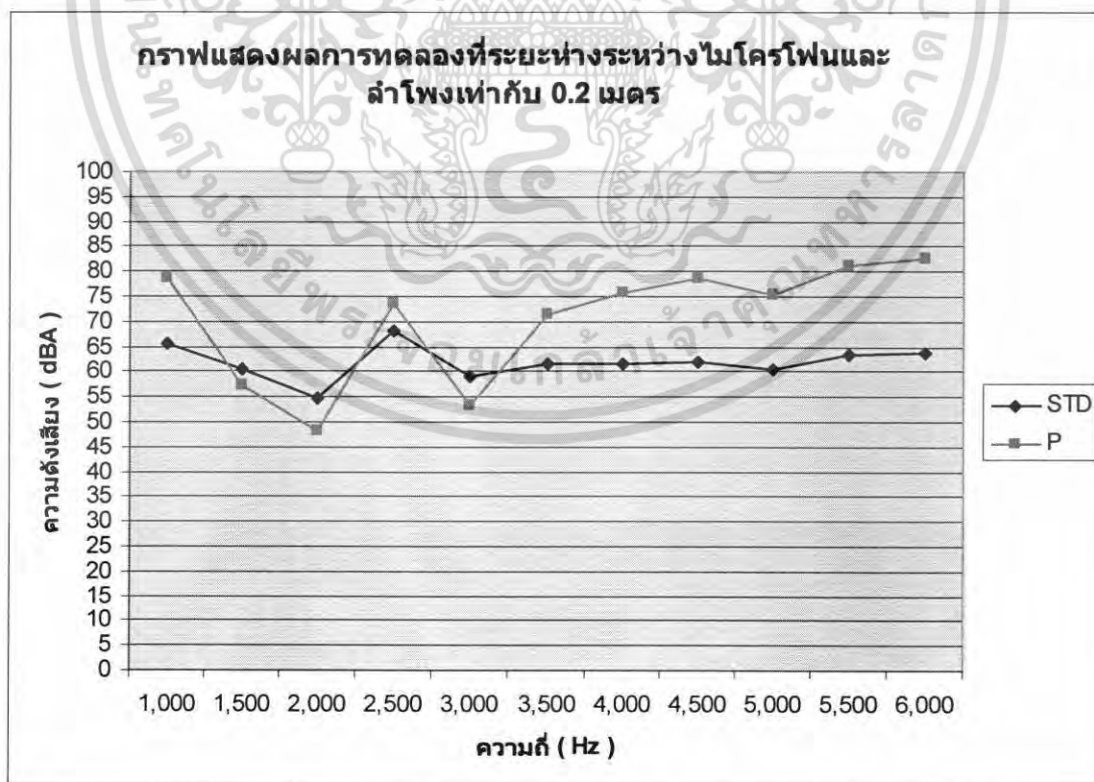
$$S(X_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (4-2)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (4-3)$$

$n$  คือ จำนวนครั้งในการทำซ้ำ

**ตารางที่ 4.3** ผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.2 เมตร

f ( Hz )	$\overline{X}_{STD}$ ( dBA )	$\overline{X}_P$ ( dBA )	$\Delta$ ( dBA )	Error ( % )	$S_{(Xi)}$	$U_A$
1,000	65.56	78.50	12.94	19.74	0.2449	0.1095
1,500	60.60	57.28	3.32	5.48	1.4973	0.6696
2,000	54.58	48.28	6.30	11.54	0.3701	0.1655
2,500	68.02	73.60	5.58	8.20	0.4583	0.2049
3,000	58.96	53.12	5.84	9.91	0.5586	0.2498
3,500	61.70	71.34	9.64	15.62	0.5320	0.2379
4,000	61.52	75.84	14.32	23.28	0.5771	0.2581
4,500	61.82	78.80	16.98	27.47	0.5148	0.2302
5,000	60.68	75.48	14.80	24.39	0.4604	0.2059
5,500	63.48	81.14	17.66	27.82	0.2074	0.0927
6,000	63.68	82.64	18.96	29.77	0.3435	0.1536

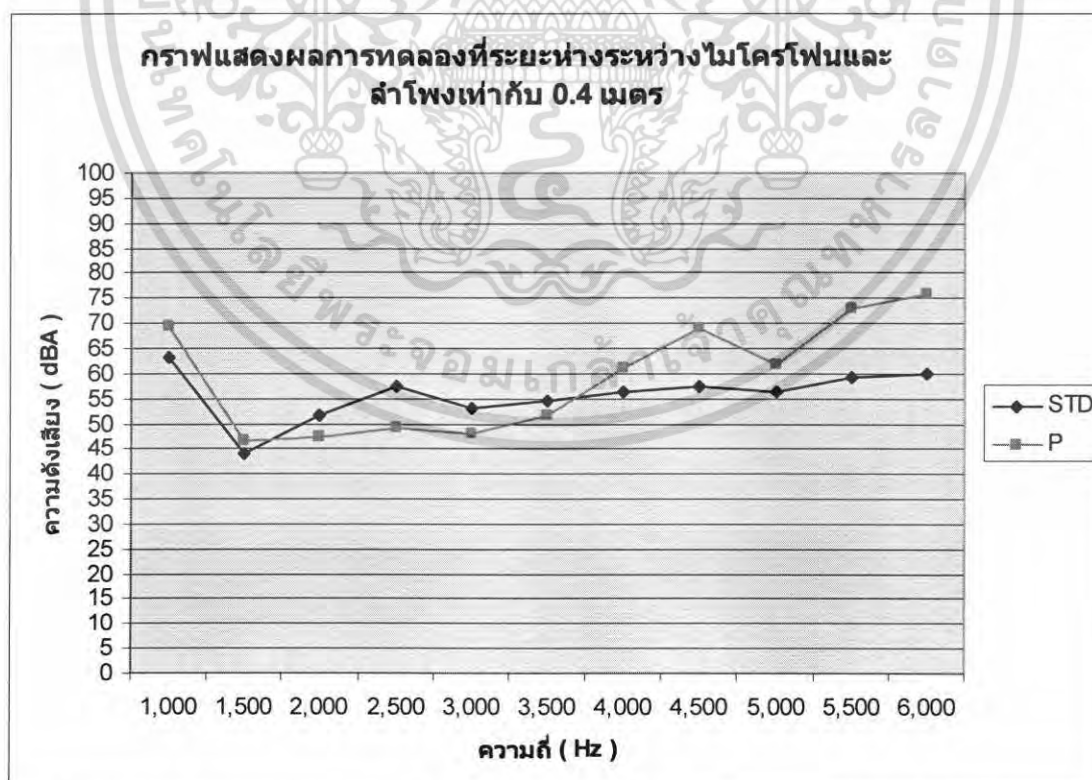


**ภาพที่ 4.5** กราฟแสดงผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** ผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.4 เมตร

f (Hz)	$\overline{X}_{STD}$ (dBA)	$\overline{X}_P$ (dBA)	$\Delta$ (dBA)	Error (%)	$S_{(Xi)}$	$U_A$
1,000	63.20	69.14	5.94	9.40	0.7603	0.3400
1,500	44.10	46.62	2.52	5.71	0.1304	0.0583
2,000	51.70	47.26	4.44	8.59	0.3435	0.1536
2,500	57.28	48.92	8.36	14.59	0.5263	0.2354
3,000	53.18	47.92	5.26	9.89	0.3768	0.1685
3,500	54.38	51.48	2.90	5.33	0.5718	0.2557
4,000	56.40	61.10	4.70	8.33	0.8916	0.3987
4,500	57.40	68.90	11.50	20.03	0.6519	0.2915
5,000	56.42	61.70	5.28	9.36	0.6519	0.2915
5,500	59.20	72.98	13.78	23.28	0.6457	0.2888
6,000	59.84	75.66	15.82	26.44	0.4827	0.2158

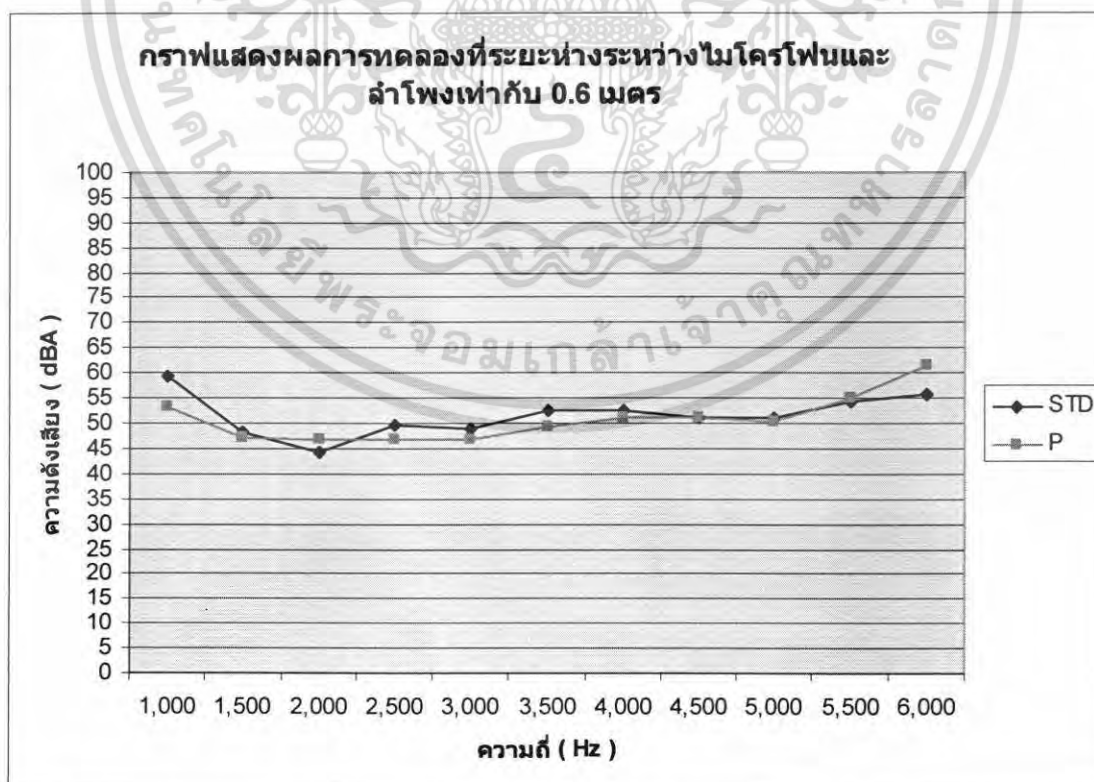


**ภาพที่ 4.6** กราฟแสดงผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.4 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.5** ผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.6 เมตร

f (Hz)	$\overline{X}_{std}$ (dBA)	$\overline{X}_P$ (dBA)	$\Delta$ (dBA)	Error (%)	$S_{(Xi)}$	$U_A$
1,000	59.32	53.40	5.92	9.98	0.3391	0.1517
1,500	48.38	47.16	1.22	2.52	0.4393	0.1965
2,000	44.34	46.72	2.38	5.37	0.2049	0.0916
2,500	49.64	46.86	2.78	5.60	0.2608	0.1166
3,000	48.98	46.92	2.06	4.21	0.2387	0.1068
3,500	52.5	49.30	3.20	6.10	0.1732	0.0775
4,000	52.52	51.04	1.48	2.82	0.2074	0.0927
4,500	51	51.04	0.04	0.08	0.5771	0.2581
5,000	51.02	50.38	0.64	1.25	0.4604	0.2059
5,500	54.28	54.92	0.64	1.18	0.3701	0.1655
6,000	55.88	61.68	5.80	10.38	0.7530	0.3367

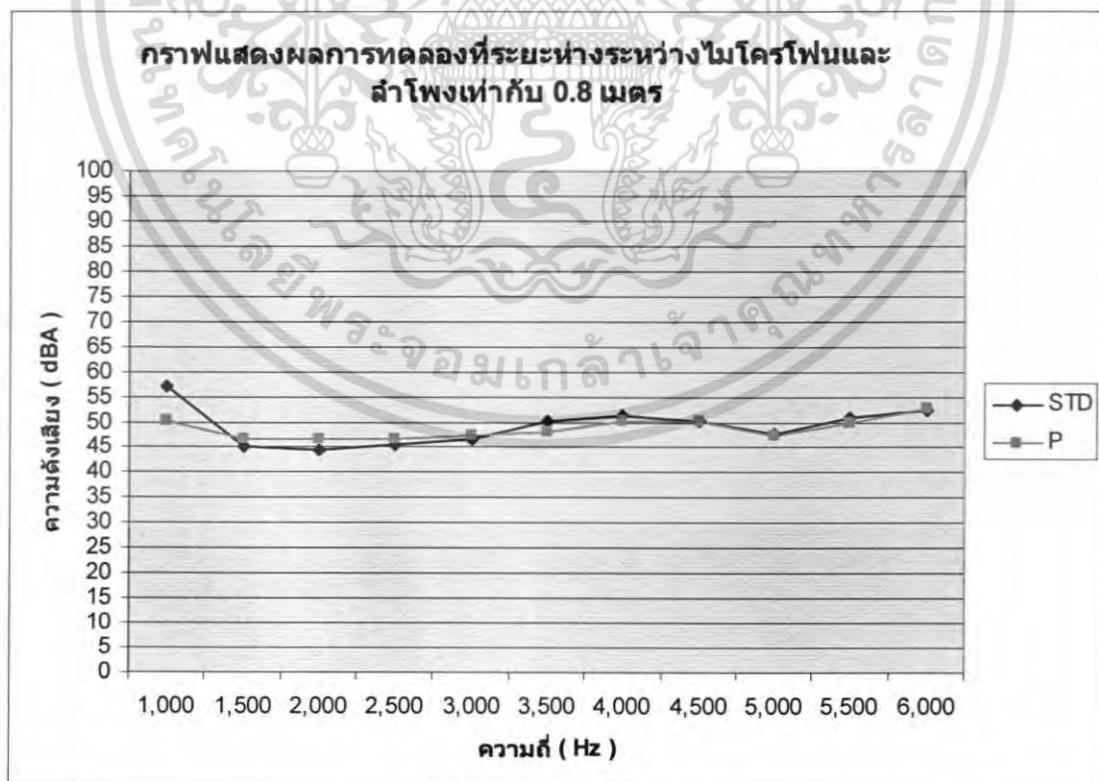


**ภาพที่ 4.7** กราฟแสดงผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.6 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.6** ผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.8 เมตร

f (Hz)	$\bar{X}_{STD}$ (dBA)	$\bar{X}_P$ (dBA)	$\Delta$ (dBA)	Error (%)	$S_{(Xi)}$	$U_A$
1,000	57.06	50.08	6.98	12.23	0.2864	0.1281
1,500	45.04	46.60	1.56	3.46	0.1225	0.0548
2,000	44.38	46.62	2.24	5.05	0.1923	0.0860
2,500	45.46	46.72	1.26	2.77	0.2168	0.0969
3,000	46.70	47.14	0.44	0.94	1.1104	0.4966
3,500	50.22	47.92	2.30	4.58	0.1304	0.0583
4,000	51.42	50.22	1.20	2.33	0.1923	0.0860
4,500	50.14	50.02	0.12	0.24	0.6978	0.3121
5,000	47.66	47.46	0.20	0.42	0.3286	0.1470
5,500	50.76	49.76	1.00	1.97	0.4336	0.1939
6,000	52.40	52.62	0.22	0.42	0.5069	0.2267

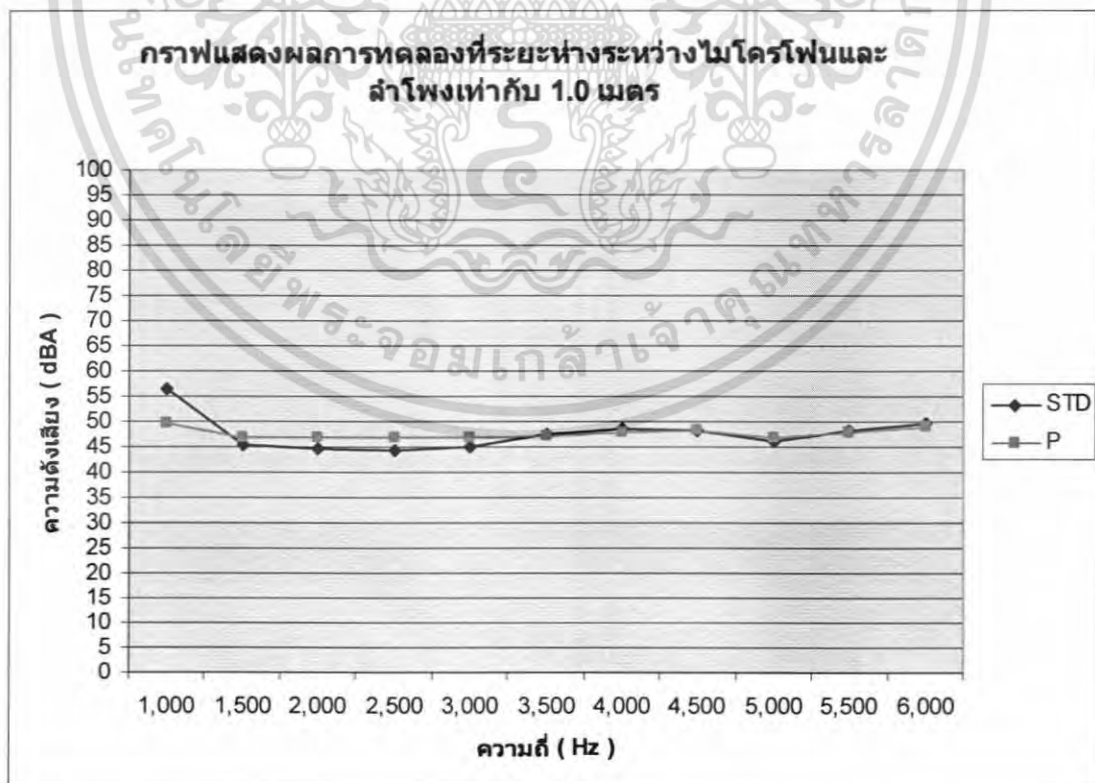


**ภาพที่ 4.8** กราฟแสดงผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 0.8 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.7** ผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 1.0 เมตร

f (Hz)	$\overline{X}_{STD}$ (dBA)	$\overline{X}_P$ (dBA)	$\Delta$ (dBA)	Error (%)	$S_{(Xi)}$	$U_A$
1,000	56.34	49.66	6.68	11.86	0.3286	0.1470
1,500	45.18	46.70	1.52	3.36	0.1225	0.0548
2,000	44.48	46.72	2.24	5.04	0.3493	0.1562
2,500	44.2	46.62	2.42	5.48	0.1304	0.0583
3,000	44.98	46.76	1.78	3.96	0.1949	0.0872
3,500	47.44	47.18	0.26	0.55	0.0837	0.0374
4,000	48.46	47.98	0.48	0.99	0.3701	0.1655
4,500	48.26	48.28	0.02	0.04	0.3114	0.1393
5,000	46.22	46.84	0.62	1.34	0.0894	0.0400
5,500	48.2	47.78	0.42	0.87	0.3420	0.1530
6,000	49.78	49.02	0.76	1.53	0.3114	0.1393



**ภาพที่ 4.9** กราฟแสดงผลการทดลองที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงเท่ากับ 1.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หา % error จากค่าสูงสุดของแต่ละระยะ ได้จาก

$$\%error = \frac{\overline{X}_\Delta \times 100}{X_{STD \text{ at } 6000\text{Hz}}}$$

ที่ระยะ 0.2 เมตร มีค่าเท่ากับ 18.035 %

ที่ระยะ 0.4 เมตร มีค่าเท่ากับ 11.653 %

ที่ระยะ 0.6 เมตร มีค่าเท่ากับ 04.266 %

ที่ระยะ 0.8 เมตร มีค่าเท่ากับ 03.088 %

ที่ระยะ 1.0 เมตร มีค่าเท่ากับ 02.660 %

#### 4.6 การพิสูจน์ผลการทดลองด้วยการคำนวณทางทฤษฎี

จากการทดลองที่ 4.3 นำผลการทดลองมาคำนวณหาค่า dB เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลอง โดยใช้สมการ

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

โดยที่

$\beta$  คือ ระดับความดังเสียง มีหน่วยเป็น เดซิเบล (dB)

$I$  คือ ความเข้มของเสียงที่ตำแหน่งนั้น ( $\text{W/m}^2$ )

$I_0$  คือ ความเข้มของเสียงต่ำสุดที่หูมนุษย์ได้ยิน มีค่า  $10^{-12} \text{ W/m}^2$

ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

- เลือกผลการทดลองที่มีค่า error น้อยที่สุด ซึ่งก็คือ ผลการทดลองที่ระยะ 1.0 เมตร มาใช้เป็นค่าอ้างอิง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มเสียงและความถี่ที่เปลี่ยนไป

- คำนวณหาค่าความเข้มเสียง โดยใช้สมการ  $\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$  ซึ่งค่า  $\beta$  จะใช้ค่าของระดับความดังเสียงที่อ่านค่าได้จากมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง

- คำนวณหาความสัมพันธ์ของความถี่ที่เปลี่ยนแปลงกับค่าความเข้มเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.8** การคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่เปลี่ยนแปลงกับความเข้มของเสียง

f (Hz)	$\overline{X}_{STD}$ (dBA)	I (W/m <sup>2</sup> )	ทิศทางของการ เปลี่ยนแปลง	เปอร์เซ็นต์ของ การเปลี่ยนแปลง (%)
1,000	56.34	$4.30527 \times 10^{-7}$	เพิ่มขึ้นจากค่า I ที่ 1.5 kHz	1206.17
1,500	45.18	$0.32961 \times 10^{-7}$	เพิ่มขึ้นจากค่า I ที่ 2.0 kHz	17.49
2,000	44.48	$0.28054 \times 10^{-7}$	เพิ่มขึ้นจากค่า I ที่ 2.5 kHz	6.66
2,500	44.20	$0.26303 \times 10^{-7}$	ลดลงจากค่า I ที่ 3.0 kHz	16.44
3,000	44.98	$0.31477 \times 10^{-7}$	ลดลงจากค่า I ที่ 3.5 kHz	43.25
3,500	47.44	$0.55463 \times 10^{-7}$	ลดลงจากค่า I ที่ 4.0 kHz	20.93
4,000	48.46	$0.70146 \times 10^{-7}$	เพิ่มขึ้นจากค่า I ที่ 4.5 kHz	4.71
4,500	48.26	$0.66989 \times 10^{-7}$	เพิ่มขึ้นจากค่า I ที่ 5.0 kHz	59.96
5,000	46.22	$0.41879 \times 10^{-7}$	ลดลงจากค่า I ที่ 5.5 kHz	36.61
5,500	48.20	$0.66069 \times 10^{-7}$	ลดลงจากค่า I ที่ 6.0 kHz	30.50
6,000	49.78	$0.95061 \times 10^{-7}$	เพิ่มขึ้นจากค่า I ที่ 5.5 kHz	43.88

- นำความสัมพันธ์ที่ได้ ไปคำนวณหาค่าความเข้มเสียง และค่าระดับความดังเสียงของผลการทดลองของระยะของการทดลองที่เหลือ คือ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 เมตร
- หาค่า error ระหว่างค่าระดับความดังเสียงที่ได้จากการคำนวณ กับค่าระดับความดังเสียงที่อ่านได้จากอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.9** ตารางแสดงค่า error ระหว่างระดับความดังเสียงที่คำนวณ และ ค่าระดับความดังเสียงที่อ่านได้ จากอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ จากผลการทดลองที่ระยะ 0.2 เมตร

f (Hz)	$\overline{X}_{STD}$ ( dBA )	$\overline{X}_P$ ( dBA )	I (W/m <sup>2</sup> )	ระดับความ ดังเสียง (dB)	Error (%)
1,000	65.56	78.50	$149.968 \times 10^{-7}$	71.76	9.39
1,500	60.60	57.28	$3.373 \times 10^{-7}$	55.28	3.62
2,000	54.58	48.28	$67.608 \times 10^{-7}$	68.30	29.31
2,500	68.02	73.60	$6.577 \times 10^{-7}$	58.18	26.50
3,000	58.96	53.12	$8.395 \times 10^{-7}$	59.24	10.33
3,500	61.70	71.34	$11.220 \times 10^{-7}$	60.50	17.92
4,000	61.52	75.84	$15.922 \times 10^{-7}$	62.02	22.28
4,500	61.82	78.80	$18.707 \times 10^{-7}$	62.72	25.64
5,000	60.68	75.48	$14.125 \times 10^{-7}$	61.50	22.73
5,500	63.48	81.14	$16.218 \times 10^{-7}$	62.10	30.66
6,000	63.68	82.64	$32.063 \times 10^{-7}$	65.06	27.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.10** ตารางแสดงค่า error ระหว่างระดับความดังเสียงที่คำนวณ และ ค่าระดับความดังเสียงที่อ่านได้ จากอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ จากผลการทดลองที่ระยะ 0.4 เมตร

f (Hz)	$\overline{X}_{sm}$ (dBA)	$\overline{X}_P$ (dBA)	I (W/m <sup>2</sup> )	ระดับความ ดังเสียง (dB)	Error (%)
1,000	63.20	69.14	$3.357 \times 10^{-7}$	55.26	25.12
1,500	44.10	46.62	$1.738 \times 10^{-7}$	52.40	11.03
2,000	51.70	47.26	$5.702 \times 10^{-7}$	57.56	17.89
2,500	57.28	48.92	$1.738 \times 10^{-7}$	52.40	6.64
3,000	53.18	47.92	$1.556 \times 10^{-7}$	51.92	7.70
3,500	54.38	51.48	$3.451 \times 10^{-7}$	55.38	7.04
4,000	56.40	61.10	$5.754 \times 10^{-7}$	57.60	6.08
4,500	57.40	68.90	$7.015 \times 10^{-7}$	58.46	17.86
5,000	56.42	61.70	$5.272 \times 10^{-7}$	57.22	7.83
5,500	59.20	72.98	$6.699 \times 10^{-7}$	58.26	25.27
6,000	59.84	75.66	$11.967 \times 10^{-7}$	60.78	24.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.11** ตารางแสดงค่า error ระหว่างระดับความดังเสียงที่คำนวณ และ ค่าระดับความดังเสียงที่อ่านได้ จากอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ จากผลการทดลองที่ระยะ 0.6 เมตร

f (Hz)	$\overline{X}_{std}$ ( dBA )	$\overline{X}_p$ ( dBA )	I (W/m <sup>2</sup> )	ระดับความ ดังเสียง (dB)	Error (%)
1,000	59.32	53.40	$8.995 \times 10^{-7}$	59.54	10.31
1,500	48.38	47.16	$0.319 \times 10^{-7}$	45.04	4.71
2,000	44.34	46.72	$0.982 \times 10^{-7}$	49.92	6.41
2,500	49.64	46.86	$0.661 \times 10^{-7}$	48.20	2.78
3,000	48.98	46.92	$1.009 \times 10^{-7}$	50.04	6.24
3,500	52.50	49.30	$1.412 \times 10^{-7}$	51.50	4.27
4,000	52.52	51.04	$1.318 \times 10^{-7}$	51.20	0.31
4,500	51.00	51.04	$2.023 \times 10^{-7}$	53.06	3.81
5,000	51.02	50.38	$1.698 \times 10^{-7}$	52.30	3.67
5,500	54.28	54.92	$2.691 \times 10^{-7}$	54.29	1.16
6,000	55.88	61.68	$3.855 \times 10^{-7}$	55.86	10.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.12** ตารางแสดงค่า error ระหว่างระดับความดังเสียงที่คำนวณ และ ค่าระดับความดังเสียงที่อ่านได้ จากอุปกรณ์ที่ทำกรออกแบบ จากผลการทดลองที่ระยะ 0.8 เมตร

f (Hz)	$\overline{X}_{std}$ ( dBA )	$\overline{X}_p$ ( dBA )	I (W/m <sup>2</sup> )	ระดับความ ดังเสียง (dB)	Error (%)
1,000	57.06	50.08	$4.169 \times 10^{-7}$	56.20	10.89
1,500	45.04	46.60	$0.322 \times 10^{-7}$	45.08	3.37
2,000	44.38	46.62	$0.375 \times 10^{-7}$	45.74	1.92
2,500	45.46	46.72	$0.391 \times 10^{-7}$	45.92	1.74
3,000	46.70	47.14	$0.597 \times 10^{-7}$	47.76	1.30
3,500	50.22	47.92	$1.096 \times 10^{-7}$	50.40	4.92
4,000	51.42	50.22	$1.081 \times 10^{-7}$	50.34	0.24
4,500	50.14	50.02	$0.933 \times 10^{-7}$	49.70	0.64
5,000	47.66	47.46	$0.755 \times 10^{-7}$	48.78	2.71
5,500	50.76	49.76	$1.208 \times 10^{-7}$	50.82	2.09
6,000	52.40	52.62	$1.714 \times 10^{-7}$	52.34	0.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัย

