

การวัดแพทเทิร์นของลำโพง



นาย ธวัช เพลินประภาพร
นาย แสงอาทิตย์ เจริญสัมฤทธิ์



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

ร.ท.
ศ 318 ก
2543

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 40205

วัน, เดือน, ปี 20 ส.ค. 2544

b. 11092816
1.....

Measurement of Loudspeaker Pattern

Mr. Thawat Plernphapaporn

Mr. Sangartit Jaroensamrith

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 Ludkrabang

2000


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


หัวข้อโครงการพิเศษ การวัดแพทเทิร์นของลำโพง
(Measurement of Loudspeaker Pattern)


นักศึกษา นาย ธวัช เพลินประภาพร
 นาย แสงอาทิตย์ เจริญสัมฤทธิ์

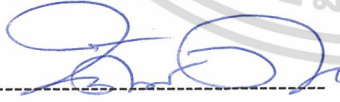
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล
 อาจารย์ สุนันท์ อ่างประยูร


ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



 หัวหน้าภาควิชา
(ผศ. วิชาญ เตชะธีระ)
คณะกรรมการ โครงการพิเศษ


(ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล) ประธานกรรมการ


(อาจารย์ สุนันท์ อ่างประยูร) กรรมการ


(อาจารย์ บดินทร์ คำรงค์ศักดิ์) กรรมการ


(อาจารย์ สุรศักดิ์ พิพัฒน์ศาสตร์) กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--------------------|---|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การวัดแพทเทิร์นของลำโพง (Measurement of Loudspeaker Pattern) |
| นักศึกษา | นาย ธวัช เพลลินประภาพร นาย แสงอาทิตย์ เจริญสัมฤทธิ์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เศษะทวีกุล อาจารย์สุนันท์ จำประยูร |
| ภาควิชา | ฟิสิกส์ประยุกต์ |
| ปีการศึกษา | 2543 |

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษเรื่องการวัดแพทเทิร์นของลำโพง เป็นการศึกษาถึงแพทเทิร์นของลำโพง โดยการสร้างชุดเครื่องมือวัด โดยจะใช้ลำโพง ไดนามิกและไมโครโฟนคอนเดนเซอร์ เป็นอุปกรณ์สำหรับสำคัญในการวัด โดยเชื่อมต่อกับชุดเครื่องมือวัดแพทเทิร์นของลำโพงกับคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงผลออกเป็นกราฟรูปลักษณะแพทเทิร์นของลำโพงทางคอมพิวเตอร์

| | |
|--------------------------------|---|
| Special Project | Measurement of Loudspeaker Pattern |
| Name | Mr. Thawat Plernphapaporn Mr. Sangartit Jaroensamrith |
| Special Project Advisor | Asst. Prof. Dr. Sirisak Techathawickul Mr. Soon Changprayoon |
| Department | Applied Physics |
| Academic | 2000 |



Abstract

This special project studied about the measurement of Loudspeaker Pattern. This project created a device for measuring loudspeaker pattern. By the measurement that uses loudspeaker and microphone been the main device. Computer controlled this device which to display loudspeaker pattern graph on computer screen.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ. ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมทั้งให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานในโครงการพิเศษนี้มาตลอด

ขอขอบคุณ อ. สุนัน อ่างประยูร ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นต่างๆ รวมถึงห้องที่ใช้ในการทำโครงการพิเศษนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| เรื่อง | หน้า |
|---|----------|
| บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | จ |
| สารบัญรูป | ฉ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการงาน | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน | 1 |
| 1.3 ขอบข่ายของ โครงการงาน | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจาก โครงการงาน | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 3 |
| 2.1 ทฤษฎีทางเสียง | 3 |
| 2.1.1 ลักษณะสมบัติทางเสียง | 4 |
| 2.2 ลำโพง | 11 |
| 2.3 ไมโครโฟน | 13 |
| 2.4 Parallel Port | 16 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---------------------------------------|----|
| บทที่ 3 การดำเนินการทดลอง | 17 |
| 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง | 17 |
| 3.2 วงจรที่ใช้ในการทดลอง | 17 |
| 3.2.1 วงจร Preamplifier | 17 |
| 3.2.2 วงจร Power Amplifier | 18 |
| 3.2.3 วงจร Step Motor | 19 |
| 3.3 การดำเนินการทดลอง | 20 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง | 25 |
| บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์ | 40 |
| ภาคผนวก | 41 |
| บรรณานุกรม | 65 |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 4.1 แสดงค่า V, มุมองศาที่วัดได้ของลำโพงในระยะห่าง 80 เซนติเมตร | 25 |
| ตารางที่ 4.2 แสดงค่า V, มุมองศาที่วัดได้ของลำโพงในระยะห่าง 50 เซนติเมตร | 27 |
| ตารางที่ 4.3 แสดงค่า V, มุมองศาที่วัดได้ของลำโพงที่ความถี่ 1000 Hz | 30 |
| ตารางที่ 4.4 แสดงค่า V, มุมองศาที่วัดได้ของลำโพงที่ความถี่ 3000 Hz | 32 |
| ตารางที่ 4.5 แสดงค่า V, มุมองศาที่วัดได้ของลำโพงที่ความถี่ 5000 Hz | 34 |



สารบัญรูป

หน้า

| | |
|---|----|
| รูปที่ 2.1 ก. แสดงบริเวณที่มีการอัดและขยายตัวของโมเลกุลของอากาศขณะ ที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านอากาศ | 3 |
| ข. แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างความดันและระยะทางเมื่อ คลื่นเสียงเดินทางผ่าน | 3 |
| รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ในคลื่นรูป Sine | 4 |
| รูปที่ 2.4 แสดงภาพโครงสร้างของลำโพงแบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิก | 11 |
| รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของไมโครโฟนแบบมูฟวี่งคอยล์ (Moving coil microphone) | 13 |
| รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน | 14 |
| รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะขาของ Parallel Port | 16 |
| รูปที่ 3.1 แสดงวงจร Pre – Amp ที่ใช้ขยายสัญญาณจากไมโครโฟน | 17 |
| รูปที่ 3.2 แสดงวงจร Pre – Amp ที่ใช้ไอซี LM387A ที่ใช้ในการทดลอง | 18 |
| รูปที่ 3.3 แสดงวงจร Power Amplifier ที่ใช้ขับลำโพงในการทดลอง | 18 |
| รูปที่ 3.4 แสดงวงจร Power Amplifier ที่ใช้ไอซี TDA2030A ที่ใช้ขับลำโพงในการทดลอง | 19 |
| รูปที่ 3.5 แสดงวงจรที่ใช้ควบคุม Stepping motor | 19 |
| รูปที่ 3.6 แสดงวงจรควบคุม Stepping motor โดยใช้ไอซีเบอร์ ULN2003 เป็นตัวควบคุม | 20 |
| รูปที่ 3.7 แสดงภาพการจับอุปกรณ์การทดลองวัดแพทเทิร์นของลำโพง | 20 |
| รูปที่ 3.8 แสดงการจับอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ทำการวัดแพทเทิร์นของลำโพง | 21 |
| รูปที่ 3.9 แสดงการจับอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ทำการวัดแพทเทิร์นของลำโพง | 21 |
| รูปที่ 3.10 แสดงการจับอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ทำการวัดแพทเทิร์นของลำโพง | 22 |
| รูปที่ 3.11 แสดงภาพการจับอุปกรณ์การทดลองวัดแพทเทิร์นของลำโพง | 23 |
| รูปที่ 4.1 แสดงภาพแพทเทิร์นที่ระยะ 80 เซนติเมตร | 29 |
| รูปที่ 4.2 แสดงภาพแพทเทิร์นที่ระยะ 50 เซนติเมตร | 29 |
| รูปที่ 4.3 แสดงภาพแพทเทิร์นเปรียบเทียบที่ระยะ 50 และ 80 เซนติเมตร | 30 |
| รูปที่ 4.4 แสดงภาพแพทเทิร์นที่ความถี่ 1000 Hz | 36 |
| รูปที่ 4.5 แสดงภาพแพทเทิร์นที่ความถี่ 3000 Hz | 36 |
| รูปที่ 4.6 แสดงภาพแพทเทิร์นที่ความถี่ 5000 Hz | 37 |
| รูปที่ 4.7 แสดงภาพแพทเทิร์นเปรียบเทียบความถี่ที่ 1000 Hz, 3000Hz และ 5000Hz | 37 |
| รูปที่ 4.7 แสดงภาพผลแพทเทิร์นลำโพง 8 โอห์ม 0.25 วัตต์ ความถี่ที่ 1000 Hz ที่ระยะ | |
| เอกสารนี้เป็น 80 เซนติเมตร ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น | 38 |

| | |
|---|----|
| รูปที่ 4.8 แสดงภาพผลแพทเทิร์นลำโพง 8 โอห์ม 0.25 วัตต์ ความถี่ที่ 3000 Hz ที่ ระยะ 80 เซนติเมตร | 39 |
| รูปที่ 4.9 แสดงภาพผลแพทเทิร์นลำโพง 8 โอห์ม 1.0 วัตต์ ความถี่ที่ 1000 Hz ที่ ระยะ 80 เซนติเมตร | 39 |
| รูปที่ 4.10 แสดงภาพแพทเทิร์นลำโพง 8 โอห์ม 1.0 วัตต์ ความถี่ที่ 3000 Hz ที่ ระยะ 80 เซนติเมตร | 40 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ มนุษย์ได้นำความรู้ทางเสียงมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันอย่างมาก จากการศึกษาทางวิทยาศาสตร์และทางวิศวกรรมศาสตร์ของเสียง ที่เราเรียกว่า อะคูสติกส์ ซึ่งเป็นการประยุกต์หลักการทางเสียงเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการออกแบบต่างๆทางเสียง เช่น การออกแบบลำโพงที่ใช้ในงานคอนเสิร์ต การวางตำแหน่งที่เหมาะสมของลำโพงในห้องประชุม และการหันทิศทางของลำโพง เป็นต้น

จากประโยชน์เหล่านี้ของเสียงที่ได้กล่าวมาข้างต้น เราจึงนำมาศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้ในงานทางเสียงคือการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้หาแพทเทิร์นของลำโพง เพื่อให้ทราบลักษณะของลำโพงที่เรานำมาศึกษา โดยเราจะใช้ทฤษฎีทางเสียงคือ ค่าของความดังของเสียงซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามองศาที่เปลี่ยนไปของแหล่งกำเนิด (ลำโพง) กับตัวรับ (ไมโครโฟน) และจากผลที่เราได้จากการวัดค่าของความดังที่เปลี่ยนไปตามองศาที่เปลี่ยนไปจะทำให้สามารถทราบถึงลักษณะการกระจายเสียงของลำโพง (Loudspeaker Pattern) ซึ่งจะเป็นการนำไปสู่การใช้ลำโพงอย่างเหมาะสมกับงานและมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาเรียนรู้ทฤษฎีทางเสียง
2. ศึกษาเรียนรู้เรื่องของลำโพงและ ไมโครโฟน
3. ศึกษาการใช้อุปกรณ์การวัด
4. ศึกษาแพทเทิร์นของลำโพง
5. สร้างอุปกรณ์การวัดแพทเทิร์นของลำโพง

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

1. ศึกษาทฤษฎีและคุณสมบัติทางเสียง
2. ศึกษาทฤษฎีและคุณสมบัติของลำโพงและ ไมโครโฟน ซึ่งใช้เป็นแหล่งกำเนิดและตัวรับสัญญาณเสียง
3. ศึกษาและออกแบบชุดการทดลองหาแพทเทิร์นของลำโพง
4. ทำการสร้างชุดการทดลองการวัดแพทเทิร์นของลำโพง
5. นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์รวมทั้งสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1. สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมในการศึกษาแพทเทิร์นของลำโพงได้อย่างมีประสิทธิภาพได้
2. ศึกษาถึงหลักการทำงานต่างๆของอุปกรณ์แต่ละส่วนที่นำมาใช้ในการทำโครงการพิเศษ
3. ได้ทราบถึงลักษณะแพทเทิร์นของลำโพง
4. ทราบถึงผลของการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่มีผลต่อการหาแพทเทิร์นของลำโพง เพื่อนำประยุกต์ใช้กับงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

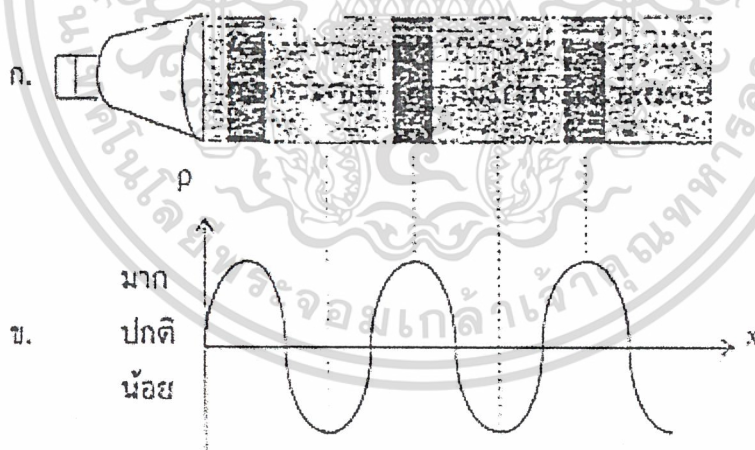
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีทางเสียง

คลื่นเสียงเป็นคลื่นกลตามยาว มีลักษณะเป็นคลื่นฮาร์โมนิก ซึ่งคลื่นนี้จะแผ่ออกไปทุกทิศทาง โดยต้องอาศัยตัวกลางซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ได้

จากการศึกษาพบว่า เมื่อเสียงแผ่ไปในอากาศจะทำให้ความดันเปลี่ยนแปลงแล้ว โมเลกุลของอากาศจะสั่นไปมาพร้อมกับถ่ายเทพลังงานให้กับ โมเลกุลอื่นๆ อย่างต่อเนื่องแล้วกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิมหลังจากคลื่นเสียงได้แผ่ผ่านไป ดังนั้น เมื่อมีคลื่นเสียงเดินทางไปในตัวกลางจะเกิดจุดที่มีอนุภาคอัดตัวและจุดที่อนุภาคขยายตัวออกจากกันสลับกันไปมาตลอดทาง และจุดเหล่านี้เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปเรื่อยๆ ในแนวทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เมื่อมองในแง่ความดันที่จุดๆหนึ่งจะมีค่ามากกว่าปกติ และน้อยกว่าปกติสลับกันไป ลักษณะของคลื่นที่โมเลกุลของตัวกลางที่คลื่นนั้นเดินทางผ่านไป มีการสั่นหรือเคลื่อนที่ในแนวการเดินทางของคลื่น เรียกว่า คลื่นตามยาว ซึ่งเป็นลักษณะประจำตัวของคลื่นเสียงทั่วไป



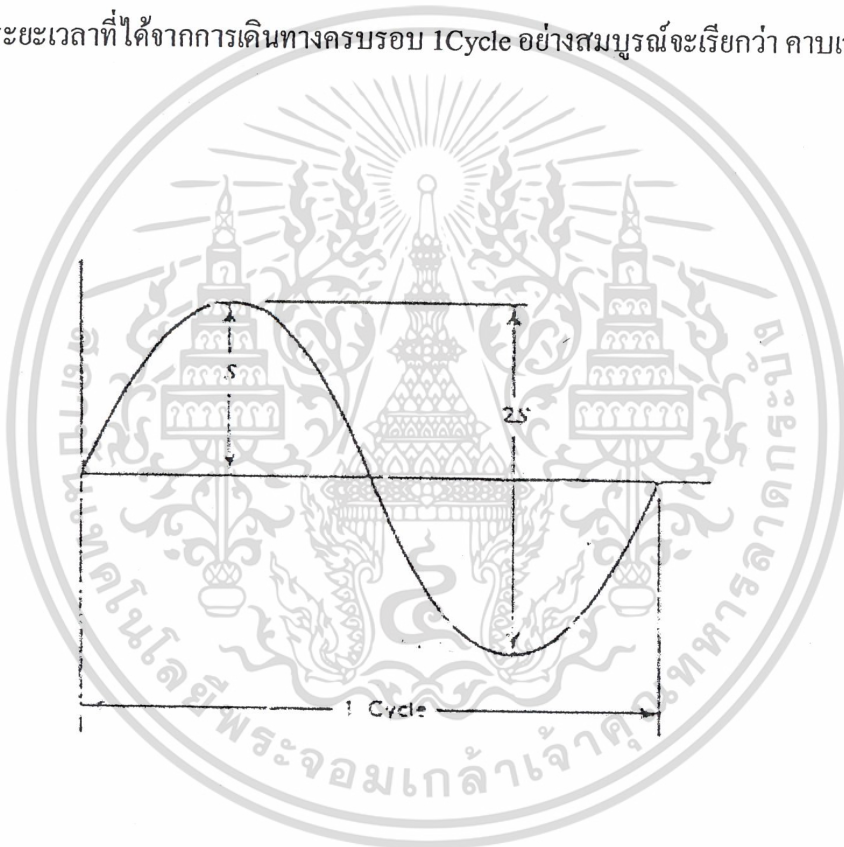
รูปที่ 2.1 ก. แสดงบริเวณที่มีการอัดและขยายตัวของ โมเลกุลของอากาศขณะที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านอากาศ

ข. แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างความดันและระยะทางเมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่าน

2.1.1 ลักษณะสมบัติของเสียง (Sound Characteristics)

ความถี่ (Frequency)

ในการอธิบายเรื่องของความถี่จะยกตัวอย่างของเรื่องลูกสูบที่เคลื่อนที่จากข้างล่างขึ้นข้างบนภายในกระบอกสูบ ทำให้เกิดเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิค ระยะทางจากจุดศูนย์กลางของกระบอกสูบไปยังจุดสุดท้าย จะเรียกว่า แอมพลิจูด ความยาวทั้งหมดของกระบอกจะเรียกว่า Double Amplitude ลูกสูบจะเคลื่อนที่สมบูรณ์ใน 1 รอบ เมื่อเริ่มจากจุดศูนย์กลางของกระบอกสูบไปยังจุดที่ไกลที่สุดและกลับมาทางเดิม และเคลื่อนที่จากจุดตรงข้ามของกระบอกสูบกลับมาอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงกลับไปยังจุดศูนย์กลางของกระบอกสูบจำนวนครั้งต่อวินาทีของลูกสูบจากจุดข้างล่างขึ้นข้างบน เมื่อผ่านครบรอบ 1 Cycle จะเรียกว่า ความถี่ ซึ่งความถี่ของคลื่นของคลื่นเสียงก็คือจำนวน Cycle ต่อวินาที ซึ่งระยะเวลาที่ได้จากการเดินทางครบรอบ 1 Cycle อย่างสมบูรณ์จะเรียกว่า คาบเวลา (Period)



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ในคลื่นรูป Sine

จากรูป

S คือ แอมพลิจูด

2S คือ Double Amplitude

f คือ ความถี่

ความเร็วของเสียง (Velocity of Sound)

การหาค่าของความเร็วของคลื่นเสียงนั้นทำได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะได้ค่าความเร็วแตกต่างกันออกไป เช่น ความเร็วของเสียงที่เคลื่อนที่ในตัวกลางเป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ก็จะมีวิธีการหาที่แตกต่างกัน

ค่าความเร็วของคลื่นเสียงอาจหาได้จาก ระยะที่คลื่นเสียงเดินทางครบ 1 Cycle ซึ่งจะได้

$$v = f\lambda \quad 2.1$$

v คือ ความเร็วของเสียง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

f คือ ความถี่ มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์

λ คือ ความยาวคลื่น

คลื่นเสียงสามารถแพร่เข้าไปในของแข็ง ของเหลว ก๊าซได้ ความเร็วของเสียงในตัวกลางจะขึ้นกับความหนาแน่นของตัวกลาง และคุณสมบัติความยืดหยุ่นของตัวกลาง เราสามารถหาค่าความเร็วของเสียงในของแข็งได้จาก

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad 2.2$$

เมื่อ Y คือค่า Yong's modulus

ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง

ค่าความเร็วของเสียงในของเหลว คือ

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad 2.3$$

เมื่อ B คือ Bulk modulus

ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง

ค่าความเร็วของเสียงในอากาศคือ

$$v = \sqrt{\frac{P\gamma}{\rho}} \quad 2.4$$

เมื่อ γ คือ ค่าคงที่ เรียกว่าสัดส่วนของความร้อนจำเพาะของก๊าซมีค่าเท่ากับ 1.40 ในอากาศ

P คือ แรงดันของก๊าซ

ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง

จากสมการการหาค่าของความเร็วเสียงของก๊าซ ค่าแรงดันและความหนาแน่นของก๊าซจะเปลี่ยนแปลงไปกับอุณหภูมิของก๊าซ ด้วยเหตุนี้ ความเร็วของก๊าซจะขึ้นกับอุณหภูมิของก๊าซ ดังนั้น ความเร็วเสียงในอากาศ คือ

$$v = (3.31 + 0.6060)t \quad 2.5$$

เมื่อ t คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

การส่งผ่านของพลังงานในคลื่นและความเข้มของคลื่น

เราจำกัดความว่าคลื่นหนึ่งที่แพร่ โดยการรบกวนเข้าไปในตัวกลางตัวกลางหนึ่ง สาเหตุของการรบกวนคือ อนุภาคของตัวกลางซึ่งเกิดการเคลื่อนที่ ดังนั้น เราจะเห็นได้ว่าการสั่นของอนุภาคจะทำให้เกิดพลังงาน และพลังงานนี้จะส่งผ่านจากอนุภาคหนึ่งไปยังอนุภาคหนึ่งในตัวกลาง ดังนั้นพลังงานการส่งผ่านคลื่นที่เกิดจากการถ่ายทอระหว่างอนุภาค

