

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



เครื่องวัดระดับเสียงควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

นายเกรียงศักดิ์ เอื้อสกุลรุ่งเรือง
นายสันติ หาญกล้า

9/พ.
ก768๑
2538

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี.....

1612550218

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microprocessor Based Sound Level Meter



Mr.Kriangsak Uesakulrungrueng

Mr.Santi Hankla

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ
โดย

เครื่องวัดระดับเสียงควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

นายเกรียงศักดิ์ เอื้อสกุลรุ่งเรือง

นายสันติ หาญกล้า

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

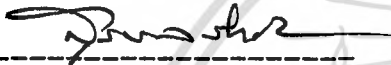
ผศ.วิจิต ศิริโชติ

ผศ.ดร.ปรีชา เทียนสมประสงค์

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(รศ.สุรพล รักวิจิย์)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะกรรมการโครงการพิเศษ



(ผศ.วิจิต ศิริโชติ)

ประธานกรรมการ



(ผศ.ดร.ปรีชา เทียนสมประสงค์)

กรรมการ



(ผศ.ดร.อารีย์ วิเชียรฉาย)

กรรมการ



(รศ.สุรพล รักวิจิย์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	เครื่องวัดระดับเสียงควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์
โดย	นายเกรียงศักดิ์ เอื้อสกุลรุ่งเรือง นายสันติ หาญกล้า
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.วิจิต ศิริโชติ ผศ.ดร.ปรีชา เทียนสมประสงค์
ปีการศึกษา	2538

บทคัดย่อ

เครื่องวัดระดับเสียงควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ สามารถทำงานเป็นเครื่องวัดระดับเสียงแบบธรรมดาซึ่งใช้หลักการวัดระดับเสียงเบื้องต้น หรือทำงานแบบเก็บข้อมูลต่อเนื่องซึ่งมีการปรับย่านการวัดระดับเสียงโดยอัตโนมัติและสามารถตั้งช่วงเวลาในการจัดเก็บข้อมูลได้ ในการจัดเก็บข้อมูลเครื่องจะทำการบันทึกเวลาเริ่มต้น, เวลาสุดท้าย และคาบเวลาการสุ่มข้อมูลแต่ละครั้งลงในหน่วยความจำ และที่สำคัญคือสามารถถ่ายโอนข้อมูลในหน่วยความจำของเครื่องวัดระดับเสียงให้ไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS232C ทำให้สามารถนำข้อมูลไปประมวลผลและแสดงข้อมูลในลักษณะต่าง ๆ เช่น การแสดงข้อมูลโดยกราฟเส้น และ ตาราง

เครื่องวัดระดับเสียงควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำของเครื่อง 1.14% และ 2.09% เมื่อใช้ชุดปรับเปลี่ยนย่านความถี่ตอบสนอง A และ C ตามลำดับ, สามารถเก็บข้อมูลได้ระยะเวลาานที่สุค 24 ชั่วโมง มีความถี่ในการเก็บข้อมูลที่เพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์ผลกระทบของเสียงต่อมนุษย์ และข้อมูลที่ได้นำไปเป็นฐานข้อมูลใช้เปรียบเทียบความดังของเสียงในสถานที่ที่เราสนใจ เพื่อศึกษาผลกระทบของสภาพแวดล้อมทางเสียงต่อไป

Special Project Title	Microprocessor Based Sound Level Meter
Name	Mr.Kriangsak Uesakulrungrueng Mr.Santi Hankla
Special Project Advisor	Asst. Prof. Wichit Sirichote Asst. Prof. Dr. Preecha Teansomprasong
Department	Applied Physics
Academic Year	1995

Abstract

An instrument for measuring sound level controlled by a microprocessor called "Microprocessor Based Sound Level Meter (MSLM)", is presented. The meter can be operated in normal mode that use as a simple sound level measurement and continuous-data-logging mode. The latter mode provides an autorange function, data logging which can be programmed for the beginning and stop recording time and sampling interval also. The recorded data can be transmitted for data processing by a PC via a serial port. By which, one can make a graph and table for further analysis.

The accuracy of our sound level meter is 1.14% and 2.09% in Weighting Network A and C respectively. The capacity of storage memory provides maximum data to be stored in 24 hours with the sampling rate enough for the number of data to be used in studying of sound level effect to human. And sound level data base may use for sound level comparison of the interested place as a function of time.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือและช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ คือ
 บุพการี ที่ให้ความเอาใจใส่เลี้ยงดูอบรม สั่งสอน ในทุกด้าน
 จนสำเร็จการศึกษา

ผศ.วิจิต ศิริโชติ และ

ผศ.ดร.ปรีชา เทียนสมประสงค์

คณะกรรมการทุกท่าน

ครู,อาจารย์ทุกท่าน

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี (TDO) บริษัท พรีเมียร์โกลด์เบิลคอร์ดเปอร์ซัน จำกัด

กรมวิทยาศาสตร์และบริการ

เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคน

คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

ที่ได้ให้คำแนะนำคัดเลือกในการทำโครงการพิเศษนี้

ที่ได้ตรวจทานและชี้แนะการจัดทำรายงานฉบับนี้

ที่ได้อบรม สั่งสอน และคัดเลือก

ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์และ

เรื่องธุรการต่าง ๆ

ที่เอื้อเพื่อสถานที่และเครื่องมือในการสอบเทียบ

เครื่องวัดระดับเสียง MSLM

ที่ได้ให้โอกาสชมตัวอย่างเครื่องวัดระดับเสียง

ที่คอยให้กำลังใจ หมั่นซักถามความก้าวหน้า ให้

ความช่วยเหลือทุก ๆ ด้านในการทำโครงการพิเศษ

ที่เอื้อเพื่อสถานที่ในการจัดทำโครงการพิเศษ และ

การศึกษาดลระยะเวลา 4 ปี

ขอขอบพระคุณจากใจ

เกรียงศักดิ์ เอื้อสกุลรุ่งเรือง

สันติ หาญกล้า

22 มีนาคม 2539

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตการทำโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 เสียงและการวัดระดับเสียง	3
2.1 สมการของคลื่นเสียง	3
2.2 ความเข้มของเสียง	5
2.3 ระดับความดันและระดับความเข้มเสียง	7
2.4 หูและกลไกการได้ยิน	8
2.4.1 ความดังและระดับความดัง	10
2.4.2 คุณภาพและระดับเสียง	14
2.4.3 มลภาวะทางเสียง	15
2.5 หลักการวัดระดับเสียง	16
2.5.1 กำลังของเสียงที่ตกกระทบพื้นผิว	16
2.5.2 Sound Power Level	17
2.5.3 Sound Pressure Level (SPL)	17
2.5.4 ค่าอาร์เอ็มเอสกับการวัดระดับเสียง	18

	หน้า
2.6 เครื่องวัดระดับเสียง	20
2.6.1 ไมโครโฟน	21
2.6.1.1 ระดับสัญญาณขาออก	21
2.6.1.2 ความถี่ตอบสนอง	22
2.6.1.3 ความต้านทานขาออก	23
2.6.1.4 ทิศทางการตอบสนอง	23
2.6.1.5 ความไวการตอบสนอง	25
2.6.2 จุดปรับเปลี่ยนย่านความถี่ตอบสนอง	26
2.6.2.1 ออกเดเฟ	27
2.6.2.2 จุดปรับเปลี่ยนย่านความถี่ตอบสนอง A และ C	28
บทที่ 3 การออกแบบและการใช้งาน	31
3.1 การออกแบบ	31
3.2 พื้นฐานอิเล็กทรอนิกส์	34
3.2.1 วงจรขยายกลับเฟส	34
3.2.2 วงจรขยายไม่กลับเฟส	34
3.2.3 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน	35
3.2.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	36
3.3 ส่วนรับสัญญาณเสียง	37
3.3.1 Programmable Gain Amplifier Circuit(PGAC)	37
3.3.2 Programmable Weighting Circuit(PWC)	38
3.4 การทำงานของส่วนรับสัญญาณเสียง	38
3.5 ส่วนแปลงสัญญาณเสียง	39
3.5.1 True RMS and Decibel Converter และ DC Amplifier	39
3.5.2 ภาคแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	41

	<u>หน้า</u>
3.5.2.1 ความสัมพันธ์ของอินพุทและเอาต์พุท ของไอซีเบอร์ ADC0804	41
3.5.2.2 ขนาดของแรงดันอินพุท	42
3.5.2.3 สัญญาณอินพุทลบ	42
3.5.2.4 สัญญาณอินพุทบวก	42
3.6 ส่วนควบคุมการทำงานและแสดงผล	43
3.6.1 บอร์ดควบคุม ANT-31PJ	43
3.6.2 DOT MATRIX LCD MODULE	44
3.6.3 คีย์บอร์ด	45
3.6.4 ชิปกำเนิดฐานเวลาจริง	46
3.7 การทำงานของเครื่องวัดระดับเสียง	
ความคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์	47
3.8 การใช้งานเครื่องวัดระดับเสียงควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์	55
3.8.1 การเริ่มต้นใช้งาน	55
3.8.2 การกำหนดโหมดการทำงาน	56
3.8.3 การเปลี่ยนย่านการวัด	56
3.8.4 การเปลี่ยนย่านความถี่ตอบสนอง	56
3.8.5 การตั้งเวลา	56
3.8.6 การ RUN	57
3.8.6.1 โหมด 0	57
3.8.6.2 โหมด 1	57
3.8.6.3 โหมด 2	58
บทที่ 4 ผลการทดลอง	61
4.1 การสอบเทียบ	61
4.1.1 ขั้นตอนในการสอบเทียบ	61
4.1.2 ผลการสอบเทียบ	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<u>หน้า</u>
4.2 การเก็บข้อมูลระดับเสียง	66
4.2.1 ขั้นตอนในการเก็บข้อมูล	66
4.2.2 ผลการเก็บข้อมูลระดับเสียง	66
4.2.2.1 ระดับเสียงที่ถนนพัฒนาการ	66
4.2.2.2 ระดับเสียงที่อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ	69
4.2.2.3 ระดับเสียงที่หอพักชัยพฤกษ์ ห้อง 118	71
4.3 ผลการทำงานของโปรแกรม	72
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	78
5.1 ลักษณะของเครื่อง	73
5.2 คุณสมบัติของเครื่อง	73
5.3 สรุปผล	73
5.4 ปัญหาในการสร้างเครื่องวัดระดับเสียง	74
5.5 ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุม MCS-51	
ภาคผนวก ข รายละเอียดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	
ภาคผนวก ค ตัวอย่างรายละเอียดข้อมูลระดับเสียง	
ประวัติผู้ทำโครงการพิเศษ	

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงส่วนสำคัญ 3 ส่วนของหูรวมทั้งกระดูกกันหอย (cochlea)	8
รูปที่ 2.2 แสดงกระดูกกันหอยที่ยึดออก	9
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดังหน่วยเป็น โชนกับ ระดับความดังหน่วยเป็นฟอน	11
รูปที่ 2.4 แสดงเส้นโค้งระดับความดังเท่ากันสำหรับเสียงบริสุทธิ์	11
รูปที่ 2.5 แสดงพื้นที่การได้ยินระหว่างขีดเริ่มการของการได้ยินกับขีดเริ่ม ของความเจ็บปวด	12
รูปที่ 2.6 แสดงสเปกตรัมของเสียงของ (ก) เครื่องบิน (ข) มอเตอร์ไฟฟ้า	13
รูปที่ 2.7 แสดงเครื่องวัดระดับความดันเสียง	13
รูปที่ 2.8 แสดงสเปกตรัมของเสียงเครื่องดนตรี 4 ชนิด	14
รูปที่ 2.9 แสดงแผนภาพหลักการวัดระดับเสียง	20
รูปที่ 2.10 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถของไมโครโฟน 4 ชนิด	23
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะพื้นที่ครอบคลุมที่สามารถตอบสนองแบบต่าง ๆ	24
รูปที่ 2.12 แสดงสเกลย่านความถี่ตอบสนองแบบ A , B และ C	26
รูปที่ 2.13 แสดงกราฟที่ตอบสนองโค้งขึ้นทั้งสองด้าน	27
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดระดับเสียง ความคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์(MSLM)	32
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรขยายกลับเฟส	34
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรขยายไม่กลับเฟส	34
รูปที่ 3.4 แสดง (ก) วงจร High Pass Filter (ข) responded frequency ของวงจร High Pass Filter	35
รูปที่ 3.5 แสดง (ก) วงจร Low Pass Filter 20 dB/decade (ข) responded frequency ของวงจร Low Pass Filter 20 dB/decade	36
รูปที่ 3.6 แสดง Programmable Gain Amplifier Circuit(PGAC)	37

	หน้า
รูปที่ 3.7 แสดง Programmable Weighting Circuit(PWC)	38
รูปที่ 3.8 แสดง True RMS and Decibel Converter และ DC Amplifier	39
รูปที่ 3.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมภายในของ ไอซีเบอร์ AD636JH	40
รูปที่ 3.10 แสดงภาคแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	41
รูปที่ 3.11 แสดงรายละเอียดของบอร์ดควบคุม ANT-31PJ	43
รูปที่ 3.12 แสดงโครงสร้างทั่วไปของ LCD โมดูล	44
รูปที่ 3.13 แสดงการต่อคีย์บอร์ดที่ใช้ในโครงการ	45
รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะรูปร่างแบบ 8 ขาและ 16 ขาของ ไอซีเบอร์ DS1202	46
รูปที่ 3.15 แสดงวงจรชิปกำเนิดฐานเวลาจริง	47
รูปที่ 3.16 แสดงวงจรรวมทั้งหมดที่จัดทำขึ้นของเครื่องวัดระดับเสียง ควบคุมด้วย ไมโคร โปรเซสเซอร์	48
รูปที่ 3.17 แสดงเครื่องวัดระดับเสียงควบคุมด้วย ไมโคร โปรเซสเซอร์(MSLM)	
(ก) ด้านหน้าของเครื่อง MSLM	49
(ข) ด้านหลังของเครื่อง MSLM	49
รูปที่ 3.18 แสดงแผนภูมิสายงานในโปรแกรมหลักของเครื่อง MSLM	50
รูปที่ 3.19 แสดงแผนภูมิสายงานในโหมด 0 ของเครื่อง MSLM	51
รูปที่ 3.20 แสดงแผนภูมิสายงานในโหมด 1 ของเครื่อง MSLM	52
รูปที่ 3.21 แสดงแผนภูมิสายงานในโหมด 2 ของเครื่อง MSLM	53
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟผลการสอบเทียบ MSLM ที่เสียงความถี่ 500 Hz	63
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการสอบเทียบ MSLM ที่เสียงความถี่ 1,000 Hz	64
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการสอบเทียบ MSLM ที่เสียงความถี่ 2,000 Hz	65
รูปที่ 4.4 แสดงภาพการวัดระดับเสียงที่ถนนพัฒนาการ	66
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟระดับเสียงที่ถนนพัฒนาการ	68
รูปที่ 4.6 แสดงภาพการวัดระดับเสียงที่อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ	69
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟระดับเสียงที่อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ	70
รูปที่ 4.8 แสดงกราฟระดับเสียงที่หอพักชัชพลกัญ ห้อง 118	71

ญ

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่าง ๆ	7
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าระดับเสียงและตัวอย่างของเสียงที่ระดับเสียงต่าง ๆ	15
ตารางที่ 2.3 แสดงระยะเวลาที่ประสาทหูสามารถทนรับฟังเสียงที่มีระดับความดังต่าง ๆ ได้โดยไม่ได้รับอันตราย	16
ตารางที่ 2.4 แสดงสูตรและค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นของสัญญาณที่พบเห็นกันอยู่บ่อย ๆ	19
ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบความดันกับหน่วยของ dB	22
ตารางที่ 2.6 แสดง center frequency แต่ละออกเคพ	28
ตารางที่ 2.7 แสดงค่าแก้ไข Weighting Network A	30
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการสอบเทียบเครื่องวัดระดับเสียงควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันเครื่องวัดระดับเสียง(sound level meter)ที่มีขายตามท้องตลาดส่วนมากเป็นเครื่องวัดระดับเสียงที่ได้ระดับมาตรฐาน มีความเที่ยงตรงในการวัดสูง แต่ไม่สามารถตรวจวัดข้อมูลแบบต่อเนื่อง ทำให้การตรวจวัดยังไม่สะดวกเพียงพอ ยากต่อการที่จะนำข้อมูลที่ได้ออกไปวิเคราะห์ แสดงผล และเปรียบเทียบ เราสามารถนำไมโครโปรเซสเซอร์มาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องวัดระดับเสียง เพื่อเพิ่มความสามารถของเครื่องวัดระดับเสียง ทำให้สามารถปรับย่านการวัดอัตโนมัติ มีการเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำ ตั้งเวลาในการเก็บข้อมูลได้ และถ่ายโอนข้อมูลให้กับไมโครคอมพิวเตอร์ได้ การตรวจวัดจะมีความต่อเนื่องของข้อมูลมากขึ้น ซึ่งเป็นการสะดวกต่อการใช้งานและปลอดภัยแก่ผู้ใช้จากการได้รับฟังเสียงที่ดังจนเกินไปในระหว่างเก็บข้อมูล

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อพัฒนาเครื่องวัดระดับเสียงให้มีความสามารถสูงขึ้นในการตรวจวัด และการจัดเก็บข้อมูล รวมทั้งเพิ่มความสะดวกให้แก่ผู้ใช้
2. เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการจัดเก็บมาเป็นฐานข้อมูลเพื่อศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระดับเสียงในสถานที่ต่าง ๆ และการแก้ปัญหาผลกระทบทางเสียง

1.3 ขอบเขตการทำโครงการ

1. สร้างเครื่องวัดระดับเสียงให้มีความสามารถในการทำงานดังนี้
 - 1.1 ปรับย่านการวัดแบบอัตโนมัติ
 - 1.2 แสดงผลด้วย LCD แบบ dot-matrix
 - 1.3 มีการจัดเก็บข้อมูลและเวลาในการจัดเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำ
 - 1.4 กำหนดระยะเวลาเริ่มต้น และ เวลาสิ้นสุดในการเก็บข้อมูลได้
 - 1.5 กำหนดคาบเวลาการสุ่มข้อมูลแต่ละครั้งได้
 - 1.6 ถ่ายโอนข้อมูลในหน่วยความจำให้กับไมโครคอมพิวเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำข้อมูลที่บันทึกได้ไปเป็นฐานข้อมูลสำหรับการแก้ไขมลภาวะทางเสียง

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ผู้ใช้เครื่องวัดระดับเสียงมีความสะดวกขึ้นในการเก็บข้อมูลระดับเสียงแบบต่อเนื่อง
2. ผู้ใช้เครื่องวัดระดับเสียงได้รับอันตรายน้อยลงจากการฟังเสียงดังเป็นเวลานาน
3. ได้รับข้อมูลระดับเสียงที่มีความต่อเนื่อง ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ว่าสถานที่ที่ทำการวัดเกิดมลภาวะทางเสียงหรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เสียง และการวัดระดับเสียง

เมื่อเกิดคลื่นเสียงในอากาศ คลื่นนี้จะแผ่ออกไปทุกทิศทางในอากาศซึ่งเป็นตัวกลางที่ยืดหยุ่น เมื่อคลื่นเสียงนี้เคลื่อนที่มาถึงหูคนฟัง จะทำให้ได้รับความรู้สึกเป็นเสียง (sensation of sound) เฉพาะคลื่นที่มีความถี่โดยเฉลี่ยระหว่าง 20 - 20,000 Hz เท่านั้น ถ้าความถี่สูงหรือต่ำกว่านี้ หูคนจะไม่สามารถรับฟังได้ แต่อย่างไรก็ตามคลื่นในช่วงความถี่ดังกล่าวที่คนจะรับฟังได้นั้นก็ต้องมีอำนาจมากพอที่พลังงานของคลื่นจะกระตุ้นความรู้สึกของการได้ยินเสียงด้วย

ต้นกำเนิดเสียงที่คนรับฟังได้ ได้แก่ คลื่นที่เกิดจากการสั่นของเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสายหรือการสั่นของสายเสียง (vocal cord) ของคน การสั่นของลำอากาศจากเครื่องดนตรีประเภทเครื่องเป่า และการสั่นของเครื่องดนตรีประเภทเครื่องตี การสั่นของเครื่องกำเนิดเสียงทั้งหลายจะอัดอากาศรอบ ๆ ตัว เมื่อสั่นไปข้างหน้าและขยายอากาศเมื่อสั่นถอยกลับหลัง ส่วนอัดและส่วนขยายของอากาศก็จะถูกส่งต่อออกไปทุกทิศ เมื่อไปยังหูคนก็จะไปกระตุ้นความรู้สึกของการได้ยินเสียงนั่นเอง คลื่นเหล่านี้ส่วนมากเป็นคลื่นฮาร์โมนิกซึ่งได้จากการซ้อนของคลื่นซิมเปิลฮาร์โมนิกหลาย ๆ ความถี่ ถ้าความเข้มไม่สูงเกินไปนักจะให้ความรู้สึกน่าฟัง เช่น เสียงดนตรี ถ้าคลื่นเสียงไม่เป็นคาบ (nonperiodic wave) จะรู้สึกไม่น่าฟังซึ่งจะถือว่าเป็น เสียงรบกวน (noise)

2.1 สมการของคลื่นเสียง

เนื่องจากคลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาวในอากาศซึ่งมีอัตราเร็วเฟส $v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$ เมื่อ B คือ บัลค์โมดูลัสของอากาศ และ ρ คือความหนาแน่นของอากาศ และเขียนสมการการเคลื่อนที่ได้เป็น

$$y = A \sin(kx \pm \omega t)$$

โดยมี $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v}$ และ $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{P}$ y คือการขจัดจากตำแหน่งสมดุลของอนุภาคอากาศที่ตำแหน่ง x ใด ๆ สำหรับคลื่นตามยาวนี้ y อยู่ในแนวเดียวกับทิศที่คลื่นเคลื่อนที่ไป สำหรับคลื่นเสียงแทนที่จะใช้การขจัดของอนุภาค เราอาจจะใช้การเปลี่ยนแปลงความดัน

ของตัวกลางการเคลื่อนที่ผ่านจะสะดวกกว่า การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์

$$B = -\frac{\Delta p}{\Delta V/V}$$

$$\Delta p = -B \frac{\Delta V}{V}$$

เช่นเดียวกับที่เรากำหนดให้ y เป็นการขจัดจากตำแหน่งสมดุล x เราจะกำหนดให้ p เป็นการเปลี่ยนแปลงความดันจากความดันที่ยังไม่ถูกรบกวน p_0 เมื่อแทน Δp ด้วย p จะได้

$$p = -B \frac{\Delta V}{V}$$

ถ้าให้ชั้นของของไหลขณะที่มีความดัน p_0 มีความหนา Δx และมีพื้นที่หน้าตัด a ปริมาตรจะเป็น $V = a\Delta x$ เมื่อความดันเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการอัดหรือขยาย ทำให้ชั้นของความหนาเปลี่ยนไป Δy ดังนั้นปริมาตรจะเปลี่ยนไป $V = a\Delta y$ จะได้

$$p = -B \frac{a\Delta y}{a\Delta x} \quad \text{-----} \quad (2.1)$$

ถ้าเราลดความหนา Δx ลงจนกระทั่ง $\Delta x \rightarrow 0$ และเราคิดว่า y ขึ้นอยู่กับ x ไม่ขึ้นกับ t สมการ (2.1) จะกลายเป็น

$$p = -B \frac{\partial y}{\partial x} \quad \text{-----} \quad (2.2)$$

เราทราบว่า การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก การขจัดของอนุภาคจากตำแหน่งสมดุลเมื่อให้คลื่นเคลื่อนไปทางขวาเป็น $y = A \cos(kx - \omega t)$ ดังนั้น

$$\frac{\partial y}{\partial x} = -Ak \sin(kx - \omega t)$$

จากสมการ (2.2) เราจะได้

$$p = B A k \sin(kx - \omega t) \quad \text{-----} \quad (2.3)$$

จากสมการ (2.3) จะเห็นว่าความดันที่ตำแหน่ง x ก็เปลี่ยนแปลงแบบซิมเปิลฮาร์โมนิกด้วย

เราเขียนสมการ (2.3) ใหม่ในเทอมของความเร็วคลื่นเสียงในอากาศ คือ $v = \sqrt{\frac{B}{\rho_0}}$

โดย B คือบัลค์โมดูลัสของอากาศ และ ρ_0 คือความหนาแน่นของอากาศ จะได้

$$p = [k\rho_0 v^2 A] \sin(kx - \omega t) \quad \text{-----} \quad (2.4)$$

ถ้า $k\rho_0 v^2 A$ คือค่าสูงสุดของการเปลี่ยนแปลงความดัน เรียกว่า อำพันความดัน (pressure amplitude) ให้แทนด้วย P ดังนั้น สมการ (2.4) จะกลายเป็น

$$p = P \sin(kx - \omega t) \quad \text{-----} \quad (2.5)$$

เมื่อ

$$P = k\rho_0 v^2 A \quad \text{-----} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบสมการการขจัด y และสมการความดัน p จะสรุปได้ว่าคลื่นเสียงเป็นคลื่นขจัดหรือคลื่นความดันก็ได้ โดยที่คลื่นทั้งสองมีเฟสต่างกัน 90 องศา นั่นคือเมื่อการขจัดที่ตำแหน่งใดมีค่ามากที่สุด การเปลี่ยนความดันที่จุดนั้นจะมีค่าเป็นศูนย์และเมื่อการขจัดที่จุดใดมีค่าเป็นศูนย์ การเปลี่ยนความดันที่จุดนั้นจะมีค่ามากที่สุด สมการ (2.6) บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างอำพันความดันและอำพันของการขจัด

2.2 ความเข้มของเสียง

$$y = A \cos(kx - \omega t)$$

จะได้

$$u = \frac{\partial y}{\partial t} = \omega A \sin(kx - \omega t) \quad \text{-----} \quad (2.7)$$

เมื่อ u คือความเร็วของอนุภาคของตัวกลาง ถ้าเรานึกถึงพื้นที่ 1 หน่วยตั้งฉากกับทิศทางของคลื่น พลังงานเสียงที่ไหลผ่านพื้นที่นี้ต่อวินาที เรียกว่า ความเข้มของคลื่น ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของผลคูณของความดันกับความเร็วของอนุภาคต่อหน่วยเวลา ดังนี้

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T u p dt \quad \text{-----} \quad (2.8)$$

จากสมการ (2.4) และ (2.7) สมการ(2.8)จะเขียนได้เป็น

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T \omega k \rho_0 v^2 A^2 [\sin(kx - \omega t)]^2 dt$$

$$= \frac{\omega k \rho_0 v^2 A^2}{2} \quad \text{-----} \quad (2.9)$$

ในเทอมของอำพันความดัน $P = k \rho_0 v^2 A$ สมการ(2.9)เขียนได้เป็น

$$I = \frac{\omega P^2}{2 k \rho_0 v^2} = \frac{2\pi f}{2} \frac{P^2}{\frac{2\pi}{\lambda} \rho_0 v^2} = \frac{P^2}{2 \rho_0 v} \quad \text{-----} \quad (2.10)$$

เมื่อกล่าวในเทอมของอำพันของการขจัด A ความเข้มของคลื่นเสียงมีค่าเป็น

$$I = 2\pi^2 \rho_0 v A^2 f^2 \quad \text{-----} \quad (2.11)$$

เรามีวิธีที่จะหาความเข้มเสียงได้อีกวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้ โดยเริ่มต้นพิจารณา

ความหมายของ ความเข้มเสียง

ความเข้มเสียง หมายถึงพลังงานเสียงที่ตกลงบนพื้นที่ 1 หน่วย ในเวลา 1 วินาที

โดยความเข้มของเสียงมีหน่วยเป็น $J/m^2 s$ หรือ $Watt/m^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการที่จะหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของเสียงในทอมอื่น ๆ นั้น เราจะเริ่มที่สมการ

$$\frac{\partial W}{\partial t} = (-F) \frac{\partial y}{\partial t} \quad \text{-----} \quad (2.12)$$

ข้างซ้ายของสมการคืองานต่อเวลาหมายถึงกำลังงาน ข้างขวาของสมการคือแรง×ระยะทางต่อเวลา ก็คือกำลังงาน เครื่องหมายลบหน้า F หมายถึงลักษณะการเคลื่อนที่ที่มีทิศ F ตรงข้ามกับ y เป็นแบบซิมเปิลฮาร์โมนิก

จาก $y = A \sin(kx - \omega t)$ เราได้

$$\frac{\partial y}{\partial t} = -\omega A \cos(kx - \omega t) \quad \text{-----} \quad (2.13)$$

และจาก (2.2) $P = -B \frac{\partial y}{\partial x}$

P คือ ความดัน ดังนั้น $\frac{F}{a} = -B \frac{\partial y}{\partial x}$

$$F = -BakA \cos(kx - \omega t) \quad \text{-----} \quad (2.14)$$

ถ้าเราแทนค่า $\omega = kv$ และ $v = \frac{\sqrt{B}}{\rho_0}$ ลงในสมการ (2.12) และใช้สมการ (2.13) และ (2.14)

จะได้

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial t} &= Ba\omega kA^2 \cos^2(kx - \omega t) \\ &= (\rho_0 v)^2 a (\omega^2 / v) A^2 \cos^2(kx - \omega t) \quad \text{-----} \quad (2.15) \\ &= va [\rho_0 \omega^2 A^2 \cos^2(kx - \omega t)] \end{aligned}$$

เฉลี่ยค่า $[\cos^2(kx - \omega t)] = \frac{1}{2}$ ดังนั้น

$$\left[\frac{\partial W}{\partial t} \right] = va \left(\frac{1}{2} \rho_0 \omega^2 A^2 \right)$$

หรือค่าความเข้มเสียง $\frac{1}{a} \left[\frac{\partial W}{\partial t} \right] = v \left(\frac{1}{2} \rho_0 \omega^2 A^2 \right) = 2\pi^2 \rho_0 A^2 f^2 \quad \text{-----} \quad (2.16)$

สมการ (2.16) มีค่าเท่ากับสมการ (2.11)นั่นเอง

จากสมการ (2.16) จะเห็นได้ว่า โดยการเปลี่ยนแปลงความดันเราสามารถเปรียบเทียบความเข้มของเสียงที่มีความถี่ต่าง ๆ กันได้โดยตรง

กำลังนาทศาสตร์ (acoustic power) ทั้งหมดซึ่งคลื่นเสียงพาไปผ่านพื้นที่ผิวแห่งหนึ่ง เท่ากับ ผลคูณของความเข้ม (สมาเสมอ) ที่ผิวกับพื้นที่ของผิว กำลังเฉลี่ยของการสนทนา กันตามธรรมชาติมีค่าประมาณ 10^{-3} วัตต์ แต่ถ้าตะโกนดัง ๆ จะมีขนาดประมาณ 3×10^{-2} วัตต์

ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่าง ๆ

ตัวกลาง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราเร็ว (เมตร-วินาที ⁻¹)
ออกซิเจน	0	317.2
อากาศ	0	331.3
ไฮโดรเจน	0	1,286
น้ำ	15	1,450
ตะกั่ว	20	2,130
ทองแดง	20	3,560
อลูมิเนียม	20	5,100
เหล็ก	20	5,130

2.3 ระดับความดันเสียงและระดับความเข้มเสียง

ความดันเสียงต่ำสุดที่คนธรรมดาได้ยินที่ 1,000 Hz คือ 2×10^{-5} N/m² ส่วนความดันเสียงสูงสุดที่คนรับฟังได้โดยยังไม่รู้สึกเจ็บปวด คือ 100 N/m² กล่าวคือ ค่าของความดันเสียงมีช่วงกว้างไดนามิกส์ (dynamic range) ที่กว้างมาก ในการวัดถ้าเราใช้หน่วยความดันเสียงเป็น N/m² จึงไม่สะดวกและเนื่องจากกลไกการได้ยินมีความดันเสียงในลักษณะคล้ายกันจึงสะดวกที่จะวัดโดยการเปรียบเทียบความเข้มของเสียง ในการเปรียบเทียบความเข้มของเสียงเรานิยาม ระดับความเข้มเสียง (intensity level) β มีหน่วยเป็น decibel เขียนย่อว่า dB ดังนี้

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.17)$$

โดยที่ I_0 เป็นความเข้มของเสียงอ้างอิง ในกรณีของเสียงในอากาศ กำหนดให้ค่า I_0 เป็น 10^{-2} Watt/m² ดังนั้นเสียงที่มีความเข้ม 10^{-2} Watt/m² มีระดับความเข้มเสียงเป็น 0 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มเสียงสูงสุดที่หูคนทนได้มีค่าประมาณ 1 Watt/m^2 มีระดับความเข้มเสียงเป็น 120 dB

เนื่องจากความเข้มของเสียงแปร โดยตรงกับกำลังสองของความดันเสียง ดังนั้นเราอาจนิยาม ระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level:SPL) ทำนองเดียวกัน ดังนี้

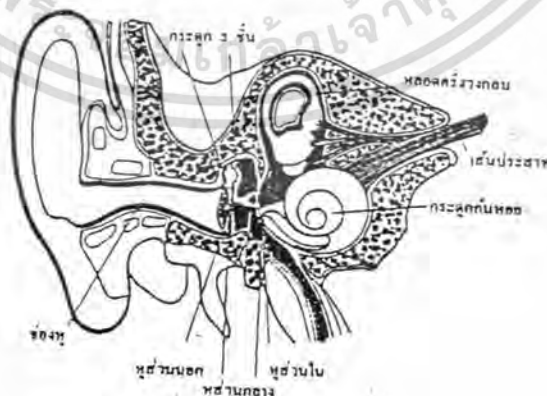
$$\begin{aligned} \text{SPL} &= 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \\ &= 20 \log \frac{P}{P_0} \end{aligned} \quad (2.18)$$

โดยที่ SPL มีหน่วยเป็น dB P_0 เป็นความดันเสียงอ้างอิงซึ่งกำหนดค่าให้เท่ากับ $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ สำหรับเสียงในอากาศ

2.4 หูและกลไกของการได้ยิน

การรับรู้เสียงโดยหูเป็นขบวนการที่ซับซ้อน แม้ว่าจะมีงานค้นคว้าขั้นมูลฐานจาก Helmholtz, Bekesy, Fletcher และนักค้นคว้าคนอื่นจำนวนมากแล้วก็ตาม แต่ก็ยังมีรายละเอียดอยู่อีกมากที่ยังไม่สามารถเข้าใจได้อย่างสมบูรณ์ ตลอดเวลาที่ผ่านมาได้มีการค้นคิดวิธีต่าง ๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดระดับความดันเสียงกับความรับรู้สีกต่อเสียง

หูคนเรามี 3 ส่วน ได้แก่ หูส่วนนอก หูส่วนกลาง และหูส่วนใน ดังแสดงในรูปที่ 2.1



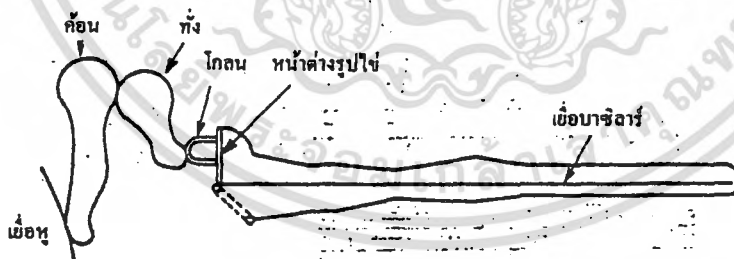
รูปที่ 2.1 แสดงส่วนสำคัญ 3 ส่วนของหูรวมทั้งกระดุกกันหอย (cochlea)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หูส่วนนอกมีขนาดพอเหมาะสำหรับการถ่ายทอดเสียง 800 Hz และสูงกว่าเข้าไปยังเยื่อหู สำหรับความถี่ต่ำกว่า 400 Hz การรับเสียงไม่ค่อยดี

การสั่นของเยื่อหูถูกส่งต่อไปยังหูส่วนในผ่านหูส่วนกลาง ซึ่งบรรจุไว้ด้วยอากาศ และมีกระดูก 3 ชิ้น (ossicles) คือกระดูกรูปค้อน รูปทั่ง และรูปโกลนโดยต่อกันในระบบคานาคิดคานางัด และมีการได้เปรียบเชิงกลประมาณ 3 หูส่วนกลางต่ออยู่กับส่วนบนของลำคอ ผ่านหลอดยูสเทเชียน (Eustachian) ซึ่งจะเปิดขณะกลืน หน้าที่ของหลอดนี้ก็คือ ทำให้หูส่วนกลางมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ

ช่องทางเข้าไปสู่หูส่วนในเป็นหน้าต่างรูปไข่ ส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนของหูส่วนใน ได้แก่ หลอดครึ่งวงกลม 3 หลอด ซึ่งเป็นตัวควบคุมความสมดุลของร่างกายและกระดูกกันหอยซึ่งเป็นช่องมีลักษณะคล้ายหอยโข่ง บรรจุของเหลว (lymph) ที่เหมาะต่อการส่งถ่ายเสียง ที่หูส่วนในนี้การสั่นของเยื่อหูถูกเปลี่ยนเป็นการสั่นที่มีอำนาจน้อยกว่าแต่มีความดันมากกว่า ในที่สุดการรับรู้เสียงจะเกิดโดยปลายประสาทที่มีอยู่ตามเยื่อบาซิลาร์ (basilar membrane) ของกระดูกกันหอย ซึ่งมีความยาวประมาณ 32 มิลลิเมตร กว้าง 1/3 มิลลิเมตร และจึงแบ่งช่องของกระดูกกันหอยออกเป็น 2 ส่วนเกือบเต็มตามความยาวของกระดูกกันหอยนอกจากที่จุดปลายที่เยื่อบาซิลาร์มีปลายประสาทสำหรับรับเสียงอยู่ประมาณ 30,000 ปลายมาบรรจบกันอยู่ ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงกระดูกกันหอยที่ยืดออก



รูปที่ 2.2 แสดงกระดูกกันหอยที่ยืดออก

เยื่อบาซิลาร์สามารถแยกความถี่ของเสียงได้ เพราะเสียงความถี่ต่าง ๆ กัน จะทำให้เยื่อสั่นแรงที่ระยะต่างกันจากหน้าต่างรูปไข่ สำหรับความถี่ต่ำการสั่นจะเกิดที่ระยะไกล ๆ การแยกความถี่เบื้องต้นเกิดตามเยื่อบาซิลาร์ ส่วนการแยกอย่างละเอียดกระทำที่ระบบประสาทที่กระจายอยู่ตามเยื่อบาซิลาร์

ทันทีที่ประสาทถูกกระตุ้น ประสาทจะถูกสะกดอยู่ชั่วขณะหนึ่งซึ่งเป็นระยะที่หูไม่ไวต่อการกระตุ้นที่เกิดขึ้นใหม่ การกระตุ้นที่มากที่สุดมีได้ประมาณ 150 ครั้ง-วินาที-1 การที่จะเกิดเป็นสัญญาณได้ 1 ครั้งระดับความดันของเสียงจะต้องสูงกว่าค่าจำกัดค่าหนึ่ง

ขบวนการฟังเสียงที่สมบูรณ์จะต้องประกอบด้วยขบวนการต่าง ๆ แยกกันมีลักษณะซับซ้อน ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันของเสียงที่วัดได้กับความรู้สึกลำเสียงจึงไม่เป็นไปในแบบง่าย ๆ และมีลักษณะเฉพาะ ตัวอย่างเช่น ความดังของเสียงที่มีความถี่เดียวกันซึ่งเรียกว่า เสียงบริสุทธิ์(pure tone) เช่นเสียงได้จากการเคาะส้อมเสียง เสียงบริสุทธิ์ ความถี่ต่าง ๆ ให้ความรู้สึกลำเสียงไม่เหมือนกัน แม้ว่าในทุกกรณีที่กล่าวจะมีระดับความดันเสียงเท่ากัน

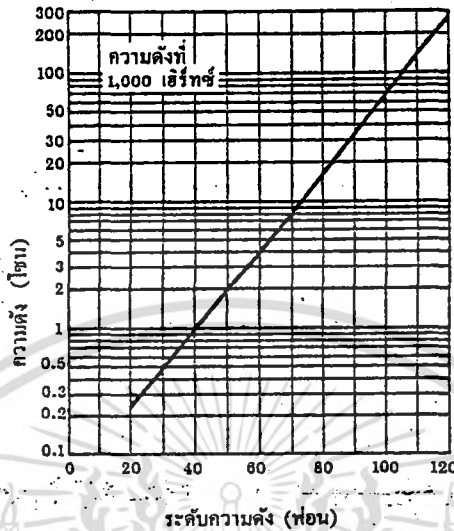
2.4.1 ความดังและระดับความดัง

ถ้าความเข้มของเสียงเพิ่มจนเสียงดังเป็นสองเท่า ระดับความดันหรือระดับความเข้มของเสียง(ซึ่งต่างก็มีหน่วยเป็น dB)มิได้เพิ่มเป็นสองเท่าด้วย แต่จะเพิ่มขึ้นประมาณ 10 dB ดังรูปที่ 2.3

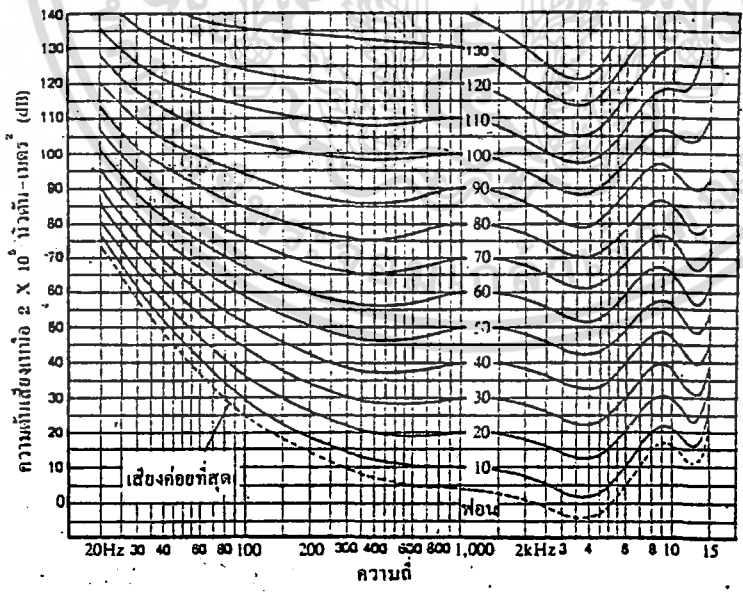
ความดัง (loudness) ที่หูเรารับฟังวัดในหน่วย โชน (sone) เมื่อค่าเปลี่ยนไปสองเท่าจะเทียบได้กับการเปลี่ยนความเข้มเสียง 10 dB หรือเป็นการเปลี่ยนระดับความดัง (loudness level) ไป 10 ฟอน (phon) ความสัมพันธ์นี้ถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐานสากล ดังรูปที่ 2.3

คำนิยามของระดับความดังของเสียงใด ๆ ก็คือระดับความดันของเสียง(SPL)ในอากาศที่ความถี่ 1,000 Hz ซึ่งทำให้มนุษย์ได้ยินเท่ากับระดับความดันของเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ ระดับความดังมีหน่วยเป็นฟอน

การทดสอบระดับความดังทำได้โดยตั้งความถี่เครื่องกำเนิดเสียงมาตรฐานไว้ที่ 1,000 Hz แล้วปรับระดับความเข้มเสียงไว้ที่ระดับหนึ่ง เช่น 60 dB นำเครื่องกำเนิดเสียงอื่นที่ปรับความถี่และความดังได้มาเทียบกับเครื่องกำเนิดเสียงมาตรฐานที่ตั้งไว้ โดยปรับความถี่ต่าง ๆ กันให้มีความดังเท่ากับเครื่องกำเนิดเสียงมาตรฐาน การปรับความถี่ไปต่าง ๆ กันจะได้เส้นกราฟดังรูปที่ 2.4 ที่มีค่าระดับความดัง 60 ฟอนเส้นหนึ่ง ในทำนองเดียวกันเปลี่ยนระดับความเข้มเสียงของเครื่องกำเนิดเสียงมาตรฐานให้อยู่ที่ระดับอื่น ๆ ก็จะได้กราฟเส้นอื่น ๆ เรียงกันไป จะสังเกตได้ว่าที่ระดับความดัง 60 ฟอน นั้น เสียงที่ความถี่ 100 Hz มีค่าความเข้มเสียง 65 dB จึงจะมีระดับความดัง 60 ฟอน

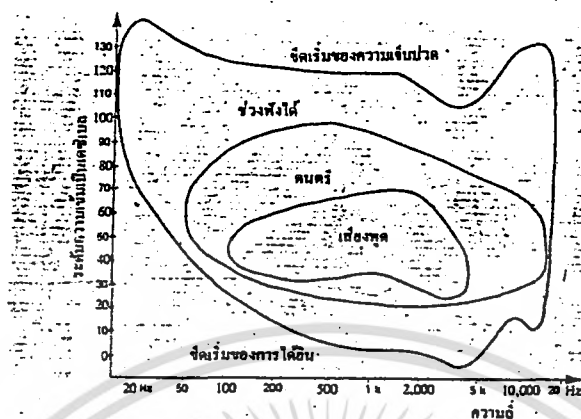


รูป 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดังหน่วยเป็น โจนกับระดับความดังหน่วยเป็นฟอน ผลก็คือจะได้เส้นโค้งซึ่งเป็นเส้นที่มีระดับความดังเท่ากัน รูป 2.4 แสดงให้เห็นว่าระดับความดัง (SPL) เปลี่ยนไปอย่างไรเมื่อความถี่ต่างกัน แม้ว่าจะมีความรู้สึกลึกดังเท่ากัน



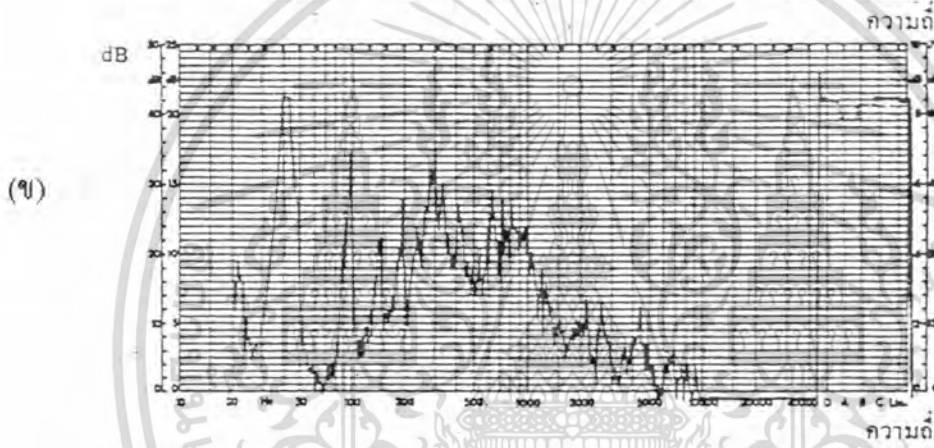
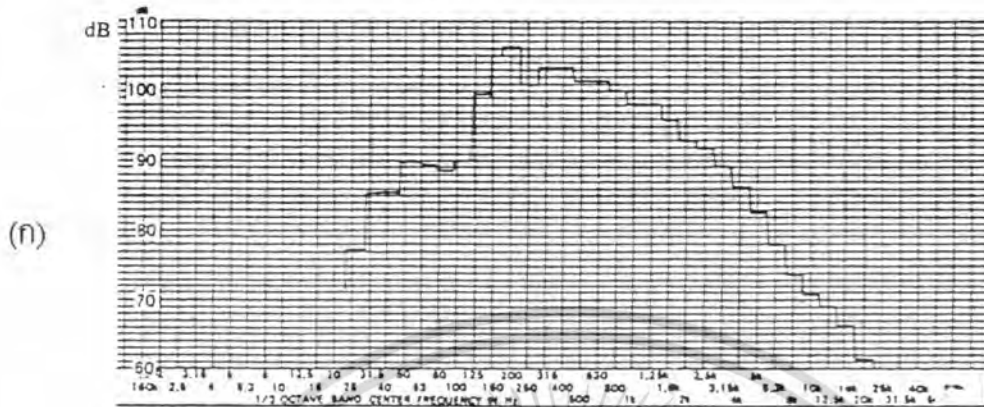
รูป 2.4 แสดงเส้นโค้งของระดับความดังเท่ากันสำหรับเสียงบริสุทธิ์ เส้นโค้งในลักษณะเดียวกันแต่แสดงพื้นที่ของการได้ยิน แสดงในรูป 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงพื้นที่การได้ยินระหว่างขีดเริ่มของการได้ยินกับขีดเริ่มของความเจ็บปวด เส้นโค้งล่างสุดแสดงระดับความเข้มเสียงที่มีความถี่ต่าง ๆ ที่เริ่มได้ยิน สำหรับขีดเริ่มของการได้ยินหูคนเราจะไวที่สุดที่ความถี่ 3,000-4,000 Hz โดยมีความเข้มเสียงเป็น -5 dB เส้นโค้งตอนบนสุดเป็นระดับความเข้มของเสียงดังที่สุดที่ความถี่ต่าง ๆ ที่หูจะทนได้ และเรียกว่าขีดเริ่มของความเจ็บปวด (threshold of pain)

เสียงไม่บริสุทธิ์ไม่สามารถแทนได้ด้วยจุดเดียวในรูปที่ 2.5 เสียงจากเครื่องดนตรีเป็นเสียงผสมระหว่างความถี่มูลฐานและโอเวอร์โทนสามารถแทนได้ด้วยจุดเป็นจุด แต่ละจุดบอกความเข้มและความถี่ของโอเวอร์โทนหนึ่ง ๆ โดยเฉพาะ เสียงจากถนนมิได้เกิดจากเสียงความถี่มูลฐานกับโอเวอร์โทน มีวิธีแสดงเป็นเส้นสเปกตรัมของเสียงเหล่านี้ได้โดยต้องใช้ไมโครโฟนรับฟังเสียง แล้วส่งสัญญาณไปผ่านวงจรไฟฟ้าซึ่งจะเลือกช่วงความถี่แคบ ๆ และวัดความเข้มเฉลี่ย เมื่อกระทำซ้ำโดยเลือกช่วงความถี่แคบ ๆ และวัดความเข้มเฉลี่ย เมื่อกระทำซ้ำโดยเลือกความถี่ต่าง ๆ ในช่วงที่ได้ยินเป็นจำนวนมากสำหรับนำมาเขียนกราฟเรียก สเปกโตรแกรม (spectrogram) ของเสียง ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงสเปกตรัมของเสียงของ(ก) เครื่องบิน (ข) มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องมือสำหรับวัดระดับความดันเสียงโดยตรงเรียกว่า เครื่องวัดระดับเสียง (sound level meter) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.7 ซึ่งวัดระดับความดันเสียงออกมาเป็น dB โดยตรง



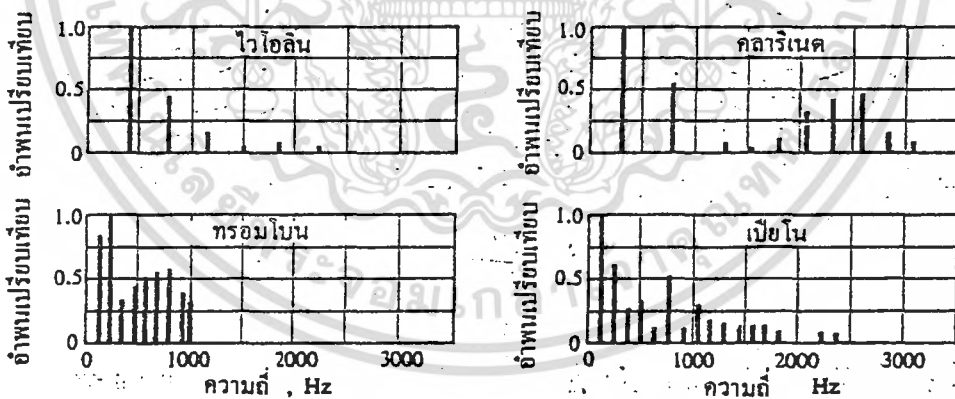
รูปที่ 2.7 แสดงเครื่องมือวัดระดับความดันเสียงให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ หากแสดงเครื่องมือวัดระดับความดันเสียงให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 คุณภาพและระดับเสียง

ถ้าเราเคาะส้อมเสียงด้วยค้อนยาง ส้อมเสียงจะสั่นให้ความถี่เดียว แต่ในกรณีของเครื่องดนตรี เช่น ในการตีไวโอลินหรือตีกลอง จะเกิดการสั่นหลาย ๆ โหมดพร้อมกัน กล่าวคือมีความถี่หลักมูลและความถี่โอเวอร์โทนหรือฮาร์โมนิกต่าง ๆ จำนวนมาก หูรับฟังแล้วส่งสัญญาณไปสู่สมอง ซึ่งแปลเป็นความรู้สึกอย่างหนึ่งอันเป็นลักษณะประจำตัวของเครื่องดนตรีนั้น ๆ เช่น เสียงซึ่งประกอบด้วยความถี่มูลฐาน 200 Hz และฮาร์โมนิก 2,3,4 และ 5 ซึ่งต่างก็มีความเข้มไม่เหมือนกัน เสียงจากเครื่องดนตรีอีกชนิดหนึ่งมีจำนวนความถี่อย่างเดียวกันแต่มีความเข้มแตกต่างกันออกไป จะได้ยินเสียงทั้งสองนี้ต่างกัน เรากล่าวว่ามีคุณภาพต่างกัน เช่น เปียโน, กีตาร์ และ โอโโบ ซึ่งเล่นเสียงเดียวกัน แต่เราได้ยินต่าง ๆ กัน ทั้ง ๆ ที่เสียงเหล่านี้มีความถี่มูลฐานเหมือนกัน

คุณภาพของเสียงคู่ได้จากจำนวน โอเวอร์โทนที่มีในเสียงและความเข้มของเสียง

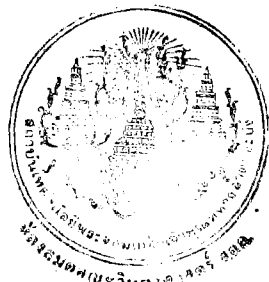
รูปที่ 2.8 แสดงเส้นสเปกตรัมของเสียงของเครื่องดนตรี 4 ชนิด เป็นการแสดงอำนาจเทียบกับความถี่



รูปที่ 2.8 แสดงสเปกตรัมของเสียงเครื่องดนตรี 4 ชนิด

ความรู้สึกอีกแบบหนึ่งของเสียงดนตรีซึ่งอธิบายโดยใช้คำ สูง กลาง ต่ำ เรียกว่าระดับเสียง (pitch) เราจะอธิบายได้ง่าย ๆ จากเสียงซึ่งเกิดโดยคลื่นความถี่เดียว เมื่อเคาะส้อมเสียงขนาดต่าง ๆ กันให้สั่นจะส่งเสียงมูลฐานออกมา เราพบว่าความถี่ยิ่งมาก ระดับเสียงยิ่งสูง สำหรับเสียงที่เกิดจากคลื่นหลาย ๆ ความถี่จะมีความซับซ้อนมากขึ้น

กล่าวคือ ถ้าความถี่มูลฐานมีความเข้มเด่นกว่าโอเวอร์โทนอยู่มาก ระดับเสียงจะเป็นไปตามการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ความถี่ของเสียงมูลฐานนั้น แต่ก็ไม่เป็นเช่นนั้นเสมอไป เพราะเราสร้างความถี่หลายความถี่ ให้มีระดับเสียงเทียบกับความถี่ซึ่งไม่อยู่ในเสียงนั้นเลยก็ได้

2.4.3 มลภาวะทางเสียง

ในปัจจุบัน มลภาวะทางเสียงมีเพิ่มมากขึ้นทุกวันจนถึงระดับน่าวิตก ตารางที่ 2.2 นี้ได้แสดงถึงแหล่งกำเนิดเสียงชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าระดับเสียงและตัวอย่างของเสียงที่ระดับเสียงต่าง ๆ