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองเพื่อหาผลตอบสนองทางความถี่ของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนนั้น จะพบว่า คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนที่นำมาใช้สามารถตอบสนองได้ดีในช่วงค่าความถี่ 50 – 6,000 Hz และจากการสอบเทียบแรงดันเอาต์พุตที่ได้มาจากวงจรจัดระดับเงื่อนไขของสัญญาณกับมิเตอร์วัดระดับความดังเสียง จะได้ช่วงการใช้งานอยู่ในช่วง 45 – 100 dB(A) จากการทดลองวัดค่าระดับความดังเสียงของอุปกรณ์ที่ออกแบบมา เปรียบเทียบกับมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง พบว่า ช่วงระยะห่างระหว่างอุปกรณ์กับแหล่งกำเนิดเสียงที่สามารถใช้งานได้ใกล้เคียงกับมิเตอร์วัดระดับเสียงอ้างอิง จะอยู่ในช่วง 0.8 – 1.0 เมตร และช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ใกล้เคียงกับมิเตอร์วัดระดับความดังเสียงอ้างอิงนั้นจะอยู่ในช่วง 1500 – 6000 Hz เพราะผลการทดลองของช่วงระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดกับอุปกรณ์ 0.8 – 1.0 เมตร และที่ช่วงความถี่ 1500 – 6000 Hz มีค่า error ประมาณ 3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. นิรุช อำนวยศิลป์, “คู่มือการเขียน โปรแกรม Microsoft Visual C++ Version 6.0”, ชัคเชส มีเดีย กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2544
2. ร.ศ. นิภา สีสารุจิ, “วิศวกรรมการกระจายเสียง”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2541
3. ประจัน พลังสันติสุข, “เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์ เขียนโปรแกรม ภาษา C ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์”, บริษัท อิน โนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนท์ จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเขียนโปรแกรมในส่วนของภาษา C

```
#include "string.h"
sbit Row0      = P1^0;
sbit Row1      = P1^1;
sbit Row2      = P1^2;
sbit Row3      = P1^3;
unsigned char data BufDisp[7];
void Wait(unsigned int x)
{ unsigned int i;
  for(i=0;i<x;i++) {}
}

/* --- Delay ----- */
void Delay(unsigned int x )
{ unsigned int i,j;
  for (i=0;i<x;i++)
  {
    for (j=0;j<115;j++) {}
  }
}

code unsigned char BufSEG[] = {0xC0,0xF9,0xA4,0xB0,0x99,0x92,
                                0x82,0xF8,0x80,0x90,0xFF,0xC6};
void Display (void)
{
    P2 = 0xFF;      /* Display off */
    P0 = BufSEG[BufDisp[3]];
    P2 = 0xEF;      /* Scan 7 - Segment */
    Delay(4);

    P2 = 0xFF;      /* Display off */
    P0 = BufSEG[BufDisp[2]];
    P2 = 0xDF;      /* Scan 7 - Segment */
    Delay(4);

    P2 = 0xFF;      /* Display off */
    P0 = BufSEG[BufDisp[1]];
    P2 = 0xBF;      /* Scan 7 - Segment */
    Delay(4);

    P2 = 0xFF;      /* Display off */
    P0 = BufSEG[BufDisp[0]];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

P2 = 0x7F;    /* Scan 7 - Segment */
    Delay(4);
    P2 = 0xFF;
}

```

```

void ShowVal(unsigned int Num)
{
    CountToDisp(Num);
    Display();
}

```

```

/*-----LCD-----*/
sbit  EN_LCD   =   P0^3;
sbit  RS_LCD   =   P0^2;
sbit  LIGHT    = P0^1;
bit   Light;

```

```

void Wr_Register(unsigned char Data)
{unsigned char Temp;
    Temp = Data;
    Temp = Temp | 0x0F;
    P0 = Temp;
    if (Light) { LIGHT = 0;}
    RS_LCD = 0;
    EN_LCD = 0;
    Delay(1);
    EN_LCD = 1;

    Temp = Data;
    Temp = Temp << 4;
    Temp = Temp | 0x0F;
    P0 = Temp;
    if (Light) { LIGHT = 0;}
    RS_LCD = 0;
    EN_LCD = 0;
    Delay(1);
    EN_LCD = 1;
}

```

```

}
void Wr_Char(unsigned char Data)
{unsigned char Temp;
    Temp = Data;
    Temp = Temp | 0x0F;
    P0 = Temp;
    if (Light) { LIGHT = 0;}
    RS_LCD = 1;
    EN_LCD = 0;
    Delay(1);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    EN_LCD    =    1;

    Temp =    Data;
    Temp = Temp << 4;
    Temp =    Temp | 0x0F;
    P0      =    Temp;
    if(Light) { LIGHT = 0;}
    RS_LCD  =    1;
    EN_LCD  =    0;
    Delay(1);
    EN_LCD  =    1;

}
void Init_LCD(void)
{
    Delay(200);
    Wr_Register(0x33);
    Wr_Register(0x32);
    Wr_Register(0x28);
    Wr_Register(0x0C);
    Wr_Register(0x06);
    Wr_Register(0x01);
    Delay(100);
}
void Goto_XY(unsigned char x,y)
{
    if(x == 1)
    {
        Wr_Register(0x80+(y-1));
    }
    if(x == 2)
    {
        Wr_Register(0xC0+(y-1));
    }
    if(x == 3)
    {
        Wr_Register(0x94+(y-1));
    }
    if(x == 4)
    {
        Wr_Register(0xD4+(y-1));
    }
}
void Wr_Page(unsigned char *dptr)
{unsigned char    i;
    Goto_XY(1,1);
    for (i=0;i<20;i++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        { Wr_Char(*dptr);
          dptr++; }
    Goto_XY(2,1);
    for (i=0;i<20;i++)
        { Wr_Char(*dptr);
          dptr++; }
}
void Wr_String(unsigned char *dptr,Row)
{unsigned char i,Count;
  Count = strlen(dptr);
  Goto_XY(Row,1);
  for (i=0;i<Count;i++)
      { Wr_Char(*dptr);
        dptr++;
      }
}
void Cursor_Off(void)
{
  Wr_Register(0x0C);
}
void Cursor_On(void)
{
  Wr_Register(0x0F);
}
void SlideNum(void)
{
  BufDisp[6] = BufDisp[5];
  BufDisp[5] = BufDisp[4];
  BufDisp[4] = BufDisp[3];
  BufDisp[3] = BufDisp[2];
  BufDisp[2] = BufDisp[1];
  BufDisp[1] = BufDisp[0];
}
void CountToLCD( unsigned long Count)
{
  BufDisp[6] = (Count / 1000000)+0x30;
  if(BufDisp[6] == 0x30) BufDisp[0] = 0x20;

  Count = Count % 1000000;
  BufDisp[5] = (Count / 100000)+0x30;
  if((BufDisp[5] == 0x30) && (BufDisp[6] == 0x20)) BufDisp[5] =
0x20;

  Count = Count % 100000;
  BufDisp[4] = (Count / 10000)+0x30;
  if((BufDisp[4] == 0x30) && (BufDisp[5] == 0x20)) BufDisp[4] =
0x20;

  Count = Count % 10000;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BufDisp[3] = (Count / 1000)+0x30;
if((BufDisp[3] == 0x30) && (BufDisp[4] == 0x20)) BufDisp[3] =
0x20;

Count = Count % 1000;
BufDisp[2] = (Count / 100)+0x30;
if((BufDisp[2] == 0x30) && (BufDisp[3] == 0x20)) BufDisp[2] =
0x20;

Count = Count % 100;
BufDisp[1] = (Count / 10)+0x30;
if((BufDisp[1] == 0x30) && (BufDisp[2] == 0x20)) BufDisp[1] =
0x20;

Count = Count % 10;
BufDisp[0] = Count+0x30;
}
void ShowNum(unsigned long Count,unsigned char Index)
{unsigned char i;
CountToLCD(Count);
for(i=0;i<Index;i++)
{
Wr_Char(BufDisp[Index-(i+1)]);
}
}
void ShowText(unsigned char Index,X,Y)
{unsigned char i;
Goto_XY(X,Y);
for(i=0;i<Index;i++)
{
Wr_Char(BufDisp[Index-(i+1)]);
}
}
unsigned long GetNum(unsigned char Count,X,Y)
{unsigned char i,j,Key;
unsigned long Sum;
for(i=0;i<Count;i++){BufDisp[i] = 0x20;}

i = 0;Key=0;
while(Key != 11)
{Goto_XY(X,Y+(Count-1));
Cursor_On();
Key = KeyPress();
Sound();

if((Key < 10)&&(i<Count))
{ SlideNum();
BufDisp[0] = Key;

i++;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
if(Key == 10)
{ i = 0;
  for(j=0;j<Count;j++){BufDisp[j] = 0x20;}
}
Cursor_Off();
Goto_XY(X,Y);
for(j=0;j<Count;j++)
{
  if(BufDisp[Count-(j+1)] != 0x20){Wr_Char(BufDisp[Count-(j+1)]+0x30);}
  else
  {Wr_Char(BufDisp[Count-(j+1)]);}
}

Key_Off();
}

Sum = 0;
for(i=0;i<Count;i++)
{
  if(BufDisp[Count-(i+1)]==0x20){BufDisp[Count-(i+1)]=0;}
  Sum = (Sum*10) + (BufDisp[Count-(i+1)]);
}
Cursor_Off();
return(Sum);
}

/*-----A/D-----*/

sbit SCLK = P2^5;
sbit CS = P2^6;
sbit Dat = P2^7;
/*
sbit SCLK = P2^6;
sbit CS = P2^2;
sbit Dat = P2^7;
/*-----*/

//unsigned char Write_SPI(unsigned char Data)
unsigned int Rd_MCP3202(unsigned char Ch)
{unsigned int Temp;
unsigned char Data,i;
bit Out;
Temp = 0;
CS = 0;
if(Ch==0){Data = 0x0D;}else{Data=0x0F;}
for (i=0;i<8;i++)
{
  Out = Data & 0x80;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Dat = Out;
        SCLK = 1; Delay(1);
        SCLK = 0; Delay(1);
        Data = Data << 1;
    }
    Dat = 1;
    for(i=0;i<12;i++)
    {
        SCLK = 1; Delay(1);
        if(Dat==1){Temp = Temp+1;};
        SCLK = 0; Delay(1);
        Temp = Temp << 1;
    }

    Delay(10);
    CS = 1;
    return(Temp);
}

```

```

/*??????????? 32 A2D*/
#include "reg52.h"
#include "absacc.h"
unsigned int Value,Value10;
float Value2;
float Value3;
int timetosend =50;
unsigned char DataIn;
bit condition=0;

```

```

void Serial_Int(void) interrupt 4
{
    if(RI==1)
    {
        DataIn = Rx_Byte();

        if(DataIn==0x30)
        {
            condition=0;
            Tx_Byte('X');
        }

        if(DataIn==0x31)
        {
            condition=1;
            Tx_Byte('O');
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
```

```
main()
```

```
{
```

```
    Init_Serial(96);  
    Init_LCD();  
    Cursor_Off();  
    Wr_String("Press Start.....",1);  
    Wr_String("to start testing",2);
```

```
    while(!condition){}
```

```
    Wr_String("Sound1 =   dB",1);
```

```
    Wr_String("Sound2 =   dB",2);
```

```
    while(condition)
```

```
{
```

```
    Value = Rd_MCP3202(0);  
    Value2=Value;  
    Value2=Value2/4095;  
    Value2=Value2*55;  
    Value2=Value2+45;  
    Value2=Value2*0.84;  
    Value=(int)Value2;  
    Value3=Value2-Value;  
    Value3=Value3*10;  
    Goto_XY(1,10);  
    ShowNum(Value,3);  
    Wr_Char('.');  
    ShowNum(Value3,1);  
    Tx_Byte('A');  
    Delay(timetosend);  
    Tx_Byte((Value/100)+0x30);  
    Delay(timetosend);  
    Value10=Value/10;  
    if(Value10==10) Tx_Byte(0x30);  
    else if(Value10>10) Tx_Byte((Value10%10)+0x30);  
    else Tx_Byte(Value10+0x30);  
    Tx_Byte((Value%10)+0x30);  
    Delay(timetosend);  
    Tx_Byte('.');  
    Delay(timetosend);  
    Value=(int)Value3;  
    Tx_Byte((Value%10)+0x30);  
    Delay(timetosend);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Value = Rd_MCP3202(1);
Value2=Value;
Value2=Value2/4095;
Value2=Value2*55;
Value2=Value2+45;
Value2=Value2*0.84;
Value=(int)Value2;
Value3=Value2-Value;
Value3=Value3*10;
Goto_XY(2,10);
ShowNum(Value,3);
Wr_Char('.');
ShowNum(Value3,1);
Tx_Byte('B');
Delay(timetosend);
Tx_Byte((Value/100)+0x30);
Delay(timetosend);
Value10=Value/10;
if(Value10==10) Tx_Byte(0x30);
else if(Value10>10) Tx_Byte((Value10%10)+0x30);
else Tx_Byte(Value10+0x30);
Delay(timetosend);
Tx_Byte((Value%10)+0x30);
Delay(timetosend);
Tx_Byte('.');
Delay(timetosend);
Value=(int)Value3;
Tx_Byte((Value%10)+0x30);
Delay(timetosend);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเขียนโปรแกรมในส่วนองภาษา Visual Basic 6.0

Dim DataIn As String

Dim Sound1Str, Sound2Str, Sound1Compleate, Sound2Compleate As String

Dim CheckS1, CheckS2 As Boolean

Dim Sound1Val, Sound2Val As Single

Dim JOBID As String

Dim MyFSO As New FileSystemObject

Dim CurrentDate As String

Dim CurrentNo As String

Dim FolderLocate As String

Dim m As Integer

Public CommPort As Integer

Dim i, k As Integer

Private Sub cmdRealTM\_Click()

Form2.Show vbModal

End Sub

Private Sub Form\_Load()

Timer1.Enabled = True

Timer\_Update1.Enabled = False

lblDate.Caption = Date

+++++

MSComm1.CommPort = 4

MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"

MSComm1.InputLen = 0

MSComm1.RThreshold = 1

+++++

ChartSound.Column = 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

For m = 1 To ChartSound.RowCount
ChartSound.Row = m
ChartSound.Data = 50
Next m

ChartSound.Column = 2

For m = 1 To ChartSound.RowCount
ChartSound.Row = m
ChartSound.Data = 70
Next m

ChartSound.Plot.Axis(VtChAxisIdY).AxisScale.Type = VtChScaleTypeLinear
cmbUDR1.ListIndex = 0
Timer_Update1.Interval = 250
End Sub

Private Sub cmbUDR1_Click()
Select Case cmbUDR1.ListIndex
Case 0
Timer_Update1.Interval = 250
Case 1
Timer_Update1.Interval = 500
Case 2
Timer_Update1.Interval = 1000
Case 3
Timer_Update1.Interval = 2500
Case 4
Timer_Update1.Interval = 5000
End Select
End Sub

Private Sub cmdExit_Click()
End
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Private Sub cmdStart_Click()
If Not (txtS1HLmit.Text = "0" Or txtS2HLmit.Text = "0") And (IsNumeric(txtS1HLmit.Text)
And IsNumeric(txtS2HLmit.Text)) Then
If MSComm1.PortOpen Then
MSComm1.Output = "1"
Else:
MSComm1.PortOpen = True
MSComm1.Output = "1"
End If
JOBID = JOBIDCreator
Timer_Update1.Enabled = True
Else: MsgBox
End If
End Sub

Private Sub cmdStop_Click()
If MSComm1.PortOpen Then MSComm1.Output = "0"
Timer_Update1.Enabled = False
End Sub

Private Sub MSComm1_OnComm()
Select Case MSComm1.CommEvent
Case comEvReceive
DataIn = MSComm1.Input
If DataIn = "A" Then
Sound2Compleate = Sound2Str
Sound1Str = ""
CheckS1 = True
CheckS2 = False
GoTo JumpToFinish
ElseIf DataIn = "B" Then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Sound1Compleate = Sound1Str
Sound2Str = ""
CheckS1 = False
CheckS2 = True
GoTo JumpToFinish
End If
If CheckS1 Then Sound1Str = Sound1Str & DataIn
If CheckS2 Then Sound2Str = Sound2Str & DataIn

If (DataIn = "X" Or DataIn = "O") Then CheckStatus
txtDataIn.Text = "Recieve Data is " & DataIn
Sound1Val = Val(Sound1Compleate)
Sound2Val = Val(Sound2Compleate)
txtSoundIn1.Text = "Sound = " & Str(Sound1Val) & " dB"
txtSoundIn2.Text = "Sound = " & Str(Sound2Val) & " dB"
End Select
Exit Sub
JumpToFinish: txtDataIn.Text = "Recieve Data is " & DataIn
End Sub

```

```

Private Sub Timer_Update1_Timer()
DrawGraph
Write2DB
End Sub

```

```

Private Sub Timer1_Timer()
lblTime.Caption = Time()
lblDate.Caption = Date
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Private Sub DrawGraph()

Dim k As Integer

Dim i As Integer

Dim tmp As Variant

For k = 1 To ChartSound.RowCount - 1

ChartSound.Row = k + 1

tmp = ChartSound.Data

ChartSound.Row = k

ChartSound.Data = tmp

Next k

ChartSound.Column = 1

ChartSound.Row = ChartSound.RowCount

ChartSound.Data = Sound1Val

For k = 1 To ChartSound.RowCount - 1

ChartSound.Row = k + 1

tmp = ChartSound.Data

ChartSound.Row = k

ChartSound.Data = tmp

Next k

ChartSound.Column = 2

ChartSound.Row = ChartSound.RowCount

ChartSound.Data = Sound2Val

End Sub

Private Sub Write2DB()

On Error GoTo ErrorHandler

If Adodc1.Recordset.BOF And Adodc1.Recordset.EOF Then

Adodc1.Recordset.AddNew

Else:

Adodc1.Recordset.MoveLast

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Adodc1.Recordset.AddNew
End If
txtJOBID.Text = JOBID
txtTime.Text = Time
txtDate.Text = Date
txtSound1.Text = Str(Sound1Val)
txtSound2.Text = Str(Sound2Val)
Adodc1.Recordset.Update
```

```
If Val(txtSound1.Text) > Val(txtS1HLmit.Text) Then
```

```
If Adodc2.Recordset.BOF And Adodc1.Recordset.EOF Then
```

```
Adodc2.Recordset.AddNew
```

```
Else:
```

```
Adodc2.Recordset.MoveLast
```

```
Adodc2.Recordset.AddNew
```

```
End If
```

```
txtJOBID2.Text = JOBID
```

```
txtTime2.Text = Time
```

```
txtDate2.Text = Date
```

```
txtSoundError.Text = "Sound Channel 1"
```

```
txtValue.Text = Sound1Val
```

```
Adodc2.Recordset.Update
```

```
End If
```

```
If Val(txtSound2.Text) > Val(txtS2HLmit.Text) Then
```

```
If Adodc2.Recordset.BOF And Adodc1.Recordset.EOF Then
```

```
Adodc2.Recordset.AddNew
```

```
Else:
```

```
Adodc2.Recordset.MoveLast
```

```
Adodc2.Recordset.AddNew
```

```
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
txtJOBID2.Text = JOBID
txtTime2.Text = Time
txtDate2.Text = Date
txtSoundError.Text = "Sound Channel 2"
txtValue.Text = Sound2Val
Adodc2.Recordset.Update
End If
Form2.Adodc1.Recordset.MoveLast
Form2.Adodc2.Recordset.MoveLast
Exit Sub
```

ErrorHandler:

```
MsgBox (" & Err.Number & ":" & Err.Description & ")
End Sub
```

Private Sub CreateNoOfTest()

```
Dim FSO As New FileSystemObject
```

```
Dim objFile As File
```

```
Dim objTextStream As TextStream
```

```
Set objTextStream = FSO.OpenTextFile("C:\Sound Monitoring
System\ProgramSetting\DateCheck.txt", ForReading, False)
```

```
CurrentDate = objTextStream.ReadAll 'CurrentDate =
```

```
objTextStream.Close
```

```
If (CurrentDate = Day(Now)) Then
```

```
Set objTextStream = FSO.OpenTextFile("C:\Sound Monitoring
System\ProgramSetting\NoCheck.txt", ForReading, False)
```

```
CurrentNo = objTextStream.ReadAll
```

```
objTextStream.Close
```

```
CurrentNo = Mid(Str(Val(CurrentNo) + 1), 2, 2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



End If

End Sub

Function JOBIDCreator() As String

Dim CurrentMonth As String

Dim CurrentYear As String

Call CreateNoOfTest

CurrentMonth = Month(Now)

CurrentYear = Mid(Year(Now), 3, 2)

If (Len(CurrentMonth) = 1) Then CurrentMonth = "0" & CurrentMonth

JOBIDCreator = "T" & CurrentNo & CurrentDate & CurrentMonth & CurrentYear

End Function

Private Sub CreateFolder()

Dim MyFolder As Folder

Dim FolderName As String

FolderName = Month(Now) & "\_" & (Year(Now) + 543)

FolderLocate = "C:\Sound Monitoring System\" & "Report\_on\_" & FolderName

If MyFSO.FolderExists(FolderLocate) = True Then

GoTo FolderCompleate

Else: Set MyFolder = MyFSO.CreateFolder(FolderLocate)

End If

FolderLocate = MyFolder.Path

FolderCompleate:

Exit Sub

End Sub

Private Sub Save2Excel()

On Error GoTo ErrorHandler

Dim cnData As New ADODB.Connection

Dim rsSoundMonitoring As New ADODB.Recordset

Dim strDB As String

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dim recArray As Variant

Dim fldCount As Integer

Dim recCount As Long

Dim iCol As Integer

Dim iRow As Integer

Dim Temp As String

```
Set cnData = New ADODB.Connection
cnData.Provider = "Microsoft.Jet.OLEDB.4.0"
cnData.ConnectionString = "Data Source = C:\Sound Monitoring System\DataBase\Sound
Monitoring System.MDB"
cnData.Open
Set rsSoundMonitoring = New Recordset
rsSoundMonitoring.Open "SELECT * FROM SoundMonitoringSystem WHERE JOBID LIKE
" & "" & JOBID & "%", cnData, adOpenDynamic, adLockOptimistic, adCmdUnknown

' Create an instance of Excel and add a workbook
Set xlApp = CreateObject("Excel.Application")
Set xlWb = xlApp.Workbooks.Add
Set xlWs = xlWb.Worksheets("Sheet1")

' Display Excel and give user control of Excel's lifetime
If chkOpenORSave = 1 Then
xlApp.Visible = False
xlApp.UserControl = True

' Copy field names to the first row of the worksheet
fldCount = rsSoundMonitoring.Fields.Count
For iCol = 1 To fldCount
    xlWs.Cells(1, iCol).Value = rsSoundMonitoring.Fields(iCol - 1).Name
Next
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

' check version of Excel
If Val(Mid(xlApp.Version, 1, InStr(1, xlApp.Version, ".") - 1)) > 8 Then
    'EXCEL 2000,2002,2003, or 2007: Use CopyFromRecordset