ให้เราพิจารณา อนุภาค อนุภาคเคลื่อนที่เป็นซิมเปิลฮาร์โมนิกอย่างง่าย ถ้าไม่มีการสูญเสียของพลังงาน จะได้พลังงานการส่งผ่านทั้งหมดของคลื่นเท่ากับพลังงานรวมของการสั่นของอนุภาค นั่นคือ

$$E_{\text{transmitted}} = (E_{\text{to}})_{\text{Particle}} \quad 2.6$$

พลังงานทั้งหมดจะถูกครอบครองโดยอนุภาคเดี่ยวๆ ในการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก ครึ่งมีค่าเท่ากับ

$$E_{\text{tot}} = \frac{1}{2} kR^2 \quad 2.7$$

เมื่อ R คือ แอมพลิจูดของการสั่น

K คือ ค่าคงที่ของการหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความถี่เชิงมุม คือ

$$\omega^2 = \frac{K}{m} \quad 2.8$$

เมื่อ m คือ มวลของอนุภาคที่เคลื่อนที่
 ดังนั้นสามารถหาค่าคงที่ของการหมุน(K) ได้คือ

$$K = \omega^2 m \quad 2.9$$

และจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เชิงมุมกับความถี่การสั่นของอนุภาค คือ

$$\omega = 2\pi f \quad 2.10$$

ดังนั้น สมการ 2.9 จะกลายเป็น

$$K = (2\pi f)^2 m \quad 2.11$$

แทนสมการ 2.11 ในสมการ 2.7 จะได้

$$E_{tot} = 1 / 2(2\pi f)^2 m R^2 \quad 2.12$$

ดังนั้นจะได้ค่าพลังงานการส่งผ่านของคลื่น คือ

$$E_{transmitted} = 2\pi^2 f^2 m R^2 \quad 2.13$$

จะได้ว่าพลังงานการส่งผ่านของคลื่นเป็นสัดส่วน โดยตรงกับค่ากำลังสองของความถี่ของคลื่นและค่ากำลังสองของแอมพลิจูดของคลื่นจากการพิสูจน์สมการที่ 2.13 สำหรับการส่งผ่านพลังงานของคลื่นให้อยู่ในรูปทั่วไปได้ ในบางครั้งเราอาจจะกล่าวถึงคลื่นในเทอมของความเข้มข้นของมัน ความเข้มข้นของคลื่นก็คือ ค่าพลังงานของคลื่นนั้นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในหนึ่งหน่วยเวลา ดังนี้

$$I = \frac{E}{At} \quad 2.14$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยของความเข้ม คือ วัตต์ต่อตารางเมตร แทนค่าพลังงานของคลื่นจากสมการ 2.13 ลงในสมการ 2.14 จะได้

$$I = 2\pi^2 \frac{mf^2R^2}{At} \quad 2.15$$

เพราะเหตุนี้ความหนาแน่นของตัวกลางหาได้จาก มวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ดังนั้น มวลของอนุภาคในการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก หาได้โดย

$$m = \rho V \quad 2.16$$

และค่าปริมาตรของตัวกลางหาได้จากผลคูณระหว่าง พื้นที่หน้าตัดของตัวกลางนั้นกับความยาวของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน ดังนั้นค่ามวลจะกลายเป็น

$$m = \rho AL \quad 2.17$$

แทนสมการ 2.17 ลงในสมการ 2.15 จะได้

$$I = 2\pi^2 \frac{\rho ALf^2R^2}{At} \quad 2.18$$

ซึ่งค่า L/t คือค่าความเร็วของคลื่นดังนั้น

$$I = 2\pi^2 \rho f^2 R^2 v \quad 2.19$$

สมการ 2.19 กล่าวถึง ความเข้มของคลื่นกลที่ความถี่ แอมพลิจูด ซึ่งเคลื่อนที่ ณ ความเร็วหนึ่ง ในความหนาแน่นของตัวกลางหนึ่งหุคนเราสามารถได้ยินเสียงที่มีความเข้มต่ำสุดประมาณ 10^{-12} W/m² และสูงสุดคือ 1 W/m² จะเห็นว่าช่วงกว้างของความเข้มจากต่ำสุดถึงสูงสุดมีขนาดประมาณ 10^{12} W/m² เพื่อความสะดวกในการหาค่าระดับความเข้ม จึงใช้ลอการิทึมมาใช้ในการวัดมีหน่วยเป็น เบล และหน่วยที่นิยมใช้คือ เดซิเบล ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.20

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad 2.20$$

เมื่อ β คือ ระดับความเข้มของเสียง มีหน่วยเป็น dB

I_0 คือ ความเข้มอ้างอิง = $1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$

กำลังอัดของเสียง (Sound Pressure Level)

ในทางไฟฟ้า ถ้าค่าอินพีแดนซ์คงที่ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้า จะเท่ากับอัตราส่วนของแรงดันยกกำลังสอง คังสมการ

$$\frac{W_2}{W_1} = \left[\frac{E_2}{E_1} \right]^2 \quad 2.21$$

เมื่อ E_2 และ E_1 คือ แรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกตามลำดับ

ดังนั้น ค่าค่าระดับกำลังไฟฟ้าเป็นเดซิเบลจะเท่ากับ 10 คูณกับลอการิทึมของอัตราส่วนกำลังไฟฟ้า

$$\frac{W_2}{W_1} = \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^2 \quad 2.22$$

$$SPL = 10 \log \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^2 = 20 \log \frac{P_2}{P_1} \quad 2.23$$

เมื่อ SPL คือ กำลังอัดของเสียง มีหน่วยเป็น เดซิเบล

P_2 คือ กำลังของเสียง มีหน่วยเป็น N/m^2

P_1 คือ กำลังของเสียงที่ระดับเปรียบเทียบ มีหน่วยเป็น N/m^2

ในเรื่ออคูสติค ค่าระดับเปรียบเทียบ คือ $2.0 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ โดยพิจารณาจากความถี่ที่

1 kHz บางครั้งจะเขียนเป็น 0.0002 dyne/cm^2 หรือ $0.0002 \text{ } \mu\text{bar}$ ดังนั้น

$$SPL = 20 \log \frac{P}{2.0 \times 10^{-5}} \quad 2.24$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ลำโพง (Loudspeaker)

ลำโพงเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยแปลงแรงดันทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณเสียง ซึ่งการแบ่งชนิดของลำโพง แบ่งได้โดย

1. แบ่งตามลักษณะการกระจายเสียง

a) Direct radiation loudspeaker

แผ่นไวเบรตจะเป็นตัวรับสัญญาณและจะให้สัญญาณเสียงในทิศทางตรง ซึ่งมักจะพบว่าลำโพงประเภทนี้จะอยู่ในลักษณะรูปกรวยหรือ โคน ซึ่งจะ ได้แก่ Cone loudspeaker , Condenser loudspeaker เป็นต้น

b) Indirect radiation loudspeaker หรือ horn loudspeaker

จะมีการแพร่กระจายเสียงในอากาศเป็นลักษณะของรูปแตร

2. แบ่งตามลักษณะโครงสร้างในการให้เสียง

a) Electro dynamic loudspeaker

b) Electro magnetic loudspeaker

3. แบ่งตามช่วงของการได้ยิน

ระบบเสียงที่มนุษย์ได้ยินจะเริ่มจาก 20 Hz จนถึง 20000 Hz และมักแบ่งออกเป็น 3 ช่วงหลักๆดังนี้

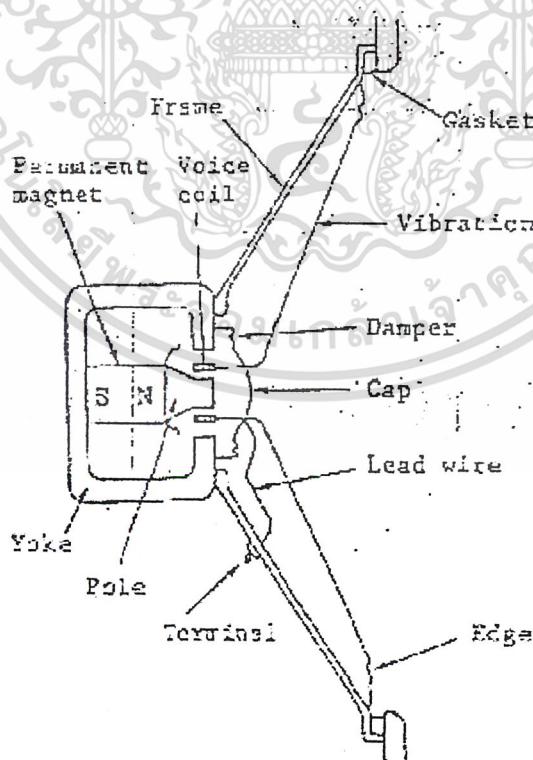
- เสียงความถี่ต่ำ มักเรียกว่าเสียงทุ้ม (Base) เช่น เสียงจากนักร้องเสียงเบสและเสียงกลองต่างๆ
- เสียงความถี่กลาง มักเรียกว่าเสียงกลาง (Midrange) เช่น เสียงจากนักร้องทั่วไป เสียงจากกีตาร์ และเสียงจากเครื่องดนตรีส่วนมาก
- เสียงความถี่สูง มักเรียกว่าเสียงแหลม (Treble) เช่น เสียงจากกระดิ่ง ไวโอลิน ฟลูท ซึ่งลำโพงที่เข้ากับเสียงความถี่ต่างๆได้แก่
- ลำโพงขนาดใหญ่ เรียกว่า วูฟเฟอร์ (Woofer) ให้เสียงทุ้มเป็นหลักและเสียงกลางบางส่วน
- ลำโพงขนาดกลาง เรียกว่า มิดเรนจ์ (Midrange) ให้เสียงกลางเป็นหลักและเสียงแหลมบางส่วน
- ลำโพงขนาดเล็ก เรียกว่า ทวีตเตอร์ (Tweeter) ให้เสียงแหลม (Treble sound)

ลำโพงแบบอเล็กโตรไดนามิก (Electro dynamic loudspeaker)

ในการหาแพทเทิร์นของลำโพงนี้เราได้เลือกใช้ลำโพงแบบ อเล็กโตรไดนามิก เนื่องจากเป็นลำโพงที่ได้มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง ประมาณ 95% ของลำโพงที่ใช้กันในระบบเครื่องเสียง สเตอริโอเป็นลำโพงชนิดนี้ โดยการใช้แม่เหล็กและขดลวดที่พันจากลวดเส้นเล็กๆ ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของกรวยลำโพง ซึ่งก่อให้เกิดคลื่นเสียงตามมา องค์ประกอบหลักของลำโพงแบบอเล็กโตรไดนามิกจะแสดงดังรูป

โครงสร้างของลำโพงเป็นตัวยึดองค์ประกอบต่างๆ เข้าด้วยกันและยังใช้เป็นตัวยึดลำโพงเข้ากับตู้ด้วย โครงสร้างลำโพง (Frame บางทีเรียกว่า Basket) จะมีรูตรงกลางกลวงเพื่อให้อากาศวิ่งผ่านได้อย่างอิสระรอบๆ กรวยลำโพง (Core) เส้นผ่านศูนย์กลางของลำโพงมีตั้งแต่ 1 ถึง 15 นิ้ว โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างลำโพงที่มีขนาดใหญ่ จะให้เสียงที่ดังกว่า และนิยมใช้ในการสร้างเสียงทุ้ม (Bass) ในขณะที่ลำโพงขนาดเล็กจะ ใช้ในการสร้างเสียงกลางและเสียงแหลม

ส่วนของลำโพงที่เรียกว่า ไดรเวอร์ (Driver) ได้แก่ แม่เหล็กถาวรและขดลวด (Voice coil) ซึ่งจะประกอบด้วยลวดเส้นเล็กๆ พันบนแกนหลายๆ ขดซ้อนกันอยู่สัญญาณไฟฟ้าจากวงจรขยายจะป้อนสู่ขดลวดนี้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กรอบๆ ขดลวดกับแม่เหล็กถาวรทำให้ตัวขดลวดนี้เคลื่อนที่ไปมา โดยที่รอบๆ จะยึดกรวยกระดาษไว้จึงเกิดการกระพืออากาศก่อก่เกิดเป็นคลื่นเสียงขึ้น



รูปที่ 2.4 แสดงภาพ โครงสร้างของลำโพงแบบอเล็กโตรไดนามิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของลำโพง

ผลตอบสนองเชิงความถี่

ผลตอบสนองเชิงความถี่ คือ ช่วงความถี่เสียงที่ทำให้เสียงที่ออกจากลำโพงมีความถูกต้อง เช่น สัญญาณต้นแบบทำการวัดโดยปรับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณอินพุท โดยกำหนดขนาดของสัญญาณคงที่ และปรับค่าความถี่จาก 20 Hz ถึง 20000 Hz หากสัญญาณเสียงที่ได้มีขนาดคงที่ทุกช่วงความถี่ทางอินพุท เรียกว่า มีผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ราบเรียบ (Flat) เขียนได้ว่า

ความไว (Sensitivity)

เป็นการวัดระดับเสียงจากลำโพงเมื่อป้อนกำลังงานไฟฟ้าคงที่แก่ลำโพง โดยการป้อนสัญญาณขนาดคงที่ทั้งในแง่ความถี่และแอมพลิจูด ระดับเสียงของลำโพงจะถูกวัดที่ห่างออกจากปากลำโพงในระยะทางหนึ่งๆ (มักกำหนดระยะ 1 เมตร) การบ่งบอกค่าความไวนี้เป็นการบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของลำโพงโดยตรง

แดมปีง (Damping)

กรวยลำโพงจะต้องเคลื่อนที่ตามรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าทางอินพุท หากกรวยลำโพงยังคงกระเพื่อมต่อไปที่สัญญาณทางอินพุทหายไปแล้ว ย่อมทำให้เสียงที่ได้จากลำโพงผิดเพี้ยนจากความเป็นจริงจึงต้องมีการหน่วงการเคลื่อนที่ เรียบขบวนการนี้ว่า แดมปีง (Damping) โดยขึ้นกับ

- ชนิดของสารที่ใช้ทำกรวยลำโพง
- น้ำหนักของแม่เหล็ก
- ตัวจับโครงหลักของกรวยกระด้างเข้ากับโครงหลักของลำโพง (Suspension และ Spider)

ความเพี้ยนของเสียง

เสียงใดๆที่ได้ยิน หากไม่ตรงกับสัญญาณต้นแบบ เรียกว่า มีความผิดเพี้ยนทั้งสิ้น ลำโพงก็เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เสียงผิดเพี้ยนได้เสมอ รูปแบบความผิดเพี้ยนของเสียงลำโพงมีดังนี้

- 1 ความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกและอินเทอร์มอดูเลชัน เกิดจากความถี่แปลกลดลงซึ่งเกินขึ้นทางลำโพงต่างๆที่ไม่มีความถี่เหล่านี้ทางอินพุท สาเหตุเกิดจากองค์ประกอบในลำโพงไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะในกรณีขับลำโพงด้วยสัญญาณไฟฟ้าขนาดใหญ่มาก
- 2 นอยส์ (Noise) เป็นเสียงแบบสั้นกระแทกจากลำโพง เนื่องจากอุปกรณ์ในลำโพงเสียหายหรือเกิดจากการสั่นของตู้ลำโพงก็ได้
- 3 ผลตอบชั่วขณะ (Transient Response) เป็นลักษณะของการหน่วงเวลาจากการหน่วงเวลาจากการที่กรวยลำโพงเริ่มต้นทำงานจากจุดหยุดนิ่งไปถึงจุดสั้น โดยการป้อนห้วงสัญญาณกระชาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ซึ่งผลของการตอบสนองของลำโพงขึ้นกับหลายๆ องค์ประกอบ เช่น ค่าความแข็งของกรวย ลำโพง ซึ่งกรวยลำโพงที่แข็งจะหน่วงเวลาการเคลื่อนที่ของมันเอง ทำให้มีผลตอบสนองที่ช้า
- 4 การขลิบสัญญาณ (Clipping) เกิดขึ้นเมื่อกรวยลำโพงไม่สามารถเคลื่อนที่เร็วเท่าที่ต้องการขณะ ป้อนสัญญาณไฟฟ้าทำให้เสียงที่ได้แตกพร่า

2.3 ไมโครโฟน (Microphone)

ไมโครโฟนเป็นอุปกรณ์พื้นฐานอย่างหนึ่งที่ใช้ในการแปลงพลังงานรูปแบบหนึ่งไปเป็น พลังงานอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งในที่นี้ก็คือ เปลี่ยนพลังงานเสียงธรรมชาติหรือที่เรียกว่า พลังงานที่เป็น อคูสติก (Acoustic) เป็นพลังงานไฟฟ้าหรือที่เราเรียกว่า สัญญาณเสียง (audio signal) นั่นเอง

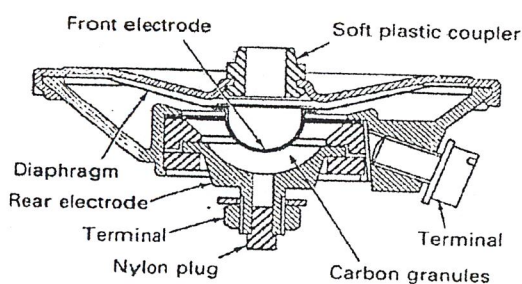
ชนิดของไมโครโฟน (Type of Microphone)

- 1 แบบมูฟวี่งคอยล์ (Moving coil)
- 2 แบบริบบอน (Ribbon)
- 3 แบบคอนเดนเซอร์ (Condenser)
- 4 แบบคาร์บอน (Carbon)
- 5 แบบคริสตอล (Crystal)

ในที่นี้จะกล่าวถึงชนิดของไมโครโฟนที่สำคัญๆ เพียง 2 ชนิดคือ ไมโครโฟนแบบมูฟวี่งคอยล์ และไมโครโฟนแบบคอนเดนเซอร์

มูฟวี่งคอยล์ไมโครโฟนหรือไดนามิกไมโครโฟน

ไมโครโฟนชนิดนี้ใช้หลักการเดียวกับลำโพง แต่ใช้ในทางกลับกัน กล่าวคือ ลำโพงนอกจากจะแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นคลื่นเสียงแล้ว ยังสามารถแปลงคลื่นเสียงเป็นแรงดันไฟฟ้าได้อีกด้วย สำหรับไมโครโฟนชนิดนี้ใช้ความสามารถในการแปลงคลื่นเสียงเป็นแรงดันไฟฟ้าของลำโพงเป็นหลักในการออกแบบ



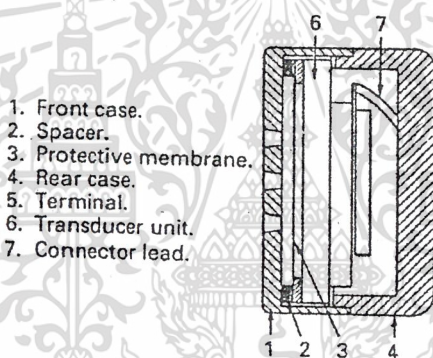
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของไมโครโฟนแบบมูฟวี่งคอยล์ (Moving coil microphone)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้เผยแพร่เชิงพาณิชย์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีคลื่นเสียงมากระทบที่แผ่น ไดอะแฟรม (Vibrating plate) ของไมโครโฟน จะเกิดการเคลื่อนที่เข้า-ออก ตามลักษณะของคลื่นเสียง ขดลวดเล็กๆ ที่ติดอยู่กับแผ่น ไดอะแฟรม และวางอยู่ในสนามแม่เหล็กก็จะเคลื่อนที่ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของแผ่น ไดอะแฟรม ไปตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก เกิดเป็นแรงดันขึ้นที่ปลายของขดลวด แรงดันไฟสลับจะเกิดขึ้นตามแรงและทิศทางของคลื่นเสียง โดยทั่วไปแล้ว ไมโครโฟนมีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำแต่สามารถทำให้สูงขึ้นได้โดยใช้แมตชิ่งแอมพลิไฟเออร์ (matching amplifier) หรือแมตชิ่งทรานส์ฟอร์มเมอร์ (matching transformer)

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (Condenser microphone)

เป็นไมโครโฟนที่มีความชัดเจนของเสียงแบบหนึ่งในจำนวนไมโครโฟนหลายๆ แบบ ซึ่งไมโครโฟนชนิดนี้ ใช้แผ่นโลหะที่เป็นขั้วหนึ่งของตัวเก็บประจุเป็นแผ่น ไดอะแฟรม ซึ่งเมื่อมีคลื่นเสียงมากระทบที่แผ่น ไดอะแฟรมแล้ว รูปทรงของแผ่นโลหะจะเปลี่ยนไป และจะเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไปด้วย



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะ โครงสร้างภายในของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

แผ่น ไดอะแฟรมของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (Vibrating plate) ทำมาจากโลหะหรือฟิล์มพลาสติก ด้านหลังของแผ่น ไดอะแฟรมจะเป็นขั้วโลหะ ซึ่งจะทำตัวเป็นขั้วหนึ่งของตัวเก็บประจุไฟฟ้าดังกล่าวจะต้องนำไปป้อนให้วงจรขยายสัญญาณที่เรียกว่า ปริแอมพลิฟายเออร์หนึ่ง เพื่อขยายสัญญาณให้มีความแรงพอเหมาะต่อไป

ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของไมโครโฟน

ความไว (Sensitivity)

ความไวของไมโครโฟนเป็นการวัดประสิทธิภาพของไมโครโฟน โดยการวัดความสามารถของไมโครโฟนในการเปลี่ยนสัญญาณเสียงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยทั่วไปเราสามารถหาค่า Sensitivity ได้จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Sensitivity} = E / P$$

เมื่อ E คือ ค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไปของไมโครโฟนเมื่อได้รับแรงดันเสียงมีหน่วยเป็น โวลต์
P คือ แรงดันของเสียง มีหน่วยเป็น ไมโครบาร์

โดยทั่วไปค่า Sensitivity จะเขียนในรูปของ dB โดย จะเท่ากับ 0 dB ดังนั้นจะได้

$$\text{Sensitivity} = 20 \log \frac{E}{P} \quad \text{dB}$$

ย่านความถี่ตอบสนอง (Response Frequency)

ย่านความถี่ตอบสนองของไมโครโฟน ก็คือกราฟแสดงอัตราส่วนของอินพุตต่อเอาต์พุต ตลอดย่านความถี่ของไมโครโฟนนั้นๆ โดยการพล็อตระหว่างค่าความถี่ ในแกน x และ dB ในแกน y ซึ่งกราฟย่านความถี่ตอบสนองนิยมและจำเป็นมากในการบ่งบอกคุณภาพของไมโครโฟน โดยถ้ากราฟยิ่งกว้างเท่าใด แสดงว่าไมโครโฟนนั้นมีการตอบสนองในย่านความถี่ที่กว้าง

Directivity

ค่า Directivity เป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Sensitivity กับทิศทางของเสียงที่ไมโครโฟนรับเข้ามา โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดและ โครงสร้างที่เข้ามา ส่วนคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน ค่า Sensitivity จะขึ้นกับทิศทางของเสียงที่ได้รับ

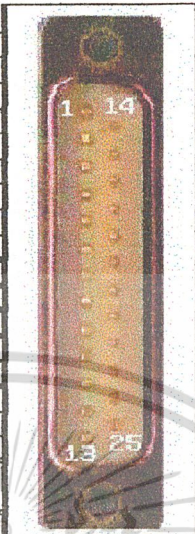
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio)

อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน เขียนย่อได้ว่า S/N หรือ SNR อัตราส่วนนี้จะหมายถึง ความแตกต่างระหว่างระดับสัญญาณกับสัญญาณรบกวน ซึ่งสำหรับไมโครโฟน สัญญาณรบกวนมักจะเกิดจาก ค่าความต้านทานภายใน และการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของอากาศแบบไม่มีทิศทางแน่นอน

2.4 พอร์ตขนาน (Parallel Port)

| | |
|---------------|-------|
| -STROBE | 1 |
| Data 0 | 2 |
| Data 1 | 3 |
| Data 2 | 4 |
| Data 3 | 5 |
| Data 4 | 6 |
| Data 5 | 7 |
| Data 6 | 8 |
| Data 7 | 9 |
| -ACK | 10 |
| BUSY | 11 |
| Paper Empty | 12 |
| Select | 13 |
| -Auto Feed XT | 14 |
| -ERROR | 15 |
| -INIT | 16 |
| -SLCT IN | 17 |
| Ground | 18-25 |

TWISTED PAIR RETURNS
CONNECTED IN TYPICAL CABLE
Shield + Frame



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของ Parallel Port

พอร์ตขนานเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ควบคุม stepping motor จากภาพได้แสดงถึงขาของพอร์ตที่นำมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

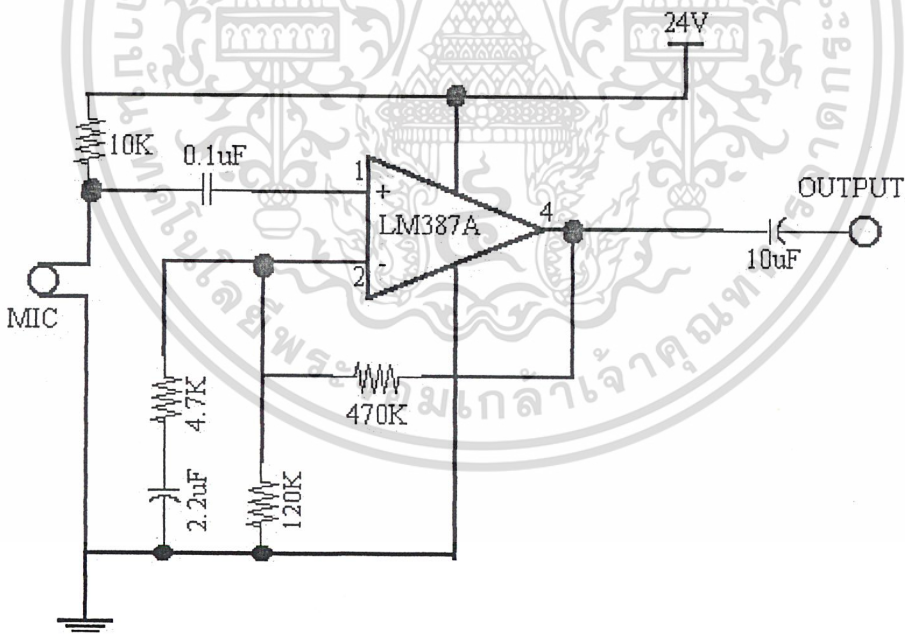
การดำเนินการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และเครื่องที่เกี่ยวข้อง