ระดับเสียง(dBA)	ตัวอย่าง
0(จุดเริ่มต้นของการได้ยิน)	เสียงขุ่น
10	เสียงใบไม้โดนลมพัด
30	เสียงกระซิบ
60	เสียงการสนทนาโดยทั่วไป
65(ระดับเสียงทั่วไป)	เสียงดนตรีทั่วไป
70	เสียงเครื่องดูดฝุ่น
85(หูอาจถูกทำลายได้)	เสียงสตาร์ทเครื่องยนต์
120(เริ่มรู้สึกทรมาน)	เสียงดนตรี Rock
140(เริ่มปวดประสาทหู)	เสียงเครื่องบินไอพ่น
180	เสียงยานอวกาศ

จากตารางจะเห็นได้ว่า เมื่อเสียงเริ่มมีความดังจนเกินขนาดอาจทำให้ประสาทหูเสียหายได้ แต่บางระดับประสาทหูก็ยังทนได้เป็นช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น แต่ถ้าได้รับเสียงดังนั้นเกินช่วงเวลาหนึ่งก็อาจเป็นอันตรายแก่ประสาทหูได้เช่นกัน

ระยะเวลาที่ประสาทหูสามารถทนรับฟังเสียงที่มีระดับความดังที่ค่อนข้างมากแสดงในตารางที่ 2.3

**ตารางที่ 2.8 แสดงระยะเวลาที่ประสาทหูสามารถทนรับฟังเสียง
ที่มีระดับความดังต่าง ๆ ได้โดยไม่ได้รับอันตราย**

ระดับความดังของเสียง(dBA)	ระยะเวลาที่ประสาทหูทนได้(ชั่วโมง)
90	8
95	4
100	2
105	1
110	1/2
115	1/4

2.5 หลักการวัดระดับเสียง

หลังจากที่ได้ทราบถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของเสียงมาแล้ว ต่อไปจะกล่าวมาตรฐานบางประการที่จำเป็นทางด้านอะคูสติก โดยจะเน้นการนำมาใช้งาน จากนั้นเป็นการนำเสนอแนวความคิดในการสร้างเครื่องวัดระดับเสียง

2.5.1 กำลังของเสียงที่ตกกระทบพื้นผิว

กำลังเสียง (sound power) หมายถึงกำลังของแหล่งกำเนิด ซึ่งก็คือผลรวมของ พลังงานที่แผ่กระจายออกไปจากแหล่งกำเนิดต่อหนึ่งหน่วยเวลา

ความเข้มเสียง (sound intensity) หมายถึงความเข้มของเสียงในทิศทางจำเพาะซึ่งก็คือพลังงานของเสียงที่แผ่กระจายออกไปในทิศทางนั้นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในหนึ่งหน่วยเวลาดังนั้นกำลังของเสียงและความเข้มของเสียงมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\text{sound power} = \text{sound intensity} \times \text{area}$$

จากสมการข้างบนแสดงถึงกำลังของเสียงที่ตกกระทบพื้นผิวใด ๆ ที่มีค่าแปรผันตรงกับขนาดพื้นที่ของพื้นผิวรับเสียง

ในปัจจุบันนี้ ยังไม่มีเครื่องมือวัดที่สามารถใช้สำหรับวัดค่ากำลังของเสียงหรือความเข้มของเสียงโดยตรง นอกจากจะอาศัยอ่านจากหูมนุษย์แต่ละคนและไม่โครโฟนที่มีการตอบสนองกับกำลังเสียงเท่านั้น ดังนั้นจึงนิยามวัดเป็นค่า effective value หรือค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (rms) ของค่าระดับกำลังอัดของเสียง

2.5.2 Sound Power Level

เสียงในช่วงที่มนุษย์ได้ยินนั้นกำลังของเสียงมีความแตกต่างระหว่างค่าต่ำสุดกับค่าสูงสุดกว้างมาก ตั้งแต่ประมาณ 10^{-12} วัตต์ จนกระทั่งถึงประมาณ 1 วัตต์ จึงเหมาะสมที่จะใช้การบอกระดับกำลังของเสียงเป็น dB และเนื่องจากการบอกปริมาณเป็น dB เป็นการแสดงอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างปริมาณ 2 ปริมาณ เพื่อความคงที่แน่นอนจึงต้องใช้ค่าเปรียบเทียบที่แน่นอนค่าหนึ่ง ในการบอกระดับกำลังของเสียงซึ่งในด้านอะคูสติกแล้วกำหนดให้ใช้ค่า 10^{-12} วัตต์ซึ่งเป็นค่ากำลังของเสียงที่น้อยที่สุดที่มนุษย์สัมผัสได้เป็นค่าระดับเปรียบเทียบมาตรฐาน ดังนั้นจะได้ว่า

$$\text{Sound Power Level} = 10 \log W/10^{-12}$$

จากการใช้ค่าระดับเปรียบเทียบมาตรฐานเป็น 10^{-12} วัตต์นี้ทำให้ค่ากำลังของเสียงที่มนุษย์ได้ยินนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 0-120 dB ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่กว้างมากเหมือนกับการบอกหน่วยของเสียงเป็นวัตต์

2.5.3 Sound Pressure Level (SPL)

ในการพิจารณาปริมาณทางไฟฟ้า ถ้าค่าอิมพีแดนซ์คงที่แล้วจะทำให้ค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของแรงดันยกกำลังสองดังนี้

$$\frac{W_{out}}{W_{in}} = \frac{V_{out}^2 / R}{V_{in}^2 / R} = \frac{V_{out}^2}{V_{in}^2}$$

เมื่อ V_{out} เป็นค่าแรงดันขาออกและ V_{in} เป็นค่าแรงดันขาเข้า

ในทำนองเดียวกันปริมาณทางด้านอะคูสติก เมื่อตัวแปรอื่น ๆ คงที่แล้วค่าอัตราส่วนของกำลังของเสียง (Sound Power) ยกกำลังสองจะเป็นดังนี้คือ

$$\frac{W_2}{W_1} = \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^2$$

เมื่อ P_2 = กำลังอัดของเสียงเป็น N/m^2

P_1 = กำลังอัดของเสียงที่ระดับเปรียบเทียบเป็น N/m^2

เนื่องจากค่าระดับเสียงในสากลนิยมมีหน่วยเป็น dB แต่สำหรับในทางอะคูสติกแล้วจะใช้ค่า $2.0 \times 10^{-5} N/m^2$ ซึ่งเป็นกำลังอัดของเสียงที่มีความถี่ 1,000 Hz เป็นค่าระดับเปรียบเทียบมาตรฐาน (มีค่าเท่ากับ 0.0002 dyne/cm^2 และ 0.00002 bar) ดังนั้น

$$SPL = 20 \log P / 2.0 \times 10^{-5}$$

2.5.4 ค่าอาร์เอ็มเอสกับการวัดระดับเสียง

เนื่องจากการวัดระดับเสียงนั้นเราใช้ไมโครโฟนเป็นตัวตรวจวัด(sensor)ซึ่งสัญญาณขาออกของไมโครโฟนนั้นเป็นสัญญาณไฟสลับในการแสดงผลเราจะแสดงเป็นค่าอาร์เอ็มเอส ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงทฤษฎีและวิธีการแปลงค่าสัญญาณไฟสลับเป็นค่าอาร์เอ็มเอส

ค่า อาร์เอ็มเอส คือค่าที่ถูกใช้ในการแสดงปริมาณทางไฟฟ้ากระแสสลับทั้งปริมาณของแรงดันและกระแสไม่ว่าสัญญาณนั้นจะมีรูปร่างแบบใดก็ตาม "ค่าอาร์เอ็มเอสนั้นก็คือค่าแรงดันหรือกระแสทางไฟตรง ซึ่งสามารถทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่โหลดที่เป็นค่าความต้านทานบริสุทธิ์ได้เท่ากับความร้อนที่เกิดจากการป้อนสัญญาณนั้น ๆ ให้แก่โหลดตัวเดียวกันหรือตัวที่เหมือนกัน" ยกตัวอย่างเช่นแรงดันไฟฟ้าบ้านมีค่า 220 โวลต์อาร์เอ็มเอส ก็หมายความว่าแรงดันเท่านั้นสามารถทำให้เกิดความร้อนที่โหลดได้เท่ากับความร้อนที่เกิดจากไฟกระแสตรง 220 โวลต์

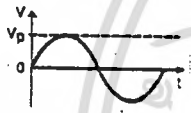




ระดับความแรงของทั้งสัญญาณความถี่เสียงและความถี่วิทยุมักจะถูกระบุเอาไว้เป็นค่าอาร์เอ็มเอสเสมอ รวมทั้งอัตราทันท่วงทีหรือกระแสทางด้านไฟกระแสสลับของชิ้นส่วนและอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้า, อิเล็กทรอนิกส์ ก็มักจะระบุไว้เป็นค่าอาร์เอ็มเอสเช่นกัน จะเห็นได้ว่าถ้าเราไม่หาค่าอาร์เอ็มเอสออกมาแล้ว สัญญาณทางไฟกระแสสลับที่มีรูปร่างแตกต่างกัน แทบจะไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันในทางปริมาณได้เลย นอกจากนั้นค่าอาร์เอ็มเอสของ แรงดันหรือกระแส ยังถูกใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังซึ่งเกิดขึ้นที่โหลดอีกด้วย ในที่นี้จะไม่ขอกล่าวถึงทฤษฎีทางคณิตศาสตร์มากนัก แต่จะกล่าวถึงการหาค่าอาร์เอ็มเอสโดยการใช้เครื่องมือวัดเท่านั้น

โดยทั่วไปเมื่อเราต้องการหาค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณคลื่นขายน้บริสุทธิ์ที่มีความถี่ไม่สูงมากนัก เช่น 50 Hz ก็สามารหาค่าได้ง่าย ๆ และมีความถูกต้องพอสมควร โดยใช้อนาล็อกหรือดิจิตอลเฮซีโวลต์มิเตอร์วัดเอาได้เลย แต่ถ้าสัญญาณมีลักษณะแตกต่างไปจากนี้ ก็อาจมีปัญหาเพราะมิเตอร์ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป (นอกจากที่ระบุว่าสามารถวัดค่าได้แบบ true-RMS) จะได้รับการ "ปรับแต่ง" (calibrate) ไว้สำหรับสัญญาณคลื่นขายน้ซึ่งมี "crest factor" (Crest Factor) เท่ากับ 2 เท่านั้น (crest factor คืออัตราส่วนของค่าสูงสุด(Peak Value)ต่อค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณรายคาบนั้น ๆ)จึงเป็นไปได้ยากที่จะวัดค่าได้ถูกต้องเมื่อนำไปวัดสัญญาณรายคาบอื่น ๆ ซึ่งมีcrest factor ที่แตกต่างออกไป ดังรูปที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติการวัดค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณใด ๆ ออกมานั้นส่วนใหญ่ใช้หลักการเปลี่ยนค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณที่ต้องการวัดให้อยู่ในรูปแรงดันหรือไฟกระแสตรง มีศัพท์ทางเทคนิคว่า "อาร์เอ็มเอส-ทู-ดีซี คอนเวอร์ชัน" (RMS-to-DC conversion) โดยค่าแรงดันหรือกระแสซึ่งมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อค่าอาร์เอ็มเอสที่ได้นี้ จะนำไปจับวงจรมิเตอร์เพื่อแสดงผลอีกทีหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นมิตอร์แบบอนาลอกหรือดิจิตอล ก็ใช้หลักการเดียวกันนี้

ตารางที่ 2.4 แสดงสูตรและค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นของสัญญาณที่พบเห็นกันอยู่บ่อย ๆ

รูปคลื่น	ค่าประสิทธิผล V_{rms}	ค่าเฉลี่ย V_{av}	องค์ประกอบของรูปคลื่น V_{rms}/V_{av}	ครอสแฟกเตอร์ V_p/V_{rms}
	$V_p \sqrt{2}$ $=0.707V_p$	$2V_p \pi$ $=0.637V_p$	$=1.111$	$\sqrt{2} = 1.414$
	V_p	V_p	1	1
	V_p	V_p	1	1
	$V_p \sqrt{3}$	$1/2 V_p$	$2/\sqrt{3} = 1.155$	$\sqrt{3} = 1.732$
	$V_p \sqrt{a/T}$	$V_p (a/T)$	$1 \sqrt{a/T}$	$1 \sqrt{a/T}$

วิธีการเปลี่ยนค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณใด ๆ ไปเป็นแรงดันหรือกระแสไฟตรง มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี

●วิธีที่หนึ่ง มี "เทอร์โมคัปเปิล" (thermocouple) เป็นอุปกรณ์สำคัญโดยใช้การวัดค่าความร้อนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในลวดทำความร้อน ขณะที่ถูกป้อนด้วยแรงดันหรือกระแสอินพุท เทอร์โมคัปเปิล ซึ่งทำจากโลหะสองชนิดที่เหมาะสมนำมาเชื่อมต่อกัน ได้รับความร้อนมันก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ปลายทั้งสอง ซึ่งมีค่าแปรผันตรงต่อความร้อนที่ตัว

เทอร์โมคัปเปิลได้รับ
เอกสารนี้เป็นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

●วิธีที่สอง โดยใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นำมาต่อรวมกันเป็นวงจรประมวลผลทางอนาล็อก (analog processing) ทำหน้าที่คำนวณค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณอินพุต แล้วให้เอาท์พุทออกมาเป็นแรงดันหรือกระแสไฟตรง สามารถนำไปใช้งานได้ทันที

สำหรับเครื่องวัดระดับเสียงในโครงการพิเศษนี้ ใช้การแปลงค่าอาร์เอ็มเอสไปเป็นไฟกระแสตรง โดยใช้อุปกรณ์ไอซีและอื่น ๆ ร่วมกันสามารถวัดค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณเสียงและเทียบเป็นหน่วย dB ได้ รายละเอียดจะได้กล่าวในบทที่ 3 ต่อไป

2.6 เครื่องวัดระดับเสียง (Sound Level Meter)

เครื่องวัดระดับเสียงที่ใช้สำหรับวัดระดับเสียงโดยทั่ว ๆ ไปมีหลักการดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.9 แสดงแผนภาพหลักการวัดระดับเสียง

ในการวัดระดับเสียง สัญญาณเสียงจะถูกตรวจวัดโดยหัววัด (detector) ซึ่งจะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมในการรับสัญญาณเสียงได้อย่างสมบูรณ์พร้อมทั้งการเปลี่ยนพลังงานเสียงเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วย ถัดจากส่วนหัววัดสัญญาณทางไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านไปยังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งประกอบด้วยส่วน AMPLIFIER AND ANALYZER เพื่อปรับสัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับมาให้มีความเหมาะสมและตรงกับความต้องการในการวัด ซึ่งประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น ชุดปรับค่าความดังของเสียง ชุดขยายขนาดของสัญญาณ ชุดปรับเปลี่ยนย่านความถี่ตอบสนอง (weighting network) ชุดปรับเปลี่ยนความเร็วในการตอบสนอง (speed response) เป็นต้น เมื่อสัญญาณไฟฟ้าได้ผ่านส่วน ANALYZER ออกมาแล้วก็จะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการที่จะนำมาแสดงผลในส่วนของ DISPLAY ทำให้ผู้ทำการวัดสามารถทราบค่าระดับเสียงที่กำลังทำการวัดอยู่ได้ตามต้องการ แต่อย่างไรก็ดี ค่าระดับเสียงที่อ่านได้จากเครื่องวัดนี้จะอยู่ในรูปของค่า อาร์เอ็มเอส ที่ระดับเสียงเปรียบเทียบ $2.0 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$

ต่อไปจะกล่าวถึงหน้าที่ของส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ปรับสัญญาณไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมตามต้องการอย่างคร่าว ๆ ดังต่อไปนี้

ชุดขยายสัญญาณ จะทำหน้าที่ขยายขนาดของสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยไม่ก่อ

ให้เกิดการเพี้ยนทางรูปร่างของสัญญาณ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดปรับค่าความดังของเสียง จะทำหน้าที่ปรับอัตราขยายของชุดขยายสัญญาณให้เหมาะสมกับ สัญญาณที่ต้องการวัด

ชุดปรับเปลี่ยนย่านความถี่ตอบสนอง จะทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนความถี่ กับการได้ยินของมนุษย์ซึ่งจะมีอยู่ 3 ชุด คือ A , B และ C รายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อ 2.6.2

ชุดปรับเปลี่ยนความเร็วในการตอบสนอง มักจะมีความเร็วในการตอบสนองอยู่สองระดับคือ คือ ความเร็วสูง และ ความเร็วต่ำ ถ้าระดับเสียงที่เราต้องการวัดมีระดับสูง ๆ ต่ำ ๆ ต้องปรับไปที่ความเร็วสูง เพื่อให้การวัดระดับเสียงทันกับการเปลี่ยนแปลงระดับเสียง ส่วนเสียงที่มีระดับค่อนข้างคงที่ควรปรับไปที่ความเร็วต่ำ เพื่อให้การวัดระดับเสียงเป็นการวัดค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณเสียง

2.6.1 ไมโครโฟน

หลังจากที่ได้ทราบหลักการคร่าว ๆ ในการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียง,หน้าที่ และหลักการในแต่ละส่วนการทำงานมาแล้ว ต่อไปจะขอกล่าวถึงหัววัด ซึ่งเป็นด่านแรก ของเครื่องวัดระดับเสียง และในเครื่องวัดระดับเสียงทั่ว ๆ ไปนิยมที่จะใช้ไมโครโฟนเป็นตัวตรวจวัด คุณสมบัติที่สำคัญบางประการของไมโครโฟนที่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาเพื่อเลือกชนิดของไมโครโฟนที่จะนำมาสร้างเป็นหัววัด มีดังนี้

- ระดับสัญญาณขาออก (output level)
- ความถี่ตอบสนอง (response frequency)
- ความต้านทานขาออกทางไฟฟ้ากระแสสลับ (output resistance)
- ทิศทางการตอบสนอง (directivity)
- ความไวการตอบสนอง (sensitivity)

2.6.1.1 ระดับสัญญาณขาออก

ในการพิจารณาเพื่อเลือกไมโครโฟนไปใช้งานนั้น ระดับสัญญาณขาออกเป็นสิ่งสำคัญ เพราะวาระดับสัญญาณขาออกนี้จะไปมีผลต่อการจัดวงจรขยายเพื่อขยายสัญญาณจากไมโครโฟนให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ระดับของสัญญาณขาออกโดยทั่ว ๆ ไปจะแสดงในรูปของ dB ที่ติดลบ (- dB) การแสดงระดับของสัญญาณขาออกนี้จะมีขนาดไม่มากไปกว่าระดับสัญญาณที่ใช้เปรียบเทียบซึ่งกำหนดได้ โดยทั่ว ๆ ไปบริษัทผู้ผลิตไมโครโฟนมักจะบอกคุณสมบัติระดับสัญญาณขาออกของไมโครโฟนมาในรูปของ sensitivity ซึ่งจะเป็นการเห็นระดับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาออกเป็น dB ที่ความกดดันเสียง (Sound Pressure) ค่าหนึ่ง และความกดดันเสียงดังกล่าวนี้จะใช้หน่วยวัดที่เรียกว่า บาร์ (bar) เป็นตัวกำหนดโดยกำหนดให้ความกดดันเสียง 1 บาร์ เท่ากับความกดดันเสียง 1 ไดน์ (dyne) สำหรับไมโครโฟนที่ผลิตมาจากแต่ละบริษัทจะบอกค่า sensitivity โดยใช้หน่วยเปรียบเทียบต่าง ๆ กัน ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการพิจารณาความสามารถในการใช้งานควรจะเปลี่ยนอัตราที่บอกมาในลักษณะต่าง ๆ ให้อยู่ในหน่วยวัด dB เทียบกับความดันของเสียง ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ในการพิจารณาความสามารถของไมโครโฟนด้วยค่าระดับสัญญาณขาออกนี้สามารถพิจารณาได้ว่า เมื่อค่า dB ยิ่งน้อยลง (มีค่าติดลบมากยิ่งขึ้น) นั้นแสดงว่าระดับสัญญาณขาออกยิ่งมีขนาดเล็กลงตามไปด้วย สำหรับการวิเคราะห์ขนาดของระดับสัญญาณขาออกจะกล่าวอย่างละเอียดในหัวข้อ 2.6.1.5 เรื่อง sensitivity ของไมโครโฟน

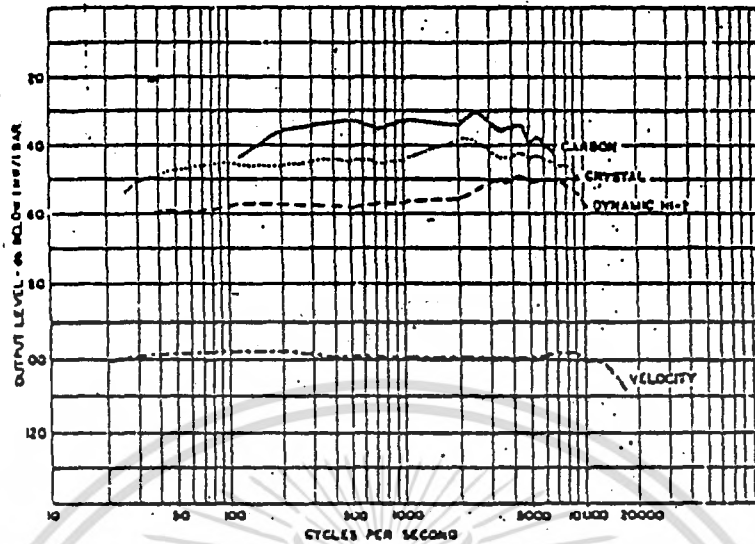
ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบความดันกับหน่วยของ dB

Rating Given	Correction Factor
dB below 1 mW, 1 bar	0 dB
dB below 1 mW, 10 bar	-20 dB
dB below 1 volt, 1 bar	-2 dB
dB below 1 volt, 10 bar	-18 dB

2.6.1.2 ความถี่ตอบสนอง

การตอบสนองด้านความถี่ของไมโครโฟนใด ๆ นั้นหมายถึง ฟิเดลลิตี (fidelity) ของไมโครโฟนที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออกที่จ่ายออกมากับความถี่กราฟแสดงคุณสมบัติในด้านการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน (Responed Frequency Characteristic) ซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบความสามารถสำหรับไมโครโฟน 4 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.10

เมื่อพิจารณาจากรูป ย่านความถี่ตอบสนองของไมโครโฟนที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปนั้นจะมีย่านความถี่ตอบสนองตั้งแต่ 40-10,000 Hz ในขณะที่ไมโครโฟนที่ใช้สำหรับการพูดนั้นตอบสนองความถี่ตั้งแต่ 150 - 5,000 Hz และไมโครโฟนคุณภาพดีจะตอบสนองความถี่ตั้งแต่ 40-15,000 Hz



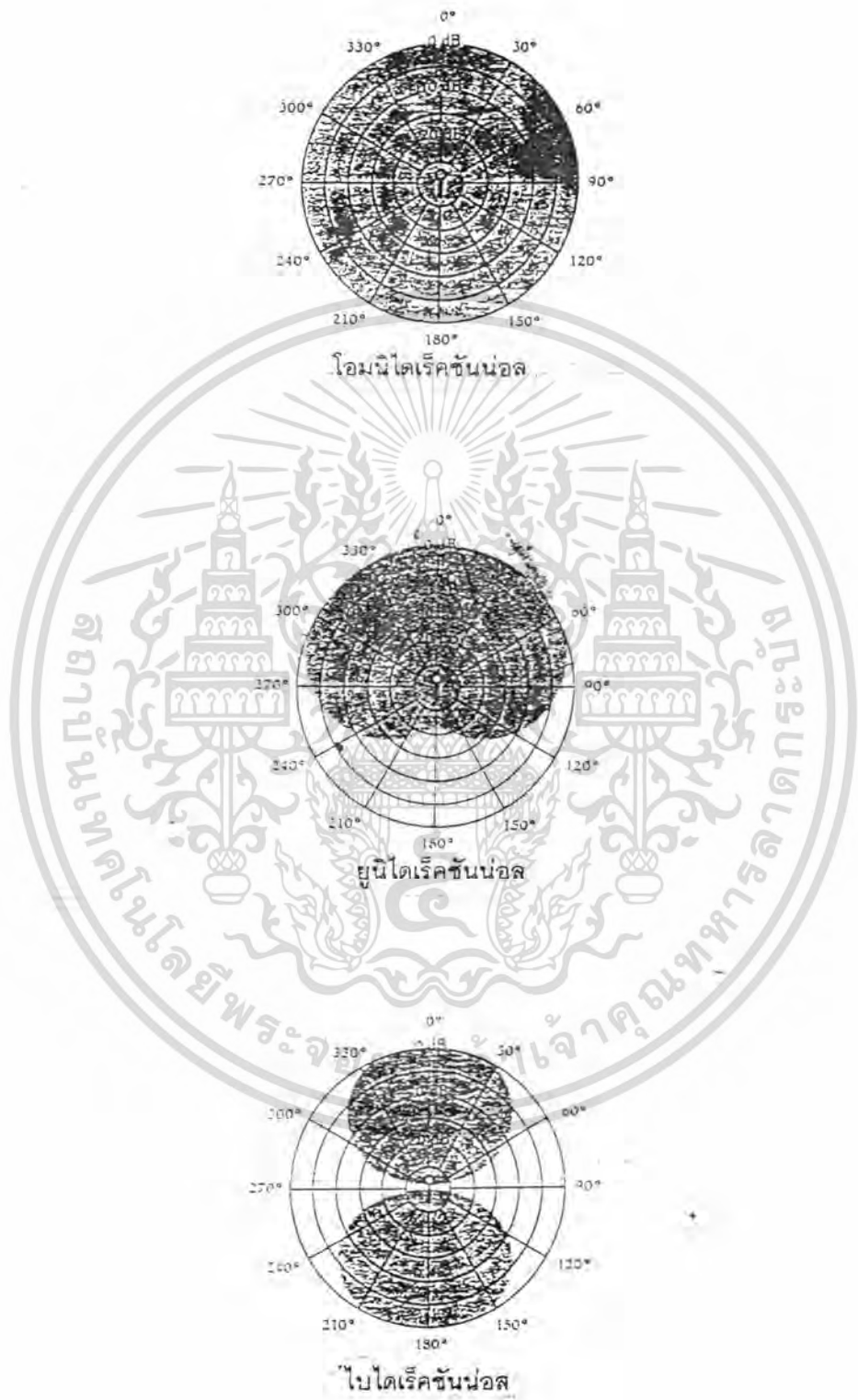
รูปที่ 2.10 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถของไมโครโฟน 4 ชนิด

2.6.1.3 ความต้านทานขาออก

ความต้านทานขาออกมีความสำคัญเนื่องจากการใช้งานไมโครโฟนต้องนำไปต่อกับวงจรขยาย และจำเป็นต้องมีความต้านทานขาออกที่พอดีกับความต้านทานของวงจรขยายนั่น ๆ โดยทั่ว ๆ ไปแล้วความต้านทานขาออกมักจะขึ้นกับชนิดของไมโครโฟนโดยตรง เช่น ไมโครโฟนแบบไดนามิกจะมีความต้านทานขาออกต่ำมาก และ ไมโครโฟนแบบคอนเดนเซอร์จะมีความต้านทานขาออกค่อนข้างสูง เป็นต้น

2.6.1.4 ทิศทางการตอบสนอง

ไมโครโฟนทั่ว ๆ ไปนั้นไม่สามารถรับสัญญาณเสียงได้รอบตัว เป็นผลให้การตอบสนองด้านความถี่ของไมโครโฟนเปลี่ยนแปลงไปตามมุมที่ต้นกำเนิดสัญญาณกระทำต่อไมโครโฟน ลักษณะของพื้นที่ครอบคลุมที่สามารถตอบสนองโดยไมโครโฟนแต่ละแบบแสดงไว้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะพื้นที่ครอบคลุมที่สามารถตอบสนองแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เขียนได้พบเว็บไซต์ที่เผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากข้าพเจ้า ข้าพเจ้าขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และขออภัยในความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ในเรื่องทิศทางนั้น จะเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ขนาดของการรบกวนที่ปนเข้าไปกับสัญญาณเสียงลดลง กล่าวคือถ้าเราเลือกไมโครโฟนถูกต้องเหมาะสมยอมทำให้สัญญาณรบกวนถูกลดลงไปเหลือแต่สัญญาณที่เราต้องการ สำหรับเครื่องวัดระดับเสียงแล้วยังทำให้เราสามารถวัดแหล่งสัญญาณที่เราต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับการเลือกไมโครโฟนที่นำมาสร้างเครื่องวัดระดับเสียงควรเลือกชนิดที่มีการตอบสนองแบบมีทิศทาง การตอบสนองทิศทางตรง เช่น แบบ Bidirectional หรือแบบ Semidirectional

2.6.1.5 ความไวการตอบสนอง(Microphone Sensitivity)

เป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญมากในการเลือกไมโครโฟนมาทำเครื่องวัดระดับเสียง จากค่า sensitivity ที่ระบุมาจากผู้ผลิตไมโครโฟนทำให้เราทราบความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนรูปพลังงานเสียงเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้สามารถนำไปสู่การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อควบคุมหรือปรับสภาพสัญญาณให้สามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้อง sensitivity ของไมโครโฟนในปัจจุบันนี้ ผู้ผลิตนิยมที่จะแสดงหน่วยเป็น dBV/bar เมื่อ dBV คือค่าระดับแรงดันขาออกเป็น dB ต่อแรงดัน 1 โวลต์ ที่กำลังอัดของ คลื่นเสียง 1 bar (หรือ 0.1 N/m^2) sensitivity ของไมโครโฟนโดยทั่ว ๆ ไปจะอยู่ในย่าน -50 ถึง -125 dBV/bar และลักษณะโดยทั่ว ๆ ไปแล้วไมโครโฟนตัวใหญ่ ๆ จะมี sensitivity สูง แต่มีความถี่ตอบสนองต่ำ และไมโครโฟนตัวเล็ก ๆ จะมี sensitivity ต่ำ แต่จะมีความถี่ตอบสนองสูง

ค่าแรงดันขาออกที่แท้จริงของไมโครโฟนหาได้จาก sensitivity เป็น dBV/bar ดังนี้

$$\text{dBV} = 20 \log E / 1 \text{ volt}$$

$$= 20 \log E$$

$$\text{dBV}/20 = \log E$$

$$E = A \log (\text{dBV}/20)$$

เมื่อ E เป็นแรงดันขาออกมีหน่วยเป็น โวลต์ คัดจากกำลังอัด 1 bar,

Alog คือ anti log

ดังนั้น $\text{SPL} = 20 \log (P/0.00002)$

$$\text{SPL}/20 = \log (P/0.00002)$$

$$P = 0.00002 A \log (\text{SPL}/20)$$

เมื่อ P คือค่ากำลังของเสียงที่สัมพันธ์กับค่า SPL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $E_{out} = (A \log(dBV / 20)) \times (2.0 \times 10^{-5}) \times (A \log(SPL / 20))$

เมื่อ E คือแรงดันขาออกมีหน่วยเป็นโวลต์สัมพันธ์กับค่า SPL (อ้างอิง 0.00002 bar) และ dBV คือ sensitivity ของไมโครโฟน (เป็น dB เปรียบเทียบ 1 volt/bar)

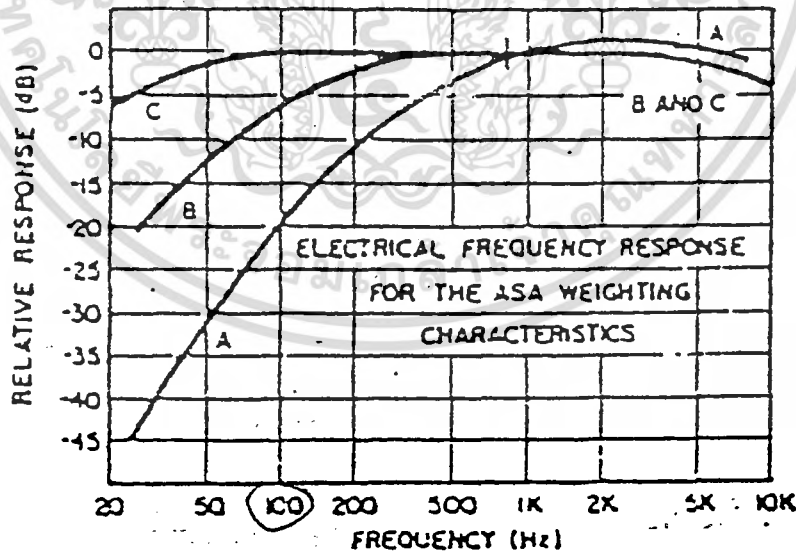
2.6.2 ชุดปรับเปลี่ยนย่านความถี่ตอบสนอง (WEIGHTING NETWORK)

โดยทั่ว ๆ ไปชุด WEIGHTING NETWORK จะมีอยู่ 3 ตำแหน่งคือ A , B และ C ซึ่งคุณสมบัติของความถี่ที่ตอบสนองแสดงอยู่ในรูปที่ 2.12 ชุดทั้งสามจะเป็นตัวเลือกค่าประมาณของการได้ยินของมนุษย์ที่ระดับเสียงที่แตกต่างกัน มนุษย์จะไม่ไวต่อเสียงที่มีความถี่สูงมาก ๆ และความถี่ต่ำมาก ๆ ดังนั้นจึงต้องมีชุดปรับเปลี่ยนย่านความถี่ตอบสนอง ดังนี้

WEIGHTING NETWORK A สำหรับระดับเสียงที่ต่ำกว่า 55 dB

WEIGHTING NETWORK B สำหรับระดับเสียงระหว่าง 55 และ 85 dB

WEIGHTING NETWORK C สำหรับระดับเสียงที่สูงกว่า 85 dB



รูปที่ 2.12 แสดงสเกลย่านความถี่ตอบสนองแบบ A, B และ C

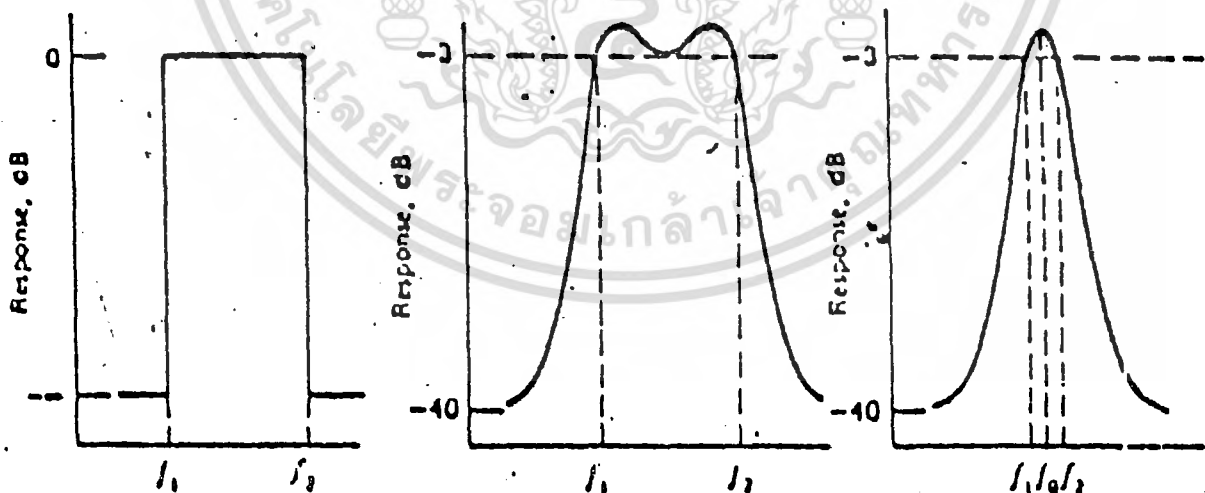
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ ณ ที่นี้

2.6.2.1 ออกเตฟ(octave)

ก่อนที่จะกล่าวถึงการวัดโดยใช้ WEIGHTING NETWORK ต่าง ๆ จะอธิบายคำว่า "ออกเตฟ (octave) " เพื่อความเข้าใจที่ง่ายขึ้นในการอธิบายต่อไป

ออกเตฟคือช่วงกว้างของความถี่สัญญาณที่มีความถี่ด้านความถี่ต่ำและด้านความถี่สูงของช่วงสัญญาณ (หรือ band) มีความถี่ต่างกันเป็น 2 เท่า ดังแสดงในรูป 2.12

ในแต่ละออกเตฟจะมีสัญญาณเสียง 2 สัญญาณที่เป็นความถี่เบื้องต้นคือ upper cutoff frequency และ lower cutoff frequency ในทางทฤษฎีการวิเคราะห์ในย่านออกเตฟ ความถี่ทั้งหมดต้องผ่านได้ตลอด ซึ่งในทางปฏิบัติจะไม่ได้เป็นเช่นนี้แต่จะมีย่านความถี่อยู่ที่จุด -3 dB down ซึ่งเป็นผลจากอุปสรรคการกรองความถี่นั่นเองการกรองความถี่จะเรียกว่า " skirt " จะประกอบด้วย กราฟการตอบสนองที่โค้งขึ้นทั้งสองด้าน ซึ่งได้มาจากมาตรฐานของระบบ American National Standard Specification for Octave Half-octave and Third-octave Band Filter Sets S 1.11-1966 ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.12(ข) และ 2.12(ค)



(ก)ทางทฤษฎี

(ข)ทางปฏิบัติ

(ค)ทางปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 2.13 แสดงกราฟที่ตอบสนองโค้งขึ้นทั้งสองด้านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาการวิเคราะห์ย่านความถี่เสียงมักนิยมแสดงผลด้วย center frequency ดังนี้

$$f_0 = (f_1 \cdot f_2)^{1/2}$$

โดย f_0 คือ center frequency ของแต่ละออกเตฟมีหน่วยเป็น Hz

f_1 คือ lower cutoff frequency มีหน่วยเป็น Hz

f_2 คือ upper cutoff frequency มีหน่วยเป็น Hz

center frequency ตามมาตรฐานสากลพร้อมทั้ง lower cutoff frequency และ upper cutoff frequency ของแต่ละออกเตฟแสดงไว้ดังตารางที่ 2.6

2.6.2.2 ชุดปรับเปลี่ยนย่านความถี่ตอบสนอง A และ C

Weighting Network C เป็น network ที่ให้การตอบสนองที่ราบเรียบสม่ำเสมอตลอดย่านความถี่ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.12 พบว่า กราฟตอบสนองของ Weighting Network C จะเรียบคงที่คล้ายกับระดับกำลังอัดของเสียงจริง ดังนั้นจึงมักใช้ Weighting Network C ทำการวัดระดับกำลังอัดของเสียง (SPL) ตามระบบมาตรฐานของอเมริกา ซึ่งค่าที่วัดได้จะมีความแตกต่างเล็กน้อยกับ flat response network ที่ให้การตอบสนองสม่ำเสมอตลอดย่านความถี่เสียง ตามระบบมาตรฐานสากลโลก (International Standard)

ตารางที่ 2.6 แสดง center frequency แต่ละออกเตฟ

lower cutoff frequency: f_1 (Hz)	center frequency: f_0 (Hz)	upper cutoff frequency: f_2 (Hz)
44	63	88
88	125	177
177	250	354
354	500	707
707	1,000	1,414
1,414	2,000	2,828
2,828	4,000	5,656
5,656	8,000	11,312

ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.12 ถ้าพิจารณาย่านออกเตฟเป็น 31.5 ถึง 8,000 Hz สำหรับ

flat response จะให้การตอบสนองราบเรียบตลอดย่านความถี่ทุก ๆ ออกเตฟ (0 dB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น เมื่อผู้ขาดพิมพ์ใบเซอร์เบียนที่เป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับย่านออกเดฟที่มี f_0 เป็น 31.5 และ 8,000 Hz ค่าที่อ่านได้จากสเกล C จะต่ำกว่า -3 dB ในย่านออกเดฟที่มี f_0 เป็น 63 และ 4,000 Hz ค่าที่อ่านได้จากสเกล C จะต่ำกว่า -0.8 dB และในย่านออกเดฟอื่น ๆ ค่าที่อ่านได้จากสเกล C จะแตกต่างกับ flat response น้อยมากสามารถตัดทิ้งได้

Weighting Network A เป็น network ที่นิยมใช้วัดกันโดยทั่วไป ค่าที่วัดได้เป็นค่าระดับเสียง มีหน่วยเป็น dBA สำหรับ Weighting Network A นี้ให้การตอบสนองต่อความถี่เสียงในลักษณะเช่นเดียวกับการตอบสนองความถี่เสียงของหูมนุษย์ สำหรับกราฟแสดงคุณสมบัติความถี่ตอบสนองของ Weighting Network A แสดงไว้ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่า ทางด้านความถี่ต่ำ การตอบสนองจะมีค่าต่ำลงเรื่อย ๆ ที่ความถี่ 1,000 Hz จะให้การตอบสนองราบเรียบเท่ากับ Weighting Network C และสำหรับในช่วงออกเดฟที่มี f_0 เป็น 2,000 Hz จะได้การตอบสนองสูงสุด (เสียงพูดจะมีความถี่ในช่วง 800-3,600 Hz) และทางด้านความถี่สูงการตอบสนองจะมีค่าลดลง

ในการวัดทางค่านเสียงโดยทั่วไป จะใช้ Weighting Network C หรือ flat response network ในการวัดกำลังอัดของเสียง และจะใช้ Weighting Network A สำหรับวัดระดับเสียง ซึ่งค่าที่ได้ทั้งสองชนิดจะมีความสัมพันธ์กันตามตารางที่ 2.7 ซึ่งเป็นตารางแสดงการแก้ไขค่าที่ใช้แปลงค่า SPL (จาก Weighting Network C) เป็นค่าระดับเสียง หรือ Weighting Network A ตามระบบ American National Standard Specification for general purpose Sound Level Meter, S 1.4 - 1974

ในการวัดระดับกำลังอัดของเสียงทั้งหมดที่เกิดขึ้นนั้น เราสามารถคำนวณได้โดยการรวมค่าระดับกำลังอัดของแต่ละย่านความถี่ โดยวิธีการรวมค่า dB ทำนองเดียวกันค่าระดับเสียงทั้งหมด จึงสามารถคำนวณได้จากค่ากำลังอัดของเสียงในย่านต่าง ๆ ที่มีการแก้ไขแล้ว จากตารางที่ 2.7 นั้นเอง

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าแก้ไข Weighting Network A

f(Hz)	correction(dB)	f(Hz)	correction(dB)
25	-44.7	630	-1.9
32	-39.4	800	-0.8
40	-34.6	1,000	0.0
50	-30.2	1,250	0.6
63	-26.2	1,600	1.0
80	-22.5	2,000	1.2
100	-19.1	2,500	1.3
125	-16.1	3,150	1.2
160	-13.4	4,000	1.0
200	-10.9	5,000	0.5
250	-8.6	6,300	-0.1
315	-6.6	8,000	-1.1
400	-4.8	10,000	-2.5
500	-3.2	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการใช้งาน

แนวคิดในการนำไมโครโปรเซสเซอร์มาช่วยในการวัดระดับเสียง เกิดจากปัญหาในการวัดระดับสัญญาณเสียงที่ต้องการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งต้องสุ่มวัดระดับสัญญาณกันอย่างต่อเนื่อง ต้องมีเจ้าหน้าที่คอยเฝ้าวัดอยู่ตลอดเวลาที่ทำการวัด ทำให้เสียเวลาและเป็นการยุ่งยากเมื่อต้องการวัดต่อเนื่องเป็นเวลานาน ในการสร้างเครื่องวัดระดับเสียงในโครงการพิเศษนี้แบ่งส่วนการทำงานได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนรับสัญญาณเสียง
2. ส่วนแปลงสัญญาณเสียง
3. ส่วนควบคุมการทำงานและแสดงผล

3.1 การออกแบบ

คุณสมบัติของเครื่องวัดระดับเสียงที่ต้องการสร้างในโครงการพิเศษนี้ มีดังนี้

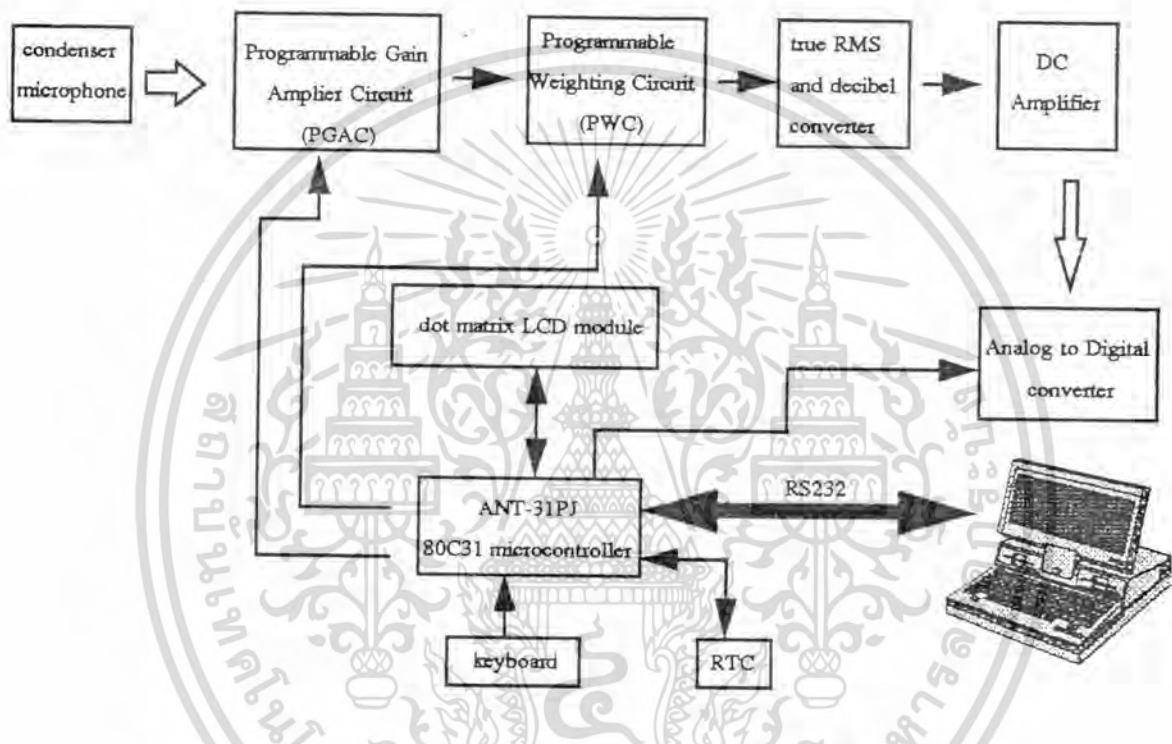
- สามารถวัดระดับสัญญาณเสียงได้ 3 สเกล คือ สเกล A (dBA), สเกล B (dBB), สเกล C (dBC)
- ปรับย่านการวัดแบบอัตโนมัติ
- สามารถตั้งเวลาการวัดล่วงหน้าโดยกำหนดช่วงเวลาที่จะวัดตามความต้องการของผู้ใช้
- กำหนดคาบเวลาการสุ่มข้อมูลได้
- มีการเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำ
- สามารถส่งผ่านข้อมูลผลการวัดระดับสัญญาณเสียง ไปยังเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง โดยข้อมูลในการวัดประกอบด้วย สถานที่ที่ทำการวัด เวลาเริ่มต้นการวัด เวลาสิ้นสุดการวัด คาบเวลาการสุ่มข้อมูล ข้อมูลระดับสัญญาณเสียง และ สเกลในการตรวจวัด (dBA , dBB หรือ dBC)
- เลือกรหัสการทำงานได้ 3 โหมด ดังนี้

โหมด 0 เป็นการทำงานเหมือนกับเครื่องวัดระดับเสียงธรรมดา ไม่มีการตั้งเวลาในการตรวจวัดข้อมูล ไม่มีการจัดเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำ และไม่มีการอินเทอร์เฟซกับไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 1 มีการอินเทอร์เฟสกับไมโครคอมพิวเตอร์ ไม่มีการตั้งเวลาในการตรวจวัดระดับเสียง ไม่มีการจัดเก็บข้อมูลลงหน่วยความจำ

โหมด 2 มีการตั้งเวลาในการตรวจวัด มีการจัดเก็บข้อมูลลงหน่วยความจำ และสามารถส่งข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดให้กับไมโครคอมพิวเตอร์ได้



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดระดับเสียง

ควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ (MSLM)

การทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงแสดงอยู่ในรูปที่ 3.1 เริ่มด้วย condenser microphone ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแรงดันเสียง (sound pressure) เป็นสัญญาณแรงดันทางไฟฟ้าและป้อนเข้าสู่ Programmable Gain Amplifier Circuit (PGAC) ซึ่งเป็นวงจรขยายที่สามารถเลือกอัตราขยายได้โดยการควบคุมจากบอร์ดควบคุม ANT-31PJ ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ อัตราขยายขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณอินพุตจากไมโครโฟน หากสัญญาณมีขนาดเล็กมากบอร์ดควบคุม ANT-31PJ จะเลือกให้อัตราขยายมีค่าสูง หากสัญญาณมีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะลดอัตราขยายลง เมื่อได้สัญญาณที่มีขนาดเหมาะสมแล้วก็จะป้อนเข้าสู่ภาค Programmable Weighting Circuit (PWC) ซึ่งทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณในย่านความถี่

ต่ำและย่านความถี่สูง เพื่อให้สอดคล้องกับการได้ยินของมนุษย์ โดยมี Weighting Network

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

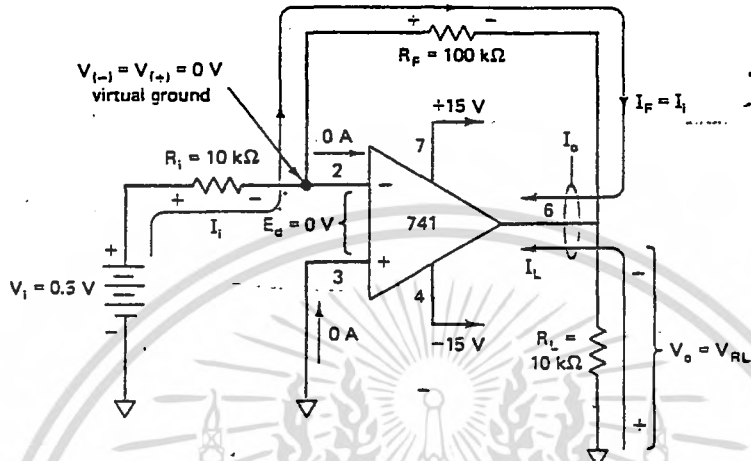
อยู่ 3 ชนิด คือ A,B และ C สามารถเลือกได้โดยการป้อนคำสั่งจากคีย์บอร์ด เพื่อให้บอร์ดควบคุม ANT-31PJ ทำการตัดต่อวงจร

ภาคต่อไปเป็นภาคที่มีความสำคัญมาก คือ True RMS and Decibel Converter ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง โดยขนาดของไฟกระแสตรงที่ได้มีขนาดเท่ากับค่าอาร์เอ็มเอส (RMS) ของสัญญาณไฟกระแสสลับซึ่งมีลักษณะเป็นเชิงเส้นและในขณะที่เดียวกันก็จะให้เอาท์พุทไฟกระแสตรงที่มีลักษณะไม่เชิงเส้น(logarithm) ซึ่งเราจะใช้เอาท์พุทนี้เทียบเป็นหน่วย dB ได้ เนื่องจากสัญญาณไฟกระแสตรงที่ได้มีขนาดเล็กจึงต้องทำการขยายด้วยภาค DC Amplifier ก่อน เมื่อได้ขนาดสัญญาณที่เหมาะสมแล้วก็ส่งเข้าสู่ภาค Analog to Digital Converter เพื่อแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลโดยการแปลงสัญญาณดังกล่าวถูกควบคุมด้วยบอร์ดควบคุม ANT-31PJ

ในส่วนของภาคควบคุมการทำงานนั้นจะมีบอร์ดควบคุม ANT-31PJ เป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานทั้งหมด โดยมีคีย์บอร์ดสำหรับให้ผู้ใช้ป้อนคำสั่งให้กับบอร์ดควบคุม ANT-31PJ เพื่อให้ทำงานได้ตามต้องการ เมื่อทำงานอยู่ในช่วงการตรวจวัดบอร์ดควบคุม ANT-31PJ จะควบคุมการทำงานของภาค Analog to Digital Converter และรับข้อมูลดิจิทัลเข้ามาประมวลผลเพื่อควบคุมอัตราขยายของ PGA ให้มีความเหมาะสมกับสัญญาณอินพุทจากไมโครโฟน ส่วนการเลือก Weighting Network นั้น บอร์ดควบคุม ANT-31PJ จะรับคำสั่งจากผู้ใช้งานโดยผ่านทางคีย์บอร์ดว่าจะเลือก Weighting Network ชนิดใด แล้วจึงส่งสัญญาณไปควบคุมการตัดต่อวงจรเพื่อเลือก Weighting Network ตามที่ผู้ใช้เลือกไว้ เมื่อได้ข้อมูลจากการวัดที่ถูกต้องแล้วก็นำออกแสดงผลด้วย Dot Matrix LCD Module ขณะที่เครื่องวัดระดับเสียงทำงานแบบเก็บข้อมูลต่อเนื่องนั้น ภาค RTC จะเป็นตัวกำหนดฐานเวลาจริงให้กับบอร์ดควบคุม ANT-31PJ ทำให้กำหนดคาบเวลาการสุ่มข้อมูลในการตรวจวัดและจัดเก็บข้อมูลได้ และข้อมูลที่จัดเก็บไว้สามารถส่งขึ้นไมโครคอมพิวเตอร์โดยผ่านทาง พอร์ตอนุกรม RS232C

3.2 พื้นฐานอิเล็กทรอนิกส์

3.2.1 วงจรขยายกลับเฟส (Inverting Amplifier Circuit)



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรขยายกลับเฟส

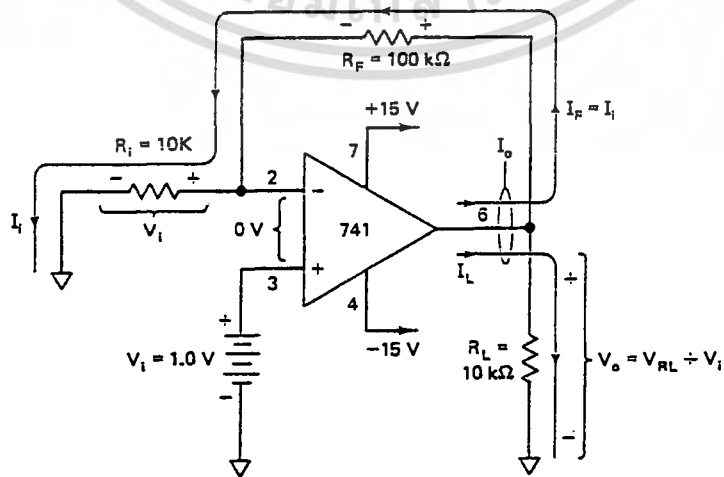
จากรูป 3.2 อัตราขยายของวงจรมีค่าดังนี้

$$A_v = R_f / R_i \quad (3.1)$$

เมื่อ R_i = ความต้านทานอินพุต R_f = ความต้านทานป้อนกลับ

นั่นคือ แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นจำนวนเท่าของ R_f / R_i คูณกับแรงดันอินพุต สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะอยู่ในลักษณะกลับเฟส (ความต่างเฟส $\theta = 180^\circ$) กับสัญญาณอินพุต เพราะป้อนสัญญาณอินพุตเข้าทางขาอินพุตลบของออปแอมป์

3.2.2 วงจรขยายไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier Circuit)