' Copy the recordset to the worksheet, starting in cell A2
    xlWs.Cells(2, 1).CopyFromRecordset rsSoundMonitoring
'Note: CopyFromRecordset will fail if the recordset
'contains an OLE object field or array data such
'as hierarchical recordsets
Else
'EXCEL 97 or earlier: Use GetRows then copy array to Excel
' Copy recordset to an array
    recArray = rsSoundMonitoring.GetRows

'Note: GetRows returns a 0-based array where the first dimension
'dimension contains fields and the second dimension
'contains records. We will transpose this array so that
'the first dimension contains records, allowing the
'data to appear properly when copied to Excel

' Determine number of records
    recCount = UBound(recArray, 2) + 1 ' + 1 since 0-based array

' check the array for contents that are not valid when
' copying the array to an Excel worksheet
For iCol = 0 To fldCount - 1
    For iRow = 0 To recCount - 1
        ' Take care of Date fields
        If IsDate(recArray(iCol, iRow)) Then
            recArray(iCol, iRow) = Format(recArray(iCol, iRow))
        ' Take care of OLE object fields or array fields
        ElseIf IsArray(recArray(iCol, iRow)) Then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

recArray(iCol, iRow) = "Array Field"

End If

Next iRow 'next record

Next iCol 'next field

' Transpose and Copy the array to the worksheet,
' starting in cell A2
xlWs.Cells(2, 1).Resize(recCount, fldCount).Value = _
TransposeDim(recArray)

End If

' Auto-fit the column widths and row heights
xlApp.Selection.CurrentRegion.Columns.AutoFit
xlApp.Selection.CurrentRegion.Rows.AutoFit
'If chkOpenORSave = 2 Then
Call CreateFolder
FileName = JOBID & ".xls"
xlWb.SaveAs (FolderLocate & "" & FileName)
xlWb.Close
Set xlWb = Nothing
xlApp.Quit
Set xlWs = Nothing
Set xlWb = Nothing
Set xlApp = Nothing
rsSoundMonitoring.Close
cnData.Close

Set rsSoundMonitoring = Nothing

Set cnData = Nothing

' Close ADO objects

'New Program Copy Error

Set cnData = New ADODB.Connection

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

cnData.Provider = "Microsoft.Jet.OLEDB.4.0"
cnData.ConnectionString = "Data Source = C:\Sound Monitoring System\DataBase\Sound
Monitoring System.MDB"
cnData.Open
Set rsSoundMonitoring = New Recordset
rsSoundMonitoring.Open "SELECT * FROM SoundError WHERE JOBID LIKE " & "" &
JOBID & "%", cnData, adOpenDynamic, adLockOptimistic, adCmdUnknown
' Create an instance of Excel and add a workbook
Set xlApp = CreateObject("Excel.Application")
Set xlWb = xlApp.Workbooks.Add
Set xlWs = xlWb.Worksheets("Sheet1")

' Display Excel and give user control of Excel's lifetime
If chkOpenORSave = 1 Then
xlApp.Visible = False
xlApp.UserControl = True

' Copy field names to the first row of the worksheet
fldCount = rsSoundMonitoring.Fields.Count
For iCol = 1 To fldCount
xlWs.Cells(1, iCol).Value = rsSoundMonitoring.Fields(iCol - 1).Name
Next

' check version of Excel
If Val(Mid(xlApp.Version, 1, InStr(1, xlApp.Version, ".") - 1)) > 8 Then
'EXCEL 2000,2002,2003, or 2007: Use CopyFromRecordset

' Copy the recordset to the worksheet, starting in cell A2
xlWs.Cells(2, 1).CopyFromRecordset rsSoundMonitoring
'Note: CopyFromRecordset will fail if the recordset
'contains an OLE object field or array data such
'as hierarchical recordsets

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Else

'EXCEL 97 or earlier: Use GetRows then copy array to Excel

' Copy recordset to an array

recArray = rsSoundMonitoring.GetRows

'Note: GetRows returns a 0-based array where the first dimension

'dimension contains fields and the second dimension

'contains records. We will transpose this array so that

'the first dimension contains records, allowing the

'data to appear properly when copied to Excel

' Determine number of records

recCount = UBound(recArray, 2) + 1 ' + 1 since 0-based array

' check the array for contents that are not valid when

' copying the array to an Excel worksheet

For iCol = 0 To fldCount - 1

For iRow = 0 To recCount - 1

' Take care of Date fields

If IsDate(recArray(iCol, iRow)) Then

recArray(iCol, iRow) = Format(recArray(iCol, iRow))

' Take care of OLE object fields or array fields

ElseIf IsArray(recArray(iCol, iRow)) Then

recArray(iCol, iRow) = "Array Field"

End If

Next iRow 'next record

Next iCol 'next field

' Transpose and Copy the array to the worksheet,

' starting in cell A2

xlWs.Cells(2, 1).Resize(recCount, fldCount).Value = \_

TransposeDim(recArray)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End If

' Auto-fit the column widths and row heights

xlApp.Selection.CurrentRegion.Columns.AutoFit

xlApp.Selection.CurrentRegion.Rows.AutoFit

'If chkOpenORSave = 2 Then

FileName = "E" & Mid(JOBID, 1)

xlWb.SaveAs (FolderLocate & "\" & FileName)

rsSoundMonitoring.Close

cnData.Close

Set rsSoundMonitoring = Nothing

Set cnData = Nothing

' Release Excel references

xlWb.Close

Set xlWb = Nothing

xlApp.Quit

Set xlWs = Nothing

Set xlWb = Nothing

Set xlApp = Nothing

'End If

Exit Sub

ErrorHandler:

MsgBox Microsoft Excel (" & Err.Number & ":" & Err.Description & ")

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Function TransposeDim(v As Variant) As Variant

' Custom Function to Transpose a 0-based array (v)

```
Dim X As Long, Y As Long, Xupper As Long, Yupper As Long
```

```
Dim tempArray As Variant
```

```
Xupper = UBound(v, 2)
```

```
Yupper = UBound(v, 1)
```

```
ReDim tempArray(Xupper, Yupper)
```

```
For X = 0 To Xupper
```

```
    For Y = 0 To Yupper
```

```
        tempArray(X, Y) = v(Y, X)
```

```
    Next Y
```

```
Next X
```

```
TransposeDim = tempArray
```

```
End Function
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเขียนโปรแกรมในส่วนของโปรแกรม Hyperterminal

```
#include <t89c51rd2.h>
#include <stdio.h>
unsigned char temp;
Init_Serial() {
    SCON=0x52; // Serial Port working in mode 1
    PCON=0; // Serial port working in normal mode
    T2MOD=0x00; //
    RCAP2H=0xFF; // Set Baud rate to 9600 bps
    RCAP2L=0xC4; // Set Baud rate to 9600 bps
    T2CON=0x34; // Enable Timer2 TR2 = '1' and use overflow of Timer 2 to
    generate clock signal for both Tx & Rx of serial
}
void main()
{
    Init_Serial();
    printf ("\nTEST Serial port\n");
    while(1) {
        if (RI==1) { // Incoming Data from Serial Port
            temp=SBUF; // Read Incoming Data
            RI=0; // Clear Register RI
            TI=0; // Clear Register TI for transmitting data to Serial Port
            SBUF=temp; // Transmit Data to Serial Port by writing data to register SBUF
            while (TI==0); // Wait for Transmission Complete
            printf("\nGot %c from serial port!\n",temp); // Transmit Data by using printf
            Function
        }
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# P89V51RB2/RC2/RD2

8-bit 80C51 5 V low power 16/32/64 kB Flash microcontroller with 1 kB RAM

Rev. 03 — 02 December 2004

Product data

## 1. General description

The P89V51RB2/RC2/RD2 are 80C51 microcontrollers with 16/32/64 kB Flash and 1024 bytes of data RAM.

A key feature of the P89V51RB2/RC2/RD2 is its X2 mode option. The design engineer can choose to run the application with the conventional 80C51 clock rate (12 clocks per machine cycle) or select the X2 mode (6 clocks per machine cycle) to achieve twice the throughput at the same clock frequency. Another way to benefit from this feature is to keep the same performance by reducing the clock frequency by half, thus dramatically reducing the EMI.

The Flash program memory supports both parallel programming and in serial In-System Programming (ISP). Parallel programming mode offers gang-programming at high speed, reducing programming costs and time to market. ISP allows a device to be reprogrammed in the end product under software control. The capability to field/update the application firmware makes a wide range of applications possible.

The P89V51RB2/RC2/RD2 is also In-Application Programmable (IAP), allowing the Flash program memory to be reconfigured even while the application is running.

## 2. Features

- 80C51 Central Processing Unit
- 5 V Operating voltage from 0 MHz to 40 MHz
- 16/32/64 kB of on-chip Flash user code memory with ISP (In-System Programming) and IAP (In-Application Programming)
- Supports 12-clock (default) or 6-clock mode selection via software or ISP
- SPI (Serial Peripheral Interface) and enhanced UART
- PCA (Programmable Counter Array) with PWM and Capture/Compare functions
- Four 8-bit I/O ports with three high-current Port 1 pins (16 mA each)
- Three 16-bit timers/counters
- Programmable watchdog timer
- Eight interrupt sources with four priority levels
- Second DPTR register
- Low EMI mode (ALE inhibit)
- TTL- and CMOS-compatible logic levels



**PHILIPS**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Brown-out detection
- Low power modes
  - ◆ Power-down mode with external interrupt wake-up
  - ◆ Idle mode
- DIP40, PLCC44 and TQFP44 packages

### 3. Ordering information

Table 1: Ordering information

Type number	Package		Version
	Name	Description	
P89V51RB2BA	PLCC44	plastic leaded chip carrier; 44 leads	SOT187-2
P89V51RB2BBC	TQFP44	plastic thin quad flat package; 44 leads; body 10 × 10 × 1.0 mm	SOT376-1
P89V51RC2FA	PLCC44	plastic leaded chip carrier; 44 leads	SOT187-2
P89V51RC2FBC	TQFP44	plastic thin quad flat package; 44 leads; body 10 × 10 × 1.0 mm	SOT376-1
P89V51RC2BN	DIP40	plastic dual in-line package; 40 leads (600 mil)	SOT129-1
P89V51RD2FA	PLCC44	plastic leaded chip carrier; 44 leads	SOT187-2
P89V51RD2FBC	TQFP44	plastic thin quad flat package; 44 leads; body 10 × 10 × 1.0 mm	SOT376-1
P89V51RD2BN	DIP40	plastic dual in-line package; 40 leads (600 mil)	SOT129-1

#### 3.1 Ordering options

Table 2: Ordering options

Type number	Flash memory	Temperature range	Frequency
P89V51RB2BA	16 kB	0 °C to +70 °C	0 MHz to 40 MHz
P89V51RB2BBC	16 kB	0 °C to +70 °C	
P89V51RC2FA	32 kB	-40 °C to +85 °C	
P89V51RC2FBC	32 kB	-40 °C to +85 °C	
P89V51RC2BN	32 kB	0 °C to +70 °C	
P89V51RD2FA	64 kB	-40 °C to +85 °C	
P89V51RD2FBC	64 kB	-40 °C to +85 °C	
P89V51RD2BN	64 kB	0 °C to +70 °C	

**4. Block diagram**

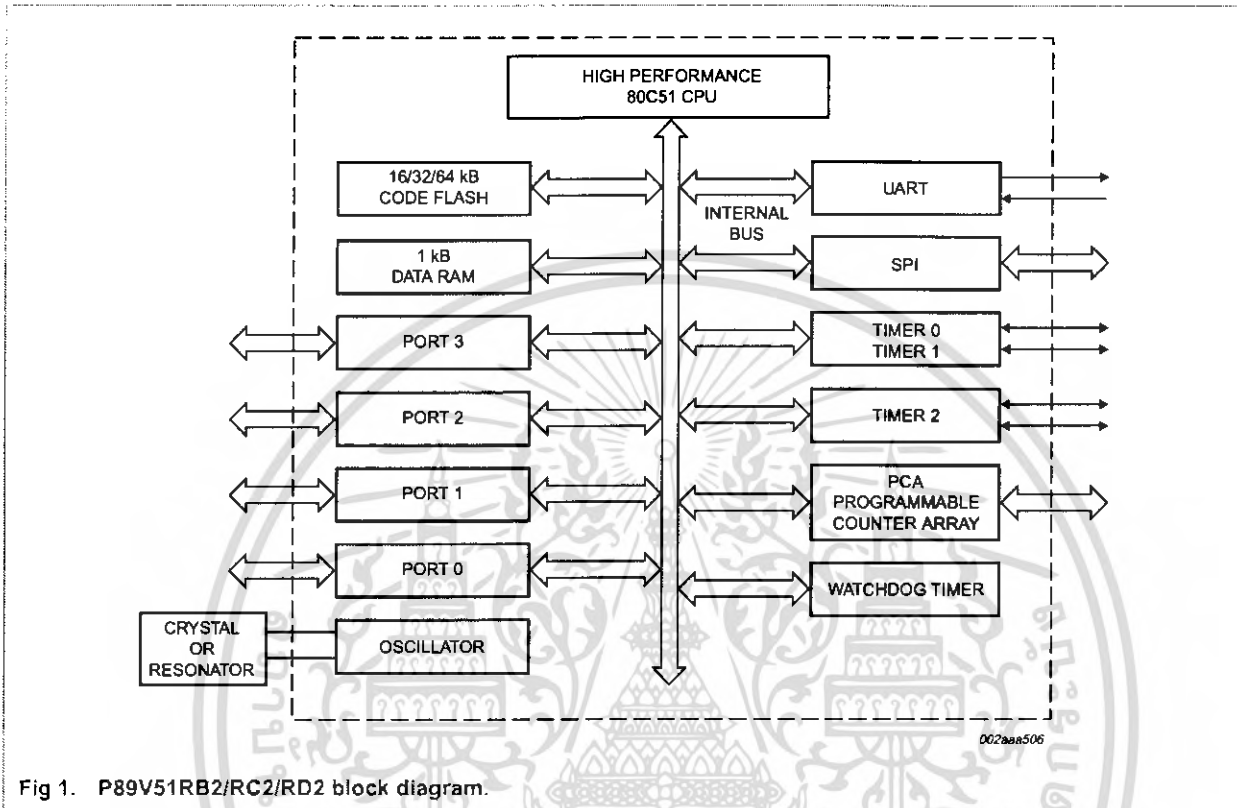


Fig 1. P89V51RB2/RC2/RD2 block diagram.

**5. Pinning information**

**5.1 Pinning**

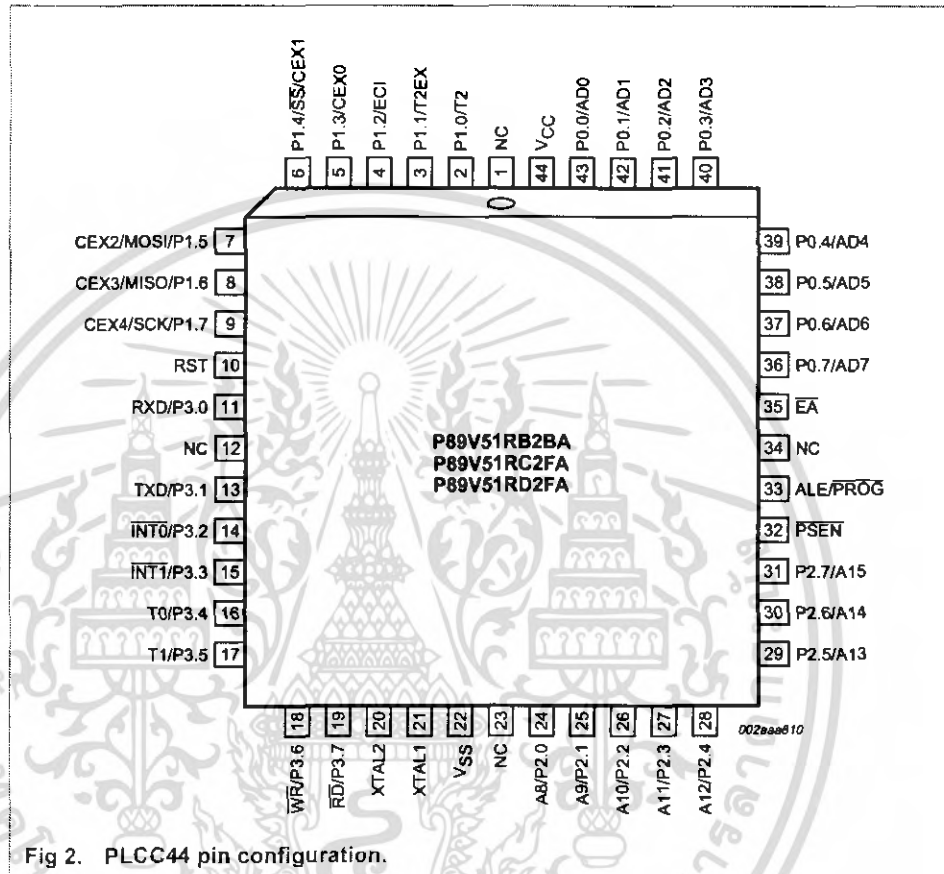


Fig 2. PLCC44 pin configuration.

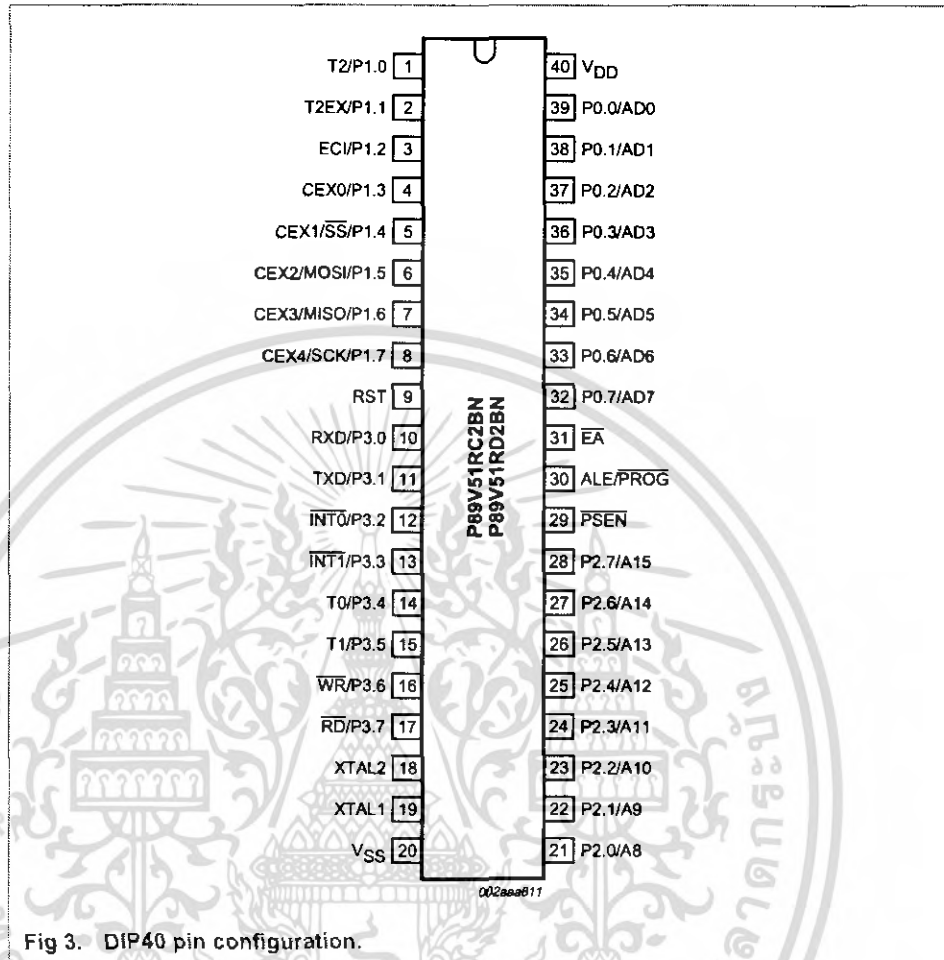
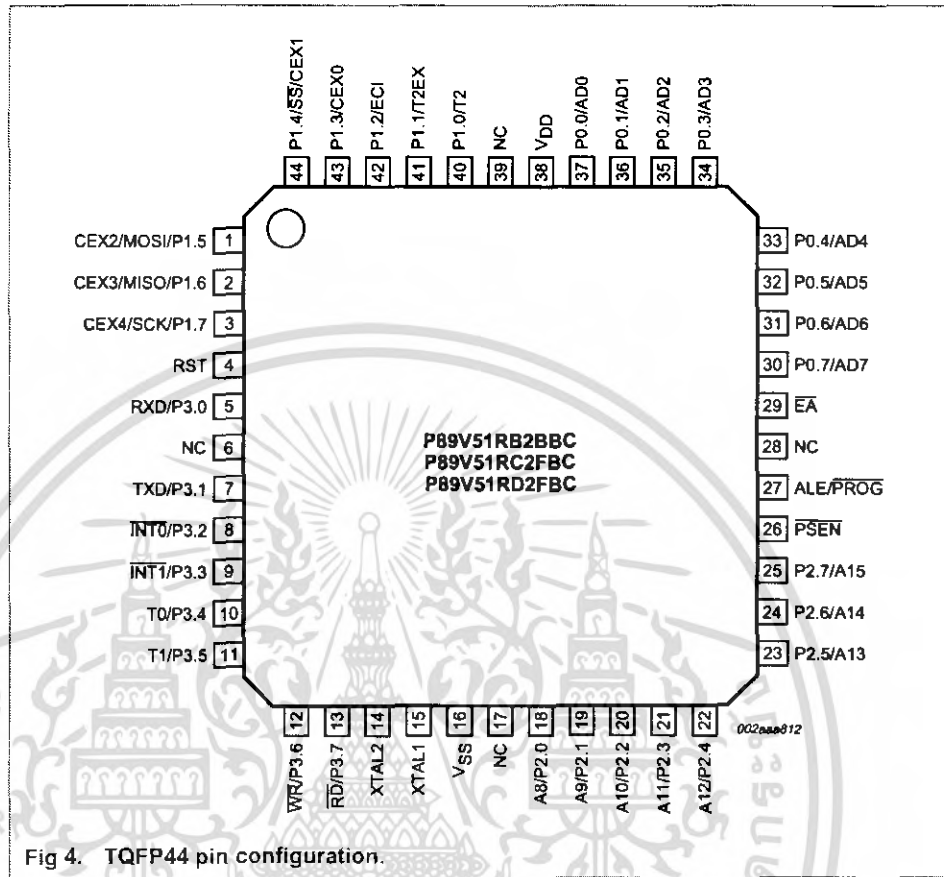


Fig 3. DIP40 pin configuration.



## 5.2 Pin description

Table 3: P89V51RB2/RC2/RD2 pin description

Symbol	Pin			Type	Description
	DIP40	TQFP44	PLCC44		
P0.0 to P0.7	39-32	37-30	43-36	I/O	<b>Port 0:</b> Port 0 is an 8-bit open drain bi-directional I/O port. Port 0 pins that have '1's written to them float, and in this state can be used as high-impedance inputs. Port 0 is also the multiplexed low-order address and data bus during accesses to external code and data memory. In this application, it uses strong internal pull-ups when transitioning to '1's. Port 0 also receives the code bytes during the external host mode programming, and outputs the code bytes during the external host mode verification. External pull-ups are required during program verification or as a general purpose I/O port.
P1.0 to P1.7	1-8	40-44, 1-3	2-9	I/O with internal pull-up	<b>Port 1:</b> Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. The Port 1 pins are pulled high by the internal pull-ups when '1's are written to them and can be used as inputs in this state. As inputs, Port 1 pins that are externally pulled LOW will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pull-ups. P1.5, P1.6, P1.7 have high current drive of 16 mA. Port 1 also receives the low-order address bytes during the external host mode programming and verification.
P1.0	1	40	2	I/O	<b>T2:</b> External count input to Timer/Counter 2 or Clock-out from Timer/Counter 2
P1.1	2	41	3	I	<b>T2EX:</b> Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control
P1.2	3	42	4	I	<b>EC1:</b> External clock input. This signal is the external clock input for the PCA.
P1.3	4	43	5	I/O	<b>CEX0:</b> Capture/compare external I/O for PCA Module 0. Each capture/compare module connects to a Port 1 pin for external I/O. When not used by the PCA, this pin can handle standard I/O.
P1.4	5	44	6	I/O	<b>SS:</b> Slave port select input for SPI <b>CEX1:</b> Capture/compare external I/O for PCA Module 1
P1.5	6	1	7	I/O	<b>MOSI:</b> Master Output Slave Input for SPI <b>CEX2:</b> Capture/compare external I/O for PCA Module 2
P1.6	7	2	8	I/O	<b>MISO:</b> Master Input Slave Output for SPI <b>CEX3:</b> Capture/compare external I/O for PCA Module 3
P1.7	8	3	9	I/O	<b>SCK:</b> Master Output Slave Input for SPI <b>CEX4:</b> Capture/compare external I/O for PCA Module 4

Table 3: P89V51RB2/RC2/RD2 pin description...continued

Symbol	Pin			Type	Description
	DIP40	TQFP44	PLCC44		
P2.0 to P2.7	21-28	18-25	24-31	I/O with internal pull-up	<b>Port 2:</b> Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. Port 2 pins are pulled HIGH by the internal pull-ups when '1's are written to them and can be used as inputs in this state. As inputs, Port 2 pins that are externally pulled LOW will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pull-ups. Port 2 sends the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external Data Memory that use 16-bit address (MOVX@DPTR). In this application, it uses strong internal pull-ups when transitioning to '1's. Port 2 also receives some control signals and a partial of high-order address bits during the external host mode programming and verification.
P3.0 to P3.7	10-17	5, 7-13	11, 13-19	I/O with internal pull-up	<b>Port 3:</b> Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. Port 3 pins are pulled HIGH by the internal pull-ups when '1's are written to them and can be used as inputs in this state. As inputs, Port 3 pins that are externally pulled LOW will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pull-ups. Port 3 also receives some control signals and a partial of high-order address bits during the external host mode programming and verification.
P3.0	10	5	11	I	<b>RXD:</b> serial input port
P3.1	11	7	13	O	<b>TXD:</b> serial output port
P3.2	12	8	14	I	<b>INT0:</b> external interrupt 0 input
P3.3	13	9	15	I	<b>INT1:</b> external interrupt 1 input
P3.4	14	10	16	I	<b>T0:</b> external count input to Timer/Counter 0
P3.5	15	11	17	I	<b>T1:</b> external count input to Timer/Counter 1
P3.6	16	12	18	O	<b>WR:</b> external data memory write strobe
P3.7	17	13	19	O	<b>RD:</b> external data memory read strobe
PSEN	29	26	32	I/O	<b>Program Store Enable:</b> $\overline{PSEN}$ is the read strobe for external program memory. When the device is executing from internal program memory, $\overline{PSEN}$ is inactive (HIGH). When the device is executing code from external program memory, $\overline{PSEN}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{PSEN}$ activations are skipped during each access to external data memory. A forced HIGH-to-LOW input transition on the $\overline{PSEN}$ pin while the RST input is continually held HIGH for more than 10 machine cycles will cause the device to enter external host mode programming.
RST	9	4	10	I	<b>Reset:</b> While the oscillator is running, a HIGH logic state on this pin for two machine cycles will reset the device. If the $\overline{PSEN}$ pin is driven by a HIGH-to-LOW input transition while the RST input pin is held HIGH, the device will enter the external host mode, otherwise the device will enter the normal operation mode.