1. ลำโพงชนิดไดนามิก
2. ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์
3. วงจร Preamplifier
4. วงจร Power Amplifier
5. วงจรควบคุม Stepping motor
6. ฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์
7. ออสซิลโลสโคป

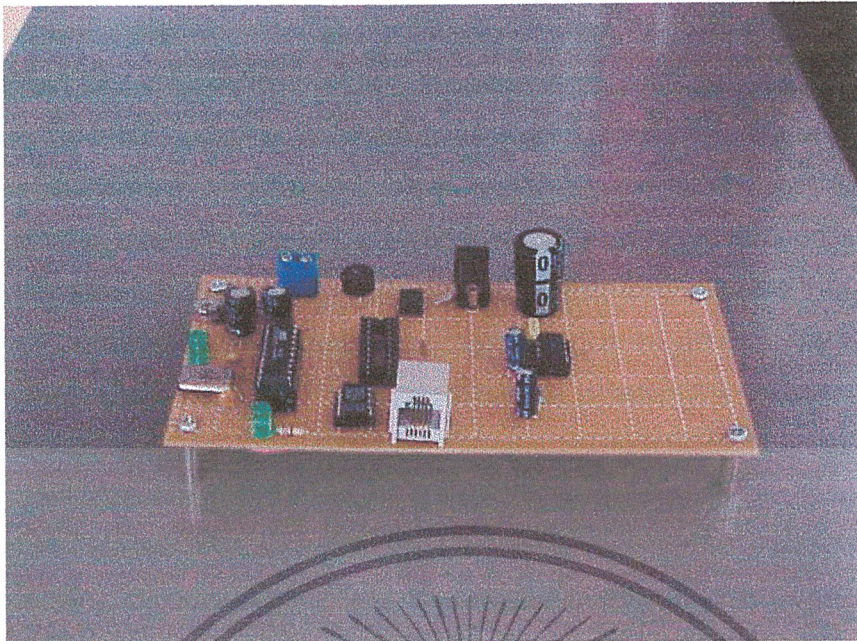
3.2 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 วงจร Preamplifier



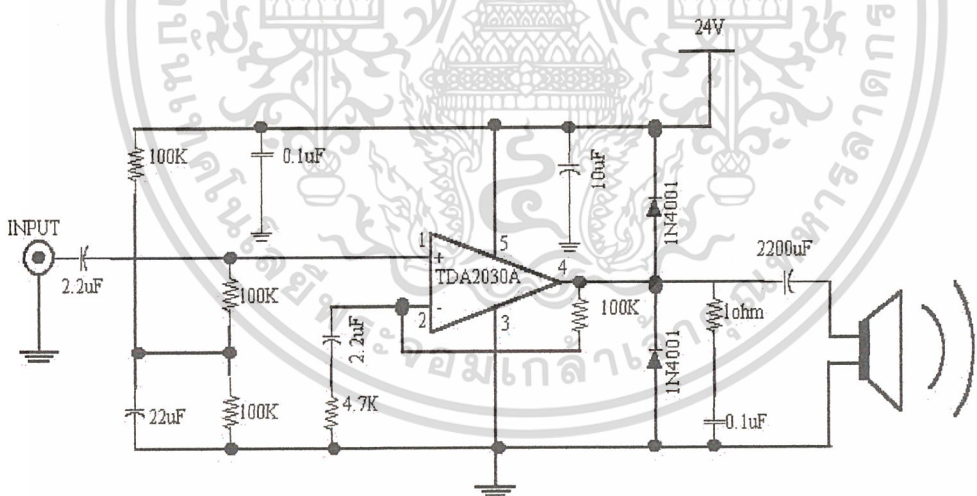
รูปที่ 3.1 แสดงวงจร Pre - Amp ที่ใช้ขยายสัญญาณจากไมโครโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



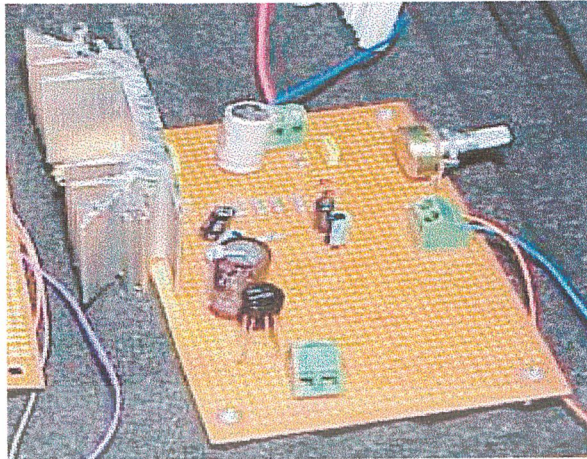
รูปที่ 3.2 แสดงวงจร Pre - Amp ที่ใช้ไอซี LM387A ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2 วงจร Power Amplifier



รูปที่ 3.3 แสดงวงจร Power Amplifier ที่ใช้ขั้วลำโพงในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



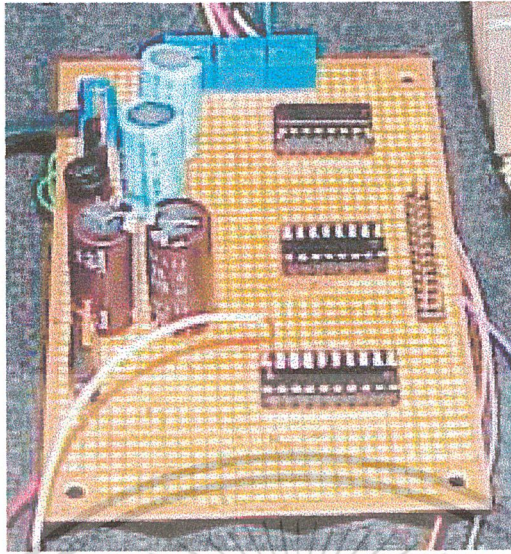
รูปที่ 3.4 แสดงวงจร Power Amplifier ที่ใช้ไอซี TDA2030A ที่ใช้ขับลำโพงในการทดลอง

3.2.3 วงจร Step motor



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรที่ใช้ควบคุม Stepping motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

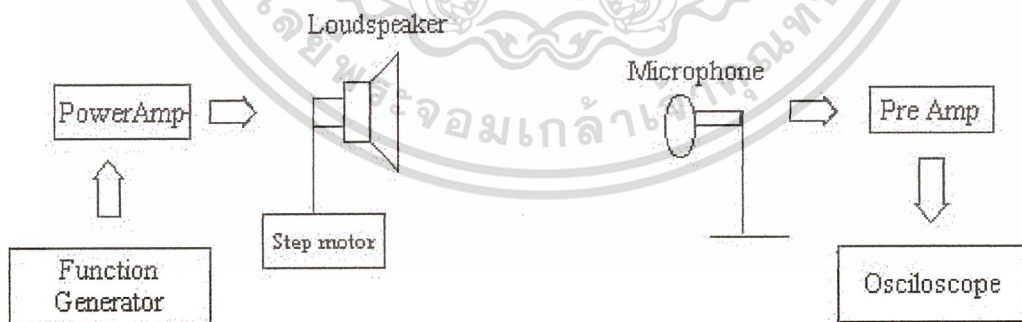


รูปที่ 3.6 แสดงวงจรควบคุม Stepping motor โดยใช้ไอซีเบอร์ ULN2003 เป็นตัวควบคุม

3.3 การดำเนินการทดลอง

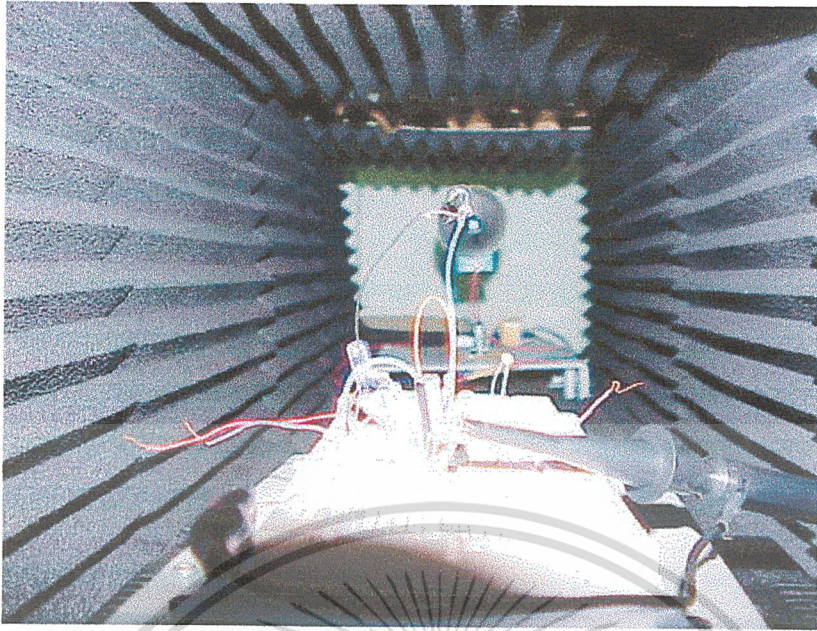
วิธีการทดลองของโครงการพิเศษมีดังนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบลักษณะของแพทเทิร์นของลำโพงในระยะห่างระหว่างลำโพงและไมโครโฟนที่ระยะห่างต่างกัน

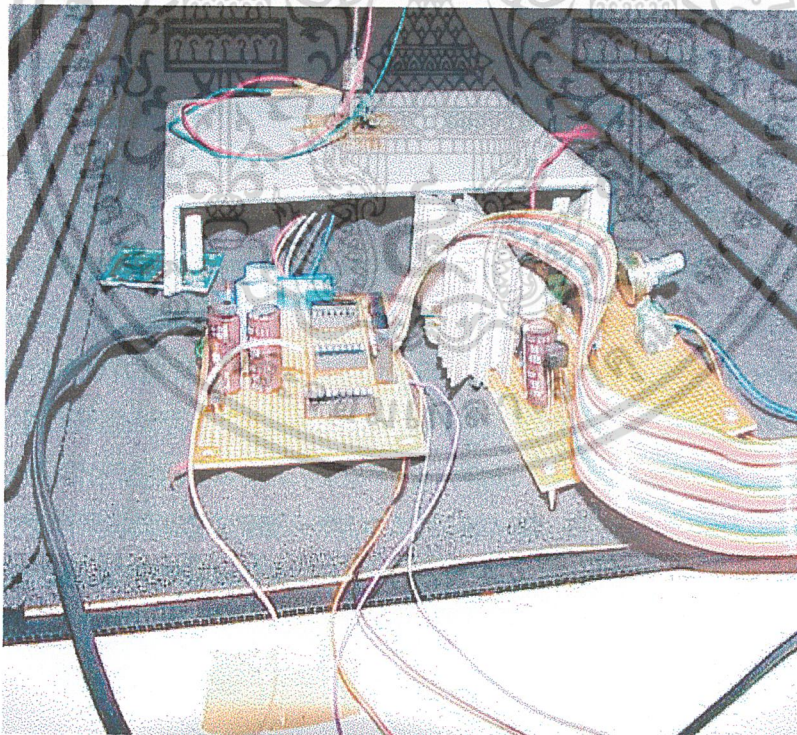


รูปที่ 3.7 แสดงภาพการจัดอุปกรณ์การทดลองวัดแพทเทิร์นของลำโพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

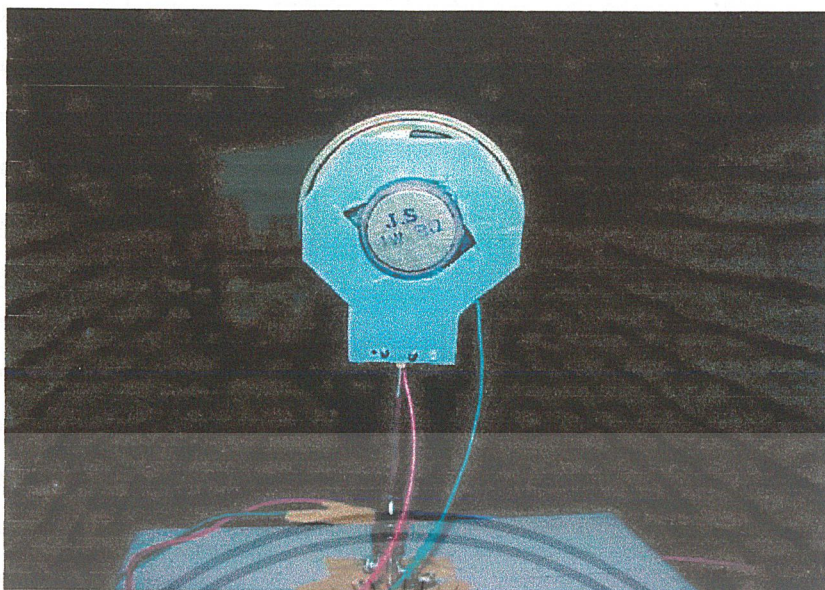


รูปที่ 3.8 แสดงการจัดอุปกรณ์ต่างที่ใช้ทำการวัดแพทเทิร์นของลำโพง



รูปที่ 3.9 แสดงการจัดอุปกรณ์ต่างที่ใช้ทำการวัดแพทเทิร์นของลำโพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงการจัดอุปกรณ์ต่างที่ใช้ทำการวัดแพทเทิร์นของลำโพง

ตอนที่ 1 ในที่นี้จะใช้ความถี่ที่ 3000 Hz โดยจัดชุดอุปกรณ์การวัดได้ดังรูปที่ 3.8 , 3.9 และรูปที่ 3.10 และมีวิธีการดำเนิน การทดลองเพื่อเปรียบเทียบแพทเทิร์นของลำโพงดังนี้

1. จัดให้ลำโพงอยู่ตำแหน่งเดียวแนวเดียวกับ ไมโคร โฟน โดยให้ระยะห่างระหว่างทั้งสองเป็นระยะ 50 เซนติเมตรและระยะ 80 เซนติเมตร
2. ใช้ความถี่ให้แหล่งกำเนิดเสียงด้วยความถี่ 3000 Hz
3. ปรับมุมมองของลำโพงให้เปลี่ยนแปลงโดยลำโพงอยู่กับที่โดยใช้สเต็ปมอเตอร์ขั้วที่ละ 7.5 องศา
4. อ่านค่า V จากออสซิลโลสโคปทุกๆค่ามุมที่สเต็ปมอเตอร์ขั้ว
5. นำค่า V ที่อ่านได้และค่ามุมมองที่เปลี่ยนแปลง นำมาพล็อตกราฟค่ามุมมองกับ V
6. เปรียบเทียบการหาแพทเทิร์นโดยการเปลี่ยนระยะการวัดโดยทำเหมือน ข้อ1-5 ตามลำดับ

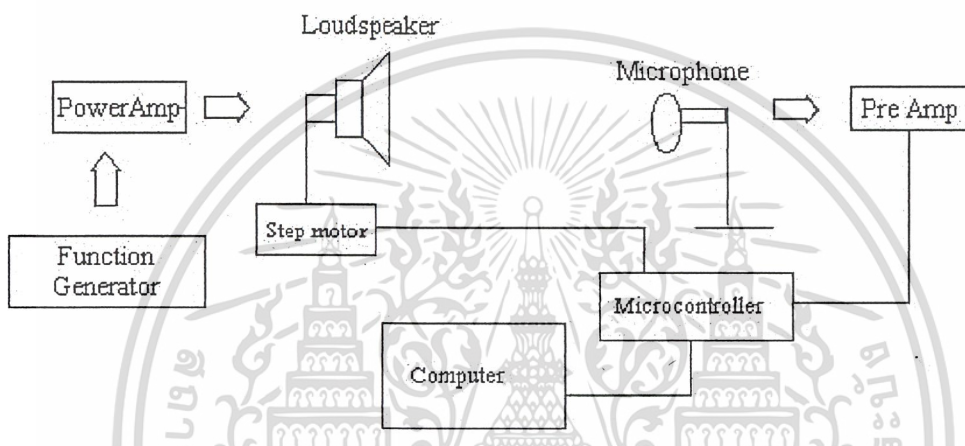
ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบลักษณะของแพทเทิร์นของลำโพงในความถี่ที่ต่างกันในระยะห่างที่เท่ากัน

1. จัดให้ลำโพงอยู่ตำแหน่งเดียวแนวเดียวกับ ไมโคร โฟน โดยให้ระยะห่างระหว่างทั้งสองเป็นระยะ 80 เซนติเมตร
2. ใช้ความถี่ให้แหล่งกำเนิดเสียงด้วยความถี่ 1000 Hz , 3000 Hz และ 5000 Hz
3. ปรับมุมมองของลำโพงให้เปลี่ยนแปลงโดยลำโพงอยู่กับที่โดยใช้สเต็ปมอเตอร์ขั้วที่ละ 7.5 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

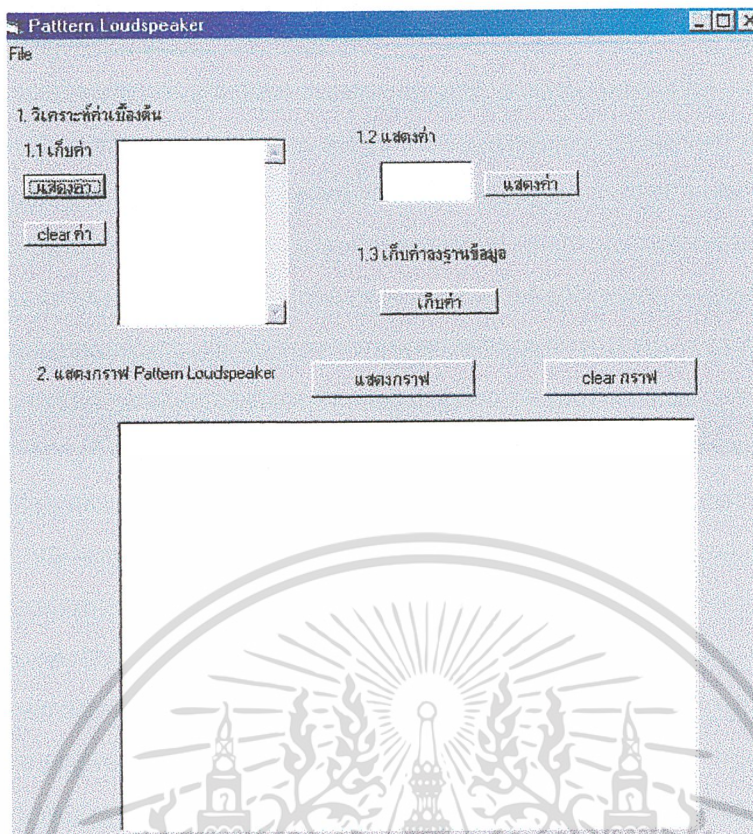
4. อ่านค่า V จากออสซิลโลสโคปทุกๆค่ามุมที่สแต็ปมอเตอร์จับ
5. นำค่า V ที่อ่านได้และค่ามุมองศาที่เปลี่ยนแปลง นำมาพล็อตกราฟค่ามุมองศา กับ V
6. เปรียบเทียบการหาแพทเทิร์น โดยการนำค่าโงงขนาดต่างๆมาทำการวัด โดยทำเหมือนข้อ 1-5 ตามลำดับ

ตอนที่ 3 การวัดแพทเทิร์นของลำโพงโดยเชื่อมต่อและควบคุมโดยคอมพิวเตอร์โดยการแสดงทางคอมพิวเตอร์ โดยจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงภาพการจัดอุปกรณ์การทดลองวัดแพทเทิร์นของลำโพง

1. ใช้ลำโพงขนาด 8 โอห์ม 0.25 วัตต์ และ 8 โอห์ม 1 วัตต์
2. วัดแพทเทิร์นของลำโพงทั้งสองที่ความถี่ 1000 Hz, 3000Hz ที่ระยะ 80 เซนติเมตร
3. วิธีการทำงานของ โปรแกรมแสดงผลแพทเทิร์นของลำโพงดังรูป 3.12
 - 3.1 วิเคราะห์ค่าเริ่มต้น
 - 3.2 เก็บค่าจากการวิเคราะห์ข้อมูล
 - 3.3 บันทึกค่าลงฐานข้อมูล
 - 3.4 แสดงผลแพทเทิร์นของลำโพงในโปรแกรม



รูปที่ 3.12 แสดงภาพ โปรแกรมในการทดลองวัดเพทเทิร์นของลำโพง

4. ทำการทดลองกับลำโพงทั้งสองตัวเพื่อศึกษาลักษณะของเพทเทิร์นของลำโพงโดยใช้โปรแกรมดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลของการทดลอง

ตอนที่ 1

ลําโพง ขนาด 8 โอห์ม 0.25 วัตต์

ทำการทดลองโดยการวางลําโพงและไมโครโฟนห่างกันเป็นระยะ 50 และ 80 เซนติเมตร แล้วกำหนดให้ความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ด้วยความถี่ 3000 Hz

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า V, มุมองศาที่วัดได้ของลําโพงในระยะห่าง 80 เซนติเมตร

| ค่ามุมองศา | ค่าโวลต์เตจ |
|------------|-------------|
| 0.0 | 6.72 |
| 7.5 | 6.80 |
| 15.0 | 6.72 |
| 22.5 | 6.72 |
| 30.0 | 6.56 |
| 37.5 | 6.56 |
| 45.0 | 6.48 |
| 52.5 | 6.42 |
| 60.0 | 6.00 |
| 67.5 | 5.60 |
| 75.0 | 5.20 |
| 82.5 | 5.04 |
| 90.0 | 4.88 |
| 97.5 | 4.56 |
| 105.0 | 4.32 |
| 112.5 | 4.16 |
| 120.0 | 4.24 |
| 127.5 | 4.16 |
| 135.0 | 4.48 |
| 142.5 | 4.72 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-------|------|
| 150.0 | 4.92 |
| 157.5 | 5.12 |
| 165.0 | 5.36 |
| 172.5 | 5.60 |
| 180.0 | 4.64 |
| 187.5 | 4.64 |
| 195.0 | 4.72 |
| 202.5 | 4.80 |
| 210.0 | 5.04 |
| 217.5 | 4.72 |
| 225.0 | 4.48 |
| 232.5 | 4.40 |
| 240.0 | 4.48 |
| 247.5 | 4.40 |
| 255.0 | 4.48 |
| 262.5 | 4.64 |
| 270.0 | 4.64 |
| 277.5 | 4.64 |
| 285.0 | 4.72 |
| 292.5 | 4.80 |
| 300.0 | 5.04 |
| 307.5 | 5.44 |
| 315.0 | 5.60 |
| 322.2 | 5.76 |
| 330.0 | 6.00 |
| 337.5 | 6.32 |
| 345.0 | 6.64 |
| 352.5 | 6.72 |
| 360.0 | 6.72 |

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า V, มุมองศาที่วัดได้ของลำโพงในระยะห่าง 80 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