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรขยายไม่กลับเฟส

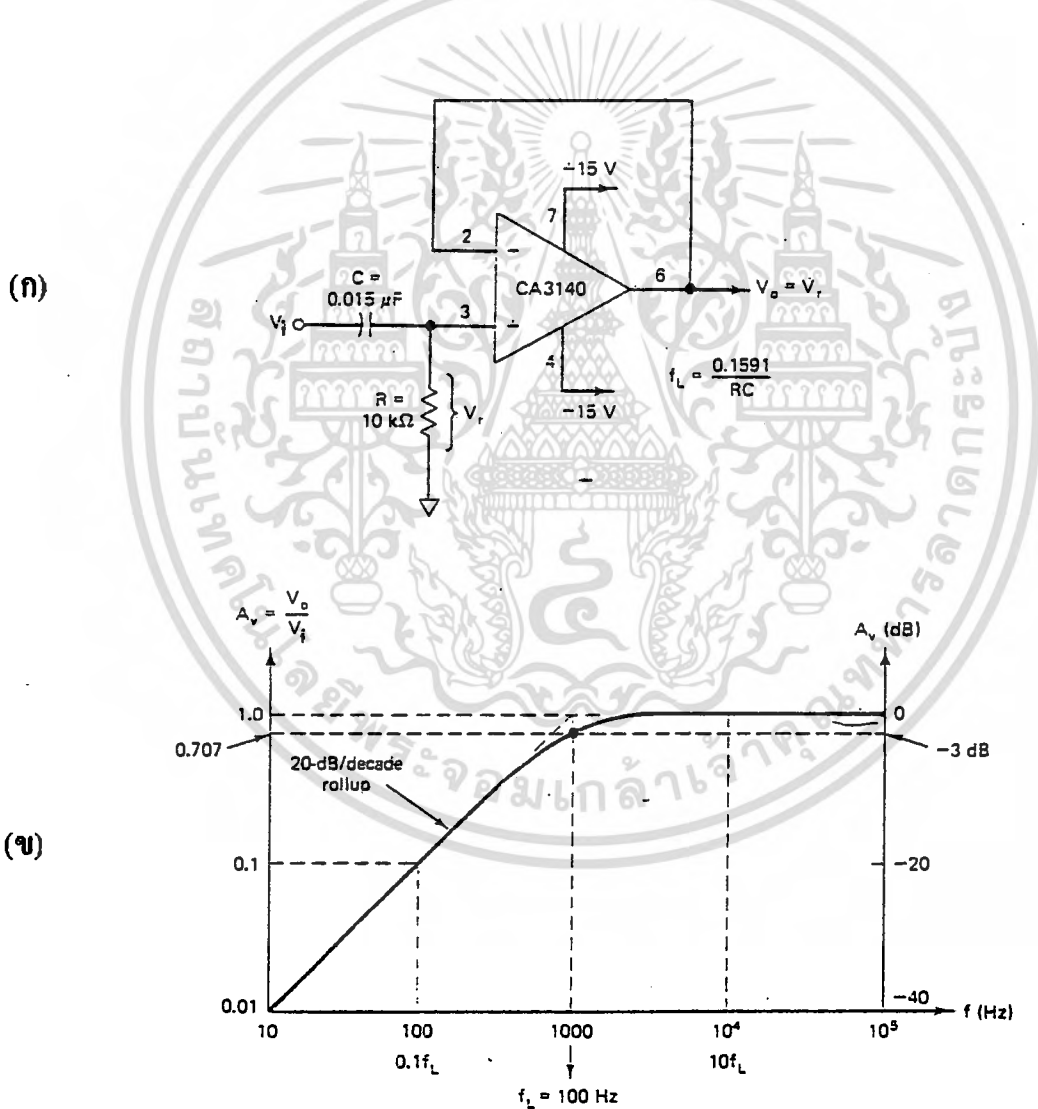
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ส่วนตัวเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 3.3 เป็นวงจรขยายที่มีความต้านทานอินพุตสูงมาก คือ มีความต้านทานกับ ความต้านทานขาเข้าของออปแอมป์ และอัตราขยายแรงดันของวงจรกำหนดด้วยสมการ

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_i} \quad \text{-----} \quad (3.2)$$

สิ่งที่แตกต่างจากวงจรขยายแบบกลับเฟส คือ สัญญาณเอาต์พุตจะมีเฟสเดียวกับ สัญญาณอินพุต(ความต่างเฟส $\theta = 0^\circ$)

3.2.3 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter Circuit)



รูปที่ 3.4 แสดง (ก) วงจร High Pass Filter

(ข) responded frequency ของวงจร High Pass Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่คutoffด้านต่ำ f_L คำนวณได้จาก

$$f_L = \frac{0.1591}{RC} \text{ ----- (3.3)}$$

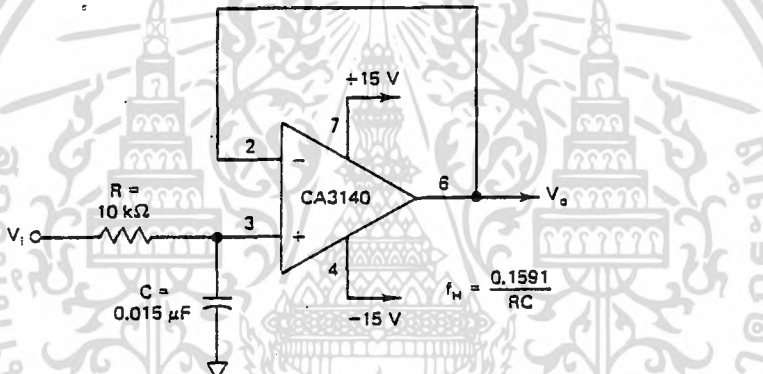
จากสมการจะเห็นว่าความถี่คutoffด้านต่ำสามารถกำหนดได้โดยการเปลี่ยนค่า R และ C ที่ความถี่ต่ำสัญญาณอินพุตจะถูกลดทอนด้วยความชัน 20 dB/decade

3.2.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter Circuit)

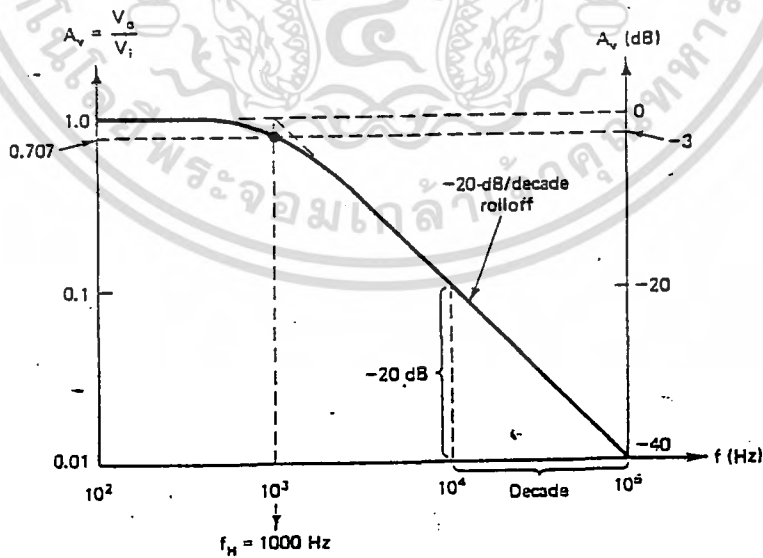
ความถี่คutoffด้านสูง f_H คำนวณได้จาก

$$f_H = \frac{0.1591}{RC} \text{ ----- (3.4)}$$

(ก)



(ข)



รูปที่ 3.5 แสดง (ก) Low Pass Filter 20 dB/decade

(ข) responded frequency ของวงจร Low Pass Filter 20 dB/decade

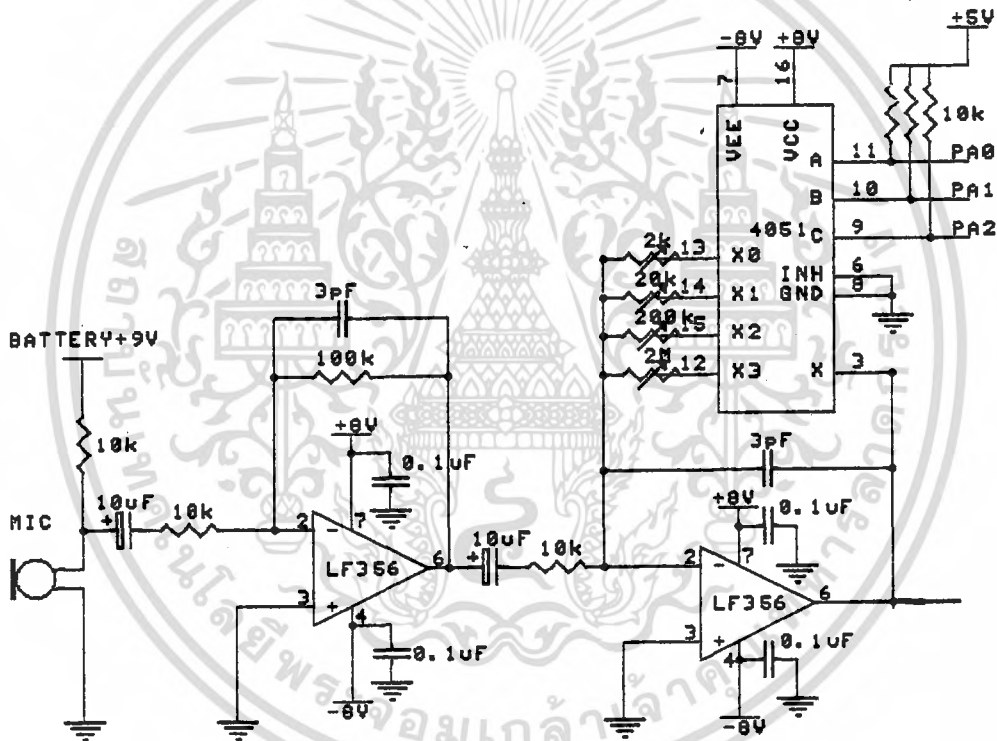
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3.4 เห็นว่าวิธีการคำนวณเหมือนกับกรณีของ High Pass Filter แต่ที่ความถี่สูงสัญญาณอินพุทจะถูกลดทอนลงด้วยความชัน 20 dB/decade

3.3 ส่วนรับสัญญาณเสียง

3.3.1 Programmable Gain Amplifier Circuit(PGAC)

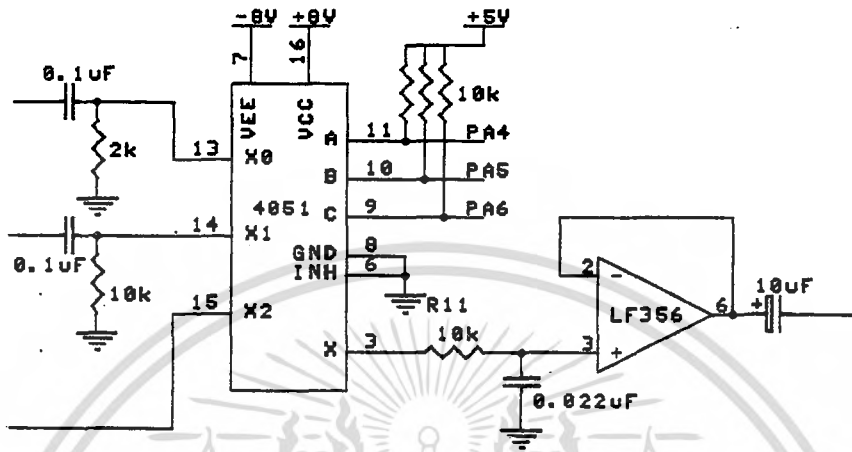
PGAC เป็นวงจรขยายที่สามารถปรับอัตราขยายได้ ซึ่งในโครงการนี้สามารถปรับอัตราขยายได้ 4 ค่า วงจรของ PGAC แสดงอยู่ในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงวงจร Programmable Gain Amplifier Circuit(PGAC)

วงจรมีประกอบด้วยวงจรขยายกลับเฟส 2 วงจร วงจรแรกมีอัตราขยายแรงดันคงที่เท่ากับ 10 เท่า และวงจรที่สองเป็นแบบเลือกอัตราขยายได้โดยใช้สัญญาณควบคุมจากพอร์ท 8255 บนบอร์ดควบคุม ANT-31PJ โดยใช้ไอซีเบอร์ 4051 ซึ่งเป็นตัวมัลติเพลกซ์ (multiplexer)เป็นตัวตัดต่อวงจร ดังนั้นทั้งวงจรสามารถเลือกอัตราขยายได้สูงสุด 2,000 เท่า ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานป้อนกลับ ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 Programmable Weighting Circuit(PWC)



รูปที่ 3.7 แสดงวงจร Programmable Weighting Circuit(PWC)

วงจรนี้ประกอบด้วยวงจรกรองความถี่สูงผ่าน 2 วงจร และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 1 วงจร สัญญาณอินพุตที่เข้ามาจะถูกเลือกให้ผ่านวงจรใดวงจรหนึ่งหรือไม่ผ่านเลย โดยมีไอซีเบอร์ 4051 เป็นตัวตัดต่อวงจร โดยถูกควบคุมจากพอร์ท 8255 บนบอร์ดควบคุม ANT-31PJ เอาท์พุทจะออกทางขา 3 ของไอซีเบอร์ 4051 ผ่านวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

3.4 การทำงานของส่วนรับสัญญาณเสียง

จากวงจรตามรูปที่ 3.6 condenser microphone ทำหน้าที่ตรวจวัดระดับสัญญาณเสียง ซึ่งอยู่ในรูปความกดดันอากาศแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า โดยเอาท์พุทของ condenser microphone จะต้องใช้ PGAC ในการขยายเพราะว่ามีช่วงการเปลี่ยนแปลงที่กว้างมากตั้งแต่ประมาณ 20 ไมโครโวลต์ (ที่ระดับความกดดันอากาศ 40 dB) จนถึง 200 มิลลิโวลต์ (ที่ระดับความกดดันอากาศ 120 dB) ดังนั้นจึงต้องมีการแบ่งอัตราขยายของวงจรเป็นช่วง ๆ ซึ่งแต่ละช่วงสัมพันธ์กับย่านการวัดดังนี้

1. ย่านการวัด 40 ถึง 60 dB อัตราขยายประมาณ 1,000 เท่า
2. ย่านการวัด 60 ถึง 80 dB อัตราขยายประมาณ 100 เท่า
3. ย่านการวัด 80 ถึง 100 dB อัตราขยายประมาณ 10 เท่า
4. ย่านการวัด 100 ถึง 120 dB อัตราขยายประมาณ 1 เท่า

โดยเอาท์พุทจากวงจรขยายต้องมีขนาดไม่เกิน 200 มิลลิโวลต์ เพื่อให้มีขนาดเหมาะสมสำหรับเป็นอินพุทของภาคแปลงสัญญาณเสียงต่อไป เมื่อได้สัญญาณที่มีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่มีการแก้ไขเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมแล้วก็จะป้อนเข้าสู่ภาค PWC เพื่อผ่านวงจรกรองความถี่ หรือ Weighting Network นั้นเอง ซึ่งสามารถเลือกได้ 3 ชนิด ดังนี้

1. Weighting Network A ประกอบด้วยวงจรกรองความถี่สูงผ่าน ความถี่คัทออฟด้านต่ำ เท่ากับ 800 Hz อัตราลดทอน 20 dB/decade และ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ความถี่คัทออฟด้านสูง เท่ากับ 6 kHz

2. Weighting Network B ประกอบด้วยวงจรกรองความถี่สูงผ่าน ความถี่คัทออฟด้านต่ำ เท่ากับ 160 Hz อัตราการลดทอน 20 dB/decade และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านความถี่คัทออฟด้านสูง เท่ากับ 6 kHz

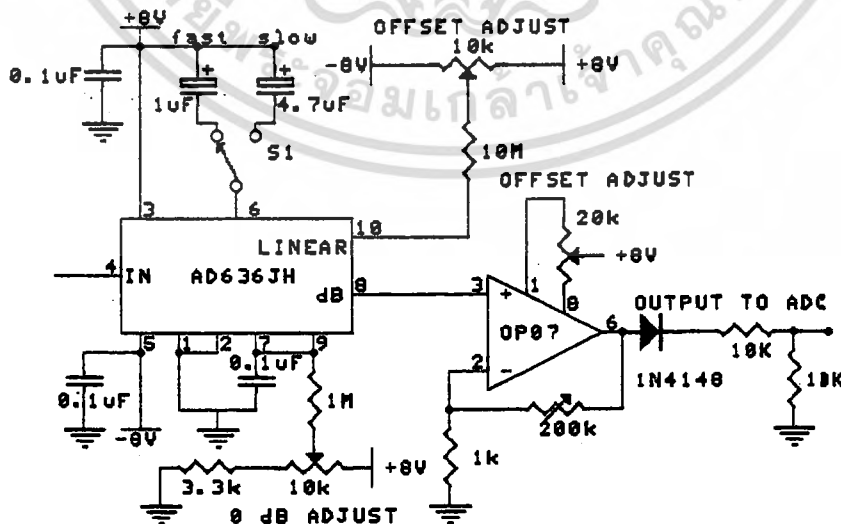
3. Weighting Network C ประกอบด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ความถี่คัทออฟด้านสูงเท่ากับ 6 kHz

รายละเอียดของไอซีเบอร์ 4051 ดูได้จากภาคผนวก ข

3.5 ส่วนแปลงสัญญาณเสียง

เนื่องจากสัญญาณเสียงที่ได้จากภาครับสัญญาณเสียงยังเป็นไฟกระแสสลับ ซึ่งไม่สามารถนำไปแสดงผลได้ ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณเสียงมาทำการแปลงให้อยู่ในรูปของไฟกระแสตรงเทียบเป็นหน่วย dB และแปลงไฟกระแสตรงที่ได้เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งส่วนแปลงสัญญาณเสียงประกอบด้วย 2 วงจร ดังนี้

3.5.1 True RMS and Decibel Converter (AD636JH) และ DC Amplifier



รูปที่ 3.8 แสดง True RMS and Decibel Converter และ DC Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซีเบอร์ AD636JH นี้เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากในโครงการพิเศษนี้ เพราะทำหน้าที่เป็นตัวแปลงแรงดันอาร์เอ็มเอสให้เป็นแรงดันไฟกระแสตรงคิงบล็อกโคอะแกรม วงจรภายในของ AD636JH ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.9 ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ คือ วงจรเรกติไฟร์และวงจรเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแส วงจรยกกำลังสองและวงจรหารที่ใช้ วงจรขยายแบบลอการิทึมและแอนตี้ลอการิทึมควบคุมการทำงาน โดยใช้การป้อนกลับทางกระแสและวงจรแปลงกระแส

เมื่อสัญญาณอินพุตผ่านวงจรเรกติไฟร์และเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสแล้ว จะถูกนำมาคำนวณด้วยวงจรกำลังสองและวงจรหาร ซึ่งจะได้อาต์พุทออกมาเป็นค่าอาร์เอ็มเอส แบบไม่เชิงเส้นที่ขา 7 ส่วนเอาต์พุทเชิงเส้นจะได้จากการนำค่าที่ถูกยกกำลังสองแล้วมาหาค่าเฉลี่ยด้วยวงจร RC โลว์พาสเน็ดเวอร์คซึ่งมีตัวเก็บประจุ C_{AV} ที่ต่ออยู่ภายนอกเป็นส่วนประกอบ ค่าเฉลี่ยที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นกระแสด้วยวงจรแปลงกระแสแล้วให้อาต์พุทออกมาทางขา 10 มีตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์มภายในตัวไอซีทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสเอาต์พุทให้เป็นแรงดันเมื่อทำการต่อขา 1 ลงกราวด์ นอกจากนั้นที่ขา 7 จะมีตัวต้านทานปรับค่าได้ V_{Ra} ซึ่งต่ออยู่ภายนอกทำหน้าที่ปรับไบแอสของวงจรกำลังสองและวงจรหาร ซึ่งเป็นการตั้งค่าแรงดันอ้างอิงที่ 0 dB ให้แก่อิซี



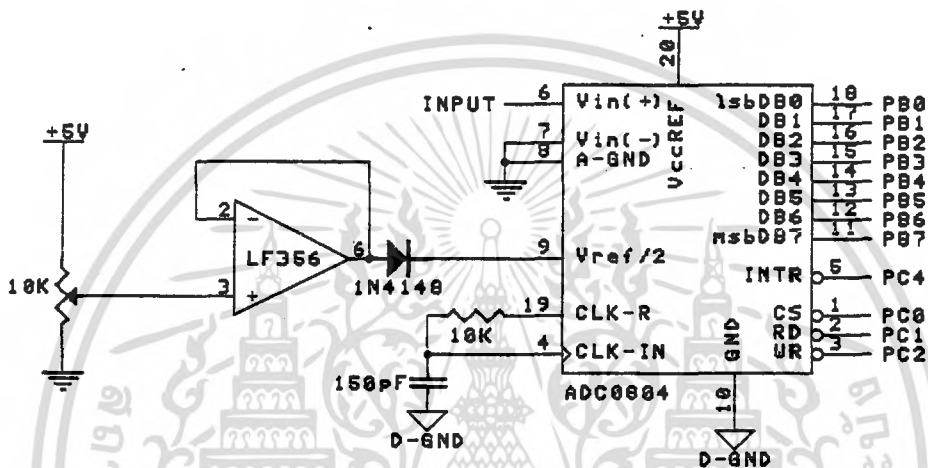
รูปที่ 3.9 แสดงบล็อกโคอะแกรมภายในของไอซีเบอร์ AD636JH

เอาต์พุทแบบไม่เชิงเส้นของไอซีเบอร์ AD636JH ถูกป้อนเป็นอินพุทให้กับ Dc Amplifier ซึ่งเป็น noninverting amplifier ซึ่งจะขยายสัญญาณไฟตรงจากค่า 0 ถึง 100

มิลลิโวลต์ให้มีค่าเป็น 0 ถึง 2 โวลต์ เพื่อให้เหมาะสมที่จะเป็นอินพุทของภาคแปลงราคา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลต่อไป รายละเอียดของไอซีเบอร์ AD636JH ดูได้จากภาคผนวก ข

3.5.2 ภาคแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล
(Analog to Digital Converter: ADC)



รูปที่ 3.10 แสดงภาคแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ใช้ไอซีเบอร์ ADC0804 สามารถรับค่าอินพุตได้แบบอนาลอกโดยตรงสูงสุด +5 โวลต์ ไอซีจะรับสัญญาณเข้ามาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิงของวงจร แล้วจึงเปลี่ยนค่าข้อมูลเป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งอัตราการสุ่มสัญญาณ (sampling rate) สามารถกำหนดได้จากความถี่สัญญาณนาฬิกาของวงจร ค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสามารถกำหนดได้โดย วงจร R และ C โดยมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$F=1/(1.1RC) \text{-----} (3.5)$$

3.5.2.1 ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตของ ไอซีเบอร์ ADC0804

ไอซีเบอร์ ADC0804 จะใช้การเปรียบเทียบขนาดของสัญญาณอินพุตกับแรงดันอ้างอิงแล้วจึงเปลี่ยนข้อมูลเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้คือ

- ถ้าขนาดของอินพุตซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอกเท่ากับขนาดของแรงดันอ้างอิง จะได้ข้อมูลมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของข้อมูลสูงสุด

- ถ้าขนาดของอินพุตมีค่าเป็น 2 เท่าของแรงดันอ้างอิง จะได้ข้อมูลมีค่าสูงสุด

3.5.2.2 ขนาดของแรงดันอินพุทของวงจร

แรงดันอ้างอิงของวงจรมีจะเป็นจุดอ้างอิงมาตรฐาน เป็นตัวกำหนดความเที่ยงตรงในการเปลี่ยนขนาดของสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งวงจรถ้องการแรงดันอ้างอิงที่มีความเที่ยงตรงสูง เพราะถ้าหากแรงดันอ้างอิงของวงจรมีไม่มีความเที่ยงตรงแน่นอนการทำงานของวงจรถ้าจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย นั่นก็จะส่งผลให้ค่าสัญญาณดิจิทัลที่ได้เปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามไปด้วย ถึงแม้ขนาดอินพุทมีขนาดคงที่ก็ตาม และแรงดันอ้างอิงของวงจรมียังเป็นตัวกำหนดค่าสูงสุดของสัญญาณอินพุทบวกของวงจร โดยค่าสัญญาณอินพุทของวงจรมีจะถูกกำหนดให้มีค่าสูงสุดประมาณ 2 เท่าของแรงดันอ้างอิง โดยมีจุดเริ่มต้นที่สัญญาณอินพุทลบของวงจรมีเสมอ

3.5.2.3 สัญญาณอินพุทลบ(Vin(-))

แรงดันอินพุทลบนี้ เป็นตัวกำหนดค่าอินพุทด้านต่ำของวงจร หรือจุดเริ่มต้นของการตรวจรับสัญญาณอินพุทของวงจร โดยสัญญาณอินพุทลบนี้สามารถกำหนดได้โดยให้มีค่าไม่เกินแรงดันอ้างอิงของวงจร

3.5.2.4 สัญญาณอินพุทบวก(Vin(+))

แรงดันอินพุทบวกนี้ ก็คือค่าแรงดันอินพุทของวงจรมีซึ่งต้องกำหนดให้มีขนาดสูงสุดไม่เกินกว่าค่าที่วงจรมีของไอซีเบอร์ ADC0804 (+5 โวลต์) รับได้ซึ่งต้องเป็นแรงดันอยู่ในช่วงบวก เนื่องด้วยไอซีไม่สามารถรับสัญญาณอินพุทที่มีค่าเป็นลบได้

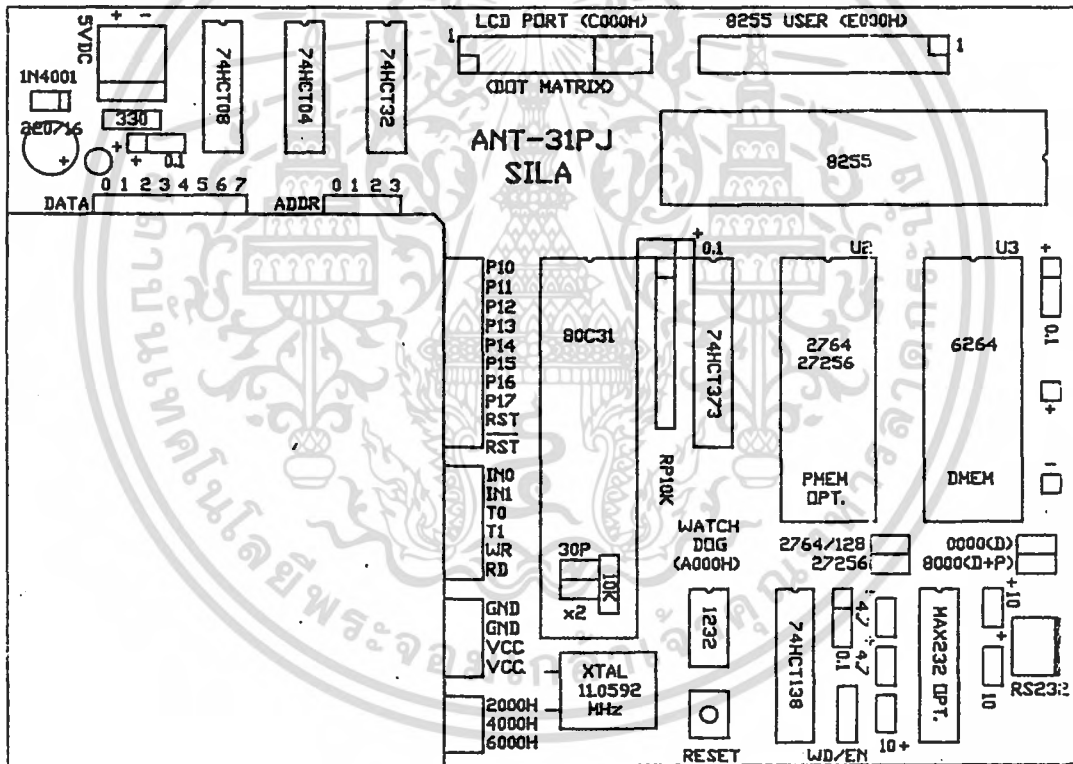
ในโครงการพิเศษนี้ ช่วงกว้างของแต่ละย่านการวัดระดับเสียงเท่ากับ 20 dB แรงดันอินพุทไฟกระเสดตรงมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 2 โวลต์ ดังนั้นต้องใช้แรงดันอ้างอิงของวงจรมีเท่ากับ 1 โวลต์ สัญญาณอินพุทลบ เท่ากับ 0 โวลต์

การติดต่อกับส่วนควบคุม จะติดต่อโดยใช้พอร์ทของ 8255 โดยใช้พอร์ท C เป็นพอร์ทควบคุม และพอร์ท B เป็นพอร์ทข้อมูล ขณะทำงานไอซีเบอร์ ADC0804 ต้องได้รับสัญญาณควบคุมจากส่วนควบคุมก่อน จึงจะทำการแปลงข้อมูลสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล และส่งข้อมูลออกทางพอร์ทข้อมูล รายละเอียดของไอซีเบอร์ ADC0804 ดูได้จากภาคผนวก ข

3.6 ส่วนควบคุมการทำงานและแสดงผล

3.6.1 บอร์ดควบคุม ANT-31PJ

ในโครงการพิเศษมีการนำบอร์ดควบคุม ANT-31PJ ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์มาควบคุมการทำงาน ซึ่งไม่ต้องการความเร็วในการประมวลผลมากนัก บอร์ดควบคุม ANT-31PJ จึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่ง เพราะมีความสามารถตามความต้องการของโครงการพิเศษอีกทั้งเป็นการประหยัดกว่าการจัดทำขึ้นใหม่เอง



รูปที่ 3.11 แสดงบอร์ด ANT-31PJ

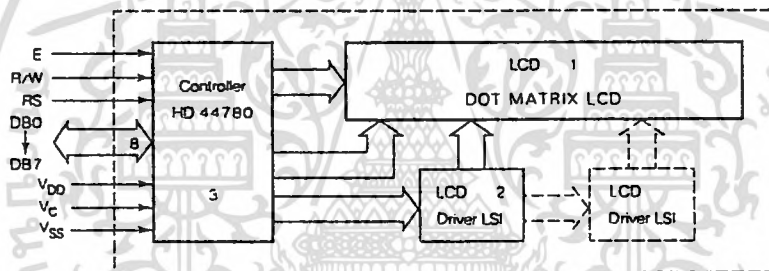
บอร์ดควบคุม ANT-31PJ ใช้ชิปเบอร์ 80C31 ซึ่งอยู่ในตระกูล MCS-51 ของ INTEL โดยเป็นตระกูลที่นิยมใช้กันอย่างมากในงานระบบควบคุมต่าง ๆ บนบอร์ดสามารถใช้หน่วยความจำได้ 2 ตัว โดยทำให้ใช้งานได้สูงสุดถึง 40 KBYTE พร้อมทั้ง 8255 USER PORT ที่มีอินพุตและเอาต์พุตในการใช้งานทั้งหมด 24 บิต นอกจากนี้ยังมี LCD PORT ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ต่อเข้ากับ LCD module ได้โดยตรง และส่วนที่เป็น WORKING AREA จะมีจุดต่อ สัญญาณต่าง ๆ ที่สำคัญรอไว้พร้อม ทำให้สะดวกอย่างมากต่อการพัฒนาส่วนเพิ่มเติมเข้าไป และยังมีระบบ Reset และ Watch Dog จากชิปเบอร์ MAX1232 ซึ่งช่วยให้งานมีความ แน่นนอนและแม่นยำยิ่งขึ้น บอร์ดควบคุม ANT-31PJ มีความคล่องตัวสูงในการพัฒนาซึ่ง สามารถเลือกใช้ REM31 หรือ BASIC 32 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ช่วยพัฒนาบอร์ดได้โดยผ่าน เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

3.6.2 DOT MATRIX LCD MODULE

ปัจจุบัน LCD ที่มีขายในท้องตลาดส่วนใหญ่จะประกอบเป็นโมดูล เพื่อความสะดวก ในการใช้งาน โดยจะมีส่วนประกอบทั่วไปดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงโครงสร้างทั่วไปของ LCD โมดูล

สำหรับ LCD module ที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้ จะเกี่ยวข้องกับเรื่อง character LCD module (ซึ่งจะเรียกย่อ ๆ ว่า LCM) เป็นส่วนใหญ่ LCM มีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

1.Dot Matrix LCD เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แสดงผล ซึ่งใช้หลักการหักเหของ แสงผ่านผลึก โดยจะประกอบไปด้วยจุด pixel จำนวนมากที่สามารถบังคับให้ติดหรือดับได้ ทุกจุด

2.Driver เป็นวงจรที่ใช้กับ LCD ส่วนใหญ่ จะใช้ชิปเบอร์ HD 44110H

3.Controller เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการทำงานทั้งหมดของ LCD module โดย จะรับข้อมูลจากภายนอกมาจัดการให้ LCD แสดงผลในรูปแบบต่างๆ ส่วนใหญ่จะใช้ชิป เบอร์ HD 44780 ซึ่งจะใช้งานแบบ character LCD module

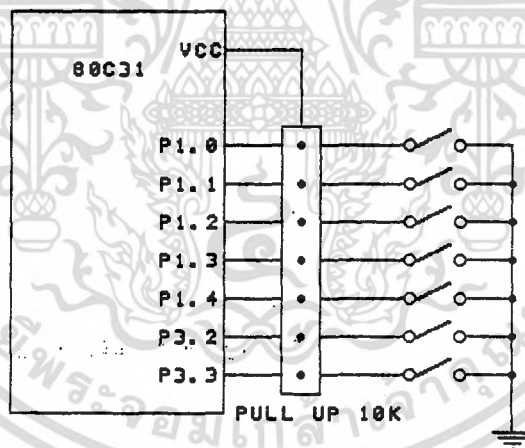
การใช้งาน LCD module ผู้จัดทำงานโครงการพิเศษเพียงแต่ศึกษาและทำความเข้าใจในส่วน controller และ LCM เท่านั้น เพราะส่วนนี้เป็นส่วนที่รับข้อมูลที่ต้องการแสดงผลจากวงจรภายนอกและควบคุมการทำงานทั้งหมดของ LCM

ชิปเบอร์ HD 44780 เป็นไอซีตัวหนึ่งที่ใช้ควบคุม LCD โดยแสดงผลในรูปอักษรหรือสัญลักษณ์ต่าง ๆ ซึ่งไอซีเบอร์ HD 44780 สามารถต่อใช้งานแบบ 4 บิต หรือ 8 บิตก็ได้ แต่ในโครงการพิเศษนี้เราใช้งานแบบ 8 บิต

3.6.3 คีย์บอร์ด

คีย์บอร์ดจัดว่าเป็นอุปกรณ์อินพุตพื้นฐานของทุกระบบที่ติดต่อกับเครื่อง เพื่อควบคุมการทำงานของระบบนั้น ๆ

เนื่องจากบอร์ดควบคุม ANT-31PJ ที่ใช้ในโครงการนี้มีพอร์ตสำหรับใช้งานเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตอยู่แล้ว ดังนั้นเราสามารถประยุกต์ใช้งานพอร์ตต่าง ๆ ที่มีในบอร์ดควบคุม ANT-31PJ เพื่อประยุกต์ใช้งานเป็นคีย์บอร์ดขนาดเล็กได้ ดังวงจรที่แสดงที่รูป 3.13



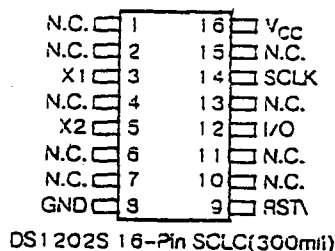
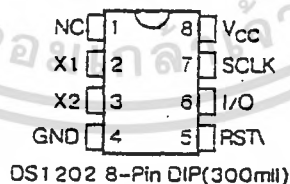
รูปที่ 3.13 แสดงการต่อคีย์บอร์ดที่ใช้ในโครงการ

ในรูปที่ 3.13 เป็นการแสดงการต่อคีย์บอร์ดที่ใช้ในโครงการพิเศษ โดยแต่ละขาของพอร์ตจะต่อกับสวิตช์ โดยตรงทำให้มีจำนวนคีย์บอร์ดสูงสุดเท่ากับจำนวนขาของพอร์ตที่ใช้งาน และการเขียนโปรแกรมสำหรับคีย์บอร์ดแบบนี้จะมีความซับซ้อนน้อยที่สุด การต่อคีย์บอร์ดแบบนี้จะเหมาะสมกับระบบที่ไม่ต้องการใช้คีย์บอร์ดมากเกินไป ซึ่งเป็นการประหยัดงบประมาณและสามารถออกแบบระบบได้ง่าย

3.6.4 ชิปปกานิคฐานเวลาจริง(RTC)

ในโครงการนี้เราสร้างฐานเวลาจริงให้กับไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ 80C31 บนบอร์ดควบคุม ANT-31PJ โดยใช้ชิปเบอร์ DS1202 ซึ่งมีความเที่ยงตรงในการทำงานสูงมาก สามารถนำมาต่อร่วมกับระบบเพื่อบอกเวลาได้สะดวกเพราะใช้จำนวนสายในการติดต่อระหว่างตัวชิปกับไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ 80C31 เพียง 3 เส้นเท่านั้น เนื่องจากชิป RTC เบอร์ DS1202 ใช้การติดต่อรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม คุณสมบัติคร่าว ๆ ของชิป RTC เบอร์ DS1202 มีดังนี้

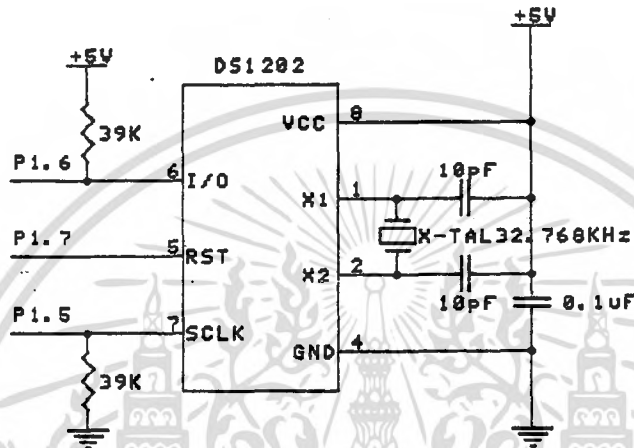
- ทำหน้าที่นับเวลาเป็นวินาที นาที ชั่วโมง วันที่ของเดือน เดือน ปี รวมทั้งคำนวณปีอธิกสุรทิน(leap year)ให้เองโดยอัตโนมัติ
- มีหน่วยความจำขนาด 24 ไบต์สำหรับเก็บข้อมูลทั่ว ๆ ไป เช่น รหัสผ่านที่เปลี่ยนค่าได้ เวลาที่ต้องการให้เครื่องจักรทำงาน ในขณะที่ไม่มีพลังงานจ่ายให้แก่ระบบทำให้ไม่จำเป็นต้องสำรองหน่วยความจำทั้งระบบนั่นเอง
- ใช้การติดต่อแบบอนุกรม จึงใช้จำนวนสายในการเชื่อมต่อกับระบบเพียง 3 เส้น
- ใช้แรงดันไฟเลี้ยงเพียง 2.0 ถึง 5.5 โวลต์ และใช้กระแสเพียง 300 นาโนแอมป์ที่ระดับแรงดัน 2.0 โวลต์
- การโอนย้ายข้อมูลไม่ว่าจะเป็นการเขียนหรืออ่านข้อมูล สามารถกระทำได้ทั้งแบบครั้งละ 1 ไบต์หรือครั้งละหลาย ๆ ไบต์
- ตัวชิปเองมีให้เลือกทั้งแบบ 8 PIN DIP หรือ 16 PIN SOIC เพื่อใช้สำหรับแผ่นวงจรชนิด surface mount



รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะรูปร่างแบบ 8 ขาและ 16 ขาของไอซีเบอร์ DS1202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

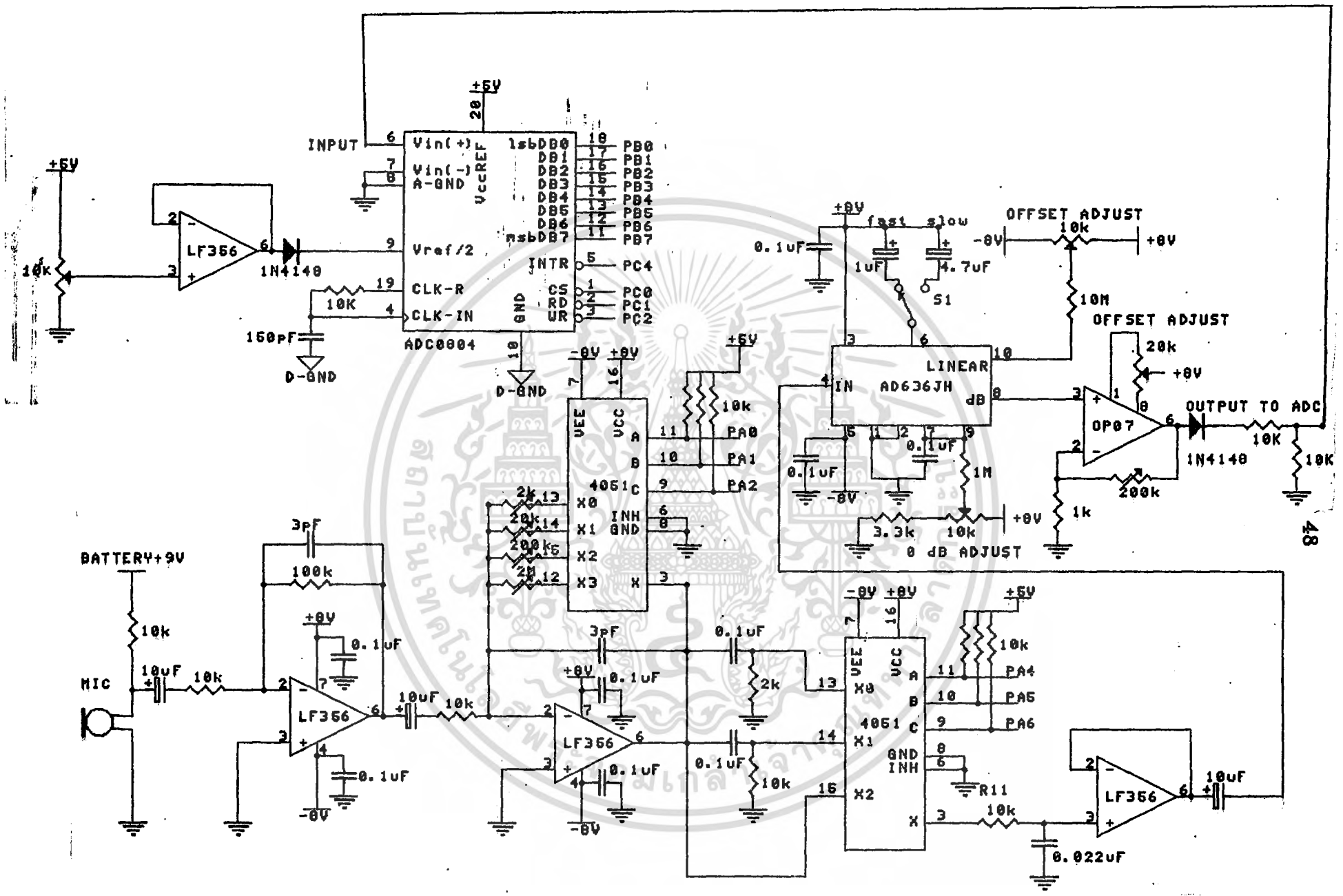
- ระดับสัญญาณ TTL compatible ($V_{cc} = 5$ โวลต์)
- ช่วงอุณหภูมิในการใช้งานกว้างมาก จาก -40 ถึง 88 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.15 แสดงวงจรชิปกำเนิดฐานเวลาจริง

3.7 การทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

การทำงานทั้งหมดถูกควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ 80C31 บนบอร์ดควบคุม ANT-31PJ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน ดังแผนภูมิสายงานแสดงในรูปที่ 3.18 ถึงรูปที่ 3.21



รูปที่ 8.16 แสดงวงจรรวมทั้งหมดที่จัดทำขึ้นของเครื่องวัดระดับเสียงควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

(ก)



(ข)

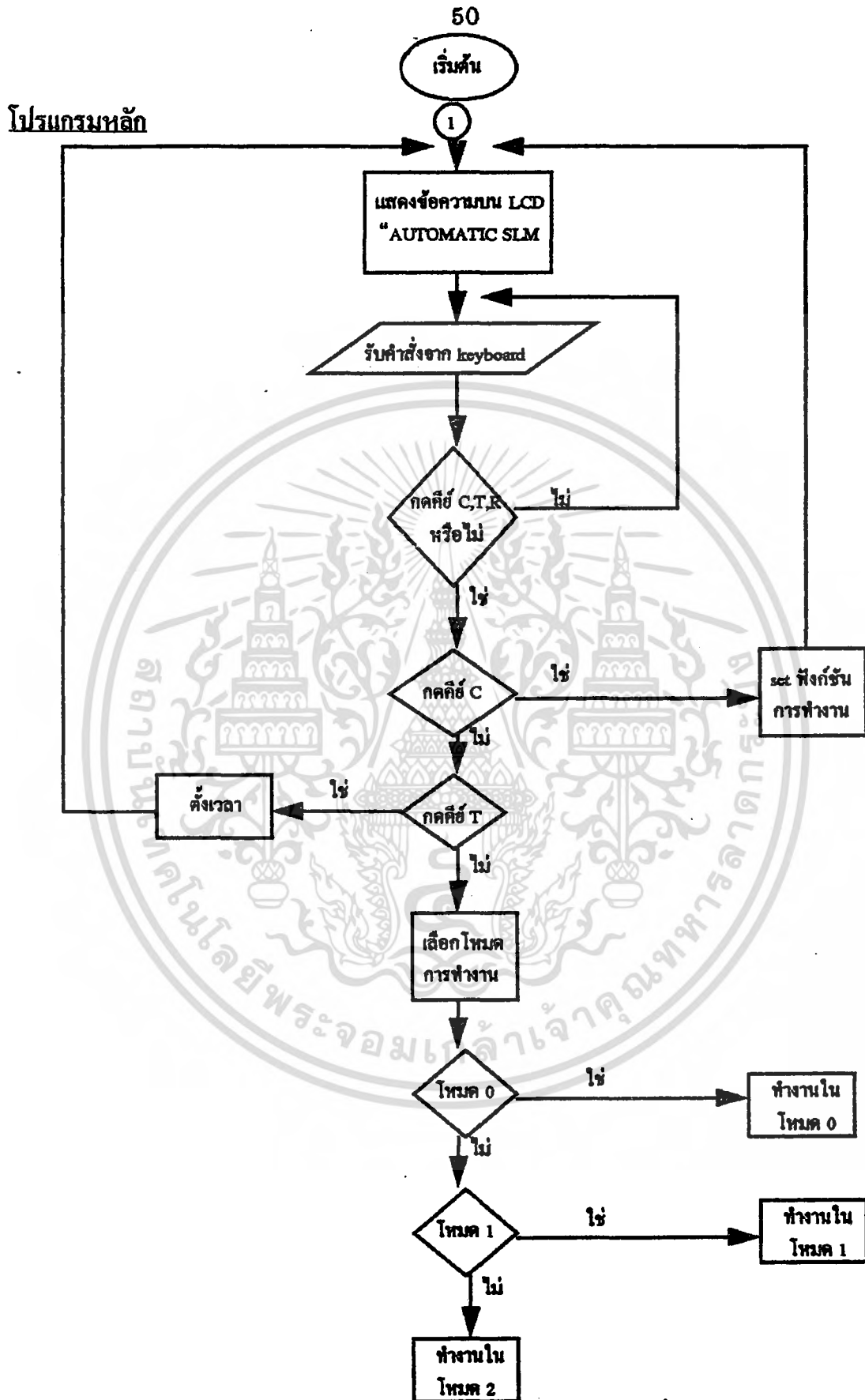


รูปที่ 3.17 แสดงเครื่องวัดระดับเสียงควบคุมด้วย ไมโคร โปรเซสเซอร์(MSLM)

(ก) ด้านหน้าของเครื่อง MSLM

(ข) ด้านหลังของเครื่อง MSLM

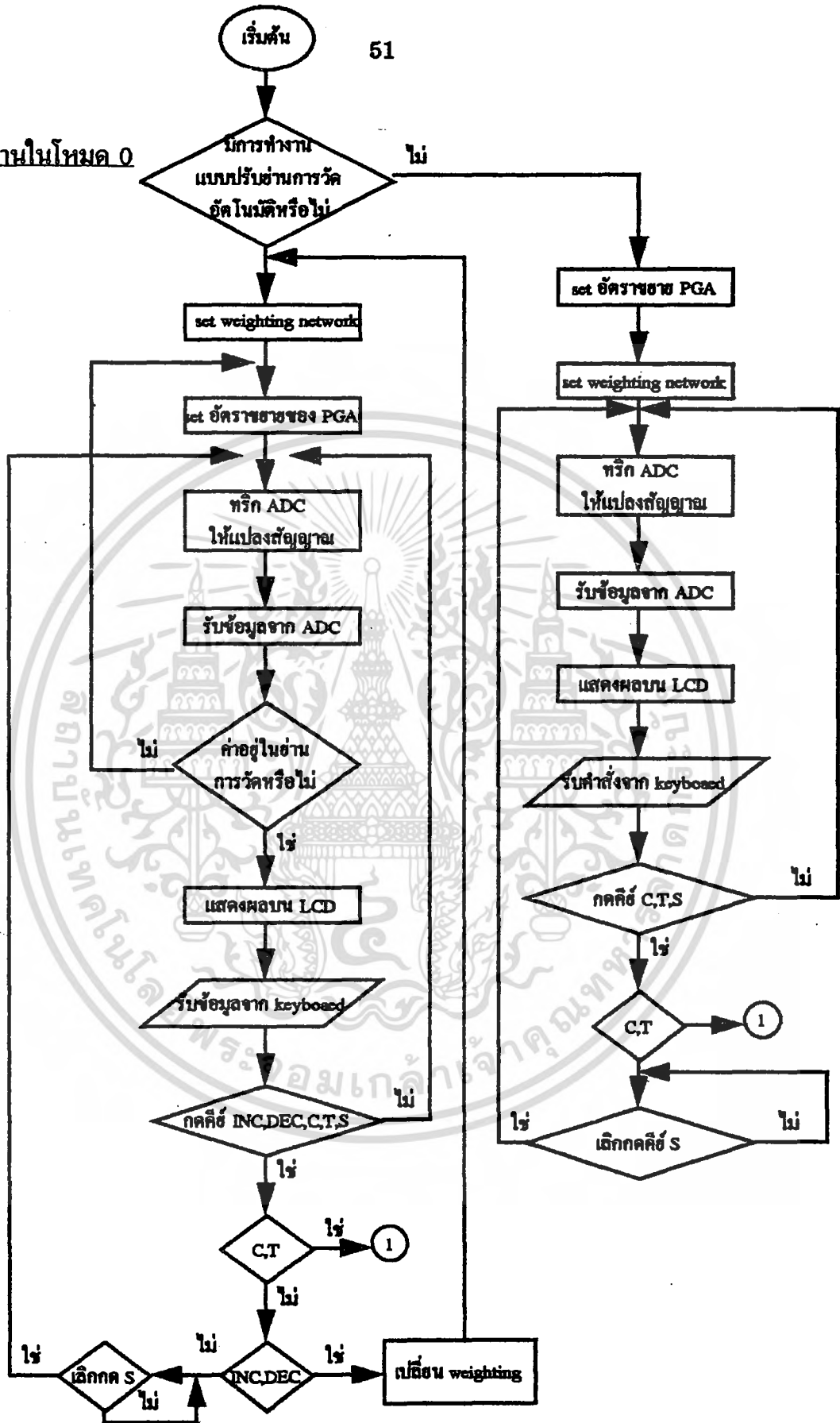
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในเท่านั้น ไม่ควรเปิดเผยให้ภายนอกได้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แสดงแผนภูมิสาขางานในโปรแกรมหลักของเครื่อง MSLM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

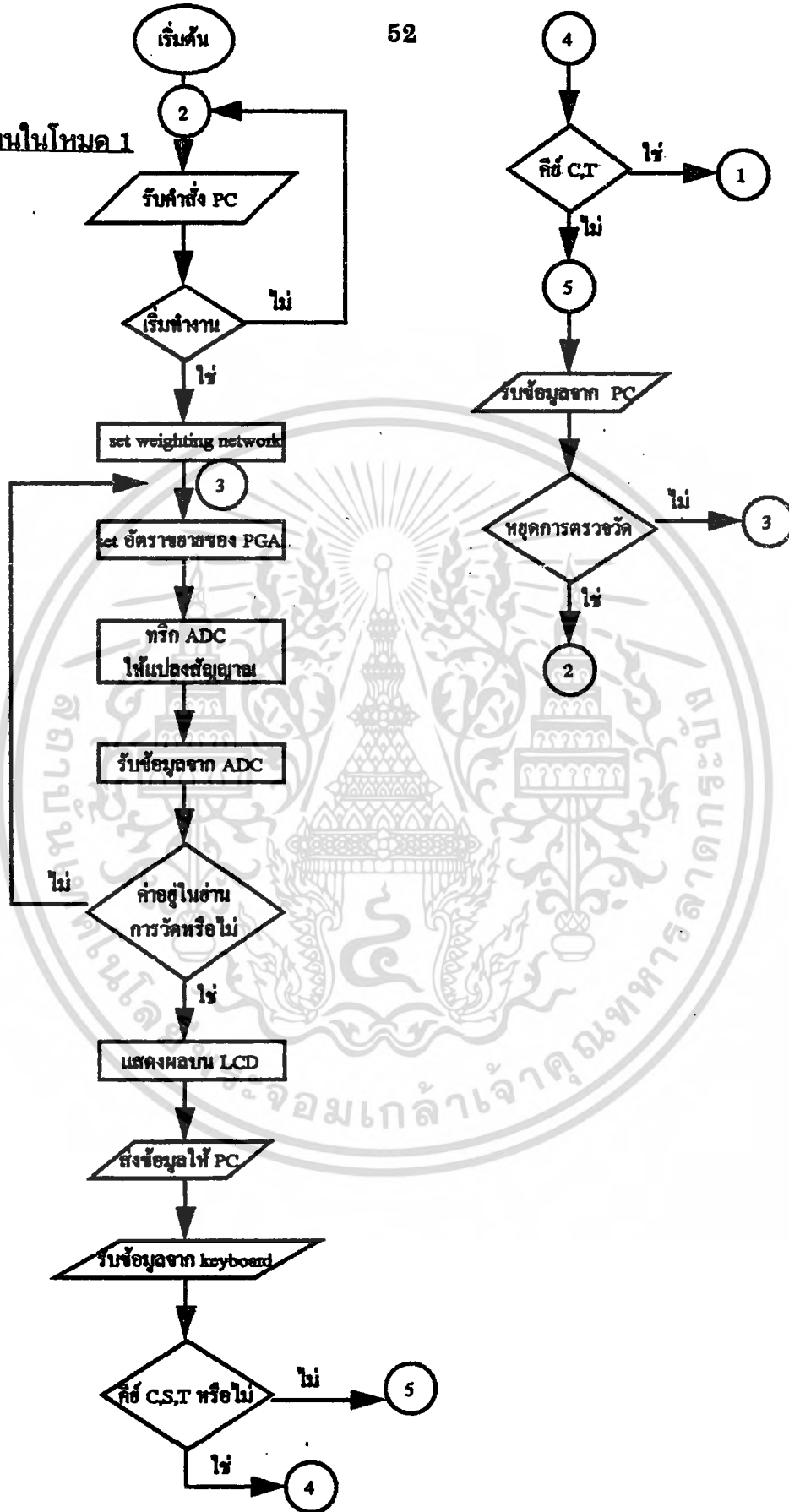
การทำงานในโหมด 0



รูปที่ 3.19 แสดงแผนภูมิสายงานในโหมด 0 ของเครื่อง MSLM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