Table 3: P89V51RB2/RC2/RD2 pin description...continued

Symbol	Pin			Type	Description
	DIP40	TQFP44	PLCC44		
$\overline{EA}$	31	29	35	I	<b>External Access Enable:</b> $\overline{EA}$ must be connected to $V_{SS}$ in order to enable the device to fetch code from the external program memory. $\overline{EA}$ must be strapped to $V_{DD}$ for internal program execution. However, Security lock level 4 will disable $\overline{EA}$ , and program execution is only possible from internal program memory. The $\overline{EA}$ pin can tolerate a high voltage of 12 V.
ALE/ PROG	30	27	33	I/O	<b>Address Latch Enable:</b> ALE is the output signal for latching the low byte of the address during an access to external memory. This pin is also the programming pulse input ( $\overline{PROG}$ ) for flash programming. Normally the ALE <sup>[1]</sup> is emitted at a constant rate of $\frac{1}{6}$ the crystal frequency <sup>[2]</sup> and can be used for external timing and clocking. One ALE pulse is skipped during each access to external data memory. However, if AO is set to '1', ALE is disabled.
NC	-	6, 17, 28, 39	1, 12, 23, 34	I/O	<b>No Connect</b>
XTAL1	19	15	21	I	<b>Crystal 1:</b> Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock generator circuits.
XTAL2	18	14	20	O	<b>Crystal 2:</b> Output from the inverting oscillator amplifier.
$V_{DD}$	40	38	44	I	<b>Power supply</b>
$V_{SS}$	20	16	22	I	<b>Ground</b>

[1] ALE loading issue: When ALE pin experiences higher loading (>30 pF) during the reset, the microcontroller may accidentally enter into modes other than normal working mode. The solution is to add a pull-up resistor of 3 k $\Omega$  to 50 k $\Omega$  to  $V_{DD}$ , e.g., for ALE pin.

[2] For 6-clock mode, ALE is emitted at  $\frac{1}{3}$  of crystal frequency.

## 6. Special function registers

**Remark:** Special Function Registers (SFRs) accesses are restricted in the following ways:

- User must **not** attempt to access any SFR locations not defined.
- Accesses to any defined SFR locations must be strictly for the functions for the SFRs.
- SFR bits labeled '-', '0' or '1' can **only** be written and read as follows:
  - '-' Unless otherwise specified, **must** be written with '0', but can return any value when read (even if it was written with '0'). It is a reserved bit and may be used in future derivatives.
  - '0' **must** be written with '0', and will return a '0' when read.
  - '1' **must** be written with '1', and will return a '1' when read.



## 2.7V Dual Channel 12-Bit A/D Converter with SPI™ Serial Interface

### Features

- 12-bit resolution
- $\pm 1$  LSB max DNL
- $\pm 1$  LSB max INL (MCP3202-B)
- $\pm 2$  LSB max INL (MCP3202-C)
- Analog inputs programmable as single-ended or pseudo-differential pairs
- On-chip sample and hold
- SPI™ serial interface (modes 0,0 and 1,1)
- Single supply operation: 2.7V - 5.5V
- 100 ksp/s max. sampling rate at  $V_{DD} = 5V$
- 50 ksp/s max. sampling rate at  $V_{DD} = 2.7V$
- Low power CMOS technology
  - 500 nA typical standby current, 5  $\mu A$  max.
  - 550  $\mu A$  max. active current at 5V
- Industrial temp range:  $-40^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$
- 8-pin MSOP, PDIP, SOIC and TSSOP packages

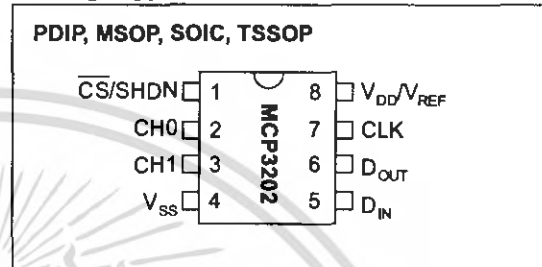
### Applications

- Sensor Interface
- Process Control
- Data Acquisition
- Battery Operated Systems

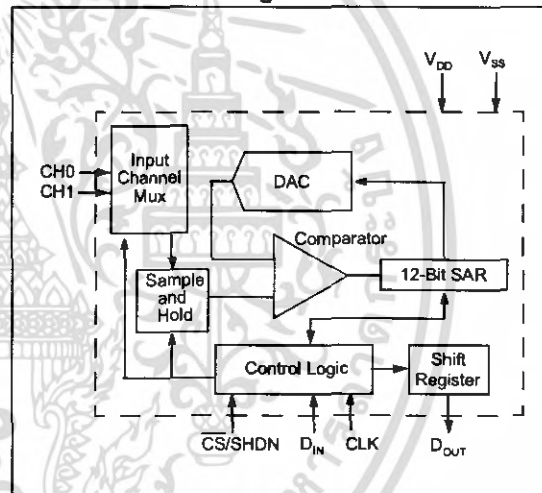
### Description

The Microchip Technology Inc. MCP3202 is a successive approximation 12-bit Analog-to-Digital (A/D) Converter with on-board sample and hold circuitry. The MCP3202 is programmable to provide a single pseudo-differential input pair or dual single-ended inputs. Differential Nonlinearity (DNL) is specified at  $\pm 1$  LSB, and Integral Nonlinearity (INL) is offered in  $\pm 1$  LSB (MCP3202-B) and  $\pm 2$  LSB (MCP3202-C) versions. Communication with the device is done using a simple serial interface compatible with the SPI protocol. The device is capable of conversion rates of up to 100 ksp/s at 5V and 50 ksp/s at 2.7V. The MCP3202 device operates over a broad voltage range (2.7V - 5.5V). Low current design permits operation with typical standby and active currents of only 500 nA and 375  $\mu A$ , respectively. The MCP3202 is offered in 8-pin MSOP, PDIP, TSSOP and 150 mil SOIC packages.

### Package Types



### Functional Block Diagram



# MCP3202

## 1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### 1.1 Maximum Ratings\*

$V_{DD}$  ..... 7.0V

All inputs and outputs w.r.t.  $V_{SS}$  ..... -0.6V to  $V_{DD}$  +0.6V

Storage temperature ..... -65°C to +150°C

Ambient temp. with power applied ..... -65°C to +125°C

ESD protection on all pins (HBM) ..... > 4 kV

\***Notice:** Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## PIN FUNCTION TABLE

Name	Function
$V_{DD}/V_{REF}$	+2.7V to 5.5V Power Supply and Reference Voltage Input
CH0	Channel 0 Analog Input
CH1	Channel 1 Analog Input
CLK	Serial Clock
$D_{IN}$	Serial Data In
$D_{OUT}$	Serial Data Out
CS/SHDN	Chip Select/Shutdown Input

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

All parameters apply at  $V_{DD} = 5.5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $T_{AMB} = -40^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$ ,  $f_{SAMPLE} = 100$  ksp/s and  $f_{CLK} = 18 * f_{SAMPLE}$  unless otherwise noted.

Parameter	Sym	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
<b>Conversion Rate:</b>						
Conversion Time	$t_{CONV}$	—	—	12	clock cycles	
Analog Input Sample Time	$t_{SAMPLE}$	—	1.5	—	clock cycles	
Throughput Rate	$f_{SAMPLE}$	—	—	100 50	ksp/s ksp/s	$V_{DD} = V_{REF} = 5V$ $V_{DD} = V_{REF} = 2.7V$
<b>DC Accuracy:</b>						
Resolution		—	12	—	bits	
Integral Nonlinearity	INL	—	$\pm 0.75$ $\pm 1$	$\pm 1$ $\pm 2$	LSB LSB	MCP3202-B MCP3202-C
Differential Nonlinearity	DNL	—	$\pm 0.5$	$\pm 1$	LSB	No missing codes over temperature
Offset Error		—	$\pm 1.25$	$\pm 3$	LSB	
Gain Error		—	$\pm 1.25$	$\pm 5$	LSB	
<b>Dynamic Performance:</b>						
Total Harmonic Distortion	THD	—	-82	—	dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V @ 1$ kHz
Signal to Noise and Distortion (SINAD)	SINAD	—	72	—	dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V @ 1$ kHz
Spurious Free Dynamic Range	SFDR	—	86	—	dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V @ 1$ kHz
<b>Analog Inputs:</b>						
Input Voltage Range for CH0 or CH1 in Single-Ended Mode		$V_{SS}$	—	$V_{DD}$	V	
Input Voltage Range for IN+ in Pseudo-Differential Mode	IN+	IN-	—	$V_{DD} + IN-$		See Sections 3.1 and 4.1
Input Voltage Range for IN- in Pseudo-Differential Mode	IN-	$V_{SS} - 100$	—	$V_{SS} + 100$	mV	See Sections 3.1 and 4.1
Leakage Current		—	.001	$\pm 1$	$\mu A$	
Switch Resistance	$R_{SS}$	—	1 k	—	$\Omega$	See Figure 4-1

**Note 1:** This parameter is established by characterization and not 100% tested.

**Note 2:** Because the sample cap will eventually lose charge, effective clock rates below 10 kHz can affect linearity performance, especially at elevated temperatures. See Section 6.2 for more information.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

All parameters apply at $V_{DD} = 5.5V$ , $V_{SS} = 0V$ , $T_{AMB} = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ , $f_{SAMPLE} = 100$ ksp/s and $f_{CLK} = 18 \cdot f_{SAMPLE}$ unless otherwise noted.							
Parameter	Sym	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	
Sample Capacitor	$C_{SAMPLE}$	—	20	—	pF	See Figure 4-1	
<b>Digital Input/Output:</b>							
Data Coding Format		Straight Binary					
High Level Input Voltage	$V_{IH}$	$0.7 V_{DD}$	—	—	V		
Low Level Input Voltage	$V_{IL}$	—	—	$0.3 V_{DD}$	V		
High Level Output Voltage	$V_{OH}$	4.1	—	—	V	$I_{OH} = -1$ mA, $V_{DD} = 4.5V$	
Low Level Output Voltage	$V_{OL}$	—	—	0.4	V	$I_{OL} = 1$ mA, $V_{DD} = 4.5V$	
Input Leakage Current	$I_{LI}$	-10	—	10	$\mu A$	$V_{IN} = V_{SS}$ or $V_{DD}$	
Output Leakage Current	$I_{LO}$	-10	—	10	$\mu A$	$V_{OUT} = V_{SS}$ or $V_{DD}$	
Pin Capacitance (All Inputs/Outputs)	$C_{IN}$ , $C_{OUT}$	—	—	10	pF	$V_{DD} = 5.0V$ (Note 1) $T_{AMB} = 25^{\circ}C$ , $f = 1$ MHz	
<b>Timing Parameters:</b>							
Clock Frequency	$f_{CLK}$	—	—	1.8 0.9	MHz MHz	$V_{DD} = 5V$ (Note 2) $V_{DD} = 2.7V$ (Note 2)	
Clock High Time	$t_{HI}$	250	—	—	ns		
Clock Low Time	$t_{LO}$	250	—	—	ns		
CS Fall To First Rising CLK Edge	$t_{SUCS}$	100	—	—	ns		
Data Input Setup Time	$t_{SU}$	—	—	50	ns		
Data Input Hold Time	$t_{HD}$	—	—	50	ns		
CLK Fall To Output Data Valid	$t_{DO}$	—	—	200	ns	See Test Circuits, Figure 1-2	
CLK Fall To Output Enable	$t_{EN}$	—	—	200	ns	See Test Circuits, Figure 1-2	
CS Rise To Output Disable	$t_{DIS}$	—	—	100	ns	See Test Circuits, Figure 1-2 Note 1	
CS Disable Time	$t_{CSH}$	500	—	—	ns		
$D_{OUT}$ Rise Time	$t_R$	—	—	100	ns	See Test Circuits, Figure 1-2 Note 1	
$D_{OUT}$ Fall Time	$t_F$	—	—	100	ns	See Test Circuits, Figure 1-2 Note 1	
<b>Power Requirements:</b>							
Operating Voltage	$V_{DD}$	2.7	—	5.5	V		
Operating Current	$I_{OD}$	—	375	550	$\mu A$	$V_{DD} = 5.0V$ , $D_{OUT}$ unloaded	
Standby Current	$I_{BDS}$	—	0.5	5	$\mu A$	$CS = V_{DD} = 5.0V$	
<b>Temperature Ranges:</b>							
Specified Temperature Range	$T_A$	-40	—	+85	$^{\circ}C$		
Operating Temperature Range	$T_A$	-40	—	+85	$^{\circ}C$		
Storage Temperature Range	$T_A$	-65	—	+150	$^{\circ}C$		
<b>Thermal Package Resistance:</b>							
Thermal Resistance, 8L-PDIP	$\theta_{JA}$	—	85	—	$^{\circ}C/W$		
Thermal Resistance, 8L-SOIC	$\theta_{JA}$	—	163	—	$^{\circ}C/W$		
Thermal Resistance, 8L-MSOP	$\theta_{JA}$	—	206	—	$^{\circ}C/W$		
Thermal Resistance, 8L-TSSOP	$\theta_{JA}$	—	—	—	$^{\circ}C/W$		

Note 1: This parameter is established by characterization and not 100% tested.

Note 2: Because the sample cap will eventually lose charge, effective clock rates below 10 kHz can affect linearity performance, especially at elevated temperatures. See Section 6.2 for more information.

# MCP3202

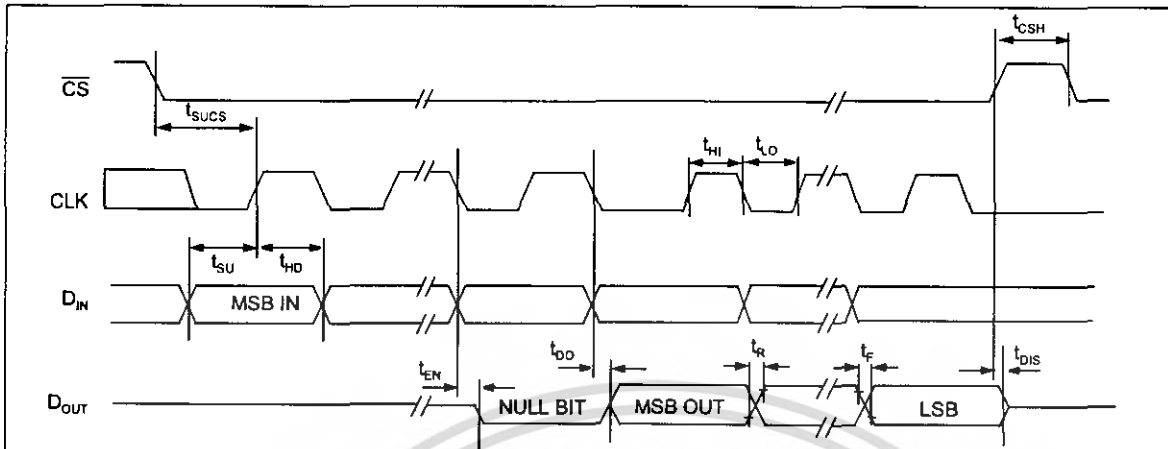


FIGURE 1-1: Serial Timing.

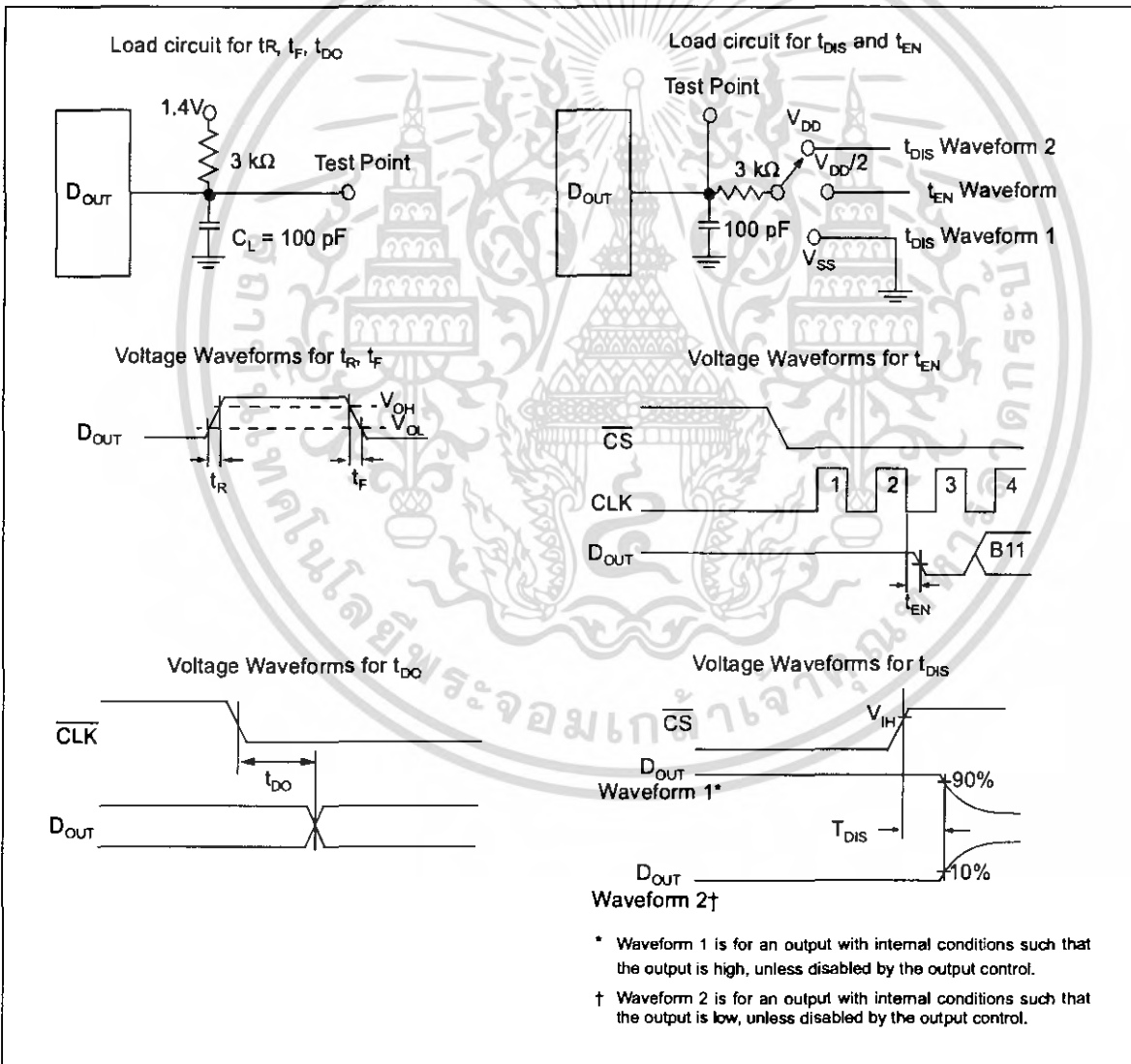
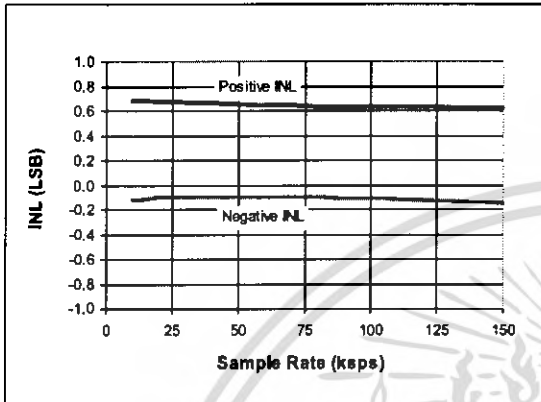


FIGURE 1-2: Test Circuits.

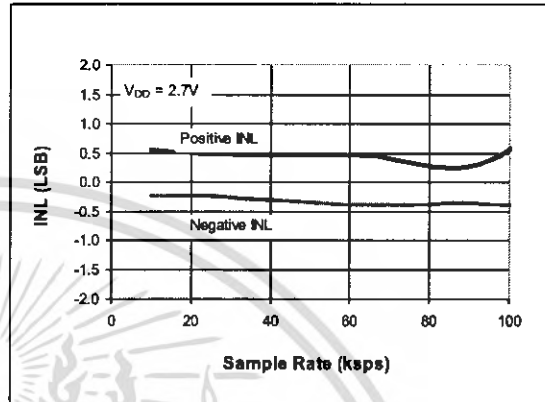
## 2.0 TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

**Note:** The graphs provided following this note are a statistical summary based on a limited number of samples and are provided for informational purposes only. The performance characteristics listed herein are not tested or guaranteed. In some graphs, the data presented may be outside the specified operating range (e.g., outside specified power supply range) and therefore outside the warranted range.

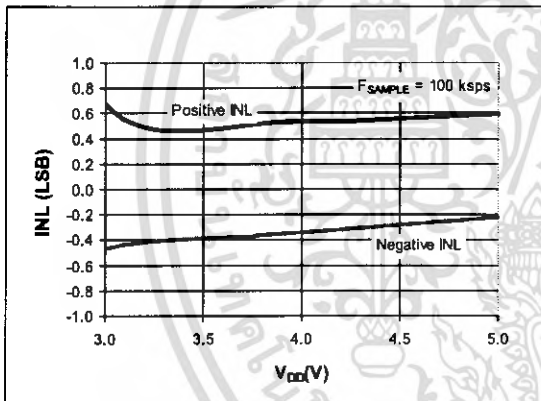
**Note:** Unless otherwise indicated,  $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $f_{SAMPLE} = 100$  kpsps,  $f_{CLK} = 18 * f_{SAMPLE}$ ,  $T_A = 25^{\circ}C$



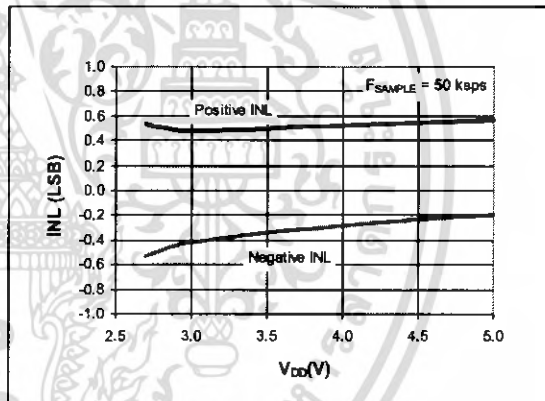
**FIGURE 2-1:** Integral Nonlinearity (INL) vs. Sample Rate.



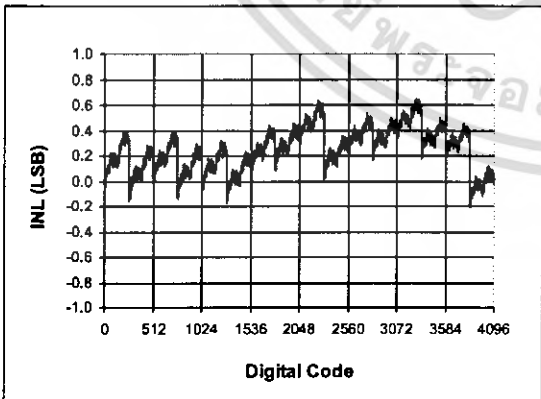
**FIGURE 2-4:** Integral Nonlinearity (INL) vs. Sample Rate ( $V_{DD} = 2.7V$ ).



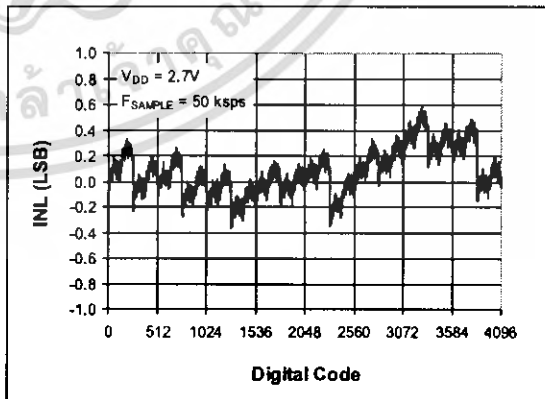
**FIGURE 2-2:** Integral Nonlinearity (INL) vs.  $V_{DD}$ .