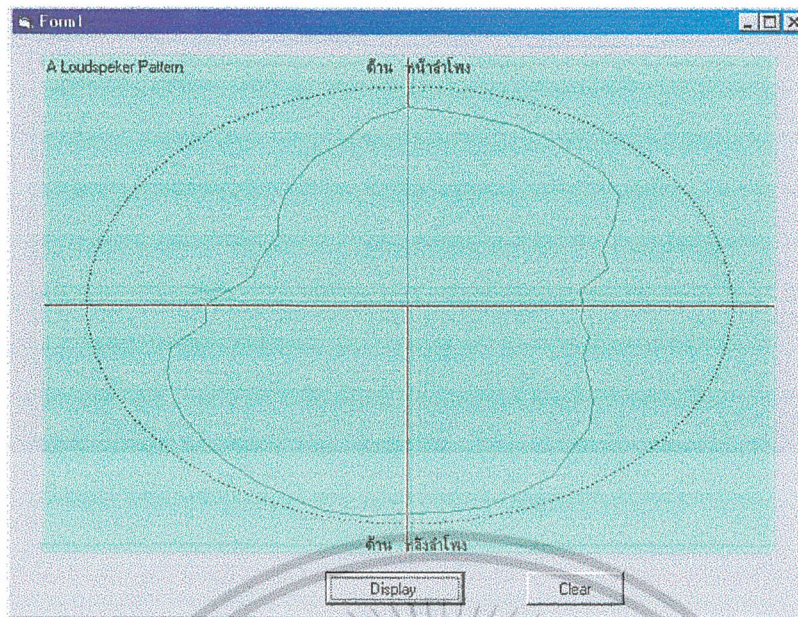
| ค่ามุมมองตา | ค่าโวลท์เตจ |
|-------------|-------------|
| 0.0 | 7.36 |
| 7.5 | 7.20 |
| 15.0 | 7.02 |
| 22.5 | 6.80 |
| 30.0 | 6.40 |
| 37.5 | 6.16 |
| 45.0 | 5.76 |
| 52.5 | 5.76 |
| 60.0 | 5.36 |
| 67.5 | 5.04 |
| 75.0 | 4.64 |
| 82.5 | 4.32 |
| 90.0 | 4.32 |
| 97.5 | 4.48 |
| 105.0 | 4.64 |
| 112.5 | 4.88 |
| 120.0 | 5.04 |
| 127.5 | 5.20 |
| 135.0 | 5.36 |
| 142.5 | 5.44 |
| 150.0 | 5.76 |
| 157.5 | 5.76 |
| 165.0 | 5.76 |
| 172.5 | 5.60 |
| 180.0 | 5.44 |
| 187.5 | 5.28 |
| 195.0 | 4.80 |
| 202.5 | 4.72 |
| 210.0 | 5.28 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

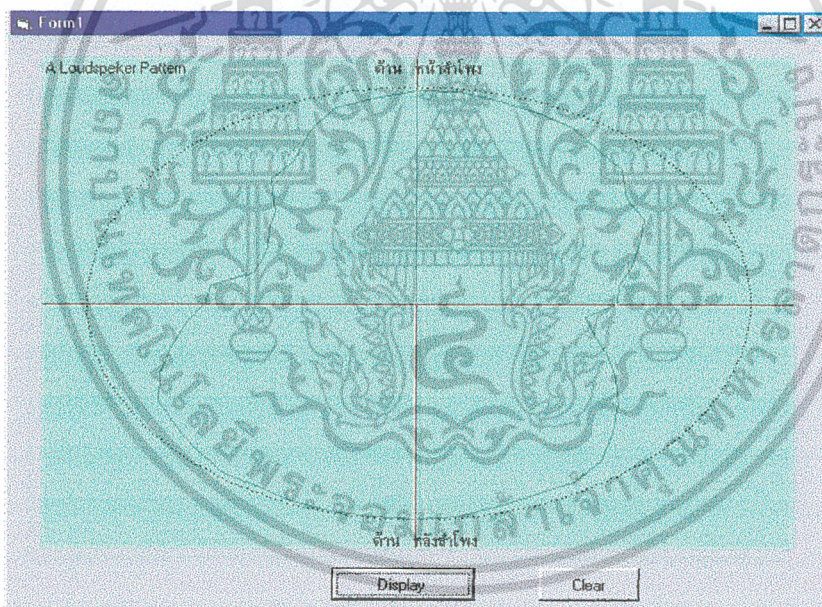
| ค่ามุมมองศ | ค่าโวลท์เตจ |
|------------|-------------|
| 217.5 | 4.80 |
| 225.0 | 4.72 |
| 232.5 | 4.80 |
| 240.0 | 4.80 |
| 247.5 | 4.80 |
| 255.0 | 4.88 |
| 262.5 | 4.88 |
| 270.0 | 5.04 |
| 277.5 | 5.12 |
| 285.0 | 5.28 |
| 292.5 | 5.36 |
| 300.0 | 5.68 |
| 307.5 | 5.84 |
| 315.0 | 6.08 |
| 322.2 | 6.40 |
| 330.0 | 6.56 |
| 337.5 | 6.86 |
| 345.0 | 7.04 |
| 352.5 | 7.12 |
| 360.0 | 7.36 |

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า V, มุมองศาที่วัดได้ของลำโพงในระยะห่าง 50 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

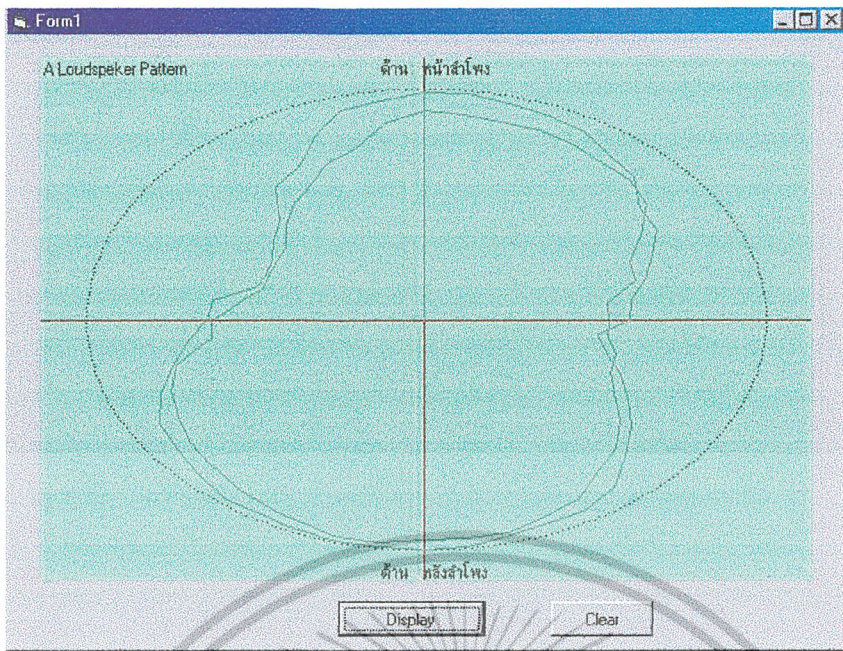


รูปที่ 4.1 แสดงภาพแพทเทิร์นที่ระยะ 80 เซนติเมตร



รูปที่ 4.2 แสดงภาพแพทเทิร์นที่ระยะ 50 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงภาพแพทเทิร์นเปรียบเทียบที่ระยะ 50 และ 80 เซนติเมตร

ตอนที่ 2

ลำโพง ขนาด 8 โอห์ม 0.25 วัตต์

ทำการทดลองโดยการวางลำโพงและไมโครโฟนห่างกันเป็นระยะ 80 เซนติเมตร

แล้วกำหนดให้ความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ด้วยความถี่ 1000Hz, 3000 Hz และ 5000Hz

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า V, มุมองศาที่วัดได้ของลำโพงที่ความถี่ 1000 Hz

| ค่ามุมองศา | ค่าโวลต์เตจ |
|------------|-------------|
| 0.0 | 3.80 |
| 7.5 | 3.34 |
| 15.0 | 3.28 |
| 22.5 | 2.88 |
| 30.0 | 2.92 |
| 37.5 | 2.64 |
| 45.0 | 2.56 |
| 52.5 | 2.32 |
| 60.0 | 2.16 |
| 67.5 | 2.00 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ค่ามุมมอง | ค่าโวลต์เตจ |
|-----------|-------------|
| 75.0 | 1.92 |
| 82.5 | 2.04 |
| 90.0 | 2.28 |
| 97.5 | 2.48 |
| 105.0 | 2.48 |
| 112.5 | 2.56 |
| 120.0 | 2.60 |
| 127.5 | 2.60 |
| 135.0 | 2.60 |
| 142.5 | 2.64 |
| 150.0 | 2.56 |
| 157.5 | 2.36 |
| 165.0 | 2.32 |
| 172.5 | 2.28 |
| 180.0 | 2.28 |
| 187.5 | 2.20 |
| 195.0 | 2.20 |
| 202.5 | 2.20 |
| 210.0 | 2.20 |
| 217.5 | 2.20 |
| 225.0 | 2.28 |
| 232.5 | 2.36 |
| 240.0 | 2.44 |
| 247.5 | 2.52 |
| 255.0 | 2.72 |
| 262.5 | 3.12 |
| 270.0 | 3.40 |
| 277.5 | 3.40 |
| 285.0 | 3.60 |
| 292.5 | 3.64 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ค่ามุมองศา | ค่าโวลท์เตจ |
|------------|-------------|
| 300.0 | 3.64 |
| 307.5 | 3.64 |
| 315.0 | 3.64 |
| 322.5 | 3.72 |
| 330.0 | 3.76 |
| 337.5 | 3.80 |
| 345.0 | 3.88 |
| 352.5 | 3.88 |
| 360.0 | 3.88 |

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า V, มุมองศาที่วัดได้ของลำโพงที่ความถี่ 1000 Hz

| ค่ามุมองศา | ค่าโวลท์เตจ |
|------------|-------------|
| 0.0 | 6.72 |
| 7.5 | 6.80 |
| 15.0 | 6.72 |
| 22.5 | 6.72 |
| 30.0 | 6.56 |
| 37.5 | 6.56 |
| 45.0 | 6.48 |
| 52.5 | 6.42 |
| 60.0 | 6.00 |
| 67.5 | 5.60 |
| 75.0 | 5.20 |
| 82.5 | 5.04 |
| 90.0 | 4.88 |
| 97.5 | 4.56 |
| 105.0 | 4.32 |
| 112.5 | 4.16 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ค่ามุมมองคา | ค่าโวลท์เตจ |
|-------------|-------------|
| 120.0 | 4.24 |
| 127.5 | 4.16 |
| 135.0 | 4.48 |
| 142.5 | 4.72 |
| 150.0 | 4.92 |
| 157.5 | 5.12 |
| 165.0 | 5.36 |
| 172.5 | 5.60 |
| 180.0 | 4.64 |
| 187.5 | 4.64 |
| 195.0 | 4.72 |
| 202.5 | 4.80 |
| 210.0 | 5.04 |
| 217.5 | 4.72 |
| 225.0 | 4.48 |
| 232.5 | 4.40 |
| 240.0 | 4.48 |
| 247.5 | 4.40 |
| 255.0 | 4.48 |
| 262.5 | 4.64 |
| 270.0 | 4.64 |
| 277.5 | 4.64 |
| 285.0 | 4.72 |
| 292.5 | 4.80 |
| 300.0 | 5.04 |
| 307.5 | 5.44 |
| 315.0 | 5.60 |
| 322.2 | 5.76 |
| 330.0 | 6.00 |
| 337.5 | 6.32 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ค่ามุมมองศา | ค่าโวลท์เตจ |
|-------------|-------------|
| 345.0 | 6.64 |
| 352.5 | 6.72 |
| 360.0 | 6.72 |

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า V, มุมองศาที่วัดได้ของลำโพงที่ความถี่ 3000 Hz

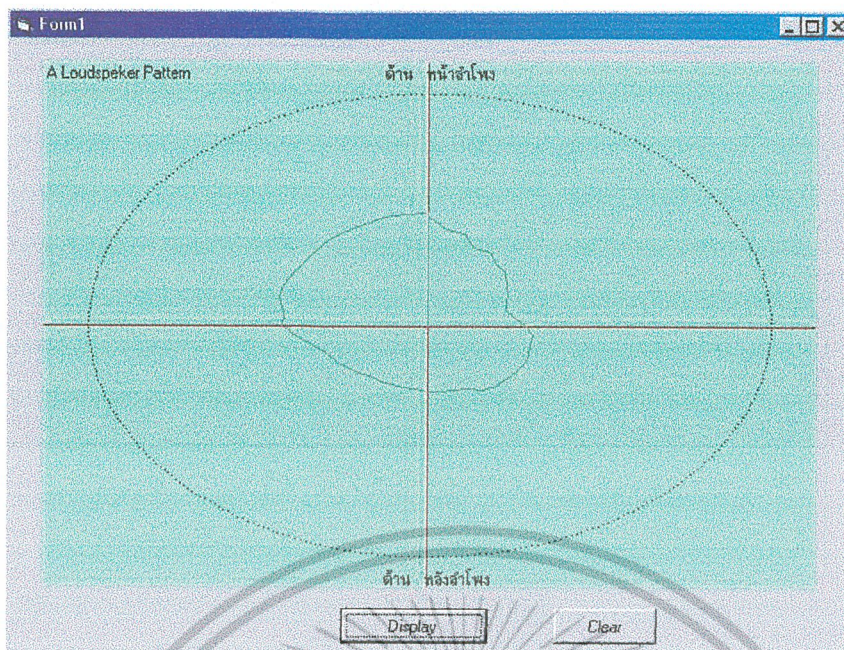
| ค่ามุมมองศา | ค่าโวลท์เตจ |
|-------------|-------------|
| 0.0 | 6.72 |
| 7.5 | 6.80 |
| 15.0 | 6.72 |
| 22.5 | 6.72 |
| 30.0 | 6.56 |
| 37.5 | 6.56 |
| 45.0 | 6.48 |
| 52.5 | 6.24 |
| 60.0 | 6.00 |
| 67.5 | 5.60 |
| 75.0 | 5.20 |
| 82.5 | 5.04 |
| 90.0 | 4.88 |
| 97.5 | 4.56 |
| 105.0 | 4.32 |
| 112.5 | 4.16 |
| 120.0 | 4.24 |
| 127.5 | 4.16 |
| 135.0 | 4.48 |
| 142.5 | 4.72 |
| 150.0 | 4.92 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

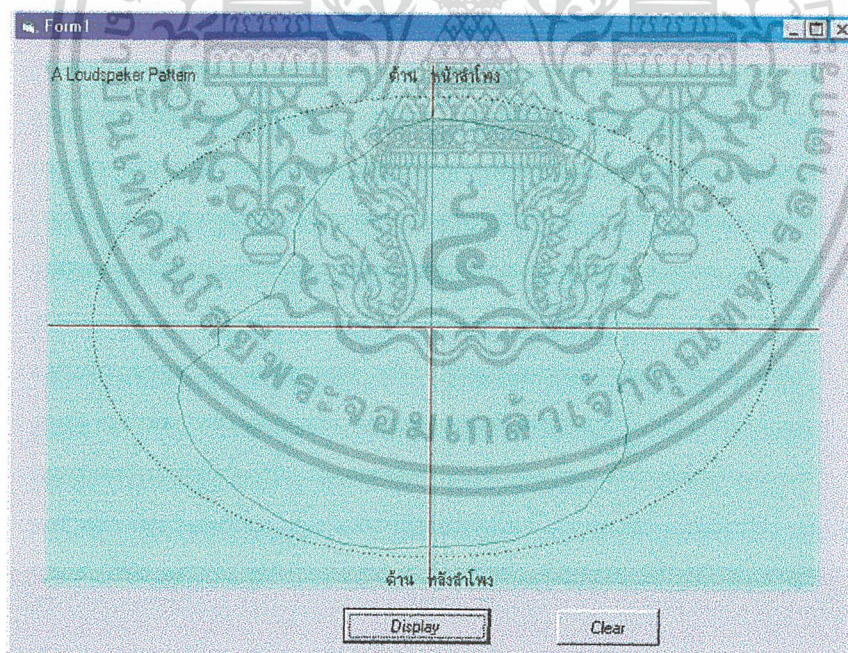
| ค่ามุงองศา | ค่าโวลท์เตจ |
|------------|-------------|
| 157.5 | 5.12 |
| 165.0 | 5.36 |
| 172.5 | 5.60 |
| 180.0 | 5.84 |
| 187.5 | 5.60 |
| 195.0 | 5.44 |
| 202.5 | 5.36 |
| 210.0 | 5.12 |
| 217.5 | 5.64 |
| 225.0 | 5.04 |
| 232.5 | 4.72 |
| 240.0 | 4.48 |
| 247.5 | 4.40 |
| 255.0 | 4.48 |
| 262.5 | 4.64 |
| 270.0 | 4.64 |
| 277.5 | 4.64 |
| 285.0 | 4.72 |
| 292.5 | 4.80 |
| 300.0 | 5.04 |
| 307.5 | 5.44 |
| 315.0 | 5.60 |
| 322.2 | 5.76 |
| 330.0 | 6.00 |
| 337.5 | 6.32 |
| 345.0 | 6.64 |
| 352.5 | 6.72 |
| 360.0 | 6.72 |

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า V, มุมองศาที่วัดได้ของลำโพงที่ความถี่ 5000 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

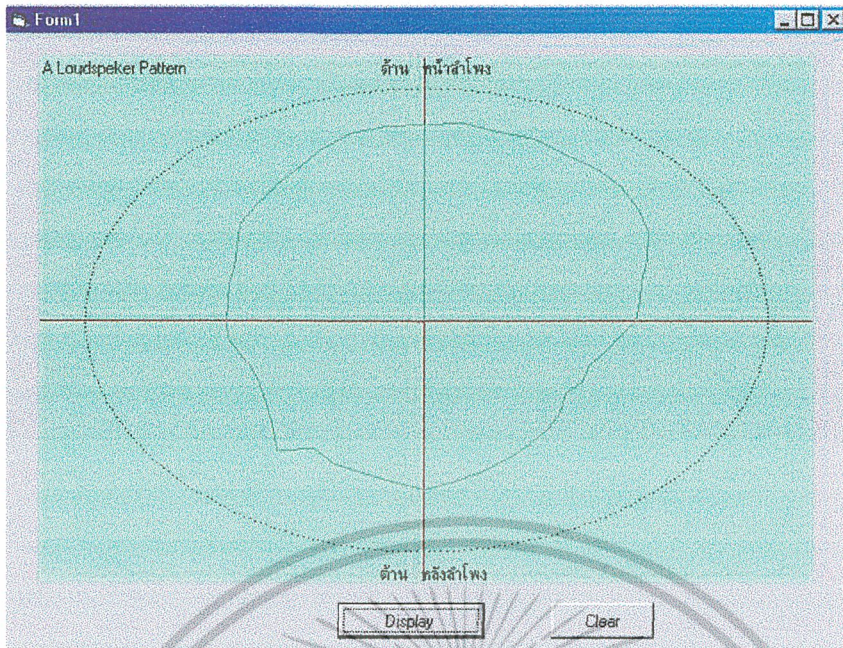


รูปที่ 4.4 แสดงภาพแพทเทิร์นที่ความถี่ 1000 Hz

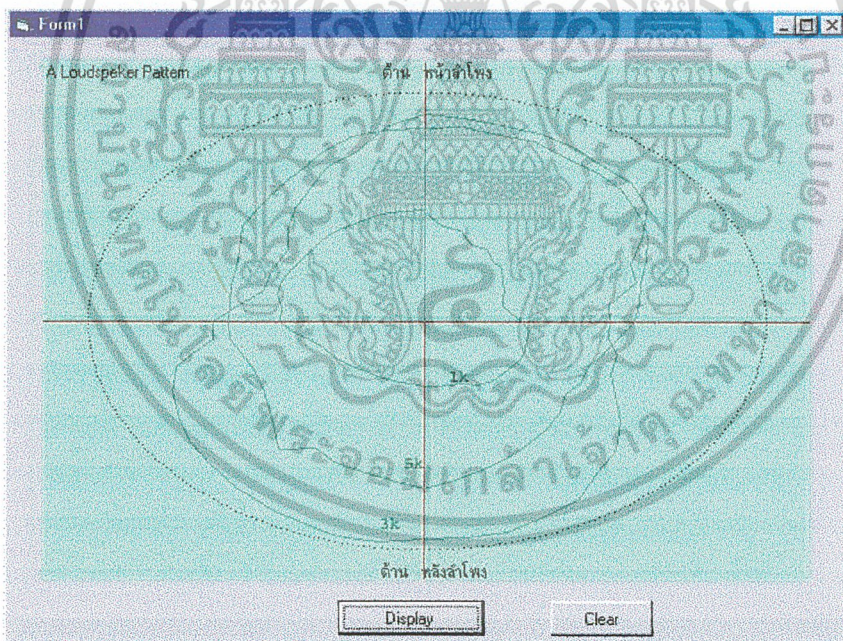


รูปที่ 4.5 แสดงภาพแพทเทิร์นที่ความถี่ 3000 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงภาพแพทเทิร์นที่ความถี่ 5000 Hz



รูปที่ 4.7 แสดงภาพแพทเทิร์นเปรียบเทียบความถี่ที่ 1000 Hz, 3000Hz และ 5000Hz

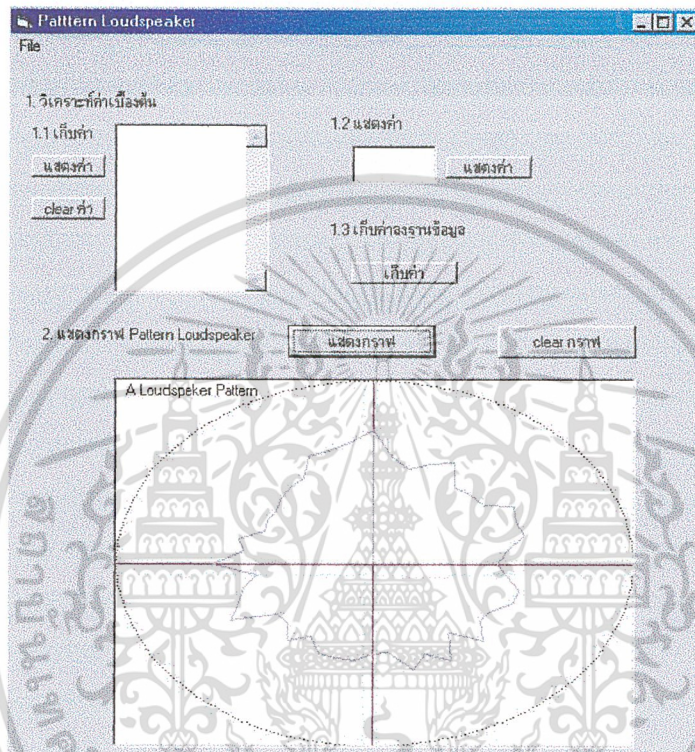
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3

ลำโพงตัวที่ 1 ขนาด 8 โอห์ม 0.25 วัตต์

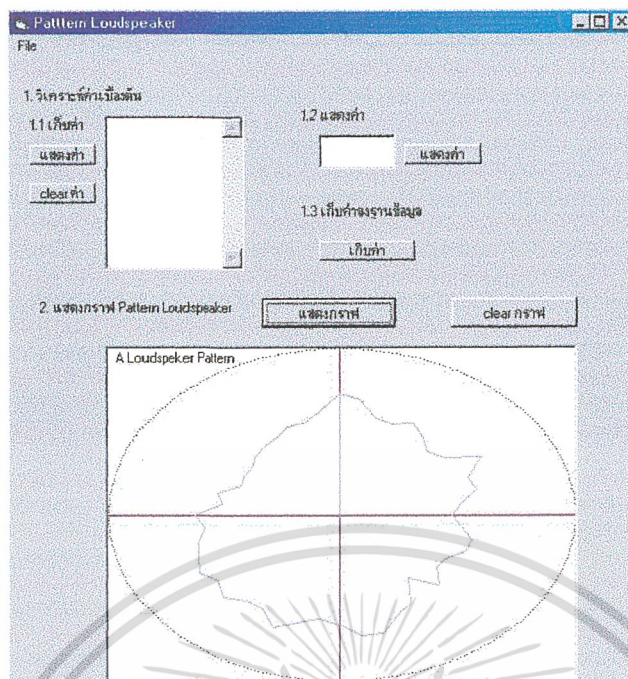
ลำโพงตัวที่ 2 ขนาด 8 โอห์ม 1.00 วัตต์

ทำการทดลองโดยการวางลำโพงและไมโครโฟนห่างกันเป็นระยะ 80 เซนติเมตร แล้วกำหนดให้ความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ด้วยความถี่ 1000Hz, 3000 Hz