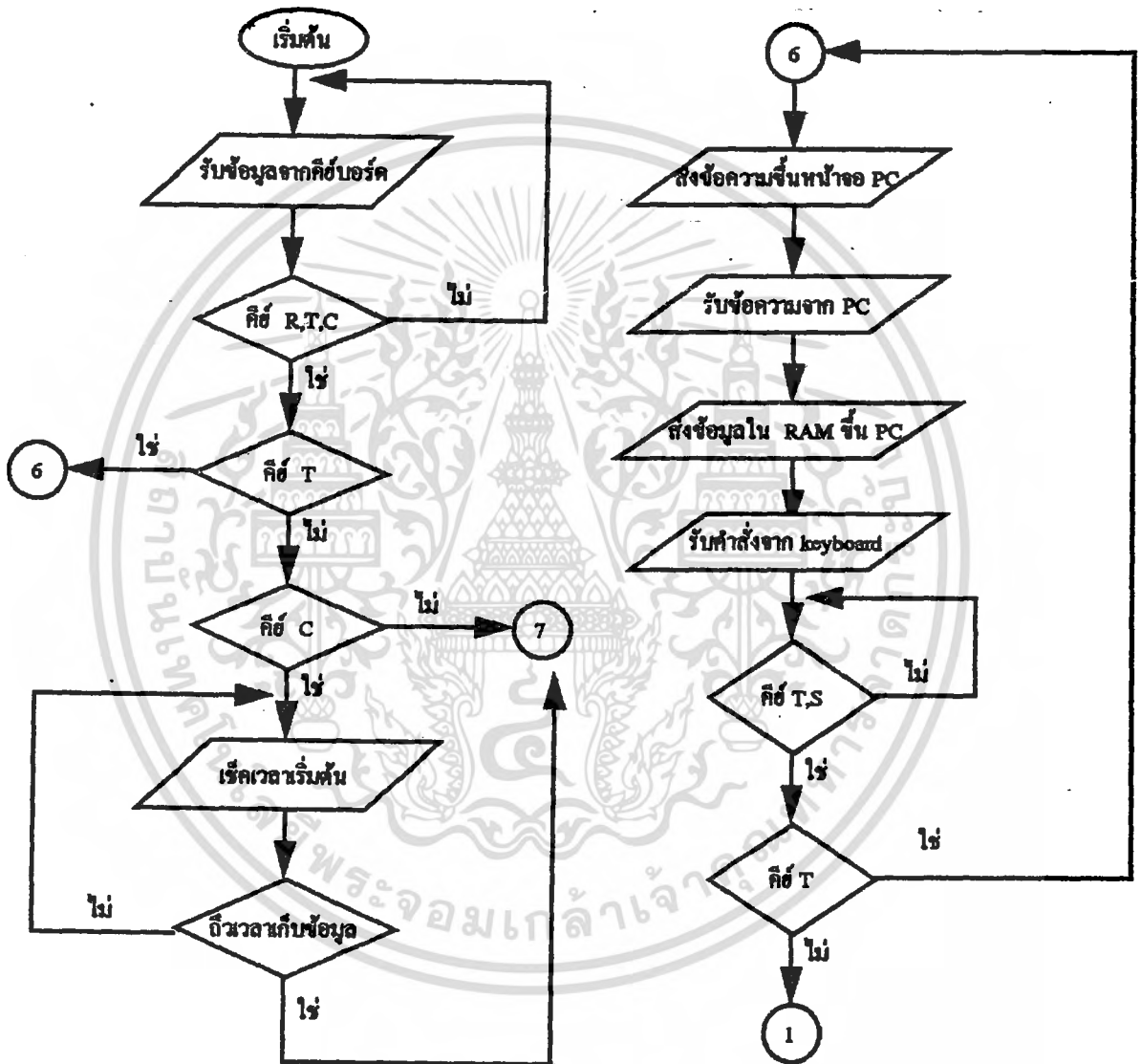
การทำงานในโหมด 1



รูปที่ 3.20 แสดงแผนภูมิสายงานในโหมด 1 ของเครื่อง MSLM

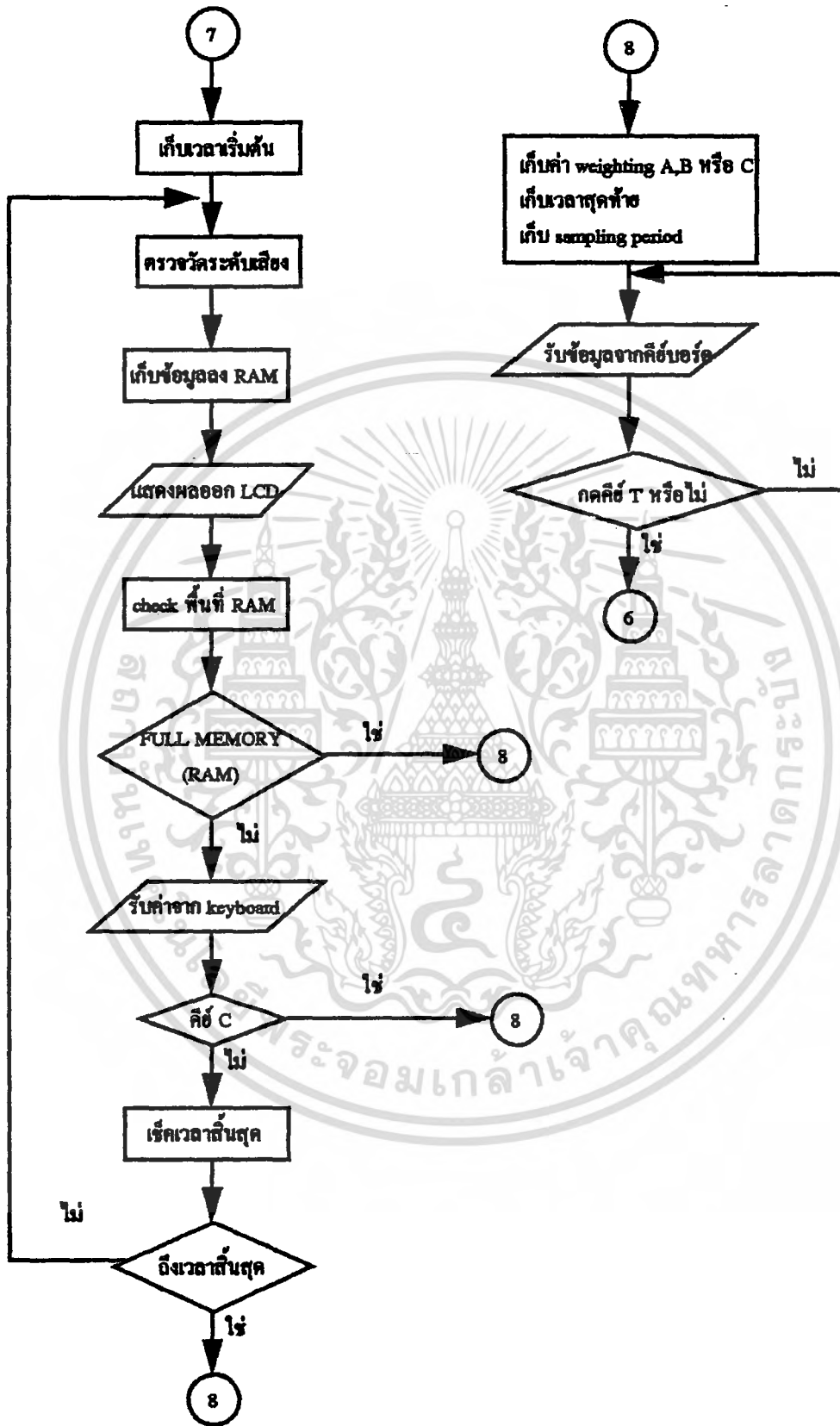
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานในโหมด 2



รูปที่ 3.21 แสดงแผนภูมิสายงานในโหมด 2 ของเครื่อง MSLM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 แสดงแผนภูมิสาขางานในโหมด 2 ของเครื่อง MSLM(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การใช้งานเครื่องวัดระดับเสียงความถี่ไม่โครโปรเซสเซอร์

3.8.1 การเริ่มต้นใช้งาน

เมื่อกดสวิทช์ ON เครื่องจะแสดงข้อความบนจอ LCD ว่า "AUTOMATIC SLM"

กดคีย์ C จะเป็นการกำหนดฟังก์ชันการทำงานของเครื่อง โดยเครื่องจะแสดงข้อความว่า "SET FUNCTION"

กดคีย์ INC จอแสดงผล LCD จะแสดงโหมดการทำงาน "MODE 2"

กดคีย์ INC อีกครั้ง จอแสดงผล LCD จะแสดงย่านการวัด "AUTO RANGE"

กดคีย์ INC อีกครั้ง จอแสดงผล LCD จะแสดง Weighting Network "Weighting C"

หรือหากกดคีย์ DEC ก็จะมีลักษณะตรงกันข้ามกับการกดปุ่ม INC หากต้องการออกจากการทำงานฟังก์ชันให้กดคีย์ ENT และ RUN เครื่องจะแสดงข้อความ "AUTOMATIC SLM" อีกครั้ง

กดคีย์ T จอแสดงผล LCD จะแสดงข้อความ

"REAL TIME CLOCK"

กดคีย์ INC จอแสดงผล LCD จะแสดงเวลเริ่มต้นเป็นชั่วโมง นาที และวินาทีตามลำดับดังนี้

"00:00:00"

กดคีย์ INC อีกครั้ง จอแสดงผลจะแสดง วัน เดือน และปี เริ่มต้น ดังนี้

"01/01/98"

กดคีย์ INC อีกครั้ง จอแสดงผลจะแสดงคาบเวลาการสุ่มข้อมูลเป็นนาที:วินาที ดังนี้

"00:10/SAMPLING"

กดคีย์ INC อีกครั้ง จอแสดงผลจะแสดงเวลาเริ่มต้นในการวัด ดังนี้

"START: 00:00:00"

กดคีย์ INC อีกครั้ง จอแสดงผลจะแสดงเวลาสิ้นสุดในการวัด ดังนี้

"STOP: 23:00:00"

หรือหากกดคีย์ DEC ก็จะเป็นในลักษณะตรงกันข้ามกับ INC หากต้องการออกจาก REAL TIME CLOCK ให้กดคีย์ ENT และ RUN

3.8.2 กำหนดโหมดการทำงาน

กดคีย์ตามหัวข้อ 3.8.1 จนเครื่องวัดระดับเสียงแสดงโหมดการทำงาน โดยการ
ทำงานเริ่มต้นจะอยู่ที่โหมด 2

"MODE 2"

กดคีย์ S และกดคีย์ INC หรือ DEC จนได้โหมดการวัดที่ต้องการ แล้วกดคีย์ ENT
โหมดการทำงานของเครื่องมืออยู่ด้วยกัน 3 โหมด รายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อ 3.8.7
ถึงหัวข้อ 3.8.9

3.8.3 การเปลี่ยนย่านการวัด

กดคีย์ตามหัวข้อ 3.8.1 จนเครื่องวัดระดับเสียงแสดงย่านการวัด โดยการงานเริ่ม
ต้นจะแสดงย่านการวัดแบบอัตโนมัติ

"AUTO RANGE"

กดคีย์ S และกดคีย์ INC หรือ DEC จนได้ย่านการวัดเสียงที่ต้องการแล้วกดคีย์
ENT

3.8.4 การเปลี่ยนย่านความถี่ตอบสนอง (weighting)

กดคีย์ตามหัวข้อ 3.8.1 จนเครื่องวัดระดับเสียงแสดง weighting โดยเริ่มต้นเครื่องวัด
ระดับเสียง จะแสดงข้อความ

"WEIGHTING C"

กดคีย์ S แล้วกดคีย์ INC หรือ DEC จนได้ weighting ตามต้องการ แล้วกดคีย์ ENT

3.8.5 การตั้งเวลา

กดคีย์ ตามหัวข้อ 3.8.1 จนเครื่องวัดระดับเสียงแสดงเวลาการทำงานเริ่มต้น เช่น
ชั่วโมง นาที และวินาที โดยจะแสดงข้อความ

"00:00:00"

หากเราต้องการตั้งเวลาใหม่ กดคีย์ S เครื่องวัดระดับเสียงก็จะแสดง

"HOUR:00"

กดคีย์ INC หรือ DEC จนได้เวลาชั่วโมงที่ต้องการ เช่น

"HOUR:20"

จากนั้นให้กดคีย์ ENT เครื่องวัดระดับเสียงจะแสดงเวลาคอนาที่ต่อไป

"MINUTE:00"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดคีย์ INC หรือ DEC จนได้เวลาที่ที่ต้องการ เช่น

"MINUTE:30"

จากนั้นให้กดคีย์ ENT เครื่องวัดระดับเสียงจะแสดงเวลาวินาทีต่อไป

"SECOND:00"

กดคีย์ INC หรือ DEC จนได้เวลาวินาทีที่ต้องการ เช่น

"SECOND:15"

จากนั้นให้กดคีย์ ENT เครื่องวัดระดับเสียง จะแสดงเวลาทั้งหมดเป็น

"20:30:15"

ส่วนการตั้งเวลาอื่น ๆ ก็เป็นไปในลักษณะเดียวกัน

3.8.6 การ RUN

เมื่อเครื่องวัดระดับเสียง แสดงข้อความบนจอ LCD ว่า "AUTOMATIC SLM" กดคีย์ R และ ENT เครื่องก็จะทำงานตามฟังก์ชันการทำงานที่ได้กำหนดไว้ สิ่งสำคัญที่จะกำหนดลักษณะการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียง คือ โหมดการทำงาน โดยจะมีอยู่ 3 โหมดด้วยกัน ดังนี้

3.8.6.1 โหมด 0

การทำงานเหมือนกับเครื่องวัดระดับเสียงโดยทั่วไป มีการตรวจวัดระดับเสียงและแสดงผลบน LCD เท่านั้น ไม่มีการจัดเก็บข้อมูล หากเครื่องทำงานแบบปรับย่านการวัดอัตโนมัติ เราสามารถเปลี่ยน weighting โดยใช้คีย์ INC หรือ DEC ได้ สามารถหยุดข้อมูลไว้คู่ได้โดยการกดคีย์ S ค้างไว้ เมื่อหยุดกดคีย์ S เครื่องวัดระดับเสียงก็จะทำงานต่อไป

3.8.6.2 โหมด 1

ในขณะที่ตรวจวัดจะมีการติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS232C โดยจะรับคำสั่งและส่งข้อมูลให้กับไมโครคอมพิวเตอร์ โดยเมื่อเริ่ม RUN เครื่องยังจะไม่ทำการตรวจวัด แต่จะรอคำสั่งให้เริ่มทำงานจากไมโครคอมพิวเตอร์ โดยกดคีย์ดังนี้

- TOA ส่งข้อมูลและทำการวัดโดย Weighting Network A
- TOB ส่งข้อมูลและทำการวัดโดย Weighting Network B
- TOC ส่งข้อมูลและทำการวัดโดย Weighting Network C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การส่งข้อมูล และการตรวจวัด ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถหยุดข้อมูลไว้ได้โดย กคคีย์ S ของเครื่องวัดระดับเสียงค้างไว้ เมื่อหยุด กคคีย์ S เครื่องก็จะทำงานต่อไป กคคีย์ R และ T สามารถทำให้เครื่องวัดระดับเสียงเลิกการทำงาน เพื่อออกไปกำหนดฟังก์ชันและตั้งเวลาใหม่

3.8.6.3 โหมด 2

เป็นการทำงานที่สำคัญที่สุด

- สามารถตั้งเวลาเริ่มต้น เวลาสุดท้าย และคาบเวลาการสุ่มข้อมูล
- มีการเก็บข้อมูลในหน่วยความจำ (RAM)
- ถ่ายโอนข้อมูลในหน่วยความจำให้กับไมโครคอมพิวเตอร์ได้

ดังนั้น ก่อนที่จะทำการ RUN ให้เครื่องวัดระดับเสียงทำงานในโหมดนี้ต้องมี การตั้งเวลาเสียก่อนและเมื่อทำการ RUN เครื่อง ผู้ใช้ต้องเลือกการทำงานในลักษณะต่าง ๆ

- กคคีย์ R จะเป็นการให้เครื่องทำการตรวจวัดระดับเสียงโดยทันที ซึ่งไม่ต้องรอให้ถึงเวลาเริ่มต้น โดยเครื่องจะเก็บเวลาที่ผู้ใช้ทำการกคคีย์ เป็นเวลาเริ่มต้นในการตรวจวัดระดับเสียง และจัดเก็บข้อมูลระดับเสียงลงไปหน่วยความจำ และเงื่อนไขในการหยุดการตรวจวัดระดับเสียง และจัดเก็บข้อมูลระดับเสียง มีดังต่อไปนี้

1. ถึงเวลาสิ้นสุดการจัดเก็บข้อมูล ซึ่งผู้ใช้ได้ตั้งไว้ก่อนแล้ว
2. หน่วยความจำที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลเต็ม
3. มีการกคคีย์ C ของเครื่องวัดระดับเสียง

เงื่อนไขที่กำหนดมานี้ หากตรงกับเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่ง เครื่องจะหยุดการตรวจวัด และจัดเก็บข้อมูลทันที และจะแสดงให้ผู้ใช้รู้ด้วยข้อความดังนี้

"FULL MEMORY"

- กคคีย์ C เครื่องจะทำการวัดระดับเสียงโดยทันที แต่จะรอเวลาเริ่มต้นที่ผู้ใช้ตั้งไว้ ส่วนการทำงานอื่น ๆ เหมือนกับการกคคีย์ R

- กคคีย์ T เครื่องวัดระดับเสียงจะทำการส่งข้อมูลในหน่วยความจำให้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

โดยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ต้องใช้โปรแกรมอินเตอร์ซึ่งสามารถที่จะรับข้อมูลทางพอร์ต RS232C ที่เป็นรหัสแอสกี ซึ่งในโครงการพิเศษนี้ใช้โปรแกรม XTALK ซึ่งมีทั้งหมด 4 ไฟล์ด้วยกันดังนี้

REM31.BAT

REM31.XTK

XTALK.EXE

XTALK.HLP

ขั้นตอนในการส่งข้อมูลมีดังนี้

- 1.เข้าสู่โปรแกรมมอนิเตอร์ XTALK โดยใช้คำสั่ง REM31
- 2.กด Ctrl-A แล้วพิมพ์คำสั่ง CA ON แล้วกด Enter เพื่อทำการรับข้อมูลที่ถูกส่งเข้ามาทางพอร์ท RS232C
3. กดคีย์ T ของเครื่องวัดระดับเสียง จะปรากฏข้อความบนหน้าจอดังนี้

Microprocessor Based Sound Level Meter V.2.0

Designed by

Mr. Santi Hankla

Mr. Kriangsak Uesakulrungrueng

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang

Test Location:

- 4.ใส่สถานที่ที่ทำการเก็บข้อมูลโดยกดคีย์ " เพื่อพิมพ์ชื่อสถานที่ เมื่อพิมพ์เสร็จแล้วให้กดคีย์ " อีกครั้งหนึ่งก็จะปรากฏข้อความบนหน้าจอเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น
5. กดคีย์ T ของเครื่องวัดระดับเสียงอีกครั้งหนึ่ง ข้อมูลในหน่วยความจำก็จะถูกส่งให้กับไมโครคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งแสดงบนหน้าจอ ตัวอย่างรายละเอียดข้อมูลระดับเสียงดูได้จากภาคผนวก ก.
6. เมื่อส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้วกด Ctrl-A แล้วพิมพ์คำสั่ง CA OFF กด Enter แล้วพิมพ์ชื่อไฟล์ลงโดยใช้นามสกุล txt แล้วกด Enter ไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ ซึ่งไฟล์ข้อมูลที่ได้นี้สามารถนำไปพล็อตกราฟหรือสร้างตารางได้โดยใช้โปรแกรม Excel

7. ขณะนี้เครื่องวัดระดับเสียงจะแสดงข้อความ " FULL MEMORY " บนจอแสดงผล LCD หากต้องการส่งข้อมูลให้กับไมโครคอมพิวเตอร์อีกครั้งก็กดคีย์ T การทำงานก็จะเป็นในลักษณะเดียวกับข้อ 3 หากต้องการเลิกการส่งข้อมูลให้กดคีย์ S เครื่องจะแสดงข้อความ " AUTOMATIC SLM "

<p>Microprocessor Based Sound Level Meter V.2.0</p> <p>Designed by</p> <p>Mr. Santi Hankla</p> <p>Mr. Kriangsak Uesakulrungrueng</p> <p>Department of Applied Physics</p> <p>King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang</p> <p>Test Location: Project Room</p> <p>Date: 01/02/96</p> <p>Initial Time: 20:34:00</p> <p>Finish Time: 21:30:00</p> <p>Sampling Period: 00 MIN:10 SEC</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 การสอบเทียบ (Calibration)

สถานที่ทำการสอบเทียบ

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี (TDO) บริษัท พรีเมียร์โกลเบิลคอร์เปอเรชัน จำกัด
เครื่องวัดระดับเสียงมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง

RION , INTREGRATING SOUND LEVEL METER

MODEL NL- 04

IEC 651 TYPE 2

(IEC ย่อมาจาก INTERNATIONAL ELECTRONICAL COMMISION หรือ คณะกรรมการ
 เทคนิคไฟฟ้าระหว่างประเทศ)

4.1.1 ขั้นตอนในการสอบเทียบ

1. ป้อนสัญญาณความถี่ 1 kHz และปรับแอมพลิจูดจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ให้
 กับลำโพงของตัวสอบเทียบ(calibrator) จนมีระดับเสียง 65 dBA โดยใช้เครื่อง
 วัดระดับเสียงมาตรฐาน
2. นำเครื่อง MSLM มาวัดระดับเสียงในหน่วย dBA แทนที่เครื่องวัดระดับเสียง
 มาตรฐาน แล้วบันทึกค่า
3. สังเกตค่าที่วัดได้จากข้อ 1 และ 2 ว่ามีค่าตรงกันหรือไม่
4. จากข้อ 3 ถ้ามีค่าไม่ตรงกัน ให้ปรับอัตราขยายของ PGA จนได้ค่าระดับเสียง
 เดียวกัน
5. ทำซ้ำข้อ 1- 4 โดยเพิ่มระดับเสียงขึ้นครั้งละ 5 dBA จนถึง 115 dBA
6. เปลี่ยน weighting network A เป็น Weighting Network C แล้วทำซ้ำข้อ 1-3
 และข้อ 5
7. ทำซ้ำข้อ 1-3 และข้อ 5-6 แต่เปลี่ยนความถี่เป็น 500 Hz และ 2,000 Hz

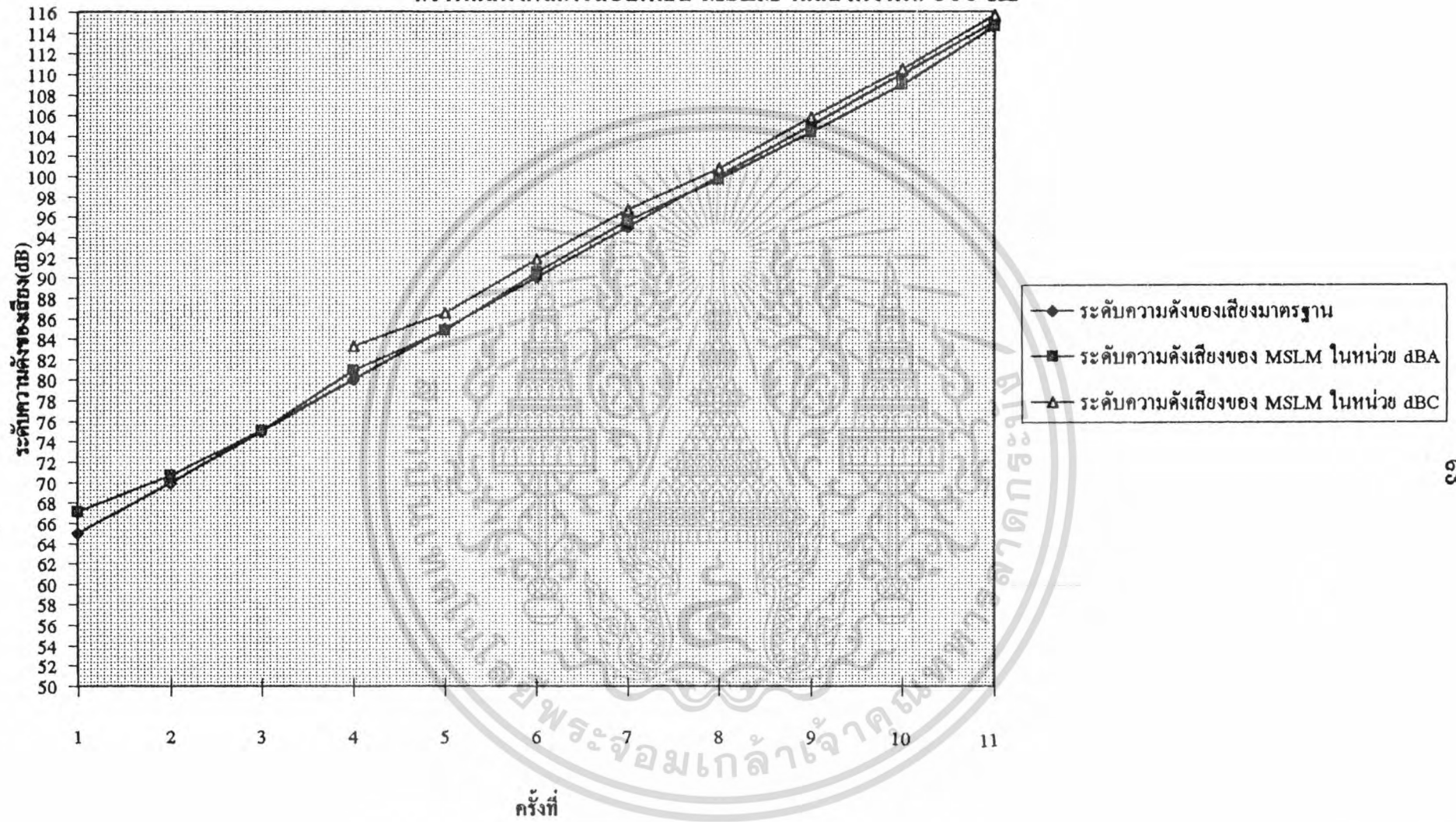
4.1.2 ผลการสอบเทียบ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการสอบเทียบเครื่องวัดระดับเสียงความถี่ไมโครโปรเซสเซอร์

ครั้งที่	ระดับเสียง จากเครื่อง NL-04	ระดับเสียงจากเครื่อง MSLM ที่ความถี่ต่าง ๆ					
		500 Hz		1,000 Hz		2,000 Hz	
		dBA	dBC	dBA	dBC	dBA	dBC
1	65	67.1	-	68.3	-	67.3	-
2	70	70.7	-	71.8	-	71.3	-
3	75	75.1	-	75.4	-	76.0	-
4	80	80.9	83.3	79.8	82.9	81.6	83.4
5	85	84.8	86.5	84.3	87.2	85.9	87.5
6	90	90.5	91.8	91.3	92.4	90.3	92.7
7	95	95.6	96.7	95.7	96.5	95.7	97.3
8	100	99.7	100.7	99.8	101.3	99.8	102.9
9	105	104.3	105.8	105.2	106.2	105.7	106.9
10	110	108.9	110.5	110.5	111.6	110.1	112.5
11	115	114.6	115.7	115.7	116.7	115.6	-
	ความผิด พลาดเฉลี่ย	0.83%	1.52%	1.21%	1.98%	1.39%	2.79%

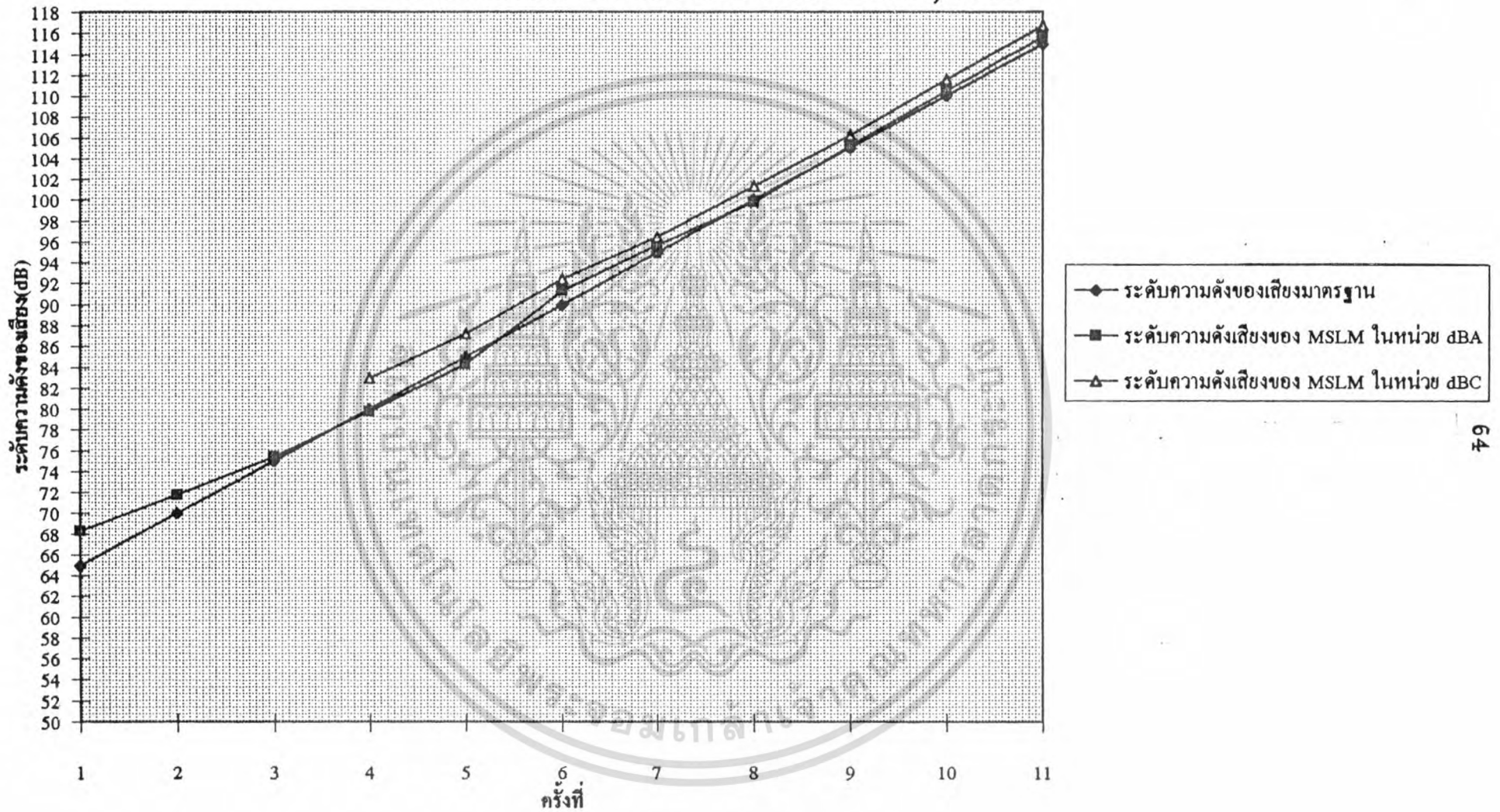
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการสอบเทียบ MSLM ที่เสียงความถี่ 500 Hz



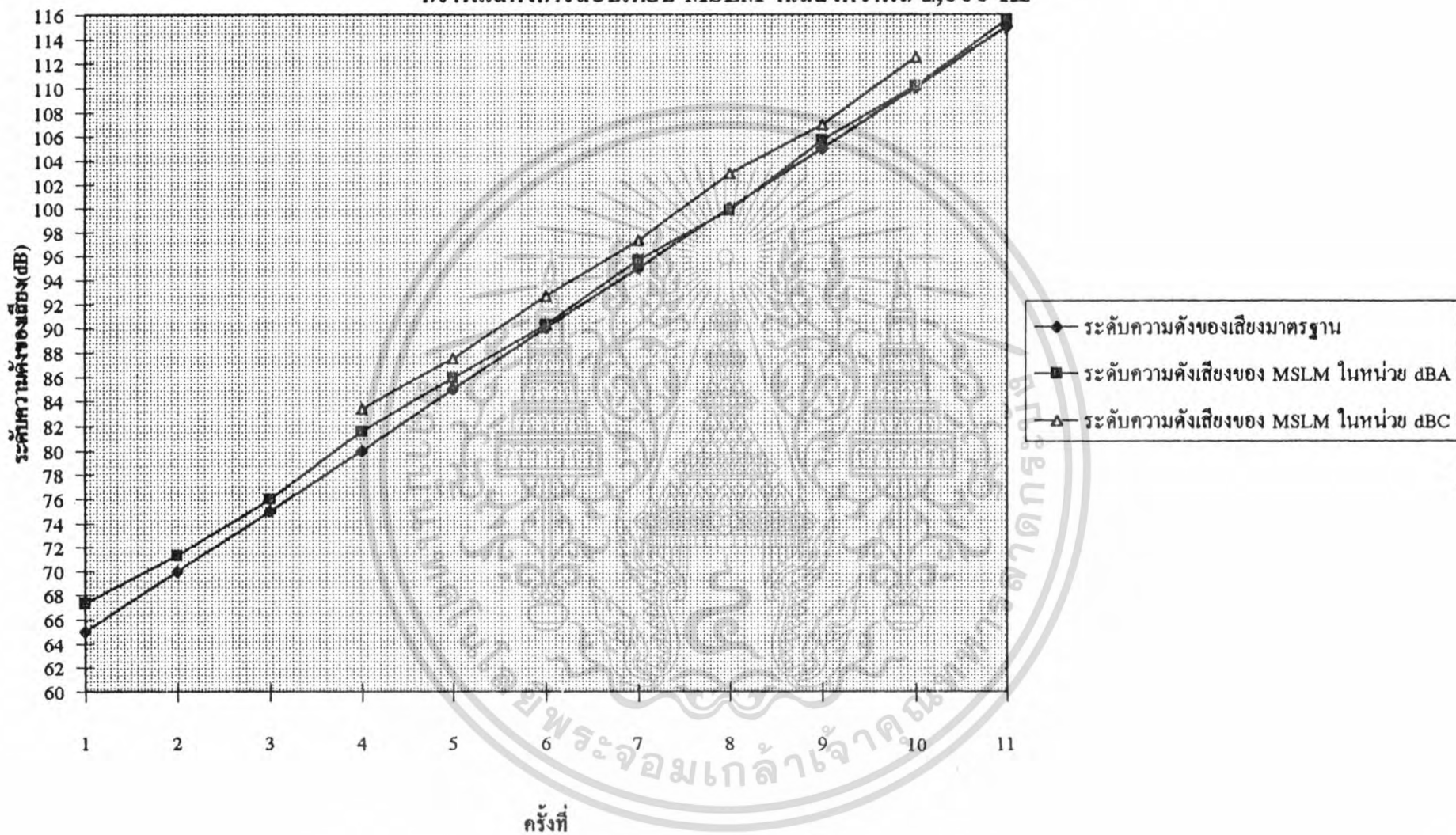
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟผลการสอบเทียบ MSLM ที่เสียงความถี่ 500 Hz

กราฟแสดงผลการสอบเทียบ MSLM ที่เสียงความถี่ 1000 Hz



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการสอบเทียบ MSLM ที่เสียงความถี่ 1000 Hz

กราฟแสดงการสอบเทียบ MSLM ที่เสียงความถี่ 2,000 Hz



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการสอบเทียบ MSLM ที่เสียงความถี่ 2,000 Hz

4.2 การเก็บข้อมูลระดับเสียง

4.2.1 ขั้นตอนในการเก็บข้อมูล

1. กำหนดโหมดการทำงานของเครื่องวัดระดับเสียงเป็นแบบเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่อง(MODE 2)
2. ตั้งเวลาจริงให้กับเครื่องวัดระดับเสียง
3. กำหนดคาบเวลาการสุ่มข้อมูล
4. ตั้งเวลาเริ่มต้นในการเก็บข้อมูล
5. ตั้งเวลาสิ้นสุดในการเก็บข้อมูล
6. นำเครื่องวัดระดับเสียง ไปวางยังบริเวณริมถนน โดยวางห่างจากขอบถนน 1 เมตร
7. กดคีย์ R และ ENT เพื่อให้เครื่องวัดระดับเสียงทำงาน

4.2.2 ผลการเก็บข้อมูลระดับเสียง

4.2.2.1 ระดับเสียงที่ถนนพัฒนาการ



รูปที่ 4.4 แสดงภาพการวัดระดับเสียงที่ถนนพัฒนาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



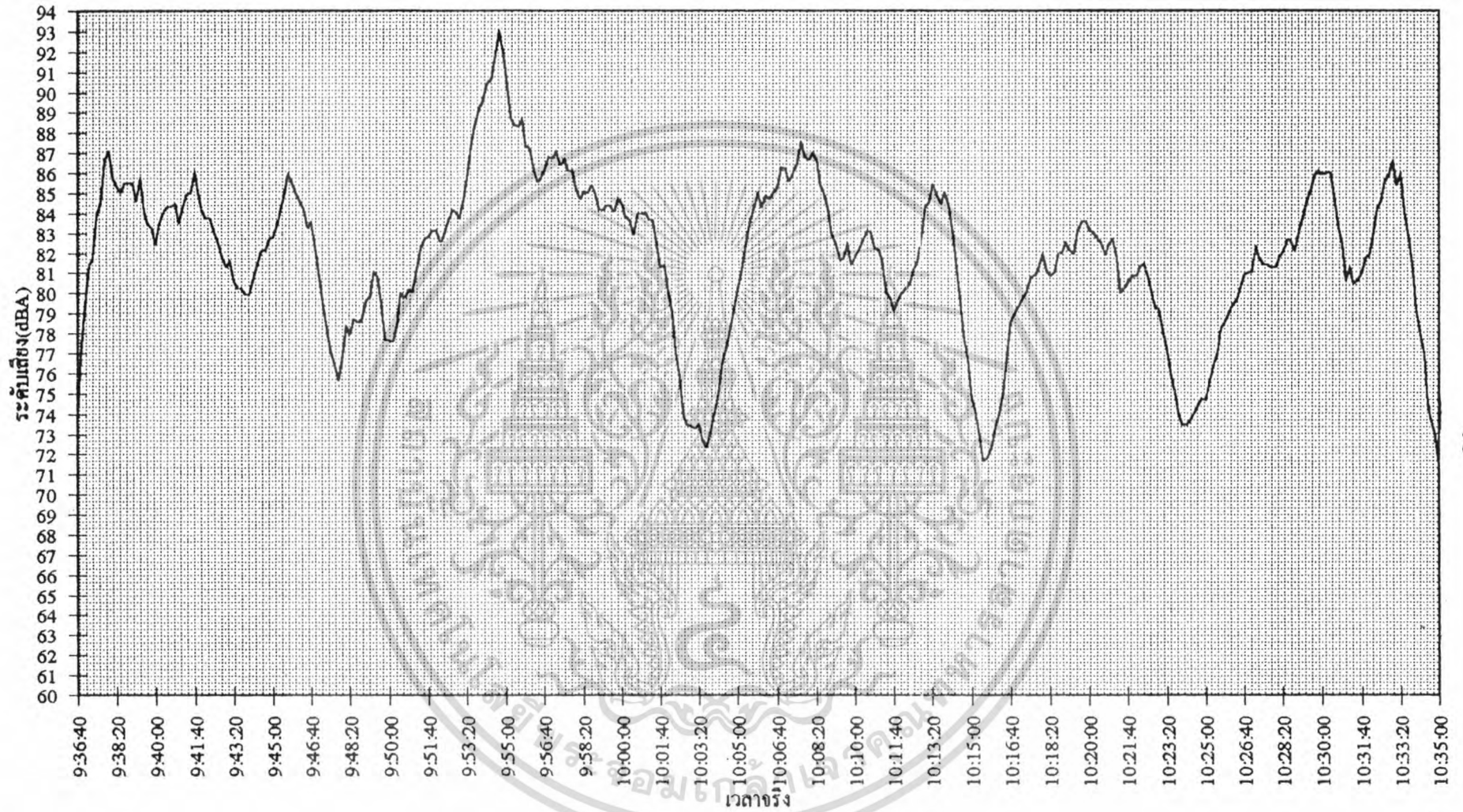
รูปที่ 4.4 แสดงภาพการวัดระดับเสียงที่ถนนพัฒนาการ(ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

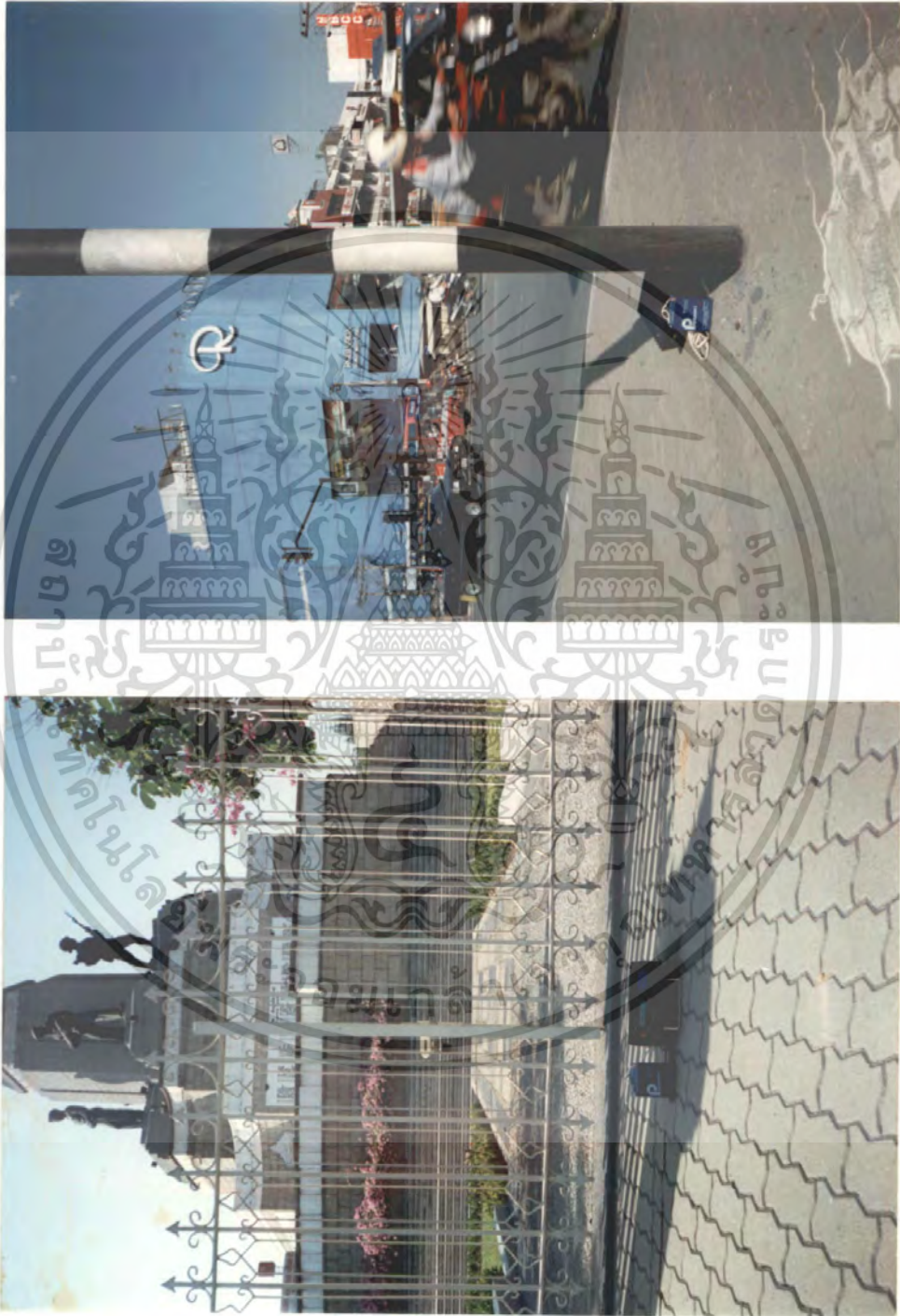
กราฟระดับเสียงที่ถนนพัฒนาการ

วันที่ 16 มีนาคม 2539 เวลา 9.35 - 10.35 น. ตามเวลาการสุ่มข้อมูล 10 วินาที



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟระดับเสียงที่ถนนพัฒนาการ

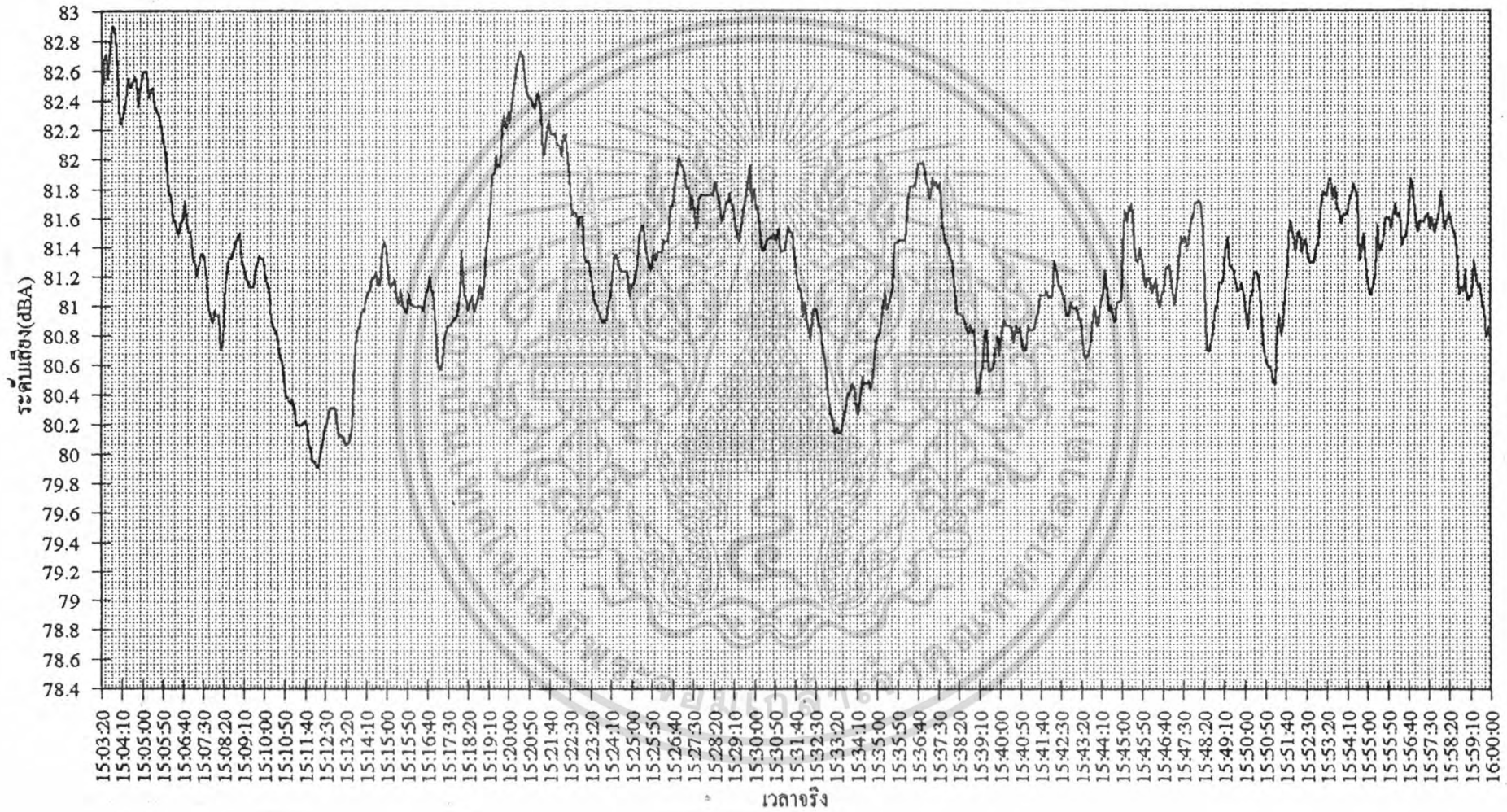
4.2.2.2 ระวังเสียงที่อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ



รูปที่ 4.6 แสดงภาพการวัดระดับเสียงที่อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ

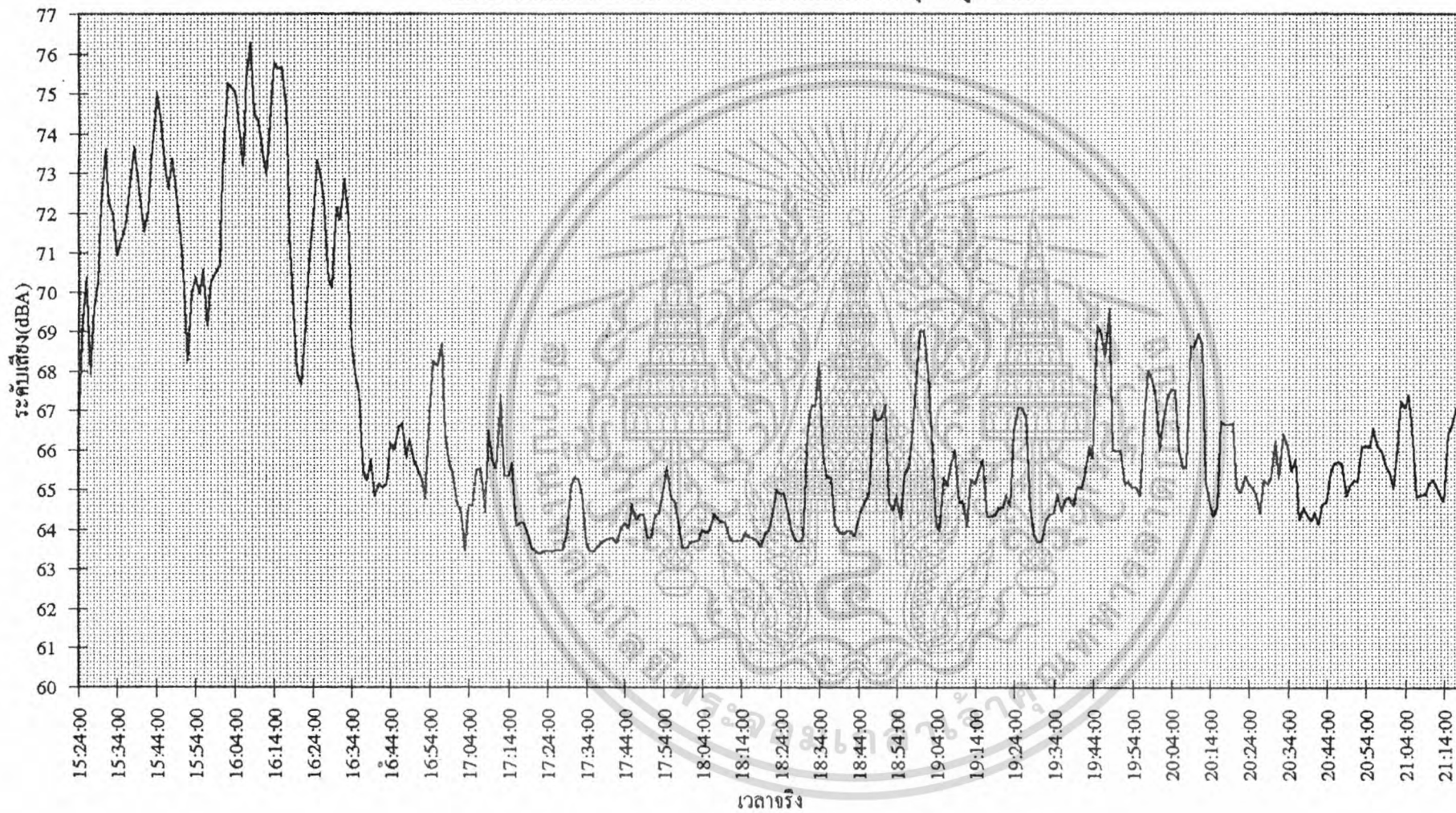
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟระดับเสียงที่อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ
วันที่ 16 มีนาคม 2539 เวลา 15.00 - 16.00 น. คาบเวลาการสุ่มข้อมูล 5 วินาที



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟระดับเสียงที่อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ

กราฟระดับเสียงที่หอพักชัยพฤกษ์ ห้อง 118 เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ ๑
วันที่ 19 มีนาคม 2539 เวลา 15.20 - 21.20 น. คาบเวลาการสุ่มข้อมูล 1 นาที



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟระดับเสียงที่หอพักชัยพฤกษ์ ห้อง 118

4.3 ผลการทำงานของโปรแกรม

- การแสดงผลบน LCD ทำงานได้ตามจุดประสงค์
- การตั้งเวลาให้กับเครื่องวัดระดับเสียง ทำงานได้ตามจุดประสงค์
- การเปลี่ยนโหมดการทำงาน ทำงานได้ตามจุดประสงค์
- การทำงานในโหมด 0 ทำงานได้ตามจุดประสงค์
- การทำงานในโหมด 1 ทำงานได้ตามจุดประสงค์
- การทำงานในโหมด 2 ทำงานได้ตามจุดประสงค์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เครื่องวัดระดับเสียงควมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ที่สร้างขึ้นในโครงการพิเศษนี้ มีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

5.1 ลักษณะของเครื่อง

- 1) มีขนาดมิติ กว้าง×ยาว×หนา เป็น 5.5×8×3 นิ้ว
- 2) แสดงผลด้วย LCD ขนาด 16 หลัก 1 แถว
- 3) มีคีย์บอร์ด 8 คีย์
- 4) ใช้ condenser microphone เป็นตัวตรวจวัดสัญญาณเสียง
- 5) ขนาดของหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บข้อมูล 8 กิโลไบต์

5.2 คุณสมบัติของเครื่อง

- 1) ช่วงกว้างของการวัด 40 - 120 dB
- 2) ปรับย่านการวัดอัตโนมัติ
- 3) เลือก Weighting Network ได้ 3 ชนิดคือ A , B , C
- 4) ตั้งเวลาเริ่มต้น, เวลาสิ้นสุด และคาบเวลาการเก็บข้อมูลได้
- 5) เลือกโหมดการทำงานได้ 3 โหมดคือ โหมด 0 , 1 และ 2
- 6) เก็บข้อมูลได้นานที่สุด 24 ชั่วโมง
- 7) ถ่ายโอนข้อมูลให้กับไมโครคอมพิวเตอร์ได้

5.3 สรุปผล

- 1) ช่วงการวัดที่เชื่อถือได้

Weighting Network A 65 - 120 dBA

Weighting Network C 80 - 120 dBC

2) ความผิดพลาดในการวัด

Weighting Network A 0.83 - 1.39 %

Weighting Network C 1.52 - 2.79 %

5.4 ปัญหาในการสร้างเครื่องวัดระดับเสียง

เกิดสัญญาณรบกวนในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะในวงจรขยาย ทำให้ไม่สามารถวัดระดับสัญญาณที่ระดับความดังต่ำ ๆ ได้ เมื่อใช้ Weighting Network A จะวัดระดับเสียงได้ต่ำสุด 65 dBA และเมื่อใช้ Weighting Network C จะวัดระดับความดังได้ต่ำสุด 70 dBC

5.5 ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับปรุงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้มีขนาดของสัญญาณรบกวนต่ำลง โดยใช้อุปกรณ์ที่มีความเที่ยงตรงสูง และสัญญาณรบกวนต่ำ เพื่อให้สามารถวัดระดับสัญญาณเสียงที่ระดับความดังต่ำ ๆ ได้