**FIGURE 2-5:** Integral Nonlinearity (INL) vs.  $V_{DD}$ .



**FIGURE 2-3:** Integral Nonlinearity (INL) vs. Code (Representative Part).



**FIGURE 2-6:** Integral Nonlinearity (INL) vs. Code (Representative Part,  $V_{DD} = 2.7V$ ).

# MCP3202

Note: Unless otherwise indicated,  $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $f_{SAMPLE} = 100$  kpsps,  $f_{CLK} = 18 \cdot f_{SAMPLE}$ ,  $T_A = 25^\circ C$

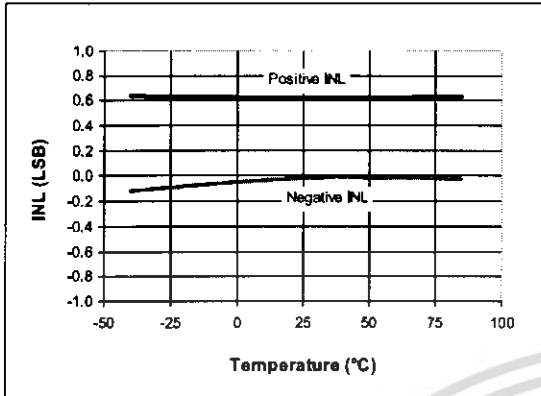


FIGURE 2-7: Integral Nonlinearity (INL) vs. Temperature.

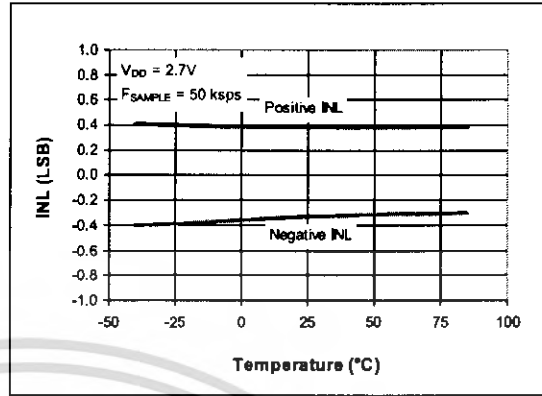


FIGURE 2-10: Integral Nonlinearity (INL) vs. Temperature ( $V_{DD} = 2.7V$ ).

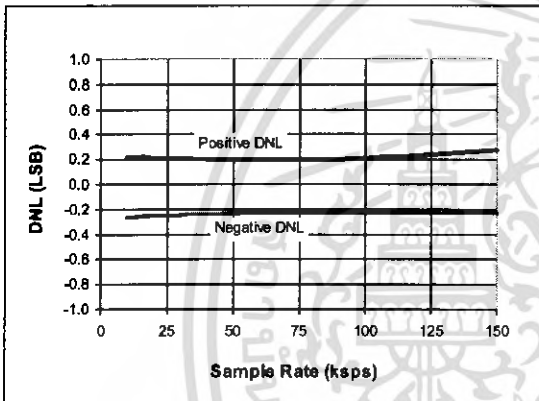


FIGURE 2-8: Differential Nonlinearity (DNL) vs. Sample Rate.

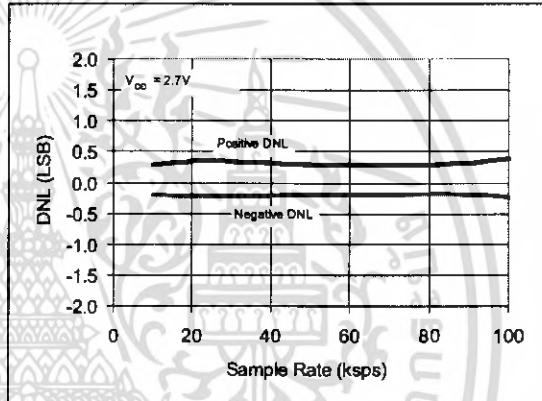


FIGURE 2-11: Differential Nonlinearity (DNL) vs. Sample Rate ( $V_{DD} = 2.7V$ ).

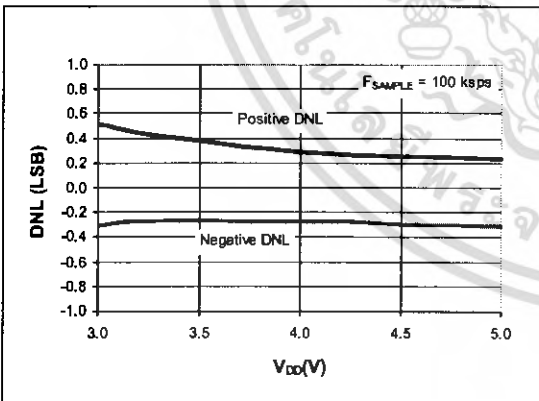


FIGURE 2-9: Differential Nonlinearity (DNL) vs.  $V_{DD}$ .

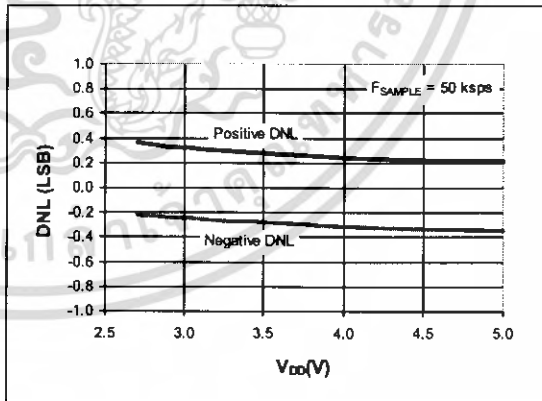


FIGURE 2-12: Differential Nonlinearity (DNL) vs.  $V_{DD}$ .

Note: Unless otherwise indicated,  $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $f_{SAMPLE} = 100$  kpsps,  $f_{CLK} = 18 * f_{SAMPLE}$ ,  $T_A = 25^{\circ}C$

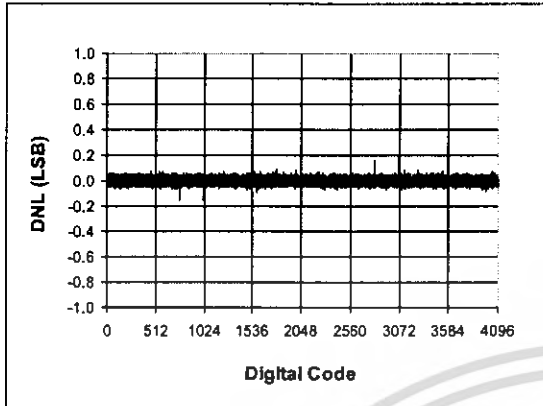


FIGURE 2-13: Differential Nonlinearity (DNL) vs. Code (Representative Part).

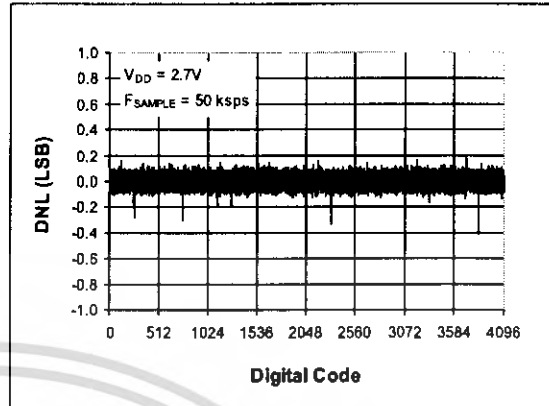


FIGURE 2-16: Differential Nonlinearity (DNL) vs. Code (Representative Part,  $V_{DD} = 2.7V$ ).

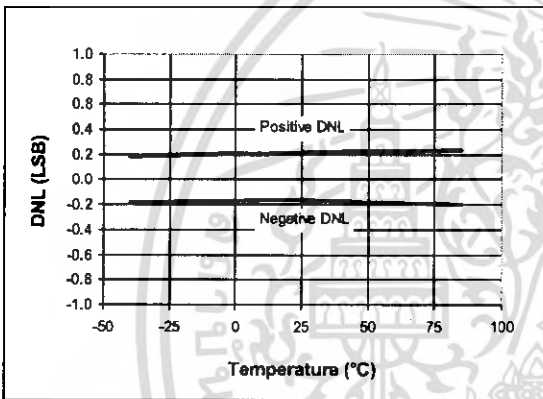


FIGURE 2-14: Differential Nonlinearity (DNL) vs. Temperature.

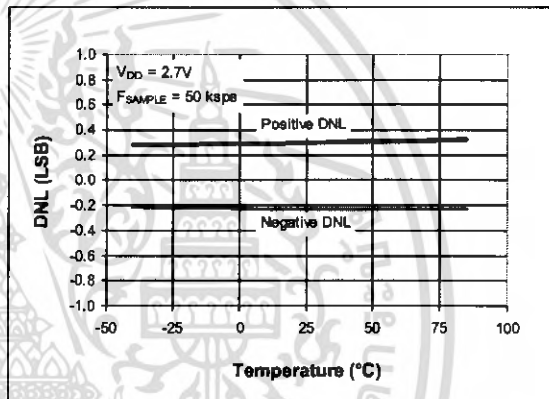


FIGURE 2-17: Differential Nonlinearity (DNL) vs. Temperature ( $V_{DD} = 2.7V$ ).

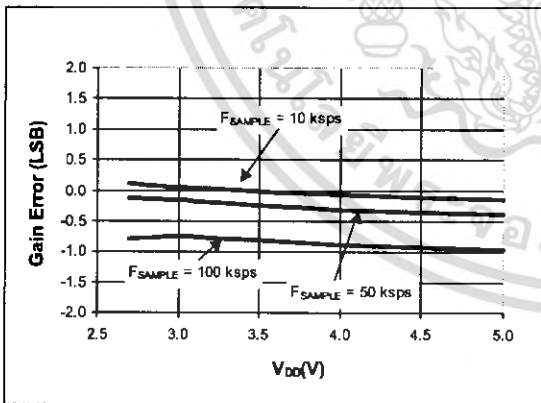


FIGURE 2-15: Gain Error vs.  $V_{DD}$

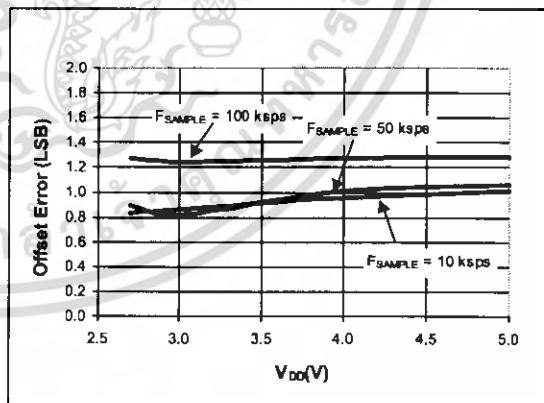


FIGURE 2-18: Offset Error vs.  $V_{DD}$

# MCP3202

Note: Unless otherwise indicated,  $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $f_{SAMPLE} = 100$  kpsps,  $f_{CLK} = 18 * f_{SAMPLE}$ ,  $T_A = 25^{\circ}C$

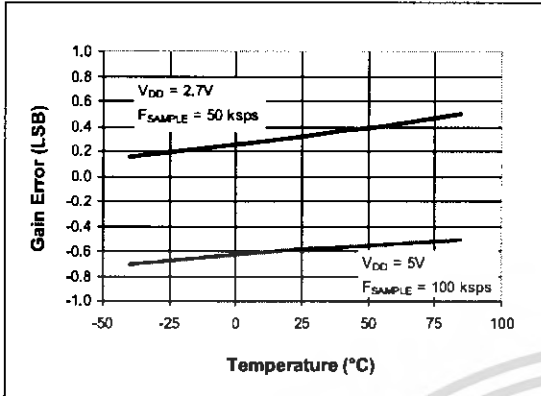


FIGURE 2-19: Gain Error vs. Temperature.

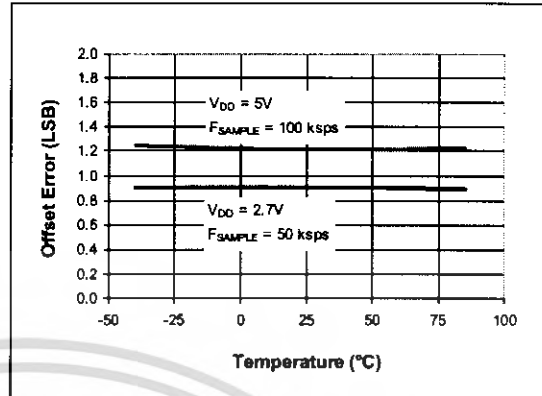


FIGURE 2-22: Offset Error vs. Temperature.

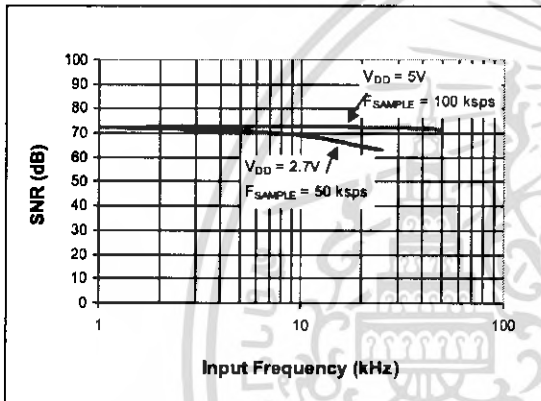


FIGURE 2-20: Signal to Noise Ratio (SNR) vs. Input Frequency.

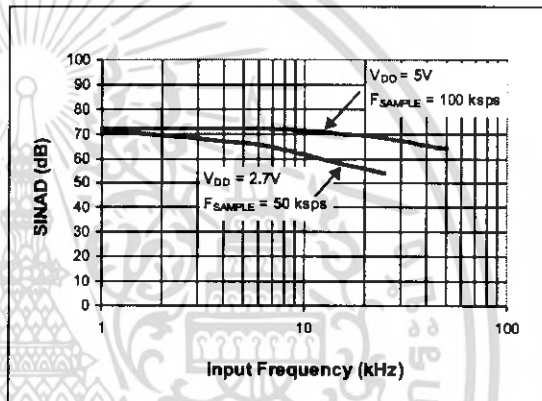


FIGURE 2-23: Signal to Noise and Distortion (SINAD) vs. Input Frequency.

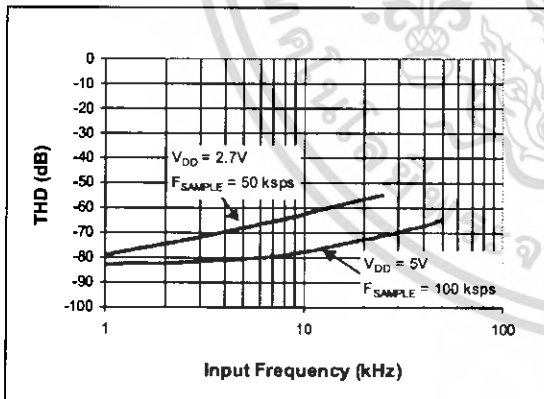


FIGURE 2-21: Total Harmonic Distortion (THD) vs. Input Frequency.

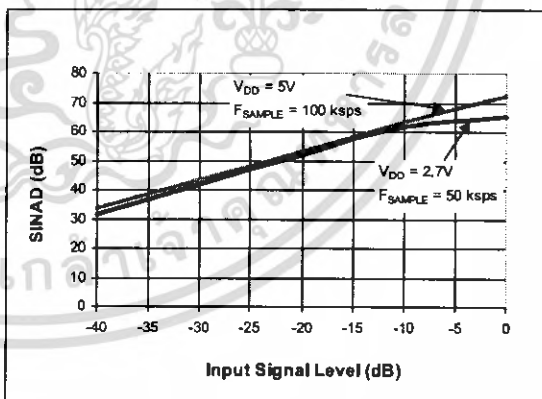


FIGURE 2-24: Signal to Noise and Distortion (SINAD) vs. Signal Level.

Note: Unless otherwise indicated,  $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $f_{SAMPLE} = 100 \text{ kps}$ ,  $f_{CLK} = 18 \cdot f_{SAMPLE}$ ,  $T_A = 25^\circ C$

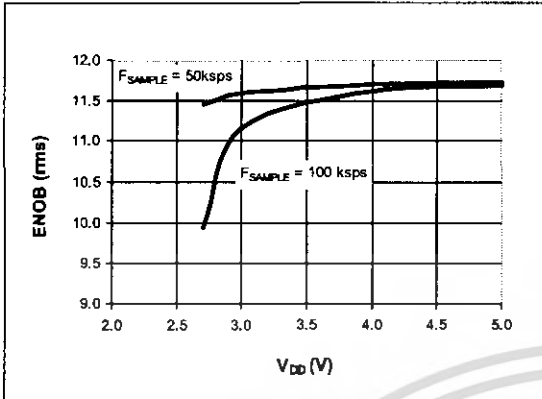


FIGURE 2-25: Effective Number of Bits (ENOB) vs.  $V_{DD}$

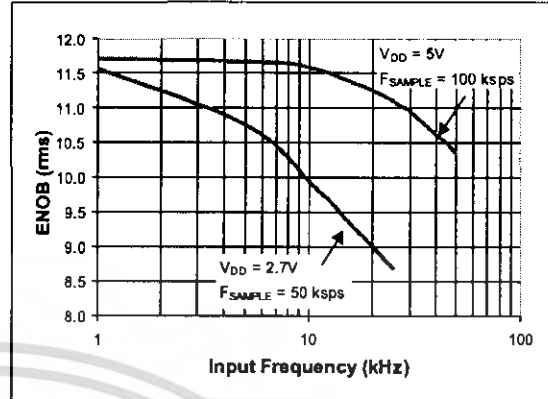


FIGURE 2-28: Effective Number of Bits (ENOB) vs. Input Frequency.

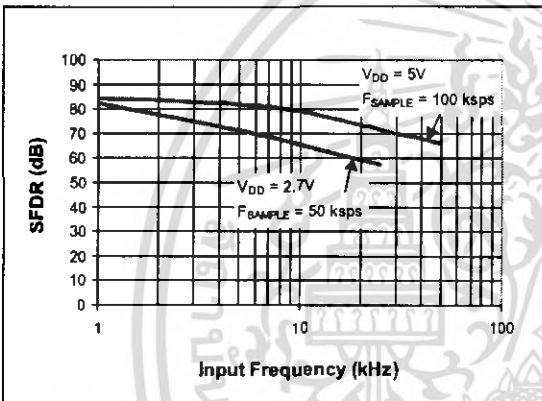


FIGURE 2-26: Spurious Free Dynamic Range (SFDR) vs. Input Frequency.

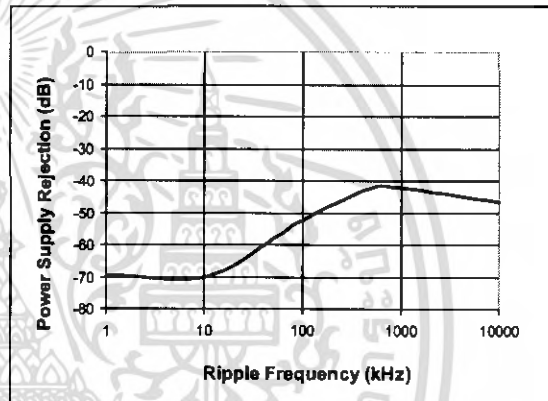


FIGURE 2-29: Power Supply Rejection (PSR) vs. Ripple Frequency.

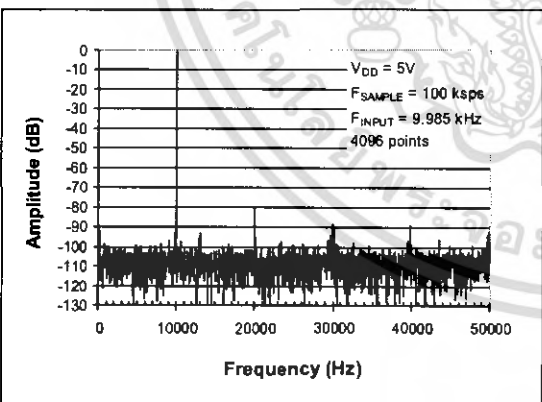


FIGURE 2-27: Frequency Spectrum of 10 kHz input (Representative Part).

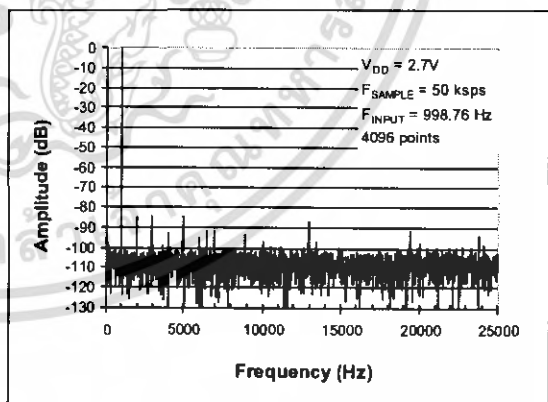


FIGURE 2-30: Frequency Spectrum of 1 kHz input (Representative Part,  $V_{DD} = 2.7V$ ).

# MCP3202

Note: Unless otherwise indicated,  $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $f_{SAMPLE} = 100$  ksp/s,  $f_{CLK} = 18 * f_{SAMPLE}$ ,  $T_A = 25^{\circ}C$

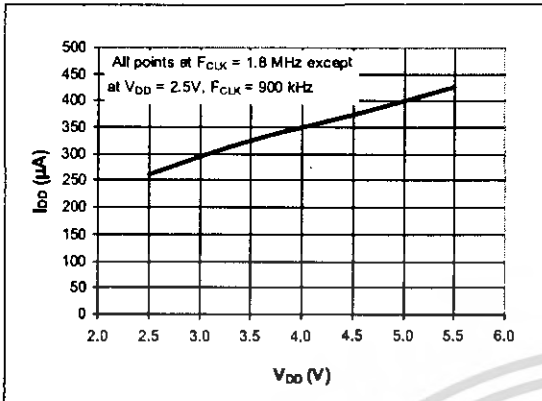


FIGURE 2-31:  $I_{DD}$  vs.  $V_{DD}$

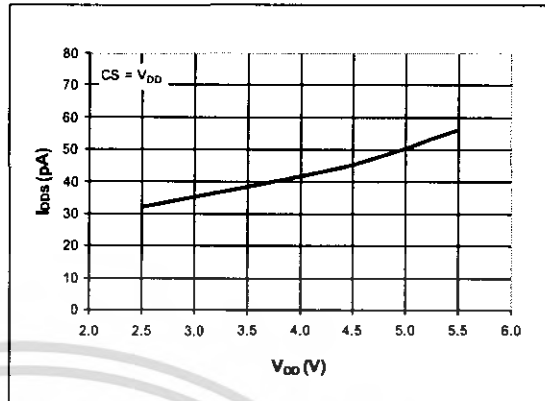


FIGURE 2-34:  $I_{DDS}$  vs.  $V_{DD}$

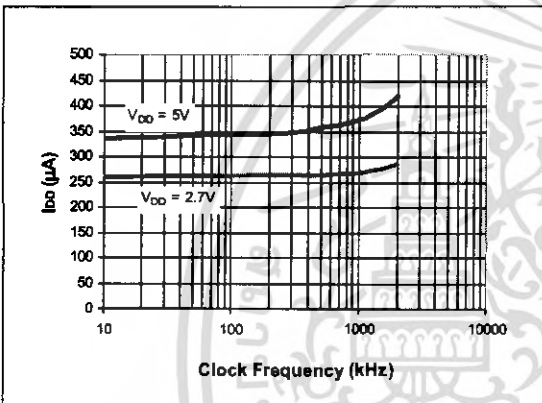


FIGURE 2-32:  $I_{DD}$  vs. Clock Frequency.

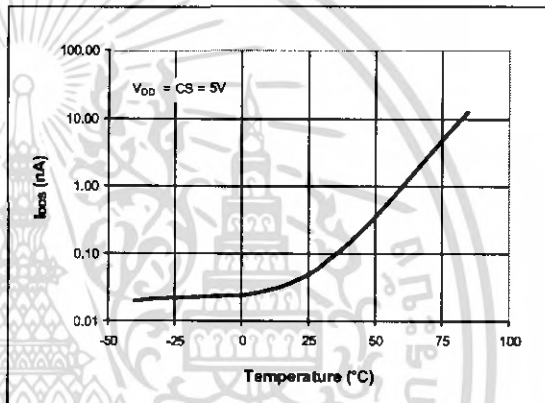


FIGURE 2-35:  $I_{DDS}$  vs. Temperature.

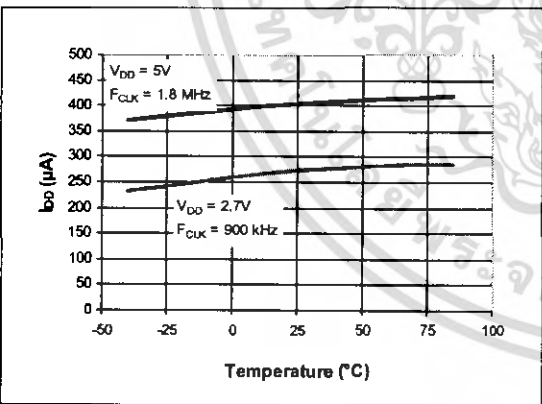


FIGURE 2-33:  $I_{DD}$  vs. Temperature.

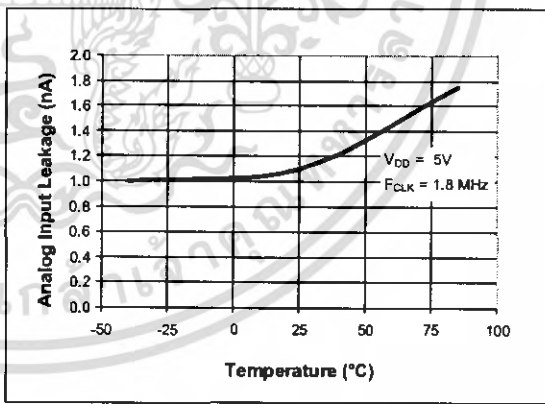


FIGURE 2-36: Analog Input leakage current vs. Temperature.

### 3.0 PIN DESCRIPTIONS

#### 3.1 CH0/CH1

Analog inputs for channels 0 and 1 respectively. These channels can be programmed to be used as two independent channels in single ended-mode or as a single pseudo-differential input where one channel is IN+ and one channel is IN-. See Section 5.0 for information on programming the channel configuration.