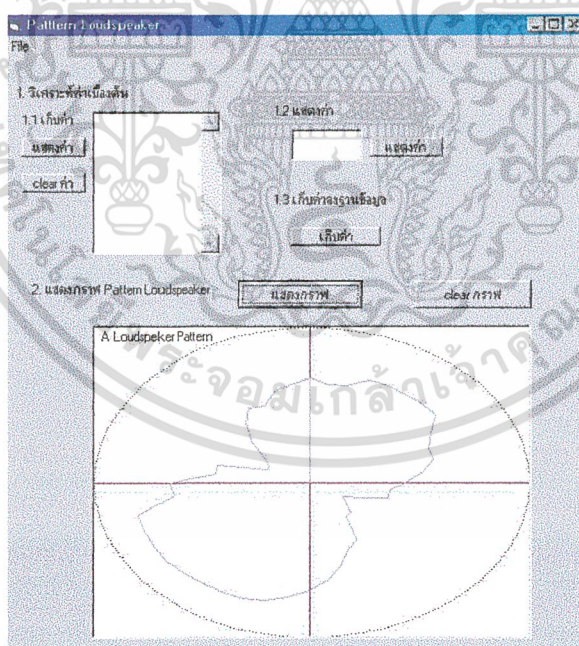


รูปที่ 4.7 แสดงภาพผลแพทเทิร์นลำโพง 8 โอห์ม 0.25 วัตต์ ความถี่ที่ 1000 Hz ที่ระยะ 80 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

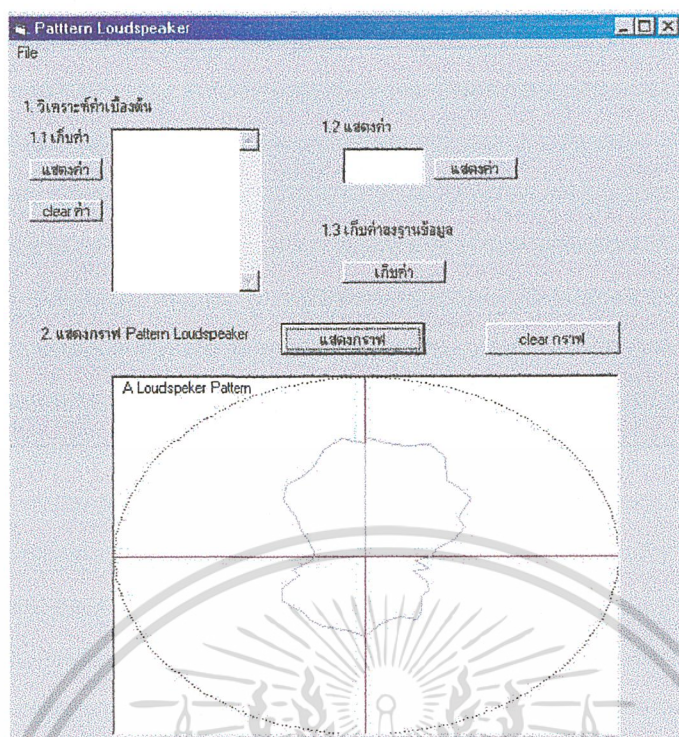


รูปที่ 4.8 แสดงภาพผลแพทเทิร์นลำโพง 8 โอห์ม 0.25 วัตต์ ความถี่ที่ 3000 Hz ที่ ระยะ 80 เซนติเมตร



รูปที่ 4.9 แสดงภาพผลแพทเทิร์นลำโพง 8 โอห์ม 1.0 วัตต์ ความถี่ที่ 1000 Hz ที่ ระยะ 80 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงภาพแพทเทิร์นลำโพง 8 โอห์ม 1.0 วัตต์ ความถี่ที่ 3000 Hz
ที่ ระยะ 80 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากเก็บค่าผลการวัดเพทเทิร์นของลำโพงในกรณีที่ค่าความถี่ที่ให้กับลำโพงเปลี่ยนค่าไป และระยะระหว่างลำโพงกับ ไมโครโฟนที่เปลี่ยนไปมาวาดกราฟได้แสดงให้เห็นว่าที่ระยะระหว่างลำโพงกับไมโครโฟนที่เปลี่ยนไปไม่ได้ทำให้เพทเทิร์นของลำโพงเปลี่ยนไปแต่เมื่อมีการเปลี่ยนค่าความถี่ที่ให้กับลำโพงเพทเทิร์นของลำโพงจะมีรูปร่างเปลี่ยนไป

สรุปได้ว่าเพทเทิร์นของลำโพงจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อค่าความถี่ที่ให้กับลำโพงเปลี่ยนค่าไปที่สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจาก การที่สัญญาณเสียงถูกส่งผ่านออกมาที่ลำโพงก็เหมือนกับการส่งคลื่นใดๆผ่านช่องซึ่งช่องนี้ก็จะมีขนาดเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของลำโพงซึ่งเมื่อคลื่นผ่านช่องก็จะเกิดการเลี้ยวเบนและเกิดการแทรกสอดขึ้นดังนั้นเพทเทิร์นจึงมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อความถี่เปลี่ยน

การวัดเพทเทิร์นของลำโพงนี้แม้จะไม่สามารถนำมาสรุปได้ว่าลำโพงตัวที่ทดสอบมีคุณภาพดีขนาดไหนแต่การวัดประสิทธิภาพของลำโพงก็ต้องใช้เพทเทิร์นของลำโพงเป็นตัวประกอบด้วยจึงจะสรุปได้ว่าลำโพงที่ทดสอบประสิทธิภาพมีคุณภาพดีเพียงใดเหมาะกับการใช้งานในลักษณะใด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM387/LM387A Low Noise Dual Preamplifier

General Description

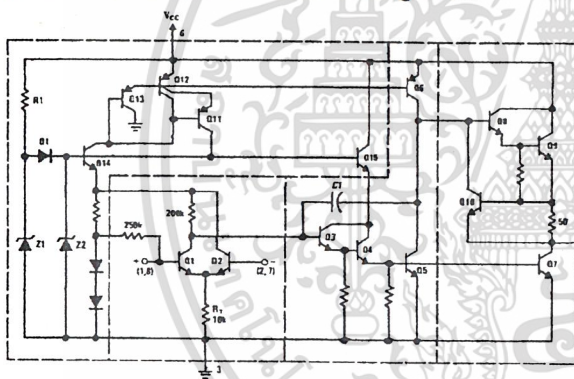
The LM387 is a dual preamplifier for the amplification of low level signals in applications requiring optimum noise performance. Each of the two amplifiers is completely independent, with an internal power supply decoupler-regulator, providing 110 dB supply rejection and 60 dB channel separation. Other outstanding features include high gain (104 dB), large output voltage swing ($V_{CC} - 2V$)p-p, and wide power bandwidth (75 kHz, 20 Vp-p). The LM387A is a selected version of the LM387 that has lower noise in a NAB tape circuit, and can operate on a larger supply voltage. The LM387 operates from a single supply across the wide range of 9V to 30V, the LM387A operates on a supply of 9V to 40V.

The amplifiers are internally compensated for gains greater than 10. The LM387, LM387A is available in an 8-lead dual-in-line package. The LM387, LM387A is biased like the LM381. See AN-64 and AN-104.

Features

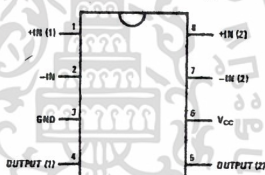
- Low noise 1.0 μ V total input noise
- High gain 104 dB open loop
- Single supply operation
- Wide supply range LM387 9 to 30V
- LM387A 9 to 40V
- Power supply rejection 110 dB
- Large output voltage swing ($V_{CC} - 2V$)p-p
- Wide bandwidth 15 MHz unity gain
- Power bandwidth 75 kHz, 20 Vp-p
- Internally compensated
- Short circuit protected
- Performance similar to LM381

Schematic and Connection Diagrams



TL/H/7845-1

Dual-In-Line Package

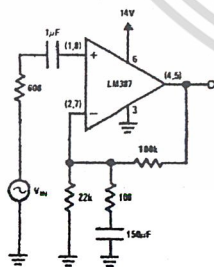


TL/H/7845-2

Top View

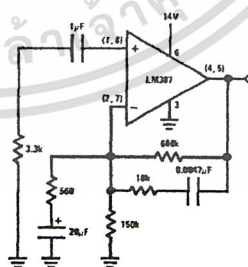
Order Number LM387N or LM387AN
See NS Package Number N08E

Typical Applications



TL/H/7845-3

FIGURE 1. Flat Gain Circuit ($A_V = 1000$)



TL/H/7845-4

FIGURE 2. NAB Tape Circuit

LM387/LM387A Low Noise Dual Preamplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage

LM387 +30V
LM387A +40V

Power Dissipation (Note 1)

1.5W

Operating Temperature Range

0°C to +70°C

Storage Temperature Range

-65°C to +150°C

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)

260°C

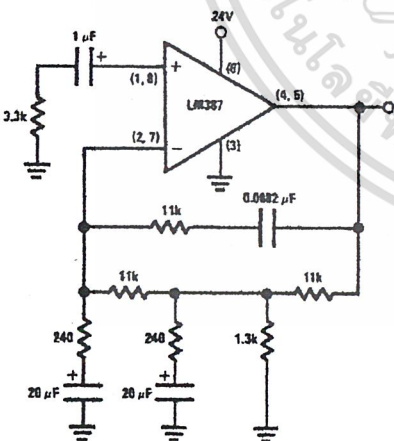
Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 14\text{V}$, unless otherwise stated

| Parameter | Conditions | Min | Typ | Max | Units |
|--|---|-----|------------|-----|------------------|
| Voltage Gain | Open Loop, $f = 100\text{ Hz}$ | | 160,000 | | V/V |
| Supply Current | LM387, $V_{CC} 9\text{V}-30\text{V}$, $R_L = \infty$ LM387A, $V_{CC} 9\text{V}-40\text{V}$, $R_L = \infty$ | | 10 10 | | mA mA |
| Input Resistance | | 50 | 100 | | k Ω |
| Positive Input | | | 200 | | k Ω |
| Negative Input | | | | | |
| Input Current | | | 0.5 | 3.1 | μA |
| Negative Input | | | | | |
| Output Resistance | Open Loop | | 150 | | Ω |
| Output Current | Source | | 8 | | mA |
| | Sink | | 2 | | mA |
| Output Voltage Swing | Peak-to-Peak | | $V_{CC}-2$ | | V |
| Unity Gain Bandwidth | | | 15 | | MHz |
| Large Signal Frequency Response | 20 Vp-p ($V_{CC} > 24\text{V}$), THD $\leq 1\%$ | | 75 | | kHz |
| Maximum Input Voltage | Linear Operation | | | 300 | mVrms |
| Supply Rejection Ratio | $f = 1\text{ kHz}$ | | 110 | | dB |
| Input Referred | | | | | |
| Channel Separation | $f = 1\text{ kHz}$ | 40 | 60 | | dB |
| Total Harmonic Distortion | 60 dB Gain, $f = 1\text{ kHz}$ | | 0.1 | 0.5 | % |
| Total Equivalent Input Noise (Flat Gain Circuit) | 10 Hz-10,000 Hz LM387 Figure 1 | | 1.0 | 1.2 | μVrms |
| Output Noise NAB Tape Playback Circuit Gain of 37 dB | Unweighted LM387A Figure 2 | | 400 | 700 | μVrms |

Note 1: For operation in ambient temperatures above 25°C, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 80°C/W junction to ambient.

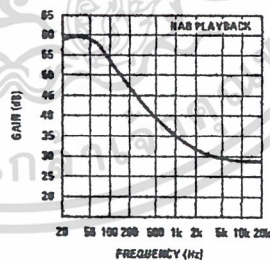
Typical Applications (Continued)

Two-Pole Fast Turn-ON NAB Tape Preamp



TL/H/7845-5

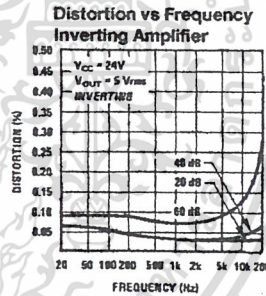
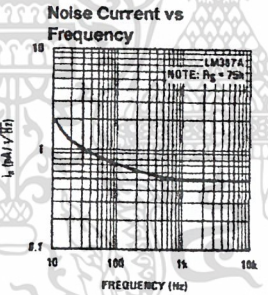
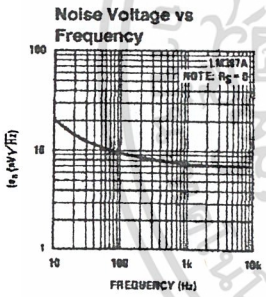
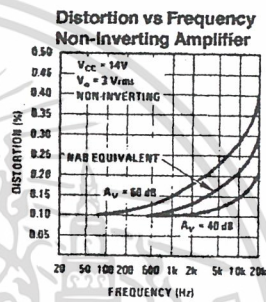
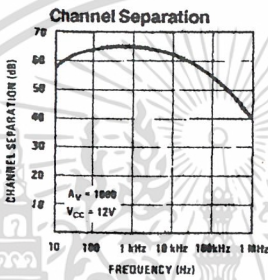
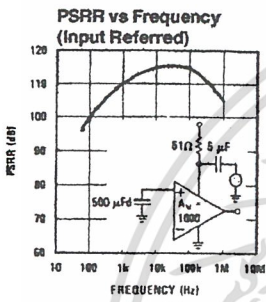
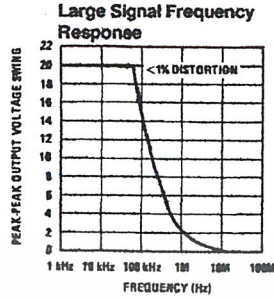
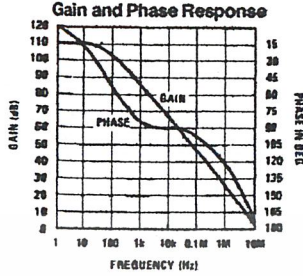
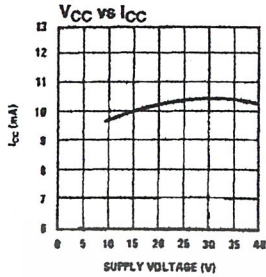
Frequency Response of NAB Circuit of Figure 2



TL/H/7845-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

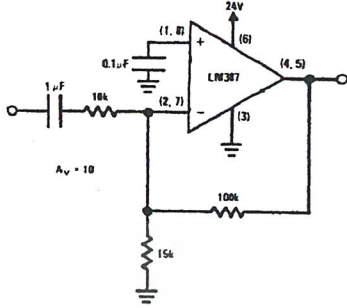


TL/H/7845-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

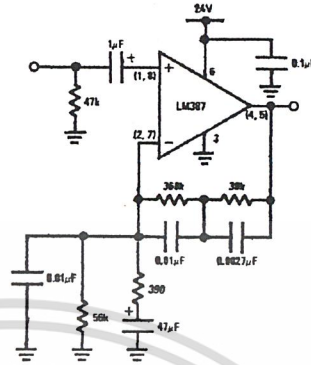
Typical Applications (Continued)

Inverting Amplifier Ultra-Low Distortion



TL/H/7845-8

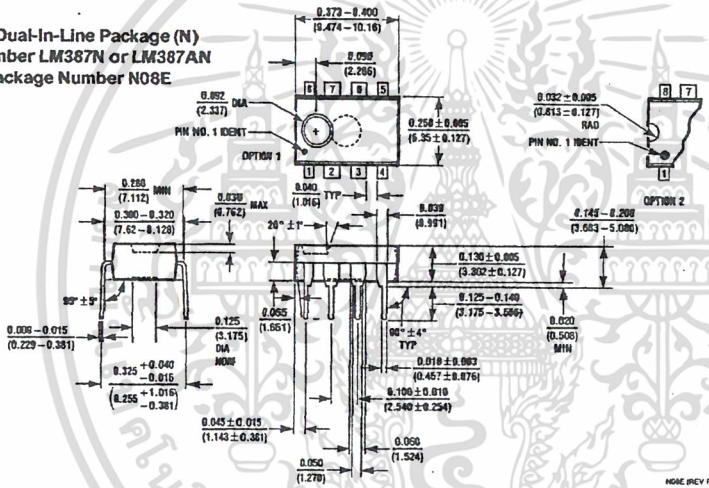
Typical Magnetic Phono Preamplifier



TL/H/7845-9

Physical Dimensions inches (millimeters)

Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM387N or LM387AN
NS Package Number N08E



LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
1111 West Bardin Road
Arlington, TX 79017
Tel: 1(800) 272-9959
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-530 85 86
Email: cnjwge@lvm2.nsc.com
Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd.
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1600
Fax: (852) 2736-9960

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2309
Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TDA2030A

18W Hi-Fi AMPLIFIER AND 35W DRIVER

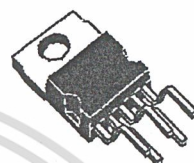
DESCRIPTION

The TDA2030A is a monolithic IC in Pentawatt® package intended for use as low frequency class AB amplifier.

With $V_{S \max} = 44V$ it is particularly suited for more reliable applications without regulated supply and for 35W driver circuits using low-cost complementary pairs.

The TDA2030A provides high output current and has very low harmonic and cross-over distortion.

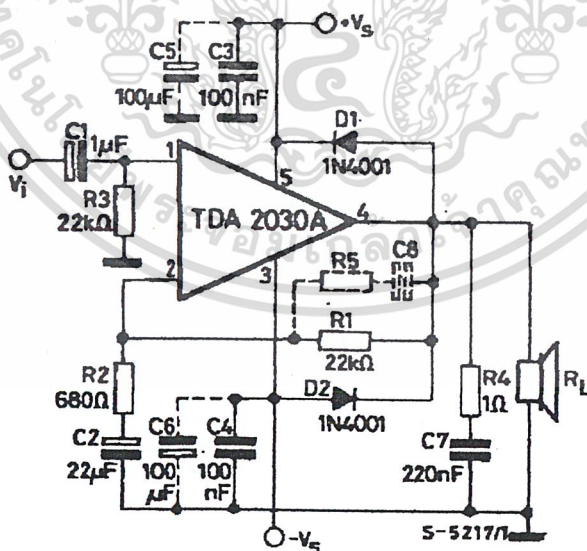
Further the device incorporates a short circuit protection system comprising an arrangement for automatically limiting the dissipated power so as to keep the working point of the output transistors within their safe operating area. A conventional thermal shut-down system is also included.



PENTAWATT

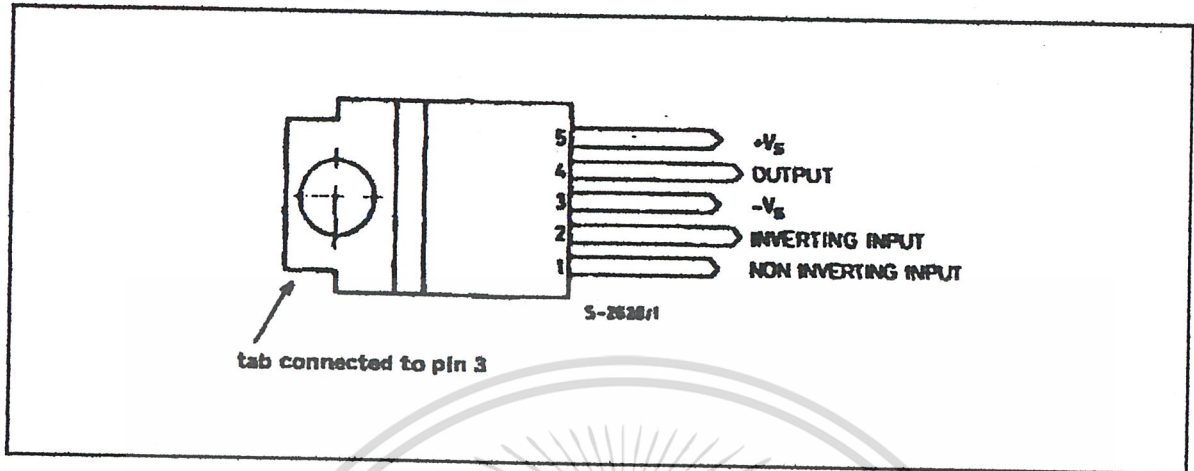
ORDERING NUMBERS : TDA2030AH
TDA2030AV

TYPICAL APPLICATION

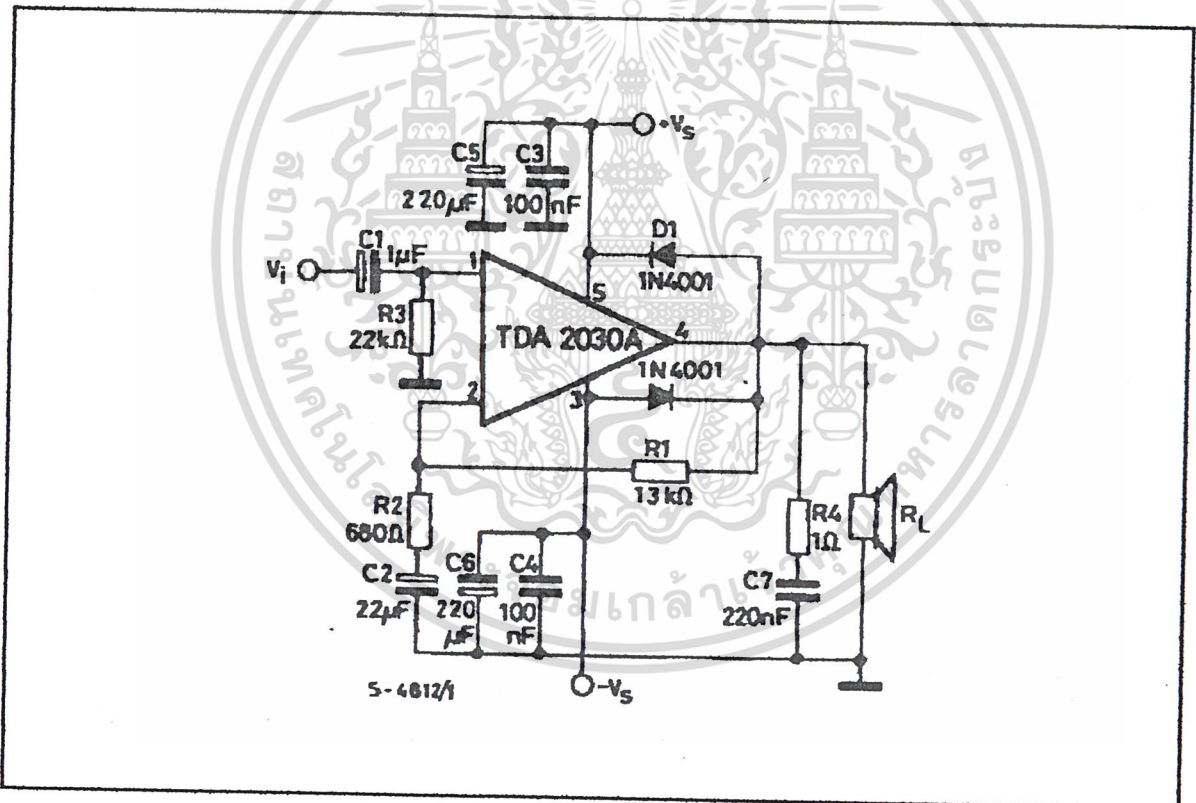


TDA2030A

PIN CONNECTION (Top view)