2. เนื่องจากเครื่องวัดระดับเสียงที่สร้างขึ้นในโครงการพิเศษนี้ยังเป็นเครื่องต้นแบบ จึงมีขนาดใหญ่รวมทั้งใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาดใหญ่ ซึ่งไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ดังนั้นควรพัฒนาให้เครื่องวัดระดับเสียงมีขนาดเล็กลงและใช้ไฟกระแสตรงน้อยลงซึ่งจะทำให้สามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาดเล็ก เพื่อสะดวกในการนำไปใช้งานนอกสถานที่

เอกสารอ้างอิง

Robert F.Coughlin and Robert S.Villanucci, **"Introductory Operation Amplifier and Linear Ics"**, Prentice-Hall Inc., United States of America, 1990

จิราวัฒน์ ปานกลาง และปราโมทย์ หิริภัทรกุล, **"เครื่องวัดระดับเสียง"**, วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2531

ประเมษฐ์ ประณยานันท์ และปิยพงษ์ เผ่าวนิช, **"คู่มือและการประยุกต์ใช้งาน MCS-51"** บริษัทเอช เอ็น กรุ๊ป จำกัด, 2536

ลิขิต นัทรสกุล และคณะ, **"ฟิสิกส์ 1"**, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529

สุวิทย์ เกียวศรีกุล และเอนก ขาวพรหม, **"การเชื่อมโยงเครื่องวัดระดับเสียงเข้ากับ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล"**, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชา เทคโนโลยีโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537

อุดม อุเทนรัตน์, **"ทรู-อาร์เอ็มเอส มิเตอร์"**, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, เล่มที่ 142 (2537) : 24 - 34



ภาคผนวก ก. โปรแกรมควบคุม MCS - 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;TITLE      : My Project (sound level meter)
;WRITER     : Santi Hankla
;AND READ   : Kriangsak Uesakulrungrueng

```

```

PORTA      EQU    0E000H      ;8255 define
PORTB      EQU    0E001H
PORTC      EQU    0E002H
PORTCN     EQU    0E003H

LCDWRC     EQU    0C000H      ;lcd port define
LCDRDC     EQU    0C001H
LCDWRD     EQU    0C002H
LCDRDD     EQU    0C003H

DATE_STR   EQU    8000H
TIME_STR   EQU    8003H
END_OPER   EQU    8006H
PER_SAVE   EQU    8009H
DPHBUF     EQU    800CH
DPLBUF     EQU    800DH
WEIG_MEAR  EQU    800EH

BUFFER     EQU    8010H      ;initial ram address

LCDBUF     EQU    30H        ;general register
DATABUF    EQU    31H
KEYBUF     EQU    32H
GAINBUF    EQU    33H
WEIGBUF    EQU    34H
MODEBUF    EQU    35H
TDELAY     EQU    36H
GSAVE      EQU    37H
WSAVE      EQU    38H
STSAVE     EQU    39H
MTSAVE     EQU    3AH
HTSAVE     EQU    3BH
DPH_BUF    EQU    3CH
DPL_BUF    EQU    3DH

BITBUF     EQU    40H        ;time register
CLOCKBUF   EQU    41H
COMMANDBUF EQU    42H
SECBUF     EQU    43H
SSEND      EQU    44H
MINBUF     EQU    45H
MSSEND     EQU    46H
HOURBUF    EQU    47H
HSEND      EQU    48H
DATEBUF    EQU    49H
MONTHBUF   EQU    4AH
YEARBUF    EQU    4BH
STSBUF     EQU    4CH
MTSBUF     EQU    4DH

SCLK       EQU    P1.5      ;real time clock bi
INOUT      EQU    P1.6      ;communication
RST        EQU    P1.7

```

```

CR         EQU    0DH
LF         EQU    0AH
EOS        EQU    10H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```

;INITIAL OF PROGRAME
;DEFINE 8255 BEFORE
;))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))

                ORG  0000H

                MOV   TDELAY,#64H
                CALL  DELAY

DEFINE:         MOV   A,#8AH        ;DEFINE 8255 PORT
                MOV   DPTR,#PORTCN
                MOVX  @DPTR,A

;*****
;MAIN PROGRAMM
;AUTOMATIC REMOTE SOUND LEVEL METER
;((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((

BEGIN:         MOV   COMMANDBUF,#8EH
                MOV   CLOCKBUF,#80H
                CALL  BYTEWR

                MOV   TMOD,#00100010B    ;TIMER_1 MODE 2
                MOV   SCON,#01010010B    ;MODE_1 SEND
                MOV   TH1,#0FDH          ;BAUD_RATE 9600
                SETB  TR1                ;START T1

                MOV   P1,#1FH
                SETB  P3.2
                SETB  P3.3
                CALL  BEFORE                ;set initial operating

MAIN:          MOV   A,#38H                ;led set
                CALL  LCDCON
                MOV   A,#0CH
                CALL  LCDCON
                MOV   A,#01H                ;clr led
                CALL  LCDCON

MAIN1:        MOV   TDELAY,#10
                CALL  DELAY
                MOV   DPTR,#SENTCE1
                CALL  LCDDIS1
                JB    P3.3,MAIN2
                CALL  REALTIME                ;set time routine
                JMP   MAIN1

MAIN2:        JB    P3.2,MAIN3
                CALL  COMMAND                ;set state routine
                JMP   MAIN1

MAIN3:        JB    P1.4,MAIN1                ;run key
                JMP   RUN

;*****
;CHOOSE MODE TO RUN
;AUTOMATIC SOUND LEVEL METER
;[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[[

RUN:          MOV   A,MODEBUF                ;mode 0 check
                CJNE A,#00H,RUN1
                JMP   MODE_0

RUN1:        CJNE A,#01H,RUN2                ;mode 1 check
                JMP   MODE_1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานขององค์กรที่ท่านนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
 ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามส่งหรือเผยแพร่ข้อมูล และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RUN2:                JMP    MODE_2                ;mode 3 check

;*****
;MODE 0 OPERATING OF SLM
;MANUAL OPERATING
;NO SEND TO PC
;*****
;*****

MODE_0:              MOV    A,GAINBUF                ;check range before
                   CJNE   A,#04H,MO_1              ;operating
                   JMP    MO_2

MO_1:                CALL  ADRECVE                    ;no auto_range
                   CALL  CHARGE                    ;digital filter
                   CALL  SHIFT_ADD
                   CALL  CONVERT
                   MOV    A,#01H
                   CALL  LCDCON
                   CALL  DISPL
                   JNB   P1.0,$                    ;hold data on lcd
                   MOV    TDELAY,#10
                   CALL  DELAY

                   JB    P3.2,MO_11                ;check key command
                   JMP   MAIN

MO_11:              JB    P3.3,MO_1                ;check key realtime
                   JMP   MAIN

MO_2:                MOV    GAINBUF,#03H            ;set high range

MO_21:              CALL  AUTO_R                    ;auto range
                   CALL  CONVERT
                   MOV    A,#01H
                   CALL  LCDCON
                   CALL  DISPL
                   JNB   P1.0,$                    ;hold data on lcd

PWEIG:              JB    P1.1,PWEIG1                ;check key to-
                   DEC   WEIGBUF                    ;change weight
                   MOV    A,WEIGBUF
                   CJNE  A,#0FFH,PWEIG1
                   MOV    WEIGBUF,#02H

PWEIG1:             JB    P1.3,NO_P
                   INC   WEIGBUF
                   MOV    A,WEIGBUF
                   CJNE  A,#03H,NO_P
                   MOV    WEIGBUF,#00H

NO_P:               JB    P3.2,MO_22                ;check key command
                   MOV   GAINBUF,#04H
                   JMP   MAIN

MO_22:              JB    P3.3,MO_21                ;check key realtime
                   MOV   GAINBUF,#04H
                   JMP   MAIN

;*****
;MODE 1 OPERATING OF SLM
;SEND DATA TO PC
;NO SAVE DATA IN RAM
;AND NO FIX TIME TO SAMPLING
;*****
MODE_1:             JB    RI,RUPSI                    ;COMMAND TO START

```

```

        JB      P3.2,MODE_1
        JMP      MAIN1

RUPSI:  CLR      RI
        MOV      A,SBUF
        MOV      TDELAY,#5
        DJNZ    TDELAY,$
        CJNE    A,#74H,CHK_COM1      ;BIG CHARACTER
        JMP      CHK_AD

CHK_COM1: CJNE    A,#54H,MODE_1      ;SMALL CHARACTER

CHK_AD:  CALL     REC_SRL              ;ADDRESS OF RSLM
        CJNE    A,#30H,CHK_AD        ;ADDRESS 0

CH_WEIG: CALL     REC_SRL              ;WEIGH CHECKING
        CJNE    A,#41H,CH_WAS        ;A
        MOV      WEIGBUF,#00H
        JMP      MODE_W

CH_WAS:  CJNE    A,#61H,CH_WB         ;a
        MOV      WEIGBUF,#00H
        JMP      MODE_W

CH_WB:   CJNE    A,#42H,CH_WBS        ;B
        MOV      WEIGBUF,#01H
        JMP      MODE_W

CH_WBS:  CJNE    A,#62H,CH_WC         ;b
        MOV      WEIGBUF,#01H
        JMP      MODE_W

CH_WC:   CJNE    A,#43H,CH_WCS        ;C
        MOV      WEIGBUF,#02H
        JMP      MODE_W

CH_WCS:  CJNE    A,#63H,MODE_1        ;c
        MOV      WEIGBUF,#02H

MODE_W:  CALL     AUTO_R                 ;auto range
        MOV      GSAVE,GAINBUF        ;save range for chcec
        MOV      WSAVE,WEIGBUF        ;save weigh for check
        CALL     CONVERT
        CALL     PACKAGE              ;data sending
        MOV      A,#0DH
        CALL     SEND
        MOV      A,#0AH
        CALL     SEND
        MOV      A,#01H
        CALL     LCDCON
        CALL     DISPL
        JNB     P1.0,$                ;hold data

        JB      P3.2,STP              ;check key command
        MOV      GAINBUF,#04H
        JMP      MAIN1

STP:     MOV      BITBUF,#OFFH        ;CHECK STOP
LOOP_S:  JB      RI,MEE
        DJNZ    BITBUF,LOOP_S
        JMP      MODE_W

```

MEE: เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    TDELAY,#5
DJNZ   TDELAY,$

CJNE   A,#43H,STP1           ;CHAR C TO STOP
JMP    MODE_1

STP1:  CJNE   A,#63H,MODE_W   ;CHAR c TO STOP
MOV    GAINBUF,#04H
JMP    MODE_1

;*****
;MODE 2 OPERATING
;SEND DATA TO PC
;SAVE DATA IN RAM
;FIX TIME TO SAVE DATA AND SEND DATA
;%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
MODE_2: MOV    DFTR,#SENTCE36   ;show way to choose operati
CALL   LCDDIS1

MO2:   JB    P3.3,M03         ;check key for send old dat
JMP    SEND_RAM             ;to send data in ram

MO3:   JB    P1.2,M04         ;check key no waiting
CALL   READT
MOV    HTSAVE, HOURBUF
MOV    MTSAVE, MINBUF
MOV    STSAVE, SECBUF
CALL   KEEP_DATE           ;save initial date
JMP    M_21

MO4:   JB    P3.2,M02
MOV    DFTR,#SENTCE16      ;show on operating
CALL   LCDDIS1

M_2:   CALL   READT           ;read time
CALL   M2_STR              ;check time to start
MOV    A,BITBUF
CJNE   A,#01H,M_2
CALL   KEEP_DATE           ;save initial date

M_21:  MOV    DFTR,#SUPER     ;define initial address
CALL   CHK_TIME

M_22:  JNB   P3.2,M_24        ;key to stop
CALL   CHK_SAVE           ;check time to save
MOV    A,BITBUF
CJNE   A,#01H,M_23
CALL   CHK_TIME           ;add time for check
CALL   AUTO_R            ;auto range working
CALL   CONVERT
MOV    A,#01H
CALL   LCDCON
CALL   DISPL
CALL   KEEP_DATA         ;save data in ram

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL    CHK_ADDR          ;check final address
MOV     A,BITBUF
CJNE   A,#00H,M_24
CALL   READT
JMP    M_22

M_23:   CALL    CHK_SEND          ;check time stop
MOV     A,BITBUF
CJNE   A,#00H,M_24
CALL   READT
JMP    M_22

M_24:   CALL    ADDR_SAVE         ;save final address
MOV     DPTR,#WEIG_MEAR
MOV     A,WEIGBUF         ;save weighting
MOVX   @DPTR,A
CALL   START_TIME        ;save initial time
CALL   END_TIME          ;save final time
CALL   PER_TIME          ;save peroid
MOV     DPTR,#SENTCE15
CALL   LCDDIS1

JB     P3.3,$            ;check key to send

SEND_RAM: MOV    DPTR,#SENTCE28      ;show on sending
CALL   LCDDIS1
CALL   TITLE              ;send paragraph
CALL   INIT_SEND         ;send initial value
JB     P3.3,$
CALL   SEND_PAC          ;send data
MOV     DPTR,#SENTCE15
CALL   LCDDIS1

MOV     TDELAY,#OFFH     ;delay for press key
CALL   DELAY

WAY2:   JNB    P3.3,SEND_RAM        ;check key to send
JB     P1.0,WAY2         ;check key to main
MOV     GAINBUF,#04H     ;set auto range
JMP    MAIN1             ;return to main
;***** start comunication on crt *****
TITLE:  MOV     DPTR,#SENTCE33      ;name of machine
CALL   SEND_STRING

MOV     DPTR,#SENTCE35   ;place on recode
CALL   SEND_STRING

TIT4:   CALL   REC_SRL          ;recive name of place
CJNE   A,#27H,TIT4
TIT5:   CALL   REC_SRL
CJNE   A,#27H,TIT6
JMP    TIT_FINL
TIT6:   CALL   SEND
JMP    TIT5

TIT_FINL: MOV    A,#0DH
CALL   SEND
MOV     A,#0AH
CALL   SEND
RET

;***** send inital value *****
INIT_SEND: MOV    DPTR,#SENTCE30      ;date of record
CALL   SEND_STRING

```

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามคัดลอกและแจกจ่ายข้อมูลนี้ออกข้างนอกเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV   DPTR,#DATE_STR           ;send date of record
MOV   BITBUF,#3                ;3 character
MOV   R7,#2FH                  ;"/" for separate data
CALL  SEND_DTIME               ;send data routine
MOV   A,#0DH
CALL  SEND
MOV   A,#0AH
CALL  SEND

MOV   DPTR,#SENTCE31           ;inital time record
CALL  SEND_STRING              ;send sentence on crt

MOV   DPTR,#TIME_STR           ;send initial time
MOV   BITBUF,#3                ;3 character
MOV   R7,#3AH                  ;":" for separate data
CALL  SEND_DTIME
MOV   A,#0DH
CALL  SEND
MOV   A,#0AH
CALL  SEND

MOV   DPTR,#SENTCE32           ;finish time record
CALL  SEND_STRING

MOV   DPTR,#END_OPER
MOV   BITBUF,#3
MOV   R7,#3AH
CALL  SEND_DTIME
MOV   A,#0DH
CALL  SEND
MOV   A,#0AH
CALL  SEND

MOV   DPTR,#SENTCE29           ;period of record
CALL  SEND_STRING

MOV   DPTR,#PER_SAVE           ;send period of record
MOVX  A,@DPTR
MOV   R0,A
CALL  TABL_1
CALL  SEND
MOV   A,R0
CALL  TABL_2
CALL  SEND
MOV   A,#20H
CALL  SEND
MOV   A,#4DH
CALL  SEND
MOV   A,#49H
CALL  SEND
MOV   A,#4EH
CALL  SEND
MOV   A,#3AH
CALL  SEND
MOV   DPTR,#800AH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX A,@DPTR
MOV RO,A
CALL TABL_1
CALL SEND
MOV A,RO
CALL TABL_2
CALL SEND
MOV A,#20H
CALL SEND
MOV A,#53H
CALL SEND
MOV A,#45H
CALL SEND
MOV A,#43H
CALL SEND
MOV A,#0DH
CALL SEND
MOV A,#0AH
CALL SEND
RET

```

```

;***** send time in external ram *****
SEND_DTIME:

```

```

MOVX A,@DPTR
PUSH DPH
PUSH DPL
CALL TABL_1
POP DPL
POP DPH
CALL SEND

```

```

MOVX A,@DPTR
PUSH DPH
PUSH DPL
CALL TABL_2
POP DPL
POP DPH
CALL SEND

```

```

INC DPTR
DJNZ BITBUF,DTIME
RET

```

```

DTIME:
MOV A,R7
CALL SEND
JMP SEND_DTIME

```

```

;***** save initial date in internal ram *****
KEEP_DATE:

```

```

MOV A,DATEBUF
MOV DPTR,#DATE_STR
MOVX @DPTR,A

```

```

INC DPTR
MOV A,MONTHBUF
MOVX @DPTR,A

```

```

INC DPTR
MOV A,YEARBUF

```

```

MOVX @DPTR,A

```

```

RET

```

```

;***** check initial time to operating *****
M2_STR:

```

```

MOV BITBUF,#00H
MOV A,HOURLBUF
CJNE A,HTSAVE,FINL_STR
MOV A,MINBUF

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                CJNE  A,MTSAVE,FINL_STR
                                MOV   BITBUF,#01H
FINL_STR:                        RET
;***** check final time in operating *****
CHK_SEND:                        MOV   BITBUF,#00H
                                MOV   A,HOURLBUF
                                CJNE  A,HSEND,FINL_SE
                                MOV   A,MINBUF
                                CJNE  A,MSEND,FINL_SE
                                MOV   BITBUF,#01H
FINL_SE:                          RET
;***** check time to save data in one time *****
CHK_SAVE:                        MOV   BITBUF,#00H
                                MOV   A,R1
                                CJNE  A,MINBUF,FINL_SAVE
                                MOV   A,R0
                                CJNE  A,SECBUF,FINL_SAVE
                                MOV   BITBUF,#01H
FINL_SAVE:                        RET
;***** check final address to save data *****
CHK_ADDR:                        MOV   BITBUF,#00H
                                MOV   A,DPH
                                CJNE  A,#9FH,COND1
CHK_LOWB:                        MOV   A,DPL
                                CJNE  A,#0FCH,COND2
                                JMP   FINL_ADDR
COND1:                            JC    FINL_ADDR
                                MOV   BITBUF,#01H
                                JMP   FINL_ADDR
COND2:                            JC    FINL_ADDR
                                MOV   BITBUF,#01H
FINL_ADDR:                        RET
;***** save data in external ram *****
KEEP_DATA:                       MOV   A,R3
                                ANL   A,#0FH
                                SWAP  A
                                MOV   R3,A
                                MOV   A,R4
                                ANL   A,#0F0H
                                SWAP  A
                                ORL   A,R3
                                MOVX  @DPTR,A
                                INC   DPTR
                                MOV   A,R4
                                ANL   A,#0FH
                                SWAP  A
                                MOV   R4,A
                                MOV   A,R5
                                ANL   A,#0F0H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        SWAP  A
        ORL  A,R4
        MOVX @DPTR,A
        INC  DPTR

        MOV  A,#3BH
        MOVX @DPTR,A
        INC  DPTR
        RET

;***** save start time in internal ram *****
START_TIME:
        MOV  A,HTSAVE
        MOV  DPTR,#TIME_STR
        MOVX @DPTR,A

        INC  DPTR
        MOV  A,MTSAVE
        MOVX @DPTR,A

        INC  DPTR
        MOV  A,STSAVE
        MOVX @DPTR,A

        RET

;***** save final time in external ram *****
END_TIME:
        MOV  A,HOURLBUF
        MOV  DPTR,#END_OPER
        MOVX @DPTR,A

        INC  DPTR
        MOV  A,MINBUF
        MOVX @DPTR,A

        INC  DPTR
        MOV  A,SECBUF
        MOVX @DPTR,A
        RET

;***** save peroid time in external ram *****
PER_TIME:
        MOV  A,MTSBUF
        MOV  DPTR,#PER_SAVE
        MOVX @DPTR,A

        INC  DPTR
        MOV  A,STSBUF
        MOVX @DPTR,A
        RET

;***** save end address in external ram *****
ADDR_SAVE:
        MOV  DPH_BUF,DPH
        MOV  DPL_BUF,DPL
        MOV  DPTR,#DPHBUF
        MOV  A,DPH_BUF
        MOVX @DPTR,A
        MOV  DPTR,#DPLBUF
        MOV  A,DPL_BUF
        MOVX @DPTR,A
        RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;***** save data in external ram on crt *****
SEND_PAC:      MOV    DPTR,#TIME_STR      ;started hour
               MOVX   A,@DPTR
               MOV    R5,A
               INC    DPTR              ;started minite
               MOVX   A,@DPTR
               MOV    R4,A
               INC    DPTR              ;started second
               MOVX   A,@DPTR
               MOV    R3,A
               MOV    DPTR,#DPHBUF      ;high address
               MOVX   A,@DPTR
               MOV    DPH_BUF,A
               MOV    DPTR,#DPLBUF     ;low address
               MOVX   A,@DPTR
               MOV    DPL_BUF,A

               MOV    DPTR,#BUFFER

SEND_PAC2:     PUSH   DPH
               PUSH   DPL

               CALL   WELA              ;send time to save
               MOV    A,R5
               CALL   TABL_1
               CALL   SEND
               MOV    A,R5
               CALL   TABL_2
               CALL   SEND

               MOV    A,#3AH
               CALL   SEND

               MOV    A,R4
               CALL   TABL_1
               CALL   SEND
               MOV    A,R4
               CALL   TABL_2
               CALL   SEND

               MOV    A,#3AH
               CALL   SEND

               MOV    A,R3
               CALL   TABL_1
               CALL   SEND
               MOV    A,R3
               CALL   TABL_2
               CALL   SEND

               MOV    A,#2CH
               CALL   SEND

               POP    DPL
               POP    DPH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX A,@DPTR
PUSH DPH
PUSH DPL
CALL TABL_1
CALL SEND
POP DPL
POP DPH

MOVX A,@DPTR ;send data in external !
PUSH DPH
PUSH DPL
CALL TABL_2
CALL SEND
POP DPL
POP DPH

INC DPTR
CALL END_ADDR
MOV A,BITBUF
CJNE A,#01,LAK2
JMP FINL_SEND

LAK2:
MOVX A,@DPTR
PUSH DPH
PUSH DPL
CALL TABL_1
CALL SEND
POP DPL
POP DPH

MOV A,#2EH
CALL SEND

MOVX A,@DPTR
PUSH DPH
PUSH DPL
CALL TABL_2
CALL SEND
POP DPL
POP DPH

MOV A,#2CH
CALL SEND

MOV A,#64H
CALL SEND
MOV A,#42H
CALL SEND

PUSH DPH
PUSH DPL
MOV DPTR,#WEIG_MEAR ;show weight
MOVX A,@DPTR
MOV DPTR,#TABLE1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV C A,@A+DPTR
CALL SEND
POP DPL
POP DPH

MOV A,#0DH
CALL SEND
MOV A,#0AH
CALL SEND

CHK_COLON: INC DPTR ;check colon which-
CALL END_ADDR ;separate data
MOV A,BITBUF
CJNE A,#01H,COLON2
JMP FINL_SEND

COLON2: MOVX A,@DPTR
CJNE A,#3BH,CHK_COLON
INC DPTR
CALL END_ADDR
MOV A,BITBUF
CJNE A,#01,SEND_DELAY
JMP FINL_SEND

SEND_DELAY: MOV TDELAY,#50
DJNZ TDELAY,$
JMP SEND_PAC2

FINL_SEND: RET
;***** check end address to save for stop send *****
END_ADDR: MOV BITBUF,#00H
MOV A,DPH
CJNE A,DPH_BUF,END_FINL
MOV A,DPL
CJNE A,DPL_BUF,END_FINL
MOV BITBUF,#01H
RET

END_FINL: ;***** set time for send to crt *****
WELA: PUSH 4CH
PUSH 4DH

MOV DPTR,#PER_SAVE
MOVX A,@DPTR
MOV INTBUF,A
INC DPTR
MOVX A,@DPTR
MOV STSBUF,A

CLR C
MOV A,R3
ADD A,STSBUF
DA A
MOV R3,A
JC SEC_ON

CJNE R3,#60H,SEC_ON

MOV R3,#00H
INC R4
CJNE R4,#60H,AD_WELA
MOV R4,#00H
JMP AD_WELA

```

SEC_ON: JC AD_WELA
CLR C
ADD A,#40H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรองรับการใช้งานของเครื่องคอมพิวเตอร์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหากับและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        DA    A
        MOV   R3,A
        INC  R4
        CJNE R4,#60H,AD_WELA
        MOV   R4,#00H
        JMP   AD_WELA

AD_WELA:    CLR    C
           MOV   A,R4
           ADD  A,MTSBUF
           DA    A
           MOV   R4,A
           JC   MIN_ON

           CJNE R4,#60H,MIN_ON
           MOV   R4,#00H
           CLR  C
           INC  R5
           MOV   A,R5
           DA   A
           MOV   R5,A
           CJNE R5,#24H,WELA_FINL
           MOV   R5,#00H
           JMP   WELA_FINL

MIN_ON:    JC    WELA_FINL
           CLR  C
           ADD  A,#40H
           DA   A
           MOV   R4,A

WELA_FINL: POP   4DH
           POP   4CH
           RET

;*****
;OPERATING ROUTINE ZONE
;COLLECT ROUTINE FOR CONTROL RSLM
;*****
AUTO_R:   PUSH  DPH
           PUSH  DPL

           CALL  ADRECVE           ;receive data from a/d

HIGHCHK:  CJNE  A,#00H,LOWWCHK      ;check lower

HIGHCHK1: CJNE  A,#00H,AUTO_FINL
           MOV   A,GAINBUF
           CJNE A,#00H,HIGHCHK2
           JMP   AUTO_FINL

HIGHCHK2: DEC   GAINBUF
           CALL  ADRECVE
           JMP   HIGHCHK1

LOWWCHK:  CJNE  A,#0FFH,AUTO_FINL
           MOV   A,GAINBUF
           CJNE A,#03H,LOWWCHK1
           JMP   AUTO_FINL

LOWWCHK1: INC   GAINBUF
           CALL  ADRECVE
           JMP   LOWWCHK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่มีการแก้ไข | ห้าสิ่ง อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาเอกสารต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                CJNE  A,#02H,LOW_M
                                JMP    TUM

LOW_M:                          MOV    A,GSAVE
                                CJNE  A,GAINBUF,TUM
                                MOV    A,WSAVE
                                CJNE  A,WEIGBUF,TUM
                                JMP    TUM1

TUM:                             CALL  CHARGE
TUM1:                            CALL  SHIFT_ADD

CANCEL:                          POP    DPL
                                POP    DPH
                                RET

;***** read data and save in internal ram *****
CHARGE:                          PUSH  00H
                                MOV    RO,#60H

CHARGE1:                         CALL  START
                                CALL  RECIVE
                                MOV    @RO,DATABUF
                                INC    RO
                                CJNE  RO,#70H,CHARGE1
                                POP    00H
                                RET

;***** MOVING AVERAGE *****
SHIFT_ADD:                       PUSH  00H
                                PUSH  01H
                                PUSH  02H

                                MOV    R2,#00H
                                MOV    R1,#00H
                                MOV    RO,#60H

SH1:                              INC    RO
                                MOV    A,@RO
                                DEC    RO
                                MOV    @RO,A

                                CLR    C
                                ADDC  A,R1
                                MOV    R1,A
                                MOV    A,R2
                                ADDC  A,#00H
                                MOV    R2,A

                                INC    RO
                                CJNE  RO,#6FH,SH1
                                CALL  START
                                CALL  RECIVE
                                MOV    A,DATABUF
                                MOV    6FH,A

                                CLR    C
                                ADDC  A,R1
                                MOV    R1,A
                                MOV    A,R2
                                ADDC  A,#00H

                                ANL    A,#0FH
                                SWAP  A
                                MOV    DATABUF,A
                                MOV    A,R1
                                ANL    A,#0F0H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        SWAP    A
        ORL    A,DATABUF
        MOV    DATABUF,A
        POP    02H
        POP    01H
        POP    00H
        RET

;***** contro a/d converter and read data *****
ADRECVE:
        CALL   HACON
        MOV    TDELAY,#25
        CALL   DELAY
        CALL   START
        CALL   RECIVE
        MOV    A,DATABUF
        RET

;***** set initial state of operating *****
BEFORE:
        MOV    DATABUF,#00H
        MOV    GAINBUF,#04H      ;auto range
        MOV    WEIGBUF,#02H     ;weight c
        MOV    MODEBUF,#02H

        MOV    MTSEBUF,#00H     ;set period 10 sec
        MOV    STSBUF,#10H

        MOV    SECBUF,#00H      ;set time 00:00:00
        MOV    MINBUF,#00H
        MOV    HOURBUF,#00H
        MOV    DATEBUF,#01H     ;set date 01/01/96
        MOV    MONTHBUF,#01H
        MOV    YEARBUF,#96H
        CALL   SET_T             ;set time in DS1202 chip

        MOV    HTSAVE,#00H      ;set initial time for savin
        MOV    MTSAVE,#00H
        MOV    STSAVE,#00H

        MOV    HSEND,#23H      ;set stop time for stop sav
        MOV    MSEND,#00H
        MOV    SSEND,#00H

        MOV    DPTR,#PORTA      ;set hardware
        MOV    A,#20H           ;auto range,weight c
        MOVX   @DPTR,A

        MOV    DPTR,#PORTB      ;set all bit in port b high
        MOV    A,#0FFH          ;port b conect for recive d.
        MOVX   @DPTR,A         ;from a/d converter

        MOV    DPTR,#PORTC      ;set all bit in port c high
        MOV    A,#0FFH          ;port c conect for control
        MOVX   @DPTR,A         ;a/d converter
        RET

;***** set state of operating *****
COMMAND:
        MOV    A,#01H
        CALL   LCDCON

        MOV    DPTR,#SENTCE2     ;show "set function" sentenc
        CALL   LCDDIS1

        JB     F1.3,#
        MOV    TDELAY,#50
        CALL   DELAY

        CALL   SHOWMODE          ;set mode
        CALL   KEYBOARD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 COMMAND1: ห้ามสั่น อีกทั้งห้ามมีเสียงรบกวนใดๆทั้งสิ้น ต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                CJNE  A,#00H,COMMAND1_1
                                CALL  CHANGM
                                JMP   COMMAND1

COMMAND1_1:                    CJNE  A,#02H,COMMAND1_2
                                JMP   COMMAND_FINL

COMMAND1_2:                    CJNE  A,#01H,COMMAND1_3
                                JMP   COMMAND3

COMMAND1_3:                    CJNE  A,#03H,COMMAND1

COMMAND2:                      CALL  SHOWGAIN                      ;set range
                                CALL  KEYBOARD
                                CJNE  A,#00H,COMMAND2_1
                                CALL  CHANGG
                                JMP   COMMAND2

COMMAND2_1:                    CJNE  A,#02H,COMMAND2_2
                                JMP   COMMAND_FINL

COMMAND2_2:                    CJNE  A,#01H,COMMAND2_3
                                JMP   COMMAND1

COMMAND2_3:                    CJNE  A,#03H,COMMAND2

COMMAND3:                      CALL  SHOWWEIGHT                   ;set weight
                                CALL  KEYBOARD
                                CJNE  A,#00H,COMMAND3_1
                                CALL  CHANGW
                                JMP   COMMAND3

COMMAND3_1:                    CJNE  A,#02H,COMMAND3_2
                                JMP   COMMAND_FINL

COMMAND3_2:                    CJNE  A,#01H,COMMAND3_3
                                JMP   COMMAND2

COMMAND3_3:                    CJNE  A,#03,COMMAND3
                                JMP   COMMAND1

COMMAND_FINL:                  RET
;***** change mode routine *****

CHANGM:                        MOV   A,MODEBUF
                                CJNE  A,#00H,CHANGM1                ;mode 0
                                MOV   DPTR,#SENTCE3                ;show mode 0 on lcd
                                JMP   SHOWM

CHANGM1:                      CJNE  A,#01H,CHANGM2                ;mode 1
                                MOV   DPTR,#SENTCE4                ;show mode 1 on lcd
                                JMP   SHOWM

CHANGM2:                      MOV   DPTR,#SENTCE5                ;mode 2
SHOWM:                        CALL  LCDDIS1                        ;show mode 2 on lcd
                                CALL  KEYBOARD                    ;check key for change
                                CJNE  A,#03H,DECM
                                INC   MODEBUF
                                MOV   A,MODEBUF
                                CJNE  A,#03H,INCM
                                MOV   MODEBUF,#00H
                                JMP   ENTER2

INCM:                          JC    ENTER2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     MODEBUF, #00H
JMP     ENTER2

DECM:   CJNE    A, #01H, ENTER2
        DEC     MODEBUF
        MOV     A, MODEBUF
        CJNE    A, #0FFH, DECM1
        MOV     MODEBUF, #02H
        JMP     ENTER2

DECM1:  JC      ENTER2
        MOV     MODEBUF, #02H

ENTER2: MOV     A, KEYBUF
        CJNE    A, #04H, CHANGM

        RET

;*****
SHOWMODE: MOV    A, MODEBUF
          CJNE   A, #00H, SHOWMODE1
          MOV    DPTR, #SENTCE3
          JMP    SHOWMODE_FINL

SHOWMODE1: CJNE   A, #01H, SHOWMODE2
           MOV   DPTR, #SENTCE4
           JMP   SHOWMODE_FINL

SHOWMODE2: MOV    DPTR, #SENTCE5

SHOWMODE_FINL: CALL  LCDDIS1

          RET

;***** change range routine *****
CHANGG:  MOV    A, GAINBUF
          CJNE   A, #00H, CHANGG1           ;range 100-120 dB
          MOV    DPTR, #SENTCE6           ;show range on lcd
          JMP    SHOWG

CHANGG1: CJNE   A, #01H, CHANGG2           ;range 80-100 dB
          MOV    DPTR, #SENTCE7           ;show range on lcd
          JMP    SHOWG

CHANGG2: CJNE   A, #02H, CHANGG3           ;range 60-80 dB
          MOV    DPTR, #SENTCE8           ;show range on lcd
          JMP    SHOWG

CHANGG3: CJNE   A, #03H, CHANGG4           ;range 40-60 dB
          MOV    DPTR, #SENTCE9           ;show range on lcd
          JMP    SHOWG

CHANGG4: MOV    DPTR, #SENTCE10            ;auto range
SHOWG:   CALL   LCDDIS1                   ;show "auto range" on i
        CALL   KEYBOARD                   ;check key for change r
        CJNE   A, #01H, INCG
        INC    GAINBUF
        MOV    A, GAINBUF
        CJNE   A, #05H, DECG
        MOV    GAINBUF, #00H
        JMP    ENTER

DECG:   JC      ENTER
        MOV    GAINBUF, #00H
        JMP    ENTER

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

INCG:      CJNE  A,#03H,ENTER
           DEC   GAINBUF
           MOV   A,GAINBUF
           CJNE  A,#0FFH,INCG1
           MOV   GAINBUF,#04H

INCG1:     JC    ENTER
           MOV   GAINBUF,#04H

ENTER:     MOV   A,KEYBUF
           CJNE  A,#04H,CHANG6

           RET

```

```

;*****
SHOWGAIN:  MOV   A,GAINBUF
           CJNE  A,#00H,SHOWGAIN1
           MOV   DPTR,#SENTCE6
           JMP   SHOWGAIN_FINL

```

```

SHOWGAIN1: CJNE  A,#01H,SHOWGAIN2
           MOV   DPTR,#SENTCE7
           JMP   SHOWGAIN_FINL

```

```

SHOWGAIN2: CJNE  A,#02H,SHOWGAIN3
           MOV   DPTR,#SENTCE8
           JMP   SHOWGAIN_FINL

```

```

SHOWGAIN3: CJNE  A,#03H,SHOWGAIN4
           MOV   DPTR,#SENTCE9
           JMP   SHOWGAIN_FINL

```

```

SHOWGAIN4: MOV   DPTR,#SENTCE10
SHOWGAIN_FINL: CALL  LCDDIS1
           RET

```

```

;*****
CHANGW:    MOV   A,WEIGBUF
           CJNE  A,#00H,CHANGW1      ;weight a
           MOV   DPTR,#SENTCE11     ;show weight a
           JMP   SHOWW

```

```

CHANGW1:   CJNE  A,#01H,CHANGW2      ;weight b
           MOV   DPTR,#SENTCE12     ;show weight b
           JMP   SHOWW

```

```

CHANGW2:   MOV   DPTR,#SENTCE13     ;weight c
           ;show weight c

```

```

SHOWW:     CALL  LCDDIS1
           CALL  KEYBOARD           ;check keyboard for chang
           CJNE  A,#03H,DECW        ;weight
           INC   WEIGBUF
           MOV   A,WEIGBUF
           CJNE  A,#03H,INCW
           MOV   WEIGBUF,#00H
           JMP   ENTER1

```

```

INCW:      JC    ENTER1
           MOV   WEIGBUF,#00H
           JMP   ENTER

```

```

DECW:      CJNE  A,#01H,ENTER1
           DEC   WEIGBUF
           MOV   A,WEIGBUF

```

นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้มีการเผยแพร่เอกสารนี้อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CJNE A,#OFFH,DECW1
MOV WEIGBUF,#03H
JMP ENTER1

DECW1: JC ENTER1
MOV WEIGBUF,#03H

ENTER1: MOV A,KEYBUF
CJNE A,#04H,CHANGW

RET
;*****
SHOWWEIGHT: MOV A,WEIGBUF
CJNE A,#00H,SHOWWEIGHT1
MOV DPTR,#SENTCE11
JMP SHOWW_FINL

SHOWWEIGHT1: CJNE A,#01H,SHOWWEIGHT2
MOV DPTR,#SENTCE12
JMP SHOWW_FINL

SHOWWEIGHT2: MOV DPTR,#SENTCE13
SHOWW_FINL: CALL LCDDIS1

RET
;***** control hardware routine *****
HACON: MOV A,WEIGBUF
SWAP A
ADD A,GAINBUF

MOV DPTR,#PORTA
MOVX @DPTR,A

RET
;***** trig adconverter to convert *****
START: MOV A,#0FEH
MOV DPTR,#PORTC
MOVX @DPTR,A
MOV A,#0FAH
MOVX @DPTR,A
MOV A,#0FEH
MOVX @DPTR,A
MOV A,#0FFH
MOVX @DPTR,A

RET
;***** recive data from adconverter *****
RECIIVE: MOV DPTR,#PORTC
MOVX A,@DPTR
CPL A
ANL A,#10H
CJNE A,#10H,RECIIVE

MOV A,#0FEH
MOVX @DPTR,A
MOV A,#0FCH
MOVX @DPTR,A
MOV A,#0FEH
MOVX @DPTR,A

MOV DPTR,#PORTB
MOVX A,@DPTR
MOV DATABUF,A
MOV DPTR,#PORTC
MOV A,#0FFH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือแจกจ่ายแก่ผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX @DPTR,A
RET
;*****
;PACKAGE FOR SEND DATA IN MODE 1 OPERATING
;R3 KEEP DIGIT THREE
;R4 KEEP DIGIT ONE AND TWO
;AND R5 KEEP POINT
;*****

```

```

PACKAGE:
MOV A,R3
CALL TABL_2
CALL SEND

MOV A,R4
CALL TABL_1
CALL SEND

MOV A,R4
CALL TABL_2
CALL SEND

MOV A,#2EH
CALL SEND

MOV A,R5
CALL TABL_1
CALL SEND

MOV A,#20H
CALL SEND

MOV A,#64H
CALL SEND
MOV A,#42H
CALL SEND
MOV A,WEIGBUF
MOV DPTR,#TABLE1
MOVC A,@A+DPTR
CALL SEND
RET

```

```

;*****
;DISPLAY ZONE
;COLLECT ROUTINE FOR DISPLAY
;*****

```

```

DISPL:
PUSH DPH
PUSH DPL
MOV A,R5
ANL A,#0FOH
SWAP A
MOV LCDBUF,A
MOV DPTR,#TABLE
MOV A,#87H
CALL LCDDIS

MOV LCDBUF,#0AH
MOV A,#86H
CALL LCDDIS

MOV 07H,R4
MOV A,#84H
CALL LCDDIS

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเอกสาร และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        ANL    A,#0FH
        CJNE  A,#01H,WEIGA
        MOV   LCDBUF,A
        MOV   A,#83H
        CALL  LCDDIS

WEIGA:   MOV   A,WEIGBUF
        CJNE  A,#00H,WEIGB
        MOV   DPTR,#UNITA
        JMP   SHWW

WEIGB:   CJNE  A,#01H,WEIGC
        MOV   DPTR,#UNITB
        JMP   SHWW

WEIGC:   MOV   DPTR,#UNITC
SHWW:    CALL  LCDDIS2
        POP   DPL
        POP   DPH
        RET

;*****
TABL_1:  MOV   DPTR,#TABLE
        ANL   A,#0FOH
        SWAP  A
        MOVC  A,@A+DPTR
        RET

;*****
TABL_2:  MOV   DPTR,#TABLE
        ANL   A,#0FH
        MOVC  A,@A+DPTR
        RET

;*****
CONVERT: PUSH  DPH
        PUSH  DPL
        PUSH  31H

        MOV   R6,#00H
        MOV   R5,#00H
        MOV   R4,#00H
        MOV   R3,#00H

        MOV   A,#0FFH
        CLR   C
        SUBB  A,DATABUF
        MOV   DATABUF,A

G1:      MOV   A,GAINBUF
        CJNE  A,#00H,G2
        MOV   R3,#01H
        JMP   BCD

G2:      CJNE  A,#01H,G3
        MOV   R4,#80H
        JMP   BCD

G3:      CJNE  A,#02H,G4
        MOV   R4,#60H
        JMP   BCD

G4:      MOV   R4,#40H
BCD:     MOV   BITBUF,#8
        MOV   R7,#00H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV DATABUF,A
JNC BCD_LL
CALL BCD1

```

```

BCD_LL: INC R7
INC R7
INC R7
DJNZ BITBUF,BCD_L

```

```

POP 31H
POP DFL
POP DPH
RET

```

```

BCD1: MOV DPTR,#VALUE
CLR C

```

```

MOV A,R7
MOVC A,@A+DPTR
ADDC A,R6
DA A
MOV R6,A

```

```

INC R7
MOV A,R7
MOVC A,@A+DPTR
ADDC A,R5
DA A
MOV R5,A

```

```

INC R7
MOV A,R7
MOVC A,@A+DPTR
ADDC A,R4
DA A
MOV R4,A

```

```

DEC R7
DEC R7
MOV A,R3
ADDC A,#00H
DA A
MOV R3,A

```

```
RET
```

```

VALUE: DB 85H,07H,00H
DB 70H,15H,00H
DB 40H,31H,00H
DB 80H,62H,00H
DB 60H,25H,01H
DB 20H,51H,02H
DB 40H,02H,05H
DB 80H,04H,10H

```

```

; KEYBOARD PROGRAMM
; FOR CONTROL AND SET VALUE
; KEYBOARD OPERATING IN 8 KEY
; ++++++

```

```

KEYBOARD: MOV P1,#1FH
CALL DATAKEY ;RECIIVE DATA FROM KEYBOARD
CJNE A,#06H,CROSS
JMP KEYBOARD ;ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษเท่านั้น ไม่ควรนำออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ควรกรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เอกสารและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CROSS:          MOV  KEYBUF,A                ;SAVE DATAKEY IN BUFFER
                MOV  TDELAY,#20
                CALL DELAY
                CALL DATAKEY
                MOV  KEYBUF,A
                MOV  TDELAY,#50
                CALL DELAY
                MOV  A,KEYBUF
                RET
;*****
KEYBOARD1:     MOV  P1,#1FH
                CALL DATAKEY
                RET
;*****
DATAKEY:       CLR  A                        ;FIRST KEY VALUE =00
                JB   P1.0,NEXT1             ;CHECK BIT FOR KEY DOWN
                JMP  DONE
NEXT1:         INC  A                        ;NEXT KEY VALUE =01
                JB   P1.1,NEXT2             ;CHECK BIT FOR KEY DOWN
                JMP  DONE
NEXT2:         INC  A                        ;NEXT KEY VALUE =02
                JB   P1.2,NEXT3             ;CHECK BIT FOR KEY DOWN
                JMP  DONE
NEXT3:         INC  A                        ;NEXT KEY VALUE =03
                JB   P1.3,NEXT4             ;CHECK BIT FOR KEY DOWN
                JMP  DONE
NEXT4:         INC  A                        ;NEXT KEY VALUE =04
                JB   P1.4,NEXT5
                JMP  DONE
NEXT5:         MOV  A,#06H
DONE:          RET
;*****
DELAY:         PUSH 07H
                PUSH 06H
WEAN:          MOV  R6,#10
WONE:          MOV  R7,#008H
                DJNZ R7,$
                DJNZ R6,WONE
                DJNZ TDELAY,WEAN
                POP  06H
                POP  07H
                RET
;*****
;TIMING CONTROL ROUTINE
;FOR SETTIME AND SHOW REALTIME
;USE DS1202 FOR REAL TIME CLOCK
;!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
REALTIME:     MOV  A,#01H
                CALL LCDCON
                MOV  DPTR,#SENTCE17
                CALL LCDDIS1
                JB   P1.3,$
                MOV  TDELAY,#50
                CALL DELAY

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามคัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

REALTIME1:      CALL  RTC1
                CJNE  A,#00H,REALTIME1_0
                CALL  RTCSET
                JMP   REALTIME1

REALTIME1_0:    CJNE  A,#01,REALTIME1_1
                MOV   A,MODEBUF
                CJNE  A,#02,REALTIME2
                JMP   REALTIME6

REALTIME1_1:    CJNE  A,#03,REALTIME_FINL

REALTIME2:      CALL  RTC2
                CJNE  A,#00,REALTIME2_0
                CALL  RTCSET1
                JMP   REALTIME2

REALTIME2_0:    CJNE  A,#01,REALTIME2_1
                JMP   REALTIME1

REALTIME2_1:    CJNE  A,#03H,REALTIME_FINL

REALTIME3:      MOV   A,MODEBUF
                CJNE  A,#02H,REALTIME1

REALTIME4:      CALL  RATE
                CJNE  A,#00H,REALTIME4_1
                CALL  RATE_SET
                JMP   REALTIME4

REALTIME4_1:    CJNE  A,#01H,REALTIME4_2
                JMP   REALTIME2

REALTIME4_2:    CJNE  A,#03H,REALTIME_FINL

REALTIME5:      CALL  TSSP
                CJNE  A,#00H,REALTIME5_1
                CALL  TSSP_SET
                JMP   REALTIME5

REALTIME5_1:    CJNE  A,#01H,REALTIME5_2
                JMP   REALTIME4

REALTIME5_2:    CJNE  A,#03H,REALTIME_FINL

REALTIME6:      CALL  TSSS
                CJNE  A,#00H,REALTIME6_1
                CALL  TSSS_SET
                JMP   REALTIME6

REALTIME6_1:    CJNE  A,#01H,REALTIME6_2
                JMP   REALTIME5

REALTIME6_2:    CJNE  A,#02H,REALTIME1

REALTIME_FINL: RET
;***** set time to check for saving *****
CHK_TIME:      MOV   R0,SECBUF
                MOV   R1,MINEBUF

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เอกสารนี้ออกไปยังบุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CLR  C
MOV  A,R0
ADD  A,#STSBUFF
DA   A

```

```

MOV     R0,A
JC      OVER_HUN1

CJNE   R0,#60H,SEC_OVER
MOV     R0,#00H
INC     R1
CJNE   R1,#60H,AD_MI
MOV     R1,#00H
JMP     AD_MI

OVER_HUN1:
CLR     C
ADD     A,#40H
DA      A
MOV     R0,A
INC     R1
CJNE   R1,#60H,AD_MI
MOV     R1,#00H
JMP     AD_MI

SEC_OVER:
JC      AD_MI
CLR     C
SUBB   A,#60H
DA      A
MOV     R0,A
INC     R1
CJNE   R1,#60H,AD_MI
MOV     R1,#00H
JMP     AD_MI

AD_MI:
CLR     C
MOV     A,R1
ADD     A,MTSBUF
DA      A
MOV     R1,A
JC      OVER_HUN2

CJNE   R1,#60H,MIN_OVER
MOV     R1,#00H
JMP     ADD_FINL

OVER_HUN2:
CLR     C
ADD     A,#40H
DA      A
MOV     R1,A
CJNE   R1,#60H,ADD_FINL
MOV     R1,#00H
JMP     ADD_FINL

MIN_OVER:
JC      ADD_FINL
CLR     C
SUBB   A,#60H
DA      A
MOV     R1,A

ADD_FINL:
RET
;***** show period for keep data in ram *****
RATE:
MOV     A,#01H
CALL    LCDCON

MOV     DPTR,#SENTCE25
CALL    LCDDIS1

MOV     R7,MTSBUF
MOV     A,#81H และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามคัดลอกและเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL LCDTWO

MOV LCDBUF,#0BH
MOV A,#83H
CALL LCDDIS

MOV R7,STSBUF
MOV A,#84H
CALL LCDTWO

RATE_1: CALL KEYBOARD
CJNE A,#04H,RATE_2
JMP RATE_1

RATE_2: CJNE A,#06H,RATE_FINL
JMP RATE_1

RATE_FINL: RET
;***** set period for keep data in ram *****
RATE_SET: MOV DPTR,#SENTCE24
MOV R6,MTSBUF
CALL TT_S
MOV MTSBUF,R6
CJNE R6,#60H,JUD11
MOV MTSBUF,#00H
JMP RA

JUD11: JC RA
MOV MTSBUF,#59H
RA: CJNE R3,#04,RATE_SET

STS_SET: MOV DPTR,#SENTCE14
MOV R6,STSBUF
CALL TT_S
MOV STSBUF,R6
CJNE R6,#60H,JUD12
MOV STSBUF,#00H
JMP SSE

JUD12: JC SSE
MOV STSBUF,#59H
SSE: CJNE R3,#04H,STS_SET
RET
;***** show initial time for keep data *****
TSSP: MOV A,#01H
CALL LCDCON

MOV DPTR,#SENTCE26
MOV R6,HTSAVE
MOV R5,MTSAVE
MOV R4,STSAVE
CALL T_S
RET
;***** set initial time for keep data *****
TSSP_SET: MOV DPTR,#SENTCE18
MOV R6,HTSAVE
CALL TT_S
MOV HTSAVE,R6
CJNE R6,#24H,JUD8
MOV HTSAVE,#00H
JMP TET

JUD8: JC TET
MOV HTSAVE,#23H
TET: CJNE R3,#04H,TSSP_SET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ในวาระใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

M_SET:      MOV    DPTR,#SENTCE19
            MOV    R6,MTSAVE
            CALL   TT_S
            MOV    MTSAVE,R6
            CJNE  R6,#60H,JUD9
            MOV    MTSAVE,#00H
            JMP    MT

JUD9:      JC     MT
            MOV    MTSAVE,#59H

MT:        CJNE  R3,#04H,M_SET

S_SET:     MOV    DPTR,#SENTCE20
            MOV    R6,STSAVE
            CALL   TT_S
            MOV    STSAVE,R6
            CJNE  R6,#60H,JUD10
            MOV    STSAVE,#00H
            JMP    ST

JUD10:    JC     ST
            MOV    STSAVE,#59H

ST:       CJNE  R3,#04H,S_SET
            RET

;***** show final time for keep data *****
TSSS:     MOV    DPTR,#SENTCE27
            MOV    R4,SSEND
            MOV    R5,MSEND
            MOV    R6,HSEND
            CALL   T_S
            RET

;***** set final time for keep data *****
TSSS_SET: MOV    DPTR,#SENTCE18
            MOV    R6,HSEND
            CALL   TT_S
            MOV    HSEND,R6
            CJNE  R6,#24H,JUD5
            MOV    HSEND,#00H
            JMP    TS

JUD5:     JC     TS
            MOV    HSEND,#23H

TS:       CJNE  R3,#04H,TSSS_SET

MM_SET:   MOV    DPTR,#SENTCE19
            MOV    R6,MSEND
            CALL   TT_S
            MOV    MSEND,R6
            CJNE  R6,#60H,JUD6
            MOV    MSEND,#00H
            JMP    MM

JUD6:     JC     MM
            MOV    MSEND,#59H

MM:       CJNE  R3,#04H,MM_SET

SS_SET:   MOV    DPTR,#SENTCE20
            MOV    R6,SSEND
            CALL   TT_S
            MOV    SSEND,R6
            CJNE  R6,#60H,JUD7
            MOV    SSEND,#00H
            JMP    SS

JUD7:     JC     SS

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    SEND,#59H
SS:    CJNE  R3,#04H,SS_SET
      RET
;*****
T_S:   CALL  LCDDIS1

      MOV   R7,06H
      MOV   A,#87H
      CALL  LCDTWO

      MOV   LCDBUF,#0BH
      MOV   A,#0C1H
      CALL  LCDDIS

      MOV   R7,05H
      MOV   A,#0C2H
      CALL  LCDTWO

      MOV   LCDBUF,#0BH
      MOV   A,#0C4H
      CALL  LCDDIS

      MOV   R7,04H
      MOV   A,#0C3H
      CALL  LCDTWO
T_S1:  CALL  KEYBOARD
      CJNE  A,#04H,T_S2
      JMP   T_S1
T_S2:  CJNE  A,#06H,T_FINL
      JMP   T_S1
T_FINL: RET
;*****
TT_S:  CALL  LCDDIS1
      MOV   R7,06H
      MOV   A,#0C2H
      CALL  LCDTWO
DEC_TT: CALL  KEYBOARD
      CJNE  A,#01H,INC_TT
      MOV   A,R6
      CALL  DEDT
      MOV   R6,A
      MOV   R3,#00H
      JMP   TT_FINL
INC_TT: CJNE  A,#03H,OK_TT
      MOV   A,R6
      INC   A
      DA   A
      MOV   R6,A
      MOV   R3,#00H
      JMP   TT_FINL
OK_TT: CJNE  A,#04H,DEC_TT
      MOV   R3,A
TT_FINL: RET
;***** set time on DS1202 (hour/minute/second) *****
RTCSET: MOV   DPTR,#SENTCE18
      MOV   R6,HOURBUF
      CALL  TT_S
      MOV   HOURBUF,R6
      CJNE  R6,#24H,JUD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำข้อมูลไปเผยแพร่หรืออ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    HOURBUF,#00H
JMP    RT

JUD:   JC    RT
MOV    HOURBUF,#23H
RT:    CJNE  R3,#04H,RTCSET

MIN_SET: MOV    DPTR,#SENTCE19
MOV    R6,MINBUF
CALL  TT_S
MOV    MINBUF,R6
CJNE  R6,#60H,JUD1
MOV    MINBUF,#00H
JMP    MI

JUD1:  JC    MI
MOV    MINBUF,#59H
MI:    CJNE  R3,#04H,MIN_SET

SEC_SET: MOV    DPTR,#SENTCE20
MOV    R6,SECBUF
CALL  TT_S
MOV    SECBUF,R6
CJNE  R6,#60H,JUD2
MOV    SECBUF,#00H
JMP    SE

JUD2:  JC    SE
MOV    SECBUF,#59H
SE:    CJNE  R3,#04H,SEC_SET
CALL  SET_T
RET

;***** set time on DS1202 ( DATE/MONTH/YEAR) *****
RTCSET1: MOV    DPTR,#SENTCE21
MOV    R6,DATEBUF
CALL  TT_S
MOV    DATEBUF,R6
CJNE  R6,#32H,JUD3
MOV    DATEBUF,#00H
JMP    RC

JUD3:  JC    RC
MOV    DATEBUF,#31H
RC:    CJNE  R3,#04H,RTCSET1

MONTH_SET: MOV    DPTR,#SENTCE22
MOV    R6,MONTHBUF
CALL  TT_S
MOV    MONTHBUF,R6
CJNE  R6,#13H,JUD4
MOV    MONTHBUF,#00H
JMP    MO

JUD4:  JC    MO
MOV    MONTHBUF,#12H
MO:    CJNE  R3,#04H,MONTH_SET

YEAR_SET: MOV    DPTR,#SENTCE23
MOV    R6,YEARBUF
CALL  TT_S
MOV    YEARBUF,R6
CJNE  R3,#04H,YEAR_SET
CALL  SET_T

;***** write initial time to DS1202 *****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