#### 3.2 Chip Select/Shutdown (CS/SHDN)

The CS/SHDN pin is used to initiate communication with the device when pulled low and will end a conversion and put the device in low power standby when pulled high. The CS/SHDN pin must be pulled high between conversions.

#### 3.3 Serial Clock (CLK)

The SPI clock pin is used to initiate a conversion and to clock out each bit of the conversion as it takes place. See Section 6.2 for constraints on clock speed.

#### 3.4 Serial Data Input (DIN)

The SPI port serial data input pin is used to clock in input channel configuration data.

#### 3.5 Serial Data Output (DOUT)

The SPI serial data output pin is used to shift out the results of the A/D conversion. Data will always change on the falling edge of each clock as the conversion takes place.

### 4.0 DEVICE OPERATION

The MCP3202 A/D Converter employs a conventional SAR architecture. With this architecture, a sample is acquired on an internal sample/hold capacitor for 1.5 clock cycles starting on the second rising edge of the serial clock after the start bit has been received. Following this sample time, the input switch of the converter opens and the device uses the collected charge on the internal sample and hold capacitor to produce a serial 12-bit digital output code. Conversion rates of 100 ksp/s are possible on the MCP3202. See Section 6.2 for information on minimum clock rates. Communication with the device is done using a 3-wire SPI-compatible interface.

### 4.1 Analog Inputs

The MCP3202 device offers the choice of using the analog input channels configured as two single-ended inputs or a single pseudo-differential input. Configuration is done as part of the serial command before each conversion begins. When used in the pseudo-differential mode, CH0 and CH1 are programmed as the IN+ and IN- inputs as part of the command string transmitted to the device. The IN+ input can range from IN- to  $V_{REF}$  ( $V_{DD} + IN-$ ). The IN- input is limited to  $\pm 100$  mV from the  $V_{SS}$  rail. The IN- input can be used to cancel small signal common-mode noise which is present on both the IN+ and IN- inputs.

For the A/D Converter to meet specification, the charge holding capacitor ( $C_{SAMPLE}$ ) must be given enough time to acquire a 12-bit accurate voltage level during the 1.5 clock cycle sampling period. The analog input model is shown in Figure 4-1.

In this diagram, it is shown that the source impedance ( $R_S$ ) adds to the internal sampling switch ( $R_{SS}$ ) impedance, directly affecting the time that is required to charge the capacitor,  $C_{SAMPLE}$ . Consequently, larger source impedances increase the offset, gain, and integral linearity errors of the conversion.

Ideally, the impedance of the signal source should be near zero. This is achievable with an operational amplifier such as the MCP601 which has a closed loop output impedance of tens of ohms. The adverse effects of higher source impedances are shown in Figure 4-2.

When operating in the pseudo-differential mode, if the voltage level of IN+ is equal to or less than IN-, the resultant code will be 000h. If the voltage at IN+ is equal to or greater than  $\{[V_{DD} + (IN-)] - 1 \text{ LSB}\}$ , then the output code will be FFFh. If the voltage level at IN- is more than 1 LSB below  $V_{SS}$ , then the voltage level at the IN+ input will have to go below  $V_{SS}$  to see the 000h output code. Conversely, if IN- is more than 1 LSB above  $V_{SS}$ , then the FFFh code will not be seen unless the IN+ input level goes above  $V_{DD}$  level.

### 4.2 Digital Output Code

The digital output code produced by an A/D Converter is a function of the input signal and the reference voltage. For the MCP3202,  $V_{DD}$  is used as the reference voltage. As the  $V_{DD}$  level is reduced, the LSB size is reduced accordingly. The theoretical digital output code produced by the A/D Converter is shown below.

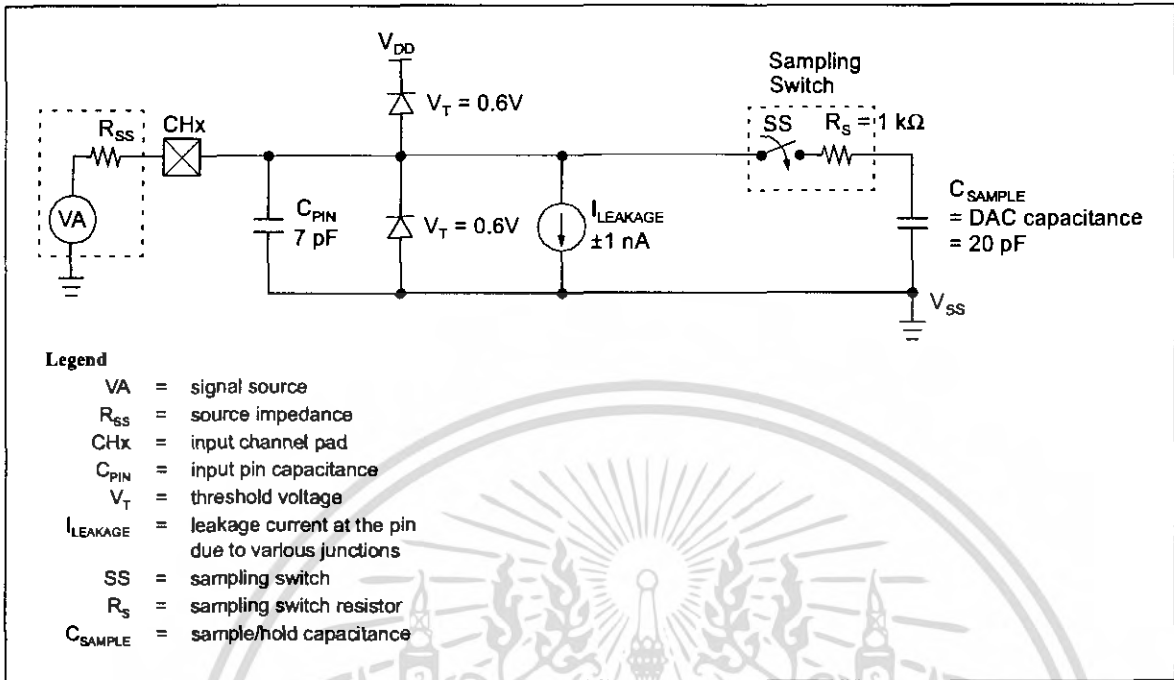
$$\text{Digital Output Code} = \frac{4096 \cdot V_{IN}}{V_{DD}}$$

where:

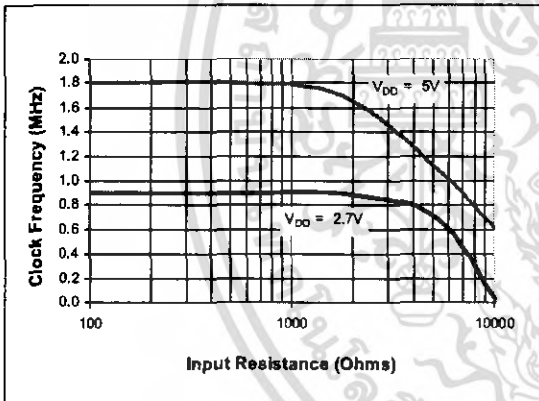
$V_{IN}$  = analog input voltage

$V_{DD}$  = supply voltage

# MCP3202



**FIGURE 4-1:** Analog Input Model.



**FIGURE 4-2:** Maximum Clock Frequency vs. Input Resistance ( $R_i$ ) to maintain less than a 0.1 LSB deviation in INL from nominal conditions.

## 5.0 SERIAL COMMUNICATIONS

### 5.1 Overview

Communication with the MCP3202 is done using a standard SPI-compatible serial interface. Initiating communication with the device is done by bringing the  $\overline{CS}$  line low. See Figure 5-1. If the device was powered up with the  $\overline{CS}$  pin low, it must be brought high and back low to initiate communication. The first clock received with  $\overline{CS}$  low and  $D_{IN}$  high will constitute a start bit. The SGL/DIFF bit and the ODD/SIGN bit follow the start bit and are used to select the input channel configuration. The SGL/DIFF is used to select single ended or pseudo-differential mode. The ODD/SIGN bit selects which channel is used in single ended mode, and is used to determine polarity in pseudo-differential mode. Following the ODD/SIGN bit, the MSBF bit is transmitted to and is used to enable the LSB first format for the device. If the MSBF bit is high, then the data will come from the device in MSB first format and any further clocks with  $\overline{CS}$  low will cause the device to output zeros. If the MSBF bit is low, then the device will output the converted word LSB first *after* the word has been transmitted in the MSB first format. See Figure 5-2. Table 5-1 shows the configuration bits for the MCP3202. The device will begin to sample the analog input on the second rising edge of the clock, after the start bit has been received. The sample period will end on the falling edge of the third clock following the start bit.

On the falling edge of the clock for the MSBF bit, the device will output a low null bit. The next sequential 12 clocks will output the result of the conversion with MSB first as shown in Figure 5-1. Data is always output from the device on the falling edge of the clock. If all 12 data bits have been transmitted and the device continues to receive clocks while the  $\overline{CS}$  is held low, (and MSBF = 1), the device will output the conversion result LSB first as shown in Figure 5-2. If more clocks are provided to the device while  $\overline{CS}$  is still low (after the LSB first data has been transmitted), the device will clock out zeros indefinitely.

If necessary, it is possible to bring  $\overline{CS}$  low and clock in leading zeros on the  $D_{IN}$  line before the start bit. This is often done when dealing with microcontroller-based SPI ports that must send 8 bits at a time. Refer to Section 6.1 for more details on using the MCP3202 devices with hardware SPI ports.

	Config Bits		Channel Selection		GND
	Sgl/Diff	Odd/sign	0	1	
Single Ended Mode	1	0	+	-	-
	1	1	-	+	-
Pseudo-Differential Mode	0	0	IN+	IN-	
	0	1	IN-	IN+	

TABLE 5-1: Configuration Bits for the MCP3202.

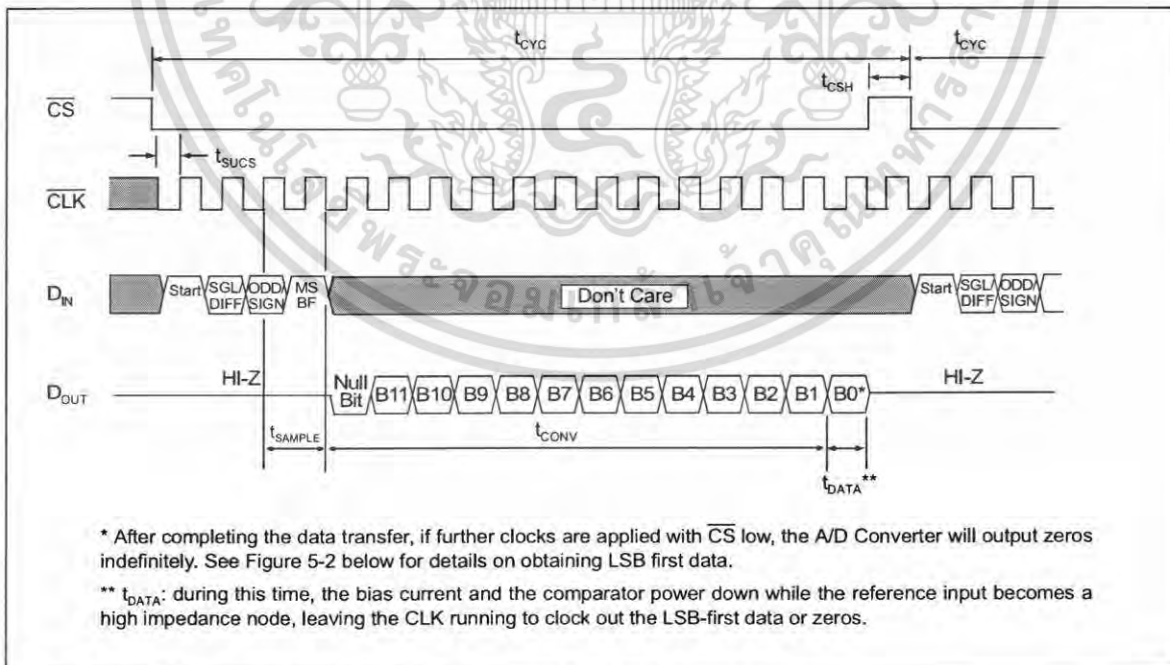
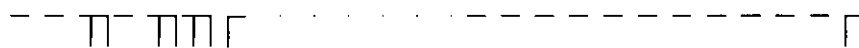


FIGURE 5-1: Communication with the MCP3202 using MSB first format only.



**FIGURE 5-2:** Communication with MCP3202 using LSB first format.



## 6.0 APPLICATIONS INFORMATION

### 6.1 Using the MCP3202 with Microcontroller (MCU) SPI Ports

With most microcontroller SPI ports, it is required to send groups of eight bits. It is also required that the microcontroller SPI port be configured to clock out data on the falling edge of clock and latch data in on the rising edge. Depending on how communication routines are used, it is very possible that the number of clocks required for communication will not be a multiple of eight. Therefore, it may be necessary for the MCU to send more clocks than are actually required. This is usually done by sending 'leading zeros' before the start bit, which are ignored by the device. As an example, Figure 6-1 and Figure 6-2 show how the MCP3202 can be interfaced to a MCU with a hardware SPI port. Figure 6-1 depicts the operation shown in SPI Mode 0,0, which requires that the SCLK from the MCU idles

in the 'low' state, while Figure 6-2 shows the similar case of SPI Mode 1,1 where the clock idles in the 'high' state.

As shown in Figure 6-1, the first byte transmitted to the A/D Converter contains seven leading zeros before the start bit. Arranging the leading zeros this way produces the output 12 bits to fall in positions easily manipulated by the MCU. The MSB is clocked out of the A/D Converter on the falling edge of clock number 12. After the second eight clocks have been sent to the device, the MCU receive buffer will contain three unknown bits (the output is at high impedance until the null bit is clocked out), the null bit and the highest order four bits of the conversion. After the third byte has been sent to the device, the receive register will contain the lowest order eight bits of the conversion results. Easier manipulation of the converted data can be obtained by using this method.

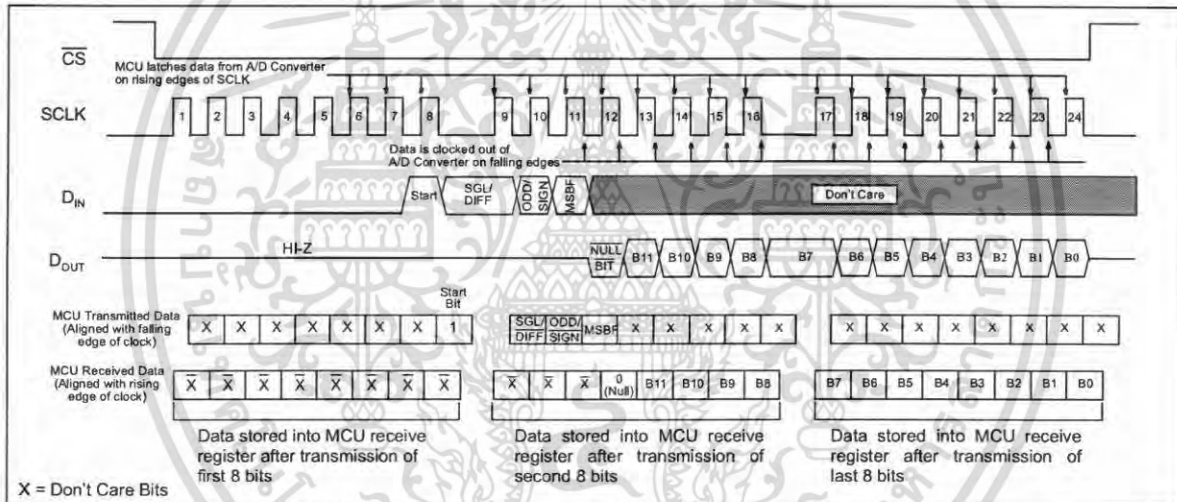


FIGURE 6-1: SPI Communication using 8-bit segments (Mode 0,0: SCLK idles low).

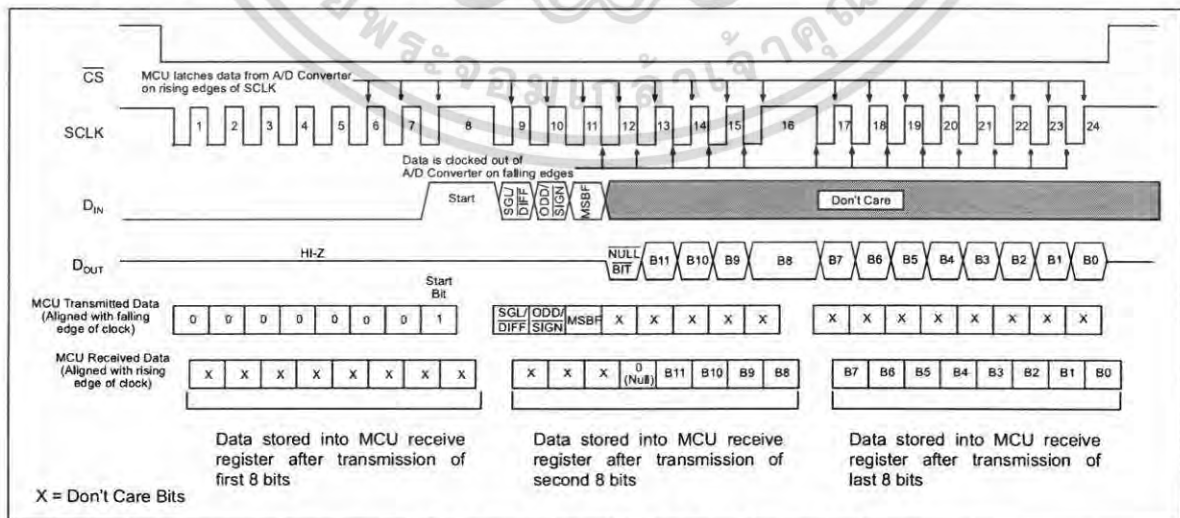


FIGURE 6-2: SPI Communication using 8-bit segments (Mode 1,1: SCLK idles high).

# MCP3202

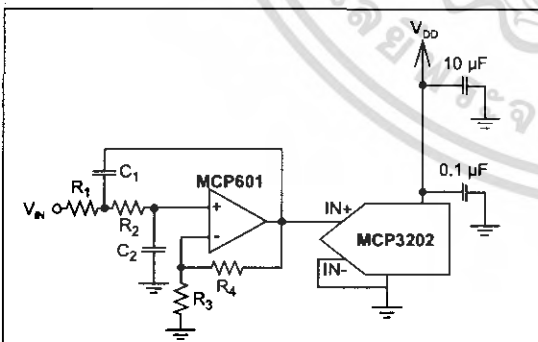
## 6.2 Maintaining Minimum Clock Speed

When the MCP3202 initiates the sample period, charge is stored on the sample capacitor. When the sample period is complete, the device converts one bit for each clock that is received. It is important for the user to note that a slow clock rate will allow charge to bleed off the sample cap while the conversion is taking place. At 85°C (worst case condition), the part will maintain proper charge on the sample capacitor for at least 1.2 ms after the sample period has ended. This means that the time between the end of the sample period and the time that all 12 data bits have been clocked out must not exceed 1.2 ms (effective clock frequency of 10 kHz). Failure to meet this criteria may induce linearity errors into the conversion outside the rated specifications. It should be noted that during the entire conversion cycle, the A/D Converter does not require a constant clock speed or duty cycle, as long as all timing specifications are met.

## 6.3 Buffering/Filtering the Analog Inputs

If the signal source for the A/D Converter is not a low impedance source, it will have to be buffered or inaccurate conversion results may occur. It is also recommended that a filter be used to eliminate any signals that may be aliased back into the conversion results. This is illustrated in Figure 6-3 below where an op amp is used to drive the analog input of the MCP3202. This amplifier provides a low impedance output for the converter input and a low pass filter, which eliminates unwanted high frequency noise.

Low pass (anti-aliasing) filters can be designed using Microchip's interactive FilterLab™ software. FilterLab will calculate capacitor and resistor values, as well as, determine the number of poles that are required for the application. For more information on filtering signals, see the application note AN699 "Anti-Aliasing Analog Filters for Data Acquisition Systems".



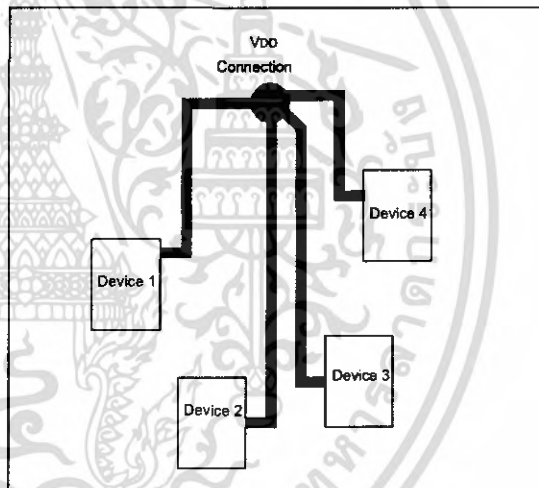
**FIGURE 6-3:** The MCP601 Operational Amplifier is used to implement a 2nd order anti-aliasing filter for the signal being converted by the MCP3202.

## 6.4 Layout Considerations

When laying out a printed circuit board for use with analog components, care should be taken to reduce noise wherever possible. A bypass capacitor should always be used with this device and should be placed as close as possible to the device pin. A bypass capacitor value of 0.1 µF is recommended.

Digital and analog traces should be separated as much as possible on the board and no traces should run underneath the device or the bypass capacitor. Extra precautions should be taken to keep traces with high frequency signals (such as clock lines) as far as possible from analog traces.

Use of an analog ground plane is recommended in order to keep the ground potential the same for all devices on the board. Providing V<sub>DD</sub> connections to devices in a "star" configuration can also reduce noise by eliminating current return paths and associated errors. See Figure 6-4. For more information on layout tips when using A/D Converters, refer to AN688 "Layout Tips for 12-Bit A/D Converter Applications".



**FIGURE 6-4:** V<sub>DD</sub> traces arranged in a 'Star' configuration in order to reduce errors caused by current return paths.

**MAXIM****+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers****General Description**

The MAX220–MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where  $\pm 12V$  is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than 5 $\mu$ W. The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

**Applications**

Portable Computers  
Low-Power Modems  
Interface Translation  
Battery-Powered RS-232 Systems  
Multidrop RS-232 Networks

AutoShutdown and UCSP are trademarks of Maxim Integrated Products, Inc.

**Next-Generation Device Features**

- ◆ For Low-Voltage, Integrated ESD Applications  
MAX3222E/MAX3232E/MAX3237E/MAX3241E/  
MAX3246E: +3.0V to +5.5V, Low-Power, Up to  
1Mbps, True RS-232 Transceivers Using Four  
0.1 $\mu$ F External Capacitors (MAX3246E Available  
in a UCSP™ Package)
- ◆ For Low-Cost Applications  
MAX221E:  $\pm 15kV$  ESD-Protected, +5V, 1 $\mu$ A,  
Single RS-232 Transceiver with AutoShutdown™

**Ordering Information**

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering information continued at end of data sheet.

\*Contact factory for dice specifications.

**Selection Table**

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value ( $\mu$ F)	SHDN & Three-State	Rx Active In SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	0.047/0.33	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package

**MAXIM**

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at [www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาคู่เท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่รับประกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX220-MAX249

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX220/222/232A/233A/242/243

Supply Voltage (V <sub>CC</sub> )	-0.3V to +6V	18-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	889mW
V+ (Note 1)	(V <sub>CC</sub> - 0.3V) to +14V	20-Pin Plastic DIP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	440mW
V- (Note 1)	+0.3V to +14V	16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C)	696mW
Input Voltages		16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	762mW
T <sub>IN</sub>	-0.3V to (V <sub>CC</sub> - 0.3V)	18-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	762mW
R <sub>IN</sub> (Except MAX220)	±30V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
R <sub>IN</sub> (MAX220)	±25V	20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	640mW
T <sub>OUT</sub> (Except MAX220) (Note 2)	±15V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
T <sub>OUT</sub> (MAX220)	±13.2V	18-Pin CERDIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	842mW
Output Voltages		Operating Temperature Ranges	
T <sub>OUT</sub>	±15V	MAX2_AC_, MAX2_C_	0°C to +70°C
R <sub>OUT</sub>	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)	MAX2_AE_, MAX2_E_	-40°C to +85°C
Driver/Receiver Output Short Circuited to GND	Continuous	MAX2_AM_, MAX2_M_	-55°C to +125°C
Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)		Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	842mW	Lead Temperature (soldering, 10s) (Note 3)	+300°C

**Note 1:** For the MAX220, V+ and V- can have a maximum magnitude of 7V, but their absolute difference cannot exceed 13V.