TEST CIRCUIT



THERMAL DATA

| Symbol | Parameter | Value | Unit |
|--------------------------|----------------------------------|-------|----------------------|
| $R_{th} (\text{J-case})$ | Thermal Resistance Junction-case | Max 3 | $^{\circ}\text{C/W}$ |

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol | Parameter | Value | Unit |
|----------------|--|---------------|------------------|
| V_s | Supply Voltage | ± 22 | V |
| V_i | Input Voltage | V_s | |
| V_i | Differential Input Voltage | ± 15 | V |
| I_o | Peak Output Current (internally limited) | 3.5 | A |
| P_{tot} | Total Power Dissipation at $T_{case} = 90^\circ\text{C}$ | 20 | W |
| T_{stg}, T_j | Storage and Junction Temperature | - 40 to + 150 | $^\circ\text{C}$ |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Refer to the test circuit, $V_s = \pm 16\text{V}$, $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|----------|--|--|----------------|---------------------|-----------|--------------------------------|
| V_s | Supply Voltage | | ± 6 | | ± 22 | V |
| I_d | Quiescent Drain Current | | | 50 | 80 | mA |
| I_b | Input Bias Current | $V_s = \pm 22\text{V}$ | | 0.2 | 2 | μA |
| V_{os} | Input Offset Voltage | $V_s = \pm 22\text{V}$ | | ± 2 | ± 20 | mV |
| I_{os} | Input Offset Current | | | ± 20 | ± 200 | nA |
| P_o | Output Power | $d = 0.5\%$, $G_v = 26\text{dB}$ $f = 40$ to 15000Hz $R_L = 4\Omega$ $R_L = 8\Omega$ $V_s = \pm 19\text{V}$ $R_L = 8\Omega$ | 15 10 13 | 18 12 16 | | W |
| BW | Power Bandwidth | $P_o = 15\text{W}$ $R_L = 4\Omega$ | | 100 | | kHz |
| SR | Slew Rate | | | 8 | | V/ μsec |
| G_v | Open Loop Voltage Gain | $f = 1\text{kHz}$ | | 80 | | dB |
| G_v | Closed Loop Voltage Gain | $f = 1\text{kHz}$ | 25.5 | 26 | 26.5 | dB |
| d | Total Harmonic Distortion | $P_o = 0.1$ to 14W $f = 40$ to 15000Hz $P_o = 0.1$ to 9W , $f = 40$ to 15000Hz $R_L = 4\Omega$ $R_L = 8\Omega$ | | 0.08 0.03 0.5 | | % % % |
| d_2 | Second Order CCIF Intermodulation Distortion | $P_o = 4\text{W}$, $f_2 - f_1 = 1\text{kHz}$, $R_L = 4\Omega$ | | 0.03 | | % |
| d_3 | Third Order CCIF Intermodulation Distortion | $f_1 = 14\text{kHz}$, $f_2 = 15\text{kHz}$ $2f_1 - f_2 = 13\text{kHz}$ | | 0.08 | | % |
| e_n | Input Noise Voltage | B = Curve A B = 22Hz to 22kHz | | 2 3 | 10 | μV μV |
| i_n | Input Noise Current | B = Curve A B = 22Hz to 22kHz | | 50 80 | 200 | pA pA |
| S/N | Signal to Noise Ratio | $R_L = 4\Omega$, $R_g = 10\text{k}\Omega$, B = Curve A $P_o = 15\text{W}$ $P_o = 1\text{W}$ | | 106 94 | | dB dB |
| R_i | Input Resistance (pin 1) | (open loop) $f = 1\text{kHz}$ | 0.5 | 5 | | M Ω |
| SVR | Supply Voltage Rejection | $R_L = 4\Omega$, $R_g = 22\text{k}\Omega$ $G_v = 26\text{dB}$, $f = 100\text{Hz}$ | | 54 | | dB |
| T_j | Thermal Shut-down Junction Temperature | | | 145 | | $^\circ\text{C}$ |

Figure 1 : Single Supply Amplifier

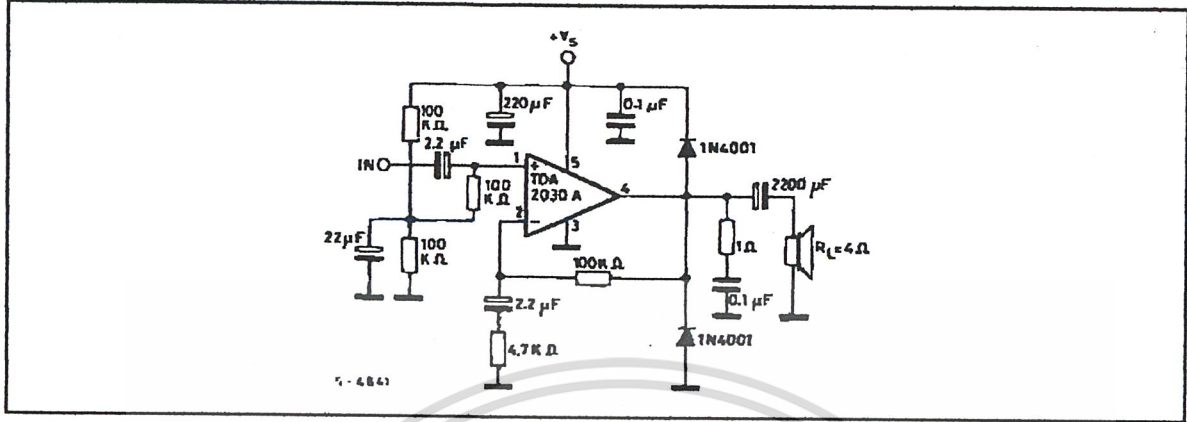


Figure 2 : Open Loop-frequency Response

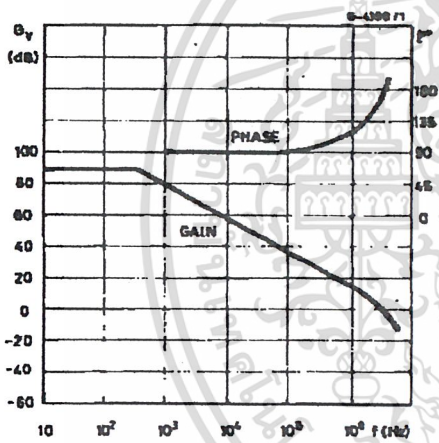


Figure 3 : Output Power versus Supply Voltage

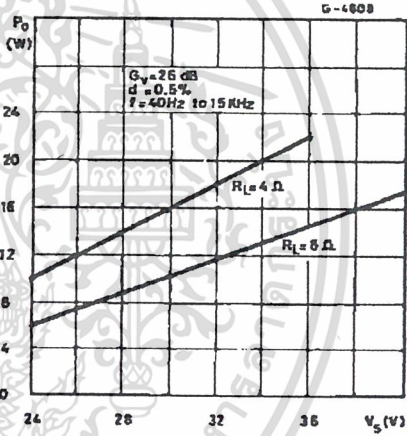


Figure 4 : Total Harmonic Distortion versus Output Power (test using rise filters)

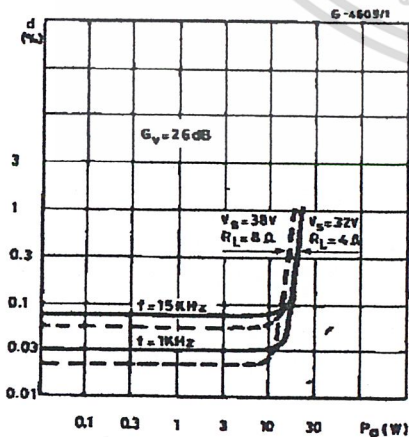


Figure 5 : Two Tone CCIF Intremodulation Distortion

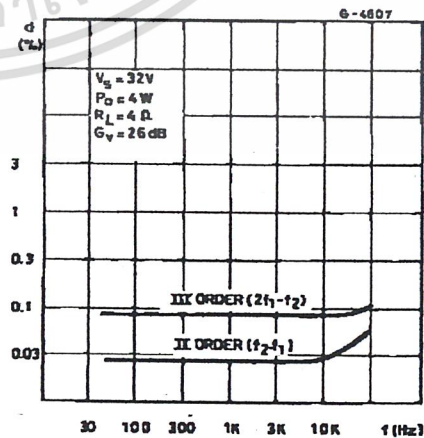


Figure 6 : Large Signal Frequency Response

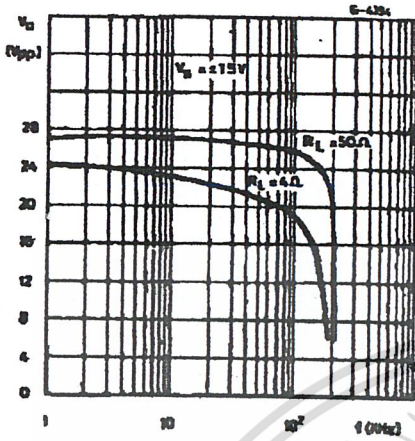


Figure 7 : Maximum Allowable Power Dissipation versus Ambient Temperature

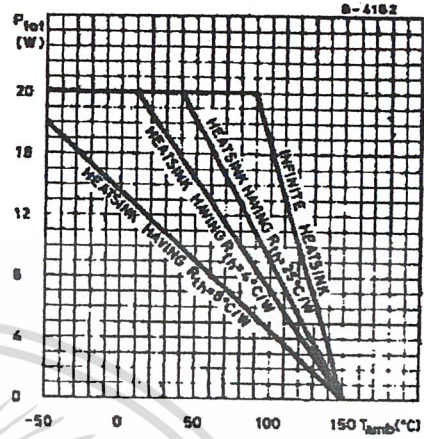


Figure 8 : Output Power versus Supply Voltage

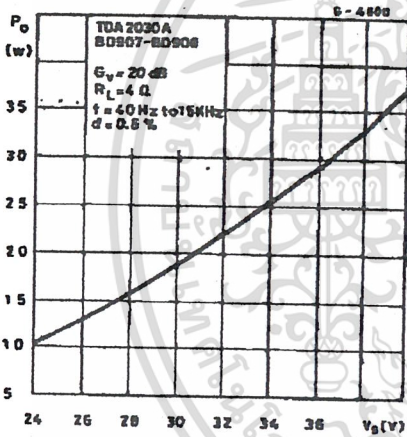


Figure 9 : Total Harmonic Distortion versus Output Power

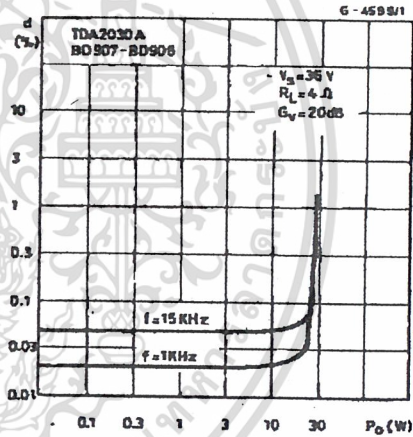


Figure 10 : Output Power versus Input Level

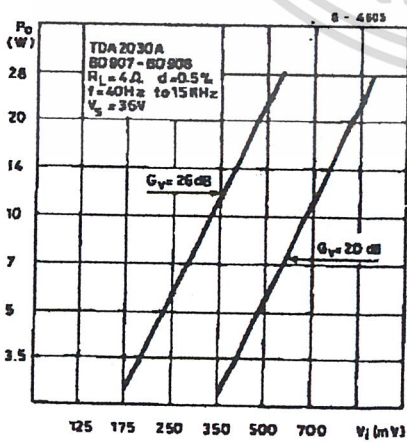
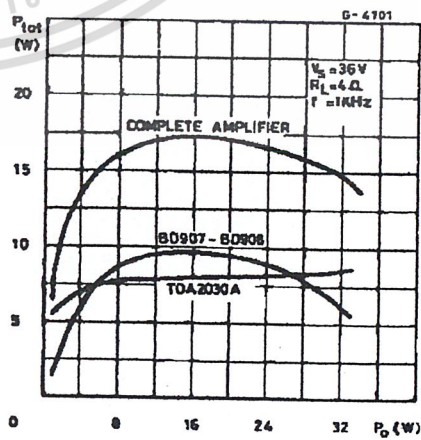


Figure 11 : Power Dissipation versus Output Power



TDA2030A

Figure 12 : Single Supply High Power Amplifier (TDA2030A + BD907/BD908)

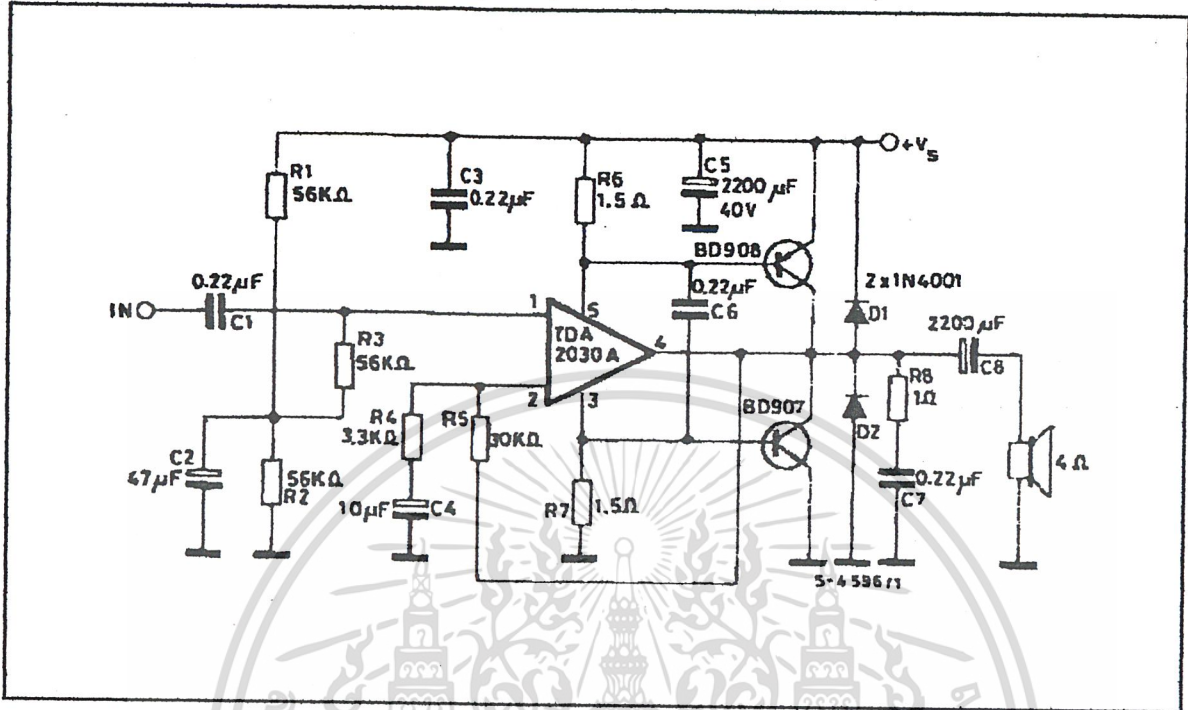
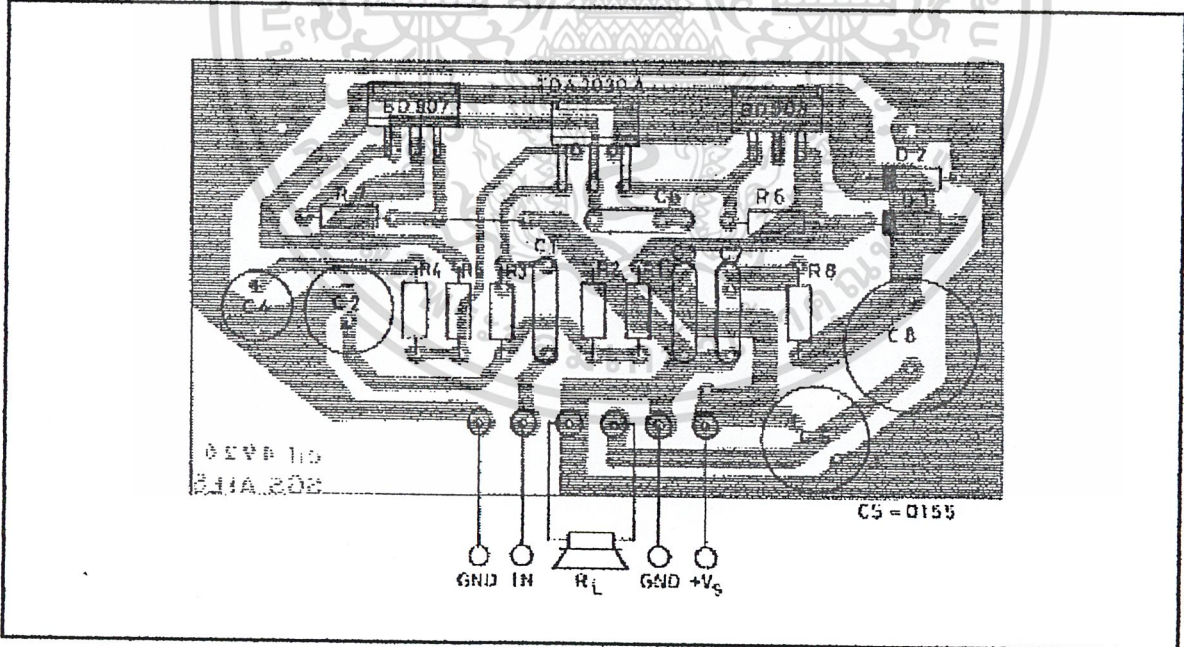


Figure 13 : P.C. Board and Component Layout for the Circuit of Figure 12 (1:1 scale)



TYPICAL PERFORMANCE OF THE CIRCUIT OF FIGURE 12

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|--------|---------------------------|---|------|--------------|------|------------------|
| V_s | Supply Voltage | | | 36 | 44 | V |
| I_d | Quiescent Drain Current | $V_s = 36V$ | | 50 | | mA |
| P_o | Output Power | $d = 0.5\%, R_L = 4\Omega, f = 40z \text{ to } 15Hz$ $V_s = 39V$ $V_s = 36V$ $d = 10\%, R_L = 4\Omega, f = 1kHz$ $V_s = 39V$ $V_s = 36V$ | | 35 28 | | W W W W |
| G_v | Voltage Gain | $f = 1kHz$ | 19.5 | 20 | 20.5 | dB |
| SR | Slew Rate | | | 8 | | V/ μ sec |
| d | Total Harmonic Distortion | $P_o = 20W$ $f = 1kHz$ $f = 40Hz \text{ to } 15kHz$ | | 0.02 0.05 | | % % |
| V_i | Input Sensitivity | $G_v = 20dB, f = 1kHz, P_o = 20W, R_L = 4\Omega$ | | 890 | | mV |
| S/N | Signal to Noise Ratio | $R_L = 4\Omega, R_g = 10k\Omega, B = \text{Curve A}$ $P_o = 25W$ $P_o = 4W$ | | 108 100 | | dB |

Figure 14 : Typical Amplifier with Split Power Supply

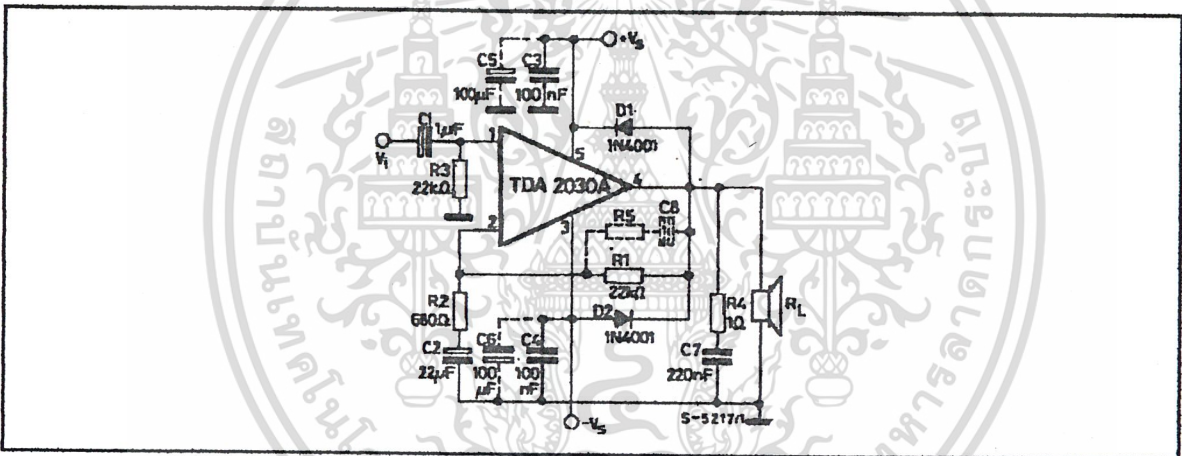
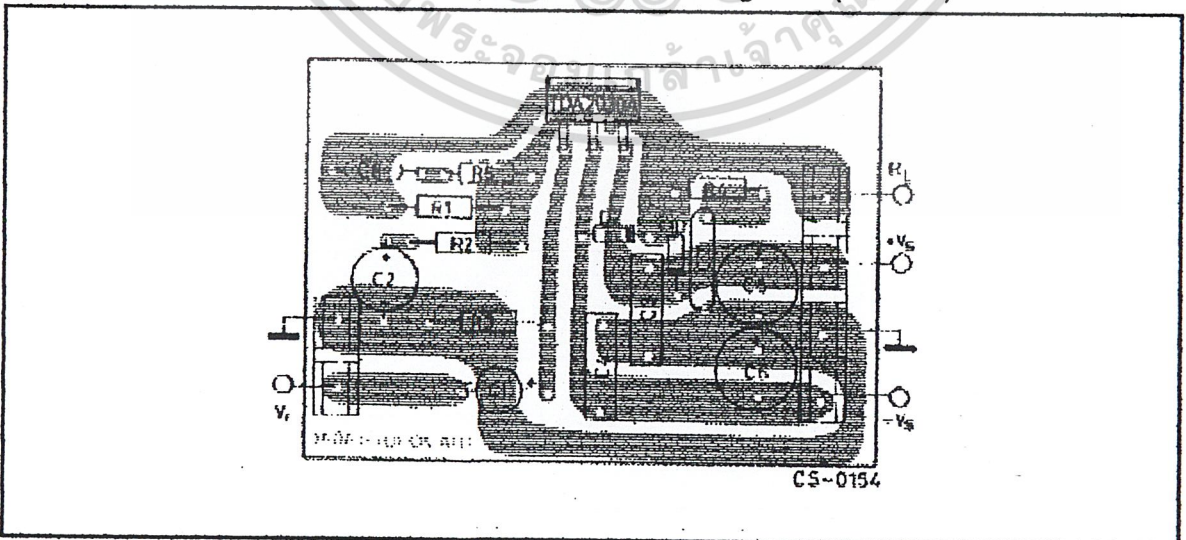


Figure 15 : P.C. Board and Component Layout for the Circuit of Figure 14 (1:1 scale)



Features

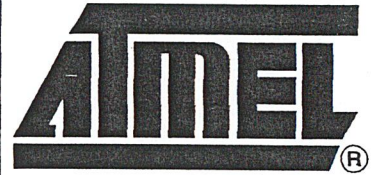
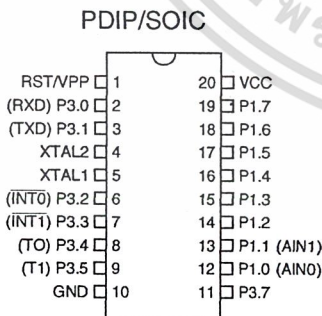
- Compatible with MCS-51™ Products
- 2K Bytes of Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2.7V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Two-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 15 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial UART Channel
- Direct LED Drive Outputs
- On-chip Analog Comparator
- Low-power Idle and Power-down Modes