***** write initial time to DS1202 *****

```

SET_T:      MOV     COMMANDBUF,#8EH
            MOV     CLOCKBUF,#00H
            CALL    BYTEWR

            MOV     CLOCKBUF,SECBUF           ; SECOND
            MOV     COMMANDBUF,#80H
            CALL    BYTEWR

            MOV     CLOCKBUF,MINBUF          ; MINUTE
            MOV     COMMANDBUF,#82H
            CALL    BYTEWR

            MOV     CLOCKBUF,HOURBUF         ; HOUR
            MOV     COMMANDBUF,#84H
            CALL    BYTEWR

            MOV     CLOCKBUF,DATEBUF        ; DATE
            MOV     COMMANDBUF,#86H
            CALL    BYTEWR

            MOV     CLOCKBUF,MONTHBUF       ; MONTH
            MOV     COMMANDBUF,#88H
            CALL    BYTEWR

            MOV     CLOCKBUF,YEARBUF        ; YEAR
            MOV     COMMANDBUF,#8CH
            CALL    BYTEWR

            MOV     COMMANDBUF,#8EH
            MOV     CLOCKBUF,#80H
            CALL    BYTEWR
            RET

; *****
DECT:      DEC     A
            CJNE   A,#99H,DECA1
            JMP    DEC_FINL

DECA1:     JC     DECA2
            MOV    A,#99H
            JMP    DEC_FINL

DECA2:     MOV    R7,A
            ANL   A,#0FH
            CJNE  A,#09H,DECA3
            JMP   DECA4

DECA3:     JC     DECA4
            MOV   A,R7
            ANL  A,#0FOH
            ADD  A,#09H
            JMP  DEC_FINL

DECA4:     MOV   A,R7
DEC_FINL:  RET
; *****
show real time on lcd (hour/minit/second)*****
RTC1:     MOV    A,#01H
            CALL  LCDCON

            CALL  READT
SHOWT:    MOV    R7,HOURBUF           ; HOUR SHOW
            MOV    A,#83H
            CALL  LCDTWO
            MOV    LCDBUF,#0BH
            MOV    A,#83H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่หรือแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL LCDDIS

MOV R7,MINBUF ;MINUTE SHOW
MOV A,#86H
CALL LCDTWO

MOV LCDBUF,#0BH
MOV A,#0C0H
CALL LCDDIS

MOV R7,SECBUF ;SECOND SHOW
MOV A,#0C1H
CALL LCDTWO

TT:
MOV R7,SECBUF
CALL READT
MOV A,R7
CJNE A,SECBUF,SHOWT

CALL KEYBOARD1
CJNE A,#04H,TT1
JMP TT

TT1:
CJNE A,#06H,RTC1_FINL
JMP TT

RTC1_FINL:
MOV TDELAY,#50
CALL DELAY
RET

;***** show realtime on lcd (date/month/year) *****
RTC2:
MOV A,#01H
CALL LCDCON

SHOWDATE:
CALL READT
MOV R1,DATEBUF
MOV R7,DATEBUF
MOV A,#83H
CALL LCDTWO

MOV LCDBUF,#0CH
MOV A,#85H
CALL LCDDIS

MOV R7,MONTHBUF
MOV A,#86H
CALL LCDTWO

MOV LCDBUF,#0CH
MOV A,#0C0H
CALL LCDDIS

MOV R7,YEARBUF
MOV A,#0C1H
CALL LCDTWO

TTT:
MOV R7,DATEBUF
CALL READT
MOV A,R7
CJNE A,DATEBUF,SHOWDATE

CALL KEYBOARD1
CJNE A,#04,TTT1
JMP TTT

TTT1:
CJNE A,#06H,RTC2_FINL

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GMP FTT

```

RTC2_FINL:      MOV    TDELAY,#50
                CALL   DELAY
                RET

```

```

;***** read time from DS1202 *****
READT:         MOV    COMMANDBUF,#81H          ;SECOND  READ
                CALL   BYTERD
                MOV    SECBUF,CLOCKBUF

                MOV    COMMANDBUF,#83H          ;MINITE  READ
                CALL   BYTERD
                MOV    MINBUF,CLOCKBUF

                MOV    COMMANDBUF,#85H          ;HOUR    READ
                CALL   BYTERD
                MOV    HOURBUF,CLOCKBUF

                MOV    COMMANDBUF,#87H          ;DATE    READ
                CALL   BYTERD
                MOV    DATEBUF,CLOCKBUF

                MOV    COMMANDBUF,#89H          ;MONTH   READ
                CALL   BYTERD
                MOV    MONTHBUF,CLOCKBUF

                MOV    COMMANDBUF,#8DH          ;YEAR    READ
                CALL   BYTERD
                MOV    YEARBUF,CLOCKBUF
                RET

```

```

;***** RTC *****
BYTERD:        CLR    RST
                CLR    SCLK
                SETB   RST
                CALL   DELAY1
                MOV    BITBUF,#8
                CLR    C

```

```

BYTERD1:       MOV    A,COMMANDBUF
                RRC    A
                MOV    INOUT,C
                CALL   SCLKW
                DJNZ   BITBUF,BYTERD1
                MOV    BITBUF,#8

```

```

BYTERD2:       CALL   SCLKR
                MOV    C,INOUT
                RRC    A
                DJNZ   BITBUF,BYTERD2
                MOV    CLOCKBUF,A
                CLR    RST
                CALL   DELAY1
                RET

```

```

;*****
BYTEWR:        CLR    RST
                CLR    SCLK
                SETB   RST
                CALL   DELAY1
                MOV    BITBUF,#8
                CLR    C
                MOV    A,COMMANDBUF

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

SEND:          JNB     TI,SEND
               CLR     TI
               MOV     SBUF,A
               MOV     TDELAY,#5
               DJNZ    TDELAY,$
               RET
               RET

;*****
REC_SRL:      JNB     RI,REC_SRL
               CLR     RI
               MOV     A,SBUF
               MOV     TDELAY,#5
               DJNZ    TDELAY,$
               RET

;*****
LCDDIS:      CALL    LCDCON
               MOV     A,LCDBUF
               MOVC   A,@A+DPTR
               CALL    LCDDATA
               RET

;*****
LCDDIS1:     MOV     A,#80H
               CALL    LCDDIS11

LCDDIS2:     MOV     A,#000H
               CALL    LCDDIS11
               RET

LCDDIS11:    CALL    LCDCON
               MOV     R2,#8

LCDDIS12:    CLR     A
               MOVC   A,@A+DPTR
               CALL    LCDDATA
               INC     DPTR
               DJNZ   R2,LCDDIS12
               RET

;*****
LCDCON:      PUSH    DPH
               PUSH    DPL
               MOV     DPTR,#LCDWRD
               MOVX   @DPTR,A
               MOV     DPTR,#LCDRDC
LCDCON1:     MOVX   A,@DPTR
               JB     ACC.7,LCDCON1
               POP     DPL
               POP     DPH
               RET

;*****
LCDDATA:     PUSH    DPH
               PUSH    DPL
               MOV     DPTR,#LCDWRD
               MOVX   @DPTR,A
               MOV     DPTR,#LCDRDC

LCDDATA1:    MOVX   A,@DPTR
               JB     ACC.7,LCDDATA1
               POP     DPL
               POP     DPH
               RET

;*****
SEND_STRING: CLR     A
               MOVC   A,@A+DPTR
               INC     DPTR
               CJNE   A,#EOS,SEND_STRING1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามตัดแปะหรือทำซ้ำ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

SENTCE25:      DB      ' /S'
                DB      'AMPLING'
SENTCE26:      DB      'START : '
                DB      '
SENTCE27:      DB      ' STOP : '
                DB      '
SENTCE28:      DB      ' ON S'
                DB      'ENDING'
SENTCE29:      DB      'Sampling Period: ',EOS
SENTCE30:      DB      'Date: ',EOS
SENTCE31:      DB      'Initial Time: ',EOS
SENTCE32:      DB      'Finish Time: ',EOS
SENTCE33:      DB      ' Microprocessor Based Sound Level Meter V.2.0',CR,LF
                DB      '      Designed by',CR,L
                DB      '      Mr. Santi Hankla',CR,L
                DB      '      Mr. Kriangsak Uesakulrungrueng',CR,L
                DB      'Department of Applied Physics ',CR,LF
                DB      'Faculty of Science ',CR,LF
                DB      'King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang',CR,LF,E
SENTCE35:      DB      'Test Location:',EOS
SENTCE36:      DB      ' PRESS R'
                DB      ',T OR C'

```

END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

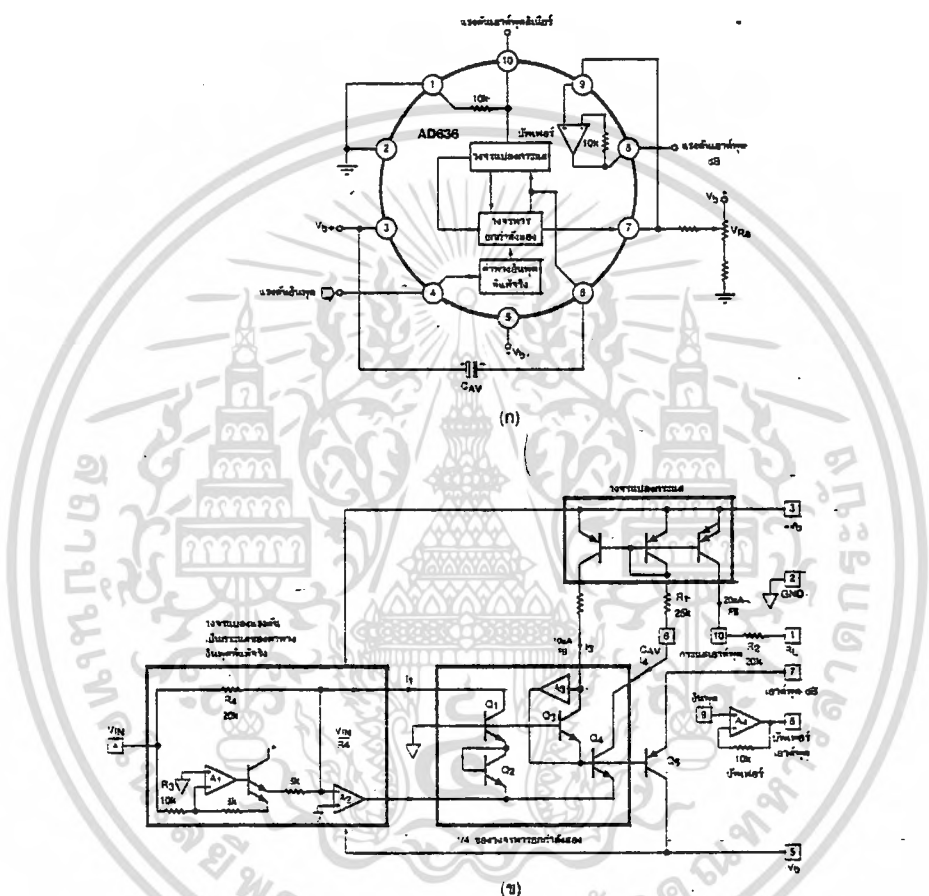


ภาคผนวก ข รายละเอียดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซี AD636JH

AD636JH เป็นไอซีแปลงแรงดันอาร์เอ็มเอสให้เป็นแรงดันไฟตรงคงแสดงบด็อกไดอะแกรมไว้ในรูปที่ 1 (ก) และ (ข) ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ คือวงจรเรกติไฟร์และเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแส วงจรยกกำลังสองและหาร (squarer/divider) ที่ใช้พื้นฐานของวงจรขยายแบบลอการิทึมและแอนติลอการิทึมควบคุมการทำงานโดยใช้การป้อนกลับทางกระแส, วงจรแปลงกระแส (current mirror)



รูปที่ 1 (ก) บด็อกไดอะแกรมภายในของ AD636JH
(ข) วงจรภายในเบื้องต้นของ AD636JH

เมื่อสัญญาณอินพุตผ่านวงจรเรกติไฟร์และเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแสแล้ว จะถูกนำมาคำนวณด้วยวงจรยกกำลังสองและวงจรรหาร ซึ่งได้เอาท์พุทออกมาเป็นค่าอาร์เอ็มเอสแบบไม่เชิงเส้นที่ขา 7 ส่วนเอาท์พุทเชิงเส้นแบบเชิงเส้นจะได้จากการนำค่าที่ถูกลบกำลังสองแล้วมาหาค่าเฉลี่ยโดยวงจร RC โลว์พาสเน็ตเวิร์ก ซึ่งมีตัวเก็บประจุ C_{AV} ที่ต่ออยู่ภายนอกเป็นส่วนประกอบ ค่าเฉลี่ยที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นกระแสโดยวงจรโดยวงจรแปลงกระแสแล้วให้เอาท์พุทออกมาทางขา 10 มีตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์มภายในไอซีทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสเอาท์พุทให้เป็นแรงดันเมื่อทำการต่อขา 1 ตงกราวด์ นอกจากนั้นที่ขา 7 จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีตัวต้านทานปรับค่าได้ VR_u ซึ่งต่ออยู่ภายนอกทำหน้าที่ปรับการไบแอสของวงจรรวมกำลังและวงจรรวมกำลัง ซึ่งจะเป็นการตั้งค่าแรงดันอ้างอิงที่ 0 เดซิเบล ให้แก่อไอซี

ค่าผิดพลาดในการแปลงสัญญาณ

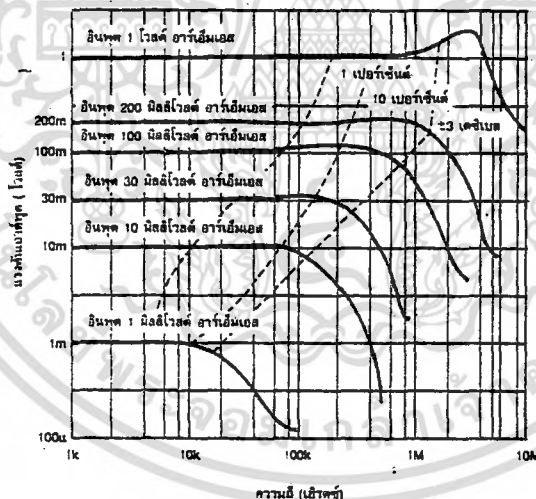
ในทางปฏิบัติการแปลงค่าสัญญาณใด ๆ ก็ตามค่าที่ได้จากการแปลงอยู่บ้างเสมอเนื่องจากในทางปฏิบัติยังมีข้อจำกัดต่าง ๆ ซึ่งยังทำให้ไม่ได้ตามแบบทฤษฎีการแปลงค่าอาร์เอ็มเอสเป็นแรงดันไฟตรงก็เช่นเดียวกัน มีหลายสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาดเล็ก ๆ น้อย ๆ ขึ้น ก็พอจะจำแนกออกได้ดังนี้

- ค่าผิดพลาดคงที่เนื่องจากอุปกรณ์

อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องมือวัด จะต้องมีความเที่ยงตรงสูง แต่ในขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์ย่อมจะเกิดความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ได้ออกแบบไว้ แต่อย่างไรก็ตามจะต้องอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ สำหรับไอซีเบอร์นี้จะมีค่าเบี่ยงเบนสูงสุดไม่เกิน 1 มิลลิโวลต์

- แบบจำลอง

การตอบสนองทางแรงดันแบบวิคส์ของไอซีแปลงค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสเป็นแรงดันไฟตรง (AD636JH) แสดงไว้ดังรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองนี้จะขึ้นกับแรงดันทางอินพุต ดังนั้นในการใช้งานจึงควรทำการวัดสัญญาณโดยใช้ย่านวัดที่ต่ำที่สุดที่ยังสามารถวัดได้ก่อน



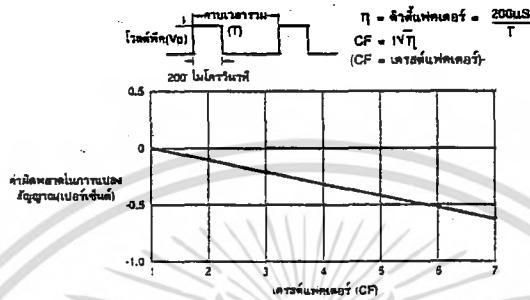
รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่ทางอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตของ AD636JH

- ค่าผิดพลาดทางไฟตรง

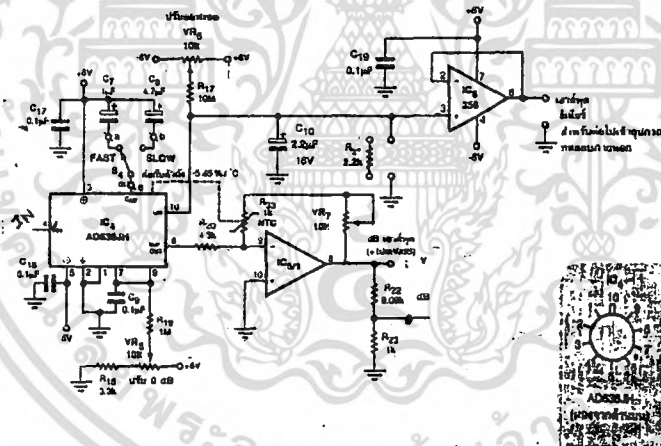
ค่าของตัวเก็บประจุที่ปลั๊กสัญญาณทางอินพุต (C_{AV}) จะเป็นตัวกำหนดความถี่ต่ำสุดของสัญญาณอินพุต และไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้ตัวเก็บประจุ C_{AV} ได้ครบโดที่ไอซีแปลงแรงดันอาร์เอ็มเอสเบอร์ AD636JH

- คริสต์แฟกเตอร์

สาเหตุของค่าผิดพลาดนี้เกิดขึ้นในกรณีของสัญญาณอินพุตที่มีดีวีทีแฟกเตอร์ต่ำมาก ๆ (พัลส์แคบมาก ๆ)ตัวเก็บประจุ C_{AV} จะต้องทำงานหนักในการจับพลังงานที่บรรจุอยู่ในพัลส์ช่วงขณะนั้นและทำการเก็บรักษาประจุนั้นไว้รอจนกว่าวงจรส่วนประมวลผลจะดึงเอาแรงดันไปอ่านต่อไป



รูปที่ 3 กราฟเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการแปลงสัญญาณขึ้นอยู่กับค่าคริสต์แฟกเตอร์



รูปที่ 4 ตัวอย่างวงจรของ AD636JH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage	
Logic Control Inputs	-0.3V to +18V
At Other Input and Outputs	-0.3V to ($V_{CC} + 0.3V$)
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$	875 mW
ESD Susceptibility (Note 10)	800V

Operating Ratings (Notes 1 & 2)

Temperature Range	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0801/02LJ	-55°C $\leq T_A \leq$ +125°C
ADC0801/02/03/04LCJ	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
ADC0801/02/03/05LCN	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
ADC0804LCN	0°C $\leq T_A \leq$ +70°C
ADC0802/03/04LCV	0°C $\leq T_A \leq$ +70°C
ADC0802/03/04LCWM	0°C $\leq T_A \leq$ +70°C
Range of V_{CC}	4.5 V_{DC} to 6.3 V_{DC}

Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_{CC} = 5 V_{DC}$, $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ and $f_{CLK} = 640$ kHz unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0801: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/4$	LSB
ADC0802: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$			$\pm 1/2$	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/2$	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$			± 1	LSB
ADC0805: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2$ -No Connection			± 1	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance (Pin 9)	ADC0801/02/03/05 ADC0804 (Note 9)	2.5 0.75	8.0 1.1		k Ω k Ω
Analog Input Voltage Range	(Note 4) $V_{IN(-)}$ or $V_{IN(+)}$	Gnd-0.05		$V_{CC} + 0.05$	V_{DC}
DC Common-Mode Error	Over Analog Input Voltage Range		$\pm 1/8$	$\pm 1/8$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V_{CC} = 5 V_{DC} \pm 10\%$ Over Allowed $V_{IN(-)}$ and $V_{IN(+)}$ Voltage Range (Note 4)		$\pm 1/8$	$\pm 1/8$	LSB

AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_{CC} = 5 V_{DC}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
T_C	Conversion Time	$f_{CLK} = 640$ kHz (Note 5)	103		114	μs
T_C	Conversion Time	(Note 5, 6)	66		73	$1/f_{CLK}$
f_{CLK}	Clock Frequency Clock Duty Cycle	$V_{CC} = 5V$, (Note 5) (Note 5)	100 40	640	1460 60	kHz %
CR	Conversion Rate in Free-Running Mode	\overline{INTR} tied to \overline{WR} with $\overline{CS} = 0 V_{DC}$, $f_{CLK} = 640$ kHz	3770		9708	conv/s
$t_{W\overline{WRIL}}$	Width of \overline{WR} input (Start Pulse Width)	$\overline{CS} = 0 V_{DC}$ (Note 7)	100			ns
t_{ACC}	Access Time (Delay from Falling Edge of \overline{RD} to Output Data Valid)	$C_L = 100$ pF		135	200	ns
$t_{H, 9H}$	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of \overline{RD} to 'Hi-Z' State)	$C_L = 10$ pF, $R_L = 10k$ (See TRI-STATE Test Circuits)		125	200	ns
$t_{W, t_{R1}}$	Delay from Falling Edge of \overline{WR} or \overline{RD} to Reset of \overline{INTR}			300	450	ns
C_{IN}	Input Capacitance of Logic Control Inputs			5	7.5	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance (Data Buffers)			5	7.5	pF

CONTROL INPUTS (Note: $\overline{CLK IN}$ (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately)

$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage (Except Pin 4 $\overline{CLK IN}$)	$V_{CC} = 5 \pm 2.5 V_{DC}$	2.0		15	V_{DC}
-------------	---	-----------------------------	-----	--	----	----------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for $V_{CC} = 5V_{DC}$ and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
CONTROL INPUTS [Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately]						
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.8	V_{DC}
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (All Inputs)	$V_{IN} = 5 V_{DC}$		0.005	1	μA_{DC}
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (All Inputs)	$V_{IN} = 0 V_{DC}$	-1	-0.005		μA_{DC}
CLOCK IN AND CLOCK R						
V_{T+}	CLK IN (Pin 4) Positive Going Threshold Voltage		2.7	3.1	3.5	V_{DC}
V_{T-}	CLK IN (Pin 4) Negative Going Threshold Voltage		1.5	1.8	2.1	V_{DC}
V_H	CLK IN (Pin 4) Hysteresis ($V_{T+} - V_{T-}$)		0.6	1.3	2.0	V_{DC}
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" CLK R Output Voltage	$I_O = 360 \mu A$ $V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.4	V_{DC}
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" CLK R Output Voltage	$I_O = -360 \mu A$ $V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	2.4			V_{DC}
DATA OUTPUTS AND INTR						
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage Data Outputs INTR Output	$I_{OUT} = 1.6 mA, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$ $I_{OUT} = 1.0 mA, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.4 0.4	V_{DC} V_{DC}
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -360 \mu A, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	2.4			V_{DC}
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -10 \mu A, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	4.5			V_{DC}
I_{OUT}	TRI-STATE Disabled Output Leakage (All Data Buffers)	$V_{OUT} = 0 V_{DC}$ $V_{OUT} = 5 V_{DC}$	-3		3	μA_{DC} μA_{DC}
I_{SOURCE}		V_{OUT} Short to Gnd, $T_A = 25^\circ C$	4.5	5		mA_{DC}
I_{SINK}		V_{OUT} Short to V_{CC} , $T_A = 25^\circ C$	9.0	16		mA_{DC}
POWER SUPPLY						
I_{CC}	Supply Current (Includes Ladder Current)	$f_{CLK} = 640 kHz$, $V_{REF/2} = NC$, $T_A = 25^\circ C$ and $CS = 5V$				
	ADC0801/02/03/04LCJ/05			1.1	1.8	mA
	ADC0804LCN/LCV/LCWM			1.9	2.5	mA

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: All voltages are measured with respect to Gnd, unless otherwise specified. The separate A Gnd point should always be wired to the D Gnd.

Note 3: A zener diode exists, internally, from V_{CC} to Gnd and has a typical breakdown voltage of $7 V_{DC}$.

Note 4: For $V_{IN(-)} \geq V_{IN(+)}$ the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see block diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. Be careful, during testing at low V_{CC} levels (4.5V), a high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct—especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full-scale. The device allows 50 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 50 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0 V_{DC} to 5 V_{DC} input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of $4.950 V_{DC}$ over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Accuracy is guaranteed at $f_{CLK} = 640 kHz$. At higher clock frequencies accuracy can degrade. For lower clock frequencies, the duty cycle limits can be extended so long as the minimum clock high time interval or minimum clock low time interval is no less than 275 ns.

Note 6: With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process. The start request is internally latched, see Figure 2 and section 2.0.

Note 7: The CS input is assumed to bracket the WR strobe input and therefore timing is dependent on the WR pulse width. An arbitrarily wide pulse width will hold the converter in a reset mode and the start of conversion is initiated by the low to high transition of the WR pulse (see timing diagrams).

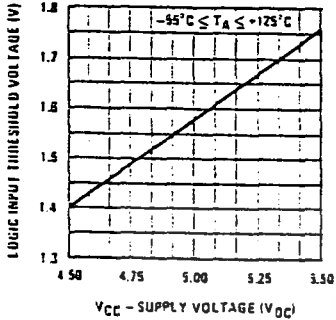
Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 3.

Note 9: The $V_{REF/2}$ pin is the center point of a two resistor divider connected from V_{CC} to ground. Each resistor is 2.2k, except for the ADC0804LCJ where each resistor is 16k. Total ladder input resistance is the sum of the two equal resistors.

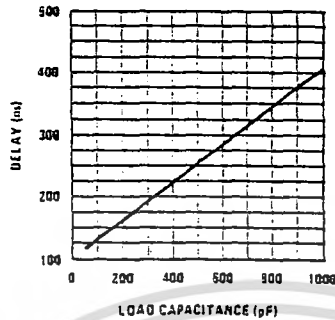
Note 10: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Typical Performance Characteristics

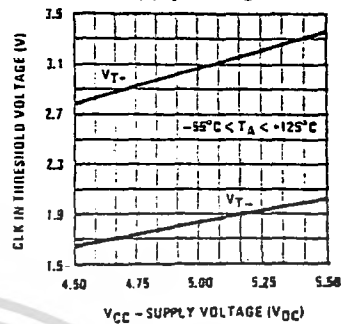
Logic Input Threshold Voltage vs. Supply Voltage



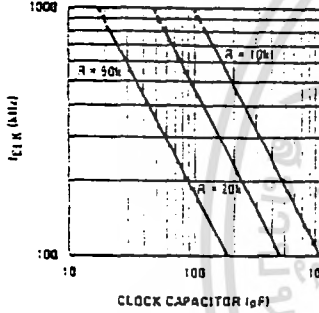
Delay From Falling Edge of RD to Output Data Valid vs. Load Capacitance



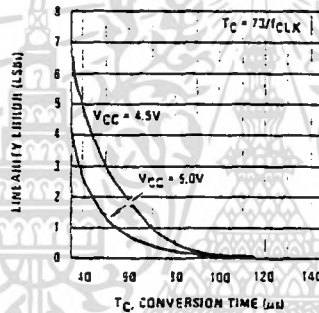
CLK IN Schmitt Trip Levels vs. Supply Voltage



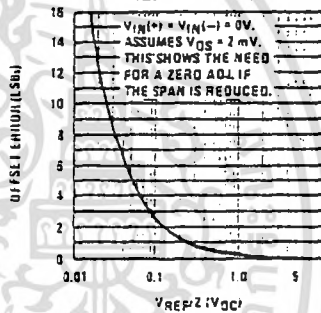
fCLK vs. Clock Capacitor



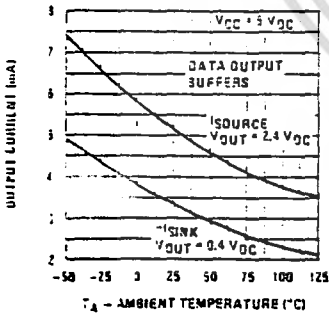
Full-Scale Error vs Conversion Time



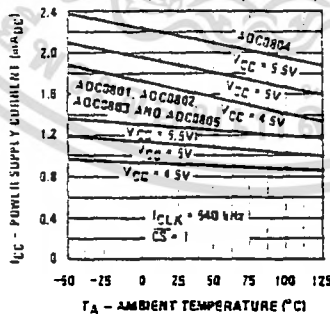
Effect of Unadjusted Offset Error vs. VREF/2 Voltage



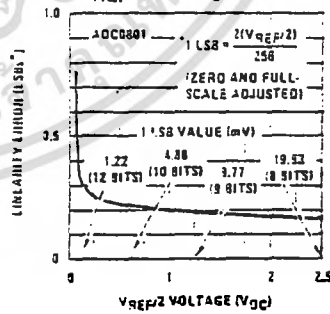
Output Current vs Temperature



Power Supply Current vs Temperature (Note 9)



Linearity Error at Low VREF/2 Voltages

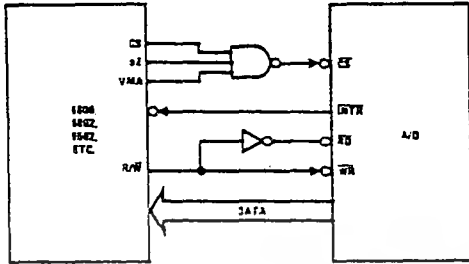


TL4/5671-2

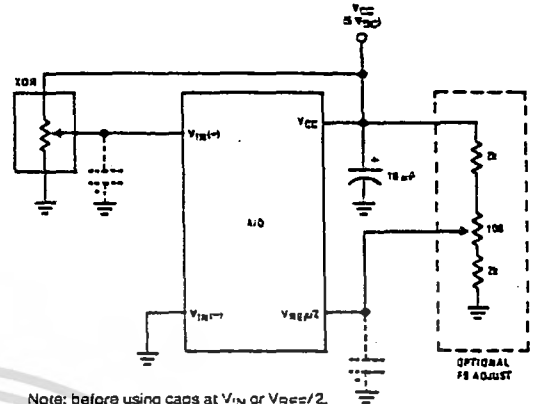
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

6800 Interface

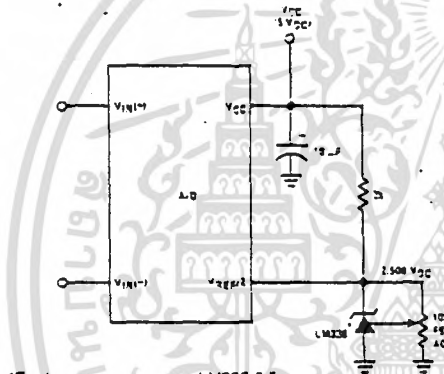


Ratiometric with Full-Scale Adjust



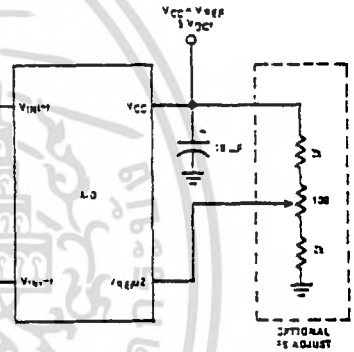
Note: before using caps at V_{IN} or $V_{REF}/2$, see section 2.3.2 Input Bypass Capacitors.

Absolute with a 2.500V Reference

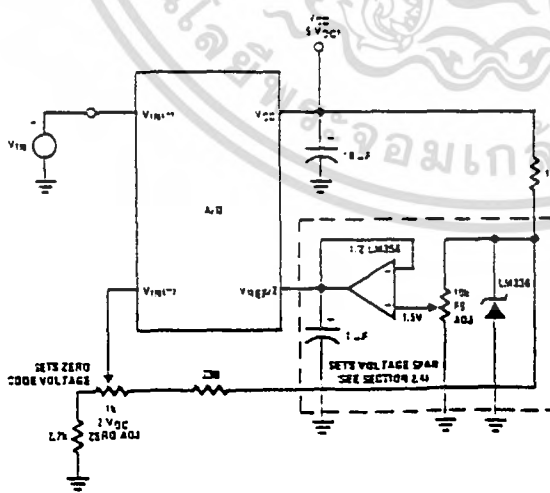


*For low power, see also LM385-2.5

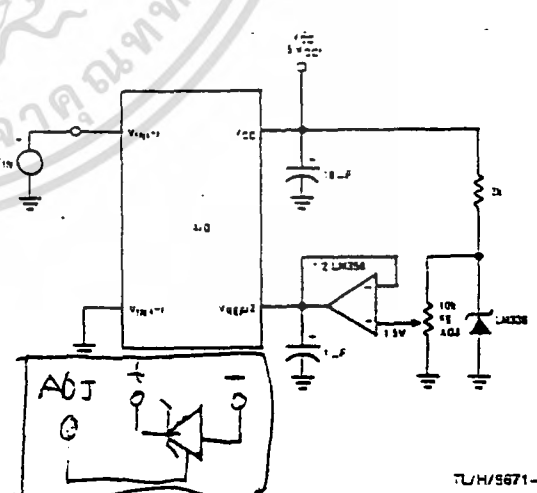
Absolute with a 5V Reference



Zero-Shift and Span Adjust: $2V \leq V_{IN} \leq 5V$



Span Adjust: $0V \leq V_{IN} \leq 3V$



TL/H/5671-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description

1.0 UNDERSTANDING A/D ERROR SPECS

A perfect A/D transfer characteristic (staircase waveform) is shown in Figure 1a. The horizontal scale is analog input voltage and the particular points labeled are in steps of 1 LSB (19.53 mV with 2.5V tied to the $V_{REF}/2$ pin). The digital output codes that correspond to these inputs are shown as $D-1$, D , and $D+1$. For the perfect A/D, not only will center-value ($A-1$, A , $A+1$,) analog inputs produce the correct output digital codes, but also each riser (the transitions between adjacent output codes) will be located $\pm 1/2$ LSB away from each center-value. As shown, the risers are ideal and have no width. Correct digital output codes will be provided for a range of analog input voltages that extend $\pm 1/2$ LSB from the ideal center-values. Each tread (the range of analog input voltage that provides the same digital output code) is therefore 1 LSB wide.

Figure 1b shows a worst case error plot for the ADC0801. All center-valued inputs are guaranteed to produce the correct output codes and the adjacent risers are guaranteed to be no closer to the center-value points than $\pm 1/4$ LSB. In

other words, if we apply an analog input equal to the center-value $\pm 1/4$ LSB, we guarantee that the A/D will produce the correct digital code. The maximum range of the position of the code transition is indicated by the horizontal arrow and it is guaranteed to be no more than $1/2$ LSB.

The error curve of Figure 1c shows a worst case error plot for the ADC0802. Here we guarantee that if we apply an analog input equal to the LSB analog voltage center-value the A/D will produce the correct digital code.

Next to each transfer function is shown the corresponding error plot. Many people may be more familiar with error plots than transfer functions. The analog input voltage to the A/D is provided by either a linear ramp or by the discrete output steps of a high resolution DAC. Notice that the error is continuously displayed and includes the quantization uncertainty of the A/D. For example the error at point 1 of Figure 1a is $+1/2$ LSB because the digital code appeared $1/2$ LSB in advance of the center-value of the tread. The error plots always have a constant negative slope and the abrupt up-side steps are always 1 LSB in magnitude.

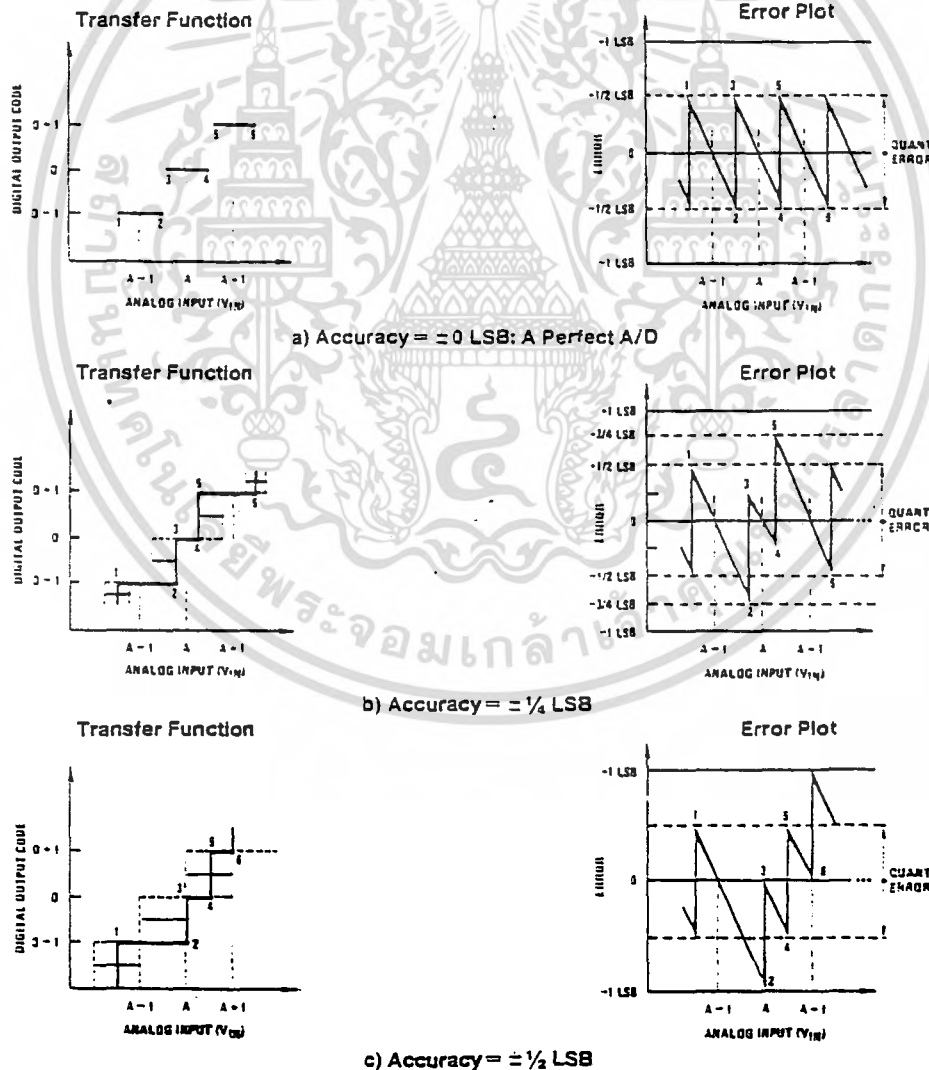


FIGURE 1. Clarifying the Error Specs of an A/D Converter

TLH/5671-12

Functional Description (Continued)

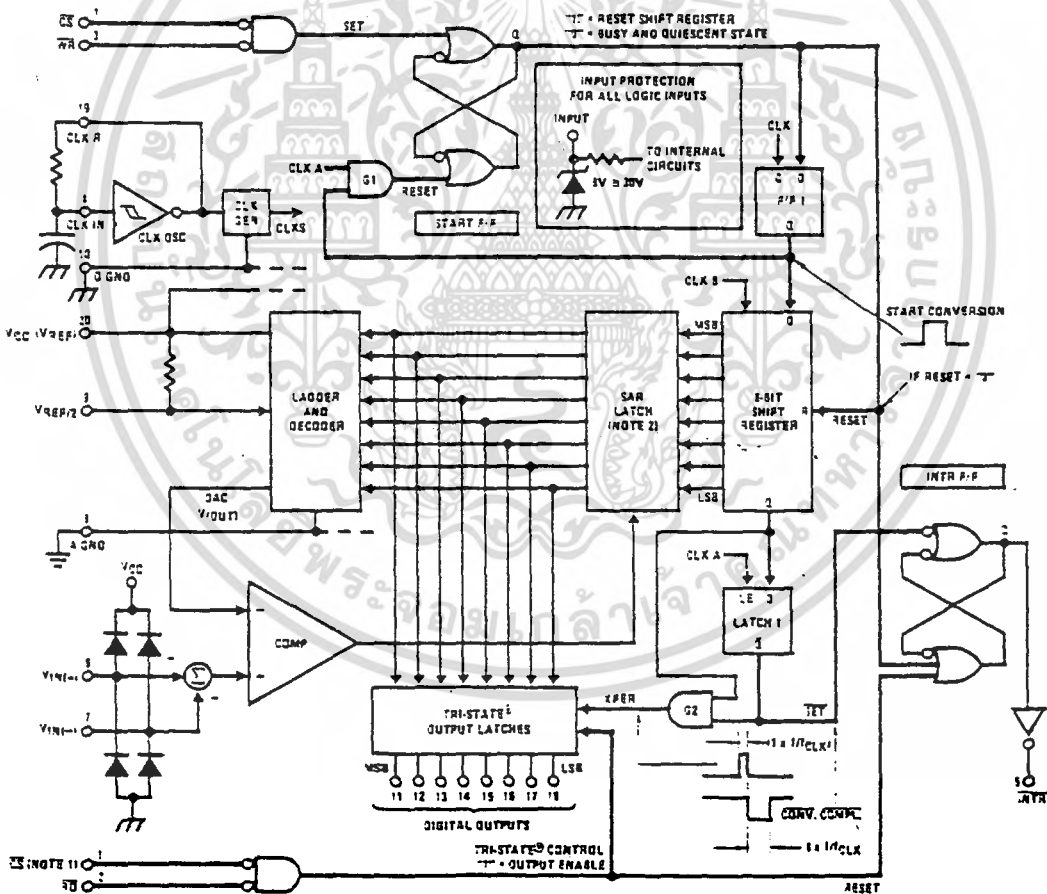
2.0 FUNCTIONAL DESCRIPTION

The ADC0801 series contains a circuit equivalent of the 256R network. Analog switches are sequenced by successive approximation logic to match the analog difference input voltage $[V_{IN(+)} - V_{IN(-)}]$ to a corresponding tap on the R network. The most significant bit is tested first and after 8 comparisons (64 clock cycles) a digital 8-bit binary code (1111 1111 = full-scale) is transferred to an output latch and then an interrupt is asserted (\overline{INTR} makes a high-to-low transition). A conversion in process can be interrupted by issuing a second start command. The device may be operated in the free-running mode by connecting \overline{INTR} to the \overline{WR} input with $\overline{CS}=0$. To ensure start-up under all possible conditions, an external \overline{WR} pulse is required during the first power-up cycle.

On the high-to-low transition of the \overline{WR} input the internal SAR latches and the shift register stages are reset. As long as the \overline{CS} input and \overline{WR} input remain low, the A/D will remain in a reset state. Conversion will start from 1 to 8 clock periods after at least one of these inputs makes a low-to-high transition.

A functional diagram of the A/D converter is shown in Figure 2. All of the package pinouts are shown and the major logic control paths are drawn in heavier weight lines.

The converter is started by having \overline{CS} and \overline{WR} simultaneously low. This sets the start flip-flop (F/F) and the resulting "1" level resets the 8-bit shift register, resets the Interrupt (\overline{INTR}) F/F and inputs a "1" to the D flop, F/F1, which is at the input end of the 8-bit shift register. Internal clock signals then transfer this "1" to the Q output of F/F1. The AND gate, G1, combines this "1" output with a clock signal to provide a reset signal to the start F/F. If the set signal is no longer present (either \overline{WR} or \overline{CS} is a "1") the start F/F is reset and the 8-bit shift register then can have the "1" clocked in, which starts the conversion process. If the set signal were to still be present, this reset pulse would have no effect (both outputs of the start F/F would momentarily be at a "1" level) and the 8-bit shift register would continue to be held in the reset mode. This logic therefore allows for wide \overline{CS} and \overline{WR} signals and the converter will start after at least one of these signals returns high and the internal clocks again provide a reset signal for the start F/F.



Note 1: \overline{CS} shown twice for clarity.
 Note 2: SAR = Successive Approximation Register.

FIGURE 2. Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description (Continued)

After the "1" is clocked through the 8-bit shift register (which completes the SAR search) it appears as the input to the D-type latch, LATCH 1. As soon as this "1" is output from the shift register, the AND gate, G2, causes the new digital word to transfer to the TRI-STATE output latches. When LATCH 1 is subsequently enabled, the Q output makes a high-to-low transition which causes the INTR F/F to set. An inverting buffer then supplies the $\overline{\text{INTR}}$ input signal.

Note that this $\overline{\text{SET}}$ control of the INTR F/F remains low for 8 of the external clock periods (as the internal clocks run at $\frac{1}{8}$ of the frequency of the external clock). If the data output is continuously enabled ($\overline{\text{CS}}$ and $\overline{\text{RD}}$ both held low), the $\overline{\text{INTR}}$ output will still signal the end of conversion (by a high-to-low transition), because the $\overline{\text{SET}}$ input can control the Q output of the INTR F/F even though the RESET input is constantly at a "1" level in this operating mode. This $\overline{\text{INTR}}$ output will therefore stay low for the duration of the $\overline{\text{SET}}$ signal, which is 8 periods of the external clock frequency (assuming the A/D is not started during this interval).

When operating in the free-running or continuous conversion mode ($\overline{\text{INTR}}$ pin tied to $\overline{\text{WR}}$ and $\overline{\text{CS}}$ wired low—see also section 2.8), the START F/F is SET by the high-to-low transition of the $\overline{\text{INTR}}$ signal. This resets the SHIFT REGISTER which causes the input to the D-type latch, LATCH 1, to go low. As the latch enable input is still present, the $\overline{\text{Q}}$ output will go high, which then allows the INTR F/F to be RESET. This reduces the width of the resulting $\overline{\text{INTR}}$ output pulse to only a few propagation delays (approximately 300 ns).

When data is to be read, the combination of both $\overline{\text{CS}}$ and $\overline{\text{RD}}$ being low will cause the INTR F/F to be reset and the TRI-STATE output latches will be enabled to provide the 8-bit digital outputs.

2.1 Digital Control Inputs

The digital control inputs ($\overline{\text{CS}}$, $\overline{\text{RD}}$, and $\overline{\text{WR}}$) meet standard TTL logic voltage levels. These signals have been renamed when compared to the standard A/D Start and Output Enable labels. In addition, these inputs are active low to allow an easy interface to microprocessor control busses. For non-microprocessor based applications, the $\overline{\text{CS}}$ input (pin 1) can be grounded and the standard A/D Start function is obtained by an active low pulse applied at the $\overline{\text{WR}}$ input (pin 3) and the Output Enable function is caused by an active low pulse at the $\overline{\text{RD}}$ input (pin 2).

2.2 Analog Differential Voltage Inputs and Common-Mode Rejection

This A/D has additional applications flexibility due to the analog differential voltage input. The $V_{\text{IN}}(-)$ input (pin 7) can be used to automatically subtract a fixed voltage value from the input reading (tare correction). This is also useful in 4 mA–20 mA current loop conversion. In addition, common-mode noise can be reduced by use of the differential input.

The time interval between sampling $V_{\text{IN}}(+)$ and $V_{\text{IN}}(-)$ is $\frac{1}{2}$ clock periods. The maximum error voltage due to this

slight time difference between the input voltage samples is given by:

$$\Delta V_{\theta}(\text{MAX}) = (V_p) (2\pi f_{\text{cm}}) \left(\frac{4.5}{f_{\text{CLK}}} \right)$$

where:

- ΔV_{θ} is the error voltage due to sampling delay
- V_p is the peak value of the common-mode voltage
- f_{cm} is the common-mode frequency

As an example, to keep this error to $\frac{1}{4}$ LSB (~ 5 mV) when operating with a 60 Hz common-mode frequency, f_{cm} , and using a 640 kHz A/D clock, f_{CLK} , would allow a peak value of the common-mode voltage, V_p , which is given by:

$$V_p = \frac{[\Delta V_{\theta}(\text{MAX}) (f_{\text{CLK}})]}{(2\pi f_{\text{cm}}) (4.5)}$$

or

$$V_p = \frac{(5 \times 10^{-3}) (640 \times 10^3)}{(6.28) (60) (4.5)}$$

which gives

$$V_p \approx 1.3\text{V}$$

The allowed range of analog input voltages usually places more severe restrictions on input common-mode noise levels.

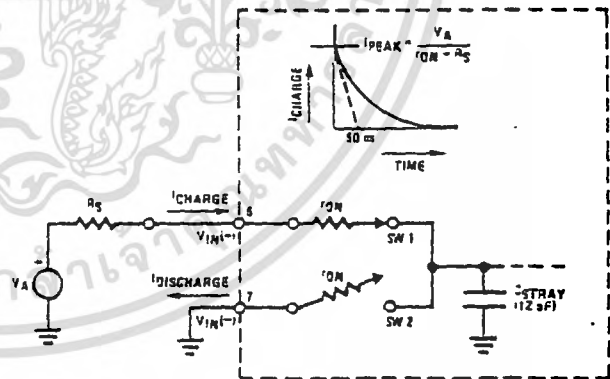
An analog input voltage with a reduced span and a relatively large zero offset can be handled easily by making use of the differential input (see section 2.4 Reference Voltage).

2.3 Analog Inputs

2.3.1 Input Current

Normal Mode

Due to the internal switching action, displacement currents will flow at the analog inputs. This is due to on-chip stray capacitance to ground as shown in Figure 3.



r_{ON} of SW 1 and SW 2 ≈ 5 k Ω

$t = r_{\text{ON}} C_{\text{STRAY}} \approx 5$ k $\Omega \times 12$ pF = 60 ns

FIGURE 3. Analog Input Impedance

Functional Description (Continued)

The voltage on this capacitance is switched and will result in currents entering the $V_{IN}(+)$ input pin and leaving the $V_{IN}(-)$ input which will depend on the analog differential input voltage levels. These current transients occur at the leading edge of the internal clocks. They rapidly decay and *do not cause errors* as the on-chip comparator is strobed at the end of the clock period.

Fault Mode

If the voltage source applied to the $V_{IN}(+)$ or $V_{IN}(-)$ pin exceeds the allowed operating range of $V_{CC} + 50$ mV, large input currents can flow through a parasitic diode to the V_{CC} pin. If these currents can exceed the 1 mA max allowed spec, an external diode (1N914) should be added to bypass this current to the V_{CC} pin (with the current bypassed with this diode, the voltage at the $V_{IN}(+)$ pin can exceed the V_{CC} voltage by the forward voltage of this diode).

2.3.2 Input Bypass Capacitors

Bypass capacitors at the inputs will average these charges and cause a DC current to flow through the output resistances of the analog signal sources. This charge pumping action is worse for continuous conversions with the $V_{IN}(-)$ input voltage at full-scale. For continuous conversions with a 640 kHz clock frequency with the $V_{IN}(-)$ input at 5V, this DC current is at a maximum of approximately 5 μ A. Therefore, *bypass capacitors should not be used at the analog inputs or the $V_{REF}/2$ pin for high resistance sources (> 1 k Ω).* If input bypass capacitors are necessary for noise filtering and high source resistance is desirable to minimize capacitor size, the detrimental effects of the voltage drop across this input resistance, which is due to the average value of the input current, can be eliminated with a full-scale adjustment while the given source resistor and input bypass capacitor are both in place. This is possible because the average value of the input current is a precise linear function of the differential input voltage.

2.3.3 Input Source Resistance

Large values of source resistance where an input bypass capacitor is not used, *will not cause errors* as the input currents settle out prior to the comparison time. If a low pass filter is required in the system, use a low valued series resistor (≤ 1 k Ω) for a passive RC section or add an op amp RC active low pass filter. For low source resistance applications, (≤ 1 k Ω), a 0.1 μ F bypass capacitor at the inputs will prevent noise pickup due to series lead inductance of a long wire. A 100 Ω series resistor can be used to isolate this capacitor—both the R and C are placed outside the feedback loop—from the output of an op amp, if used.

2.3.4 Noise

The leads to the analog inputs (pin 6 and 7) should be kept as short as possible to minimize input noise coupling. Both noise and undesired digital clock coupling to these inputs can cause system errors. The source resistance for these inputs should, in general, be kept below 5 k Ω . Larger values of source resistance can cause undesired system noise pickup. Input bypass capacitors, placed from the analog inputs to ground, will eliminate system noise pickup but can create analog scale errors as these capacitors will average the transient input switching currents of the A/D (see section 2.3.1.). This scale error depends on both a large source

resistance and the use of an input bypass capacitor. This error can be eliminated by doing a full-scale adjustment of the A/D (adjust $V_{REF}/2$ for a proper full-scale reading—see section 2.5.2 on Full-Scale Adjustment) with the source resistance and input bypass capacitor in place.

2.4 Reference Voltage

2.4.1 Span Adjust

For maximum applications flexibility, these A/Ds have been designed to accommodate a $5 V_{DC}$, $2.5 V_{DC}$ or an adjusted voltage reference. This has been achieved in the design of the IC as shown in Figure 4.

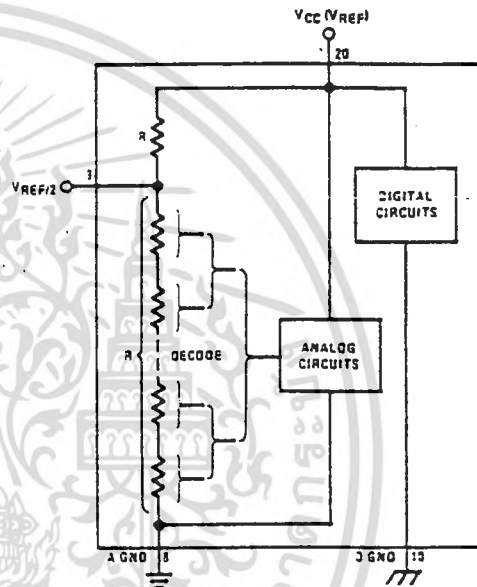
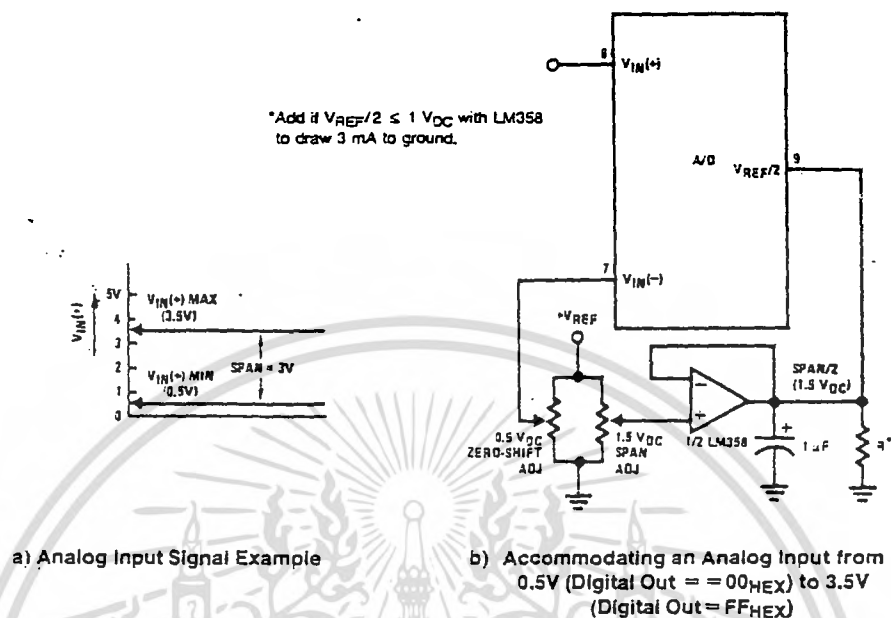


FIGURE 4. The $V_{REFERENCE}$ Design on the IC

Notice that the reference voltage for the IC is either $1/2$ of the voltage applied to the V_{CC} supply pin, or is equal to the voltage that is externally forced at the $V_{REF}/2$ pin. This allows for a ratiometric voltage reference using the V_{CC} supply, a $5 V_{DC}$ reference voltage can be used for the V_{CC} supply or a voltage less than $2.5 V_{DC}$ can be applied to the $V_{REF}/2$ input for increased application flexibility. The internal gain to the $V_{REF}/2$ input is 2, making the full-scale differential input voltage twice the voltage at pin 9.

An example of the use of an adjusted reference voltage is to accommodate a reduced span—or dynamic voltage range of the analog input voltage. If the analog input voltage were to range from $0.5 V_{DC}$ to $3.5 V_{DC}$, instead of 0V to $5 V_{DC}$, the span would be 3V as shown in Figure 5. With $0.5 V_{DC}$ applied to the $V_{IN}(-)$ pin to absorb the offset, the reference voltage can be made equal to $1/2$ of the 3V span or $1.5 V_{DC}$. The A/D now will encode the $V_{IN}(+)$ signal from 0.5V to 3.5 V with the 0.5V input corresponding to zero and the 3.5 V_{DC} input corresponding to full-scale. The full 8 bits of resolution are therefore applied over this reduced analog input voltage range.

Functional Description (Continued)



TL/H/5871-16

FIGURE 5. Adapting the A/D Analog Input Voltages to Match an Arbitrary Input Signal Range

2.4.2 Reference Accuracy Requirements

The converter can be operated in a ratiometric mode or an absolute mode. In ratiometric converter applications, the magnitude of the reference voltage is a factor in both the output of the source transducer and the output of the A/D converter and therefore cancels out in the final digital output code. The ADC0805 is specified particularly for use in ratiometric applications with no adjustments required. In absolute conversion applications, both the initial value and the temperature stability of the reference voltage are important factors in the accuracy of the A/D converter. For $V_{REF}/2$ voltages of $2.4 V_{DC}$ nominal value, initial errors of ± 10 mV_{DC} will cause conversion errors of ± 1 LSB due to the gain of 2 of the $V_{REF}/2$ input. In reduced span applications, the initial value and the stability of the $V_{REF}/2$ input voltage become even more important. For example, if the span is reduced to 2.5V, the analog input LSB voltage value is correspondingly reduced from 20 mV (5V span) to 10 mV and 1 LSB at the $V_{REF}/2$ input becomes 5 mV. As can be seen, this reduces the allowed initial tolerance of the reference voltage and requires correspondingly less absolute change with temperature variations. Note that spans smaller than 2.5V place even tighter requirements on the initial accuracy and stability of the reference source.

In general, the magnitude of the reference voltage will require an initial adjustment. Errors due to an improper value of reference voltage appear as full-scale errors in the A/D transfer function. IC voltage regulators may be used for references if the ambient temperature changes are not excessive. The LM336B 2.5V IC reference diode (from National Semiconductor) has a temperature stability of 1.8 mV \pm yp (6 mV max) over $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$. Other temperature range parts are also available.

2.5 Errors and Reference Voltage Adjustments

2.5.1 Zero Error

The zero of the A/D does not require adjustment. If the minimum analog input voltage value, $V_{IN(MIN)}$, is not ground, a zero offset can be done. The converter can be made to output 0000 0000 digital code for this minimum input voltage by biasing the A/D $V_{IN(-)}$ input at this $V_{IN(MIN)}$ value (see Applications section). This utilizes the differential mode operation of the A/D.

The zero error of the A/D converter relates to the location of the first riser of the transfer function and can be measured by grounding the $V_{IN(-)}$ input and applying a small magnitude positive voltage to the $V_{IN(-)}$ input. Zero error is the difference between the actual DC input voltage that is necessary to just cause an output digital code transition from 0000 0000 to 0000 0001 and the ideal $1/2$ LSB value ($1/2$ LSB = 9.8 mV for $V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$).

2.5.2 Full-Scale

The full-scale adjustment can be made by applying a differential input voltage that is $1/2$ LSB less than the desired analog full-scale voltage range and then adjusting the magnitude of the $V_{REF}/2$ input (pin 9 or the V_{CC} supply if pin 9 is not used) for a digital output code that is just changing from 1111 1110 to 1111 1111.

Functional Description (Continued)

2.5.3 Adjusting for an Arbitrary Analog Input Voltage Range

If the analog zero voltage of the A/D is shifted away from ground (for example, to accommodate an analog input signal that does not go to ground) this new zero reference should be properly adjusted first. A $V_{IN}(+)$ voltage that equals this desired zero reference plus $\frac{1}{2}$ LSB (where the LSB is calculated for the desired analog span, $1 \text{ LSB} = \text{analog span}/256$) is applied to pin 6 and the zero reference voltage at pin 7 should then be adjusted to just obtain the 00_{HEX} to 01_{HEX} code transition.

The full-scale adjustment should then be made (with the proper $V_{IN}(-)$ voltage applied) by forcing a voltage to the $V_{IN}(+)$ input which is given by:

$$V_{IN}(+) \text{ fs adj} = V_{\text{MAX}} - 1.5 \left[\frac{V_{\text{MAX}} - V_{\text{MIN}}}{256} \right]$$

where:

V_{MAX} = The high end of the analog input range and

V_{MIN} = the low end (the offset zero) of the analog range. (Both are ground referenced.)

The $V_{\text{REF}}/2$ (or V_{CC}) voltage is then adjusted to provide a code change from FE_{HEX} to FF_{HEX} . This completes the adjustment procedure.

2.6 Clocking Option

The clock for the A/D can be derived from the CPU clock or an external RC can be added to provide self-clocking. The CLK IN (pin 4) makes use of a Schmitt trigger as shown in Figure 6.

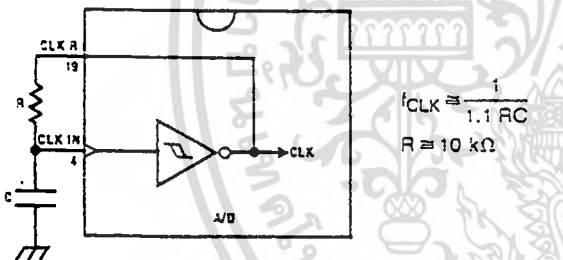


FIGURE 6. Self-Clocking the A/D

Heavy capacitive or DC loading of the clock R pin should be avoided as this will disturb normal converter operation. Loads less than 50 pF, such as driving up to 7 A/D converter clock inputs from a single clock R pin of 1 converter, are allowed. For larger clock line loading, a CMOS or low power TTL buffer or PNP input logic should be used to minimize the loading on the clock R pin (do not use a standard TTL buffer).

2.7 Restart During a Conversion

If the A/D is restarted ($\overline{\text{CS}}$ and $\overline{\text{WR}}$ go low and return high) during a conversion, the converter is reset and a new conversion is started. The output data latch is not updated if the

conversion in process is not allowed to be completed, therefore the data of the previous conversion remains in this latch. The $\overline{\text{INTR}}$ output simply remains at the "1" level.

2.8 Continuous Conversions

For operation in the free-running mode an initializing pulse should be used, following power-up, to ensure circuit operation. In this application, the $\overline{\text{CS}}$ input is grounded and the $\overline{\text{WR}}$ input is tied to the $\overline{\text{INTR}}$ output. This $\overline{\text{WR}}$ and $\overline{\text{INTR}}$ node should be momentarily forced to logic low following a power-up cycle to guarantee operation.

2.9 Driving the Data Bus

This MOS A/D, like MOS microprocessors and memories, will require a bus driver when the total capacitance of the data bus gets large. Other circuitry, which is tied to the data bus, will add to the total capacitive loading, even in TRI-STATE (high impedance mode). Backplane bussing also greatly adds to the stray capacitance of the data bus.

There are some alternatives available to the designer to handle this problem. Basically, the capacitive loading of the data bus slows down the response time, even though DC specifications are still met. For systems operating with a relatively slow CPU clock frequency, more time is available in which to establish proper logic levels on the bus and therefore higher capacitive loads can be driven (see typical characteristics curves).

At higher CPU clock frequencies time can be extended for I/O reads (and/or writes) by inserting wait states (8080) or using clock extending circuits (6800).

Finally, if time is short and capacitive loading is high, external bus drivers must be used. These can be TRI-STATE buffers (low power Schottky such as the DM74LS240 series is recommended) or special higher drive current products which are designed as bus drivers. High current bipolar bus drivers with PNP inputs are recommended.

2.10 Power Supplies

Noise spikes on the V_{CC} supply line can cause conversion errors as the comparator will respond to this noise. A low inductance tantalum filter capacitor should be used close to the converter V_{CC} pin and values of 1 μF or greater are recommended. If an unregulated voltage is available in the system, a separate LM340LAZ-5.0, TO-92, 5V voltage regulator for the converter (and other analog circuitry) will greatly reduce digital noise on the V_{CC} supply.

2.11 Wiring and Hook-Up Precautions

Standard digital wire wrap sockets are not satisfactory for breadboarding this A/D converter. Sockets on PC boards can be used and all logic signal wires and leads should be grouped and kept as far away as possible from the analog signal leads. Exposed leads to the analog inputs can cause undesired digital noise and hum pickup, therefore shielded leads may be necessary in many applications.

Functional Description (Continued)

A single point analog ground that is separate from the logic ground points should be used. The power supply bypass capacitor and the self-clocking capacitor (if used) should both be returned to digital ground. Any $V_{REF}/2$ bypass capacitors, analog input filter capacitors, or input signal shielding should be returned to the analog ground point. A test for proper grounding is to measure the zero error of the A/D converter. Zero errors in excess of $1/4$ LSB can usually be traced to improper board layout and wiring (see section 2.5.1 for measuring the zero error).

3.0 TESTING THE A/D CONVERTER

There are many degrees of complexity associated with testing an A/D converter. One of the simplest tests is to apply a known analog input voltage to the converter and use LEDs to display the resulting digital output code as shown in Figure 7.

For ease of testing, the $V_{REF}/2$ (pin 9) should be supplied with 2.560 V_{DC} and a V_{CC} supply voltage of 5.12 V_{DC} should be used. This provides an LSB value of 20 mV.

If a full-scale adjustment is to be made, an analog input voltage of 5.090 V_{DC} (5.120 - $1\frac{1}{2}$ LSB) should be applied to the V_{IN}(+) pin with the V_{IN}(-) pin grounded. The value of the $V_{REF}/2$ input voltage should then be adjusted until the digital output code is just changing from 1111 1110 to 1111 1111. This value of $V_{REF}/2$ should then be used for all the tests.

The digital output LED display can be decoded by dividing the 8 bits into 2 hex characters, the 4 most significant (MS) and the 4 least significant (LS). Table I shows the fractional binary equivalent of these two 4-bit groups. By adding the voltages obtained from the "VMS" and "VLS" columns in Table I, the nominal value of the digital display (when

$V_{REF}/2 = 2.560V$) can be determined. For example, for an output LED display of 1011 0110 or B6 (in hex), the voltage values from the table are $3.520 + 0.120$ or 3.640 V_{DC}. These voltage values represent the center-values of a perfect A/D converter. The effects of quantization error have to be accounted for in the interpretation of the test results.

For a higher speed test system, or to obtain plotted data, a digital-to-analog converter is needed for the test set-up. An accurate 10-bit DAC can serve as the precision voltage source for the A/D. Errors of the A/D under test can be expressed as either analog voltages or differences in 2 digital words.

A basic A/D tester that uses a DAC and provides the error as an analog output voltage is shown in Figure 8. The 2 op amps can be eliminated if a lab DVM with a numerical subtraction feature is available to read the difference voltage, "A-C", directly. The analog input voltage can be supplied by a low frequency ramp generator and an X-Y plotter can be used to provide analog error (Y axis) versus analog input (X axis). The construction details of a tester of this type are provided in the NSC application note AN-179, "Analog-to-Digital Converter Testing".

For operation with a microprocessor or a computer-based test system, it is more convenient to present the errors digitally. This can be done with the circuit of Figure 9, where the output code transitions can be detected as the 10-bit DAC is incremented. This provides $1/4$ LSB steps for the 8-bit A/D under test. If the results of this test are automatically plotted with the analog input on the X axis and the error (in LSB's) as the Y axis, a useful transfer function of the A/D under test results. For acceptance testing, the plot is not necessary and the testing speed can be increased by establishing internal limits on the allowed error for each code.

4.0 MICROPROCESSOR INTERFACING

To discuss the interface with 8080A and 6800 microprocessors, a common sample subroutine structure is used. The microprocessor starts the A/D, reads and stores the results of 16 successive conversions, then returns to the user's program. The 16 data bytes are stored in 16 successive memory locations. All Data and Addresses will be given in hexadecimal form. Software and hardware details are provided separately for each type of microprocessor.

4.1 Interfacing 8080 Microprocessor Derivatives (8048, 8085)

This converter has been designed to directly interface with derivatives of the 8080 microprocessor. The A/D can be mapped into memory space (using standard memory address decoding for \overline{CS} and the \overline{MEMR} and \overline{MEMW} strobes) or it can be controlled as an I/O device by using the $\overline{I/O \overline{R}}$ and $\overline{I/O \overline{W}}$ strobes and decoding the address bits A0 → A7 (or address bits A8 → A15 as they will contain the same 8-bit address information) to obtain the \overline{CS} input. Using the I/O space provides 256 additional addresses and may allow a simpler 8-bit address decoder but the data can only be input to the accumulator. To make use of the additional memory reference instructions, the A/D should be mapped into memory space. An example of an A/D in I/O space is shown in Figure 10.

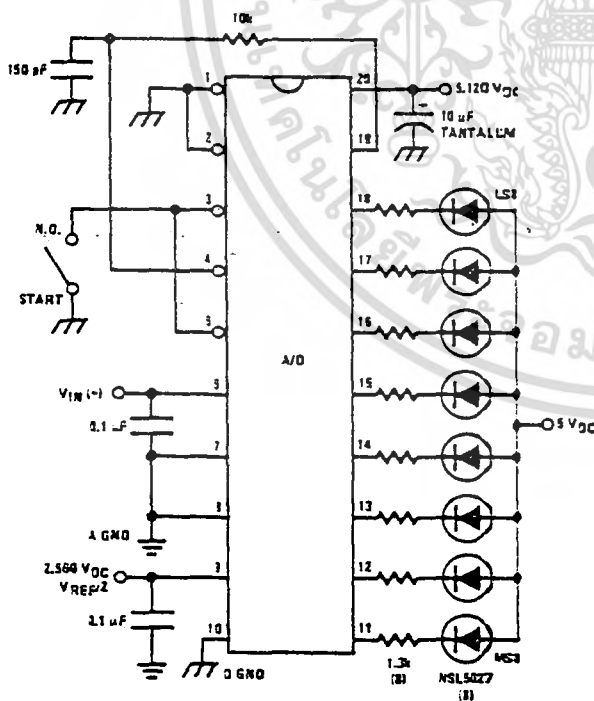


FIGURE 7. Basic A/D Tester

Functional Description (Continued)

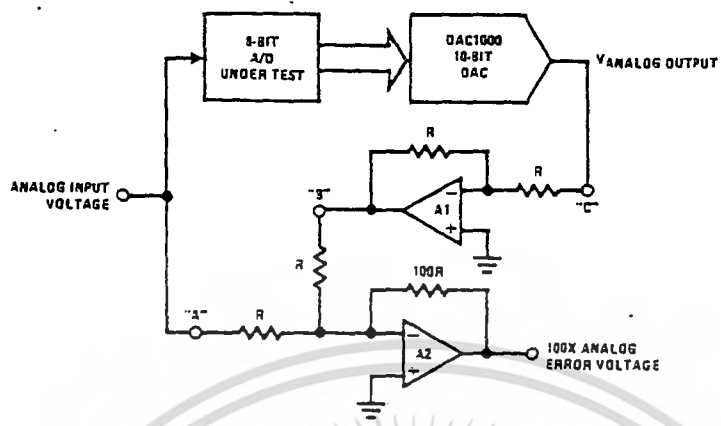


FIGURE 8. A/D Tester with Analog Error Output



FIGURE 9. Basic "Digital" A/D Tester

TL/H/5871-19

TABLE I. DECODING THE DIGITAL OUTPUT LEDs

HEX	BINARY	FRACTIONAL BINARY VALUE FOR		OUTPUT VOLTAGE CENTER VALUES WITH $V_{REF}/2 = 2.560 V_{DC}$	
		MS GROUP	LS GROUP	VMS GROUP*	VLS GROUP*
F	1 1 1 1 1	15/16	15/256	4.800	0.300
E	1 1 1 0	7/8	7/128	4.480	0.280
D	1 1 0 1	13/16	13/256	4.160	0.260
C	1 1 0 0	3/4	3/64	3.840	0.240
B	1 0 1 1	11/16	11/256	3.520	0.220
A	1 0 1 0	5/8	5/128	3.200	0.200
9	1 0 0 1	9/16	9/256	2.880	0.180
8	1 0 0 0	1/2	1/32	2.560	0.160
7	0 1 1 1	7/16	7/256	2.240	0.140
6	0 1 1 0	3/8	3/128	1.920	0.120
5	0 1 0 1	5/16	2/256	1.600	0.100
4	0 1 0 0	1/4	1/64	1.280	0.080
3	0 0 1 1	3/16	3/256	0.960	0.060
2	0 0 1 0	1/8	1/128	0.640	0.040
1	0 0 0 1	1/16	1/256	0.320	0.020
0	0 0 0 0			0	0

*Display Output = VMS Group - VLS Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description (Continued)

The standard control bus signals of the 8080 (\overline{CS} , \overline{RD} and \overline{WR}) can be directly wired to the digital control inputs of the A/D and the bus timing requirements are met to allow both starting the converter and outputting the data onto the data bus. A bus driver should be used for larger microprocessor systems where the data bus leaves the PC board and/or must drive capacitive loads larger than 100 pF.

4.1.1 Sample 8080A CPU Interfacing Circuitry and Program

The following sample program and associated hardware shown in Figure 10 may be used to input data from the converter to the INS8080A CPU chip set (comprised of the INS8080A microprocessor, the INS8228 system controller and the INS8224 clock generator). For simplicity, the A/D is controlled as an I/O device, specifically an 8-bit bi-directional port located at an arbitrarily chosen port address, E0. The TRI-STATE output capability of the A/D eliminates the need for a peripheral interface device, however address decoding is still required to generate the appropriate \overline{CS} for the converter.

It is important to note that in systems where the A/D converter is 1-of-8 or less I/O mapped devices, no address decoding circuitry is necessary. Each of the 8 address bits (A0 to A7) can be directly used as \overline{CS} inputs—one for each I/O device.

4.1.2 INS8048 Interface

The INS8048 interface technique with the ADC0801 series (see Figure 11) is simpler than the 8080A CPU interface. There are 24 I/O lines and three test input lines in the 8048. With these extra I/O lines available, one of the I/O lines (bit 0 of port 1) is used as the chip select signal to the A/D, thus eliminating the use of an external address decoder. Bus control signals \overline{RD} , \overline{WR} and \overline{INT} of the 8048 are tied directly to the A/D. The 16 converted data words are stored at on-chip RAM locations from 20 to 2F (Hex). The \overline{RD} and \overline{WR} signals are generated by reading from and writing into a dummy address, respectively. A sample interface program is shown below.

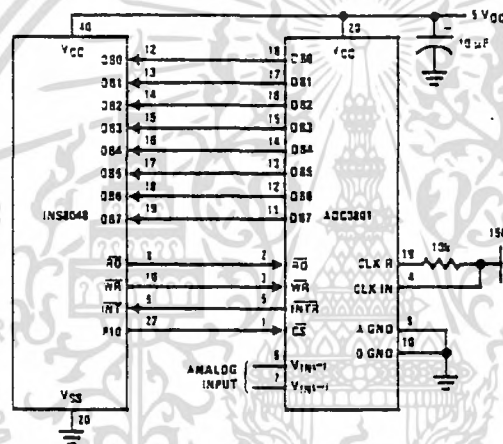


FIGURE 11. INS8048 Interface

SAMPLE PROGRAM FOR FIGURE 11 INS8048 INTERFACE