**Note 2:** Input voltage measured with T<sub>OUT</sub> in high-impedance state, SHDN or V<sub>CC</sub> = 0V.

**Note 3:** Maximum reflow temperature for the MAX233A is +225°C.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243

(V<sub>CC</sub> = +5V ±10%, C1-C4 = 0.1µF, MAX220, C1 = 0.047µF, C2-C4 = 0.33µF, T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>RS-232 TRANSMITTERS</b>					
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to GND	±5	±8		V
Input Logic Threshold Low			1.4	0.8	V
Input Logic Threshold High	All devices except MAX220	2	1.4		V
	MAX220: V <sub>CC</sub> = 5.0V	2.4			
Logic Pullup/Input Current	All except MAX220, normal operation		5	40	µA
	SHDN = 0V, MAX222/MAX242, shutdown, MAX220		±0.01	±1	
Output Leakage Current	V <sub>CC</sub> = 5.5V, SHDN = 0V, V <sub>OUT</sub> = ±15V, MAX222/MAX242		±0.01	±10	µA
	V <sub>CC</sub> = SHDN = 0V	V <sub>OUT</sub> = ±15V		±0.01	±10
		MAX220, V <sub>OUT</sub> = ±12V			±25
Data Rate			200	116	kbps
Transmitter Output Resistance	V <sub>CC</sub> = V+ = V- = 0V, V <sub>OUT</sub> = ±2V	300	10M		Ω
Output Short-Circuit Current	V <sub>OUT</sub> = 0V		±7	±22	mA
		MAX220		±60	
<b>RS-232 RECEIVERS</b>					
RS-232 Input Voltage Operating Range				±30	V
	MAX220			±25	
RS-232 Input Threshold Low	V <sub>CC</sub> = 5V	All except MAX243 R2 <sub>IN</sub>	0.8	1.3	V
		MAX243 R2 <sub>IN</sub> (Note 4)	-3		
RS-232 Input Threshold High	V <sub>CC</sub> = 5V	All except MAX243 R2 <sub>IN</sub>		1.8	V
		MAX243 R2 <sub>IN</sub> (Note 4)		-0.5	

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

**MAX220-MAX249**

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243 (continued)

(V<sub>CC</sub> = +5V ±10%, C<sub>1</sub>–C<sub>4</sub> = 0.1µF, MAX220, C<sub>1</sub> = 0.047µF, C<sub>2</sub>–C<sub>4</sub> = 0.33µF, T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 Input Hysteresis	All except MAX220/MAX243, V <sub>CC</sub> = 5V, no hysteresis in SHDN		0.2	0.5	1.0	V
	MAX220		0.3			
	MAX243		1			
RS-232 Input Resistance	T <sub>A</sub> = +25°C (MAX220)		3	5	7	kΩ
			3	5	7	
TTL/CMOS Output Voltage Low	I <sub>OUT</sub> = 3.2mA		0.2			V
	I <sub>OUT</sub> = 1.6mA (MAX220)		0.4			
TTL/CMOS Output Voltage High	I <sub>OUT</sub> = -1.0mA		3.5	V <sub>CC</sub> - 0.2		V
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing V <sub>OUT</sub> = GND		-2	-10		mA
	Shrinking V <sub>OUT</sub> = V <sub>CC</sub>		10	30		
TTL/CMOS Output Leakage Current	SHDN = V <sub>CC</sub> or EN = V <sub>CC</sub> (SHDN = 0V for MAX222), 0V ≤ V <sub>OUT</sub> ≤ V <sub>CC</sub>		±0.05		±10	µA
EN Input Threshold Low	MAX242		1.4		0.8	V
EN Input Threshold High	MAX242		2.0	1.4		V
Operating Supply Voltage			4.5	5.5		V
V <sub>CC</sub> Supply Current (SHDN = V <sub>CC</sub> ), figures 5, 6, 11, 19	No load	MAX220	0.5		2	µA
		MAX222/MAX232A/MAX233A/MAX242/MAX243	4		10	
	3kΩ load both inputs	MAX220	12			
		MAX222/MAX232A/MAX233A/MAX242/MAX243	15			
Shutdown Supply Current	MAX222/MAX242	T <sub>A</sub> = +25°C	0.1		10	µA
		T <sub>A</sub> = 0°C to +70°C	2		50	
		T <sub>A</sub> = -40°C to +85°C	2		50	
		T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C	35		100	
SHDN Input Leakage Current	MAX222/MAX242				±1	µA
SHDN Threshold Low	MAX222/MAX242		1.4		0.8	V
SHDN Threshold High	MAX222/MAX242		2.0	1.4		V
Transition Slew Rate	C <sub>L</sub> = 50pF to 2500pF, R <sub>L</sub> = 3kΩ to 7kΩ, V <sub>CC</sub> = 5V, T <sub>A</sub> = +25°C, measured from +3V to -3V or -3V	MAX222/MAX232A/MAX233/MAX242/MAX243	6	12	30	V/µs
		MAX220	1.5	3	30.0	
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (Normal Operation), Figure 1	t <sub>PHLT</sub>	MAX222/MAX232A/MAX233/MAX242/MAX243	1.3		3.5	µs
		MAX220	4		10	
	t <sub>PLHT</sub>	MAX222/MAX232A/MAX233/MAX242/MAX243	1.5		3.5	
		MAX220	5		10	

**Note 4:** MAX243 R<sub>2OUT</sub> is guaranteed to be low when R<sub>2IN</sub> is ≥ 0V or is floating.

**MAXIM**

3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

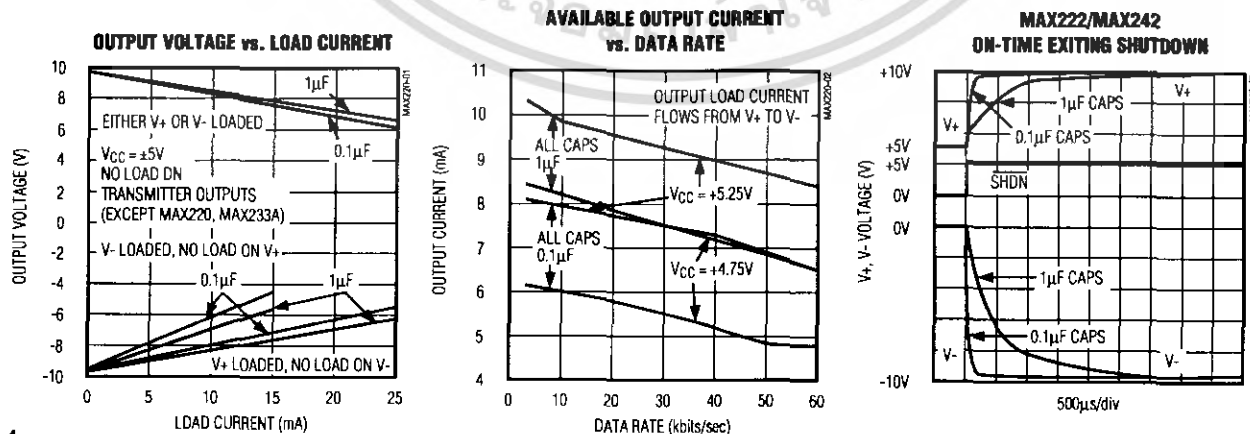
## ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243 (continued)

(V<sub>CC</sub> = +5V ±10%, C<sub>1</sub>–C<sub>4</sub> = 0.1μF, MAX220, C<sub>1</sub> = 0.047μF, C<sub>2</sub>–C<sub>4</sub> = 0.33μF, T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (Normal Operation), Figure 2	t <sub>PHLR</sub>	MAX222/MAX232A/MAX233/ MAX242/MAX243		0.5	1	μs
		MAX220		0.6	3	
	t <sub>PLHR</sub>	MAX222/MAX232A/MAX233/ MAX242/MAX243		0.6	1	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (Shutdown), Figure 2	t <sub>PHLS</sub>	MAX242		0.5	10	μs
	t <sub>PHLS</sub>	MAX242		2.5	10	
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t <sub>ER</sub>	MAX242		125	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t <sub>DR</sub>	MAX242		160	500	ns
Transmitter-Output Enable Time (SHDN Goes High), Figure 4	t <sub>ET</sub>	MAX222/MAX242, 0.1μF caps (includes charge-pump start-up)		250		μs
Transmitter-Output Disable Time (SHDN Goes Low), Figure 4	t <sub>DT</sub>	MAX222/MAX242, 0.1μF caps		600		ns
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (Normal Operation)	t <sub>PHLT</sub> - t <sub>PLHT</sub>	MAX222/MAX232A/MAX233/ MAX242/MAX243		300		ns
		MAX220		2000		
Receiver + to - Propagation Delay Difference (Normal Operation)	t <sub>PHLR</sub> - t <sub>PLHR</sub>	MAX222/MAX232A/MAX233/ MAX242/MAX243		100		ns
		MAX220		225		

### Typical Operating Characteristics

#### MAX220/MAX222/MAX232A/MAX233A/MAX242/MAX243



MAXIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

**MAX220-MAX249**

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX223/MAX230-MAX241

V <sub>CC</sub> .....	-0.3V to +6V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C).....	800mW
V <sub>+</sub> .....	(V <sub>CC</sub> - 0.3V) to +14V	24-Pin Wide SO (derate 11.76mW/°C above +70°C).....	941mW
V <sub>-</sub> .....	+0.3V to -14V	28-Pin Wide SO (derate 12.50mW/°C above +70°C).....	1W
Input Voltages		44-Pin Plastic FP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....	889mW
T <sub>IN</sub> .....	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)	14-Pin CERDIP (derate 9.09mW/°C above +70°C).....	727mW
R <sub>IN</sub> .....	±30V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C).....	800mW
Output Voltages		20-Pin CERDIP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....	889mW
T <sub>OUT</sub> .....	(V <sub>+</sub> + 0.3V) to (V <sub>-</sub> - 0.3V)	24-Pin Narrow CERDIP	
R <sub>OUT</sub> .....	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)	(derate 12.50mW/°C above +70°C).....	1W
Short-Circuit Duration, T <sub>OUT</sub> .....	Continuous	24-Pin Sidebrake (derate 20.0mW/°C above +70°C).....	1.6W
Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)		28-Pin SSOP (derate 9.52mW/°C above +70°C).....	762mW
14-Pin Plastic DIP (derate 10.00mW/°C above +70°C).....		Operating Temperature Ranges	
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C).....		MAX2 __ C .....	0°C to +70°C
20-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....		MAX2 __ E .....	-40°C to +85°C
24-Pin Narrow Plastic DIP		MAX2 __ M .....	-55°C to +125°C
(derate 13.33mW/°C above +70°C).....		Storage Temperature Range .....	-65°C to +160°C
1.07W		Lead Temperature (soldering, 10s) (Note 4) .....	+300°C
24-Pin Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above +70°C).....			
500mW			
16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C).....			
762mW			

**Note 4:** Maximum reflow temperature for the MAX233/MAX235 is +225°C.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230-MAX241

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241, V<sub>CC</sub> = +5V ±10%; MAX233/MAX235, V<sub>CC</sub> = 5V ±5%, C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> = 1.0µF; MAX231/MAX239, V<sub>CC</sub> = 5V ±10%; V<sub>+</sub> = 7.5V to 13.2V; T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to ground		±5.0	±7.3		V
V <sub>CC</sub> Power-Supply Current	No load, T <sub>A</sub> = +25°C	MAX232/233		5	10	mA
		MAX223/230/234-238/240/241		7	15	
		MAX231/239		0.4	1	
V <sub>+</sub> Power-Supply Current		MAX231		1.8	5	mA
		MAX239		5	15	
Shutdown Supply Current	T <sub>A</sub> = +25°C	MAX223		15	50	µA
		MAX230/235/236/240/241		1	10	
Input Logic Threshold Low	T <sub>IN</sub> : EN, SHDN (MAX233); EN, SHDN (MAX230/235-241)				0.8	V
Input Logic Threshold High	T <sub>IN</sub>		2.0			V
	EN, SHDN (MAX223); EN, SHDN (MAX230/235/236/240/241)		2.4			
Logic Pull-Up Current	T <sub>IN</sub> = 0V			1.5	200	µA
Receiver Input Voltage Operating Range			-30		+30	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230-MAX241 (continued)

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241,  $V_{CC} = +5V \pm 10\%$ ; MAX233/MAX235,  $V_{CC} = 5V \pm 5\%$ ,  $C_1-C_4 = 1.0\mu F$ ; MAX231/MAX239,  $V_{CC} = 5V \pm 10\%$ ;  $V_+ = 7.5V$  to  $13.2V$ ;  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ ; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 Input Threshold Low	$T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$	Normal operation SHDN = 5V (MAX223) SHDN = 0V (MAX235/236/240/241)	0.8	1.2		V
		Shutdown (MAX223) SHDN = 0V, EN = 5V ( $R_{4IN}$ , $R_{5IN}$ )	0.6	1.5		
RS-232 Input Threshold High	$T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$	Normal operation SHDN = 5V (MAX223) SHDN = 0V (MAX235/236/240/241)		1.7	2.4	V
		Shutdown (MAX223) SHDN = 0V, EN = 5V ( $R_{4IN}$ , $R_{5IN}$ )		1.5	2.4	
RS-232 Input Hysteresis	$V_{CC} = 5V$ , no hysteresis in shutdown		0.2	0.5	1.0	V
RS-232 Input Resistance	$T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$		3	5	7	k $\Omega$
TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} = 1.6mA$ (MAX231/232/233, $I_{OUT} = 3.2mA$ )				0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} = -1mA$		3.5	$V_{CC} - 0.4$		V
TTL/CMOS Output Leakage Current	$0V \leq R_{OUT} \leq V_{CC}$ ; EN = 0V (MAX223); EN = $V_{CC}$ (MAX235-241)			0.05	$\pm 10$	$\mu A$
Receiver Output Enable Time	Normal operation	MAX223		600		ns
		MAX235/236/239/240/241		400		
Receiver Output Disable Time	Normal operation	MAX223		900		ns
		MAX235/236/239/240/241		250		
Propagation Delay	RS-232 IN to TTL/CMOS OUT, $C_L = 150pF$	Normal operation SHDN = 0V (MAX223)		0.5	10	$\mu s$
				4	40	
Transition Region Slew Rate	MAX223/MAX230/MAX234-241, $T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$ , $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$ , $C_L = 50pF$ to $2500pF$ , measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$		3	5.1	30	V/ $\mu s$
	MAX231/MAX232/MAX233, $T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$ , $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$ , $C_L = 50pF$ to $2500pF$ , measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$			4	30	
Transmitter Output Resistance	$V_{CC} = V_+ = V_- = 0V$ , $V_{OUT} = \pm 2V$		300			$\Omega$
Transmitter Output Short-Circuit Current				$\pm 10$		mA

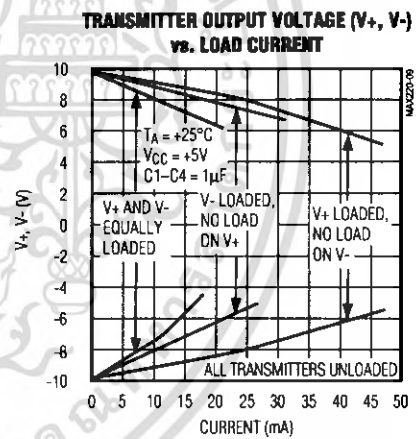
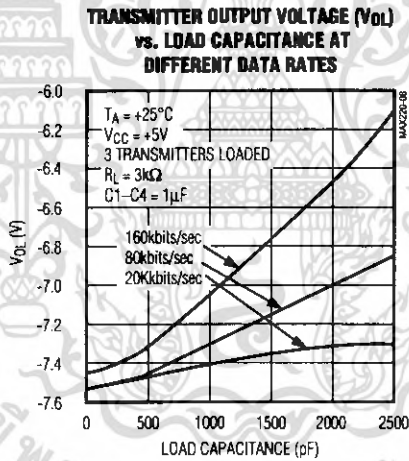
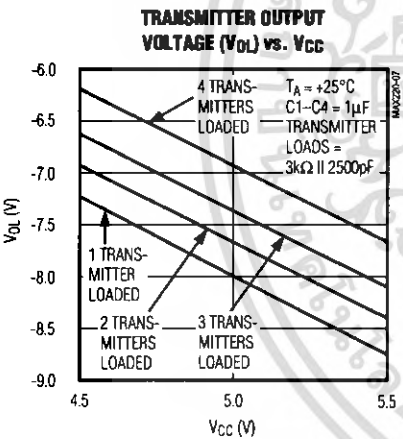
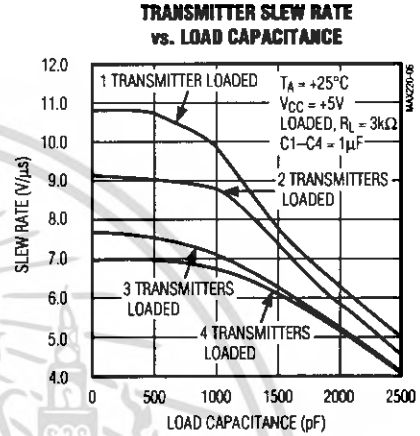
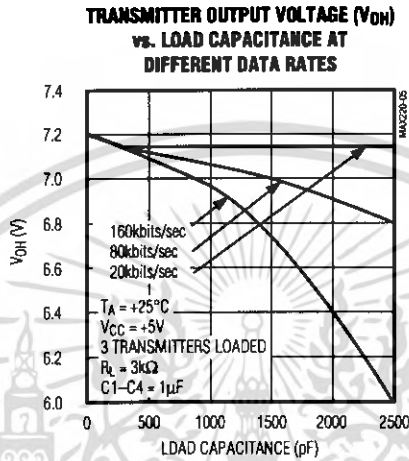
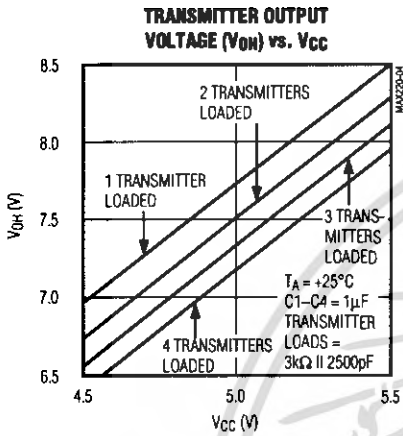
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

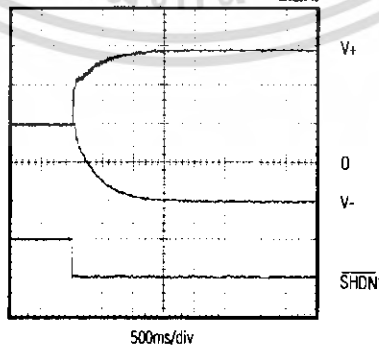
## Typical Operating Characteristics

### MAX223/MAX230-MAX241

MAX220-MAX249



**$V_+$ ,  $V_-$  WHEN EXITING SHUTDOWN ( $1\mu\text{F}$  CAPACITORS)**



\*SHUTDOWN POLARITY IS REVERSED FOR NON MAX241 PARTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX225/MAX244-MAX249

Supply Voltage ( $V_{CC}$ )	-0.3V to +6V	Continuous Power Dissipation ( $T_A = +70^\circ\text{C}$ )	
Input Voltages		28-Pin Wide SO (derate 12.50mW/ $^\circ\text{C}$ above $+70^\circ\text{C}$ )	1W
$T_{IN}$ , ENA, ENB, ENR, ENT, ENRA, ENRB, ENTA, ENTB	-0.3V to ( $V_{CC} + 0.3\text{V}$ )	40-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/ $^\circ\text{C}$ above $+70^\circ\text{C}$ )	0.611W
$R_{IN}$	$\pm 25\text{V}$	44-Pin PLCC (derate 13.33mW/ $^\circ\text{C}$ above $+70^\circ\text{C}$ )	1.07W
$T_{OUT}$ (Note 5)	$\pm 15\text{V}$	Operating Temperature Ranges	
$R_{OUT}$	-0.3V to ( $V_{CC} + 0.3\text{V}$ )	MAX225C_-, MAX24_C_-	$0^\circ\text{C}$ to $+70^\circ\text{C}$
Short Circuit (one output at a time)		MAX225E_-, MAX24_E_-	$-40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$
$T_{OUT}$ to GND	Continuous	Storage Temperature Range	$-65^\circ\text{C}$ to $+160^\circ\text{C}$
$R_{OUT}$ to GND	Continuous	Lead Temperature (soldering, 10s) (Note 6)	$+300^\circ\text{C}$

**Note 5:** Input voltage measured with transmitter output in a high-impedance state, shutdown, or  $V_{CC} = 0\text{V}$ .

**Note 6:** Maximum reflow temperature for the MAX225/MAX245/MAX246/MAX247 is  $+225^\circ\text{C}$ .

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX225/MAX244-MAX249

(MAX225,  $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 5\%$ ; MAX244-MAX249,  $V_{CC} = +5.0\text{V} \pm 10\%$ , external capacitors C1-C4 =  $1\mu\text{F}$ ;  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ ; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>RS-232 TRANSMITTERS</b>					
Input Logic Threshold Low			1.4	0.8	V
Input Logic Threshold High		2	1.4		V
Logic Pull-Up/Input Current	Tables 1a-1d	Normal operation		10	50
		Shutdown		$\pm 0.01$	$\pm 1$
Data Rate	Tables 1a-1d, normal operation		120	64	kbps
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with $3\text{k}\Omega$ to GND	$\pm 5$	$\pm 7.5$		V
Output Leakage Current (Shutdown)	Tables 1a-1d	ENA, ENB, ENT, ENTA, ENTB = $V_{CC}$ , $V_{OUT} = \pm 15\text{V}$		$\pm 0.01$	$\pm 25$
		$V_{CC} = 0\text{V}$ , $V_{OUT} = \pm 15\text{V}$		$\pm 0.01$	$\pm 25$
Transmitter Output Resistance	$V_{CC} = V_+ = V_- = 0\text{V}$ , $V_{OUT} = \pm 2\text{V}$ (Note 7)	300	10M		$\Omega$
Output Short-Circuit Current	$V_{OUT} = 0\text{V}$	$\pm 7$	$\pm 30$		mA
<b>RS-232 RECEIVERS</b>					
RS-232 Input Voltage Operating Range				$\pm 25$	V
RS-232 Input Threshold Low	$V_{CC} = 5\text{V}$	0.8	1.3		V
RS-232 Input Threshold High	$V_{CC} = 5\text{V}$		1.8	2.4	V
RS-232 Input Hysteresis	$V_{CC} = 5\text{V}$	0.2	0.5	1.0	V
RS-232 Input Resistance		3	5	7	$\text{k}\Omega$
TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} = 3.2\text{mA}$		0.2	0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} = -1.0\text{mA}$	3.5	$V_{CC} - 0.2$		V
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing $V_{OUT} = \text{GND}$	-2	-10		mA
	Shrinking $V_{OUT} = V_{CC}$	10	30		
TTL/CMOS Output Leakage Current	Normal operation, outputs disabled, Tables 1a-1d, $0\text{V} \leq V_{OUT} \leq V_{CC}$ , ENR <sub>L</sub> = $V_{CC}$		$\pm 0.05$	$\pm 0.10$	$\mu\text{A}$

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

**MAX220-MAX249**

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX225/MAX244–MAX249 (continued)

(MAX225,  $V_{CC} = 5.0V \pm 5\%$ ; MAX244–MAX249,  $V_{CC} = +5.0V \pm 10\%$ , external capacitors C1–C4 = 1 $\mu$ F;  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ ; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>POWER SUPPLY AND CONTROL LOGIC</b>						
Operating Supply Voltage		MAX225	4.75		5.25	V
		MAX244–MAX249	4.5		5.5	
V <sub>CC</sub> Supply Current (Normal Operation)	No load	MAX225		10	20	mA
		MAX244–MAX249		11	30	
	3k $\Omega$ loads on all outputs	MAX225		40		
		MAX244–MAX249		57		
Shutdown Supply Current	$T_A = +25^\circ\text{C}$			8	25	$\mu$ A
	$T_A = T_{MIN}$ to $T_{MAX}$				50	
Control Input	Leakage current				$\pm 1$	$\mu$ A
	Threshold low			1.4	0.8	V
	Threshold high		2.4	1.4		
<b>AC CHARACTERISTICS</b>						
Transition Slew Rate	$C_L = 50\text{pF}$ to $2500\text{pF}$ , $R_L = 3\text{k}\Omega$ to $7\text{k}\Omega$ , $V_{CC} = 5\text{V}$ , $T_A = +25^\circ\text{C}$ , measured from +3V to -3V or -3V to +3V		5	10	30	V/ $\mu$ s
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (Normal Operation), Figure 1	t <sub>PHLT</sub>			1.3	3.5	$\mu$ s
	t <sub>PLHT</sub>			1.5	3.5	
Receiver Propagation Delay TLL to RS-232 (Normal Operation), Figure 2	t <sub>PHLR</sub>			0.6	1.5	$\mu$ s
	t <sub>PLHR</sub>			0.6	1.5	
Receiver Propagation Delay TLL to RS-232 (Low-Power Mode), Figure 2	t <sub>PHLS</sub>			0.6	10	$\mu$ s
	t <sub>PLHS</sub>			3.0	10	
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (Normal Operation)	t <sub>PHLT</sub> - t <sub>PLHT</sub>			350		ns
Receiver + to - Propagation Delay Difference (Normal Operation)	t <sub>PHLR</sub> - t <sub>PLHR</sub>			350		ns
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t <sub>ER</sub>			100	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t <sub>DR</sub>			100	500	ns
Transmitter Enable Time	t <sub>ET</sub>	MAX246–MAX249 (excludes charge-pump startup)		5		$\mu$ s
		MAX225/MAX245–MAX249 (includes charge-pump startup)		10		ms
Transmitter Disable Time, Figure 4	t <sub>DT</sub>			100		ns

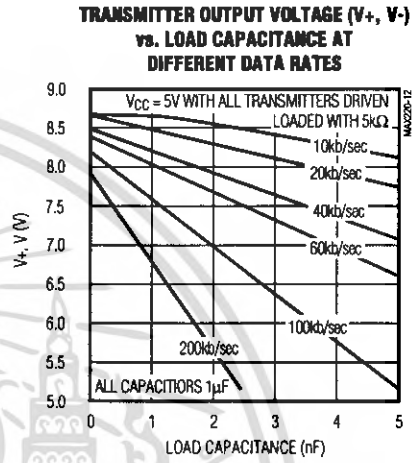
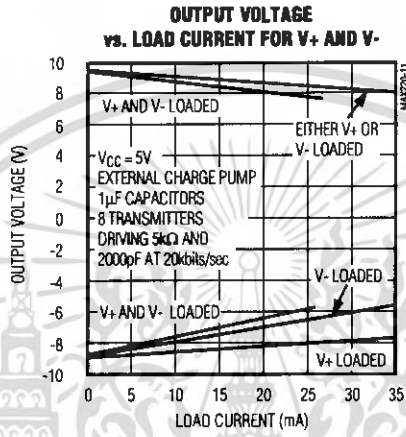
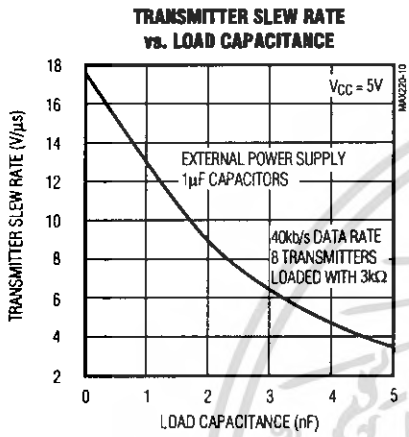
**Note 7:** The 300 $\Omega$  minimum specification complies with EIA/TIA-232E, but the actual resistance when in shutdown mode or  $V_{CC} = 0\text{V}$  is 10M $\Omega$  as is implied by the leakage specification.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