Description

The AT89C2051 is a low-voltage, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 2K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C2051 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89C2051 provides the following standard features: 2K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 15 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, a precision analog comparator, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C2051 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Configuration



8-bit Microcontroller with 2K Bytes Flash

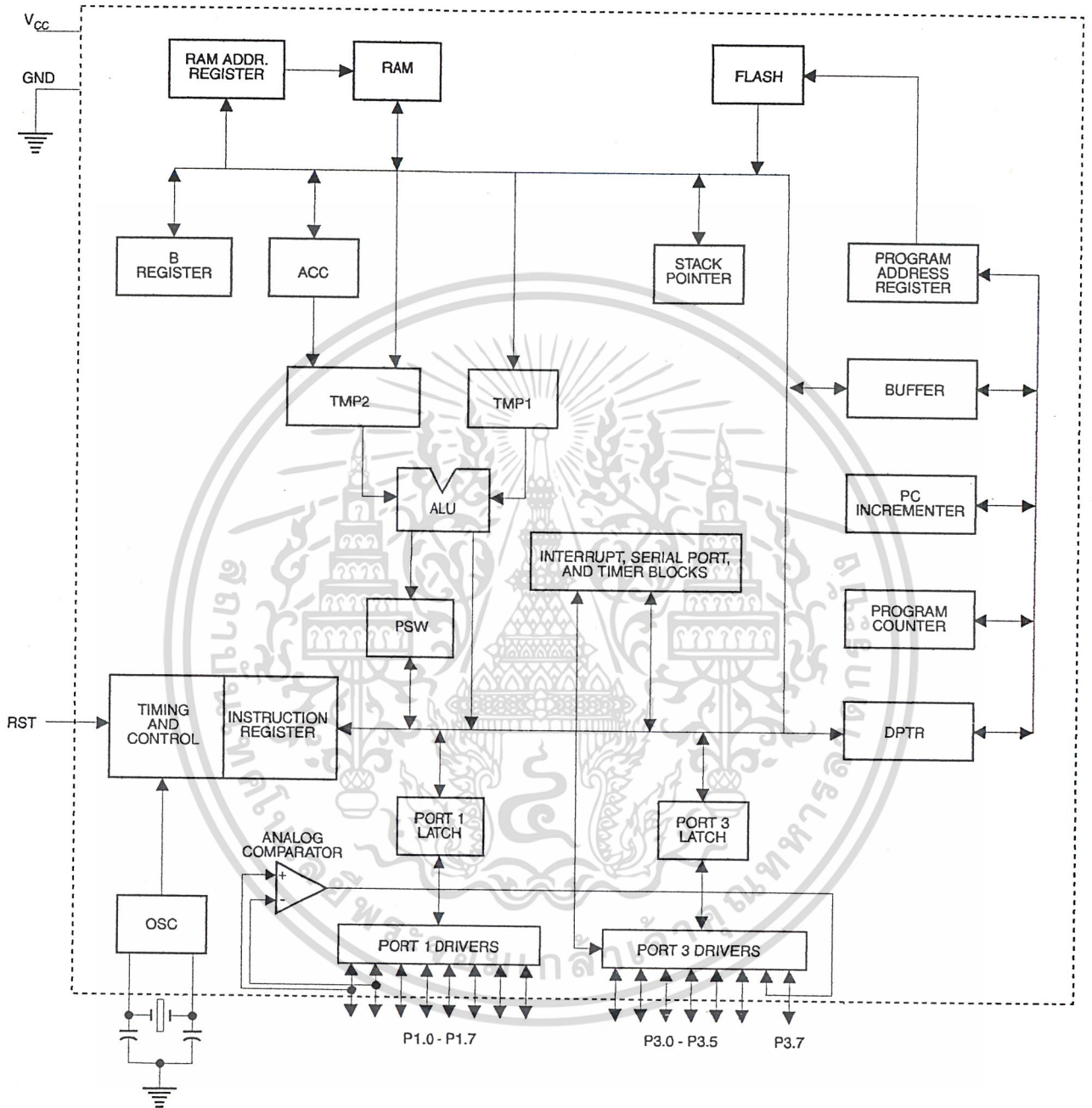
AT89C2051

Rev. 0368E-02/00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้  เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port. Port pins P1.2 to P1.7 provide internal pullups. P1.0 and P1.1 require external pullups. P1.0 and P1.1 also serve as the positive input (AIN0) and the negative input (AIN1), respectively, of the on-chip precision analog comparator. The Port 1 output buffers can sink 20 mA and can drive LED displays directly. When 1s are written to Port 1 pins, they can be used as inputs. When pins P1.2 to P1.7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives code data during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 pins P3.0 to P3.5, P3.7 are seven bi-directional I/O pins with internal pullups. P3.6 is hard-wired as an input to the output of the on-chip comparator and is not accessible as a general purpose I/O pin. The Port 3 output buffers can sink 20 mA. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C2051 as listed below:

| Port Pin | Alternate Functions |
|----------|--|
| P3.0 | RXD (serial input port) |
| P3.1 | TXD (serial output port) |
| P3.2 | $\overline{INT0}$ (external interrupt 0) |
| P3.3 | $\overline{INT1}$ (external interrupt 1) |
| P3.4 | T0 (timer 0 external input) |
| P3.5 | T1 (timer 1 external input) |

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

RST

Reset input. All I/O pins are reset to 1s as soon as RST goes high. Holding the RST pin high for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

Each machine cycle takes 12 oscillator or clock cycles.

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

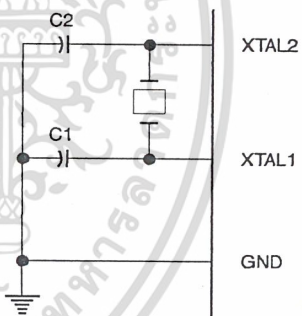
XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

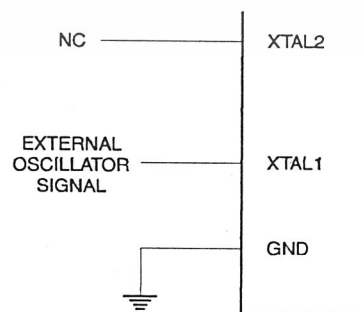
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Figure 1. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 2. External Clock Drive Configuration



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in the table below.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return

random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Table 1. AT89C2051 SFR Map and Reset Values

| | | | | | | | | |
|------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------|
| 0F8H | | | | | | | | 0FFH |
| 0F0H | B 00000000 | | | | | | | 0F7H |
| 0E8H | | | | | | | | 0EFH |
| 0E0H | ACC 00000000 | | | | | | | 0E7H |
| 0D8H | | | | | | | | 0DFH |
| 0D0H | PSW 00000000 | | | | | | | 0D7H |
| 0C8H | | | | | | | | 0CFH |
| 0C0H | | | | | | | | 0C7H |
| 0B8H | IP XXX00000 | | | | | | | 0BFH |
| 0B0H | P3 11111111 | | | | | | | 0B7H |
| 0A8H | IE 0XX00000 | | | | | | | 0AFH |
| 0A0H | | | | | | | | 0A7H |
| 98H | SCON 00000000 | SBUF XXXXXXXX | | | | | | 9FH |
| 90H | P1 11111111 | | | | | | | 97H |
| 88H | TCON 00000000 | TMOD 00000000 | TL0 00000000 | TL1 00000000 | TH0 00000000 | TH1 00000000 | | 8FH |
| 80H | | SP 00001111 | DPL 00000000 | DPH 00000000 | | | PCON 0XXX0000 | 87H |

Restrictions on Certain Instructions

The AT89C2051 is an economical and cost-effective member of Atmel's growing family of microcontrollers. It contains 2K bytes of flash program memory. It is fully compatible with the MCS-51 architecture, and can be programmed using the MCS-51 instruction set. However, there are a few considerations one must keep in mind when utilizing certain instructions to program this device.

All the instructions related to jumping or branching should be restricted such that the destination address falls within the physical program memory space of the device, which is 2K for the AT89C2051. This should be the responsibility of the software programmer. For example, LJMP 7E0H would be a valid instruction for the AT89C2051 (with 2K of memory), whereas LJMP 900H would not.

1. Branching instructions:

LCALL, LJMP, ACALL, AJMP, SJMP, JMP @A+DPTR

These unconditional branching instructions will execute correctly as long as the programmer keeps in mind that the destination branching address must fall within the physical boundaries of the program memory size (locations 00H to 7FFH for the 89C2051). Violating the physical space limits may cause unknown program behavior.

CJNE [...], DJNZ [...], JB, JNB, JC, JNC, JBC, JZ, JNZ With these conditional branching instructions the same rule above applies. Again, violating the memory boundaries may cause erratic execution.

For applications involving interrupts the normal interrupt service routine address locations of the 80C51 family architecture have been preserved.

2. MOVX-related instructions, Data Memory:

The AT89C2051 contains 128 bytes of internal data memory. Thus, in the AT89C2051 the stack depth is limited to 128 bytes, the amount of available RAM. External DATA memory access is not supported in this device, nor is external PROGRAM memory execution. Therefore, no MOVX [...] instructions should be included in the program.

A typical 80C51 assembler will still assemble instructions, even if they are written in violation of the restrictions mentioned above. It is the responsibility of the controller user to know the physical features and limitations of the device being used and adjust the instructions used correspondingly.

Program Memory Lock Bits

On the chip are two lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below:

Lock Bit Protection Modes⁽¹⁾

| Program Lock Bits | | | Protection Type |
|-------------------|-----|-----|---|
| | LB1 | LB2 | |
| 1 | U | U | No program lock features. |
| 2 | P | U | Further programming of the Flash is disabled. |
| 3 | P | P | Same as mode 2, also verify is disabled. |

Note: 1. The Lock Bits can only be erased with the Chip Erase operation.

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

P1.0 and P1.1 should be set to "0" if no external pullups are used, or set to "1" if external pullups are used.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Power-down Mode

In the power down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power down mode is terminated. The only exit from power down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

P1.0 and P1.1 should be set to "0" if no external pullups are used, or set to "1" if external pullups are used.





Programming The Flash

The AT89C2051 is shipped with the 2K bytes of on-chip PEROM code memory array in the erased state (i.e., contents = FFH) and ready to be programmed. The code memory array is programmed one byte at a time. *Once the array is programmed, to re-program any non-blank byte, the entire memory array needs to be erased electrically.*

Internal Address Counter: The AT89C2051 contains an internal PEROM address counter which is always reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by applying a positive going pulse to pin XTAL1.

Programming Algorithm: To program the AT89C2051, the following sequence is recommended.

1. Power-up sequence:
Apply power between V_{CC} and GND pins
Set RST and XTAL1 to GND
2. Set pin RST to "H"
Set pin P3.2 to "H"
3. Apply the appropriate combination of "H" or "L" logic levels to pins P3.3, P3.4, P3.5, P3.7 to select one of the programming operations shown in the PEROM Programming Modes table.

To Program and Verify the Array:

4. Apply data for Code byte at location 000H to P1.0 to P1.7.
5. Raise RST to 12V to enable programming.
6. Pulse P3.2 once to program a byte in the PEROM array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes 1.2 ms.
7. To verify the programmed data, lower RST from 12V to logic "H" level and set pins P3.3 to P3.7 to the appropriate levels. Output data can be read at the port P1 pins.
8. To program a byte at the next address location, pulse XTAL1 pin once to advance the internal address counter. Apply new data to the port P1 pins.
9. Repeat steps 5 through 8, changing data and advancing the address counter for the entire 2K bytes array or until the end of the object file is reached.
10. Power-off sequence:
set XTAL1 to "L"
set RST to "L"
Turn V_{CC} power off

Data Polling: The AT89C2051 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on P1.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and

the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The Progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. Pin P3.1 is pulled low after P3.2 goes High during programming to indicate BUSY. P3.1 is pulled High again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed code data can be read back via the data lines for verification:

1. Reset the internal address counter to 000H by bringing RST from "L" to "H".
2. Apply the appropriate control signals for Read Code data and read the output data at the port P1 pins.
3. Pulse pin XTAL1 once to advance the internal address counter.
4. Read the next code data byte at the port P1 pins.
5. Repeat steps 3 and 4 until the entire array is read.

The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire PEROM array (2K bytes) and the two Lock Bits are erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding P3.2 low for 10 ms. The code array is written with all "1"s in the Chip Erase operation and must be executed before any non-blank memory byte can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 000H, 001H, and 002H, except that P3.5 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

(000H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
(001H) = 21H indicates 89C2051

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

Flash Programming Modes

| Mode | | RST/VPP | P3.2/PROG | P3.3 | P3.4 | P3.5 | P3.7 |
|-----------------------------------|---------|---------|-----------|------|------|------|------|
| Write Code Data ⁽¹⁾⁽³⁾ | | 12V | | L | H | H | H |
| Read Code Data ⁽¹⁾ | | H | H | L | L | H | H |
| Write Lock | Bit - 1 | 12V | | H | H | H | H |
| | Bit - 2 | 12V | | H | H | L | L |
| Chip Erase | | 12V | | H | L | L | L |
| Read Signature Byte | | H | H | L | L | L | L |

- Notes:
- The internal PEROM address counter is reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by a positive pulse at XTAL 1 pin.
 - Chip Erase requires a 10 ms $\overline{\text{PROG}}$ pulse.
 - P3.1 is pulled Low during programming to indicate RDY/BSY.

Figure 3. Programming the Flash Memory

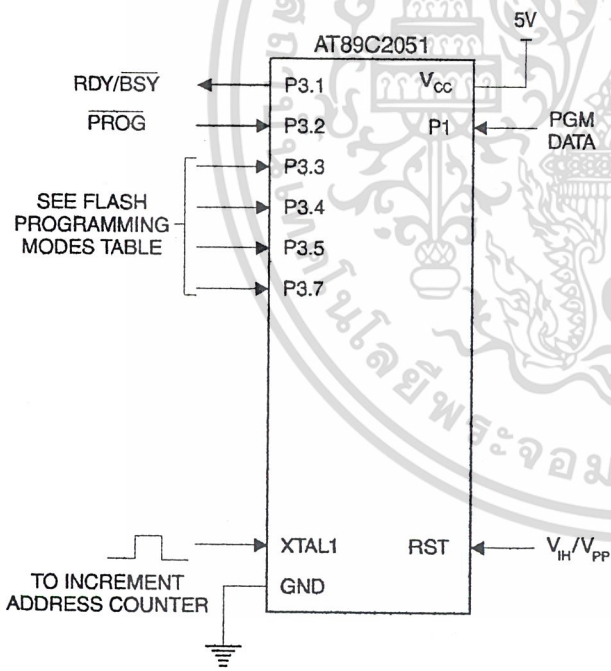
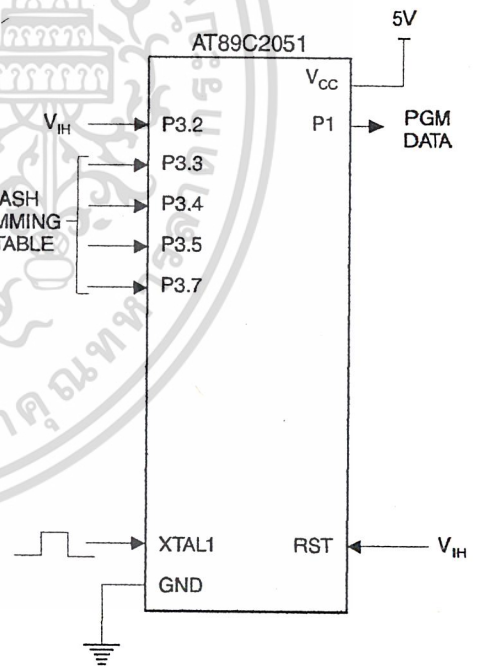


Figure 4. Verifying the Flash Memory



ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit μ P Compatible A/D Converters

General Description

The ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804 and ADC0805 are CMOS 8-bit successive approximation A/D converters that use a differential potentiometric ladder—similar to the 256R products. These converters are designed to allow operation with the NSC800 and INS8080A derivative control bus with TRI-STATE® output latches directly driving the data bus. These A/Ds appear like memory locations or I/O ports to the microprocessor and no interfacing logic is needed.

Differential analog voltage inputs allow increasing the common-mode rejection and offsetting the analog zero input voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

Features

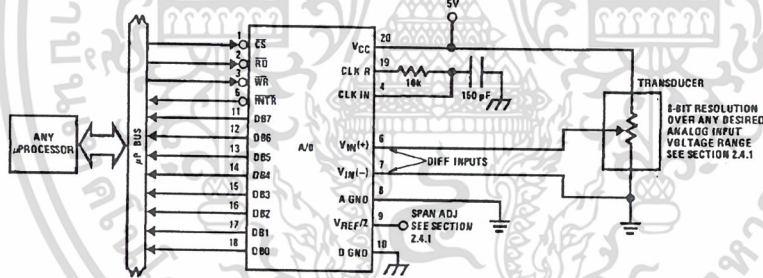
- Compatible with 8080 μ P derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"

- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3" standard width 20-pin DIP package
- 20-pin molded chip carrier or small outline package
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC}, 2.5 V_{DC}, or analog span adjusted voltage reference

Key Specifications

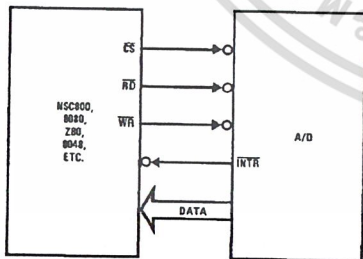
- Resolution 8 bits
- Total error $\pm 1/4$ LSB, $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
- Conversion time 100 μ s

Typical Applications



TL/H/5671-1

8080 Interface



TL/H/5671-31

Error Specification (Includes Full-Scale, Zero Error, and Non-Linearity)

| Part Number | Full-Scale Adjusted | V _{REF/2} = 2.500 V _{DC} (No Adjustments) | V _{REF/2} = No Connection (No Adjustments) |
|-------------|---------------------|---|---|
| ADC0801 | $\pm 1/4$ LSB | | |
| ADC0802 | | $\pm 1/2$ LSB | |
| ADC0803 | $\pm 1/2$ LSB | | |
| ADC0804 | | ± 1 LSB | |
| ADC0805 | | | ± 1 LSB |

TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corp.
Z-80® is a registered trademark of Zilog Corp.

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

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

| | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3) | 6.5V |
| 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, ADC0802LJ/883 | $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ |
| ADC0801/02/03/04LCJ | $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ |
| ADC0801/02/03/05LCN | $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ |
| ADC0804LCN | $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ |
| ADC0802/03/04LCV | $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ |
| ADC0802/03/04LCWM | $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ |
| 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(+) or V(-) | Gnd-0.05 | | $V_{CC} + 0.05$ | V_{DC} |
| DC Common-Mode Error | Over Analog Input Voltage Range | | $\pm 1/16$ | $\pm 1/8$ | LSB |
| Power Supply Sensitivity | $V_{CC} = 5 V_{DC} \pm 10\%$ Over Allowed $V_{IN}(+)$ and $V_{IN}(-)$ Voltage Range (Note 4) | | $\pm 1/16$ | $\pm 1/8$ | 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 6) | 103 | | 114 | μs |
| T_C | Conversion Time | (Note 5, 6) | 66 | | 73 | 1/ f_{CLK} |
| f_{CLK} | Clock Frequency | $V_{CC} = 5V$, (Note 5) | 100 | 640 | 1460 | kHz |
| | Clock Duty Cycle | (Note 5) | 40 | | 60 | % |
| CR | Conversion Rate in Free-Running Mode | INTR tied to WR with $\overline{CS} = 0 V_{DC}$, $f_{CLK} = 640$ kHz | 8770 | | 9708 | conv/s |
| $t_{W(WR)}$ | Width of WR Input (Start Pulse Width) | $\overline{CS} = 0 V_{DC}$ (Note 7) | 100 | | | ns |
| t_{ACC} | Access Time (Delay from Falling Edge of RD to Output Data Valid) | $C_L = 100$ pF | | 135 | 200 | ns |
| t_{1H}, t_{0H} | TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of RD to Hi-Z State) | $C_L = 10$ pF, $R_L = 10k$ (See TRI-STATE Test Circuits) | | 125 | 200 | ns |
| t_{WI}, t_{RI} | Delay from Falling Edge of WR or RD to Reset of 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: 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 CLK IN) | $V_{CC} = 5.25 V_{DC}$ | 2.0 | | 15 | V_{DC} |
|-------------|---|------------------------|-----|--|----|----------|

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 | 6 | | 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) ADC0801/02/03/04LCJ/05 ADC0804LCN/LCV/LCWM | $f_{CLK} = 640 kHz$, $V_{REF/2} = NC, T_A = 25^\circ C$ and $CS = 5V$ | | 1.1 1.9 | 1.8 2.5 | mA 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), as 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 spec 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).

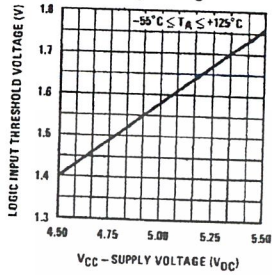
Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 5.

Note 9: The $V_{REF/2}$ pin is the center point of a two-resistor divider connected from V_{CC} to ground. In all versions of the ADC0801, ADC0802, ADC0803, and ADC0805, and in the ADC0804LCJ, each resistor is typically 16 k Ω . In all versions of the ADC0804 except the ADC0804LCJ, each resistor is typically 2.2 k Ω .