```

04 10          JMP      10H          ; Program starts at addr 10
              ORG      3H
04 50          JMP      50H          ; Interrupt jump vector
              ORG      10H          ; Main program
99 FE          ANL      P1, #0FEH   ; Chip select
31             MOVX    A, @R1       ; Read in the 1st data
              ; to reset the intr
39 01          START:  ORL      P1, #1 ; Set port pin high
38 20          MOV      RO, #20H    ; Data address
39 FF          MOV      R1, #0FFH   ; Dummy address
3A 10          MOV      R2, #10H    ; Counter for 16 bytes
23 FF          AGAIN:  MOV      A, #0FFH ; Set ACC for intr loop
99 FE          ANL      P1, #0FEH   ; Send CS (bit 0 of P1)
91             MOVX    @R1, A       ; Send WR out
05             EN        I         ; Enable interrupt
96 21          LOOP:   JNZ      LOOP ; Wait for interrupt
EA 1B          DJNZ    R2, AGAIN    ; If 16 bytes are read
00             NOP
00             NOP
91             INDATA: MOVX    A, @R1 ; Input data, CS still low
A0             MOV      @RO, A     ; Store in memory
1B             INC     RO           ; Increment storage counter
89 01          ORL      P1, #1      ; Reset CS signal
27             CLR     A           ; Clear ACC to get out of
93             RETR            ; the interrupt loop
    