## Typical Operating Characteristics

### MAX225/MAX244-MAX249



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

**MAX220-MAX249**

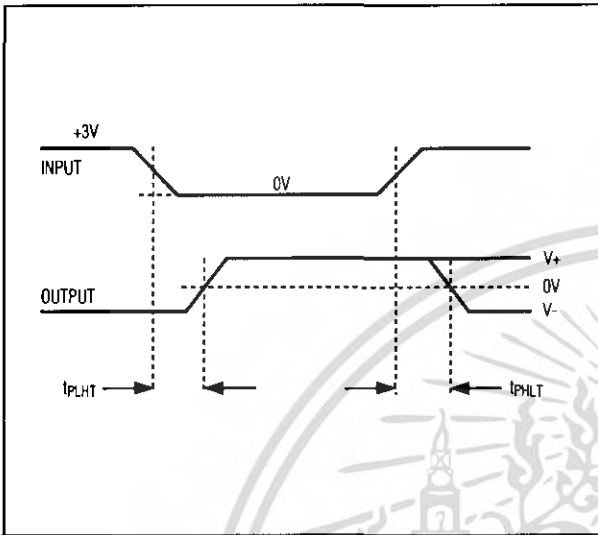


Figure 1. Transmitter Propagation-Delay Timing

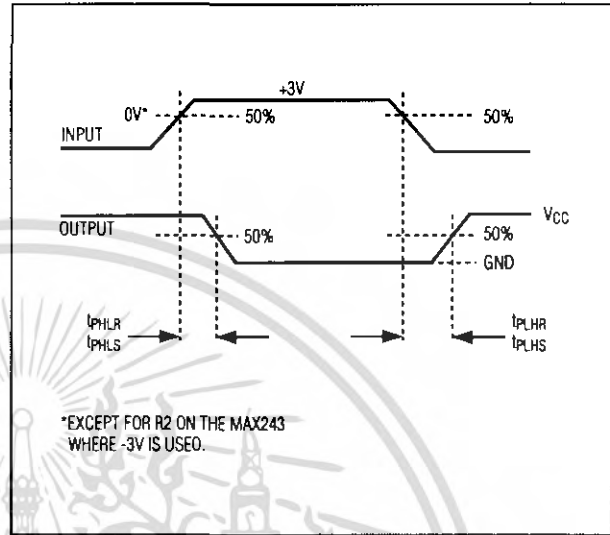


Figure 2. Receiver Propagation-Delay Timing

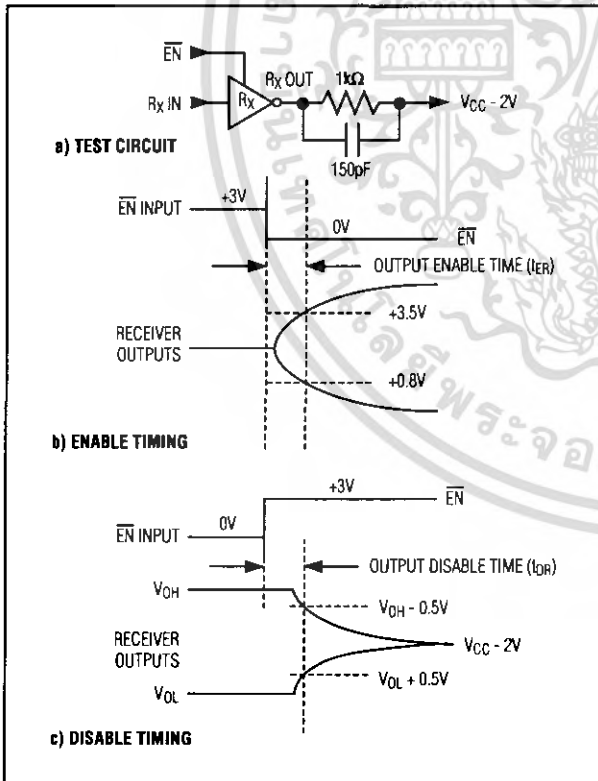


Figure 3. Receiver-Output Enable and Disable Timing

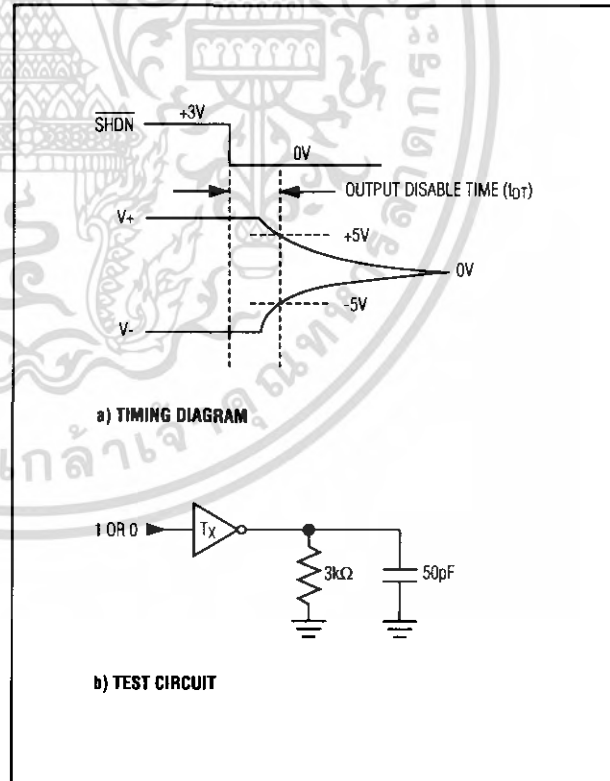


Figure 4. Transmitter-Output Disable Timing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

Table 1a. MAX245 Control Pin Configurations

ENT	ENR	OPERATION STATUS	TRANSMITTERS	RECEIVERS
0	0	Normal Operation	All Active	All Active
0	1	Normal Operation	All Active	All 3-State
1	0	Shutdown	All 3-State	All Low-Power Receive Mode
1	1	Shutdown	All 3-State	All 3-State

Table 1b. MAX245 Control Pin Configurations

ENT	ENR	OPERATION STATUS	TRANSMITTERS		RECEIVERS	
			TA1-TA4	TB1-TB4	RA1-RA5	RB1-RB5
0	0	Normal Operation	All Active	All Active	All Active	All Active
0	1	Normal Operation	All Active	All Active	RA1-RA4 3-State, RA5 Active	RB1-RB4 3-State, RB5 Active
1	0	Shutdown	All 3-State	All 3-State	All Low-Power Receive Mode	All Low-Power Receive Mode
1	1	Shutdown	All 3-State	All 3-State	RA1-RA4 3-State, RA5 Low-Power Receive Mode	RB1-RB4 3-State, RB5 Low-Power Receive Mode

Table 1c. MAX246 Control Pin Configurations

ENA	ENB	OPERATION STATUS	TRANSMITTERS		RECEIVERS	
			TA1-TA4	TB1-TB4	RA1-RA5	RB1-RB5
0	0	Normal Operation	All Active	All Active	All Active	All Active
0	1	Normal Operation	All Active	All 3-State	All Active	RB1-RB4 3-State, RB5 Active
1	0	Shutdown	All 3-State	All Active	RA1-RA4 3-State, RA5 Active	All Active
1	1	Shutdown	All 3-State	All 3-State	RA1-RA4 3-State, RA5 Low-Power Receive Mode	RB1-RB4 3-State, RA5 Low-Power Receive Mode

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

**MAX220-MAX249**

**Table 1d. MAX247/MAX248/MAX249 Control Pin Configurations**

ENT <sub>A</sub>	ENT <sub>B</sub>	ENR <sub>A</sub>	ENR <sub>B</sub>	OPERATION STATUS	TRANSMITTERS		RECEIVERS		
					MAX247	TA1-TA4	TB1-TB4	RA1-RA4	RB1-RB5
					MAX248	TA1-TA4	TB1-TB4	RA1-RA4	RB1-RB4
					MAX249	TA1-TA3	TB1-TB3	RA1-RA5	RB1-RB5
0	0	0	0	Normal Operation	All Active	All Active	All Active	All Active	
0	0	0	1	Normal Operation	All Active	All Active	All Active	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	
0	0	1	0	Normal Operation	All Active	All Active	All 3-State	All Active	
0	0	1	1	Normal Operation	All Active	All Active	All 3-State	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	
0	1	0	0	Normal Operation	All Active	All 3-State	All Active	All Active	
0	1	0	1	Normal Operation	All Active	All 3-State	All Active	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	
0	1	1	0	Normal Operation	All Active	All 3-State	All 3-State	All Active	
0	1	1	1	Normal Operation	All Active	All 3-State	All 3-State	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	
1	0	0	0	Normal Operation	All 3-State	All Active	All Active	All Active	
1	0	0	1	Normal Operation	All 3-State	All Active	All Active	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	
1	0	1	0	Normal Operation	All 3-State	All Active	All 3-State	All Active	
1	0	1	1	Normal Operation	All 3-State	All Active	All 3-State	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	
1	1	0	0	Shutdown	All 3-State	All 3-State	Low-Power Receive Mode	Low-Power Receive Mode	
1	1	0	1	Shutdown	All 3-State	All 3-State	Low-Power Receive Mode	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	
1	1	1	0	Shutdown	All 3-State	All 3-State	All 3-State	Low-Power Receive Mode	
1	1	1	1	Shutdown	All 3-State	All 3-State	All 3-State	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

### Detailed Description

The MAX220–MAX249 contain four sections: dual charge-pump DC-DC voltage converters, RS-232 drivers, RS-232 receivers, and receiver and transmitter enable control inputs.

#### Dual Charge-Pump Voltage Converter

The MAX220–MAX249 have two internal charge-pumps that convert +5V to  $\pm 10V$  (unloaded) for RS-232 driver operation. The first converter uses capacitor C1 to double the +5V input to +10V on C3 at the V+ output. The second converter uses capacitor C2 to invert +10V to -10V on C4 at the V- output.

A small amount of power may be drawn from the +10V (V+) and -10V (V-) outputs to power external circuitry (see the *Typical Operating Characteristics* section), except on the MAX225 and MAX245–MAX247, where these pins are not available. V+ and V- are not regulated, so the output voltage drops with increasing load current. Do not load V+ and V- to a point that violates the minimum  $\pm 5V$  EIA/TIA-232E driver output voltage when sourcing current from V+ and V- to external circuitry.

When using the shutdown feature in the MAX222, MAX225, MAX230, MAX235, MAX236, MAX240, MAX241, and MAX245–MAX249, avoid using V+ and V- to power external circuitry. When these parts are shut down, V- falls to 0V, and V+ falls to +5V. For applications where a +10V external supply is applied to the V+ pin (instead of using the internal charge pump to generate +10V), the C1 capacitor must not be installed and the  $\overline{SHDN}$  pin must be tied to VCC. This is because V+ is internally connected to VCC in shutdown mode.

#### RS-232 Drivers

The typical driver output voltage swing is  $\pm 8V$  when loaded with a nominal  $5k\Omega$  RS-232 receiver and  $V_{CC} = +5V$ . Output swing is guaranteed to meet the EIA/TIA-232E and V.28 specification, which calls for  $\pm 5V$  minimum driver output levels under worst-case conditions. These include a minimum  $3k\Omega$  load,  $V_{CC} = +4.5V$ , and maximum operating temperature. Unloaded driver output voltage ranges from (V+ -1.3V) to (V- +0.5V).

Input thresholds are both TTL and CMOS compatible. The inputs of unused drivers can be left unconnected since  $400k\Omega$  input pull-up resistors to VCC are built in (except for the MAX220). The pull-up resistors force the outputs of unused drivers low because all drivers invert. The internal input pull-up resistors typically source  $12\mu A$ , except in shutdown mode where the pull-ups are disabled. Driver outputs turn off and enter a high-impedance state—where leakage current is typically microamperes (maximum  $25\mu A$ )—when in shutdown

mode, in three-state mode, or when device power is removed. Outputs can be driven to  $\pm 15V$ . The power-supply current typically drops to  $8\mu A$  in shutdown mode. The MAX220 does not have pull-up resistors to force the outputs of the unused drivers low. Connect unused inputs to GND or VCC.

The MAX239 has a receiver three-state control line, and the MAX223, MAX225, MAX235, MAX236, MAX240, and MAX241 have both a receiver three-state control line and a low-power shutdown control. Table 2 shows the effects of the shutdown control and receiver three-state control on the receiver outputs.

The receiver TTL/CMOS outputs are in a high-impedance, three-state mode whenever the three-state enable line is high (for the MAX225/MAX235/MAX236/MAX239–MAX241), and are also high-impedance whenever the shutdown control line is high.

When in low-power shutdown mode, the driver outputs are turned off and their leakage current is less than  $1\mu A$  with the driver output pulled to ground. The driver output leakage remains less than  $1\mu A$ , even if the transmitter output is backdriven between 0V and ( $V_{CC} + 6V$ ). Below -0.5V, the transmitter is diode clamped to ground with  $1k\Omega$  series impedance. The transmitter is also zener clamped to approximately  $V_{CC} + 6V$ , with a series impedance of  $1k\Omega$ .

The driver output slew rate is limited to less than  $30V/\mu s$  as required by the EIA/TIA-232E and V.28 specifications. Typical slew rates are  $24V/\mu s$  unloaded and  $10V/\mu s$  loaded with  $3\Omega$  and  $2500pF$ .

#### RS-232 Receivers

EIA/TIA-232E and V.28 specifications define a voltage level greater than 3V as a logic 0, so all receivers invert. Input thresholds are set at 0.8V and 2.4V, so receivers respond to TTL level inputs as well as EIA/TIA-232E and V.28 levels.

The receiver inputs withstand an input overvoltage up to  $\pm 25V$  and provide input terminating resistors with

**Table 2. Three-State Control of Receivers**

PART	SHDN	$\overline{SHDN}$	EN	$\overline{EN(R)}$	RECEIVERS
MAX223	—	Low High High	X Low High	—	High Impedance Active High Impedance
MAX225	—	—	—	Low High	High Impedance Active
MAX235 MAX236 MAX240	Low Low High	—	—	Low High X	High Impedance Active High Impedance

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

nominal 5k $\Omega$  values. The receivers implement Type 1 interpretation of the fault conditions of V.28 and EIA/TIA-232E.

The receiver input hysteresis is typically 0.5V with a guaranteed minimum of 0.2V. This produces clear output transitions with slow-moving input signals, even with moderate amounts of noise and ringing. The receiver propagation delay is typically 600ns and is independent of input swing direction.

### Low-Power Receive Mode

The low-power receive-mode feature of the MAX223, MAX242, and MAX245-MAX249 puts the IC into shutdown mode but still allows it to receive information. This is important for applications where systems are periodically awakened to look for activity. Using low-power receive mode, the system can still receive a signal that will activate it on command and prepare it for communication at faster data rates. This operation conserves system power.

### Negative Threshold—MAX243

The MAX243 is pin compatible with the MAX232A, differing only in that RS-232 cable fault protection is removed on one of the two receiver inputs. This means that control lines such as CTS and RTS can either be driven or left floating without interrupting communication. Different cables are not needed to interface with different pieces of equipment.

The input threshold of the receiver without cable fault protection is -0.8V rather than +1.4V. Its output goes positive only if the input is connected to a control line that is actively driven negative. If not driven, it defaults to the 0 or "OK to send" state. Normally, the MAX243's other receiver (+1.4V threshold) is used for the data line (TD or RD), while the negative threshold receiver is connected to the control line (DTR, DTS, CTS, RTS, etc.).

Other members of the RS-232 family implement the optional cable fault protection as specified by EIA/TIA-232E specifications. This means a receiver output goes high whenever its input is driven negative, left floating, or shorted to ground. The high output tells the serial communications IC to stop sending data. To avoid this, the control lines must either be driven or connected with jumpers to an appropriate positive voltage level.

### Shutdown—MAX222-MAX242

On the MAX222, MAX235, MAX236, MAX240, and MAX241, all receivers are disabled during shutdown. On the MAX223 and MAX242, two receivers continue to operate in a reduced power mode when the chip is in shutdown. Under these conditions, the propagation delay increases to about 2.5 $\mu$ s for a high-to-low input transition. When in shutdown, the receiver acts as a CMOS inverter with no hysteresis. The MAX223 and MAX242 also have a receiver output enable input ( $\overline{EN}$  for the MAX242 and EN for the MAX223) that allows receiver output control independent of  $\overline{SHDN}$  (SHDN for MAX241). With all other devices,  $\overline{SHDN}$  (SHDN for MAX241) also disables the receiver outputs.

The MAX225 provides five transmitters and five receivers, while the MAX245 provides ten receivers and eight transmitters. Both devices have separate receiver and transmitter-enable controls. The charge pumps turn off and the devices shut down when a logic high is applied to the ENT input. In this state, the supply current drops to less than 25 $\mu$ A and the receivers continue to operate in a low-power receive mode. Driver outputs enter a high-impedance state (three-state mode). On the MAX225, all five receivers are controlled by the  $\overline{ENR}$  input. On the MAX245, eight of the receiver outputs are controlled by the  $\overline{ENR}$  input, while the remaining two receivers (RA5 and RB5) are always active. RA1-RA4 and RB1-RB4 are put in a three-state mode when  $\overline{ENR}$  is a logic high.

### Receiver and Transmitter Enable Control Inputs

The MAX225 and MAX245-MAX249 feature transmitter and receiver enable controls.

The receivers have three modes of operation: full-speed receive (normal active), three-state (disabled), and low-power receive (enabled receivers continue to function at lower data rates). The receiver enable inputs control the full-speed receive and three-state modes. The transmitters have two modes of operation: full-speed transmit (normal active) and three-state (disabled). The transmitter enable inputs also control the shutdown mode. The device enters shutdown mode when all transmitters are disabled. Enabled receivers function in the low-power receive mode when in shutdown.

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

Tables 1a–1d define the control states. The MAX244 has no control pins and is not included in these tables.

The MAX246 has ten receivers and eight drivers with two control pins, each controlling one side of the device. A logic high at the A-side control input ( $\overline{ENA}$ ) causes the four A-side receivers and drivers to go into a three-state mode. Similarly, the B-side control input ( $\overline{ENB}$ ) causes the four B-side drivers and receivers to go into a three-state mode. As in the MAX245, one A-side and one B-side receiver (RA5 and RB5) remain active at all times. The entire device is put into shutdown mode when both the A and B sides are disabled ( $\overline{ENA} = \overline{ENB} = +5V$ ).

The MAX247 provides nine receivers and eight drivers with four control pins. The  $\overline{ENRA}$  and  $\overline{ENRB}$  receiver enable inputs each control four receiver outputs. The  $\overline{ENTA}$  and  $\overline{ENTB}$  transmitter enable inputs each control four drivers. The ninth receiver (RB5) is always active. The device enters shutdown mode with a logic high on both  $\overline{ENTA}$  and  $\overline{ENTB}$ .

The MAX248 provides eight receivers and eight drivers with four control pins. The  $\overline{ENRA}$  and  $\overline{ENRB}$  receiver enable inputs each control four receiver outputs. The  $\overline{ENTA}$  and  $\overline{ENTB}$  transmitter enable inputs control four drivers each. This part does not have an always-active receiver. The device enters shutdown mode and transmitters go into a three-state mode with a logic high on both  $\overline{ENTA}$  and  $\overline{ENTB}$ .

The MAX249 provides ten receivers and six drivers with four control pins. The  $\overline{ENRA}$  and  $\overline{ENRB}$  receiver enable inputs each control five receiver outputs. The  $\overline{ENTA}$  and  $\overline{ENTB}$  transmitter enable inputs control three drivers each. There is no always-active receiver. The device enters shutdown mode and transmitters go into a three-state mode with a logic high on both  $\overline{ENTA}$  and  $\overline{ENTB}$ . In shutdown mode, active receivers operate in a low-power receive mode at data rates up to 20kb/s.

### Applications Information

Figures 5 through 25 show pin configurations and typical operating circuits. In applications that are sensitive to power-supply noise, VCC should be decoupled to ground with a capacitor of the same value as C1 and C2 connected as close as possible to the device.

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

**MAX220-MAX249**

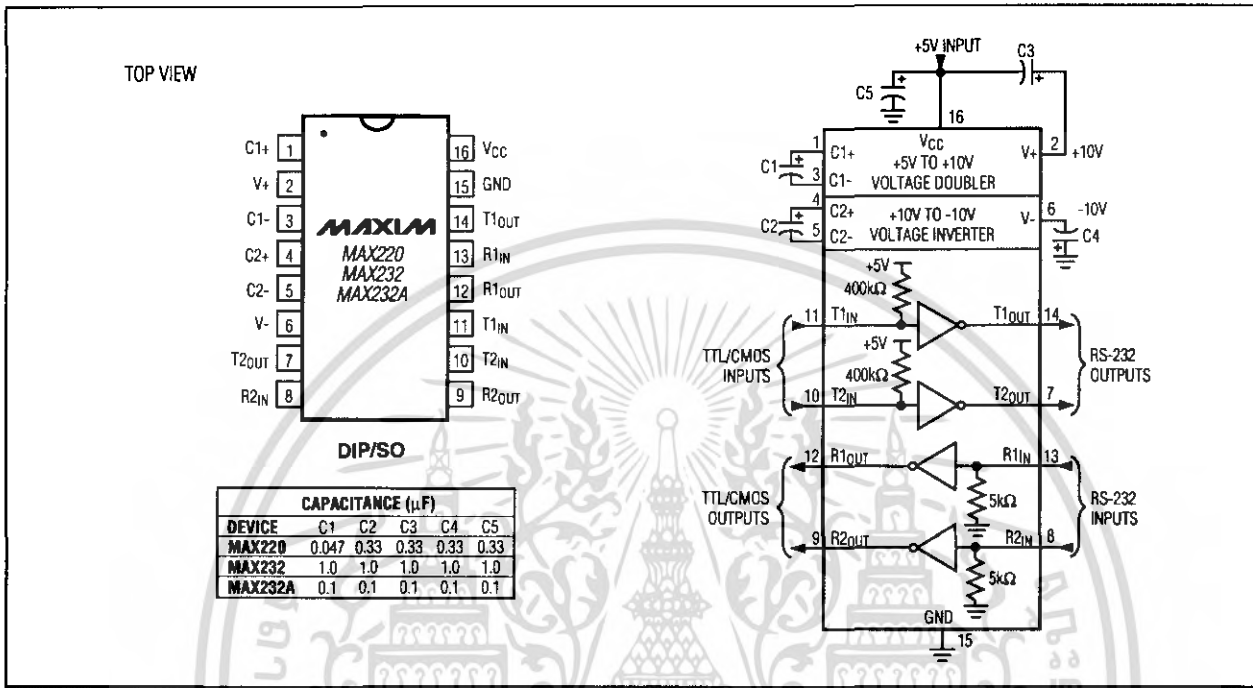


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

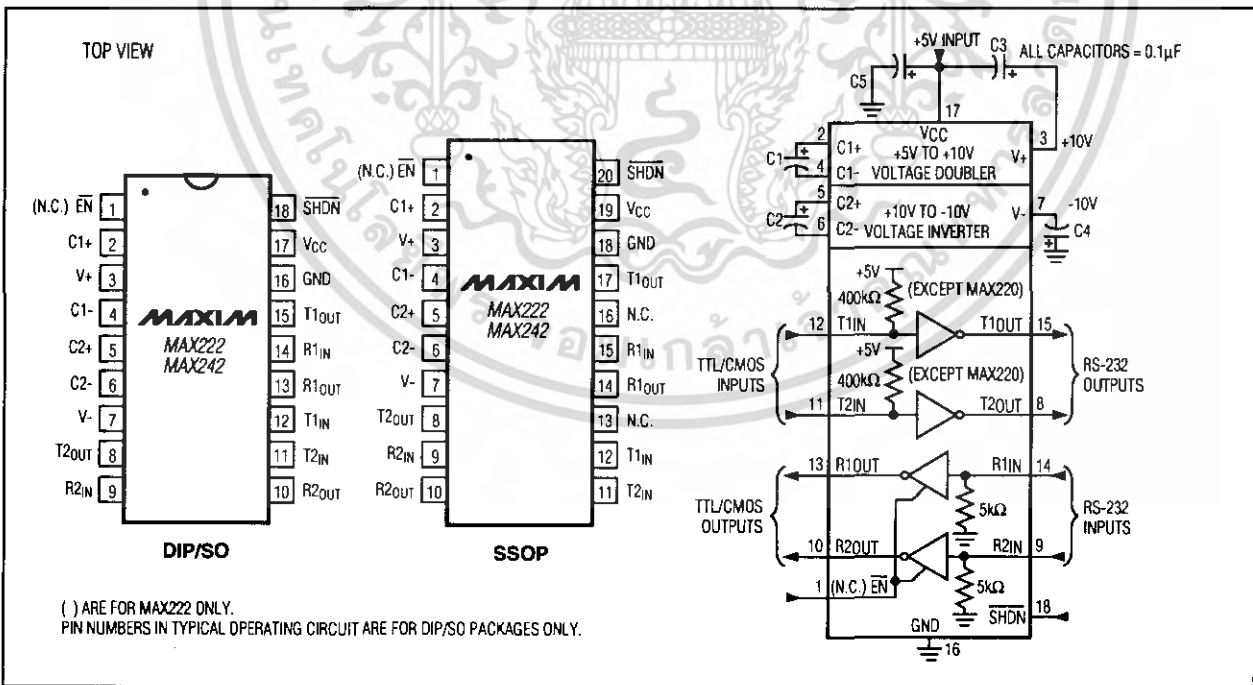


Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configurations and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้