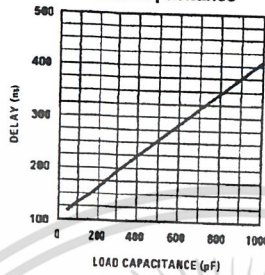
Note 10: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Typical Performance Characteristics

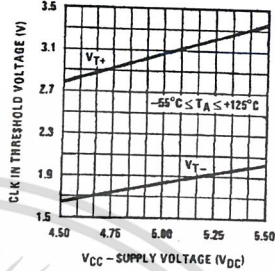
Logic Input Threshold Voltage vs. Supply Voltage



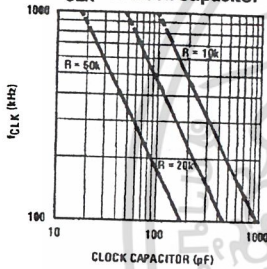
Delay From Falling Edge of \overline{RD} to Output Data Valid vs. Load Capacitance



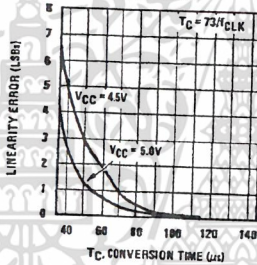
CLK IN Schmitt Trip Levels vs. Supply Voltage



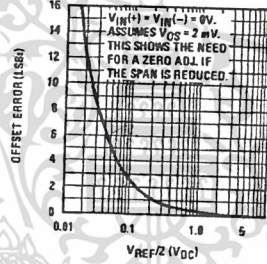
f_{CLK} vs. Clock Capacitor



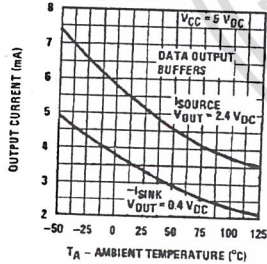
Full-Scale Error vs Conversion Time



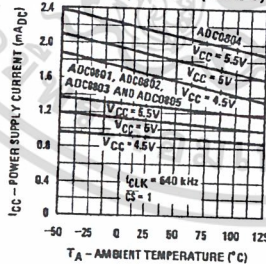
Effect of Unadjusted Offset Error vs. $V_{REF}/2$ Voltage



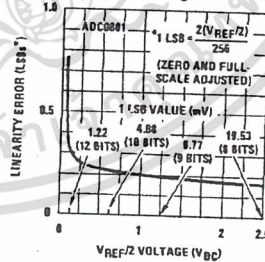
Output Current vs Temperature



Power Supply Current vs Temperature (Note 9)



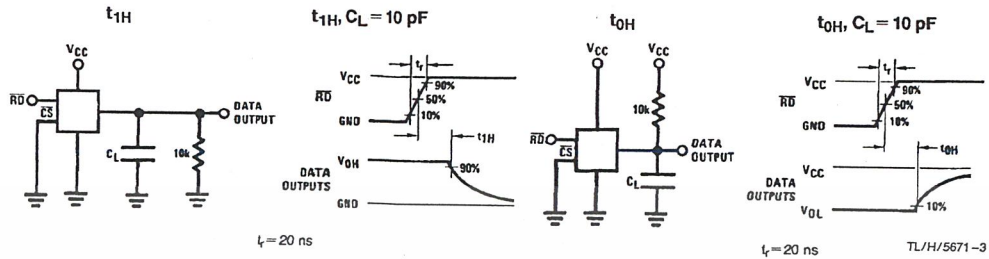
Linearity Error at Low $V_{REF}/2$ Voltages



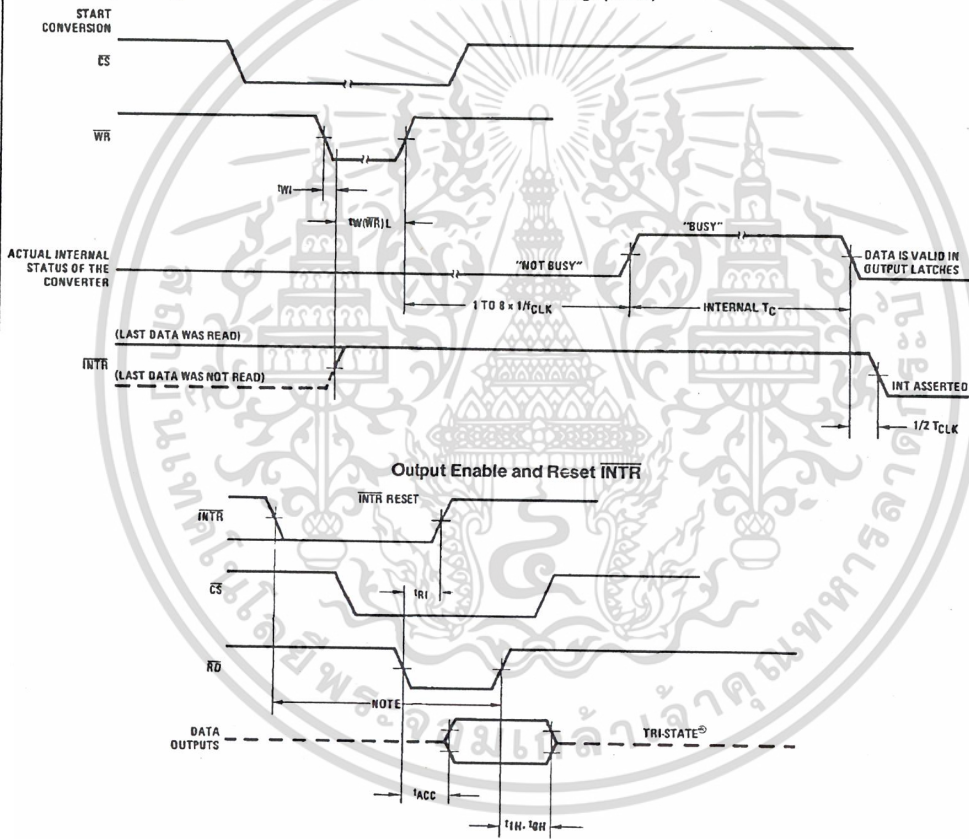
TL/H/5671-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRI-STATE Test Circuits and Waveforms

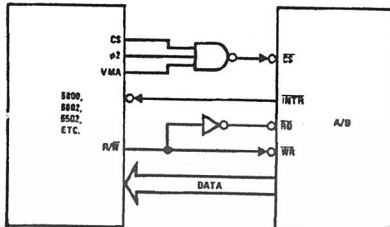


Timing Diagrams (All timing is measured from the 50% voltage points)

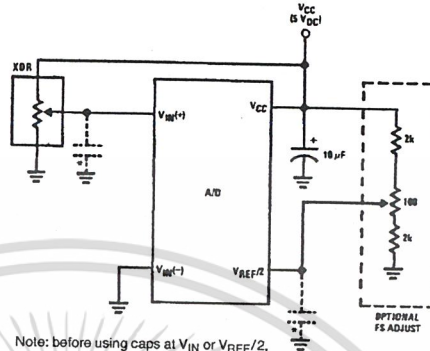


Typical Applications (Continued)

6800 Interface

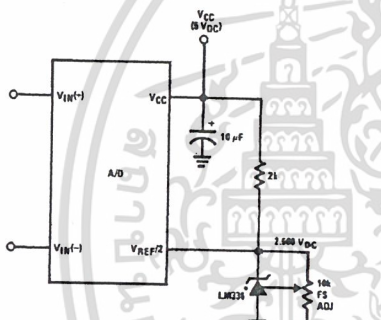


Ratiometric with Full-Scale Adjust



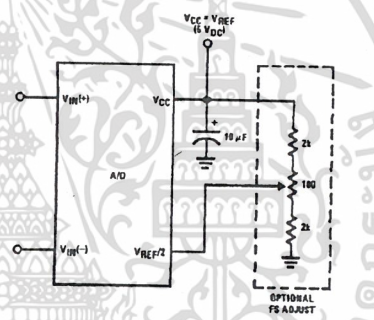
Note: before using caps at V_{IN} or $V_{REF/2}$, see section 2.3.2 Input Bypass Capacitors.

Absolute with a 2.500V Reference

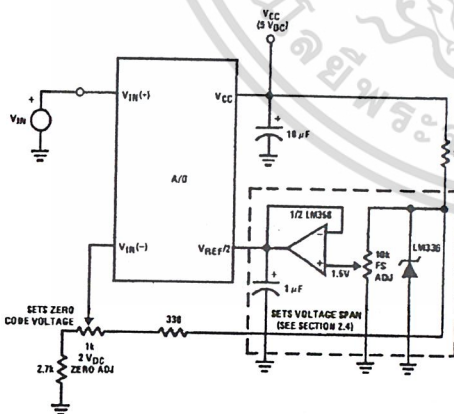


*For low power, see also LM385-2.5

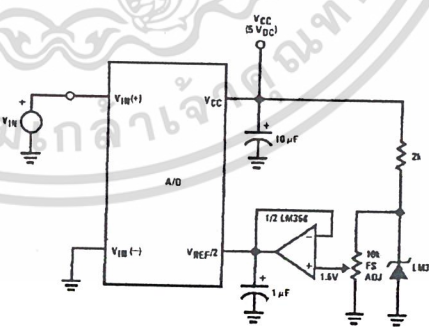
Absolute with a 5V Reference



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



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



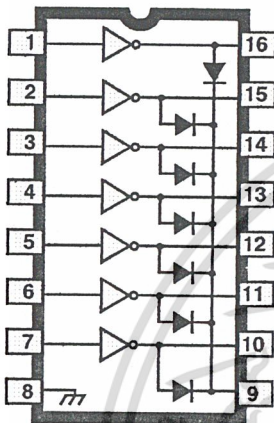
TL/H/5671-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2003 THRU 2024

Data Sheet
29304F

HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON ARRAYS



Dwg. No. A-9594

Note that the ULN20xxA series (dual in-line package) and ULN20xxL series (small-outline IC package) are electrically identical and share a common terminal number assignment.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| | |
|--|-----------------|
| Output Voltage, V_{CE} | |
| (ULN200xA and ULN200xL) | 50 V |
| (ULN202xA and ULN202xL) | 95 V |
| Input Voltage, V_{IN} | 30 V |
| Continuous Output Current, | |
| I_C | 500 mA |
| Continuous Input Current, I_{IN} | 25 mA |
| Power Dissipation, P_D | |
| (one Darlington pair) | 1.0 W |
| (total package) | See Graph |
| Operating Temperature Range, | |
| T_A | -20°C to +85°C |
| Storage Temperature Range, | |
| T_S | -55°C to +150°C |

Ideally suited for interfacing between low-level logic circuitry and multiple peripheral power loads, the Series ULN20xxA/L high-voltage, high-current Darlington arrays feature continuous load current ratings to 500 mA for each of the seven drivers. At an appropriate duty cycle depending on ambient temperature and number of drivers turned ON simultaneously, typical power loads totaling over 230 W (350 mA x 7, 95 V) can be controlled. Typical loads include relays, solenoids, stepping motors, magnetic print hammers, multiplexed LED and incandescent displays, and heaters. All devices feature open-collector outputs with integral clamp diodes.

The ULN2003A/L and ULN2023A/L have series input resistors selected for operation directly with 5 V TTL or CMOS. These devices will handle numerous interface needs — particularly those beyond the capabilities of standard logic buffers.

The ULN2004A/L and ULN2024A/L have series input resistors for operation directly from 6 to 15 V CMOS or PMOS logic outputs.

The ULN2003A/L and ULN2004A/L are the standard Darlington arrays. The outputs are capable of sinking 500 mA and will withstand at least 50 V in the OFF state. Outputs may be paralleled for higher load current capability. The ULN2023A/L and ULN2024A/L will withstand 95 V in the OFF state.

These Darlington arrays are furnished in 16-pin dual in-line plastic packages (suffix "A") and 16-lead surface-mountable SOICs (suffix "L"). All devices are pinned with outputs opposite inputs to facilitate ease of circuit board layout. All devices are rated for operation over the temperature range of -20°C to +85°C. Most (see matrix, next page) are also available for operation to -40°C; to order, change the prefix from "ULN" to "ULQ".

FEATURES

- TTL, DTL, PMOS, or CMOS-Compatible Inputs
- Output Current to 500 mA
- Output Voltage to 95 V
- Transient-Protected Outputs
- Dual In-Line Plastic Package or Small-Outline IC Package

x = digit to identify specific device. Characteristic shown applies to family of devices with remaining digits as shown. See matrix on next page.

**2003 THRU 2024
HIGH-VOLTAGE,
HIGH-CURRENT
DARLINGTON ARRAYS**

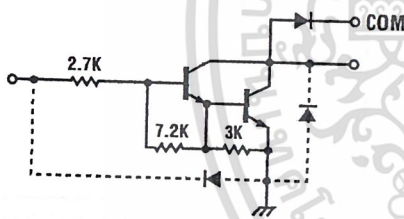
DEVICE PART NUMBER DESIGNATION

| | | |
|----------------------|------------------------|-----------------------|
| $V_{CE(MAX)}$ | 50 V | 95 V |
| $I_{C(MAX)}$ | 500 mA | 500 mA |
| Logic | Part Number | |
| 5V TTL, CMOS | ULN2003A* ULN2003L* | ULN2023A* ULN2023L |
| 6-15 V CMOS, PMOS | ULN2004A* ULN2004L* | ULN2024A ULN2024L |

*Also available for operation between -40°C and +85°C. To order, change prefix from "ULN" to "ULQ".

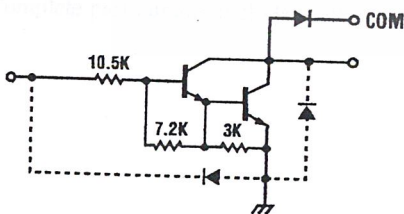
PARTIAL SCHEMATICS

ULN20x3A/L (Each Driver)

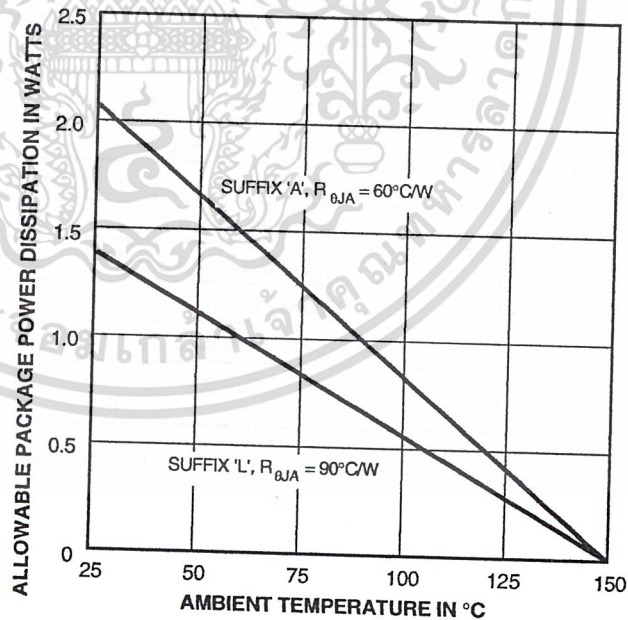


Dwg. No. A-9851

ULN20x4A/L (Each Driver)



Dwg. No. A-9898A



Dwg. GP-006A

X = Digit to identify specific device. Specification shown applies to family of devices with remaining digits as shown. See matrix above.



115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
Copyright © 1974, 1998 Allegro MicroSystems, Inc.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2003 THRU 2024
HIGH-VOLTAGE,
HIGH-CURRENT
DARLINGTON ARRAYS**

**Types ULN2023A, ULN2023L, ULN2024A, and ULN2024L
ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +25°C (unless otherwise noted).**

| Characteristic | Symbol | Test Fig. | Applicable Devices | Test Conditions | Limits | | | |
|--------------------------------------|---------------|-----------|--------------------|---|--------|------|------|---------------|
| | | | | | Min. | Typ. | Max. | Units |
| Output Leakage Current | I_{CEX} | 1A | All | $V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$ | — | < 1 | 50 | μA |
| | | | | $V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$ | — | < 1 | 100 | μA |
| | | 1B | ULN2024A/L | $V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}, V_{IN} = 1.0\text{ V}$ | — | < 5 | 500 | μA |
| Collector-Emitter Saturation Voltage | $V_{CE(SAT)}$ | 2 | All | $I_C = 100\text{ mA}, I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$ | — | 0.9 | 1.1 | V |
| | | | | $I_C = 200\text{ mA}, I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$ | — | 1.1 | 1.3 | V |
| | | | | $I_C = 350\text{ mA}, I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$ | — | 1.3 | 1.6 | V |
| Input Current | $I_{IN(ON)}$ | 3 | ULN2023A/L | $V_{IN} = 3.85\text{ V}$ | — | 0.93 | 1.35 | mA |
| | | | ULN2024A/L | $V_{IN} = 5.0\text{ V}$ | — | 0.35 | 0.5 | mA |
| | | | | $V_{IN} = 12\text{ V}$ | — | 1.0 | 1.45 | mA |
| | $I_{IN(OFF)}$ | 4 | All | $I_C = 500\text{ }\mu\text{A}, T_A = 70^\circ\text{C}$ | 50 | 65 | — | μA |
| Input Voltage | $V_{IN(ON)}$ | 5 | ULN2023A/L | $V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$ | — | — | 2.4 | V |
| | | | | $V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 250\text{ mA}$ | — | — | 2.7 | V |
| | | | | $V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 300\text{ mA}$ | — | — | 3.0 | V |
| | | | ULN2024A/L | $V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 125\text{ mA}$ | — | — | 5.0 | V |
| | | | | $V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$ | — | — | 6.0 | V |
| | | | | $V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 275\text{ mA}$ | — | — | 7.0 | V |
| | | | | $V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 350\text{ mA}$ | — | — | 8.0 | V |
| Input Capacitance | C_{IN} | — | All | | — | 15 | 25 | pF |
| Turn-On Delay | t_{PLH} | 8 | All | $0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$ | — | 0.25 | 1.0 | μs |
| Turn-Off Delay | t_{PHL} | 8 | All | $0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$ | — | 0.25 | 1.0 | μs |
| Clamp Diode Leakage Current | I_R | 6 | All | $V_R = 95\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$ | — | — | 50 | μA |
| | | | | $V_R = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$ | — | — | 100 | μA |
| Clamp Diode Forward Voltage | V_F | 7 | All | $I_F = 350\text{ mA}$ | — | 1.7 | 2.0 | V |

Complete part number includes suffix to identify package style: A = DIP, L = SOIC.



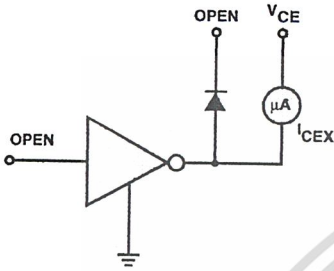
115 Northeast Cutoff, Box 15036 Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกทั้งหมดให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2003 THRU 2024 HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON ARRAYS

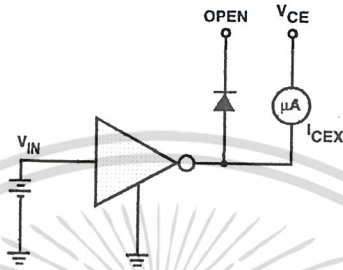
TEST FIGURES

FIGURE 1A



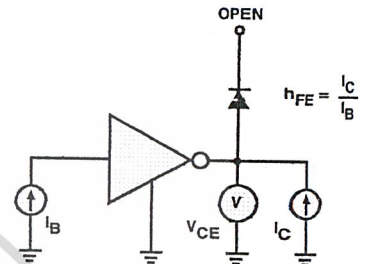
Dwg. No. A-9729A

FIGURE 1B



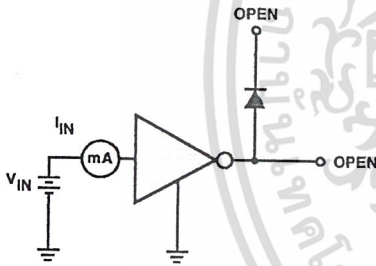
Dwg. No. A-9730A

FIGURE 2



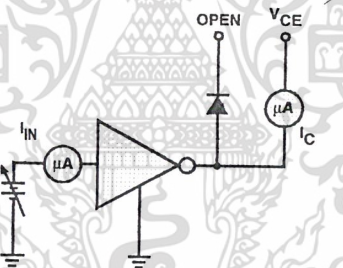
Dwg. No. A-9731A

FIGURE 3



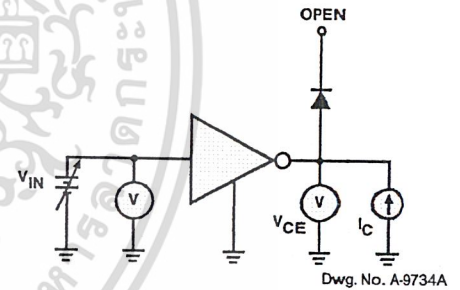
Dwg. No. A-9732A

FIGURE 4



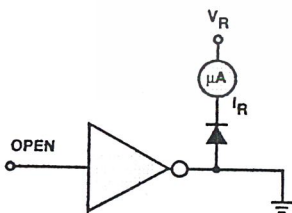
Dwg. No. A-9733A

FIGURE 5



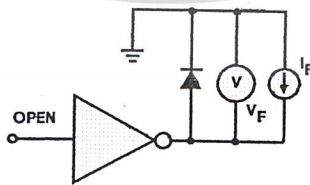
Dwg. No. A-9734A

FIGURE 6



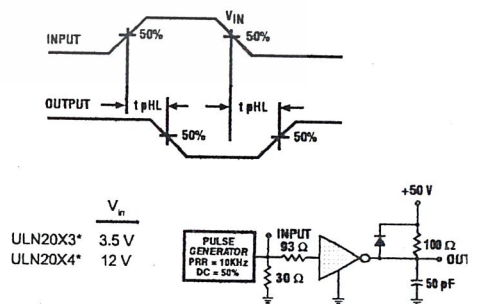
Dwg. No. A-9735A

FIGURE 7



Dwg. No. A-9736A

FIGURE 8



* Complete part number includes a final letter to indicate package.

X = Digit to identify specific device. Specification shown applies to family of devices with remaining digits as shown.

```

Dim bu(600) As Single
Dim num As Integer
Dim Total(49) As Single
Private Sub Command1_Click()
    num = -1
    With Form1.MSComm1
        If .PortOpen = True Then
            .PortOpen = False
        End If
        .PortOpen = True
        .Output = "m"
        .Output = "r"
    End With
End Sub

```

```

Private Sub Command2_Click()
Dim maxX As Single
maxX = bu(1)
For j = 2 To 600
If maxX < bu(j) Then
maxX = bu(j)
End If
Text2.Text = maxX
Next
End Sub

```

```

Private Sub Command3_Click()
Text1.Text = ""
Text2.Text = ""
End Sub

```

```

Private Sub Command4_Click()
Dim iFileNum As Integer
iFileNum = FreeFile

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Open "c:\ data1.dat" For Append As #iFileNum
Print #iFileNum, Text2.Text
Close #iFileNum
End Sub
```

```
Private Sub exit_Click()
Unload Me
End Sub
```

```
Private Sub MSComm1_OnComm()
    num = num + 1
    With Form1.MSComm1
        bu(num) = Asc(.Input)
        Text1.Text = Text1.Text + Str(bu(num)) + vbCrLf
    End With
End Sub
```

```
Private Sub Command5_Click()
```

```
Rem Graph Pattern Loudspeaker
```

```
numData = 49
```

```
Dim Total(49) As Single
```

```
Call DrawAxes
```

```
Call ReadData(Total())
```

```
Call DrawData(Total())
```

```
Call ShowTitle
```

```
End Sub
```

```
Private Sub DrawAxes()
```

```
Rem Draw axes
```

```
xCenter = 300
```

```
yCenter = 300
```

```
Picture1.Line (xCenter, 0)-(xCenter, xCenter * 2), QBColor(4)
```

```
Picture1.Line (0, yCenter)-(yCenter * 2, yCenter), QBColor(4)
```

```
For i = 0 To 360
```

```
    x = 300 + Round(300 * Sin(3.14159 * i / 180))
```

```
    y = 300 - Round(300 * Cos(3.14159 * i / 180))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Picture1.PSet (x, y)
Next
End Sub

Private Sub ReadData(Total() As Single)
Dim i As Integer
Dim openfname As String
Dim strDirectory As String
    Cdb.InitDir = strDirectory
    Cdb.FileName = ""
    On Error GoTo errorhandler
    Cdb.Filter = "Data file (*.dat)|*.dat"
    Cdb.ShowOpen
    openfname = Cdb.FileName
    Open openfname For Input As #1
    For i = 0 To 48
Input #1, Total(i)
strfname = openfname
Next i
Close #1
errorhandler:
End Sub

Private Sub DrawData(Total() As Single)
Dim i As Integer
Dim x1 As Single, x2 As Single
Dim y1 As Single, y2 As Single
Rem Draw lines connecting data
x1 = 300 + Round((Total(0) / 300) * 300 * Sin(0))
y1 = 300 - Round((Total(0) / 300) * 300 * Cos(0))
For i = 0 To 49
r = Total(i) / 300
z = 3.14159 * i * 7.5 / 180
x2 = 300 + Round(r * 300 * Sin(z))
y2 = 300 - Round(r * 300 * Cos(z))
Picture1.PSet (x2, y2), QBColor(6)
Picture1.Circle (x2, y2), 0.01

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Picture1.Line (x1, y1)-(x2, y2), QBColor(8)
x1 = x2
y1 = y2
Next i
End Sub

Private Sub ShowTitle()
Call Locate(10, 0)
Picture1.Print "A Loudspeker Pattern"
Call Locate(1070, 0)
Picture1.Print "ด้าน หน้าลำโพง"
Call Locate(1070, 2314)
Picture1.Print "ด้าน หลังลำโพง"
End Sub

Private Sub Locate(x As Single, y As Single)
Picture1.CurrentX = x
Picture1.CurrentY = y
End Sub

Private Sub Command6_Click()
Picture1.Cls
End Sub

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Authur F. Wickersham. *Microwave and Fiber Optics Communications* , Prentice Hall Publisher ;
1988 , pp. 22-34

Perter J. Nolan. *Fundamental of collage Physics* , Wm. C. Brown Publisher , 2nd Ed. ; 1995 , pp.
336-363



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้