```



MOTOROLA

**MC14051B
MC14052B
MC14053B**

ANALOG MULTIPLEXERS/DEMULTIPLEXERS

The MC14051B, MC14052B, and MC14053B analog multiplexers are digitally-controlled analog switches. The MC14051B effectively implements an SP8T solid state switch, the MC14052B a DP4T, and the MC14053B a Triple SPDT. All three devices feature low ON impedance and very low OFF leakage current. Control of analog signals up to the complete supply voltage range can be achieved.

- Switch Function is Break Before Make
- Supply Voltage Range = 3.0 Vdc to 18 Vdc
- Analog Voltage Range ($V_{DD} - V_{EE}$) = 3.0 to 18 V
Note: V_{EE} must be $\leq V_{SS}$
- Linearized Transfer Characteristics
- Low-noise — 12 nV/ $\sqrt{\text{Cycle}}$, $f \geq 1.0$ kHz Typical
- Pin-for-Pin Replacement for CD4051, CD4052, and CD4053
- For 4PDT Switch, See MC14551B
- For Lower R_{ON} , Use the HC4051, HC4052, or HC4053 High-Speed CMOS Devices



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 620



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 648



D SUFFIX
SOIC
CASE 751B

MAXIMUM RATINGS*

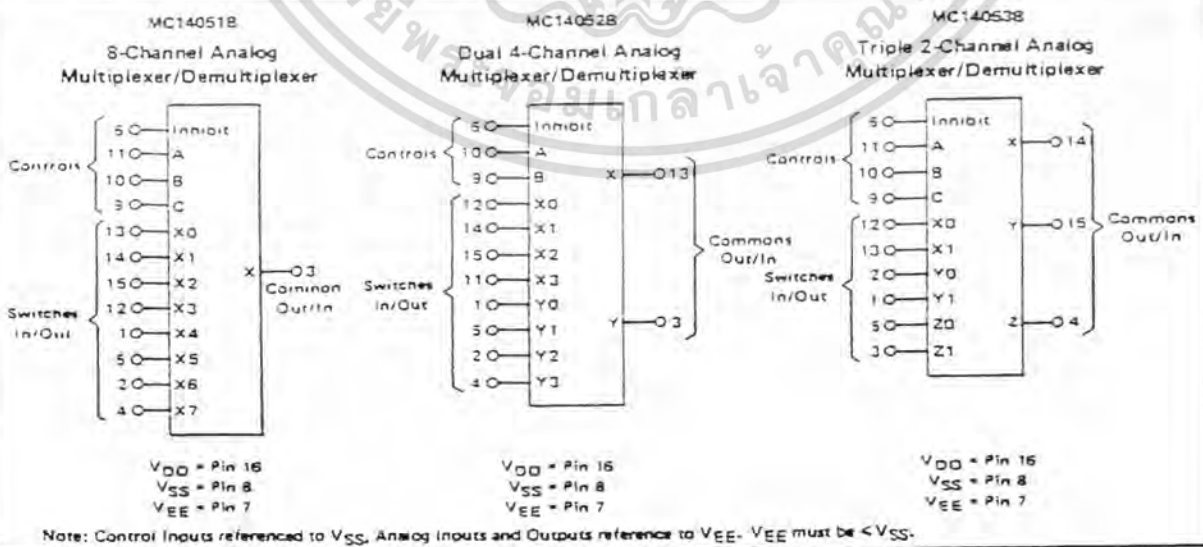
Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DD}	DC Supply Voltage (Referenced to V_{EE} , $V_{SS} \geq V_{EE}$)	-0.5 to +18.0	V
V_{in}, V_{out}	Input or Output Voltage (DC or Transient) (Referenced to V_{SS} for Control Inputs and V_{EE} for Switch I/O)	-0.5 to $V_{DD} + 0.5$	V
I_{in}	Input Current (DC or Transient) per Control Pin	± 10	mA
I_{sw}	Switch Through Current	± 25	mA
P_D	Power Dissipation, per Package†	500	mW
T_{stg}	Storage Temperature	-55 to +150	°C
T_L	Lead Temperature (8-Second Soldering)	260	°C

*Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.
†Temperature Derating: All Packages: -7.0 mW/°C from 65°C to 125°C.

ORDERING INFORMATION

MC1-XXXXBCP Plastic
MC1-XXXXBCL Ceramic
MC1-XXXXBD SOIC

$T_A = -55^\circ$ to 125°C for all packages.



MC14051B•MC14052B•MC14053B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	V _{DD}	Test Conditions	-55°C		25°C			125°C		Unit
				Min	Max	Min	Typ #	Max	Min	Max	
SUPPLY REQUIREMENTS (Voltages Referenced to V_{EE})											
Power Supply Voltage Range	V _{DD}	—	V _{DD} - 3.0 ≥ V _{SS} ≥ V _{EE}	3.0	18	3.0	—	18	3.0	18	V
Quiescent Current Per Package	I _{DD}	5.0 10 15	Control Inputs: V _{in} = V _{SS} or V _{DD} . Switch I/O: V _{EE} ≤ V _{I/O} ≤ V _{DD} , and ΔV _{switch} ≤ 500 mV**	—	5.0 10 20	—	0.005 0.010 0.015	5.0 10 20	—	150 300 600	μA
Total Supply Current (Dynamic Plus Quiescent, Per Package)	I _{D(AV)}	5.0 10 15	T _A = 25°C only (The channel component, (V _{in} - V _{out})/R _{on} , is not included.)	Typical			(0.07 μA/kHz)f + I _{DD} (0.20 μA/kHz)f + I _{DD} (0.36 μA/kHz)f + I _{DD}				μA
CONTROL INPUTS — INHIBIT, A, B, C (Voltages Referenced to V_{SS})											
Low-Level Input Voltage	V _{IL}	5.0 10 15	R _{on} = per spec. I _{off} = per spec	—	1.5 3.0 4.0	—	2.25 4.50 6.75	1.5 3.0 4.0	—	1.5 3.0 4.0	V
High-Level Input Voltage	V _{IH}	5.0 10 15	R _{on} = per spec. I _{off} = per spec	3.5 7.0 11	— — —	3.5 7.0 11	2.75 5.50 8.25	— — —	3.5 7.0 11	— — —	V
Input Leakage Current	I _{in}	15	V _{in} = 0 or V _{DD}	—	±0.1	—	±0.00001	±0.1	—	±1.0	μA
Input Capacitance	C _{in}	—		—	—	—	5.0	7.5	—	—	pF
SWITCHES IN/OUT AND COMMONS OUT/IN — X, Y, Z (Voltages Referenced to V_{EE})											
Recommended Peak-to-Peak Voltage Into or Out of the Switch	V _{I/O}	—	Channel On or Off	0	V _{DD}	0	—	V _{DD}	0	V _{DD}	V _{PP}
Recommended Static or Dynamic Voltage Across the Switch** (Figure 5)	ΔV _{switch}	—	Channel On	0	600	0	—	600	0	300	mV
Output Offset Voltage	V _{OO}	—	V _{in} = 0 V, No Load	—	—	—	10	—	—	—	μV
ON Resistance	R _{on}	5.0 10 15	ΔV _{switch} ≤ 500 mV** V _{in} = V _{IL} or V _{IH} (Control), and V _{in} = 0 to V _{DD} (Switch)	—	800 400 220	—	250 120 80	1050 500 280	—	1300 550 320	Ω
ΔON Resistance Between Any Two Channels in the Same Package	ΔR _{on}	5.0 10 15		—	70 50 45	—	25 10 10	70 50 45	—	135 95 65	Ω
Off-Channel Leakage Current (Figure 10)	I _{off}	15	V _{in} = V _{IL} or V _{IH} (Control) Channel to Channel or Any One Channel	—	±100	—	±0.05	±100	—	±1000	nA
Capacitance, Switch I/O	C _{I/O}	—	Inhibit = V _{DD}	—	—	—	10	—	—	—	pF
Capacitance, Common O/I	C _{O/I}	—	Inhibit = V _{DD} (MC14051B) (MC14052B) (MC14053B)	—	—	—	60 32 17	—	—	—	pF
Capacitance, Feedthrough (Channel Off)	C _{I/O}	—	Pins Not Adjacent Pins Adjacent	—	—	—	0.15 0.47	—	—	—	pF

#Data labeled "Typ" is not to be used for design purposes, but is intended as an indication of the IC's potential performance.

**For voltage drops across the switch (ΔV_{switch}) > 600 mV (> 300 mV at high temperature), excessive V_{DD} current may be drawn: i.e. the current out of the switch may contain both V_{DD} and switch input components. The reliability of the device will be unaffected unless the Maximum Ratings are exceeded. (See first page of this data sheet.)

6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC14051B•MC14052B•MC14053B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS* (C_L = 50 pF, T_A = 25°C) (V_{EE} < V_{SS} unless otherwise indicated)

Characteristic	Symbol	V _{DD} -V _{EE} V _{dc}	Typ # All Types	Max	Unit
Propagation Delay Times (Figure 6) Switch Input to Switch Output (R _L = 10 kΩ)	t _{PLH} , t _{PHL}				ns
MC14051		5.0	35	90	
t _{PLH} , t _{PHL} = (0.17 ns/pF) C _L + 26.5 ns		10	15	40	
t _{PLH} , t _{PHL} = (0.08 ns/pF) C _L + 11 ns		15	12	30	
t _{PLH} , t _{PHL} = (0.06 ns/pF) C _L + 9.0 ns					
MC14052		5.0	30	75	ns
t _{PLH} , t _{PHL} = (0.17 ns/pF) C _L + 21.5 ns		10	12	30	
t _{PLH} , t _{PHL} = (0.08 ns/pF) C _L + 8.0 ns		15	10	25	
t _{PLH} , t _{PHL} = (0.06 ns/pF) C _L + 7.0 ns					
MC14053		5.0	25	65	ns
t _{PLH} , t _{PHL} = (0.17 ns/pF) C _L + 16.5 ns		10	8.0	20	
t _{PLH} , t _{PHL} = (0.08 ns/pF) C _L + 4.0 ns		15	6.0	15	
t _{PLH} , t _{PHL} = (0.06 ns/pF) C _L + 3.0 ns					
Inhibit to Output (R _L = 10 kΩ, V _{EE} = V _{SS}) Output "1" or "0" to High Impedance, or High Impedance to "1" or "0" Level	t _{PZH} , t _{PLZ} , t _{PZH} , t _{PZL}				ns
MC14051B		5.0	350	700	
		10	170	340	
		15	140	280	
MC14052B		5.0	300	600	ns
		10	155	310	
		15	125	250	
MC14053B		5.0	275	550	ns
		10	140	280	
		15	110	220	
Control Input to Output (R _L = 10 kΩ, V _{EE} = V _{SS})	t _{PLH} , t _{PHL}				ns
MC14051B		5.0	360	720	
		10	160	320	
		15	120	240	
MC14052B		5.0	325	650	ns
		10	130	260	
		15	90	180	
MC14053B		5.0	300	600	ns
		10	120	240	
		15	80	160	
Second Harmonic Distortion (R _L = 10kΩ, f = 1kHz) V _{in} = 5 V _{pp}	-	10	0.07	-	%
Bandwidth (Figure 7) (R _L = 1 kΩ, V _{in} = 1/2 (V _{DD} -V _{EE}) p-p, C _L = 50pF 20 Log $\frac{V_{out}}{V_{in}} = -3$ dB)	BW	10	17	-	MHz
Off Channel Feedthrough Attenuation (Figure 7) R _L = 1kΩ, V _{in} = 1/2 (V _{DD} - V _{EE}) p-p f _{in} = 4.5 MHz — MC14051B f _{in} = 30 MHz — MC14052B f _{in} = 55 MHz — MC14053B	-	10	-50	-	dB
Channel Separation (Figure 8) (R _L = 1 kΩ, V _{in} = 1/2 (V _{DD} -V _{EE}) p-p, f _{in} = 3.0 MHz	-	10	-50	-	dB
Crosstalk, Control Input to Common O/I (Figure 9) (R ₁ = 1 kΩ, R _L = 10 kΩ Control t _{TLH} = t _{THL} = 20 ns, Inhibit = V _{SS})	-	10	75	-	mV

*The formulas given are for the typical characteristics only at 25°C.
#Data labelled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range V_{SS} < (V_{in} or V_{out}) < V_{DD}. Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V_{SS}, V_{EE}, or V_{DD}). Unused outputs must be left open.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC14051B • MC14052B • MC14053B

FIGURE 1 - SWITCH CIRCUIT SCHEMATIC

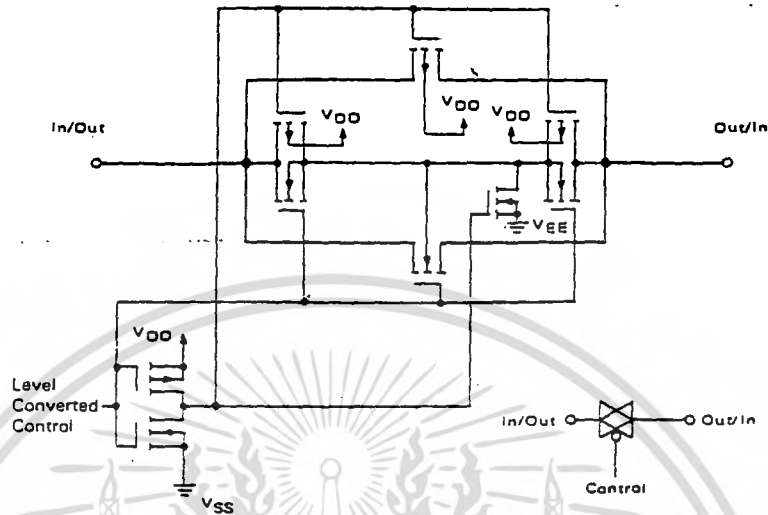


FIGURE 2 - MC14051B FUNCTIONAL DIAGRAM

TRUTH TABLE

Control Inputs		Select			ON Switches					
Inhibit	C	B	A	MC14051B		MC14052B		MC14053B		
				X0	Y0	X0	Z0	Y0	X0	X1
0	0	0	0	X1	Y1	X1	Z0	Y0	X1	
0	0	1	0	X2	Y2	X2	Z0	Y1	X0	
0	0	1	1	X3	Y3	X3	Z0	Y1	X1	
0	1	0	0	X4			Z1	Y0	X0	
0	1	0	1	X5			Z1	Y0	X1	
0	1	1	0	X6			Z1	Y1	X0	
0	1	1	1	X7			Z1	Y1	X1	
1	x	x	x	None	None	None	None	None	None	None

*Not applicable for MC14052
x = Don't Care

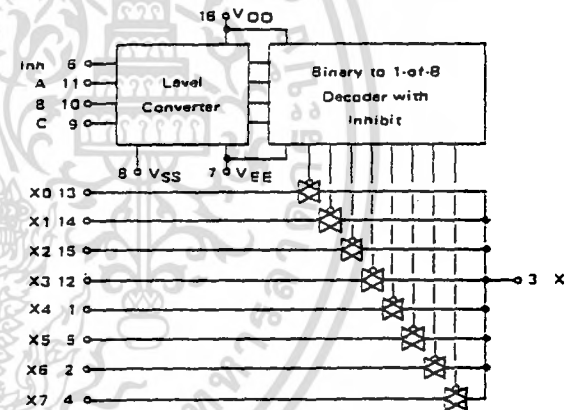


FIGURE 3 - MC14052B FUNCTIONAL DIAGRAM

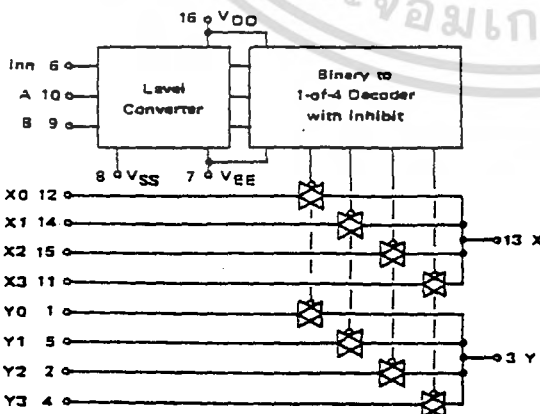
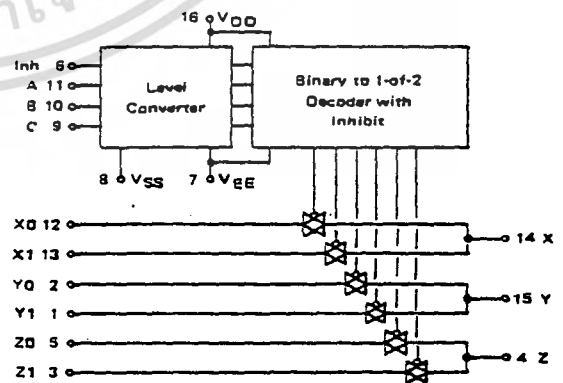


FIGURE 4 - MC14053B FUNCTIONAL DIAGRAM



6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST CIRCUITS

FIGURE 5 — ΔV ACROSS SWITCH

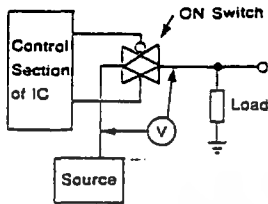


FIGURE 6 — PROPAGATION DELAY TIMES, CONTROL AND INHIBIT TO OUTPUT

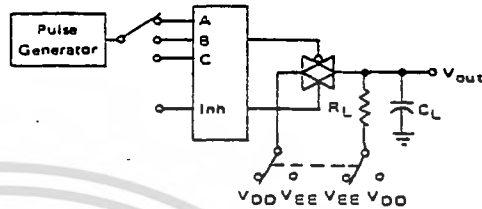


FIGURE 7 — BANDWIDTH AND OFF-CHANNEL FEEDTHROUGH ATTENUATION

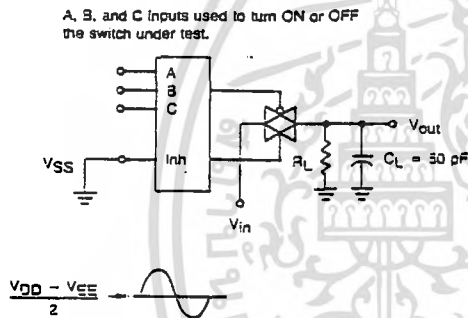


FIGURE 8 — CHANNEL SEPARATION (ADJACENT CHANNELS USED FOR SETUP)

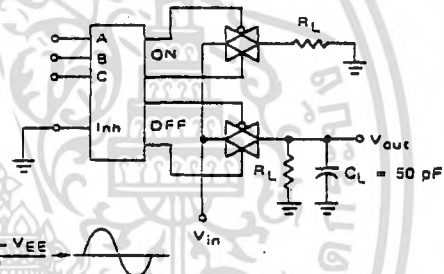


FIGURE 9 — CROSSTALK, CONTROL INPUT TO COMMON O/I

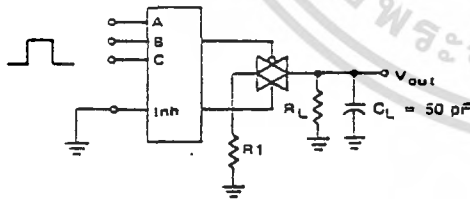
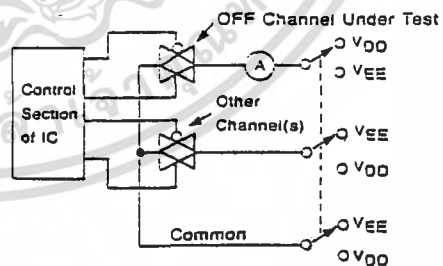


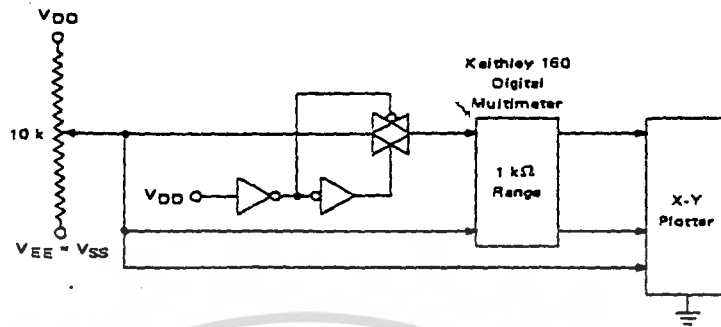
FIGURE 10 — OFF CHANNEL LEAKAGE



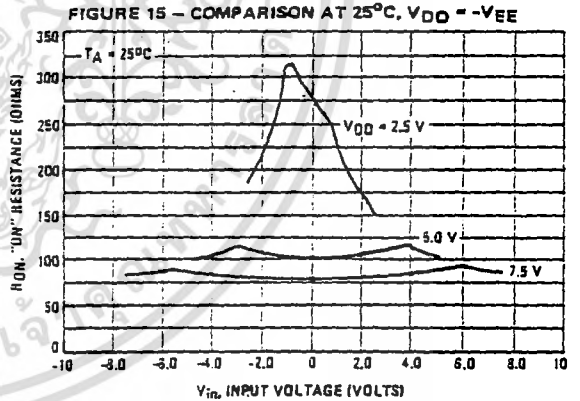
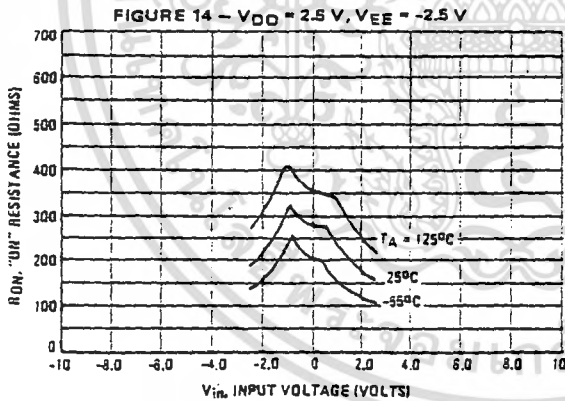
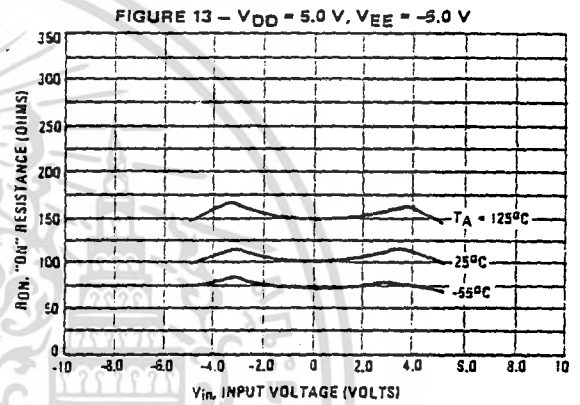
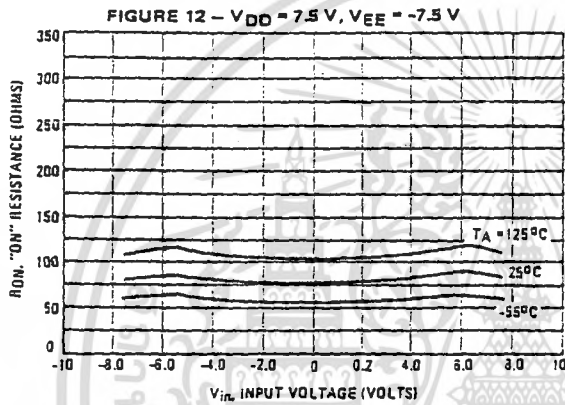
NOTE: See also Figures 7 and 8 on Page 6-51.

MC14051B • MC14052B • MC14053B

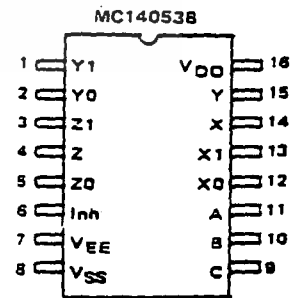
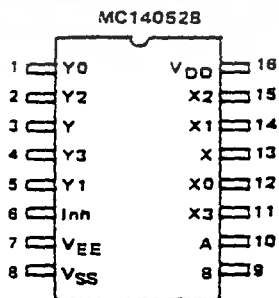
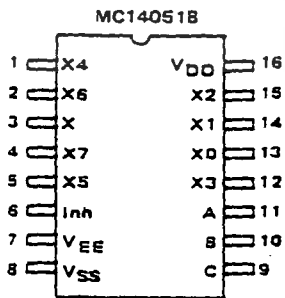
FIGURE 11 – CHANNEL RESISTANCE (R_{ON}) TEST CIRCUIT



TYPICAL RESISTANCE CHARACTERISTICS



PIN ASSIGNMENT



6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC14051B • MC14052B • MC14053B

APPLICATIONS INFORMATION

Figure A illustrates use of the on-chip level converter detailed in Figures 2, 3, and 4. The 0-to-5 V Digital Control signal is used to directly control a 9 V_{p-p} analog signal.

The digital control logic levels are determined by V_{DD} and V_{SS}. The V_{DD} voltage is the logic high voltage; the V_{SS} voltage is logic low. For the example, V_{DD} = +5 V = logic high at the control inputs; V_{SS} = GND = 0 V = logic low.

The maximum analog signal level is determined by V_{DD} and V_{VEE}. The V_{DD} voltage determines the maximum recommended peak above V_{SS}. The V_{VEE} voltage determines the maximum swing below V_{SS}. For the example, V_{DD} - V_{SS} = 5 V maximum swing above V_{SS}; V_{SS} - V_{VEE} = 5 V maximum swing below V_{SS}. The example shows a ± 4.5 V

signal which allows a ½ volt margin at each peak. If voltage transients above V_{DD} and/or below V_{VEE} are anticipated on the analog channels, external diodes (D_x) are recommended as shown in Figure B. These diodes should be small signal types able to absorb the maximum anticipated current surges during clipping.

The *absolute* maximum potential difference between V_{DD} and V_{VEE} is 18.0 V. Most parameters are specified up to 15 V which is the *recommended* maximum difference between V_{DD} and V_{VEE}.

Balanced supplies are not required. However, V_{SS} must be greater than or equal to V_{VEE}. For example, V_{DD} = +10 V, V_{SS} = +5 V, and V_{VEE} = -3 V is acceptable. See the Table below.

FIGURE A — APPLICATION EXAMPLE

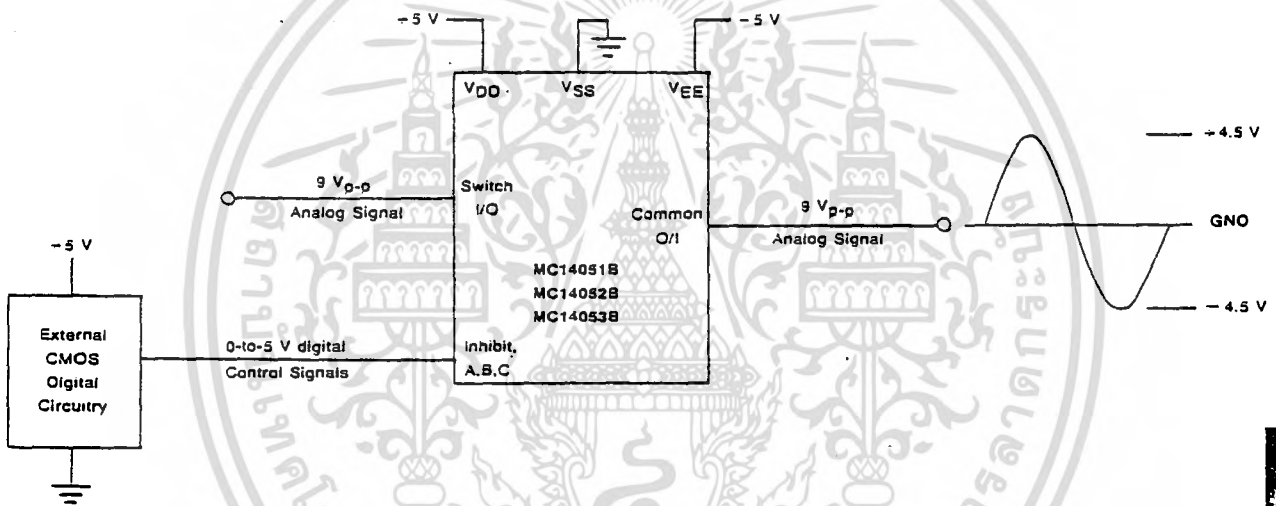
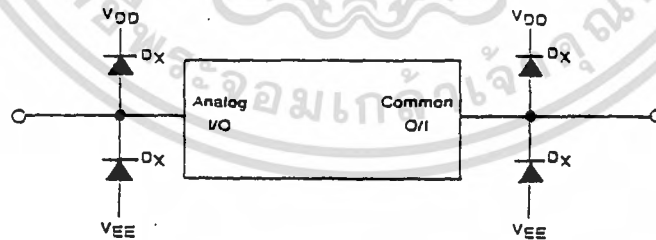


FIGURE B — EXTERNAL GERMANIUM OR SCHOTTKY CLIPPING DIODES



POSSIBLE SUPPLY CONNECTIONS

V _{DD} In Volts	V _{SS} In Volts	V _{VEE} In Volts	Control Inputs Logic High/Logic Low In Volts	Maximum Analog Signal Range In Volts
+8	0	-8	-8/0	+8 to -8 = 16 V _{p-p}
+5	0	-12	-5/0	+5 to -12 = 17 V _{p-p}
+5	0	0	-5/0	+5 to 0 = 5 V _{p-p}
+5	0	-5	-5/0	-5 to -5 = 10 V _{p-p}
+10	+5	-5	+10/+5	+10 to -5 = 15 V _{p-p}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**LF355, LF356,
 LF357*, LF355B,
 LF356B, LF357B***

**MONOLITHIC JFET
 OPERATIONAL AMPLIFIERS**

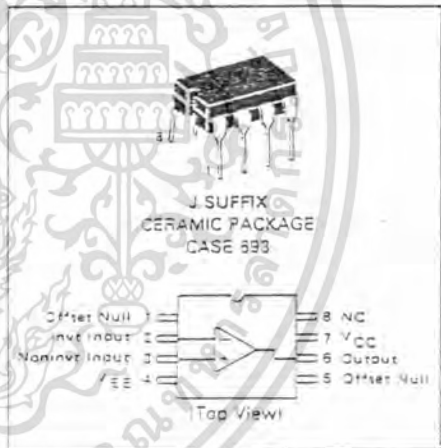
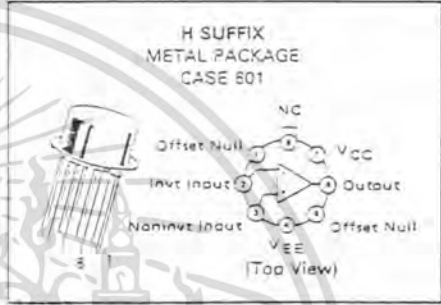
SILICON MONOLITHIC
 INTEGRATED CIRCUITS

**MONOLITHIC JFET INPUT
 OPERATIONAL AMPLIFIERS**

These internally compensated operational amplifiers incorporate highly matched JFET devices on the same chip with standard bipolar transistors. The JFET devices enhance the input characteristics of these operational amplifiers by more than an order of magnitude over conventional amplifiers.

This series of op amps combines the low current characteristics typical of FET amplifiers with the low initial offset voltage and offset voltage stability of bipolar amplifiers. Also, nulling the offset voltage does not degrade the drift or common mode rejection.

- Low Input Bias Current — 30 pA
- Low Input Offset Current — 3.0 pA
- Low Input Offset Voltage — 1.0 mV
- Temperature Compensation of Input Offset Voltage — 3.0 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Low Input Noise Current — 0.01 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- High Input Impedance — $10^{12}\Omega$
- High Common-Mode Rejection Ratio — 100 dB
- High DC Voltage Gain — 106 dB



SERIES FEATURES

- LF355/355B — Low Power Supply Current
- LF356/356B — Wide Bandwidth
- LF357/357B — Wider Bandwidth Decompensated ($A_{V_{min}} = 3$)

	LF355/355B	LF356/356B	LF357/357B
Fast Settling Time to 0.01%	4.0 μs	1.5 μs	1.5 μs
Fast Slew Rate	5.0 V/ μs	12 V/ μs	50 V/ μs
Wide Gain Bandwidth	2.5 MHz	5.0 MHz	20 MHz
Low Input Noise Voltage	20 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	12 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	12 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$

ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
LF355B.H	0 to -70°C	Metal Can
LF355B.J		Ceramic DIP
LF356.H		Metal Can
LF356B.J		Ceramic DIP
LF357B.H	0 to -70°C	Metal Can
LF357B.J		Ceramic DIP

APPLICATIONS

The LF series is suggested for all general purpose FET input amplifier requirements where precision and frequency response flexibility are of prime importance.

Specific applications include:

- Sample and Hold Circuits
- High Impedance Buffers
- Fast O/A and A/D Converters
- Precision High Speed Integrators
- Wideband, Low Noise, Low Drift Amplifiers

*NOTE: The LF357/357B are designed for wider bandwidth applications. They are decompensated ($A_{V_{min}} = 3$).

LF355, LF356, LF357, LF355B, LF356B, LF357B

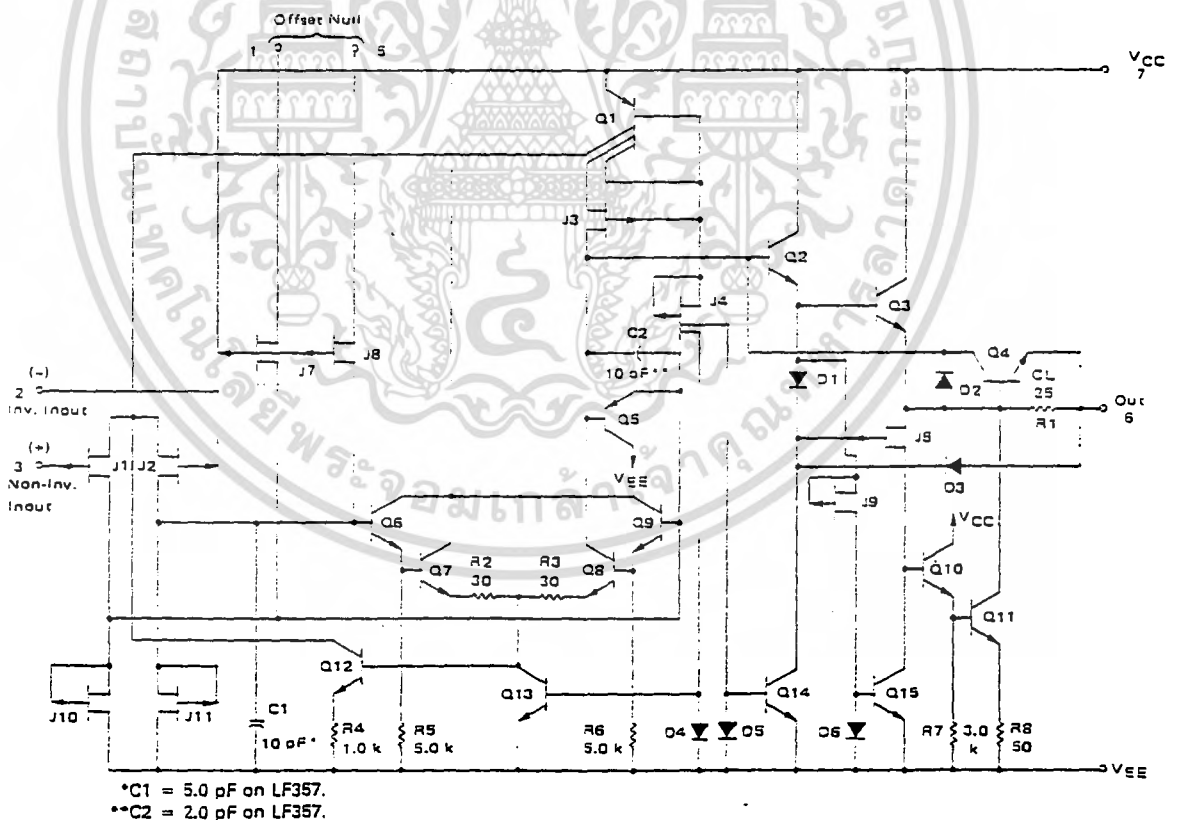
2

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	LF355B/ 356B/357B	LF355/356/357	Unit
Supply Voltage	V _{CC}	+22	+18	V
	V _{EE}	-22	-18	
Differential Input Voltage	V _{ID}	±40	±30	V
Input Voltage Range (Note 1)	V _{IDR}	±20	±16	V
Output Short-Circuit Duration	T _S	Continuous		
Operating Ambient Temperature Range	T _A	0 to +70		°C
Operating Junction Temperature	T _J	150		°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150		°C

Note 1. Unless otherwise specified, the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

CIRCUIT SCHEMATIC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF355, LF356, LF357, LF355B, LF356B, LF357B

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15$ to 20 V, $V_{EE} = -15$ to -20 V for LF355B/356B/357B; $V_{CC} = 15$ V, $V_{EE} = -15$ V for LF355/356/357; $T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+70^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	LF355B/6B/7B			LF355/6/7			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ($R_S = 50 \Omega$, $V_{CM} = 0$) ($T_A = 25^\circ\text{C}$) (Over Temperature)	V_{IO}	—	3.0	5.0	—	3.0	10	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage ($R_S = 50 \Omega$)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	—	5.0	—	—	5.0	—	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Change in Average TC with V_{IO} Adjust ($R_S = 50 \Omega$) (Note 2)	$\Delta\text{TC}/\Delta V_{IO}$	—	0.5	—	—	0.5	—	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ per mV
Input Offset Current ($V_{CM} = 0$) (Note 3) ($T_J = 25^\circ\text{C}$) ($T_J \leq 70^\circ\text{C}$)	I_{IO}	—	3.0	20	—	3.0	50	μA nA
Input Bias Current ($V_{CM} = 0$) (Note 3) ($T_J = 25^\circ\text{C}$) ($T_J \leq 70^\circ\text{C}$)	I_{IB}	—	30	100	—	30	200	μA nA
Input Resistance ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	r_i	—	10^{12}	—	—	10^{12}	—	Ω
Large Signal Voltage Gain ($V_O = 10$ V, $R_L = 2.0$ k, $V_{CC} = 15$ V, $V_{EE} = -15$ V) ($T_A = 25^\circ\text{C}$) ($0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$)	A_{VOL}	50 25	200	—	25 15	200	—	V/mV
Output Voltage Swing ($V_{CC} = 15$ V, $V_{EE} = -15$ V, $R_L = 10$ k Ω) ($V_{CC} = 15$ V, $V_{EE} = -15$ V, $R_L = 2$ k Ω)	V_O	≥ 12 ≥ 10	≥ 13	—	≥ 12 ≥ 10	≥ 13 ≥ 12	—	V
Input Common-Mode Voltage Range ($V_{CC} = 15$ V, $V_{EE} = -15$ V)	V_{ICR}	≥ 11	$+15.1$ -12.0	—	≥ 10	-15.1 -12.0	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	85	100	—	80	100	—	dB
Supply Voltage Rejection Ratio (Note 4)	PSRR	85	100	—	80	100	—	dB
Supply Current ($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 15$ V, $V_{EE} = -15$ V) LF355B/355 LF356B/357B LF356/357	I_D	—	2.0 5.0	4.0 7.0	—	2.0 —	4.0 —	mA

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15$ V, $V_{EE} = -15$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$)

Characteristic	Symbol	LF355B/355			LF356B/356			LF357B/357			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Slew Rate (Note 5) ($A_V = 1$) LF355/356 ($A_V = 5$) LF357	SR	—	5.0	—	7.5	12	—	—	—	—	V/ μs
Gain-Bandwidth Product	GBW	—	2.5	—	—	5.0	—	—	20	—	MHz
Settling Time to 0.01% (Note 6)	t_s	—	4.0	—	—	1.5	—	—	1.5	—	μs
Equivalent Input Noise Voltage ($R_S = 100 \Omega$, $f = 100$ Hz) ($R_S = 100 \Omega$, $f = 1000$ Hz)	e_n	—	25 20	—	—	15 12	—	—	15 12	—	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Equivalent Input Noise Current ($f = 100$ Hz) ($f = 1000$ Hz)	i_n	—	0.01 0.01	—	—	0.01 0.01	—	—	0.01 0.01	—	pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Input Capacitance	C_i	—	3.0	—	—	3.0	—	—	3.0	—	pF

NOTES

- (1) Unless otherwise specified, the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply.
- (2) The temperature coefficient of the adjusted input offset voltage changes only a small amount ($0.5 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ typically) for each mV of adjustment from its original unadjusted value. Common-mode rejection and open loop voltage gain are also unaffected by offset adjustment.
- (3) The input bias currents approximately double for every 10°C rise in junction temperature, T_J . Due to limited test time, the input bias currents are correlated to junction temperature. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.
- (4) Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously, in accordance with common practice.
- (5) The Min. slew rate limits apply for the LF356B and the LF357B, but do not apply for the LF356 or LF357.
- (6) Settling time is defined here, for a unity gain inverter connection using 2.0 k resistors for the LF355/6. It is the time required for the error voltage (the voltage at the inverting input e_{in} on the amplifier) to settle to within 0.01% of its final value from the time a 10 V step input is applied to the inverter. For the LF357, $A_V = -5.0$, the feedback resistor from output to input is 2.0 k and the output step is 10 V (see settling time test circuit).

MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LF355, LF356, LF357, LF355B, LF356B, LF357B

TYPICAL DC PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Curves are for LF355, LF356, and LF357 series unless otherwise specified) INPUT BIAS CURRENT versus CASE TEMPERATURE

2

FIGURE 1 — (LF355 SERIES)

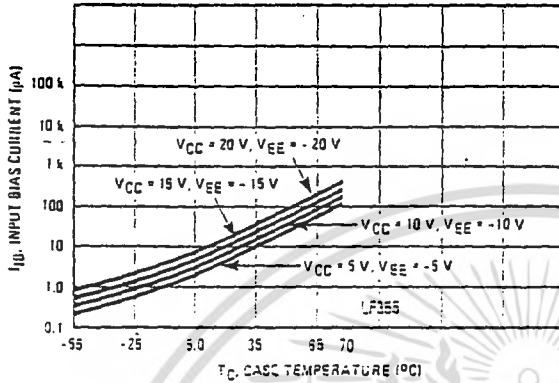


FIGURE 2 — (LF356 AND LF357 SERIES)

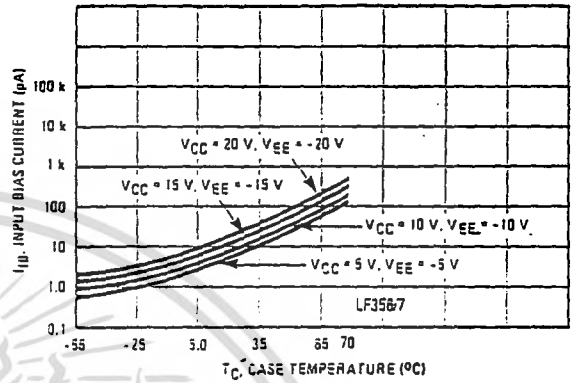


FIGURE 3 — INPUT BIAS CURRENT versus INPUT COMMON-MODE VOLTAGE

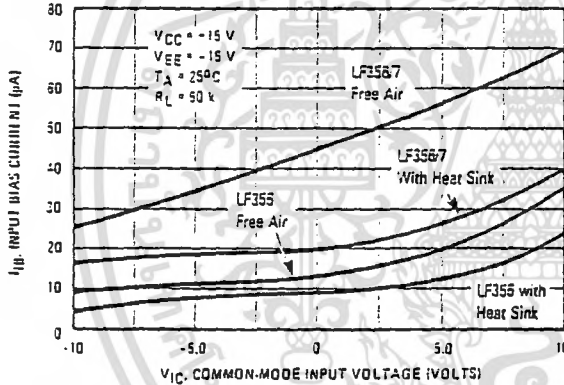
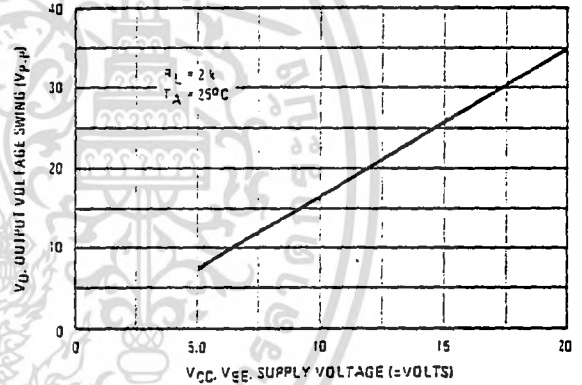


FIGURE 4 — OUTPUT VOLTAGE SWING versus SUPPLY VOLTAGE (LF355B/356B/357B)



SUPPLY CURRENT versus SUPPLY VOLTAGE

FIGURE 5 — (LF355 SERIES)

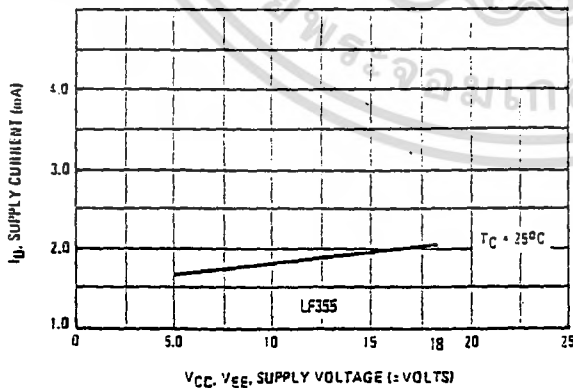
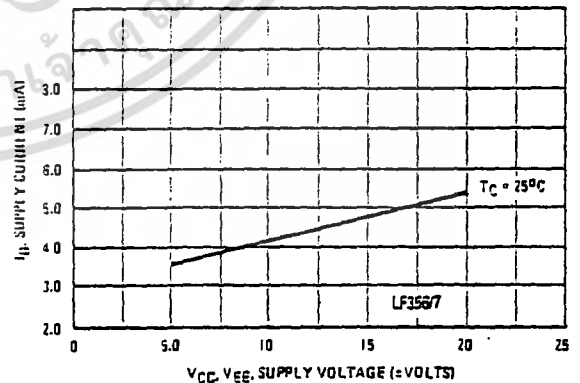


FIGURE 6 — (LF356 AND LF357 SERIES)



MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF355, LF356, LF357, LF355B, LF356B, LF357B

TYPICAL DC PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)



FIGURE 7 — NEGATIVE CURRENT LIMIT

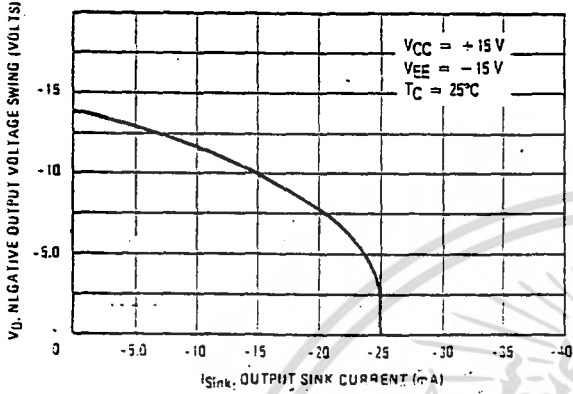


FIGURE 8 — POSITIVE CURRENT LIMIT

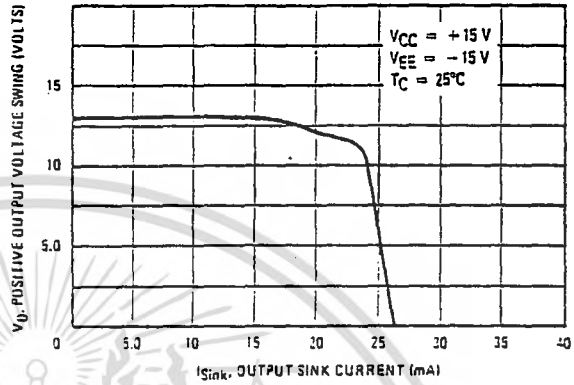


FIGURE 9 — POSITIVE COMMON-MODE INPUT VOLTAGE LIMIT

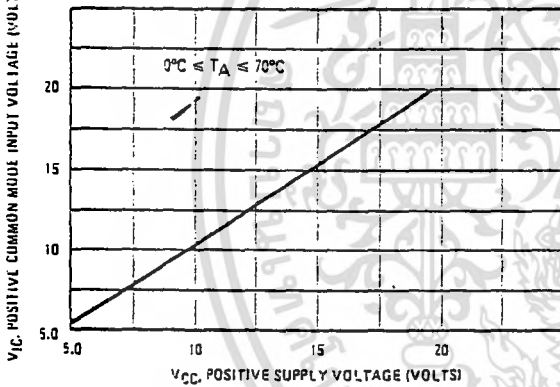


FIGURE 10 — NEGATIVE COMMON-MODE INPUT VOLTAGE LIMIT

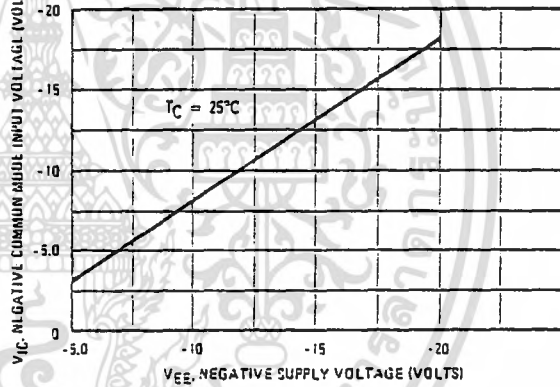


FIGURE 11 — OPEN LOOP VOLTAGE GAIN

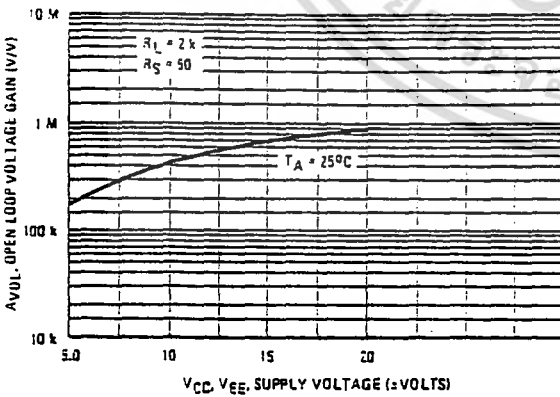
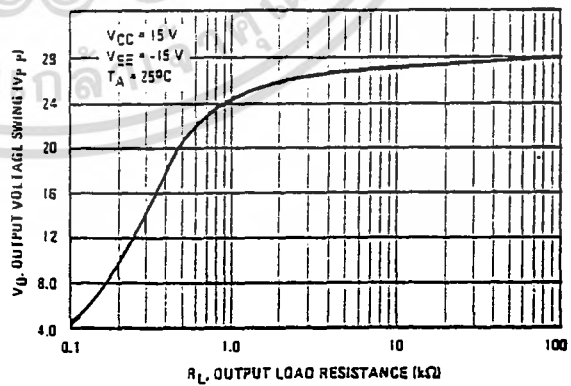


FIGURE 12 — OUTPUT VOLTAGE SWING versus LOAD RESISTANCE



MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF355; LF356, LF357, LF355B, LF356B, LF357B

TYPICAL AC PERFORMANCE CHARACTERISTICS

GAIN BANDWIDTH PRODUCT

FIGURE 13 — (LF355 SERIES)

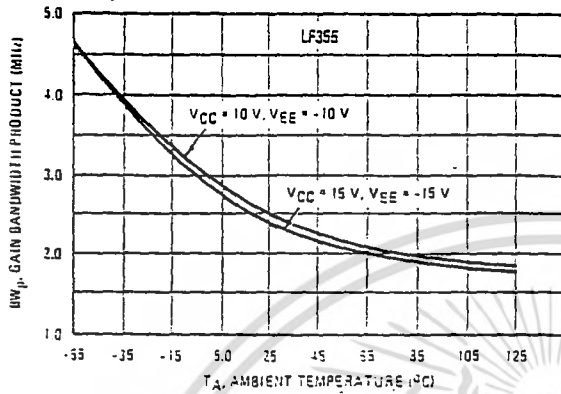
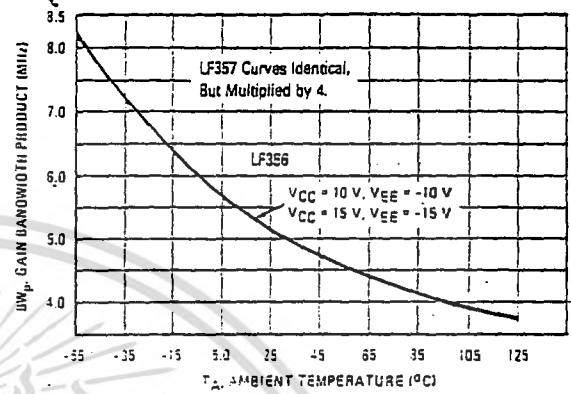


FIGURE 14 — (LF356/357 SERIES)



INVERTER SETTLING TIME

FIGURE 15 — (LF355 SERIES)

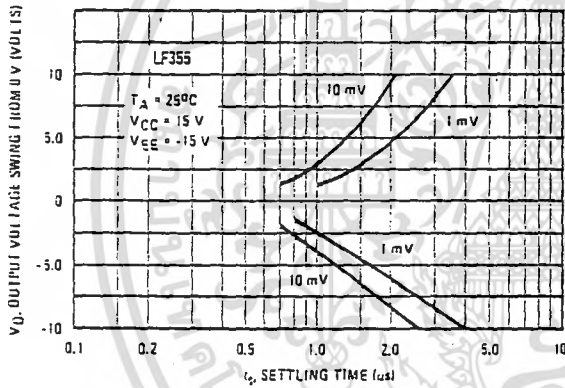


FIGURE 16 — (LF356 AND LF357 SERIES)

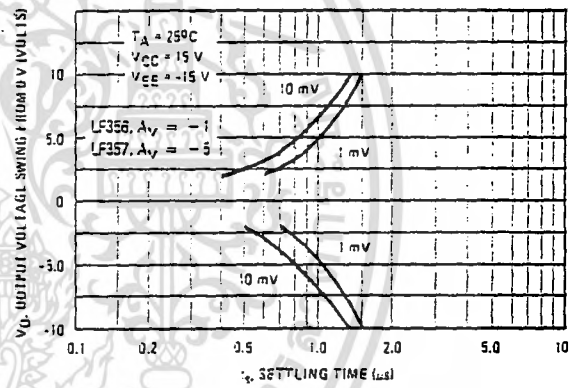


FIGURE 17 — NORMALIZED SLEW RATE

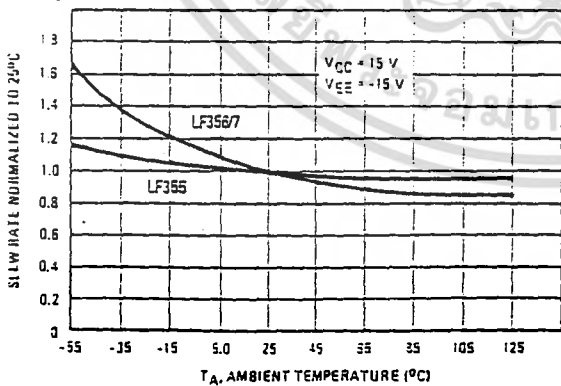
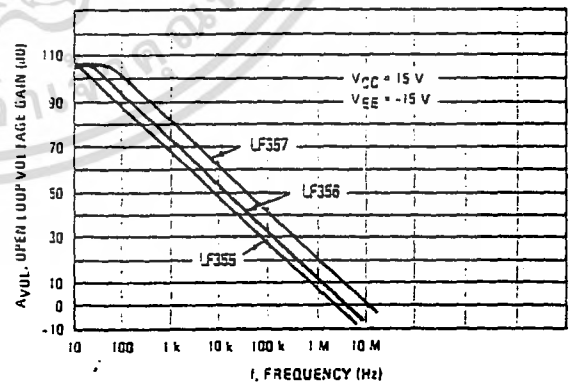


FIGURE 18 — OPEN LOOP FREQUENCY RESPONSE



MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF355, LF356, LF357, LF355B, LF356B, LF357B

TYPICAL AC PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)

BODE PLOT

FIGURE 19 — (LF355 SERIES)

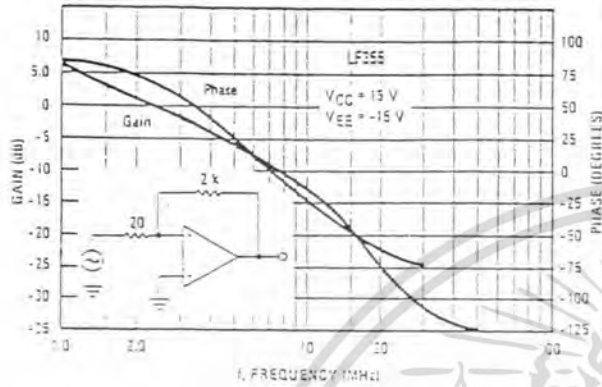


FIGURE 20 — (LF356 SERIES)

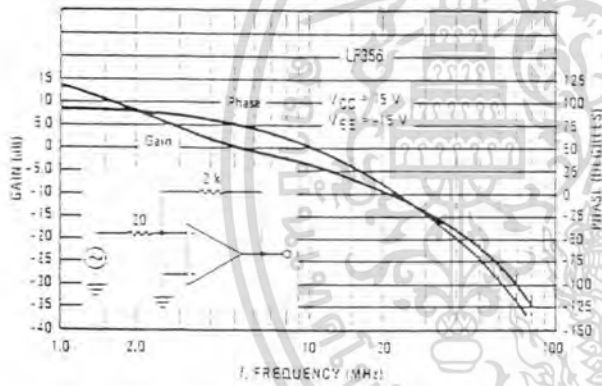
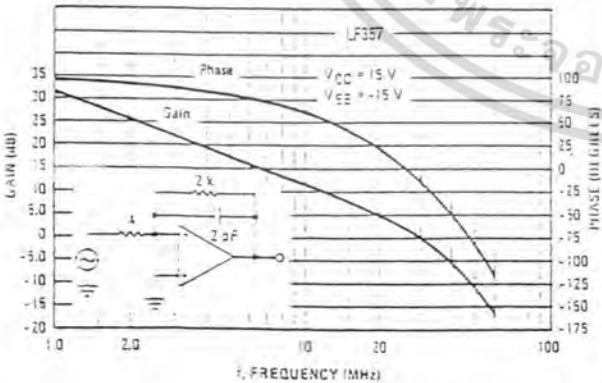


FIGURE 21 — (LF357 SERIES)



OUTPUT IMPEDANCE

FIGURE 22 — (LF355 SERIES)

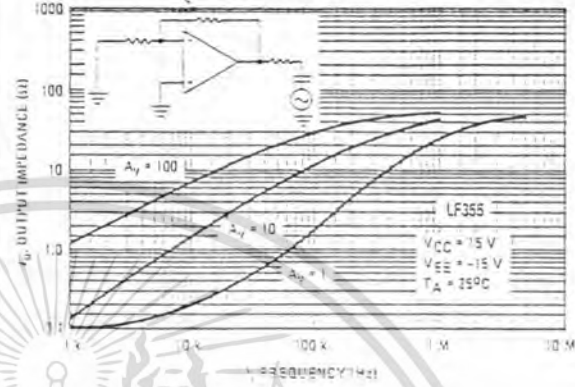


FIGURE 23 — (LF356 SERIES)

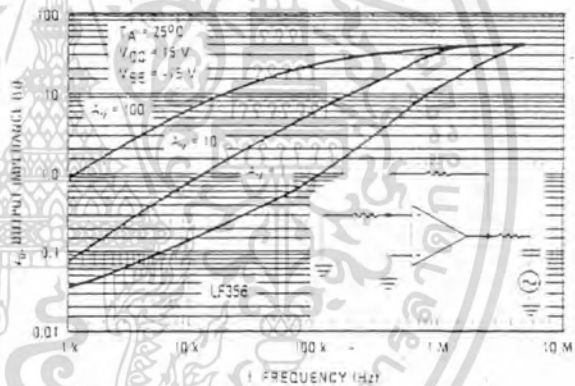
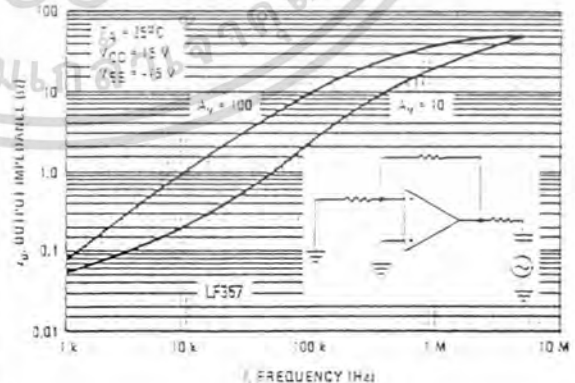


FIGURE 24 — (LF357 SERIES)



MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF355, LF356, LF357, LF355B, LF356B, LF357B

TYPICAL AC PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)

FIGURE 25 — COMMON-MODE REJECTION RATIO

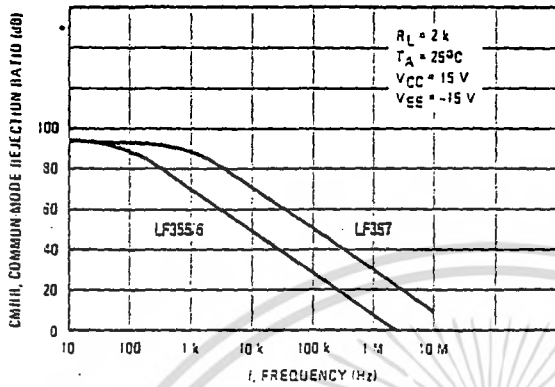
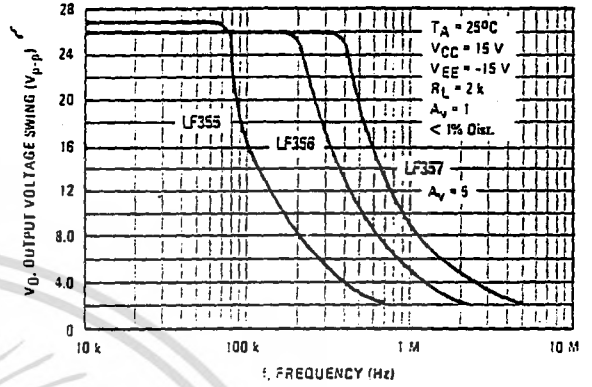


FIGURE 26 — UNDISTORTED OUTPUT VOLTAGE SWING



POWER SUPPLY VOLTAGE REJECTION RATIO

FIGURE 27 — (LF355 SERIES)

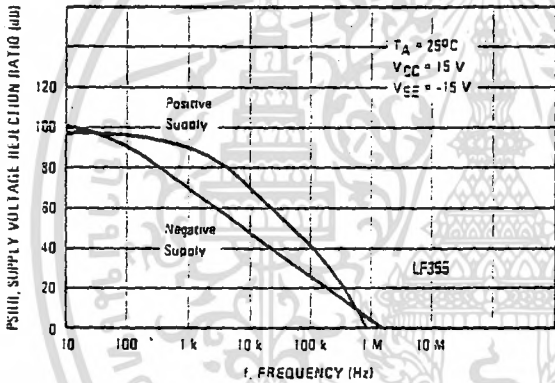
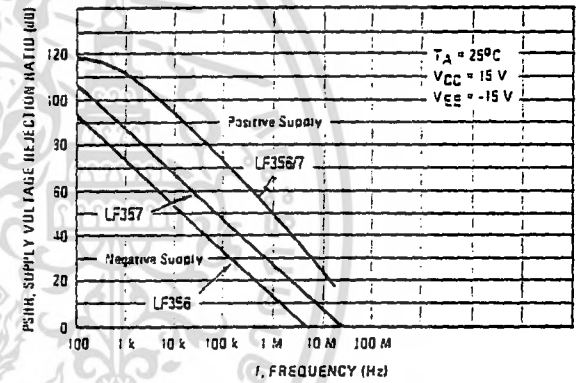


FIGURE 28 — (LF356 AND LF357 SERIES)



EQUIVALENT NOISE VOLTAGE

FIGURE 29 — (LF355/356/357 SERIES)

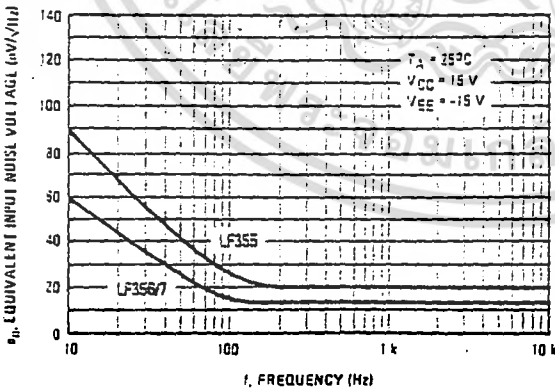
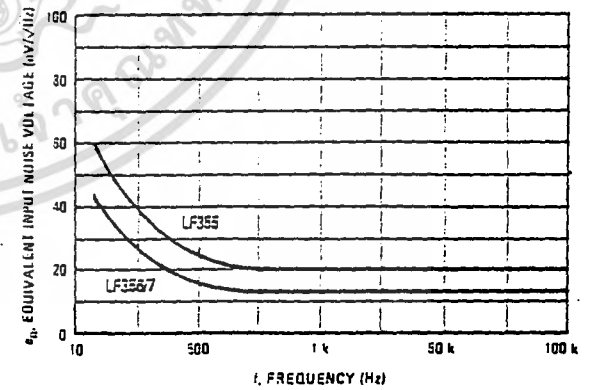


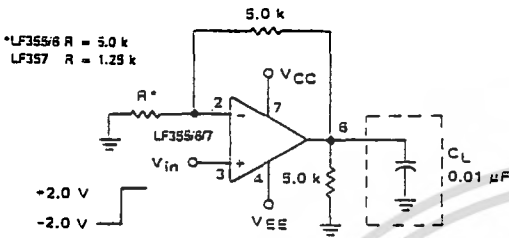
FIGURE 30 (EXPANDED SCALE)



LF355, LF356, LF357, LF355B, LF356B, LF357B

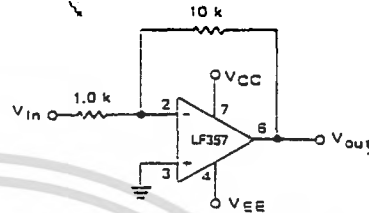
TYPICAL CIRCUIT CONNECTIONS

FIGURE 31 — DRIVING CAPACITIVE LOADS



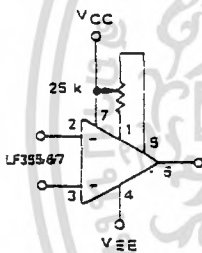
Due to a unique output stage design these amplifiers have the ability to drive large capacitive loads and still maintain stability.
 $C_{L(max)} \approx 0.01 \mu F$
 Overshoot $\leq 20\%$
 Settling time (t_s) $\approx 5.0 \mu s$

FIGURE 32 — LARGE POWER BANDWIDTH AMPLIFIER



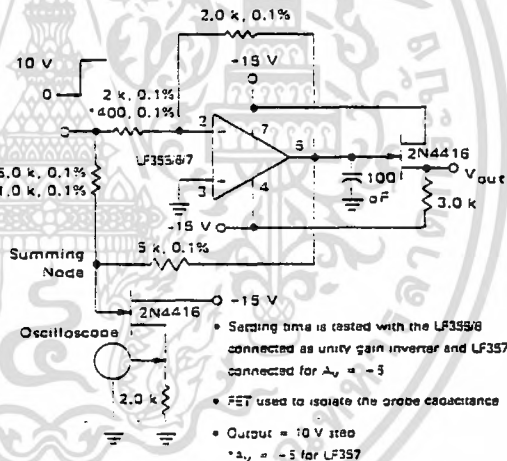
For distortion $< 1\%$ and a 20 V_{p-p} V_{out} swing, power bandwidth is: 500 kHz.

FIGURE 33 — INPUT OFFSET VOLTAGE ADJUSTMENT



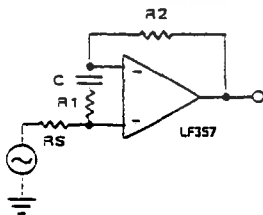
- V_{IO} is adjusted with a 25 k potentiometer
- The potentiometer wiper is connected to V_{CC}
- For potentiometers with temperature coefficient of 100 ppm/°C or less the additional drift with adjust is $\approx 0.5 \mu V/^\circ C/mV$ of adjustment.
- Typical overall drift: $5.0 \mu V/^\circ C$ ($0.5 \mu V/^\circ C/mV$ of adjustment.)

FIGURE 34 — SETTLING TIME TEST CIRCUIT



- Settling time is tested with the LF355/87 connected as unity gain inverter and LF357 connected for $A_v = -5$
- FET used to isolate the probe capacitance
- Output = 10 V step
- $A_v = -5$ for LF357

FIGURE 35 — NONINVERTING UNITY GAIN OPERATION FOR LF357



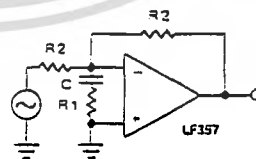
$$R1C \geq \frac{1}{2\pi(5 \text{ MHz})}$$

$$R1 = \frac{R2 - R5}{4}$$

$$A_v(\text{DC}) = 1$$

$$f_{-3\text{dB}} \approx 5 \text{ MHz}$$

FIGURE 36 — INVERTING UNITY GAIN FOR LF357



$$R1C \geq \frac{1}{2\pi(5 \text{ MHz})}$$

$$R1 = \frac{R2}{2}$$

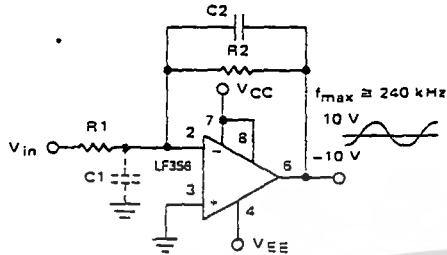
$$A_v(\text{DC}) = -1$$

$$f_{-3\text{dB}} \approx 5 \text{ MHz}$$

LF355, LF356, LF357, LF355B, LF356B, LF357B

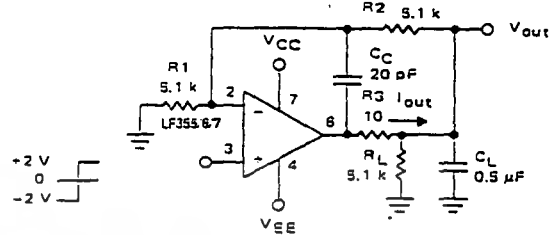
TYPICAL APPLICATIONS

FIGURE 37 — WIDE BW, LOW NOISE, LOW DRIFT AMPLIFIER



- Power BW: $f_{max} = \frac{S_r}{2\pi V_p} \approx 240 \text{ kHz}$
- Parasitic input capacitance (C1) $\approx 3 \text{ pF}$ for LF355, LF356, and LF357 plus any additional layout capacitance interacts with feedback elements and creates undesirable high frequency pole. To compensate add C2 such that: $R2C2 \approx R1C1$.

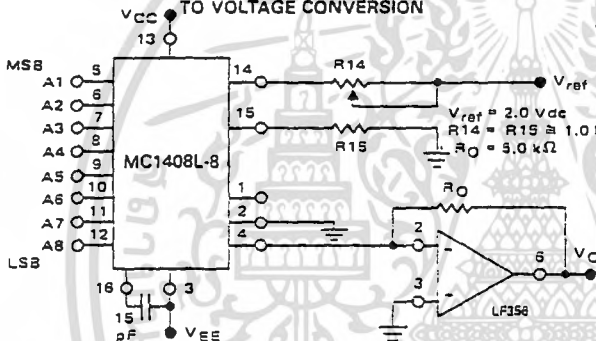
FIGURE 38 — ISOLATING LARGE CAPACITIVE LOADS



- Overshoot 5%
- $t_s = 10 \mu\text{s}$
- When driving large C_L , the V_{out} slew rate is determined by C_L and $I_{out(max)}$:

$$\frac{\Delta V_{out}}{\Delta t} = \frac{I_{out}}{C_L} \approx \frac{0.02}{0.5} \text{ V}/\mu\text{s} = 0.04 \text{ V}/\mu\text{s} \text{ (with } C_L \text{ shown)}$$

FIGURE 39 — 8-BIT D/A WITH OUTPUT CURRENT TO VOLTAGE CONVERSION



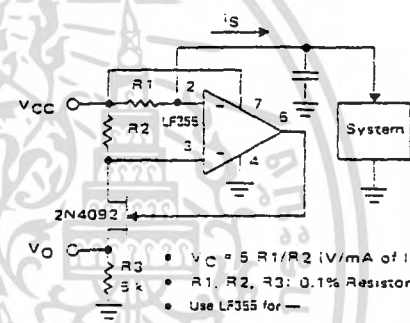
Theoretical V_O

$$V_O = \frac{V_{ref}}{R_{14}} (R_0) \left[\frac{A_1}{2} - \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} - \frac{A_4}{16} + \frac{A_5}{32} - \frac{A_6}{64} + \frac{A_7}{128} - \frac{A_8}{256} \right]$$

Adjust V_{ref} , R_{14} or R_0 so that V_O with all digital inputs at high level is equal to 9.961 volts.

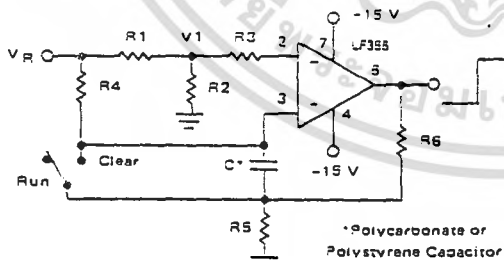
$$V_O = \frac{2V}{1k} (5k) \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{4} + \frac{1}{8} - \frac{1}{16} + \frac{1}{32} - \frac{1}{64} + \frac{1}{128} - \frac{1}{256} \right] = 10V \left[\frac{255}{256} \right] = 9.961 \text{ V}$$

FIGURE 40 — PRECISION CURRENT MONITOR



- $V_O = 5 R_1/R_2 (I/mA \text{ of } I_S)$
- $R_1, R_2, R_3: 0.1\% \text{ Resistors}$
- Use LF355 for —
 - ▲ Common-Mode Range to Supply Range
 - ▲ Low I_B
 - ▲ Low V_{IO}
 - ▲ Low Supply Current

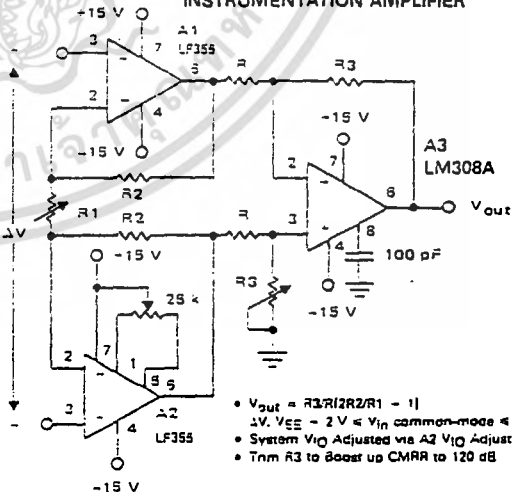
FIGURE 41 — LONG INTERVAL RC TIMER



Time (t) = $R_4 C \ln(V_R/V_R - V_1)$. $R_3 = R_4$, $R_5 = 0.1 R_6$
 If $R_1 = R_2$: $t = 0.693 R_4 C$

Design Example: 100 Second Timer
 $V_R = 10 \text{ V}$ $C = 1 \mu\text{F}$ $R_3 = R_4 = 144 \text{ M}$
 $R_6 = 20 \text{ k}$ $R_5 = 2 \text{ k}$ $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}$

FIGURE 42 — HIGH IMPEDANCE, LOW DRIFT INSTRUMENTATION AMPLIFIER



- $V_{out} = R_3/R_2(R_2/R_1 - 1)$
- $\Delta V, V_{EE} = 2V \ll V_{in}$ common-mode $\ll V_{CC}$
- System V_{IO} Adjusted via A2 V_{IO} Adjust
- Trim R_3 to Boost up CMRR to 120 dB

MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค ตัวอย่างรายละเอียดข้อมูลระดับเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microprocessor Based Sound Level Meter V.2.0

Designed by

Mr. Santi Hankla**Mr. Kriangsak Uesakulrungrueng**

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang

Test Location Pattanakarn Road

Date: 16/03/96

Initial Time: 09:35:00

Finish Time: 10:35:00

Sampling Period: 00 MIN:10 SEC

09:35:10,050.5,dBA

09:35:20,060.0,dBA

09:35:30,060.0,dBA

09:35:40,076.8,dBA

09:35:50,073.5,dBA

09:36:00,075.3,dBA

09:36:10,076.4,dBA

09:36:20,080.0,dBA

09:36:30,096.3,dBA

09:36:40,091.3,dBA

09:36:50,085.1,dBA

09:37:00,079.7,dBA

09:37:10,080.0,dBA

09:37:20,080.0,dBA

09:37:30,094.9,dBA

09:37:40,082.2,dBA

09:37:50,096.7,dBA

09:38:00,084.9,dBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

09:38:10,082.1,dBA
 09:38:20,088.0,dBA
 09:38:30,081.7,dBA
 09:38:40,084.6,dBA
 09:38:50,079.8,dBA
 09:39:00,080.0,dBA
 09:39:10,086.4,dBA
 09:39:20,093.5,dBA
 09:39:30,079.7,dBA
 09:39:40,079.2,dBA
 09:39:50,080.0,dBA
 09:40:00,079.7,dBA
 09:40:10,092.8,dBA
 09:40:20,090.0,dBA
 09:40:30,081.9,dBA
 09:40:40,080.7,dBA
 09:40:50,087.0,dBA
 09:41:00,084.5,dBA
 09:41:10,087.7,dBA
 09:41:20,085.1,dBA
 09:41:30,080.8,dBA
 09:41:40,090.3,dBA
 09:41:50,082.2,dBA
 09:42:00,080.4,dBA
 09:42:10,079.3,dBA
 09:42:20,080.0,dBA
 09:42:30,080.0,dBA
 09:42:40,080.0,dBA
 09:42:50,080.0,dBA

09:43:00,080.0,dBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

09:43:10,084.1,dBA

09:43:20,080.2,dBA

09:43:30,078.8,dBA

09:43:40,080.0,dBA

09:43:50,076.4,dBA

09:44:00,080.0,dBA

09:44:10,088.7,dBA

09:44:20,087.5,dBA

09:44:30,085.5,dBA

09:44:40,080.8,dBA

09:44:50,089.0,dBA

09:45:00,081.5,dBA

09:45:10,086.1,dBA

09:45:20,085.9,dBA

09:45:30,085.9,dBA

09:45:40,088.5,dBA

09:45:50,084.3,dBA

09:46:00,082.1,dBA

09:46:10,082.0,dBA

09:46:20,076.7,dBA

09:46:30,080.0,dBA

09:46:40,084.3,dBA

09:46:50,073.2,dBA

09:47:00,073.8,dBA

09:47:10,070.9,dBA

09:47:20,075.4,dBA

09:47:30,073.9,dBA

09:47:40,074.2,dBA

09:47:50,074.2,dBA

09:48:00,086.2,dBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

09:48:10,097.7,dBA

09:48:20,080.0,dBA

09:48:30,080.8,dBA

09:48:40,072.1,dBA

09:48:50,072.0,dBA

09:49:00,085.1,dBA

09:49:10,076.0,dBA

09:49:20,086.6,dBA

09:49:30,071.6,dBA

09:49:40,072.7,dBA

09:49:50,080.0,dBA

09:50:00,080.0,dBA

09:50:10,079.7,dBA

09:50:20,080.0,dBA

09:50:30,088.3,dBA

09:50:40,083.1,dBA

09:50:50,080.0,dBA

09:51:00,085.0,dBA

09:51:10,083.2,dBA

09:51:20,083.3,dBA

09:51:30,084.5,dBA

09:51:40,081.3,dBA

09:51:50,082.6,dBA

09:52:00,080.3,dBA

09:52:10,082.3,dBA

09:52:20,086.6,dBA

09:52:30,086.7,dBA

09:52:40,090.8,dBA

09:52:50,082.2,dBA

09:53:00,080.2,dBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

09:53:10,092.0,dBA
 09:53:20,093.7,dBA
 09:53:30,098.5,dBA
 09:53:40,089.9,dBA
 09:53:50,090.7,dBA
 09:54:00,091.3,dBA
 09:54:10,095.2,dBA
 09:54:20,092.7,dBA
 09:54:30,092.0,dBA
 09:54:40,094.2,dBA
 09:54:50,082.6,dBA
 09:55:00,080.0,dBA
 09:55:10,080.0,dBA
 09:55:20,085.3,dBA
 09:55:30,089.7,dBA
 09:55:40,095.6,dBA
 09:55:50,081.3,dBA
 09:56:00,091.3,dBA
 09:56:10,081.4,dBA
 09:56:20,088.1,dBA
 09:56:30,085.4,dBA
 09:56:40,083.5,dBA
 09:56:50,086.4,dBA
 09:57:00,084.3,dBA
 09:57:10,093.7,dBA
 09:57:20,088.4,dBA
 09:57:30,084.5,dBA
 09:57:40,085.1,dBA
 09:57:50,081.8,dBA

เอกสารนี้ 09:58:00,079.3,dBA สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

09:58:10,080.0,dBA
 09:58:20,087.3,dBA
 09:58:30,085.5,dBA
 09:58:40,088.3,dBA
 09:58:50,090.4,dBA
 09:59:00,079.8,dBA
 09:59:10,084.0,dBA
 09:59:20,087.3,dBA
 09:59:30,081.8,dBA
 09:59:40,076.4,dBA
 09:59:50,086.5,dBA
 10:00:00,085.0,dBA
 10:00:10,079.1,dBA
 10:00:20,086.4,dBA
 10:00:30,082.8,dBA
 10:00:40,090.3,dBA
 10:00:50,084.0,dBA
 10:01:00,088.0,dBA
 10:01:10,078.6,dBA
 10:01:20,075.8,dBA
 10:01:30,076.8,dBA
 10:01:40,071.1,dBA
 10:01:50,080.0,dBA
 10:02:00,074.2,dBA
 10:02:10,071.6,dBA
 10:02:20,070.5,dBA
 10:02:30,071.8,dBA
 10:02:40,069.2,dBA
 10:02:50,073.9,dBA
 10:03:00,074.9,dBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10:03:10,075.6,dBA
 10:03:20,073.1,dBA
 10:03:30,072.1,dBA
 10:03:40,070.9,dBA
 10:03:50,080.0,dBA
 10:04:00,080.0,dBA
 10:04:10,080.0,dBA
 10:04:20,085.7,dBA
 10:04:30,081.2,dBA
 10:04:40,083.7,dBA
 10:04:50,085.9,dBA
 10:05:00,082.5,dBA
 10:05:10,081.4,dBA
 10:05:20,084.4,dBA
 10:05:30,090.2,dBA
 10:05:40,087.6,dBA
 10:05:50,087.4,dBA
 10:06:00,078.6,dBA
 10:06:10,086.9,dBA
 10:06:20,082.1,dBA
 10:06:30,089.2,dBA
 10:06:40,085.7,dBA
 10:06:50,090.5,dBA
 10:07:00,084.1,dBA
 10:07:10,083.8,dBA
 10:07:20,091.9,dBA
 10:07:30,092.1,dBA
 10:07:40,089.2,dBA
 10:07:50,080.0,dBA
 10:08:00,080.0,dBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10:08:10,092.9,dBA
 10:08:20,082.0,dBA
 10:08:30,077.8,dBA
 10:08:40,080.0,dBA
 10:08:50,075.0,dBA
 10:09:00,080.0,dBA
 10:09:10,087.8,dBA
 10:09:20,081.1,dBA
 10:09:30,080.7,dBA
 10:09:40,087.1,dBA
 10:09:50,082.7,dBA
 10:10:00,086.4,dBA
 10:10:10,081.4,dBA
 10:10:20,084.5,dBA
 10:10:30,079.6,dBA
 10:10:40,079.3,dBA
 10:10:50,079.7,dBA
 10:11:00,079.9,dBA
 10:11:10,075.7,dBA
 10:11:20,071.1,dBA
 10:11:30,080.0,dBA
 10:11:40,080.0,dBA
 10:11:50,086.9,dBA
 10:12:00,087.7,dBA
 10:12:10,082.0,dBA
 10:12:20,081.9,dBA
 10:12:30,086.2,dBA
 10:12:40,084.4,dBA
 10:12:50,087.9,dBA

เอกสารนี้ 10:13:00,086.0,dBA สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* 10:13:10,082.9,dBA
 10:13:20,088.2,dBA
 10:13:30,082.1,dBA
 10:13:40,083.1,dBA
 10:13:50,087.7,dBA
 10:14:00,075.6,dBA
 10:14:10,072.0,dBA
 10:14:20,069.8,dBA
 10:14:30,068.7,dBA
 10:14:40,069.1,dBA
 10:14:50,071.3,dBA
 10:15:00,068.0,dBA
 10:15:10,076.7,dBA
 10:15:20,069.6,dBA
 10:15:30,076.1,dBA
 10:15:40,077.3,dBA
 10:15:50,077.0,dBA
 10:16:00,078.6,dBA
 10:16:10,076.3,dBA
 10:16:20,080.0,dBA
 10:16:30,088.0,dBA
 10:16:40,086.8,dBA
 10:16:50,080.0,dBA
 10:17:00,073.5,dBA
 10:17:10,080.0,dBA
 10:17:20,080.0,dBA
 10:17:30,084.5,dBA
 10:17:40,079.7,dBA
 10:17:50,080.0,dBA
 10:18:00,087.0,dBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10:18:10,080.0,dBA
 10:18:20,084.0,dBA
 10:18:30,081.8,dBA
 10:18:40,082.0,dBA
 10:18:50,081.1,dBA
 10:19:00,085.0,dBA
 10:19:10,080.8,dBA
 10:19:20,077.8,dBA
 10:19:30,091.3,dBA
 10:19:40,091.9,dBA
 10:19:50,080.0,dBA
 10:20:00,080.0,dBA
 10:20:10,080.0,dBA
 10:20:20,080.0,dBA
 10:20:30,078.2,dBA
 10:20:40,078.9,dBA
 10:20:50,086.0,dBA
 10:21:00,080.7,dBA
 10:21:10,082.1,dBA
 10:21:20,074.2,dBA
 10:21:30,082.5,dBA
 10:21:40,083.5,dBA
 10:21:50,082.3,dBA
 10:22:00,080.0,dBA
 10:22:10,083.0,dBA
 10:22:20,080.0,dBA
 10:22:30,079.6,dBA
 10:22:40,073.6,dBA
 10:22:50,074.0,dBA

เอกสารนี้ 10:23:00,073.5,dBA สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10:23:10,071.4,dBA
 10:23:20,073.8,dBA
 10:23:30,070.9,dBA
 10:23:40,071.1,dBA
 10:23:50,072.7,dBA
 10:24:00,073.7,dBA
 10:24:10,080.0,dBA
 10:24:20,075.3,dBA
 10:24:30,077.8,dBA
 10:24:40,077.7,dBA
 10:24:50,074.3,dBA
 10:25:00,073.1,dBA
 10:25:10,078.8,dBA
 10:25:20,079.8,dBA
 10:25:30,080.0,dBA
 10:25:40,085.8,dBA
 10:25:50,083.2,dBA
 10:26:00,080.0,dBA
 10:26:10,081.4,dBA
 10:26:20,079.9,dBA
 10:26:30,080.0,dBA
 10:26:40,080.0,dBA
 10:26:50,080.0,dBA
 10:27:00,080.0,dBA
 10:27:10,092.8,dBA
 10:27:20,080.0,dBA
 10:27:30,080.0,dBA
 10:27:40,080.0,dBA
 10:27:50,080.0,dBA

เอกสารนี้ 10:28:00,080.0,dBA สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10:28:10,085.9,dBA
 10:28:20,081.9,dBA
 10:28:30,086.1,dBA
 10:28:40,079.7,dBA
 10:28:50,087.3,dBA
 10:29:00,090.0,dBA
 10:29:10,086.9,dBA
 10:29:20,088.2,dBA
 10:29:30,085.8,dBA
 10:29:40,086.9,dBA
 10:29:50,088.0,dBA
 10:30:00,080.2,dBA
 10:30:10,086.9,dBA
 10:30:20,080.0,dBA
 10:30:30,075.6,dBA
 10:30:40,074.7,dBA
 10:30:50,078.2,dBA
 10:31:00,070.0,dBA
 10:31:10,092.0,dBA
 10:31:20,079.1,dBA
 10:31:30,089.9,dBA
 10:31:40,084.2,dBA
 10:31:50,093.5,dBA
 10:32:00,081.7,dBA
 10:32:10,085.0,dBA
 10:32:20,088.7,dBA
 10:32:30,082.2,dBA
 10:32:40,080.0,dBA
 10:32:50,094.6,dBA

เอกสารนี้ 10:33:00,086.2,dBA สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10:33:10,077.7,dBA

10:33:20,090.1,dBA

10:33:30,074.7,dBA

10:33:40,068.1,dBA

10:33:50,068.3,dBA

10:34:00,069.9,dBA

10:34:10,070.5,dBA

10:34:20,069.4,dBA

10:34:30,070.1,dBA

10:34:40,078.0,dBA

10:34:50,071.9,dBA

10:35:00,074.5,dBA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้ทำโครงการพิเศษ

นายเกรียงศักดิ์ เอื้อสกุลรุ่งเรือง

เกิด เมื่อวันจันทร์ ที่ 8 มกราคม 2516 ณ อ.บางปลาหมอ จ.สุพรรณบุรี โดยได้เข้ารับการศึกษาตามลำดับ ดังนี้

1.ปีการศึกษา 2521 ชั้นเตรียมประถมศึกษา(ป.เตรียม)

ศึกษาที่โรงเรียน ป.เตรียม วัดกลาง อ.บางปลาหมอ จ.สุพรรณบุรี

2.ปีการศึกษา 2522 - 2528 ชั้นประถมศึกษา 1 - 6

ศึกษาที่โรงเรียนวัดกลาง อ.บางปลาหมอ จ.สุพรรณบุรี

3.ปีการศึกษา 2529 - 2534 ชั้นมัธยมศึกษา 1 - 6

ศึกษาที่โรงเรียนกรรมวิธาน อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี

4.ปีการศึกษา 2535 - 2538 ระดับปริญญาตรี

ศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์(Solid State Electronics) ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ฯ

นาย สันติ หาญกล้า

เกิด เมื่อวันที่ 2 พฤศจิกายน 2516 ณ อ.แกลง จ.ระยอง โดยได้เข้ารับการศึกษาตามลำดับ ดังนี้

1.ปีการศึกษา 2523 - 2528 ชั้นประถมศึกษา 1 - 6

ศึกษาที่โรงเรียนวังหว้า อ.แกลง จ.ระยอง

3.ปีการศึกษา 2529 - 2534 ชั้นมัธยมศึกษา 1 - 6

ศึกษาที่โรงเรียนแกลง"วิทยสถาวร" อ.แกลง จ.ระยอง

4.ปีการศึกษา 2535 - 2538 ระดับปริญญาตรี

ศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์(Solid State Electronics) ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้